

## Efeitos de práticas de descompactação do solo em área sob sistema plantio direto<sup>1</sup>

Effects of soil decompaction techniques in an area under a system of direct seeding

André Satoshi Seki<sup>2\*</sup>, Fernanda Gonçalves Seki<sup>3</sup>, Samir Paulo Jasper<sup>4</sup>, Paulo Roberto Arbex Silva<sup>5</sup> e Sérgio Hugo Benez<sup>5</sup>

**RESUMO** - A compactação do solo é o um dos fatores limitante em áreas submetidas ao sistema plantio direto. O manejo utilizado para romper a camada compactada deve mobilizar o mínimo possível o solo, além de manter a cobertura sobre o solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da subsolagem, da escarificação e da utilização de mecanismos sulcadores tipo haste na operação de semeadura sobre a manutenção da cobertura do solo, o conteúdo de água e a densidade do solo, assim como os efeitos sobre a produtividade do milho em um Nitossolo Vermelho distroférico há dez anos cultivado no sistema plantio direto. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, contendo oito tratamentos de manejo do solo: subsolagem a 0,40 m antes da cultura de inverno, subsolagem a 0,40 m antes do milho, escarificação a 0,30 m antes da cultura de inverno, escarificação a 0,30 m antes do milho, escarificação a 0,20 m antes da cultura de inverno, escarificação a 0,20 m antes do milho, plantio direto de milho com mecanismo sulcador tipo haste e plantio direto de milho com mecanismo sulcador tipo disco duplo; e quatro repetições. A subsolagem e a escarificação influenciaram a manutenção de cobertura, a densidade e o conteúdo de água no solo logo após a semeadura, porém não interferiram no desenvolvimento das plantas e na produtividade de grãos, na cultura do milho. A utilização de mecanismos sulcadores tipo haste na operação de semeadura não apresentou efeito sobre nenhum dos parâmetros estudados.

**Palavras-chave:** Subsolagem. Escarificação. Atributos físicos. Produtividade.

**ABSTRACT** - Soil compaction is one of the limiting factors in areas subjected to direct seeding. The method used to break up the compacted layer should disturb the soil as little as possible, as well as maintain the ground cover. The aim of this study was to evaluate the influence of subsoiling, scarification and use of shaft-type furrowing mechanisms when sowing, on preserving the ground cover, water content and soil density, as well as the effects on maize yield in a dystroferic Red Nitosol, cultivated under a system of direct seeding for ten years. The experimental design was of randomised blocks, with eight soil management treatments: subsoiling to a depth of 0.40 m before sowing the winter crop, subsoiling to 0.40 m before sowing the maize, scarification to 0.30 m before the winter crop, scarification to 0.30 m before the maize, scarification to 0.20 m before the winter crop, scarification to 0.20 m before the maize, direct seeding of the maize with a shaft-type furrowing mechanism and direct seeding of the maize using a double disc furrower. There were four replications. Subsoiling and scarification influenced the preservation of the ground cover, soil density and water content immediately after sowing, but did not interfere in plant development or grain yield in the maize crop. The use of shaft-type furrowing mechanisms in the sowing operation had no effect on any of the parameters under study.

**Key words:** Subsoiling. Scarification. Physical attributes. Productivity.

DOI: 10.5935/1806-6690.20150027

\*Autor para correspondência

<sup>1</sup>Recebido para publicação em 03/10/2012; aprovado em 25/02/2015

Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rua Doutor José Barbosa de Barros, 1780, Botucatu-SP, Brasil, 18.610-307, andresseki@gmail.com

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu-SP, Brasil, fecoelhog@yahoo.com.br

<sup>4</sup>Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil, samir@ufpr.br

<sup>5</sup>Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu-SP, Brasil, arbex@fca.unesp.br, benez@fca.unesp.br

## INTRODUÇÃO

A melhora da qualidade do solo cultivável, por meio da utilização de sistemas conservacionistas, como o plantio direto e o cultivo mínimo, permitiu a expansão da agricultura para novas áreas produtoras. Porém, um dos fatores limitantes para a obtenção do potencial máximo de produtividade nestas áreas tem sido as alterações nos atributos físicos do solo, principalmente a compactação, prejudicando a sustentabilidade do sistema plantio direto (SILVA; IMHOFF; KAY, 2004). Nessas áreas, a compactação do solo ocorre nas camadas superficiais, devido, principalmente, ao tráfego de máquinas, e implementos em condições de alto teor de água no solo ou por mobilizá-lo somente na linha de semeadura (ARAÚJO *et al.*, 2004).

