

Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido¹

Physical quality of a Latosol under no-tillage and conventional tillage in the semi-arid region

Rafael Pereira Sales^{2*}, Arley Figueiredo Portugal³, José Aloísio Alves Moreira³, Marcos Koiti Kondo² e Rodinei Facco Pegoraro⁴

RESUMO - Foi avaliada a qualidade física de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura franco-argilo-arenosa do semiárido, cultivado nos sistemas de plantio direto (SPD) e preparo convencional (SPC) com diferentes coberturas vegetais. O experimento foi implantado como parcela única (18 x 18 m) para cada um dos seis tratamentos: dois sistemas de cultivo e três culturas (milho, girassol e sorgo) semeadas no verão, precedentes ao feijão, semeado no outono/inverno, além da mata nativa (MN) como testemunha. Avaliou-se a cobertura morta na superfície do solo, resistência do solo à penetração, carbono orgânico total, estabilidade de agregados em água, densidade do solo, macroporos, microporos, porosidade total e retenção de água nas profundidades 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m. Os melhores indicadores físicos de qualidade do solo nas condições do semiárido foram obtidos no solo sob plantio direto com gramíneas. O SPD mantém a agregação do solo semelhante à MN, enquanto o SPC reduz a agregação e o aporte de carbono no solo. As gramíneas no SPD incrementam o teor de carbono no solo, devido à maior produção de cobertura morta em relação ao girassol. O SPD causa maior compactação superficial do solo que o SPC, mas não altera a retenção de água. Os tratamentos não influenciaram nenhum dos atributos na profundidade de 0,20-0,40 m.

Palavras-chave: Agregação. Porosidade. Densidade do solo. Carbono orgânico.

ABSTRACT - An evaluation was made of the physical quality of a sand-clay Red-Yellow Latosol loam in the semi-arid region, cultivated under no-tillage (SPD) and conventional tillage (SPC) systems under different soil cover. The experiment was set up in a single plot (18 x 18 m) for each of the six treatments: two cropping systems and three crops (maize, sunflower and sorghum) planted in the summer, ahead of the beans sown in the autumn/winter, with the native forest (MN) as control. Litter on the soil surface, soil penetration resistance, total organic carbon, aggregate stability in water, soil bulk density, macropores, micropores, total porosity and water retention were evaluated at depths of 0.00 to 0.05, 0.05 to 0.10, 0.10 to 0.20 and 0.20 to 0.40 m. The best physical indicators of soil quality under semi-arid conditions were found in the soil under no-tillage and grass. No-tillage keeps soil aggregation at a level similar to that of MN, whereas under conventional tillage, aggregation and carbon input are reduced in the soil. Grasses under no-tillage increase the carbon content of the soil, due to a greater production of litter compared to the sunflower. No-tillage causes greater surface soil compaction than conventional tillage but has no effect on water retention. The treatments had no effect on any of the attributes at the depth of 0.20 to 0.40 m.

Key words: Aggregation. Porosity. Soil density. Organic carbon.

*Autor para correspondência

DOI: 10.5935/1806-6690.20160052

¹Recebido para publicação em 02/10/2014; aprovado em 03/11/2015

Parte da Monografia apresentada ao Curso de Agronomia da Universidade Estadual de Montes Claros

²Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal no Semiárido Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Ciências Agrárias, Universidade Estadual de Montes Claros, Campus Janaúba, Av. Reinaldo Viana, 2630, Bico da Pedra, Janaúba-MG, Brasil, 39.440-000, rafaelpererasales@gmail.com, marcos.kondo@unimontes.br

³Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-MG, Brasil, arley.portugal@embrapa.br, jose.aloisio@embrapa.br

⁴Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Regional de Montes Claros, Montes Claros-MG, Brasil, rodinei_pegoraro@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

Com a remoção da cobertura vegetal para exploração agrícola, o solo é exposto à ação direta do clima, e, quando submetido à intensa atividade de cultivo, há o impacto sobre os processos físicos, químicos e biológicos, modificando sua qualidade (PORTUGAL *et al.*, 2012; RANGEL; SILVA, 2007). Solos semelhantes, submetidos a diferentes usos e manejos, possivelmente apresentarão níveis de degradação diferentes, sendo o sistema de preparo convencional causador da maior degradação do solo, em relação ao manejo conservacionista (ASSIS; LANÇAS, 2010; BERTOL *et al.*, 2004).

O sistema de preparo convencional acelera a decomposição da matéria orgânica, rompe os agregados e reduz sua estabilidade nas camadas manejadas, além de favorecer o aumento da densidade do solo e a resistência à penetração em subsuperfície (ARATANI *et al.*, 2009).

Comparativamente ao sistema convencional, no sistema de plantio direto é menor a decomposição da cobertura vegetal, acumulando a matéria orgânica e aumentando o teor de C orgânico total, que estabiliza a estrutura do solo, pelo efeito cimentante na formação e manutenção dos agregados (BARRETO *et al.*, 2009). Mesmo em sistemas de plantio direto irrigados no semiárido, o carbono orgânico do solo aumenta, devido à decomposição de resíduos e sua mineralização (GIUBERGIA; MARTELLOTTI; LAVADO, 2013).

Apesar dos benefícios, tem-se observado no plantio direto, a ocorrência de compactação da camada superficial do solo (BERTOL *et al.*, 2004), bem como consequente aumento da resistência do solo à penetração e a redução da macroporosidade (GOZUBUYUK *et al.*, 2014).

No semiárido, a compactação do solo em cultivos irrigados, ocorre principalmente devido ao preparo do solo em umidade acima da friabilidade, favorecendo o seu adensamento, que pode ser remediado com preparo profundo ou uso de espécies descompactadoras em rotação (RADFORD *et al.*, 2007). O plantio direto nessas condições acumula resíduos culturais, promovendo acúmulo de carbono, que beneficiam a absorção de água e infiltração, aumentando a sortividade do solo, porosidade total e macroagregação (SÁ *et al.*, 2014). Esses benefícios podem acentuar-se com o uso da rotação ou sucessão de culturas, que podem melhorar a estrutura do solo e reduzir a compactação, devido à síntese radicular de material orgânico, associado à configuração e proporção de raízes laterais (ANDRADE; STONE; SILVEIRA, 2009).

