

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

**CONTRIBUIÇÃO DE SISTEMAS DE PREPARO
DO SOLO E SUCESSÃO DE CULTURAS PARA
A ESTRUTURAÇÃO DO SOLO**

**Matheus Flavio da Silva
Engenheiro Agrônomo**

2019

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

**CONTRIBUIÇÃO DE SISTEMAS DE PREPARO
DO SOLO E SUCESSÃO DE CULTURAS PARA
A ESTRUTURAÇÃO DO SOLO**

Discente: Matheus Flavio da Silva

Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes

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

2019

S586c Silva, Matheus Flavio da
Contribuição de sistemas de preparo do solo e sucessão de culturas para a estruturação do solo / Matheus Flavio da Silva. -- Jaboticabal, 2019
25 p. : il., tabs. + 1 CD-ROM
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Carolina Fernandes
1. agregação do solo. 2. gramínea. 3. leguminosa. 4. manejo do solo. 5. porosidade do solo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal




CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

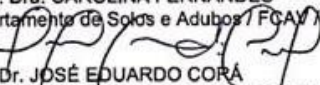
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CONTRIBUIÇÃO DE SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E SUCESSÃO DE CULTURAS PARA A ESTRUTURAÇÃO DO SOLO

AUTOR: MATHEUS FLAVIO DA SILVA

ORIENTADORA: CAROLINA FERNANDES

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


Prof. Dra. CAROLINA FERNANDES
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dra. MARIA HELENA MORAES SPINELLI (Videoconferência)
Depto de Solos e Recursos Ambientais-FCA / Botucatu, SP

Jaboticabal, 31 de julho de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Matheus Flavio da Silva – nascido no dia 07 de janeiro de 1994 na cidade de Barretos, estado de São Paulo, cursou o ensino médio na Escola Estadual Profa. Lacy Bonilha de Souza, em Barretos, São Paulo no período de 2009 a 2011. Em fevereiro de 2012, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, da Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" (Unesp), e em janeiro de 2017, obteve o título de Engenheiro Agrônomo. Durante a graduação foi bolsista da Fundação para o Vestibular da Universidade Estadual Paulista (VUNESP), por meio do Acordo de Cooperação Técnica entre UNESP, VUNESP e Secretaria de Estado da Educação. Em março de 2017 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, onde foi bolsista CAPES. No dia 31 de julho de 2019, submeteu-se à banca examinadora para a defesa da Dissertação para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

*“Hoje eu faço o que me foi confiado para hoje.
O que farei amanhã não sei,
porque não conheço a missão que receberei amanhã.”*

São Francisco de Sales

*É preciso dar ouvidos à voz de Deus para vislumbrar os sinais de sua
vontade. E, uma vez percebida sua vontade, ela precisa ser feita,
seja qual for, custe o que custar.”*

Charles de Foucauld

DEDICO

Aos meus pais, **Francisco José Flávio da Silva e Rosilene Aparecida Neves da Silva** e à minha irmã **Larissa Flávio da Silva**, por serem a base que sustentou e sustenta todas as minhas decisões e tarefas que me disponho a cumprir. Cada um, nessa base, representa um tijolo de amor, fé, dedicação, doação, comprometimento, esforço, sacrifícios, alegrias e muita esperança. Muito obrigado por tudo!

À minha orientadora e professora **Carolina Fernandes**, pela convivência enriquecedora de tantos anos, pelos ensinamentos eternos, pela amizade e sobretudo pelo apoio. Que Deus a abençoe e ilumine sempre. Muito obrigado de coração!

A minha amiga irmã **Mariele Monique Honorato Fernandes**, pela parceria e presença marcante nessa etapa do mestrado. Muito obrigado querida!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas bênçãos e graças sobre a minha vida, por conceder dons do Espírito Santo, saúde e por colocar pessoas tão maravilhosas no meu caminho e à Virgem Maria, Mãe de Deus, pela intercessão junto a seu filho, Nosso Senhor Jesus Cristo.

Aos meus amigos irmãos Anderson Prates e Vinicius Filla, que estiveram sempre ao meu lado nessa etapa. Fortalecemos uma grande amizade.

A toda minha família pelo incentivo, em especial aos meus avós que são pessoas que me inspiram.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À FCAV, seus servidores e professores por todo o conhecimento e auxílio que recebi nestes anos. Em especial agradeço a Claudia, Aduino e Mauro, servidores do departamento de Solos e Adubos, pelo auxílio, companhia e amizade.

Agradeço a todos que de certa forma marcaram presença nessa caminhada. O meu sincero agradecimento a todos!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
3 MATERIAL E MÉTODOS	7
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
5 CONCLUSÕES	19
6 REFERÊNCIAS	19

CONTRIBUIÇÃO DE SISTEMAS DE PREPARO DO SOLO E SUCESSÃO DE CULTURAS PARA A ESTRUTURAÇÃO DO SOLO

RESUMO – O uso de sistemas conservacionistas de preparo do solo tem ganhado importância, devido à necessidade de conservação do solo e sequestro de carbono da atmosfera. Com o objetivo de avaliar a estruturação do solo determinaram-se os atributos físicos e o teor de carbono orgânico do Latossolo Vermelho de textura argilosa, em área sob mata reflorestada (MR), sistemas de semeadura direta (SSD) e sistema de preparo convencional do solo (SPC). Para avaliação dos atributos do solo foram amostradas áreas próximas às coordenadas geodésicas 21°14'47"S, 48°17'08"W e altitude média de 550 metros. Foram amostrados 20 pontos em cada área e coletadas amostras indeformadas e deformadas, nas camadas 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m de profundidade. Para avaliação dos atributos do solo amostraram-se a MR e três áreas com semeadura de milho no período da safra, sendo duas áreas sob SSD e uma área sob SPC. A diferença entre as duas áreas sob SSD foi a cultura da entressafra, milho na primeira, constituindo assim uma sucessão de culturas gramínea-gramínea (SSD-gr) e crotalaria na segunda, sendo uma sucessão gramínea-leguminosa (SSD-le). As áreas SSD-gr, SSD-le e SPC permaneceram nesses sistemas de preparo por mais de 10 anos. Os atributos do solo determinados foram: diâmetro médio ponderado dos agregados, classes de agregados, índice de estabilidade de agregados, carbono orgânico do solo, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e resistência do solo à penetração. Para a caracterização das áreas realizou-se a estatística descritiva e os dados foram submetidos à análise de fatores, uma técnica exploratória multivariada. Foi possível separar dois processos, o primeiro que pode ser interpretado como "agregação do solo", e o segundo como "porosidade do solo". Os escores de cada processo foram testados pela análise de variância e as interações do sistema de preparo e a camada do solo significativas foram comparadas pelo teste de médias de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O sistema de preparo convencional promoveu a maior macroporosidade do solo avaliada aos 15 dias após a semeadura. O sistema de semeadura direta promoveu a maior agregação do solo. O sistema de semeadura direta com sucessão de culturas gramínea-gramínea contribuiu mais para a estruturação do solo do que aquele com sucessão de culturas gramínea-leguminosa.

Palavras-chave: agregação do solo, gramínea, leguminosa, manejo do solo, porosidade do solo

CONTRIBUTION OF SOIL TILLAGE SYSTEMS AND CROP SUCCESSION TO SOIL STRUCTURING

ABSTRACT – The use of conservational systems of soil cultivation has gained importance due to the need for soil preservation and carbon sequestration from the atmosphere. The objective of this study was to evaluate the physical attributes and organic carbon contents of a clayey Red Oxisol in an area under reforested forest (RF), no-tillage system with grass-grass succession (NTS-gr), no-tillage systems with grass-legume succession (NTS-le) and conventional soil tillage system (CTS). The areas used for evaluation of soil attributes were located close to the geodetic coordinates 21°14'47"S and 48°17'08"W, at average altitude of 550 meters. Each area was sampled at 20 points and undisturbed and disturbed samples were collected in the layers of 0.00-0.10 m, 0.10-0.20 m and 0.20-0.30 m. The areas used for evaluation of soil attributes were RF and three areas with sowing of corn during the main season, two areas under NTS and one area under conventional tillage system (CTS). The difference between the two areas under NTS was the off-season crop, corn in the first one, thus constituting a grass-grass succession (NTS-gr) and crotalaria in the second one, constituting a grass-legume succession (NTS-le). NTS-gr, NTS-le and CTS areas have been under these tillage systems for more than 10 years. The soil attributes determined were: mean weight diameter of aggregates, classes of aggregates, aggregate stability index, soil organic carbon, macroporosity, microporosity, soil bulk density and soil resistance to penetration. For the characterization of the areas, descriptive statistics was used and the data were subjected to factor analysis, an exploratory multivariate technique. It was possible to separate two processes, the first one, which can be interpreted as "soil aggregation", and the second one, as "soil porosity". The scores of each process were tested by analysis of variance and the significant interactions between tillage system and soil layer were compared by Tukey test at 5% probability level. The conventional tillage system promoted the highest soil macroporosity evaluated at 15 days after sowing. The no-tillage system promoted the highest soil aggregation. The no-tillage system with grass-grass succession contributed more to soil structuring than that with grass-legume succession.

