



Atributos físicos do solo em sistemas de adubação e de manejo de resíduos culturais em plantio direto

Soil physical attributes in fertilization systems and oat residue management

Jorge Wilson Cortez, Rouverson Pereira da Silva, Carlos Eduardo Angeli Furlani, Salvio Napoleão Soares Arcoverde, Nelci Olszewski

Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Faculdade de Ciências Agrárias, Rodovia Dourados - Itahum, Km 12 - Cidade Universitária, Cx. Postal 364 - CEP 79804-970 Dourados, MS. jorgecortez@ufgd.edu.br

Recebido em: 05/02/2018

Aceito em: 28/03/2018

Resumo: O não revolvimento do solo e o aporte de resíduos culturais em superfície são importantes visando à conservação dos recursos naturais e a sustentabilidade de sistemas de produção de grãos. Em semeadura direta é essencial o entendimento da relação entre os diferentes manejos da cobertura e da adubação sobre atributos físicos sensíveis a processos de degradação, a exemplo da compactação. Desse modo, o trabalho teve por objetivo a avaliação de atributos físicos do solo em função dos sistemas de adubação e dos equipamentos de manejo de resíduos culturais. O delineamento foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 x 2, sendo três manejos dos restos culturais da safra anterior (rolagem com rolo-faca, trituração com triturador de palhas e roçada com roçadora) e dois sistemas de adubação (em pré-semeadura e na semeadura), com quatro repetições em Latossolo Vermelho eutrófico textura argilosa. O sistema de adubação não afetou os atributos físicos do solo. O equipamento de manejo de resíduos, triturador de palhas, afetou a resistência do solo à penetração entre as fileiras da cultura nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,20-0,30m.

Palavras-chave: culturas de cobertura, densidade, porosidade, restos culturais

Abstract: The no revolving soil and the contribution of surface cultural residues are important in order to conserve the natural resources and sustainability of the grain production system. In direct sowing, it is essential to understand the relationship between the different coverage and fertilization practices practiced on physical attributes sensitive to degradation processes such as soil compaction. With the objective of evaluating some soil physical attributes as a function of fertilization systems and waste management equipment, this work was carried out in a clayey eutrophic Red Latosol at the UNESP experimental area of Jaboticabal, SP. The design was in randomized blocks, in a 3 x 2 factorial scheme, with three management of the cultural remnants of the previous harvest (scrolling through the knife-roller, grinding by means of the straw crusher and brushing with the brushcutter) and two fertilization (in pre-sowing and sowing), with four replications. The fertilization system does not affect the physical attributes of the soil. Waste management equipment, soybean crop in the 0.00-0.10 m and 0.20-0.30 m layers.

Keywords: cover crops, bulk density, porosity, crop residue

Introdução

Em um sistema produtivo, além dos cuidados com a fertilidade, devem se buscar condições físicas adequadas ao solo durante a fase de implantação e desenvolvimento das culturas, visto que estão relacionadas à produtividade agrícola. Uma das formas de alterar a condição física do solo é através de seu manejo, buscando

criar condições estruturais favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da planta, tanto da parte aérea quanto das raízes (Bottega et al., 2011).

A implantação de sistemas de manejo conservacionistas como o plantio direto trazem inúmeros benefícios no tocante à conservação dos recursos naturais, ao priorizar a manutenção de





resíduos vegetais na superfície e reduzir a movimentação do solo. Assim, há diminuição da perda de solo e água e aumento da atividade biológica, refletindo positivamente na qualidade do solo e na rentabilidade da atividade agrícola.

A eficácia da semeadura direta está relacionada, dentre outros fatores, à quantidade e qualidade dos resíduos culturais, sendo este, talvez, o grande desafio da sustentabilidade nos sistemas de produção. A recomendação de espécies de plantas de cobertura do solo, principalmente leguminosas e gramíneas, depende da persistência de seus resíduos após manejo, o que influencia a manutenção da cobertura e as características físicas, químicas e hídricas do solo, além de sua suscetibilidade à erosão (Pires et al., 2008). Isto porque o acúmulo de resíduos pelo não revolvimento de solo resulta em menores taxas de decomposição do material orgânico e em menores perdas por erosão, visto que a fitomassa adicionada superficialmente se decompõe mais lentamente quando não é incorporada, pois fica menos exposta aos microrganismos do solo (Andrade et al., 2008).