Quando a compactação é observada deve-se utilizar um sistema de manejo que consiga romper esta camada compactada, mobilizando o mínimo possível a camada arável e mantendo o máximo de palha sobre o solo (CARVALHO FILHO *et al.*, 2007). Esta interferência normalmente deve ser executada por meio de escarificadores ou subsoladores providos de discos de corte à frente das hastes, evitando que a palha seja incorporada ao solo.

A escarificação resulta em preparo com menor revolvimento e, portanto menor incorporação da palha, restando sobre a superfície uma maior cobertura para proteção do solo (CARVALHO FILHO *et al.*, 2007). Várias pesquisas demonstraram que a escarificação do solo promove a redução da densidade e da resistência do solo à penetração, com o mínimo possível de mobilização do solo. Porém a longevidade dos efeitos da escarificação é muito variável, desde poucos meses (CAMARA; KLEIN, 2005; NICOLOSO *et al.*, 2008; RALISCH *et al.*, 2001; REICHERT *et al.*, 2009) até alguns anos (ROSA *et al.*, 2008), dependendo da reconsolidação do solo sob influência do clima e do uso de máquinas agrícolas (BUSSCHER; BAUER; FREDERICK, 2002).

Quando há presença de camadas compactadas em profundidades não atingidas por outros equipamentos, a subsolagem é uma prática recomendada para o rompimento destas sem, entretanto, causar inversão do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Os efeitos benéficos da subsolagem são normalmente temporários e os atributos físicos retornam a seus valores originais em cerca de 2 a 4 anos, dependendo do tipo de solo e das práticas culturais predominantes (BUSSCHER *et al.*, 1995).

De acordo com Silva e Benez (2005) uma forma de racionalizar a utilização de máquinas e equipamentos para efetuar a descompactação superficial do solo em áreas de plantio direto é a utilização de mecanismos sulcadores tipo haste na operação de semeadura. A maior profundidade de trabalho das hastes sulcadoras permite assim quebrar

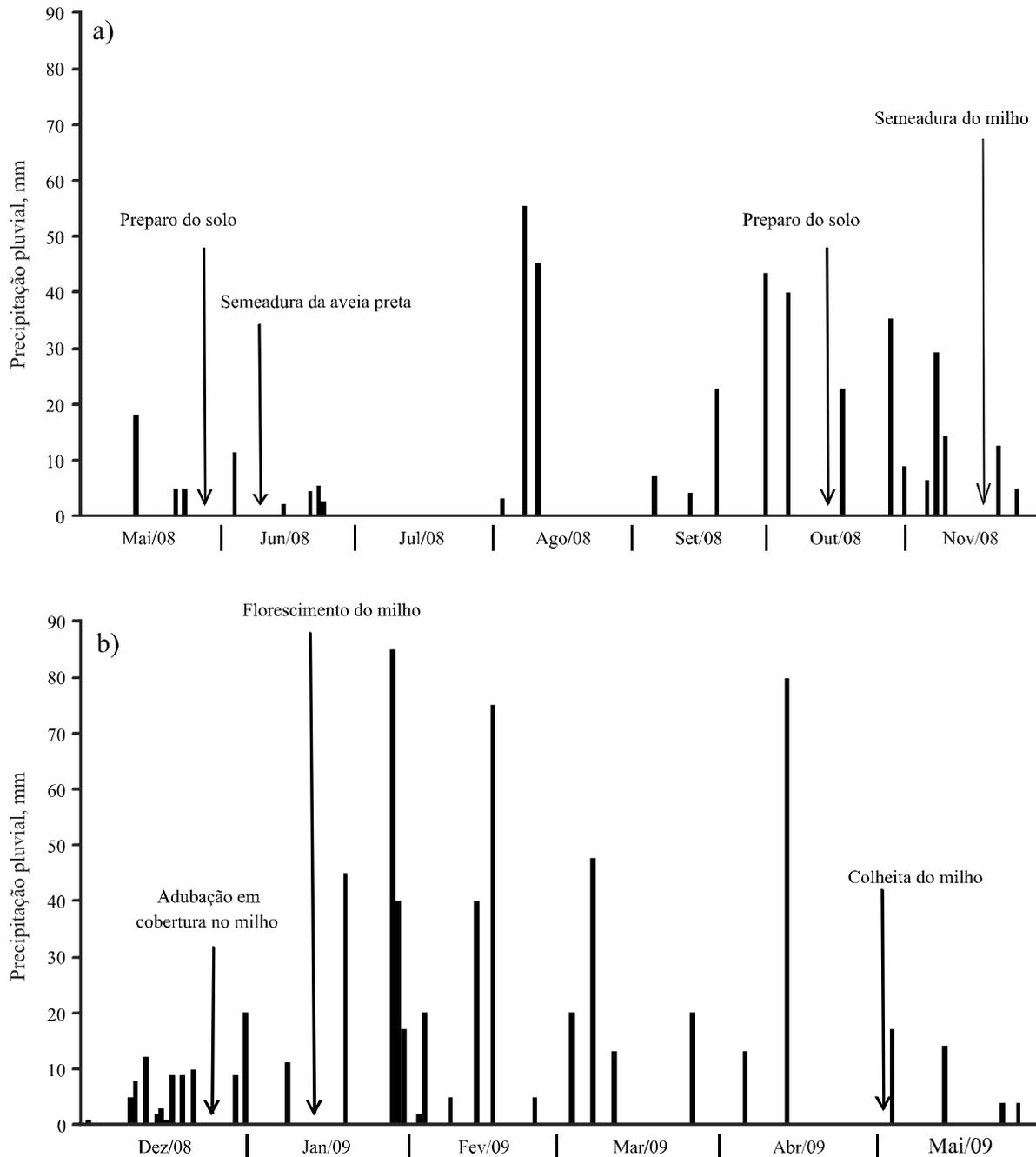
a camada compactada superficial do solo (MELLO; TAKAHASHI, 2000). Mello, Takahashi e Yano (2002), avaliando as condições físicas do solo submetido a mecanismos sulcadores das semeadoras, mostraram que a haste apresentou maior capacidade de romper o solo na linha da semeadura, provocando redução na densidade e resistência à penetração, aumento na macroporosidade do solo e da produtividade de grãos de milho, em relação ao mecanismo sulcador tipo disco duplo.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência da subsolagem, da escarificação e da utilização de mecanismos sulcadores tipo haste na operação de semeadura sobre a manutenção da cobertura do solo, o conteúdo de água e a densidade do solo, assim como os efeitos sobre a produtividade do milho em um Nitossolo Vermelho distroférico cultivado por dez anos em sistema plantio direto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no ano agrícola de 2008/2009, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas UNESP, localizada no município de Botucatu, na região centro oeste do Estado de São Paulo (22°51' S e 48°26' W, 770 m). A região apresenta precipitação pluvial média anual de 1.314 mm e o clima de ocorrência, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, com verões quentes e úmidos e invernos frios e secos. O solo da área foi classificado como Nitossolo Vermelho distroférico textura argilosa (EMBRAPA, 2006), apresentando a seguinte distribuição granulométrica: 89 g kg<sup>-1</sup> de areia, 315 g kg<sup>-1</sup> de silte e 596 g kg<sup>-1</sup> de argila.