Keywords: soil aggregation, grass, legume, soil management, soil porosity

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção agrícola são responsáveis pela produção de alimentos e são dependentes da conservação da qualidade física do solo ao longo do tempo. Nos últimos anos, o crescimento da população mundial e as alterações nos hábitos alimentares têm aumentado a demanda de alimentos promovendo a intensificação do uso do solo para atividade agrícola (Moraes et al., 2016).

Este fato tem elevado as preocupações ambientais sobre o solo colocando em ameaça a sua capacidade de promover a segurança do fornecimento de alimentos, água, energia, biodiversidade e outras funções ecológicas (Brevik et al., 2015). Dessa maneira, tem-se buscado alternativas que conciliem o manejo do solo, os elevados índices de produtividade das culturas e a manutenção da qualidade do solo. Dentre essas alternativas desenvolvidas, podem-se destacar os sistemas de preparo do solo, que exercem efeito direto sobre a estrutura do solo.

O preparo do solo é realizado com o objetivo de proporcionar condições favoráveis para a instalação de uma cultura. Nesse procedimento, a estrutura do solo é perturbada com maior ou menor intensidade, dependendo do sistema de preparo adotado. Essa intensidade permite a classificação dos sistemas de preparo em convencional (SPC), no qual o solo é revolvido por operações de aração e gradagem, e sistema de semeadura direta (SSD), no qual a única operação realizada no solo é a semeadura.

O SPC é realizado com o objetivo de incorporar corretivos ao solo, aumentar a aeração do solo e quebrar camadas superficiais compactadas. Por outro lado, o SPC gera consequências negativas, como o favorecimento da oxidação do carbono orgânico (CO) do solo, que é um dos principais agentes cimentantes no processo de agregação. Sem a presença de resíduos vegetais na superfície e com menor agregação, o solo fica exposto diretamente a ação das chuvas, ocorrendo perdas por erosão.

Diante dessa realidade, destaca-se o SSD, que reduz as operações de revolvimento do solo à semeadura e permite o acúmulo de resíduos vegetais sobre a superfície. Isto permite que ocorra maior aporte de CO ao solo favorecendo a

atividade biológica e assim o processo de agregação. Assim, o solo torna-se menos vulnerável à degradação pelas chuvas e menos suscetível à erosão. A manutenção da cobertura do solo e os efeitos sobre a agregação dependem do tipo de cultura utilizada, uma vez que existem diferenças morfológicas e fisiológicas, por exemplo, entre gramíneas e leguminosas que compreendem as espécies mais cultivadas.

Diante da necessidade de conservação do solo, recurso natural fundamental à atividade agrícola, torna-se cada vez maior a demanda por pesquisas que mostram a interferência e os efeitos dos sistemas de preparo e das culturas sobre a estrutura do solo. Para isso, têm-se tomado áreas sob vegetação nativa como bases de comparação, uma vez que estas estão sob a condição anterior ao preparo do solo e à implantação de culturas.

A estrutura do solo controla muitos processos, como a infiltração e a retenção de água, as trocas gasosas e a dinâmica da matéria orgânica e dos nutrientes. Para que a estrutura possibilite esses processos, é fundamental que se favoreça a agregação do solo, que consiste na união das frações mineral e orgânica do solo, formando agregados de diferentes tamanhos e estabilidade. O arranjo desses agregados condiciona a distribuição dos poros, para a aeração, a infiltração e a retenção de água, conseqüentemente, para as relações solo-planta. A forma de verificar como os sistemas de cultivo interferem na estrutura do solo é por meio dos atributos do solo que permitem aferir o tamanho e a estabilidade dos agregados e o volume do solo ocupado pelos poros.

Dessa maneira, testou-se a hipótese de que há diferenças quanto à estruturação do solo entre o sistema de semeadura direta e o sistema de preparo convencional e quanto à sucessão de culturas gramínea-gramínea e gramínea-leguminosa em sistema de semeadura direta. Portanto, o objetivo foi avaliar alguns atributos físicos e o teor de CO do Latossolo Vermelho em áreas sob mata reflorestada, sistema de semeadura de direta, com sucessão gramínea-gramínea e gramínea-leguminosa, e sistema de preparo convencional do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A preservação dos recursos naturais tem sido uma das principais preocupações mundiais nos últimos anos (WWAP, 2018). Dentre esses recursos

está o solo, que tem como uma de suas funções sustentar o crescimento e o desenvolvimento das plantas (Brady e Weil, 2013). A degradação do solo é um grave problema ambiental, devido ao desmatamento e ao uso e manejo inadequado (Lal, 1997).

Para reduzir o processo de degradação do solo e as consequências negativas geradas, existem diversas alternativas, como o sistema de preparo do solo, que consideram fatores como o clima, o relevo, e sobretudo a estrutura do solo (Plante e McGill, 2002). A estrutura do solo regula a infiltração e a retenção de água, as trocas gasosas, a dinâmica da matéria orgânica do solo e dos nutrientes, a penetração das raízes e a suscetibilidade à erosão.

Os efeitos dos sistemas de preparo do solo podem ser avaliados por meio de atributos físicos que permitem avaliar a estrutura do solo. Os atributos comumente utilizados são os que indicam a agregação e a porosidade, uma vez que a estrutura do solo pode ser definida como o arranjo da fração sólida e os poros.

O processo de agregação resulta do rearranjo de partículas, da flocculação e sedimentação de minerais (Duiker et al., 2003). A agregação é mediada pelo teor de carbono orgânico do solo (CO), pontes iônicas, ação dos microrganismos do solo, teor de argila e carbonatos. Segundo Tisdall e Oades (1982), a agregação compreende estágios de organização hierárquica da fase sólida do solo e cada estágio envolve agentes cimentantes próprios. Essa ordem hierárquica, responsável pela formação de microagregados e macroagregados, foi identificada em solos onde o CO é o principal agente cimentante (Oades e Waters, 1991).

O CO é considerado um agente cimentante e um núcleo de formação de agregados e tem essa função destacada em solos sob clima tropical, como os Latossolos argilosos no Brasil (Castro Filho et al., 2002; Tivet et al., 2013). O fato destes Latossolos terem elevados teores de argila, óxidos e hidróxidos nas camadas superficiais mostra que é preciso cuidado na generalização para outros solos; portanto se faz necessário mais estudos em um conjunto de solos sob diferentes práticas de manejo (Hontoria et al., 2016).

Os efeitos do CO como agente cimentante no processo de agregação do solo, como o sequestro de CO, tem estimulado o estudo dos mecanismos que envolvem a proteção do CO dentro dos agregados, uma vez que esses mecanismos contribuem

para a mitigação das emissões de gases do efeito estufa. Os agregados protegem o CO por meio da formação de barreiras físicas que separam o substrato e a biomassa microbiana; evitando, assim, processos enzimáticos e microbianos (Six et al., 2002).

Um fator relevante a ser considerado no processo de agregação é a presença de raízes no solo. As raízes provocam o arranjo das partículas do solo e liberam exsudatos, que geram alterações físicas, químicas e biológicas no solo influenciando a agregação. O volume e a distribuição das raízes junto à atividade microbiológica, presente na rizosfera, contribuem para a maior estabilidade dos agregados do solo (Caravaca et al., 2002; Rillig et al., 2002), devido à liberação, pelos microrganismos, de diversos compostos químicos que têm efeito cimentante entre as partículas do solo.