Em sistema plantio direto com contínuo aporte de fitomassa em razão da rotação/sucessão com gramíneas, leguminosas ou consórcios, sobretudo aqueles mais eficientes na produção e permanência de palha, há redução da compactação, preservando os atributos físicos do solo. Nesse sentido, Silva et al. (2010) avaliando as culturas girassol (*Helianthus annuus* L.), crotalária (*Crotalaria juncea* L.), ervilhaca peluda (*Vicia villosa* Roth), consórcio de crotalária e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) e consórcio de aveia preta, ervilhaca peluda e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L. var. *oleiferus* Metzg), sucedendo a soja e como antecessoras do milho, verificaram, em geral, incremento nos valores de macroporosidade e porosidade total na camada superficial e, diminuição de densidade do solo e de microporosidade, além de maior agregação nessa camada.

Pires et al. (2008) ao avaliarem três tipos de coberturas vegetais do solo antecedendo à cultura da soja em plantio direto, sendo estes milheto e pousio com alta e baixa densidade de plantas daninhas cobrindo a área durante a entressafra, observaram que a cobertura com o milheto proporcionou menor resistência do solo à penetração, menor densidade e maior

macroporosidade do solo; tendo esta cobertura também mais eficácia no controle de plantas daninhas e proteção do solo que as demais.

Em razão do não revolvimento do solo e manutenção dos resíduos vegetais em superfície, tem-se observado em sistema plantio direto, aumento da resistência mecânica do solo à penetração e, conseqüentemente, maiores dificuldades durante o processo de deposição das sementes e fertilizantes que as verificadas no preparo convencional, sobretudo naqueles em que ocorre intensa mobilização do solo, sendo necessárias maiores cuidados em relação às condições operacionais e de manejo da cobertura (Trogello et al., 2013a; Trogello et al., 2013b).

Considerando-se distintas condições edafoclimáticas na implantação e no estabelecimento do sistema plantio direto para produção de grãos, torna-se essencial a avaliação dos efeitos de diferentes manejos de cobertura e de adubação sobre a compactação, que afeta propriedades fundamentais na relação solo-planta. Por esta razão, o trabalho teve por objetivo a avaliação de atributos físicos do solo em função dos sistemas de adubação e dos equipamentos de manejo de resíduos culturais.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na área experimental da UNESP de Jaboticabal, SP, localizada nas coordenadas geodésicas: latitude 21°14'S e longitude 48°16'W, com altitude média de 559 m, declividade média de 4%, ocupando uma área de aproximadamente 1,0 ha. O clima de acordo com a classificação de Köppen é Cwa, ou seja, subtropical úmido, com estiagem no período do inverno.

A semeadura foi realizada em Latossolo Vermelho Eutroférrico típico, A moderado, textura argilosa (55%) e relevo suave ondulado. O solo encontrava-se com umidade de 25% na camada de 0,00 a 0,20 m, 67,2% de cobertura vegetal, conforme descrito em Ferreira et al. (2013), e resistência a penetração de 1,3 e 3,1 MPa nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, respectivamente.

A área experimental permaneceu em repouso por dois anos, porém com grande infestação de plantas daninhas como capim colônio (*Panicum maximum* Jacq.) e grama seda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers). Após esse período,



foi realizado o manejo das plantas daninhas com roçadora e, posteriormente, o preparo convencional do solo com gradagem pesada e duas gradagens leves. Em seguida foi semeado o milheto (*Pennisetum* sp.), com intuito de formar palhada para a semeadura direta da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Ao final do ciclo da soja, foram implantadas as culturas da crotalária (*Crotalaria juncea* L.) e da mucuna cinza (*Stizolobium niveum* L.) e, após nove meses foi semeado o milho (*Zea mays* L.). Após a colheita do milho foram implantadas as culturas do milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Brown) e do sorgo (*Sorghum bicolor*) e, após nove meses foi semeada a soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Ao final do ciclo da soja foram instaladas as culturas da crotalária (*Crotalaria juncea*) e da mucuna preta (*Cajanus cajan*) e, após nove meses foi semeado o milho (*Zea mays* L.). No ano seguinte foi instalada a cultura da soja e, após sua colheita a área permaneceu um ano em repouso para então ocorrer a instalação do experimento.

Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, em esquema fatorial 3 x 2, sendo três manejos dos restos culturais da safra anterior (rolagem com rolo-faca, trituração com triturador de palhas e roçada com a roçadora) e dois sistemas de adubação (em pré-semeadura e na semeadura), com quatro repetições. Cada parcela experimental ocupou área de 300 m² (25 x 12 m) e, entre as parcelas, no sentido longitudinal, foi reservado um espaço de 15 m, destinado à realização de manobras, tráfego de máquinas e estabilização dos conjuntos.

A aplicação do adubo, em pré-semeadura, foi realizada utilizando-se o conjunto trator-distribuidor à lanço nas parcelas doze dias antes da deposição das sementes, trabalhando com velocidade média de 9,0 km h⁻¹. Na semeadura, este tratamento recebeu apenas as sementes, sendo o mecanismo de adubo (haste sulcadora) retirado da semeadora-adubadora, proporcionando velocidade média do conjunto trator-semeadora-adubadora de 9,4 km h⁻¹. Para a aplicação de adubo, na semeadura, utilizou-se a semeadora-adubadora com todos os mecanismos de contato com o solo (disco de corte, haste sulcadora para adubo, disco duplo para a semente, rodas de controle de profundidade e rodas compactadoras) na velocidade média de 7,8 km h⁻¹.

O manejo foi realizado sobre restes de milho do ano anterior e na presença das plantas daninhas, capim amargoso (*Digitaria insularis*) e nabiça (*Raphanus raphanistrum* L.), em toda a área, 30 dias antes da semeadura. Utilizou-se para tal operação conjunto trator-equipamento nas velocidades médias: com rolo-faca a 10,6 km h⁻¹, com triturador a 9 km h⁻¹ e com roçadora a 8,8 km h⁻¹.

Na semeadura da soja, utilizou-se a variedade de ciclo precoce Embrapa 48 (444.444,4 plantas por hectare), semeada a 4,0 cm de profundidade. Para a adubação foi utilizado o fertilizante na fórmula 4-20-20 (NPK) na dose de 230 kg ha⁻¹ na adubação em pré-semeadura a lanço e, na semeadura a profundidade de 0,11 m.

Para execução dos tratamentos e aplicação dos insumos foram utilizados os equipamentos agrícolas descritos na Tabela 1.

Para a determinação da umidade, da densidade e da porosidade total do solo, as amostras foram coletadas nas camadas de 0,00 a 0,10 m, 0,10 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m dentro de cada parcela, 30 dias após a operação de semeadura, empregando-se o método do anel gravimétrico.

A umidade e a densidade do solo foram determinadas por meio das equações 1 e 2, respectivamente.

$$U = \frac{MI - MII}{MII - TA} 100 \quad (1)$$

Em que: U: umidade do solo (%), MI: massa úmida do solo (g), MII: massa seca do solo (g), e TA: massa do anel (g).

$$D = \frac{MII}{V} \quad (2)$$

Em que; D: densidade do solo (g cm⁻³), e V: volume do anel (cm³)

Ainda, foi calculado o grau de compactação (Equação 3), definido como sendo a porcentagem de compactação do solo tem em relação ao seu máximo (Suzuki et al. 2007). O valor máximo de densidade para o Latossolo Vermelho Eutroférico é de 1,85 g cm⁻³ (Beutler et al., 2005).

$$GC = \frac{D}{1,85} 100 \quad (3)$$



Em que: GC: grau de compactação (%) ; D: densidade do solo (g cm⁻³).