Com apenas dois anos de plantio direto de milho irrigado no semiárido, melhoram os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, havendo aumento no conteúdo de água, do carbono orgânico, nitrogênio,

da população microbiana e estabilidade de agregados (MUÑOZ; LÓPEZ-PIÑEIRO; RAMÍREZ, 2007), que, nessas condições, é resultado do acúmulo do carbono orgânico, cujas propriedades agregantes superam o efeito dispersante do sódio nestes sistemas (GIUBERGIA; MARTELLOTTI; LAVADO, 2013).

Em regiões semiáridas com baixas temperaturas (leste da Turquia), o plantio direto eleva a densidade do solo superficial, a resistência à penetração e umidade na capacidade de campo, acompanhado de redução na porosidade total e infiltração de água. Apesar disso, há aumento na germinação das culturas devido à maior umidade (GOZUBUYUK *et al.*, 2014).

A degradação do solo está associada à sua capacidade produtiva e sustentabilidade do sistema de manejo, sendo possível sua avaliação pelas propriedades físicas do solo (ARATANI *et al.*, 2009), que são influenciadas por fatores regionalizados, como clima, classe de solo, granulometria, mineralogia, além do uso ao qual o solo é submetido.

Na região climática do semiárido brasileiro, as alterações dos atributos físicos do solo sob sistemas irrigados são de grande importância para fornecer informações da qualidade do solo e sua capacidade produtiva (CORRÊA *et al.*, 2010), porém, tais informações ainda são escassas.

Assim, objetivou-se avaliar as alterações nos atributos físicos de um Latossolo do semiárido, cultivado nos sistemas de plantio direto (SPD) e preparo convencional (SPC) com diferentes coberturas vegetais.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em novembro de 2009, no Campo Experimental da Embrapa Milho e Sorgo, situado no Projeto Gorutuba, Nova Porteirinha, Minas Gerais (latitude 15°45'01" S, longitude 43°17'29" W e altitude 524 m). O clima, segundo Köppen, é Aw (savana com inverno seco), com médias anuais de precipitação em torno de 800 mm, concentrados em 4 meses do ano e temperatura média de 24,7 °C.

O Latossolo Vermelho-Amarelo da área apresentou na profundidade de 0,00-0,2 m, a seguinte granulometria: 120 g kg⁻¹ de areia grossa (2-0,2 mm), 370 g kg⁻¹ de areia fina (0,2-0,053 mm), 210 g kg⁻¹ de silte e 300 g kg⁻¹ de argila; na profundidade de 0,2-0,4 m: 118 g kg⁻¹ de areia grossa, 372 g kg⁻¹ de areia fina, 215 g kg⁻¹ de silte e 295 g kg⁻¹ de argila; sendo o solo classificado como textura média, equivalente a franco-argilo-arenosa (EMBRAPA, 2013; SANTOS *et al.*, 2005).

Os tratamentos constituíram-se de dois sistemas de cultivo: sistema de preparo convencional (SPC) e sistema de plantio direto (SPD) e três espécies (sorgo, girassol e milho), dispostos em seis parcelas com 18 x 18 m (324 m²), distanciadas 12 m entre si. As três espécies (milho, sorgo e girassol) foram cultivadas na primavera-verão e todas foram consorciadas - apenas no primeiro ano - com *Brachiaria decumbens*, para maior produção de cobertura vegetal. No outono-inverno, foi cultivado feijão jalo rajado em todos os tratamentos.

Dessa forma, os seis tratamentos com a sucessão (T), e a testemunha, são descritos a seguir: T1: SPD, milho-pousio-feijão-pousio (PDM); T2: SPD, sorgo-pousio-feijão-pousio (PDS); T3: SPD, girassol-pousio-feijão-pousio (PDG); T4: SPC, milho-pousio-feijão-pousio (PCM); T5: SPC, sorgo-pousio-feijão-pousio (PCS); T6: SPC, girassol-pousio-feijão-pousio (PCG); testemunha: mata nativa (MN), localizada a 60 m da área experimental, na mesma classe de solo.

Nos SPC, o preparo do solo foi com arado de discos seguido por uma gradagem leve, sendo todos os restos culturais remanescentes incorporados, e a semeadura realizada com uma semeadora pneumática, a qual também foi utilizada no SPD, em cada cultivo. A irrigação foi realizada por meio da aspersão convencional durante os cultivos, seguindo o manejo recomendado para cada cultura, sendo utilizado o tensiômetro para controle do momento da irrigação.

Historicamente, nos últimos 25 anos antes da implantação do trabalho, a área foi cultivada alternadamente com milho e sorgo, além do pousio com capim colômbio, que foi mantido nos últimos quatro anos (2004 a 2008) anteriores à implantação. A mata nativa (MN) apresentava um mínimo de 40 anos sem qualquer ação antrópica, caracterizada como Floresta Estacional Decidual, conhecida como “mata seca”.

Em fevereiro de 2012, imediatamente após a colheita do sorgo, do girassol e do milho e início do pousio nos tratamentos, coletaram-se amostras indeformadas de solo em quatro trincheiras (repetições), abertas aleatoriamente dentro de cada parcela (tratamento). Foram utilizados anéis volumétricos com 0,05 m de altura e 0,054 m de diâmetro interno, coletando-se também torrões, nas profundidades de 0,00-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,40 m.

Na trincheira, determinou-se a resistência do solo à penetração (RP) com penetrômetro de bolso (índice de cone de 30%), simultaneamente à umidade gravimétrica (U), em cada profundidade, a qual foi semelhante para todos os sistemas (0,166 g g⁻¹ em média), em virtude do período chuvoso no momento da coleta, promovendo umidade uniforme na área.