Em considerável parte dos trabalhos, a agregação do solo é estudada sob o ponto de vista da distribuição dos agregados em classes de tamanho e da estabilidade dos agregados em água (Nimmo e Perkins, 2002). Esses dois parâmetros permitem a avaliação dos efeitos de diferentes sistemas de preparo do solo sobre o processo de agregação e conseqüentemente a conservação do solo.

Por sua vez, a porosidade do solo tem sua importância no crescimento e no desenvolvimento vegetal e na dinâmica dos processos que ocorrem no solo. Os poros que resultam do arranjo de partículas primárias do solo são denominados poros texturais, enquanto os poros maiores, resultantes da atividade biológica, do clima e dos sistemas de preparo do solo, são denominados poros estruturais. De acordo com o tamanho, os poros podem ser classificados como macroporos, mesoporos e microporos, embora existam diferentes categorias e limites de tamanho entre essas categorias (Pagliai e Vignozzi, 2002).

Existem poros que são formados pela morte de raízes, denominados bioporos, importantes para promover a difusão de gases e água influenciando, assim, a dinâmica do oxigênio e dos nutrientes e, conseqüentemente, o crescimento e o desenvolvimento das raízes (Stirzaker et al., 1996; Kautz, 2014). Alguns fatores, como a dispersão de argila, os sistemas de preparo do solo, a compactação, a formação de crostas, podem provocar a diminuição da porosidade (Pagliai e Vignozzi, 2002).

Os sistemas de preparo do solo, desde aqueles considerados convencionais até os conservacionistas, provocam alterações na agregação e na porosidade, conseqüentemente na estrutura do solo. No Brasil, com a abertura de áreas para agricultura e o advento de máquinas e implementos, o sistema de preparo adotado foi o sistema de preparo convencional (SPC). No SPC o solo é revolvido por aração e gradagem antes do plantio ou semeadura da cultura, com o objetivo de aumentar a aeração do solo, incorporar corretivos da acidez do solo e os resíduos vegetais (Bertol et al., 2004). Silva et al. (2016), comparando uma área sob SPC com outra sob sistema de semeadura direta (SSD) há 30 anos, encontraram maior macroporosidade, na camada superficial da área sob SPC ($0,20 \text{ m m}^{-3}$) do que na área sob SSD ($0,12 \text{ m m}^{-3}$), indicando assim maior volume de poros para difusão de gases e água.

Por outro lado, o SPC provoca a desagregação, apresentando agregados menos estáveis e de menor tamanho, a diminuição do teor de carbono orgânico (CO) no solo e a compactação de camadas abaixo do alcance dos implementos (Hernanz et al., 2009; Huang et al., 2015; Silva et al., 2016). Dessa forma, tem-se conseqüências negativas para o solo, como o processo de erosão, intensificado em áreas inclinadas, e danos à biota do solo.

Diante disso e dos custos que as operações demandam, adotaram-se sistemas de preparo conservacionistas, que visam o menor revolvimento do solo e a manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície (Cates et al., 2016) como o SSD. Como se tem maior aporte de material orgânico na superfície, existe assim maior teor de carbono orgânico no solo e, conseqüentemente, os agregados são mais estáveis e de maior tamanho. Essa explicação é validada em diferentes trabalhos que comparam sistemas de manejo onde se tem acúmulo de resíduos vegetais com sistemas onde ocorre o revolvimento do solo (Loss et al., 2011, Silva et al., 2016).

Nesse contexto, o SSD tem sido considerado uma das práticas de manejo mais importantes para permitir o desenvolvimento sustentável das culturas e para responder às futuras demandas de alimento e, ao mesmo tempo, preservar a qualidade do solo, reduzindo a erosão, aumentando teor de carbono orgânico, a

agregação, a biodiversidade e a atividade biológica do solo (Hontoria et al., 2016; Pires et al., 2017).

Desse ponto de vista, o SSD é o sistema de preparo que mais se assemelha a uma floresta nativa, onde o solo está permanentemente coberto. Contudo, existe nesse sistema a ação das hastes sulcadoras da semeadora, para abertura do sulco de adubo, e o tráfego de máquinas e implementos, para os tratos culturais e a colheita. Devido ao acúmulo de resíduos na superfície do solo sob SSD, a atividade microbiológica do solo promove o maior aporte de CO (Ogle et al., 2012) e assim intensifica o processo de agregação do solo, além de reduzir a emissão de CO₂ para atmosfera (Six e Paustian, 2014).

As culturas utilizadas no SSD, como gramíneas ou leguminosas, desempenham papel importante sobre os processos que ocorrem no solo, dado à diversidade de características, como a distribuição do sistema radicular no solo, a composição e a deposição de resíduos na superfície (Hammerbeck et al., 2012). As gramíneas, como o milho, apresentam raízes que têm elevada capacidade de agregação do solo, pelas características morfológicas e pelo elevado teor de fenóis nos seus resíduos (Kumar et al., 2017). Já as leguminosas, como a soja, têm raízes distribuídas principalmente na camada superficial, menor retorno de resíduos vegetais para o solo com baixa concentração de fenóis (Martens, 2000).

As áreas agrícolas sob SSD têm aumentado continuamente. No mundo, cerca de 45 milhões de hectares estavam sob SSD em 1999, passando para 111 milhões de hectares em 2009 (Derpsch et al., 2010). No Brasil, a área sob SSD cresceu de 1,3 milhões de hectares em 1991 para 32,9 milhões de hectares em 2017 (IBGE, 2017). A rápida adoção mundial do SSD pelos agricultores pode ser atribuída a algumas das principais vantagens, como a redução de combustível, de mão-de-obra, economia de tempo e controle da erosão (Lal et al., 2007). No entanto, a adoção desse sistema gera algumas preocupações como a compactação do solo, que entre seus efeitos apresenta a redução da porosidade e o aumento da densidade e da resistência do solo à penetração (Silva et al., 2009; Moraes et al., 2016).

É relevante considerar que a amplitude dos efeitos dos sistemas de preparo na qualidade da estrutura do solo é extremamente dependente da variabilidade e sensibilidade dos atributos físicos escolhidos. A distribuição granulométrica, a

densidade do solo, a distribuição da porosidade e a estabilidade dos agregados são os parâmetros mais utilizados para avaliar os efeitos dos usos do solo e dos sistemas de preparo sobre a estrutura do solo (Zornoza et al., 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

As áreas utilizadas para a avaliação dos atributos do solo localizaram-se próximas às coordenadas geodésicas 21°14'47"S, 48°17'08"W e altitude média de 550 metros. O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, definido como tropical de inverno seco, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio superior a 18°C. A precipitação média anual é de 1400 mm, com concentração de chuvas no período de outubro a março e relativa seca entre abril e setembro.

Foram utilizadas quatro áreas para avaliação dos atributos do solo: uma de mata reflorestada (MR) e três áreas com semeadura de milho, sendo duas áreas sob sistema de semeadura direta (SSD) e uma área sob sistema de preparo convencional (SPC). Nas áreas sob SSD não houve o preparo do solo e no período da safra (outubro a março) cultivou-se o milho. A diferença entre as duas áreas foi a cultura da entressafra (abril a setembro), milho na primeira, constituindo assim uma sucessão de culturas gramínea-gramínea (SSD-gr) e crotalária na segunda, sendo uma sucessão gramínea-leguminosa (SSD-le).

Na área sob MR, ocorrem principalmente as espécies *Trema micrantha*, *Tabebuia cassinoides*, *Rhamnidium elaeocarpum*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Chorisia speciosa*, *Schizolobium parahyba*, *Cariniana legalis*, *Schinus terebinthifolia*, *Swietenia macrophylla*, *Tabebuia roseoalba* e *Handroanthus impetiginosus*.

Na área sob SPC, o preparo do solo foi realizado com uma aração e duas gradagens na camada de 0,00-0,30 m. No período da safra cultivou-se o milho e no período da entressafra manteve-se em pousio com vegetação espontânea, constituída principalmente pelas espécies *Digitaria insularis*, *Conyza bonariensis*, *Alternanthera ficoidea* e *Cenchrus echinatus*. Nas áreas sob SSD-gr, SSD-le e SPC são empregados esses sistemas de preparo há mais de 10 anos.