A área experimental é manejada sob sistema plantio direto desde o ano agrícola de 1997, com rotações de milho (*Zea mays* L.) e soja (*Glycine max* L.) no verão e aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) ou triticale (*Triticum turgidocereale*) no inverno. O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, contendo oito tratamentos de manejo do solo e quatro repetições. Os tratamentos foram: S40I (Subsolagem a 0,40 m antes da implantação da cultura de inverno); S40V (Subsolagem a 0,40 m antes da implantação do milho); E30I (Escarificação a 0,30 m antes da implantação da cultura de inverno); E30V (Escarificação a 0,30 m antes da implantação do milho); E20I (Escarificação a 0,20 m antes da implantação da cultura de inverno); E20V (Escarificação a 0,20 m antes da implantação do milho); PDH (Plantio direto de milho, com mecanismo sulcador tipo haste); PDD (Plantio direto de milho, com mecanismo sulcador tipo disco duplo). Cada unidade experimental possuía 25 m de comprimento e 7 m de largura. Durante a condução do experimento foi instalado um pluviômetro no centro na área experimental e foram efetuadas as leituras da quantidade de chuvas diárias. Os resultados obtidos são apresentados a seguir na Figura 1:

**Figura 1** - Precipitação pluviométrica mensal no período de maio a novembro de 2008 (a) e dezembro a maio de 2009 (b)

Foi utilizado o escarificador modelo Jumbo Matic JMHD-7, de arrasto, equipado com sete hastes, espaçadas a 400 mm, ponteiros de 80 mm de largura, conjugado com discos de corte, com cilindro destorroador/nivelador na parte traseira do equipamento. Para a operação de subsolagem, foi utilizado o mesmo equipamento, sendo retiradas 4 hastes. Na sementeira do milho utilizou-se a sementeira-adubadora de precisão, modelo PST2, de arrasto, com 4 linhas espaçadas de 0,90 m, cada unidade

sementeira é provida de discos de corte, mecanismo dosador de sementes tipo disco perfurado horizontal, com os mecanismos sulcadores do tipo disco duplos desencontrados e haste sulcadoras de 30 mm de largura.