Tabela 1. Equipamentos utilizados na execução do segundo ano agrícola

Equipamento	Características
Trator*	Potência de 102 kW (140 cv), massa de 8580 kg, pneus 24.5-32 R1 no eixo traseiro e 18,4-26 R1 no eixo dianteiro, operação de adubação em pré-semeadura.
Trator*	Potência de 82,2 kW (112 cv), pneus 18.4-34 no eixo traseiro e 14.9-26 no eixo dianteiro, para execução do manejo de resíduos vegetais.
Trator*	Potência de 110 kW (150 cv), pneus 24.5-32 no eixo traseiro e 1.4-26 no eixo dianteiro, para a semeadura da soja.
Trator	Potência de 55,0 kW (75 cv), pneus 750-16 no eixo dianteiro e 12,4-38 no eixo traseiro para aplicação de defensivos agrícolas.
Distribuidor	Equipamento de arrasto com 1.260 kg sem carga, pneus de baixa pressão e alta flutuação.
Triturador	Equipamento montado no sistema hidráulico de três pontos, com rotor horizontal de 61 cm, largura de corte de 2,3 m, 32 pares de facas curvas oscilantes e reversíveis, sistema de regulagem de altura de corte e massa de 735 kg.
Rolo faca	Equipamento de arrasto com 13 facas dispostas na periferia, largura de corte de 2,1 m e massa com lastro de 720 kg.
Roçadora	Equipamento de arrasto, com duas facas oscilantes com largura de corte de 1,6 m.
Semeadora-adubadora	Sete linhas para semeadura, espaçadas de 0,45 m, com haste sulcadora com ângulo de ataque de 20°, disco de corte de 45,7 cm, disco duplo de 40,6 cm, massa de 3.070 kg.
Pulverizador	Tanque de 600 L, massa de 255 kg, 24 bicos tipo leque (XR Teejet – 110.02VS para herbicida e 110.04 para inseticida) espaçados de 50 cm e largura útil de 12 m.

*TDA: Transmissão Dianteira Auxiliar

A porosidade total foi calculada utilizando-se os anéis volumétricos, que foram colocados em bandeja com água até saturação total e suas massas aferidas, e assim, conforme equação 4, obteve-se a porosidade total.

$$Pt = \frac{(Vt - Vs)}{Vt} \cdot 100 \quad \text{em que}$$

Em que: Pt: porosidade total (%), Vt: volume total (cm³), Vs: volume de sólidos (cm³), Vv: volume de vazios (cm³), Msat: massa do anel saturado com água (g), e Msec: massa seca de solo com o anel (g).

Para determinar a resistência à penetração (RP) foi utilizado um penetrômetro de impacto modelo IAA/Planalsucar desenvolvido por Stolf et al. (1983) com massa do êmbolo de 4 kg; curso de queda livre de 40 cm; cone com ângulo de 30° e 1,3 cm de diâmetro; e haste com diâmetro de 0,95 cm.

As leituras foram realizadas em todas as subparcelas do experimento (uma por subparcela) com valores tomados a cada 10 cm, até a

profundidade de 0,50 m no solo. Os resultados dessa coleta, fornecidos em “impactos dm⁻¹”, foram transformados para MPa, conforme equação 5, descrito por Stolf (1991). Aos 30 dias após a operação de semeadura realizou-se novamente leitura da RP, na fileira e na entrefileira.

$$RP = \frac{5,8 + 6,89 \cdot N}{10,2} \quad (4)$$

Em que: RP: resistência à penetração, (MPa), e, N: número de impactos.

O conjunto de dados normal foi submetido à análise de variância e quando o valor do teste F for significativo a 5% de probabilidade, foi realizado o teste de Tukey para a comparação de médias.

Resultados e Discussão

Os valores de resistência do solo à penetração (RP) na fileira de soja, aos 30 dias após a semeadura, não diferiram estatisticamente para os sistemas de adubação e de manejo de resíduos, bem como para as interações (Tabela 2). Em geral, os valores de RP situaram-se na faixa

de 0,7 a 2,4 MPa, considerados baixos (Betoli Júnior et al., 2012; Guimarães et al., 2013). Marasca et al. (2001) ao avaliarem a RP de um Latossolo Vermelho distroférico e sua relação

com a produção de soja em sistema plantio direto, encontraram valores de RP da ordem de 2,9 a 4,28 MPa, que não se mostraram limitantes à produção da cultura.

Tabela 2. Síntese de análise de variância para resistência a penetração (MPa) 30 dias após a semeadura na fileira

Fatores	Camadas (m)				
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40	0,40-0,50
ADUBAÇÃO					
A1	0,8 A	1,3 A	1,6 A	1,9 A	2,4 A
A2	0,7 A	1,4 A	1,6 A	1,9 A	2,3 A
MANEJO					
M1	0,7 A	1,3 A	1,6 A	1,8 A	2,3 A
M2	0,7 A	1,5 A	1,5 A	2,1 A	2,4 A
M3	0,7 A	1,3 A	1,7 A	1,9 A	2,2 A
TESTE DE F					
Adubação (A)	2,0 ns	0,4 ns	0,2 ns	0,1 ns	0,2 ns
Manejo (M)	0,1 ns	2,8 ns	0,7 ns	0,9 ns	0,4 ns
A x M	0,9 ns	0,1 ns	0,1 ns	0,4 ns	0,6 ns

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey.^{NS}: não significativo ($P > 0,05$); *: significativo ($P \leq 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$). A1 – adubação de pré-semeadura; A2 – adubação no momento da semeadura; M1 – rolo-faca; M2 – triturador de palhas tratorizado e M3 – roçadora de arrasto.