O solo das quatro áreas foi caracterizado como Latossolo Vermelho eutroférico típico, textura argilosa, A moderado, caulínítico-oxídico (LVef) (Andrioli e Centurion, 1999). A composição granulométrica do solo, nas camadas 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m de profundidade, foi determinada de acordo com Claessen et al. (1997) (Tabela 1).

Tabela 1. Teores médios de argila, areia e silte dos solos sob mata reflorestada (MR), sistema de semeadura direta (SSD-gramínea e SSD-le) e sistema de preparo convencional (SPC).

	0,00 – 0,10 m			0,10 – 0,20 m			0,20 – 0,30 m		
	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte
	----- g kg ⁻¹ -----								
M	582	191	227	601	184	215	603	185	212
SSD-gr	426	197	377	511	193	296	539	184	277
SSD-le	445	201	354	537	179	284	552	174	274
SPC	552	172	276	558	170	272	566	165	269

A amostragem do solo foi realizada em novembro de 2016, 15 dias após a semeadura do milho. Para determinar os atributos físicos do solo foram amostrados 20 pontos em cada área e coletadas amostras indeformadas e deformadas de solo nas camadas 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m de profundidade.

Coletaram-se as amostras indeformadas de solo utilizando-se anéis volumétricos (0,05 x 0,05 m) com o auxílio de amostrador tipo Uhland. Nessas amostras, os atributos determinados foram macroporosidade (Macro), microporosidade (Micro) e densidade do solo (Ds), de acordo com Claessen et al. (1997), e resistência do solo à penetração (RP), de acordo com Tormena et al. (1998).

Coletaram-se as amostras deformadas de solo, com auxílio de enxadão, para a determinação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados e com auxílio de trado holandês, para a determinação do índice de estabilidade de agregados (IEA), segundo Nimmo e Perkins (2002), e do teor de carbono orgânico (CO), pelo método colorimétrico (Yeomans e Bremner, 1988).

Para a caracterização das áreas, realizou-se a estatística descritiva para determinar a média e o erro padrão da média para cada variável, em cada camada nos sistemas de preparo correspondentes.

Os dados foram submetidos à análise fatorial, uma técnica exploratória multivariada, que possibilita explicar a estrutura de dependência entre as variáveis. Os fatores são variáveis latentes e foram construídos pelo método de componentes principais que são os autovetores calculados com os autovalores extraídos da matriz de correlação entre as variáveis (Hair et al., 2009).

Para a execução da análise, os dados foram normalizados (média = 0 e variância = 1) e as cargas relevantes foram admitidas com valor igual ou maior que 0,6. Os processos contidos nos fatores são independentes uns dos outros e não possuem unidades.

Os efeitos “sistema de preparo”, “camada do solo” e a interação entre eles foram testados com um modelo linear generalizado (MLG). As diferenças entre os níveis de efeitos principais foram testadas com o teste de comparação múltipla de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram processadas no software Statistica 7.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela estatística descritiva pode-se observar a média e o respectivo erro padrão da média dos valores dos atributos do solo avaliados nas camadas 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m de profundidade no solo sob mata reflorestada (MR), sistema de semeadura direta (SSD-gramínea e SSD-leguminosa) e sistema de preparo convencional (SPC) (Figuras 1 e 2).

O diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados foi menor no solo sob SPC nas três camadas e o índice de estabilidade de agregados (IEA) apresentou valores próximos no solo sob MR e sob sistemas de preparo nas camadas avaliadas. O solo sob MR apresentou o maior teor de carbono orgânico (CO) nas três camadas, enquanto o solo sob SPC, o menor. Na camada de 0,00-0,10 m, o teor de CO do solo sob SSD-gr e SSD-le foram próximos ao sob MR e nas camadas de 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m, intermediários entre o solo sob MR e o SPC. Isso mostra a capacidade do solo sob MR acumular CO, tanto em quantidade quanto em profundidade (Wolschick et al., 2018). O teor de CO semelhante na camada superficial e maior que nas demais, no solo sob MR, SSD-gr e SSD-le demonstra o

efeito positivo que o acúmulo de resíduos vegetais na superfície e o não revolvimento do solo tem sobre o teor de CO.

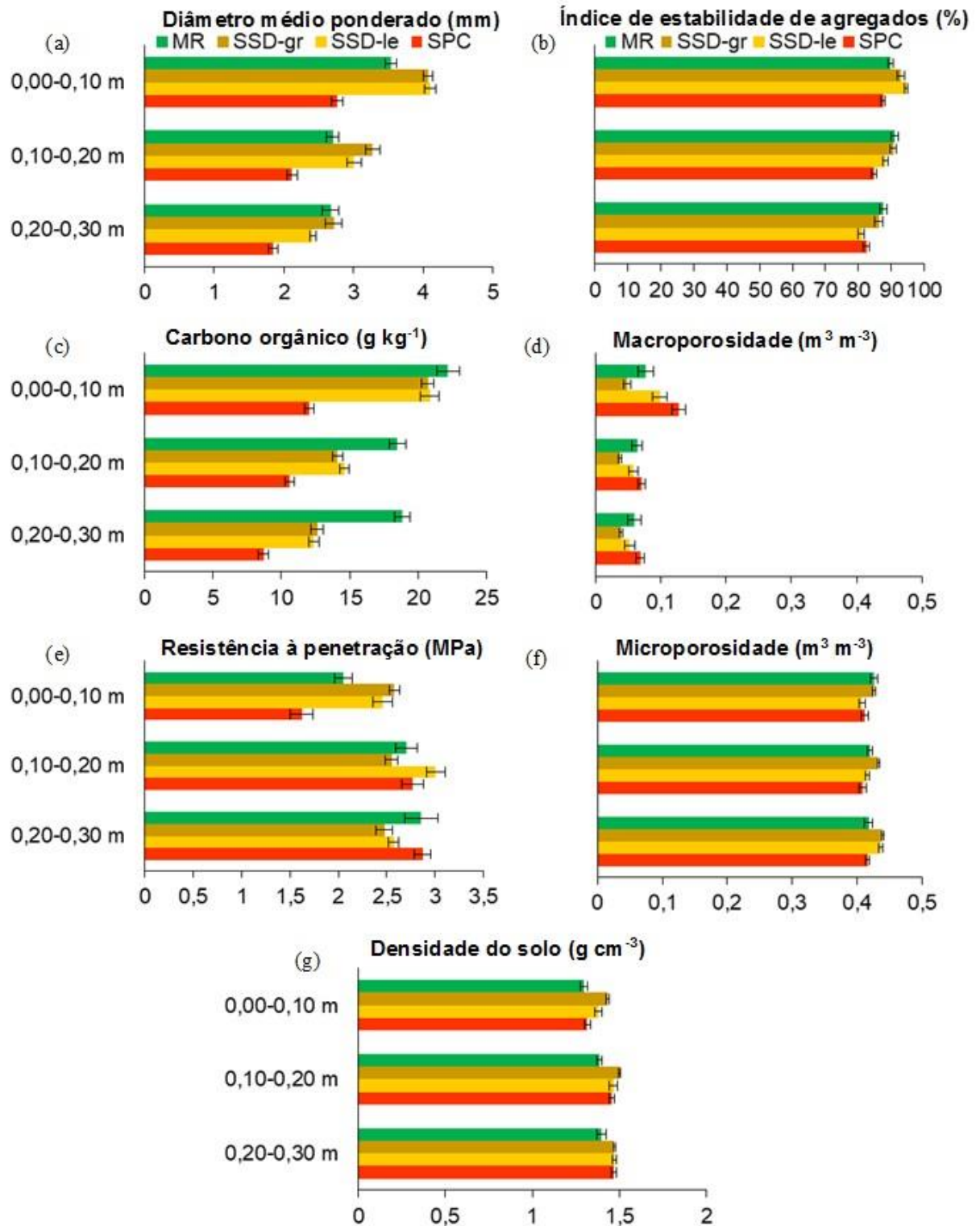


Figura 1. Média e erro padrão da média dos atributos do solo sob mata reflorestada (MR), sistema de semeadura direta (SSD-gramínea e SSD-leguminosa) e sistema de preparo convencional (SPC).