A massa seca (MS) de cobertura morta foi obtida no local de cada trincheira e na mata nativa, em área de 0,5 x 0,5 m, cujo material foi seco em estufa a 105 °C por 24 h, obtendo-se o valor em toneladas por hectare.

Determinaram-se: carbono orgânico total (COT) (YEOMANS; BREMNER, 1988) e, conforme Embrapa (2011): densidade do solo (Ds) (método do anel volumétrico), porosidade total equivalente à umidade volumétrica de saturação (PT), macroporosidade equivalente ao espaço poroso do solo após aplicação de uma tensão de 6 kPa (Mac), microporosidade pela diferença entre a porosidade total e a macroporosidade e estabilidade de agregados em água. Foi considerada como capacidade de campo (CC) a umidade do solo retida na tensão de 10 kPa, o ponto de murcha permanente na tensão de 1500 kPa (PMP), água disponível (AD = CC – PMP) e relação CC/PT.

Para a análise de estabilidade de agregados, os torrões foram desagregados manualmente e passados por conjunto de peneiras com abertura de malha de 8 e 2 mm. Os agregados de 8 a 2 mm foram pesados em amostras duplicadas com 25 g cada, sendo uma para determinação da umidade, e outra umedecida por 12 horas e levada ao oscilador vertical (agitador de Yoder), em conjunto de peneiras com aberturas: 2; 1; 0,5; 0,25 e 0,106 mm, durante 15 minutos em água, com 30 oscilações por minuto. Após a agitação, os agregados retidos em cada peneira foram secos em estufa a 105-110 °C e pesados.

Foram calculados os índices de agregação: diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), conforme Kemper e Rosenau (1986), e a porcentagem de agregados estáveis na classe > 2 mm (AGRE2) (Equação 1):

$$AGRE2 = w_i > 2.100 \quad (1)$$

onde: $w_i > 2$ é a proporção de agregados maiores que 2 mm de diâmetro.

Também determinou-se a porcentagem de macroagregados (MACRO) e de microagregados (MICRO), somando-se a porcentagem de agregados retidos nas classes acima e abaixo de 250 µm, respectivamente (TISDALL; OADES, 1982). O índice de sensibilidade (IS) (BOLINDER *et al.*, 1999), foi obtido pela expressão 2:

$$IS = \frac{As}{Ac} \quad (2)$$

onde: As é o DMP do solo para cada uso agrícola, e Ac é o DMP do solo sob mata.

Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, testando-se por meio de análise de

variância, o efeito dos tratamentos de uso do solo sobre as suas propriedades. Os efeitos dos tratamentos em cada profundidade foram analisados separadamente. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e os tratamentos foram comparados com a mata nativa pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema de plantio direto (SPD) acumulou mais carbono orgânico total (COT) no solo que o sistema de preparo convencional (SPC) para todas as sucessões na profundidade de 0,0-0,05 m, para as sucessões milho e sorgo na profundidade de 0,05-0,10 m e para milho na profundidade de 0,10-0,20 m, sendo, no entanto, inferiores à mata nativa (MN) para todos os tratamentos nas duas primeiras profundidades (Tabela 1).

O maior conteúdo de COT no SPD em relação ao SPC está relacionado ao não revolvimento do solo, associado ao pousio com capim colônia nos quatro anos anteriores à implantação, à braquiária no primeiro ano, a presença de plantas espontâneas durante o pousio dos tratamentos, à cobertura morta produzida pelas sucessões e ao possível aumento na densidade radicular, favorecendo maior alocação de carbono nas camadas superficiais do solo (SÁ *et al.*, 2014). Além disso, o acúmulo de carbono é proporcional ao tempo de implantação do SPD, levando a um efeito superficial dos sistemas de manejo em relação à mata, enquanto no SPC, a rápida oxidação da matéria orgânica, pelo revolvimento do solo, reduziu o conteúdo de carbono (ASSIS; LANÇAS, 2010; MUÑOZ; LÓPEZ-PIÑEIRO; RAMÍREZ, 2007).

Os maiores teores de carbono em profundidade no SPD com gramíneas atribui-se ao denso sistema radicular dessas espécies, produzindo exsudados orgânicos que estimulam a atividade microbiana (GARCIA; ROSOLEM, 2010; SCHIAVO; COLODRO, 2012), associado à maior quantidade de matéria seca produzida (Figura 1), que, segundo SÁ *et al.* (2010), reduz a evaporação da água do solo e a amplitude térmica, proporcionando maior volume de raízes terciárias e aporte de C em profundidade. Esses autores verificaram maior massa de raízes de genótipos de milho, em condições com maiores massas de cobertura no SPD (10 Mg ha⁻¹).

A serrapilheira na MN foi menor (Figura 1), em consequência do período de seca na região, com duração anual de 7 a 8 meses, reduzindo a produção e o acúmulo superficial. Esta menor produção de fitomassa é compensada pelo acúmulo de COT em profundidade, principalmente até 0,10 m. Já nos sistemas de cultivo,

o déficit hídrico é suprido pela irrigação, que associada às altas temperaturas do clima semiárido, acelera a decomposição da matéria orgânica e reduz o acúmulo de COT no solo (GIUBERGIA; MARTELLOTO; LAVADO, 2013) (Tabela 1).

A estabilidade de agregados no SPD foi maior do que no SPC na profundidade de 0,00-0,05 m para todas as sucessões (Tabela 1), acompanhando os teores de carbono, o qual desempenha papel fundamental na estabilização da estrutura do solo e principalmente dos macroagregados (ASSIS; LANÇAS, 2010; BARRETO *et al.*, 2009; MUÑOZ; LÓPEZ-PIÑEIRO; RAMÍREZ, 2007), corroborando com Coutinho *et al.* (2010), que obtiveram maior agregação e teores de carbono no Latossolo de Uberaba-MG sob SPD. Ressalta-se que o grande aporte de biomassa das gramíneas contribui para o aumento dos teores de matéria orgânica do solo, melhorando sua estrutura (GARCIA; ROSOLEM, 2010; GIUBERGIA; MARTELLOTO; LAVADO, 2013).