Possivelmente, pelo fato de a RP ter sido determinada na fileira da soja não evidenciou-se o efeito da pressão exercida pelo tráfego dos conjuntos mecanizados nas camadas do solo. Isto porque, em razão do mínimo revolvimento do solo em plantio direto e do constante tráfego de máquinas/implementos, pode ocorrer a formação de camadas compactadas pela distribuição das pressões exercidas nas camadas superficiais do solo (Bergamin et al., 2010; Bottega et al., 2011).

Pires et al. (2008) avaliando a RP em diferentes tipos de cobertura em plantio direto verificaram redução deste atributo em milho, atribuindo ao maior aporte de fitomassa nesse sistema. Esta diferença não foi verificada neste estudo, possivelmente pela determinação ter sido realizada na linha da cultura e não na entrelinha, onde pode se estabelecer maior efeito dos resíduos em superfície.

Para a RP entre as fileiras da soja aos 30 dias após a semeadura (Tabela 3) não ocorreu efeito significativo nas camadas de 0,10-0,20, 0,30-0,40 e 0,40-0,50 m e nas suas interações. No entanto, nas camadas de 0,00-10 e 0,20-0,30 m ocorreram efeitos dos equipamentos de manejo dos resíduos.

Os resultados significativos nas duas camadas foram semelhantes, com o triturador de palhas apresentando maior RP que a roçadora. Isto pode ser atribuído ao sistema de rodado, visto que o triturador possui pneus para transporte (Furlani, 2005), enquanto a roçadora possui rodado de metal estreito que pode ter exercido menor pressão sobre o solo. Em contraponto, Branquinho (2003) afirmou não haver diferença entre os manejos (rolo-faca, triturador e herbicida) para a RP; porém, o tipo de cobertura em plantio direto pode afetar os valores deste atributo (Pires et al., 2008).

Gregorich et al. (1993) afirmam que a RP é maior na camada de 0,10-0,20 m, devido ao efeito do trânsito de máquinas e na camada de 0,20-0,30 m devido à carga de pressão dos rodados. Valadão et al. (2015) verificaram que o aumento do número de passadas dos conjuntos mecanizados tem relação com o aumento de RP na camada de 0,00-0,20 m de profundidade em sistema plantio direto.

Tabela 3. Síntese de análise de variância para resistência a penetração (MPa) 30 dias após a semeadura na entrefileira

Fatores	Camadas (m)				
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,30-0,40	0,40-0,50
ADUBAÇÃO					
A1	0,9 A	1,5 A	2,1 A	2,5 A	2,7 A
A2	0,8 A	1,5 A	1,9 A	2,4 A	2,8 A
MANEJO					
M1	0,9 AB	1,5 A	1,9 AB	2,4 A	2,8 A
M2	1,1 A	1,6 A	2,3 A	2,7 A	3,1 A
M3	0,7B	1,4 A	1,8 B	2,2 A	2,3 A
TESTE DE F					
Adubação (A)	2,3 ns	0,4 ns	1,6 ns	0,1 ns	0,1 ns
Manejo (M)	4,3*	0,7 ns	5,2*	2,1 ns	2,1 ns
A x M	1,7 ns	0,1 ns	1,1 ns	0,7 ns	1,9 ns

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey.^{NS}: não significativo ($P>0,05$); *: significativo ($P\leq 0,05$); **: significativo ($P\leq 0,01$). A1 – adubação de pré-semeadura; A2 – adubação no momento da semeadura; M1 – rolo-faca; M2 – triturador de palhas tratorizado e M3 – roçadora de arrasto.

Não se observou diferença entre os sistemas de adubação, manejo de resíduos e as interações para a densidade do solo e para o grau de compactação (Tabela 4). Furlani (2000) concluiu que o manejo com triturador, rolo-faca e herbicida não afetou a densidade do solo nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, concordando com os resultados obtidos neste estudo. Entretanto, Furlani (2005) verificou que o manejo com triturador de palhas resultou na maior densidade do solo do que o manejo com herbicida (pulverizador montado) e, atribuiu este resultado ao fato de o triturador possuir rodas de transporte

e controle da altura de corte em contato com o solo, discordando deste experimento.