Na camada 0,00-0,10 m do solo sob SPC, observou-se a maior macroporosidade (Macro) e a menor resistência do solo à penetração (RP), em relação ao solo das demais áreas. Silva et al. (2016) obtiveram resultado semelhante e isto ocorre principalmente pela mobilização do solo nas operações de preparo. A microporosidade (Micro) e a densidade do solo (Ds) não apresentaram valores com diferenças relevantes entre os sistemas de preparo e MR nas três camadas.

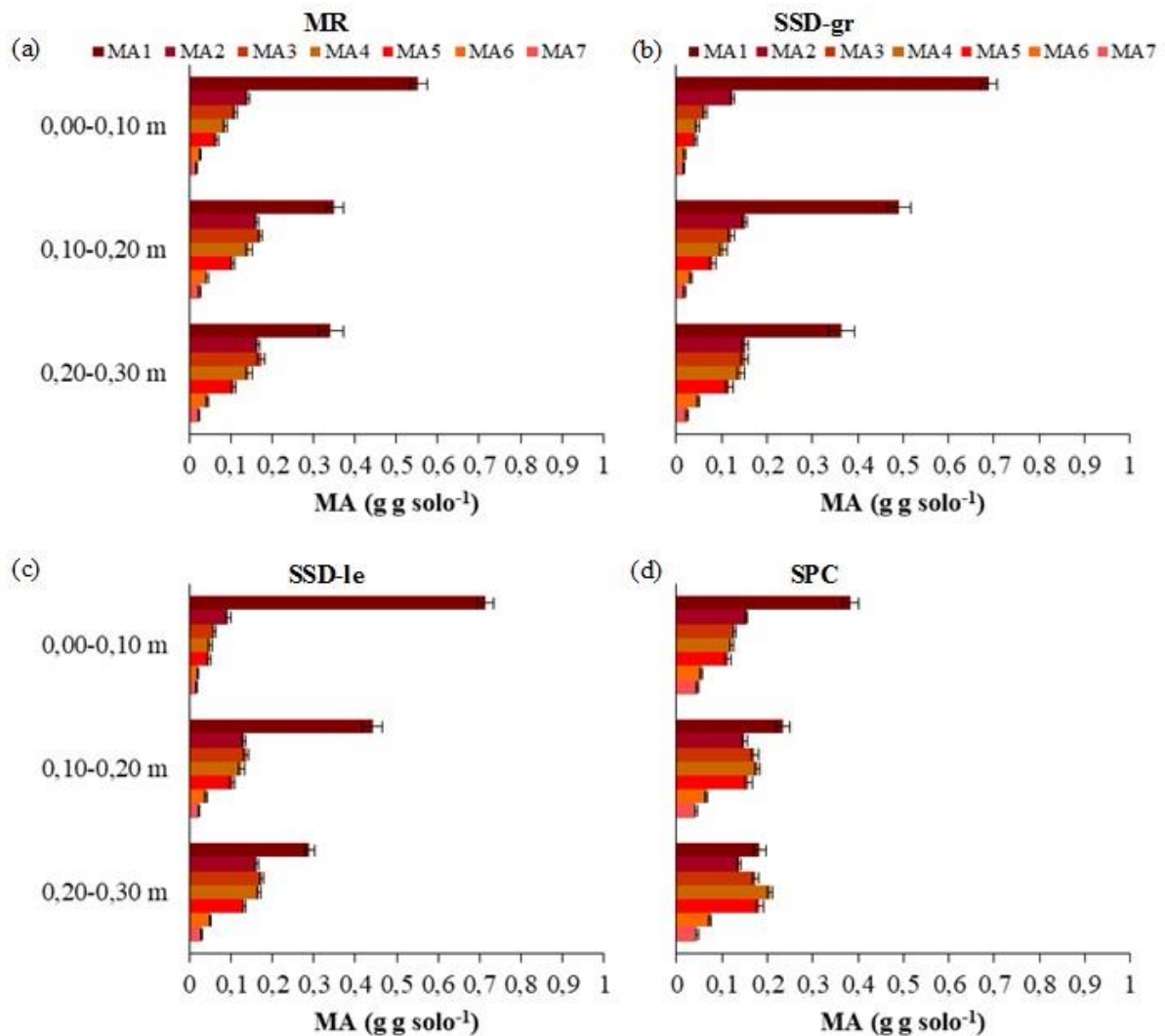


Figura 2. Média e erro padrão da média das classes de agregados sob mata reflorestada (MR-a), sistema de semeadura direta (SSD-gramínea-b e SSD-leguminosa-c) e sistema de preparo convencional (SPC-d). MA1: massa de agregados com diâmetro > 4 mm; MA2: massa de agregados com diâmetro entre 4 a 2 mm; MA3: massa de agregados com diâmetro entre 2 e 1 mm; MA4: massa de agregados com diâmetro entre 1 e 0,500 mm; MA5: massa de agregados com diâmetro entre 0,500 e 0,250 mm; MA6: massa de agregados com diâmetro 0,250 e 0,125 mm; MA7: massa de agregados com diâmetro < 0,125 mm.

A classe de agregados com diâmetro > 4 mm (MA1) apresentou maior massa na camada 0,00-0,10 m (Figura 2), tanto na MR quanto nos sistemas de preparo (SSD-gr, SSD-le e SPC). No SSD-gr e no SSD-le a massa de agregados, da classe e camada acima referidas, é um pouco maior que na MR. Como no SPC ocorre a quebra de agregados com o revolvimento do solo, nas três camadas, a MA1 foi menor e, conseqüentemente, as demais classes foram maiores, em relação ao solo sob MR, SSD-gr e SSD-le.

Foi aplicada a estatística multivariada por análise de fatores para caracterizar e explicar os processos do solo. Para a análise de fatores, foram utilizados os valores dos atributos do solo coletados nas três camadas das quatro áreas. Foi possível separar dois processos (Tabela 2), o primeiro denominado “agregação do solo”, explicado por 46% da variância do conjunto original dos dados, e o segundo denominado “porosidade do solo”, explicado por 20%; portanto responsáveis por 66% da variabilidade contida na matriz de covariância.

Tabela 2. Coeficiente de correlação da análise de fatores dos atributos do solo, com dois processos (“agregação do solo” e “porosidade do solo”), em mata reflorestada (MR), sistemas de semeadura direta (SSD-gramínea e SSD-leguminosa) e sistema de preparo convencional (SPC).

Atributos do solo	“Agregação do solo”	“Porosidade do solo”
Diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP)	-0,9195	0,0288
Massa de agregados com diâmetro > 4 mm (MA1)	-0,8801	0,0317
Massa de agregados com diâmetro entre 4 e 2 mm (MA2)	0,1986	0,0295
Massa de agregados com diâmetro entre 2 e 1 mm (MA3)	0,6236	-0,0888
Massa de agregados com diâmetro entre 1 e 0,500 mm (MA4)	0,8836	-0,0802
Massa de agregados com diâmetro entre 0,500 e 0,250 mm (MA5)	0,9683	-0,0462
Massa de agregados com diâmetro entre 0,250 e 0,125 mm (MA6)	0,9563	0,0525
Massa de agregados com diâmetro < 0,125 mm (MA7)	0,8147	0,2128
Índice de estabilidade de agregados (IEA)	-0,6139	0,1817
Carbono orgânico (CO)	-0,8067	0,0878
Macroporosidade (Macro)	0,0829	0,9099
Microporosidade (Micro)	-0,0991	-0,7323
Densidade do solo (Ds)	0,1446	-0,9006
Resistência do solo à penetração (RP)	0,0819	-0,7429
Variância relativa	46%	20%

Variância relativa refere-se à porcentagem da variação do conjunto original dos dados retidos pelo processo.