Na profundidade de 0,00-0,05 m, o baixo teor de carbono e a desestruturação do solo pelo revolvimento no SPC, reduziram seus índices de agregação em relação à MN. Para o SPD, embora tenha apresentado menos COT que a MN, não houve prejuízo ao Latossolo Vermelho-Amarelo, devido à ação agregante de sua mineralogia oxidada, somando-se ao efeito do carbono, principalmente para as gramíneas (BARRETO *et al.*, 2009).

O SPD com sorgo, na camada de 0,05-0,10 m, apresentou o maior DMP e DMG, associado ao maior AGRE2 e MACRO, com menor MICRO, sendo semelhante à agregação do solo sob MN. Esse maior efeito agregante do sorgo resulta da agressividade de seu sistema radicular, com mais raízes secundárias do que o milho, embora tenham praticamente a mesma massa radicular (EMBRAPA, 2014). As gramíneas são grandes produtoras de matéria seca, com intenso crescimento radicular, que aumenta a agregação das camadas superficiais do solo (GARCIA; ROSOLEM, 2010).

A maior capacidade agregante do sorgo em relação ao milho e o girassol também é observada no SPC na profundidade de 0,05-0,10 m, com maior AGRE2, tendo DMP e DMG iguais à MN. No SPC, o sorgo e o milho tiveram o maior MACRO, evidenciando a capacidade agregante das gramíneas, concordando com Andrade, Stone e Silveira (2009) e Garcia e Rosolem (2010). Na profundidade de 0,10-0,20 m, o milho no SPD apresentou teor de COT maior (Tabela 1), devido à sua maior densidade radicular, predominante até 0,30 m de profundidade.

O IS (relação entre DMP do sistema de cultivo e da mata) na camada superficial (0,00-0,05 m) para as sucessões no SPC variou de 0,73 a 0,75, significativamente

Tabela 1 - Índices de agregação e carbono orgânico total médios, de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, cultivado no sistema de plantio direto (SPD) e convencional (SPC), com plantas de sucessão, em comparação à mata nativa (MN) em diferentes profundidades

Uso	Sucessão								
	Sorgo	Girassol	Milho	Sorgo	Girassol	Milho	Sorgo	Girassol	Milho
0,00-0,05 m									
	DMP (mm)			DMG (mm)			COT (dag kg ⁻¹)		
SPC	3,14Ab*	3,24Ab*	3,22Ab*	1,27Ab*	1,23Ab*	1,24Ab*	1,28Ab*	1,33Ab*	1,42Ab*
SPD	4,52Aa	3,80Aa	4,27Aa	1,77Aa	1,48Aa	1,53Aa	1,82Aa*	1,66Ba*	1,94Aa*
MN	4,30			1,65			2,75		
	AGRE2 (%)			MACRO (%)			MICRO (%)		
SPC	64,78Ab*	61,33Ab*	60,86Ab*	78,63Ab*	79,34Ab*	77,11Ab*	21,37Ab*	20,66Ab*	22,89Ab*
SPD	89,00Aa	75,23Aa	78,01Aa	95,23Aa	88,44Aa	88,52Aa	5,28Aa	11,68Aa	11,48Aa
MN	84,41			91,76			8,24		
0,05-0,10 m									
	DMP (mm)			DMG (mm)			COT (dag kg ⁻¹)		
SPC	3,56Ab	3,49Aa*	3,40Ab*	1,44Ab	1,31Aa*	1,26Aa*	1,26Ab*	1,18Aa*	1,25Ab*
SPD	4,15Aa	3,64Ba	3,71Ba	1,66Aa	1,42Ba	1,44Ba	1,52Aa*	1,30Ba*	1,53Aa*
MN	3,98			1,60			1,94		
	AGRE2 (%)			MACRO (%)			MICRO (%)		
SPC	71,52Ab	61,57Ba*	62,63Ba*	83,81Ab*	78,67Ba*	81,05Aa*	16,18Aa*	21,33Aa*	18,95Aa*
SPD	79,42Aa	66,19Ba*	64,18Ba*	89,70Aa	79,54Ba*	81,73Ba*	9,99Aa	20,27Ba*	18,27Ba*
MN	76,09			93,73			6,27Aa		
0,10-0,20 m									
	DMP (mm)			DMG (mm)			COT (dag kg ⁻¹)		
SPC	3,16Aa	2,74Aa	3,61Aa	1,21Aa	1,12Aa	1,41Aa	1,07Aa	1,06Aa	1,09Ab
SPD	3,57Aa	3,34Aa	3,22Aa	1,39Aa	1,30Aa	1,28Aa	1,11Ba	1,06Ba	1,27Aa
MN	3,19			1,24			1,29		
	AGRE2 (%)			MACRO (%)			MICRO (%)		
SPC	59,10Aa	49,51Aa	68,64Aa	78,56Aa	74,89Aa	87,77Aa	21,44Aa	25,11Aa	12,23Aa
SPD	67,52Aa	62,96Aa	59,81Aa	84,99Aa	81,84Aa	82,60Aa	15,46Aa	18,30Aa	17,40Aa
MN	59,44			81,52			18,48		
0,20-0,40 m									
	DMP (mm)			DMG (mm)			COT (dag kg ⁻¹)		
SPC	2,84Aa	3,21Aa	2,88Aa	1,10Aa	1,28Aa	1,15Aa	0,94Aa	0,84Aa	1,02Aa
SPD	3,10Aa	3,11Aa	3,16Aa	1,22Aa	1,22Aa	1,28Aa	1,00Aa	0,89Aa	1,01Aa
MN	3,05			1,24			1,05		
	AGRE2 (%)			MACRO (%)			MICRO (%)		
SPC	49,94Aa	59,49Aa	43,67Aa	74,31Aa	82,83Aa	77,13Aa	25,69Aa	17,17Aa	22,87Aa
SPD	57,39Aa	57,64Aa	58,45Aa	79,93Aa	82,00Aa	84,64Aa	19,27Aa	18,00Aa	15,36Aa
MN	55,21			84,77			15,23		