Por outro lado, o manejo mecânico do solo para incorporação de resíduos vegetais em relação a sistemas sem incorporação pode promover alterações nos atributos físicos do solo, como redução da densidade do solo e da RP (Souza et al., 2005). O que também foi verificado por Seki et al. (2015) para a densidade do solo e para o conteúdo de água no solo em sistemas com subsolagem ou escarificação antes da semeadura do milho, em relação ao plantio direto de milho com diferentes mecanismos rompedores do solo.

Tabela 4. Síntese de análise de variância para densidade do solo (D_s - $g\ cm^{-3}$) e grau de compactação do solo (GC - %) nas camadas de 0,00 a 0,30 m

Fatores	D_s			GC		
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,00-10	0,10-0,20	0,20-0,30
ADUBAÇÃO						
A1	1,3 A	1,4 A	1,4 A	73,0 A	75,9 A	74,3 A
A2	1,3 A	1,4 A	1,4 A	71,7 A	74,1 A	74,3 A
MANEJO						
M1	1,3 A	1,4 A	1,3 A	71,7 A	73,5 A	72,1 A
M2	1,4 A	1,4 A	1,4 A	74,5 A	75,1 A	76,1 A
M3	1,3 A	1,4 A	1,4 A	69,9 A	76,4 A	74,1 A
TESTE DE F						
Adubação (A)	0,1 ns	0,3 ns	0,1 ns	0,1 ns	0,6 ns	0,1 ns
Manejo (M)	0,8 ns	0,4 ns	0,9 ns	0,9 ns	0,5 ns	0,7 ns
A x M	0,1 ns	0,1 ns	0,3 ns	0,1 ns	0,5 ns	0,2 ns

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey.^{NS}: não significativo ($P>0,05$); *: significativo ($P\leq 0,05$); **: significativo ($P\leq 0,01$). A1 – adubação de pré-semeadura; A2 – adubação no momento da semeadura; M1 – rolo-faca; M2 – triturador de palhas tratorizado e M3 – roçadora de arrasto.



O teor de água e a porosidade total do solo não apresentaram diferenças em relação aos sistemas de adubação, aos manejos e a interação entre eles (Tabela 5). Analisando os manejos para a cultura do sorgo, o triturador de palhas tratorizado apresentou o maior teor de água no solo (discordando deste experimento), enquanto o rolo-faca e o herbicida não diferiram. O triturador de palhas tratorizado proporcionou a melhor cobertura do solo, o que, provavelmente, proporcionou o maior teor de água no solo para esse tratamento (Cortez et al., 2006). Já Furlani

(2005) encontrou resultados divergentes, em que o triturador de palhas e o manejo com pulverizador apresentaram o maior valor de teor de água no solo, porque os órgãos ativos não entram em contato com o solo, diferentemente do rolo-faca, que obteve a menor condição de teor de água. Oliveira et al. (2000) também não encontraram diferença no teor de água no solo ao longo do perfil avaliado, quando cultivado no sistema de semeadura direta, o que foi atribuído à cobertura vegetal.

Tabela 5. Síntese de análise de variância para umidade do solo (U - %) e a porosidade total (PT - m³ m⁻³) 30 dias após a semeadura

Fatores	U			PT		
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
ADUBAÇÃO						
A1	28,8 A	27,6 A	27,8 A	44,3 A	75,9 A	74,3 A
A2	29,3 A	28,0 A	28,4 A	44,9 A	74,1 A	74,3 A
MANEJO						
M1	29,8 A	27,9 A	28,5 A	44,4 A	73,5 A	72,0 A
M2	28,9 A	27,7 A	28,2 A	43,5 A	75,1 A	76,1 A
M3	28,4 A	27,7 A	27,7 A	45,8 A	76,4 A	74,9 A
TESTE DE F						
Adubação (A)	0,3 ns	1,4 ns	1,8 ns	0,3 ns	0,6 ns	0,1 ns
Manejo (M)	1,1 ns	0,1 ns	1,1 ns	1,3 ns	0,5 ns	0,7 ns
A x M	0,4 ns	1,1 ns	1,2 ns	0,2 ns	0,5 ns	0,2 ns

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo Teste de Tukey.^{NS}: não significativo (P>0,05); *: significativo (P≤0,05); **: significativo (P≤0,01). A1 – adubação de pré-semeadura; A2 – adubação no momento da semeadura; M1 – rolo-faca; M2 – triturador de palhas tratorizado e M3 – roçadora de arrasto.