A determinação da porcentagem de cobertura foi realizada utilizando-se a metodologia descrita por Lafren, Amemiya e Hintz (1981), realizando-se uma contagem nas direções diagonais de cada parcela experimental, antes e após as operações de preparo e sementeira. Para obtenção

do percentual de cobertura vegetal, fez-se a contagem dos pontos sem cobertura vegetal e subtraiu-se de 100. Essa porcentagem foi obtida pela equação 1:

$$PMC = \frac{PC_D}{PC_A} \cdot 100 \quad (1)$$

em que, -  $PMC$  - porcentagem de manutenção de cobertura na superfície do solo (%); -  $PC_D$  - porcentagem de cobertura do solo após as operações de preparo e semeadura (%); -  $PC_A$  - porcentagem de cobertura do solo antes as operações de preparo e semeadura (%).

O teor de água do solo foi determinado pelo método gravimétrico, conforme Embrapa (1997), em amostras de solo coletadas nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, durante a condução da cultura do milho, sendo acompanhada com amostragens a cada 10 dias efetuadas em cada tratamento. A densidade do solo foi obtida pelo método do torrão parafinado, de acordo com a metodologia descrita no Manual de Métodos de Análise do Solo - EMBRAPA (1997), em amostras coletadas nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Esta determinação foi executada antes da implantação e após a colheita do experimento.

Para quantificar a produtividade média de grãos da cultura do milho, foram colhidas manualmente as plantas, em três metros de linha, em cada parcela experimental, no período em que a cultura atingiu o ponto de maturação fisiológica. As amostras coletadas foram processadas pela trilhadora, sendo posteriormente aferidas quanto a massa. Foi determinada a umidade e o peso de grãos foi corrigido para a umidade de 13%. As plantas colhidas para a aferição da produtividade foram pesadas para a determinação da produção de matéria seca das culturas, deste total foram retiradas amostras de aproximadamente 200 g e levadas à estufa a 65 °C e secas até atingir massa constante, quando foram pesadas novamente para determinação do teor de matéria seca. Multiplicando-se este valor de matéria seca pela produção de palha, descontando a massa dos grãos, foi estimada a produção de matéria seca por hectare.

Todos os dados originais foram submetidos à análise de variância a 5% pelo teste F, sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o programa de análise estatística SISVAR 5.0 (FERREIRA, 2007).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Porcentagem de manutenção de cobertura do solo

Antes de qualquer interferência mecânica, havia na superfície do solo mais de 80% de cobertura vegetal, apresentando média de 6.845 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca. Os tratamentos de plantio direto com os mecanismos

sulcadores tipo haste e discos duplos desencontrados obtiveram os maiores valores 84,25 e 90,75% respectivamente, mas não diferiram dos tratamentos S40I, E30I, E20I e E20V (Tabela 1).

**Tabela 1** - Valores da porcentagem de manutenção de cobertura do solo (%), em experimento com a cultura do milho, submetido aos diferentes manejos do solo

Tratamentos Milho	Cobertura do solo (%)
S40I	75,00 ab
S40V	44,00 c
E30I	80,25 ab
E30V	41,25 c
E20I	79,25 ab
E20V	66,25 b
PDH	84,25 ab
PDD	90,75 a
DMS	19,37
CV(%)	11,64
Média	70,12

Médias seguidas de letras distintas, maiúscula na coluna, diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5%

Os solos que sofreram as operações de subsolagem e escarificação no inverno (S40I, S30I e S20I) apresentaram porcentagem de manutenção de cobertura semelhantes ao solo sob plantio direto e maiores que as dos solos em que as operações foram realizadas no verão. Esse resultado se deve ao fato da cultura de cobertura ter sido implantada após a escarificação, fazendo com que essa operação influenciasse pouco a redução dos restos culturais sobre a superfície do solo. Concordando com Camara e Klein (2005), que avaliando as alterações nas propriedades físico hídricas do solo sob plantio direto e plantio direto escarificado com cultura de cobertura implantada após a escarificação, verificaram que o solo sob plantio direto escarificado também apresentou níveis de restos culturais na superfície semelhantes ao plantio direto, seis meses após a escarificação.

As operações de subsolagem e escarificação realizadas no verão ocasionaram maior incorporação de restos culturais. Porém, o solo onde a escarificação foi feita a 0,20 m de profundidade apresentou maior manutenção de cobertura do solo que os solos que sofreram subsolagem e escarificação a 0,30 m de profundidade. Isso se deve às maiores profundidades de preparo utilizadas nestas operações, que resultaram em maior mobilização do solo e assim maior incorporação dos resíduos superficiais.

A utilização dos mecanismos sulcadores tipo hastes no sistema plantio direto não apresentou incorporação significativa de restos culturais quando comparada com o sulcador tipo disco duplo defasado, discordando dos valores obtidos por Silva (2003), que verificou uma diferença de 18,3% em relação aos dois mecanismos sulcadores, sendo o sulcador tipo disco duplo o que apresentou maior manutenção da palhada na superfície.