DMP - diâmetro médio ponderado; DMG - diâmetro médio geométrico; AGRE2 - % de agregados maior que 2 mm; MACRO - macroagregados (agregados > 250µm); MICRO - microagregados (agregados < 250µm); COT - carbono orgânico total. Letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, dentro de cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * diferença significativa em relação à mata nativa, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade

inferior à MN (1,0), evidenciando o efeito prejudicial desse sistema na agregação do solo (Figura 2), enquanto no SPD, o IS não diferiu significativamente de 1,0, mantendo a resistência dos agregados semelhantemente à MN. Nessa profundidade, o IS para o sorgo no plantio direto (PDS) superou a MN em 5%, seguido pelo milho (PDM, -1%) e girassol (PDG, -12%). Na profundidade de 0,05-0,10 m, todos os sistemas promoveram IS semelhante a

MN, valendo apenas ressaltar o incremento de 4,3% PDS em relação a MN. O efeito agregante do sistema radicular do sorgo aprofunda-se quando associado ao plantio direto, promovendo maior agregação. Torna-se uma boa alternativa para recuperação de áreas no semiárido, com degradação estrutural do solo pelo cultivo convencional (GARCIA; ROSOLEM, 2010).

Na profundidade de 0,10-0,20 m, somente o girassol no SPC apresentou redução significativa no IS (-14,3%). Embora sem diferenças no COT (Tabela 1), há evidências da maior velocidade de decomposição da matéria orgânica pelo girassol que poderia alterar a agregação, pela redução do efeito “priming” na rizosfera (PAUSCH *et al.*, 2013).

As observações anteriores evidenciam o SPD com gramíneas, com maior potencial de agregação do solo, semelhantemente ao verificado por Coutinho *et al.* (2010), que avaliando índices de agregação em Latossolo sob plantio direto com diferentes coberturas, constataram maior agregação no SPD com milho + *Brachiaria brizantha*.

Maior densidade do solo (Ds) e resistência à penetração (RP) e menor porosidade total e macroporosidade foram observadas no SPD para todas as sucessões na profundidade de 0,00-0,05 m (Tabela 2), sendo ambos (SPC e SPD) diferentes da MN, em função do tráfego de máquinas e menores teores de COT (GOZUBUYUK *et al.*, 2014).

Figura 1 - Massa seca (MS) de cobertura morta, para as sucessões sorgo, girassol e milho no sistema de plantio direto, e na mata nativa. Letras iguais, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

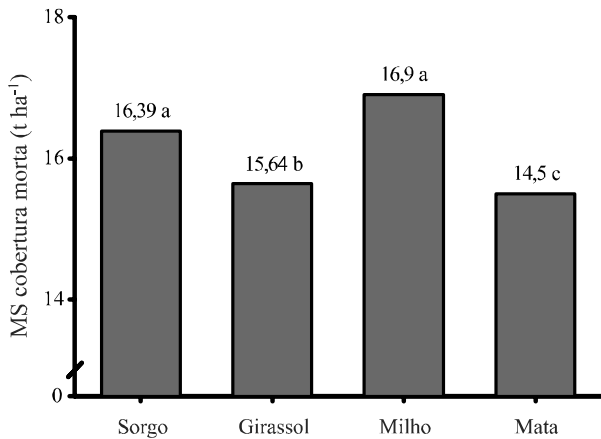
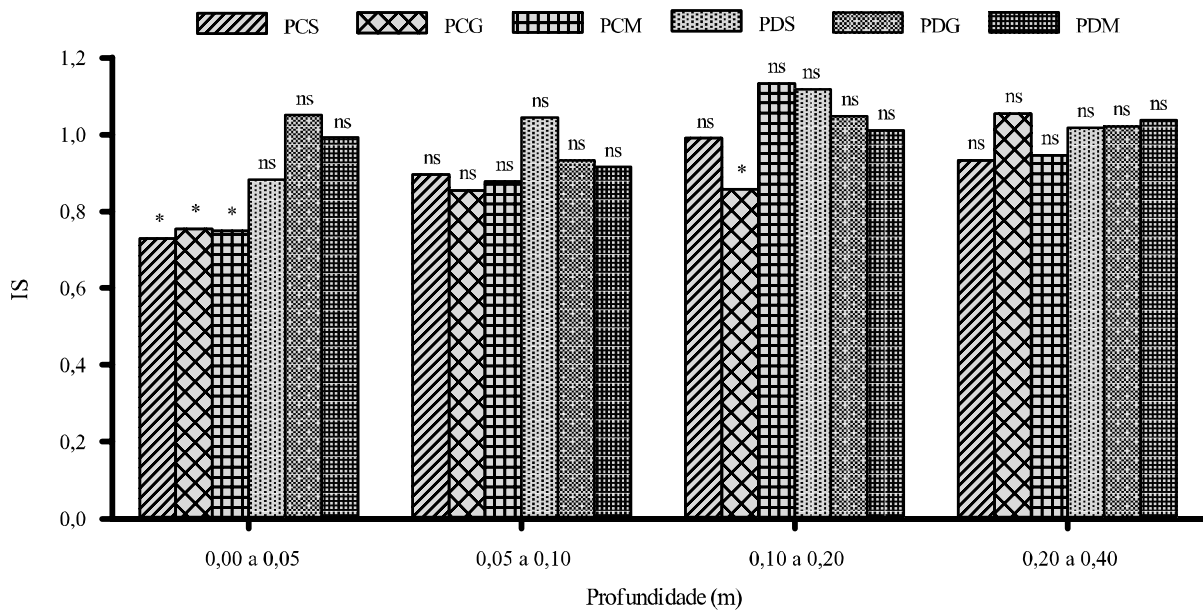