Ao avaliarem alterações em atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso do Cerrado sob sistema plantio direto, milho e sorgo solteiro ou consorciados com espécies forrageiras, em sucessão com a soja, Costa et al. (2015) verificaram, ao longo de três anos, redução da compactação do solo pelo efeito positivo de incremento da macroporosidade e da porosidade total e, diminuição da resistência mecânica à penetração e da densidade do solo, nas camadas de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m.

Resultados semelhantes foram obtidos por Chioderoli et al. (2011) ao utilizarem Latossolo Vermelho distroférico textura argilosa sob plantio direto, sendo três espécies de braquiárias consorciadas com milho em sucessão com a soja, os quais verificaram aumento na macroporosidade do solo nas camadas de 0,00-0,10 m e de 0,00-0,10 e 0,20-0,30 m para porosidade total e, ressaltaram que a manutenção de boa quantidade

de palhada nos tratamentos é responsável pela estabilidade do sistema semeadura direta.

Vale destacar que, em ambos os trabalhos de pesquisa referidos, houve redução da compactação do solo refletindo na melhoria dos atributos físicos mesmo em sistemas sem mobilização e intenso tráfego de máquinas. Porém, segundo os autores, o uso de sistemas integrados de produção propicia melhoria das condições físicas e químicas do solo, em razão da maior produção de palha proporcionada pelo consórcio, o que melhora a cobertura do solo, promove aporte de matéria orgânica, favorece a infiltração de água, permite maior exploração do perfil do solo pelas raízes, diminui o processo erosivo e, conseqüentemente, mantém a estabilidade do sistema.

Além disso, mesmo havendo maior tendência de compactação superficial do solo em sistemas de produção conservacionistas, isto pode



não refletir em redução de produção já que outras propriedades determinadas na relação solo-planta podem condicionar o incremento da produtividade em culturas anuais (Mazurana et al., 2011). Portanto, faz-se necessária a investigação do efeito de sistemas de semeadura direta, com relação ao uso de culturas em rotação/sucessão e o seu manejo para cobertura, ao longo do tempo, nas distintas condições edafoclimáticas e operacionais.

Conclusões

O sistema de adubação não afeta os atributos físicos do solo. O equipamento de manejo de resíduos, triturador de palhas, afeta a resistência do solo à penetração entre as fileiras da cultura da soja nas camadas de 0,00-0,10 m e 0,20-0,30 m.

Agradecimentos

À CAPES pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor.

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.
- BERGAMIN, A.C.; VITORINO, A.C.T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C.M.A.; SOUZA, F.R. Compactação em um Latossolo Vermelho Distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.3, p.681-691, 2010.
- BETIOLI JÚNIOR, E.; MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; FERREIRA, C. J. B.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B. Intervalo hídrico ótimo e grau de compactação de um Latossolo Vermelho após 30 anos sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.3, p.971-982, 2012.
- BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G.; FERRAZ, M.V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.6, p.843-850, 2005.
- BOTTEGA, E. L.; BOTTEGA, S. P.; SILVA, S. A.; QUEIROZ, D. M.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em um Latossolo Vermelho distroférrico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.2, p.331-336, 2011.
- BRANQUINHO, K. B. **Semeadura direta da soja (*Glicine max L.*) em função da velocidade de deslocamento e do tipo de manejo do milheto (*Pennisetum glaucum (L) R. Brow.*)**. 2003. Ano de obtenção: 2003. 62 f. Dissertação (mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, 2003.
- CHIODEROLI, C.A.; MELLO, L.M.M.; GRIGOLLI, P.J.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, J.O.R.; CESARIN, A.L. Atributos físicos do solo, produtividade de soja em sistema de consórcio milho, braquiária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.1, p.37-43, 2012.
- CORTEZ, J.W.; FURLANI, C.E.A.; SILVA, R.P.; LOPES, A. Distribuição longitudinal de sementes de soja e características físicas do solo no plantio direto. **Engenharia Agrícola**, v.26, n.2, p.502-510, 2006.
- COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K.S.M.; YOKOBATAKE, K.L.; FERREIRA, J.P.; PARIZ, C.M.; BONINI, C.S.B.; LONGUINI, V.Z. Atributos do Solo e Acúmulo de Carbono na Integração Lavoura-Pecuária em Sistema Plantio Direto **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.3, p.852-863, 2015.
- FERREIRA, F.M.; SILVA, A.R.B.; POLIZEI, A.C.; BONFIM-SILVA, E.M. Influência dos manejos do solo no desenvolvimento da cultura do crame. **Energia na Agricultura**, v.28, n.3, p.179-184, 2013.
- FURLANI, C.E.A. **Efeito do preparo do solo e do manejo da cobertura de inverno na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*)**. 2000. Ano de obtenção: 2000. 218 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 2000.
- FURLANI, C.E.A. **Sistemas de manejo e rotação de culturas de cobertura em plantio**