### Conteúdo de água no solo

Verificou-se que os solos sob plantio direto, com os mecanismos sulcadores de haste e discos duplos, apresentaram maiores teores de água na camada 0-0,10 m em todos os períodos avaliados (Figura 2), porém com diferença estatística apenas no mês de novembro, mês em que ocorreu a semeadura do milho. Esse período é crítico para a cultura, que necessita de maiores teores de água no solo para seu estabelecimento.

Esses valores podem estar relacionados com a percentagem da cobertura do solo (Tabela 1), pois os tratamentos de plantio direto apresentaram os maiores valores devido à sua mínima mobilização do solo, concordando com Dalmago *et al.* (2009) que observaram maior armazenamento de água no solo, provocado pela palhada na superfície, que diminuiu a evaporação e aumenta a infiltração da água no solo (FABRIZZI *et al.*, 2005).

Na camada 0,10-0,20 m, os teores de água do solo apresentaram valores médios semelhantes entre os tratamentos. Isso ocorre porque o efeito da palhada sobre a conservação da água no solo é mais pronunciado nas proximidades da superfície (PERES; SOUZA; LAVORENTI, 2010).

### Densidade do solo

Na camada 0-0,10 m os valores de densidade do solo após a colheita do milho diferiram dos resultados obtidos antes da implantação do experimento nos tratamentos S40I, S40V, E30V e E20V, o que indica a persistência dos efeitos do preparo do solo nesses tratamentos (Tabela 2). Não houve diferença entre os valores de densidade obtidos antes da implantação do experimento e após a colheita do milho nos solos que sofreram escarificação no inverno. Assim, 11 meses após o preparo do solo não se observou efeito da escarificação, concordando com Ralisch *et al.* (2001), que concluíram que a escarificação tem efeito somente para um ciclo de cultura, não tendo efeito residual para outras culturas subsequentes.

Os solos que receberam a operação de subsolagem apresentaram, na camada 0-0,10 m, valores de densidade 15%

menores que o solo sob plantio direto com os mecanismos sulcadores tipo discos duplos desencontrados (PDD), mesmo após 11 meses da realização dos preparos. Martinez *et al.* (2011), observaram que a subsolagem no plantio direto reduziu a compactação e proporcionou aumento significativo na produtividade de grãos quando comparada com o plantio direto até dois anos após a operação de preparo. Os demais tratamentos apresentaram valores intermediários.

Os efeitos do preparo do solo persistiram até após a colheita em todos os tratamentos na camada de 0,10-0,20 m, onde todos os valores de densidade do solo após a colheita diferiram dos resultados obtidos antes da implantação do experimento. Apenas os tratamentos de plantio direto (PDH e PDD), não apresentaram diferenças de densidade do solo entre as épocas de amostragem.

Verificou-se, na camada 0,10-0,20 m, que os valores de densidade dos solos que receberam as operações de subsolagem e de escarificação a 0,20 e 0,30 m, no período de inverno, foram aproximadamente 9% menores que os valores obtidos na instalação do experimento, mesmo 11 meses após o preparo. Já os tratamentos de preparo do solo realizados no verão, após seis meses, mantiveram uma diferença aproximadamente de 12% inferior aos obtidos anteriormente. Camara e Klein (2005), também observaram que, seis meses após a escarificação, ainda houve diferença significativa entre os manejos de solo, com uma redução da densidade do solo aproximadamente 4% do plantio direto escarificado em relação ao plantio direto. Já Nicoloso *et al.* (2008), relataram que a escarificação reduziu a densidade do solo em 4,8% em relação ao plantio direto nove meses depois do preparo do solo.

Os solos que receberam a operação de subsolagem, no inverno e no verão, e escarificação a 0,30 e 0,20 m no verão apresentaram valores de densidade, em média, 13% menores que o solo sob plantio direto com os mecanismos sulcadores tipo discos duplos desencontrados (PDD).