Figura 2 - Índice de sensibilidade (IS) para diâmetro médio ponderado de agregados, em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, sob preparo convencional com as sucessões: sorgo (PCS), girassol (PCG) e milho (PCM), e plantio direto com as sucessões: sorgo (PDS), girassol (PDG) e milho (PDM), em diferentes profundidades, em comparação à mata nativa (MN)



*Diferença significativa, ns diferença não significativa em relação a MN pelo teste t pareado a 5% de probabilidade

Tabela 2 - Médias de porosidade e índices de compactação de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, cultivado no sistema de plantio direto (SPD) e convencional (SPC), com diferentes plantas de sucessão, em comparação à mata nativa (MN) em diferentes profundidades

Uso	Sucessão								
	Sorgo	Girassol	Milho	Sorgo	Girassol	Milho	Sorgo	Girassol	Milho
0,00-0,05 m									
	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)			Microporosidade (m ³ m ⁻³)			Porosidade Total (m ³ m ⁻³)		
SPC	0,101Aa*	0,126Aa*	0,104Aa*	0,289Aa	0,276Aa	0,281Aa	0,389Aa*	0,401Aa*	0,386Aa*
SPD	0,069Ab*	0,082Ab*	0,065Ab*	0,278Aa	0,242Aa	0,286Aa	0,347Ab*	0,324Ab*	0,351Ab*
MN	0,206			0,284			0,489		
	Ds (Mg m ⁻³)			RP (MPa)			CC/PT		
SPC	1,56Aa*	1,57Aa*	1,56Aa*	1,11Aa	1,05Aa	1,11Aa	0,699Aa	0,605Aa	0,649Aa
SPD	1,67Ab*	1,69Ab*	1,66Ab*	1,52Ab*	1,54Ab*	1,46Ab*	0,740Aa*	0,710Aa*	0,765Aa*
MN	1,22			1,14			0,560		
0,05-0,10 m									
	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)			Microporosidade (m ³ m ⁻³)			Porosidade Total (m ³ m ⁻³)		
SPC	0,044Ba*	0,083Ba*	0,086Aa	0,274Aa	0,267Aa	0,260Aa	0,318Aa*	0,350Aa*	0,345Aa*
SPD	0,062Aa*	0,067Aa*	0,038Ab*	0,261Aa	0,272Aa	0,278Aa	0,323Aa*	0,339Aa*	0,316Aa*
MN	0,157			0,287			0,445		
	Ds (Mg m ⁻³)			RP (MPa)			CC/PT		
SPC	1,70Aa*	1,69Aa*	1,66Aa*	1,67Aa*	1,62Aa*	1,48Aa	0,792Aa*	0,682Aa	0,684Aa
SPD	1,72Aa*	1,72Aa*	1,70Aa*	1,62Aa*	1,57Aa*	1,63Aa*	0,727Aa	0,729Aa	0,815Ab*
MN	1,43			1,34			0,584		
0,10-0,20 m									
	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)			Microporosidade (m ³ m ⁻³)			Porosidade Total (m ³ m ⁻³)		
SPC	0,066Aa	0,053Aa*	0,070Aa	0,276Aa	0,253Aa	0,238Ab	0,342Aa	0,305Aa*	0,308Ab*
SPD	0,051Ba*	0,059Ba*	0,078Aa	0,246Aa	0,261Aa	0,285Aa	0,297Ba*	0,320ABa	0,363Aa
MN	0,131			0,265			0,397		
	Ds (Mg m ⁻³)			RP (MPa)			CC/PT		
SPC	1,69Aa	1,78Aa*	1,73Aa	1,79Aa	1,85Aa*	1,77Aa	0,736Aa	0,753Aa	0,700Aa
SPD	1,70Aa	1,71Aa	1,66Aa	1,83Aa	1,60Aa	1,76Aa	0,814Aa*	0,754Aa	0,717Aa
MN	1,56			1,62			0,631		
0,20-0,40 m									
	Macroporosidade (m ³ m ⁻³)			Microporosidade (m ³ m ⁻³)			Porosidade Total (m ³ m ⁻³)		
SPC	0,058Aa	0,066Aa	0,070Aa	0,272Aa	0,275Aa	0,250Aa	0,330Aa	0,341Aa	0,320Aa
SPD	0,082Aa	0,069Aa	0,051Aa	0,268Aa	0,247Aa	0,289Aa	0,351Aa	0,316Aa	0,340Aa
MN	0,097			0,282			0,378		
	Ds (Mg m ⁻³)			RP (MPa)			CC/PT		
SPC	1,68Aa	1,72Aa	1,67Aa	1,83Aa	2,00Aa	1,75Aa	0,808Aa	0,756Aa	0,707Aa
SPD	1,64Aa	1,69Aa	1,61Aa	1,87Aa	1,78Aa	1,96Aa	0,706Aa	0,726Aa	0,789Aa
MN	1,59			1,71			0,682		

Ds - densidade do solo; RP - resistência à penetração; CC/PT - relação entre capacidade de campo e porosidade total. Letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, dentro de cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * diferença significativa em relação à mata nativa, pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade

Há maior compactação do solo na camada superficial para o sistema plantio direto, como consequência do movimento de máquinas na área, sem o posterior revolvimento, e aumento do grau de empacotamento das partículas, reduzindo o volume de vazios e elevando a densidade aparente (ARATANI *et al.*, 2009; BERTOL *et al.*, 2004; GOZUBUYUK *et al.*, 2014; PORTUGAL *et al.*, 2012).

A RP no SPD não prejudicou o desenvolvimento radicular, por ser inferior ao limite de 2 MPa, considerado para o desenvolvimento da maioria das culturas (TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1998). No SPC, a RP foi igual à MN para todas as sucessões, devido ao revolvimento e desestruturção do solo.