direto de soja e milho. 2005. Ano de obtenção: 2005. 99f. Tese (Livre Docência em Máquinas Agrícolas) Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2005.

GREGORICH, E. G.; REYNOLDS, W.D.; CULLEY, J.L.B.; McGOVERN, M.A. Changes in soil physical properties with depth in a conventionally tilled soil after no-tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 26, p.289-299, 1993.

GUIMARÃES, R.M.L.; BLAINSKI, E.; FIDALSKI, J. Intervalo hídrico ótimo para avaliação da degradação física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.6, p.1512-1521, 2013.

MARASCA, I.; OLIVEIRA, C.A.A.; GUIMARÃES, E.C.; CUNHA, J.P.A.R.; ASSIS, R.L.; PERIN, A.; MENEZES, L.A.S. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e teor de água em sistema de plantio direto na cultura da soja. **Bioscience Journal**, v.27, n.2, p.239-246, 2011.

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; MULLER, J.; CONTE, O. Sistemas de preparo de solo: alterações na estrutura do solo e rendimento de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.4, p.1197-1206, 2011.

OLIVEIRA, M.L.; VIEIRA, L.B.; MANTOVANI, E.C.; SOUZA, C.M.; DIAS, G.P. Desempenho de uma semeadora-adubadora para plantio direto, em dois solos com diferentes tipos de cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.7, p.1455-1463, 2000.

PIRES, F.R.; ASSIS, R.L.; PROCÓPIO, S.O.; SILVA, G.P.; MORAES, L.L.; RUDOVALHO, M.C.; BÖER, C.A. Manejo de plantas de cobertura antecessoras à cultura da soja em plantio direto. **Revista Ceres**, v.55, n.2, p. 94-101, 2008.

SEKI, A.S.; SEI, F.G.; JASPER, S.P.; SILVA, P.R.A.; BENEZ, S.H. Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.46, n.3, p.460-468, 2015.

SILVA, D.A.; SOUZA, L.C.F.; VITORINO, A.C.T.; GONÇALVES, M.C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, v.70, n.1, p.147-156, 2011.

SOUZA, Z.M.; PRADO, R. M.; PAIXÃO, A.C.S.; CESARIN, L.G. Sistemas de colheita e manejo da palhada de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.3, p.271-278, 2005.

STOLF, R. Teoria e teste experimental de formulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.2, p.229-235, 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. Penetrômetro de impacto – modelo IAA/Planalsucar – STOLF. **STAB**, v.1, n.3, p.18-23, 1983.

SUZUKI, L.E.A.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; LIMA, C.L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.8, p.1159-1167, 2007.

TROGELLO, E., MODOLO, A.J., SCARSI, M., DALLACORT, R. Manejos de cobertura, mecanismos sulcadores e velocidades de operação sobre a semeadura direta da cultura do milho. **Bragantia**, v.72, n.1, p.101-109, 2013a.

TROGELLO, E., MODOLO, A.J., SCARSI, M., SILVA, C., LADAMI, P.F., DALLACORT, R. Manejos de cobertura vegetal e velocidades de operação em condições de semeadura e produtividade de milho. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.7, p.796-802. 2013b.

VALADÃO, F.C.A.; WEBER, O.L.; VALADÃO JÚNIOR, D.D.; SCARPINELLI, A.; DEINA, F. R.; BIANCHINI, A. Adubação fosfatada e compactação do solo: sistema radicular da soja e do milho e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.1, p.243-255, 2015.