Na camada de 0,20 - 0,30 m de profundidade, o efeito do preparo do solo sob a densidade do solo pode ser verificado apenas nos tratamentos S40I, S40V e E30V. Isso está relacionado com a maior profundidade de trabalho dos tratamentos S40I e S40V, rompendo o solo e permitindo a redução dos valores de densidade nesta camada. Para o E30V, além da profundidade de trabalho, o tempo entre o preparo e a amostragem também influenciou esse resultado, já que o mesmo efeito não foi obtido no tratamento E30I, em que após 11 meses da operação de escarificação os valores não diferenciaram do obtido antes da implantação do experimento. Os demais tratamentos não apresentaram

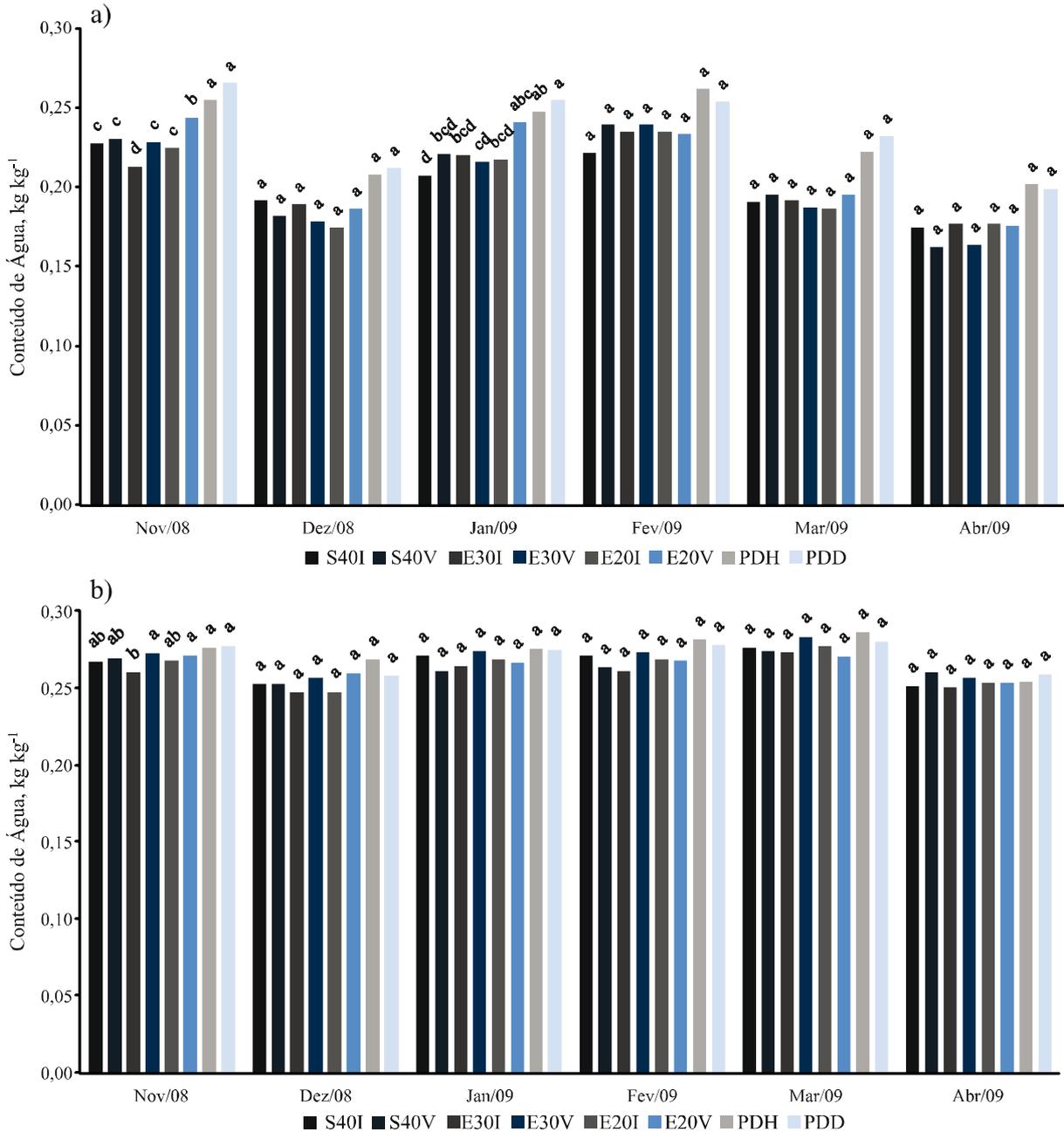
diferenças entre os valores de densidade do solo obtidos antes da implantação e após a colheita do experimento devido a menor profundidade de trabalho das hastes na operação de escarificação e a não mobilização do solo nos tratamentos de plantio direto.

A operação de subsolagem foi a única operação de preparo que apresentou efeitos persistentes sobre a densidade do solo em todas as camadas, mesmo

após 11 meses de sua realização. Busscher *et al.* (1995), relataram que os efeitos residuais da subsolagem foram observados até três anos após o preparo.

Os valores de densidade do solo sob plantio direto com mecanismos sulcadores tipo hastes foram menores que os obtidos com o sulcador tipo disco duplo defasados em todas as camadas, porém não houve diferença significativa.