Na profundidade de 0,05-0,10 m, não houve diferença significativa entre os tratamentos para porosidade total, microporosidade, Ds e RP, sendo que a macroporosidade para o milho no SPC superou o sorgo e girassol no mesmo sistema, e também o SPD, sendo igual à MN, mostrando vantagens para o milho na manutenção da porosidade promovida pelo revolvimento do solo.

A RP no milho com SPC apresentou-se igual ao da MN em todas as profundidades, acompanhando a macroporosidade. O milho possui sistema radicular com grande proporção de raízes de maior diâmetro, cuja decomposição favorece a formação de poros maiores (EMBRAPA, 2014). Já para a porosidade total e Ds, todos os tratamentos até a profundidade de 0,05-0,10 m foram inferiores à MN, não havendo modificação da microporosidade em nenhuma profundidade.

Na profundidade de 0,10-0,20 m, o milho no SPD, com maior COT, apresentou a maior porosidade total e macroporosidade, sendo igual à MN (Tabela 2). Tal fato está relacionado ao sistema radicular do milho, cujo desenvolvimento foi favorecido pela maior cobertura morta, associado ao efeito do sistema radicular da braquiária, fazendo com que a sua morte e decomposição produza bioporos, contribuindo com o aumento da macroporosidade e porosidade total, além de aportar carbono ao solo.

Estes resultados assemelham-se aos encontrados por Schiavo e Colodro (2012), onde, ao avaliarem as propriedades físicas e os teores matéria orgânica de uma Latossolo Vermelho sob diferentes coberturas vegetais, verificaram maior macroporosidade e teores de carbono em profundidade (5 a 15 cm) nas áreas com milho e braquiárias.

Na profundidade de 0,10-0,20 m (Tabela 2), a MN apresentou porosidade total superior ao girassol e milho no SPC e sorgo no SPD, além de maior macroporosidade em relação ao sorgo e girassol no SPD e girassol no SPC,

indicando compactação adicional nestes tratamentos. A MN também apresentou Ds e RP inferior em relação ao girassol no SPC, caracterizando a presença de camadas compactadas subsuperficiais, devido ao uso dos implementos de preparo do solo.

Uma boa qualidade física do solo deve apresentar uma relação entre água retida na capacidade de campo e a porosidade total (CC/PT) de 0,66, para que a atividade microbiana aeróbica seja a máxima possível e promova mineralização dos restos culturais (SKOPP; JAWSON; DORAN, 1990). A elevada relação CC/PT provoca aeração deficiente, quando a umidade atinge a CC, devido à grande proporção de poros ocupados por água, dificultando a atividade microbiana e a respiração radicular das plantas (PORTUGAL *et al.*, 2012).

Na profundidade de 0,00-0,05 m, o SPD apresentou maior CC/PT em relação à MN (Tabela 2), devido à compactação superficial, resultando em menor porosidade total, comprometendo a aeração. Já para o SPC, não houve diferença em relação à mata, estando próximo dos valores sugeridos por Skopp, Jawson e Doran (1990). Isto é consequência do revolvimento do solo, que aumenta a porosidade total e melhora a aeração na camada superficial do mesmo.

Na profundidade de 0,05-0,10 m (Tabela 2), os maiores valores de CC/PT foram observados para o sorgo no SPC e milho no SPD, relacionando-se com a menor porosidade total, e maior capacidade de campo, indicando aeração deficiente para esses tratamentos nessa profundidade.

Na profundidade de 0,10-0,20 m, não houve diferença para CC/PT entre os sistemas de plantio, porém todos foram superiores a 0,66, indicando boa qualidade física. O sorgo no SPD superou a MN, devido à menor porosidade total, associada à limitada proporção de raízes primárias em relação às demais culturas estudadas, que restringe a formação de poros de maior diâmetro (HULUGALLE; BROUGHTON; TAN, 2015).

Com relação à retenção de água, na profundidade de 0,00-0,05 m, o solo cultivado com sorgo e milho no SPD apresentou maior PMP (Tabela 3), devido à maior quantidade de colóides orgânicos, associados à compactação do solo, formadora de poros com geometria, diâmetro e forma que favorecem a retenção de água (GOZUBUYUK *et al.*, 2014), embora sem alterações na capacidade de campo (CC) e água disponível (AD). Este efeito também é observado na profundidade de 0,10-0,20 m, onde o SPD com milho apresentou maiores CC e PMP em relação ao SPC com a mesma cultura.

Não houve diferença para a AD entre todos os tratamentos, nas diferentes profundidades, assim como

Tabela 3 - Atributos hídricos médios de um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura franco-argilo-arenosa, cultivado no sistema de plantio direto (SPD) e convencional (SPC), com diferentes plantas de sucessão, em comparação à mata nativa (MN) em diferentes profundidades

Uso	Sucessão								
	Sorgo	Girassol	Milho	Sorgo	Girassol	Milho	Sorgo	Girassol	Milho
0,00-0,05 m									
	CC (m ³ m ⁻³)			PMP (m ³ m ⁻³)			AD (m ³ m ⁻³)		
SPC	0,273Aa	0,244Aa	0,251Aa	0,213Aa	0,172Aa	0,181Aa	0,060Aa	0,072Aa	0,069Aa
SPD	0,256Aa	0,230Aa	0,267Aa	0,196ABa	0,147Ba	0,205Aa	0,060Aa	0,083Aa	0,062Aa
MN		0,273			0,172			0,100	
0,05-0,10 m									
SPC	0,250Aa	0,239Aa	0,235Aa	0,169Aa	0,166Aa	0,151Aa	0,082Aa	0,072Aa	0,084Aa
SPD	0,234Aa	0,247Aa	0,256Aa	0,170Aa	0,158Aa	0,139Aa	0,064Aa	0,089Aa	0,117Aa
MN		0,255			0,147			0,108	
0,10-0,20 m									
SPC	0,252Aa	0,230Aa	0,216Ab	0,155Aa	0,159Aa	0,137Aa	0,096Aa	0,071Aa	0,079Aa
SPD	0,239Aa	0,238Aa	0,260Aa	0,168Aa	0,169Aa	0,200Ab	0,071Aa	0,069Aa	0,060Aa
MN		0,244			0,150			0,094	
0,20-0,40 m									
SPC	0,267Aa	0,253Aa	0,225Aa	0,174Aa	0,166Aa	0,150Aa	0,092Aa	0,086Aa	0,076Aa
SPD	0,247Aa	0,230Aa	0,268Aa	0,170Aa	0,146Aa	0,175Aa	0,077Aa	0,084Aa	0,093Aa
MN		0,251			0,171			0,080	