No processo “agregação do solo”, identificaram-se os atributos do solo com coeficientes de correlação negativos, diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), massa de agregados com diâmetro > 4 mm (MA1), índice de estabilidade de agregados (IEA) e carbono orgânico do solo (CO) e os atributos do solo com coeficientes de correlação positivos, massa de agregados com diâmetro entre 2 e 1 mm (MA3), massa de agregados com diâmetro entre 1 a 0,500 mm (MA4), massa de agregados com diâmetro entre 0,500 a 0,250 mm (MA5), massa de agregados com diâmetro entre 0,250 a 0,125 mm (MA6) e massa de agregados com diâmetro < 0,125 mm (MA7). Os atributos com mesmo sinal correlacionaram-se diretamente entre si e os atributos com sinal distinto correlacionaram-se indiretamente entre si.

No processo “agregação do solo”, o CO atuou como agente cimentante dos agregados com diâmetro menor que 2 mm (MA3, MA4, MA5, MA6 e MA7), unindo-os em agregados com diâmetro maior que 4 mm (MA1). Dessa forma, quanto maior o teor de CO, maior a quantidade de macroagregados, menor a quantidade de microagregados e conseqüentemente maior o DMP dos agregados.

A atuação do CO no processo de agregação do solo como um agente cimentante foi demonstrada em diversos trabalhos, tendo essa função destacada em Latossolos argilosos no Brasil (Castro Filho et al., 2002; Tivet et al., 2013). Assim, o maior teor de CO favorece a união de partículas minerais e microagregados (Tisdall e Oades, 1982), formando agregados de maior diâmetro (DMP e MA1) e mais estáveis em água (IEA). A teoria hierárquica é um dos mecanismos de agregação do solo que propõe a união dos microagregados para formar os macroagregados (Edwards e Bremner, 1967).

Na análise de variância, observou-se interação significativa entre sistema de preparo e camada do solo para o processo “agregação do solo” (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de variância (ANOVA) para o processo “agregação do solo”.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	P
Sistema de preparo	3	107,11	35,70	138,55	<0,01**
Camada do solo	2	69,00	34,50	133,87	<0,01**
Sistema de preparo*camada do solo	6	4,13	0,69	2,67	<0,05*
Resíduo	228	58,76	0,26		
Total	239	239			

*: significativo (p<0,05). **: significativo (p<0,01).

Os maiores teores de CO foram determinados na camada 0,00-0,10 m, das áreas sob SSD-gr, SSD-le e MR (Figura 1), que favoreceu o processo “agregação do solo” (Tabela 4). Na camada 0,00-0,10 m desses dois sistemas de preparo e da MR, o IEA, DMP, MA1 e o teor de CO foram maiores que nas demais camadas. A vegetação nativa proporciona o acúmulo de resíduos vegetais sob a superfície, como folhas e galhos, que pela ação microbiológica são convertidos em CO no solo, principalmente na camada mais superficial (Cambardella e Elliott, 1993). O sistema de semeadura direta também permite esse acúmulo, além da concentração de raízes das culturas nessa camada superficial do solo (Nascente et al., 2015). Tanto na MR, como no SSD-gr e SSD-le não ocorreu a incorporação mecânica dos resíduos ao solo, portanto a elevação do teor de CO no solo, nessa situação, aliada à atividade microbiológica e às características da fração sólida do solo, proporciona maiores valores aos atributos que indicam agregados com maiores diâmetros e mais estáveis.

Tabela 4. Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para a interação sistema de preparo e camada do solo do processo “agregação do solo”

Sistema de preparo	Camada (m)	Escores	
Sistema de semeadura direta (SSD-gramínea)	0,00 – 0,10	-1,29	a
Sistema de semeadura direta (SSD-leguminosa)	0,00 – 0,10	-1,07	a
Mata reflorestada (MR)	0,00 – 0,10	-1,00	ab
Sistema de semeadura direta (SSD-gramínea)	0,10 – 0,20	-0,48	bc
Mata reflorestada (MR)	0,10 – 0,20	-0,19	cd
Mata reflorestada (MR)	0,20 – 0,30	-0,12	cd
Sistema de semeadura direta (SSD-leguminosa)	0,10 – 0,20	0,00	cde
Sistema de semeadura direta (SSD-gramínea)	0,20 – 0,30	0,21	def
Sistema de preparo convencional (SPC)	0,00 – 0,10	0,51	ef
Sistema de semeadura direta (SSD-leguminosa)	0,20 – 0,30	0,54	f
Sistema de preparo convencional (SPC)	0,10 – 0,20	1,21	g
Sistema de preparo convencional (SPC)	0,20 – 0,30	1,69	g

Sistemas de preparo em suas respectivas camadas seguidos das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As interações de sistema de preparo e camada do solo com escores negativos se correlacionam com os atributos do solo da tabela 2 de coeficientes negativos e as interações com escores positivos se correlacionam com os atributos do solo da tabela 2 de coeficientes positivos.

O processo “agregação do solo” na camada 0,10-0,20 m do solo sob SSD-gr e SSD-le foi semelhante. Entretanto, observou-se que o processo de agregação na camada 0,10-0,20 m do solo sob SSD-gr foi semelhante àquele na camada 0,00-

0,10 m do solo sob MR, enquanto na mesma camada 0,10-0,20 m do solo sob SSD-le, o processo “agregação do solo” foi menor que aquele na camada 0,00-0,10 m do solo sob MR. Isso mostra a diferença entre a utilização de gramínea ou leguminosa na entressafra do SSD. As gramíneas possuem sistema radicular mais ramificado, que alcança profundidade superior ao das leguminosas, e assim beneficiam a formação de macroagregados no solo (Salton et al., 2008). Kumar et al. (2017) avaliaram o efeito das raízes de milho na estabilidade de agregados do solo e concluíram que a presença de raízes estimulou a atividade microbiana, que governa as reações catalíticas da decomposição do CO, um dos responsáveis pelo processo de agregação.

O processo “agregação do solo” na camada 0,20-0,30 m do solo sob SSD-gr e SSD-le foi semelhante. Entretanto, observou-se que o processo de agregação na camada 0,20-0,30 m do solo sob SSD-gr foi semelhante àquele na camada 0,10-0,20 m do solo sob MR, enquanto na mesma camada 0,20-0,30 m do solo sob SSD-le, o processo “agregação do solo” foi menor que aquele na camada 0,10-0,20 m do solo sob MR. Dessa forma, evidencia-se mais uma vez, o efeito das raízes de gramíneas sobre a agregação do solo, conforme discutido anteriormente.

Os menores teores de CO foram determinados no solo sob SPC (Figura 1), que prejudicou o processo “agregação do solo”. Esse processo na camada 0,00-0,10 m do solo sob SPC foi semelhante àquele na camada 0,20-0,30 m do solo sob SSD-gr e SSD-le. Observou-se também, nas três camadas, que o processo de agregação no solo sob SPC foi inferior às respectivas camadas do solo sob MR. Isso ocorre devido ao processo de incorporação dos resíduos vegetais pelas operações de preparo, que aceleram a decomposição do material orgânico e favorecem a oxidação do CO, diminuindo assim o teor de CO no solo (Hernanz et al., 2009; Sombrero e De Benito, 2010). Além disso, no SPC, o preparo do solo promoveu a quebra mecânica dos agregados, provocada pela realização das operações de aração e gradagem.

Tanto na MR, quanto nos três sistemas de preparo, SSD-gr, SSD-le e SPC, o processo “agregação do solo” foi superior na camada superficial do solo, em decorrência do maior teor de CO. Nath e Lal (2017) avaliaram o teor de CO e o tamanho dos agregados em áreas de preparo de milho sob SSD e SPC e

constatarem que os resíduos das culturas que ficam na superfície no SSD, aumentam o teor de CO e os valores de agregados de maior diâmetro em relação ao SPC.

Agregados com maior diâmetro e estáveis e a cobertura da superfície pelos resíduos vegetais proporcionam ao solo maior resistência ao impacto das gotas de chuva. Com o favorecimento da agregação, o arrastamento das partículas do solo pelo escoamento superficial da água é reduzido, o que constitui uma das características de um sistema conservacionista.

No processo denominado “porosidade do solo”, os atributos com coeficientes negativos, microporosidade (Micro), densidade (Ds) e resistência do solo à penetração (RP), correlacionaram-se diretamente entre si e indiretamente ao atributo com coeficiente positivo, macroporosidade (Macro) (Tabela 2). Esse processo expressou a estrutura do solo, uma vez que esta pode ser definida como sendo o arranjo entre os sólidos do solo e o espaço poroso entre eles (Bronick e Lal, 2005), o que é indicado pelos atributos envolvidos.