**Figura 2** - Variação média mensal do conteúdo de água no solo no período de 17 de novembro de 2008 a 27 de abril de 2009, na camada de 0-0,10 m, nos diferentes tratamentos na cultura do milho (a) e na camada de 0,10-0,20 m (b)



Médias seguidas de letras minúsculas distintas, dentro de cada mês, diferem entre si pelo teste de Tukey, no nível de 5%

**Tabela 2** - Densidade do solo em diferentes sistemas de manejo do solo e épocas de amostragem do solo, na cultura do milho

Sistemas de manejo	Densidade do solo (Mg m <sup>-3</sup> )	
	Antes da implantação	Após a colheita
Camada 0-0,10 m		
S40I	1,33 a A	1,20 b B
S40V	1,42 a A	1,19 b B
E30I	1,33 a A	1,23 ab A
E30V	1,37 a A	1,22 ab B
E20I	1,39 a A	1,28 ab A
E20V	1,41 a A	1,22 ab B
PDH	1,37 a A	1,35 ab A
PDD	1,35 a A	1,41 a A
DMS (manejo do solo)		0,19
DMS (Época de amostragem)		0,12
Camada 0,10-0,20 m		
S40I	1,32 a A	1,20 b B
S40V	1,36 a A	1,20 b B
E30I	1,34 a A	1,22 ab B
E30V	1,36 a A	1,20 b B
E20I	1,41 a A	1,27 ab B
E20V	1,35 a A	1,19 b B
PDH	1,41 a A	1,34 ab A
PDD	1,34 a A	1,36 a A
DMS (manejo do solo)		0,16
DMS (Época de amostragem)		0,10
Camada 0,20-0,30 m		
S40I	1,34 ab A	1,20 b B
S40V	1,32 ab A	1,20 b B
E30I	1,26 b A	1,21 b A
E30V	1,29 ab A	1,20 b B
E20I	1,39 a A	1,32 ab A
E20V	1,38 a A	1,36 a A
PDH	1,37 a A	1,31 ab A
PDD	1,38 ab A	1,32 ab A
DMS (manejo do solo)		0,12
DMS (Época de amostragem)		0,076

Médias seguidas de letras distintas, maiúscula na coluna e minúsculas na linha, diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5%

## Produtividade de matéria seca e de grãos da cultura do milho

Houve diferenças estatísticas entre os tratamentos no parâmetro de produção de matéria seca, onde o maior valor foi obtido no tratamento E20I, mas não diferindo dos tratamentos de plantio direto (Tabela 3). Os demais tratamentos de preparo do solo não apresentaram diferenças entre si.

Os valores médios da produtividade de matéria seca foram próximos aos 9.770 kg ha<sup>-1</sup> obtidos por Mahl *et al.* (2008). Os mesmos verificaram que as produções de matéria seca de milho não diferiram entre os tratamentos de escarificação e plantio direto.

A proporção de acúmulo de matéria seca, em área de plantio direto pode ser considerada adequada ao sistema, pois conforme Alvarenga *et al.* (2001) 6 t ha<sup>-1</sup> de matéria seca na superfície é a quantidade suficiente para se obter boa cobertura do solo.

A produtividade de grãos de milho apresentou variação superior 1.000 kg ha<sup>-1</sup> entre o tratamento PDD em relação ao S40I, porém não foi influenciada pelos tratamentos de preparo do solo, concordando com Mahl *et al.* (2008) e Bertolini *et al.* (2008) que não verificaram o efeito da escarificação do solo na produtividade do milho e discordando de Secco *et al.* (2009) que verificaram um aumento de 17% na produtividade de grão, em relação ao sistema de plantio direto.

Os tratamentos com plantio direto utilizando os mecanismos sulcadores tipo haste e discos duplos defasados, não apresentaram diferenças estatísticas entre si, concordando com Silva (2003) e Mello, Takahashi e Yano (2002).

**Tabela 3** - Valores médios da produtividade de matéria seca e de grãos da cultura do milho

Tratamentos	Prod. MS (kg ha <sup>-1</sup> )	Prod. Grãos (kg ha <sup>-1</sup> )
S40I	7089 C	7219 A
S40V	7737 BC	7896 A
E30I	7971 BC	8123 A
E30V	7982 BC	7707 A
E20I	10794 A	7573 A
E20V	8214 BC	7554 A
PDH	9189 AB	8353 A
PDD	9381 AB	8316 A
DMS	2021	1444
CV(%)	9,97	7,77
Média	8544	7843

Médias seguidas de letras distintas, maiúscula na coluna, diferem entre si, pelo teste de Tukey, no nível de 5%

## CONCLUSÕES

1. A subsolagem a 0,40 m e a escarificação a 0,30 m, realizadas no verão, reduziram a porcentagem de manutenção de cobertura;
2. A subsolagem e a escarificação influenciaram o conteúdo de água no solo logo após a semeadura;
3. Os efeitos da subsolagem e da escarificação persistiram após a colheita da cultura, mantendo os valores de densidade do solo abaixo dos obtidos anteriormente à instalação do experimento;
4. A subsolagem, a escarificação e a utilização de mecanismos sulcadores tipo haste na operação de semeadura não interferiram no desenvolvimento das plantas e na produtividade de grãos, na cultura do milho.

## REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R. C. *et al.* Plantas de cobertura de solo para sistema plantio direto. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 208, p. 25-36, 2001.
- ARAÚJO, M. A. *et al.* Efeitos da escarificação na qualidade física de um latossolo vermelho distroférrico após treze anos de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 28, n. 2, p. 495-504, 2004.
- BERTOLINI, E. V. *et al.* Antecipação da adubação de semeadura do milho em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 6, p. 2355-2366, 2008.
- BUSSCHER, W. J. *et al.* Residual effects of slit tillage and subsoiling in a hardpan soil. **Soil and Tillage Research**, v. 35, n. 3, p. 115-123, 1995.
- BUSSCHER, W. J.; BAUER, P. J.; FREDERICK, J. R. Recompaction of a coastal loamy sand after deep tillage as a function of subsequent cumulative rainfall. **Soil and Tillage Research**, v. 68, n. 1, p. 49-57, 2002.
- CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Escarificação em plantio direto como técnica de conservação do solo e da água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 789-796, 2005.
- CAMARGO, O.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 132 p.
- CARVALHO FILHO, A. *et al.* Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 229-237, 2007.
- DALMAGO, G. A. *et al.* Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 855-864, 2009. Suplemento.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- FABRIZZI, K.P. *et al.* Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. **Soil and Tillage Research**, v. 81, n. 1, p. 57-69, 2005.
- FERREIRA, D. F. **Programa Sisvar.exe: sistema de análise de variância**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2007.
- LAFLEN, J. M.; AMEMIYA, A.; HINTZ, E. A. Measuring crop residue cover. **Soil Water Conservation**, v. 36, n. 6, p. 341-343, 1981.
- MAHL, D. *et al.* Resistência do solo à penetração, cobertura vegetal e produtividade do milho em plantio direto escarificado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 5, p. 741-747, 2008.
- MARTÍNEZ, I. G. *et al.* Influence of conservation tillage and soil water content on crop yield in dryland compacted Alfisol of Central Chile. **Chilean Journal of Agriculture Research**, v. 71, n. 4, p. 615-622, 2011.
- MELLO, L. M. M.; TAKAHASHI, C. M. Avaliação de mecanismos rompedores e rodas compactadoras de semeadoras-adubadoras para a cultura do milho (*Zea mays* L.) em semeadura direta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29, 2000, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000, p. 1-4.
- MELLO, L. M. M.; TAKAHASHI, C. M.; YANO, E. H. Condicionamento físico do solo na linha de semeadura de milho em plantio direto: mecanismos sulcadores e rodas compactadoras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., 2002, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002. 1 CD-ROM.
- NICOLOSO, R. da S. *et al.* Eficiência da escarificação mecânica e biológica na melhoria dos atributos físicos de um Latossolo muito argiloso e no incremento do rendimento de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 4 p. 1723-1734, 2008.
- PERES, J. G.; SOUZA, C. F.; LAVORENTI, N. A. Avaliação dos efeitos da cobertura de palha de cana-de-açúcar na umidade e na perda de água do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 5, p. 875-886, 2010.
- RALISCH, R. *et al.* Avaliação em um solo argiloso sob plantio direto de uma escarificação na evolução da resistência do solo à penetração. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30, 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 1 CD-ROM.
- REICHERT, J. M. *et al.* Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 310-319, 2009.
- ROSA, D. P. *et al.* Relação entre solo e haste sulcadora de semeadora em Latossolo escarificado em diferentes épocas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 3, p. 395-400, 2008.
- SECCO, D. *et al.* Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v. 39, n. 1, p. 58-64, 2009.
- SILVA, A. P.; IMHOFF, S.; KAY, B. Plant response to mechanical resistance and air-filled porosity of soils under conventional and no-tillage system. **Scientia Agrícola**, v. 61, n. 4, p. 451-456, 2004.
- SILVA, P. R. A. **Mecanismo sulcadores de semeadora-adubadora na cultura do milho (*Zea mays* L.) no sistema de plantio direto**. 2003. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.
- SILVA, P. R. A.; BENEZ, S. H. Avaliação de forças resultantes de mecanismos sulcadores de semeadoras-adubadoras de plantio direto. **Energia na Agricultura**, v. 20, n. 2, p. 76-82, 2005.