CC - capacidade de campo; PMP - ponto de murcha permanente; AD - água disponível. Letras iguais, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, dentro de cada atributo, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

não houve diferença da CC, PMP e AD em relação à MN, indicando menor sensibilidade desses atributos ao sistema de manejo.

CONCLUSÕES

1. O solo manejado sob plantio direto associado com gramíneas apresentou os melhores indicadores físicos do solo sob condições climáticas do semiárido;
2. O sistema de plantio direto mantém a agregação do solo semelhante à mata nativa, enquanto o plantio convencional reduz a agregação e o acúmulo de carbono no solo;
3. O cultivo de gramíneas como o sorgo e milho no sistema de plantio direto aumenta a quantidade de cobertura morta, incrementando o teor de carbono no solo em relação ao girassol;
4. A compactação superficial do solo é mais intensa no plantio direto em relação ao plantio convencional, mas não altera a retenção de água.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Arthur Bernardes (FUNARBE) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão de bolsas aos autores do trabalho.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela oportunidade de realização do trabalho.

À Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES), pelo apoio na realização das análises laboratoriais.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 411-418, 2009.
- ARATANI, R. G. *et al.* Qualidade física de um Latossolo Vermelho Acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo.

- Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 677-687, 2009.
- ASSIS, R. L.; LANÇAS, K. P. Agregação de um Nitossolo Vermelho Distroférrico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 58-66, 2010.
- BARRETO, R. C. *et al.* The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbono loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 132, p. 243-251, 2009.
- BERTOL, I. *et al.* 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**, v. 28, p. 155-163, 2004.
- BOLINDER, M. A. *et al.* The response of soil quality indicators to conservation management. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 79, n. 1, p. 37-45, 1999.
- CORRÊA, R. M. *et al.* Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 358-365, 2010.
- COUTINHO, F. S. *et al.* Estabilidade de agregados e distribuição do carbono em Latossolo sob sistema plantio direto em Uberaba, Minas Gerais. **Comunicata Scientiae**, v. 1, p. 100-105, 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do sorgo**. Embrapa Milho e Sorgo, Sistemas de Produção, 2, 2014. Disponível em: <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducao16_1galceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_count=1&p_r_p_-76293187_sistemaProducaoId=3809&p_r_p_-996514994_topicoId=3532>. Acesso em: 12 set. 2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, 2013, 353 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Brasília: Ministério da Agricultura, 2011. 212 p.
- GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Agregados em um Latossolo sob sistema plantio direto e rotação de culturas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 12, p. 1489-1498, dez. 2010.
- GIUBERGIA, J. P.; MARTELLOTTO, E.; LAVADO, R. S. Complementary irrigation and direct drilling have little effect on soil organic carbon content in semiarid Argentina. **Soil and Tillage Research**, v. 134, p. 147-152, 2013.
- GOZUBUYUK, Z. *et al.* Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. **Catena**, v. 118, p. 195-205, 2014.
- HULUGALLE, N. R.; BROUGHTON, K. J.; TAN, D. K. Y. Fine root production and mortality in irrigated cotton, maize and sorghum sown in vertisols of northern New South Wales, **Australia. Soil and Tillage Research**, v. 146, Part B, p. 313-322, 2015.
- KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. A. Aggregate stability and size distribution. *In*: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy : Soil Science Society of America Journal, 1986. p. 425-441.
- MUÑOZ, A.; LÓPEZ-PIÑEIRO, A.; RAMÍREZ, M. Soil quality attributes of conservation management regimes in a semi-arid region of south western Spain. **Soil and Tillage Research**, v. 95, n. 1/2, p. 255-265, 2007.
- PAUSCH, J. *et al.* Plant inter-species effects on rhizosphere priming of soil organic matter decomposition. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 57, p. 91-99, fev. 2013.
- PORTUGAL, A. F. *et al.* Alterações em propriedades físicas do solo em ecossistemas de floresta após a implantação de pastagem no extremo oeste do Acre. *In*: ARAÚJO, E. A.; LANI, J. L. **Uso sustentável de ecossistemas de pastagens cultivadas na Amazônia Ocidental**. Rio Branco: SEMA, 2012. 142 p.
- RADFORD, B. J. *et al.* Amelioration of soil compaction can take 5 years on a Vertisol under no till in the semi-arid subtropics. **Soil and Tillage Research**, v. 97, n. 2, p. 249-255, 2007.
- RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1609-1623, 2007.
- SÁ J. C. M. *et al.* Crescimento radicular, extração de nutrientes e produção de grãos de genótipos de milho das diferentes quantidades de palha de aveia-preta do plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1207-1216, 2010.
- SÁ, J. C. M. *et al.* Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 136, p. 38-50, 2014.
- SANTOS, R. D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed., Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 92 p.
- SCHIAVO J. A.; COLODRO G. Agregação e resistência a penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, v. 71, p. 406-412, 2012.
- SKOPP, J.; JAWSON, M. D.; DORAN, J. W. Steady-state aerobic microbial activity as a function of soil water content. **Soil Science Society of America Journal**, v. 54, p. 1619-1625. 1990.
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, n. 1, p. 141-163, 1982.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 573-581, 1998.
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method or routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 19, p. 1467-1476, 1988.