Ressalta-se que os processos, definidos pelo procedimento estatístico, são independentes uns dos outros (Milstein et al., 2005), ou seja, o processo “porosidade do solo” não tem relação com o processo “agregação do solo”. Portanto, os atributos do solo identificados no processo “porosidade do solo” não decorrem dos atributos do solo identificados no processo “agregação do solo” ou vice-versa, pois se assim o fossem, os atributos estariam identificados em um único processo estatístico.

Do ponto de vista pedológico espera-se que maior agregação do solo proporcione maior porosidade. Mas a análise estatística utilizada mostra independência entre os processos denominados “agregação do solo” e “porosidade do solo”. Essa independência ocorre possivelmente devido ao efeito mais significativo do revolvimento do solo do que devido ao efeito de agregação. A coleta das amostras de solo foi feita 15 dias após a semeadura do milho e no caso do SPC, o solo encontra-se ainda sob o efeito recente e efêmero das operações de preparo (Silva et al., 2012), que permite um elevado valor na Macro.

Observou-se que, para o processo “porosidade do solo”, a interação entre sistema de preparo e camada do solo foi significativa (Tabela 5).

Tabela 5. Análise de variância (ANOVA) para o processo “porosidade do solo”

Causa de variação	GL	SQ	QM	F	P
Sistema de preparo	3	29,77	9,92	14,70	<0,01**
Camada do solo	2	43,83	21,92	32,47	<0,01**
Sistema de preparo*camada do solo	6	11,52	1,92	2,84	<0,05*
Resíduo	228	153,88	0,67		
Total	239	239			

*: significativo ($p < 0,05$). **: significativo ($p < 0,01$).

Nesse processo, na camada 0,00-0,10 m, o solo sob SPC foi semelhante ao sob MR, que estão relacionados aos maiores valores de Macro, entretanto por razões distintas (Tabela 6).

Tabela 6. Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para a interação sistema de preparo e camada do solo do processo “porosidade do solo”

Sistema de preparo	Camada (m)	Escores	
Sistema de preparo convencional (SPC)	0,00 – 0,10	1,45	a
Mata reflorestada (MR)	0,00 – 0,10	0,65	ab
Sistema de semeadura direta (SSD-leguminosa)	0,00 – 0,10	0,57	bc
Mata reflorestada (MR)	0,10 – 0,20	0,09	bcd
Sistema de preparo convencional (SPC)	0,10 – 0,20	0,01	bcd
Mata reflorestada (MR)	0,20 – 0,30	-0,05	bcd
Sistema de preparo convencional (SPC)	0,20 – 0,30	-0,23	cd
Sistema de semeadura direta (SSD-gramínea)	0,00 – 0,10	-0,27	cd
Sistema de semeadura direta (SSD-leguminosa)	0,10 – 0,20	-0,41	d
Sistema de semeadura direta (SSD-leguminosa)	0,20 – 0,30	-0,55	d
Sistema de semeadura direta (SSD-gramínea)	0,20 – 0,30	-0,60	d
Sistema de semeadura direta (SSD-gramínea)	0,10 – 0,20	-0,65	d

Sistemas de preparo em suas respectivas camadas seguidos das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As interações de sistema de preparo e camada do solo com escores negativos se correlacionam com os atributos do solo da tabela 2 de coeficientes negativos e as interações com escores positivos se correlacionam com os atributos do solo da tabela 2 de coeficientes positivos.

No SPC, o maior valor de Macro, avaliado aos 15 dias após a semeadura, foi decorrente do revolvimento do solo realizado por máquinas e implementos, que alterou a estrutura do solo e as frações do solo formaram um novo arranjo, aumentando a Macro. Entretanto esse efeito do preparo é efêmero, ou seja, persiste por um curto período de tempo. Esse efeito está associado à habilidade intrínseca do solo em recuperar-se da perturbação e retornar a um novo equilíbrio, semelhante ao estado antecedente, denominada de resiliência do solo (Blanco e Lal, 2010). Os

ciclos de umedecimento e secagem no perfil do solo promovem a acomodação das partículas e dos agregados do solo e assim a reconsolidação do solo e a curta persistência do preparo (Silva et al., 2012; Drescher et al., 2016).

Na MR, a Macro elevada provavelmente é resultante da morte de inúmeras raízes formando assim os bioporos, que são importantes por promover aeração e difusão da água no solo (Curmi et al., 1994).

O processo “porosidade do solo” na camada de 0,00-0,10 m do solo sob SSD-gr e SSD-le foi semelhante. Entretanto, observou-se que esse processo na camada de 0,00-0,10 m do solo sob SSD-le foi semelhante àquele na camada de 0,00-0,10 m do solo sob MR, enquanto na mesma camada de 0,00-0,10 m do solo sob SSD-gr, o processo “porosidade do solo” foi menor que aquele na camada de 0,00-0,10 m do solo sob MR. Como as leguminosas possuem sistema radicular com maior concentração na camada superficial, provavelmente o favorecimento do processo “porosidade do solo” na camada de 0,00-0,10 m do solo sob SSD-le, foi devido ao maior volume de raízes nessa camada formando os bioporos (Curmi et al., 1994).

Na área sob SPC, o processo “porosidade do solo” foi maior na camada superficial, em decorrência das operações de preparo do solo. Nas áreas sob MR e SSD-gr, esse processo foi semelhante nas três camadas avaliadas, o que reitera a distribuição do sistema radicular em profundidade favorecendo a estrutura do solo e a formação de bioporos e assim a porosidade. Na área sob SSD-le, esse processo foi maior na camada superficial, em decorrência da arquitetura do sistema radicular da leguminosa.

O revolvimento do solo promovido pelas operações de preparo favorece a porosidade do solo apenas na camada superficial. Entretanto, a utilização do SSD, por meio do sistema radicular das culturas, permite que a porosidade do solo seja semelhante entre as camadas no caso da sucessão gramínea-gramínea e superior na camada superficial no caso da sucessão gramínea-leguminosa.

Considerando os processos avaliados, a cultura de entressafra proporcionou efeitos nos atributos do solo seguindo a distribuição característica das raízes, mais uniforme entre as camadas, quando se cultiva a gramínea e concentrada na camada superficial, quando se cultiva a leguminosa.

Antes da implantação da agricultura, as áreas avaliadas eram matas nativas, ou seja, o ecossistema encontrava-se na condição original. Com o início das atividades agrícolas, essa condição foi alterada drasticamente, entretanto a comparação do solo sob sistemas de preparo com aquele sob mata permitiu constatar a semelhança da qualidade física do solo sob sistemas conservacionistas com a condição original. Mesmo em um solo com capacidade natural de agregação, foi possível verificar efeitos dos sistemas de preparo sobre os processos que ocorrem no solo. Assim, espera-se que esses efeitos também sejam verificados em solos com menor teor de argila, nos quais a capacidade de agregação não é tão evidente.

5 CONCLUSÕES

O sistema de preparo convencional promoveu a maior macroporosidade do solo avaliada aos 15 dias após a semeadura.

O sistema de semeadura direta promoveu a maior agregação do solo.

O sistema de semeadura direta com sucessão de culturas gramínea-gramínea contribuiu mais para a estruturação do solo do que aquele com sucessão de culturas gramínea-leguminosa.

6 REFERÊNCIAS

Andrioli I, Centurion JF (1999) Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-4.

Bertol I, Albuquerque JA, Leite D, Amaral AJ, Zoldan Junior, WA (2004) Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 28(1):155-163. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000100015>

Blanco H, Lal R (2010). Soil resilience and conservation. In: Blanco, H. & Lal, R., editor. **Principles of soil conservation and management**. Berlin: Springer Science Business Media, p.15-33.

Brady NC, Weil RR (2013) **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Porto Alegre: Bookman.

Brevik EC, Cerdà A, Mataix-Solera J, Pereg L, Quinton JN, Six J, Van Oost K (2015) The interdisciplinary nature of SOIL. **Soil** 1(1):117-129. <https://doi.org/10.5194/soil-1-117-2015>

Bronick CJ, Lal R (2005) Soil structure and management: a review. **Geoderma** 124(1-2):3-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>

Cambardella CA, Elliott ET (1993) Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal** 57(4):1071-1076. <https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700040032x>

Caravaca F, Hernandez T, Garcia C, Roldan A (2002) Improvement of rhizosphere aggregate stability of afforested semiarid plant species subjected to mycorrhizal inoculation and compost addition. **Geoderma** 108(1-2):133-144. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(02\)00130-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00130-1)

Castro Filho C, Lourenço A, Guimarães MDF, Fonseca ICB (2002) Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil and Tillage Research** 65(1):45-51. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00275-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00275-6)

Cates AM, Ruark MD, Hedtcke JL, Posner JL (2016) Long-term tillage, rotation and perennialization effects on particulate and aggregate soil organic matter. **Soil and Tillage Research** 155:371-380. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.09.008>

Claessen MEC, Barreto WO, Paula JL, Duarte MN (Eds.) (1997) **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-Centro Nacional de Pesquisa de Solos.

Curmi P, Kertzman FF, Queiroz Neto JP (1994) Degradation of structure and hydraulic properties in an Oxisol under cultivation (Brazil). In: Ringrose-Voase AJ, Humpherys GS (Eds.) **Soil micromorphology: studies in management and genesis**. Amsterdam: Elsevier, p.596-579. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70444-6](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70444-6)

Drescher MS, Reinert DJ, Denardin JE, Gubiani PI, Faganello A, Drescher GL (2016) Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 51:159–168. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000200008>

Derpsch R, Friedrich T, Kassam A, Li H (2010) Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** 3(1):1-25. DOI: <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2010.01.001-025>

Duiker SW, Rhoton FE, Torrent J, Smeck NE, Lal R (2003) Iron (hydr) oxide crystallinity effects on soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal** 67(2):606-611. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.6060>

Edwards AP, Bremner JM (1967) Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science** 18:64-73. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1967.tb01488.x>

Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE, Tatham RL (2009). **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman.

Hammerbeck AL, Stetson SJ, Osborne SL, Schumacher TE, Pikul JL (2012) Corn residue removal impact on soil aggregates in a no-till corn/soybean rotation. **Soil & Water Management & Conservation** 76(4):1390-1398. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2011.0421>

Hernanz JL, Sanchez-Giron V, Navarrete L (2009) Soil carbon sequestration and stratification in a cereal/leguminous crop rotation with three tillage systems in semiarid conditions. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 13:114–122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.05.009>

Hontoria C, Gómez-Paccard C, Mariscal-Sancho I, Benito M, Pérez J, Espejo R (2016) Aggregate size distribution and associated organic C and N under different tillage systems and Ca-amendment in a degraded Ultisol. **Soil and Tillage Research** 160:42-52. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.01.003>

Huang M, Liang T, Wang L, Zhou C (2015) Effects of no-tillage systems on soil physical properties and carbon sequestration under long-term wheat–maize double cropping system. **Catena** 128:195-202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.010>

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017) **Censo agropecuário**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6640#resultado>>. Acesso em: 30 mai. 2019.

Kautz T (2014) Research on subsoil biopores and their functions in organically managed soils: A review. **Renewable Agriculture and Food Systems** 30(4):318-327. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1742170513000549>

Kumar A, Dorodnikov M, Splettstößer T, Kuzyakov Y, Pausch J (2017) Effects of maize roots on aggregate stability and enzyme activities in soil. **Geoderma** 306:50-57. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.07.007>

Lal R (1997) Degradation and resilience of soils. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London** 352:997-1010. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0078>

Lal R, Reicosky DC, Hanson JD (2007) Evolution of the plow over 10,000 years and the rationale for no-till farming. **Soil and Tillage Research** 93(1):1-12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.11.004>

Loss A, Pereira MG, Giácomo SG, Perin A, dos Anjos LHC (2011) Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 46(10):1269-1276.

Martens DA (2000) Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. **Soil Biology and Biochemistry** 32(3):361-369. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00162-5](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00162-5)

Milstein A, Islam MS, Wahab MA, Kamal AHM, Dewan S (2005) Characterization of water quality in shrimp ponds of different sizes and with different management regimes using multivariate statistical analysis. **Aquaculture International** 13:501-518. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-005-9001-6>

Moraes MT, Debiasi H, Carlesso R, Franchini JC, da Silva VR, da Luz FB (2016). Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil and Tillage Research** 155: 351-362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.07.015>

Nascente AS, Li Y, Crusciol CAC (2015) Soil aggregation, organic carbon concentration, and soil bulk density as affected by cover crop species in a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 39(3):871-879. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/01000683rbcS20140388>

Nath AJ, Lal R (2017) Effects of tillage practices and land use management on soil aggregates and soil organic carbon in the north Appalachian region, USA. **Pedosphere** 27(1):172-176. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60301-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60301-1)

Nimmo JR, Perkins KS (2002) Aggregate stability and size distribution. **Science Society of America Journal** 5:317-328.

Oades JM, Waters AG (1991). Aggregate hierarchy in soils. **Soil Research** 29(6):815-828. DOI: <https://doi.org/10.1071/SR9910815>

Ogle SM, Swan A, Paustian K (2012) No-till management impacts on crop productivity, carbon input and soil carbon sequestration. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 149:37-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.12.010>

Pagliai M, Vignozzi N (2002) The soil pore system as an indicator of soil quality. **Advances in GeoEcology** 35:69-80.

Pires LF, Borges JA, Rosa JA, Cooper M, Heck RJ, Passoni S, Roque WL (2017). Soil structure changes induced by tillage systems. **Soil and Tillage Research** 165:66-79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.07.010>

Plante AF, McGill WB (2002) Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter in laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies. **Soil and Tillage research** 66(1):79-92. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00015-6](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00015-6)

Rillig MC, Wright SF, Eviner VT (2002) The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. **Plant and Soil** 238(2):325-333. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1014483303813>

Salton JC, Mielniczuk J, Bayer C, Boeni M, Conceição PC, Fabrício AC, Macedo MCM, Broch DL (2008) Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 32(1):11-21.

Silva FRD, Albuquerque JA, Costa AD, Fontoura SMV, Bayer C, Warmling MI (2016) Physical Properties of a Hapludox after Three Decades under Different Soil Management Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 40:1-14. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/18069657rbc20140331>

Silva SGC, Silva ÁP da, Giarola NFB, Tormena CA, Sá JC de M (2012) Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 36:547–555. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832012000200024>

Silva VRD, Reichert JM, Reinert DJ, Bortoluzzi EC (2009) Soil water dynamics related to the degree of compaction of two Brazilian Oxisols under no-tillage. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 33(5):1097-1104. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000500003>

Six J, Conant RT, Paul EA, Paustian K (2002) Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. **Plant and soil** 241(2):155-176. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1016125726789>

Six J, Paustian K (2014) Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. **Soil Biology and Biochemistry** 68:A4-A9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.06.014>

Sombrero A, de Benito A (2010) Carbon accumulation in soil. Ten-year study of conservation tillage and crop rotation in a semi-arid area of Castile-Leon, Spain. **Soil and Tillage Research** 107:64-70. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.02.009>

Stirzaker RJ, Passioura JB, Wilms Y (1996) Soil structure and plant growth: impact of bulk density and biopores. **Plant and soil** 185(1):151-162. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02257571>

Tisdall JM, Oades J (1982) Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of soil science** 33(2):141-163. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x>

Tivet F, Moraes Sa JC et al. (2013) Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil and Tillage Research** 126:203-218. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2012.09.004>

Tormena CA, Silva AP, Libardi PL (1998) Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 22:573-581. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831998000400002>

Wolschick NH, Barbosa FT, Bertol I, Bagio B, Kaufmann DS (2018) Long-term effect of soil use and management on organic carbon and aggregate stability. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 42:e0170393. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20170393>

WWAP - United Nations World Water Assessment Programme (2018) **The United Nations World Water Development Report 2018**. Paris: 2018. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261424e.pdf> Acesso em: 10 out. 2018

Yeomans JC, Bremner JM (1988) A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis** 13:1467-1476. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>

Zornoza R, Acosta JA, Bastida F, Domínguez SG, Toledo DM, Faz A (2015) Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. **Soil** 1(1):173-185. DOI: <https://doi.org/10.5194/soil-1-173-2015>