

SEÇÃO I - FÍSICA DO SOLO

VARIAÇÃO NA TEMPERATURA DO SOLO EM TRÊS SISTEMAS DE MANEJO NA CULTURA DO FEIJÃO⁽¹⁾

Vanderlei Rodrigues da Silva⁽²⁾, José Miguel Reichert⁽³⁾
& Dalvan José Reinert⁽³⁾

RESUMO

A temperatura do solo é uma propriedade que afeta diretamente o crescimento das plantas e é influenciada pelo balanço de energia na superfície do solo. Dessa maneira, os sistemas de manejo do solo têm efeito na temperatura, visto que alteram as condições da superfície do solo. O objetivo deste estudo foi determinar o efeito de três sistemas de manejo na temperatura do solo durante todo o ciclo do feijoeiro. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com os seguintes preparos do solo: plantio direto há sete anos (PD); plantio direto revolvido por uma aração e uma gradagem (PDar) e plantio direto revolvido por escarificador (PDesc), distribuídos em quatro blocos. O solo do experimento é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico. A temperatura do solo foi determinada durante todo o ciclo do feijoeiro, realizando-se leituras a cada 10 min, em um sistema automatizado de coleta de dados, com sensores do tipo termopar (cobre-constantan), instalados na profundidade de 0,025 m e a 0,10 m. Foram determinadas a densidade do solo e a produtividade do feijoeiro. Durante todo o ciclo do feijoeiro, o PD apresentou a menor temperatura máxima e a menor amplitude diária entre os sistemas de manejo. Na profundidade de 0,025 m, o PDar apresentou temperatura máxima de 42,2 °C, o PDesc de 43,7 °C e o PD de 36,1 °C. A variação diária da temperatura do solo num dia com 12 h de sol, no início do desenvolvimento das plantas (02/12/2002), indicou que a maior temperatura ocorreu próximo às 15 h, com valores de 40 °C, no PDar, e 30 °C, no PD, na profundidade de 0,025 m. Quando as plantas sombreavam o solo, não houve diferenças na temperatura do solo entre os sistemas de manejo. As diferenças na temperatura do solo não provocaram diferenças na produtividade de grãos do feijoeiro, haja vista que os maiores efeitos da temperatura do solo ocorrem na germinação e emergência das plântulas.

Termos de indexação: plantio direto, preparo reduzido, termopar.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Pesquisa realizada com recursos do CNPq e FAPERGS. Recebido para publicação em março de 2003 e aprovado em fevereiro de 2006.

⁽²⁾ Professor do Curso de Agronomia da Pontifícia Universidade Católica do Paraná – PUCPR. Campus Toledo, Avenida da União, 500, Bairro Jardim Coopagro, CEP 85902-532 Toledo (PR). E-mail: rodrigues.vanderlei@pucpr.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Departamento de Solos, Cidade Universitária, Camobi, CEP 97105-900 Santa Maria (RS). Bolsista CNPq. E-mail: reichert@ccr.ufsm.br; dalvan@ccr.ufsm.br

SUMMARY: SOIL TEMPERATURE VARIATION IN THREE DIFFERENT SYSTEMS OF SOIL MANAGEMENT IN BLACKBEANS CROP

Soil temperature is a property that directly affects crop growth and is influenced by the energy balance on the soil surface. Thus, soil management systems influence soil temperature because they change soil surface conditions. The objective of this study was to determine the effect of three soil management systems on soil temperature throughout the snapbean cycle. A field experiment was arranged in a randomized block (split plot) design with four replicates, on a soil classified as Hapludalf. The treatments were continuous no-tillage for 7 years (PD); no-tillage revolved by disc moldboard ploughing (PDar); and no-tillage revolved by chiseling (PDesc). The soil temperature was monitored throughout the snapbean cycle. An automated data collection system collected information every 10 minutes with thermopar (copper-constantan) sensors installed at depths of 0.025 m and 0.10 m. Soil bulk density and snapbean yield were determined. The lowest maximum temperature and the lowest daily amplitude were observed for PD. The PDar system showed a maximum temperature of 42.2 °C, the PDesc system of 43.7 °C, and the PD of 36.1 °C at 0.025 m depth. The daily soil temperature variation during a day with 12 hours of sunlight at the beginning of the snapbean development (02/12/2002) indicated that the peak temperature was reached at about 15 o'clock, with values of 40 °C in PDar and 30 °C in PD, at the 0.025 m depth. When the plants shaded the soil, there were no differences in soil temperature among management systems. The differences in soil temperature were not reflected in the snapbean yields since the effects of high soil temperature are observed at seed germination.

Index terms: no tillage, minimum tillage, thermopar.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior consumidor per capita de feijão, com 18 kg hab⁻¹ ano⁻¹, com uma área semeada de 3.812 milhões de ha e produtividade média de 798 kg ha⁻¹ (CONAB, 2005). Todavia, produtividades acima de 3.000 kg ha⁻¹ podem ser alcançadas em lavouras irrigadas e com alto nível tecnológico. As constantes variações climáticas, temperatura e precipitação, que ocorrem nas diferentes regiões produtoras do País, provocam grandes oscilações na produtividade da cultura do feijoeiro. O feijão é sensível à falta de água durante o período de desenvolvimento, principalmente nos estádios reprodutivos, e a altas temperaturas no período de floração. A temperatura média do ar para o adequado desenvolvimento do feijoeiro situa-se entre 15 e 29 °C (Balardin, 2000). Temperaturas superiores a 29 °C podem provocar o abortamento de flores, queda de vagens jovens e reduzir o número de grãos, enquanto temperaturas inferiores a 12 °C podem dificultar a formação e o enchimento de grãos (Balardin et al., 2000).

Segundo Lal (1974), para a emergência de plântulas de milho, a temperatura ideal na zona radicular situa-se na faixa de 25 a 35 °C. Em temperaturas superiores a 35 °C, ocorre drástica redução do desenvolvimento das plântulas de milho. Hornetz et al. (2001) verificaram que a temperatura ótima para a emergência de plântulas de feijão foi de 37 °C em um Latossolo da região do Quênia. No sul do Brasil, o período do ano em que ocorrem as

temperaturas mais elevadas é entre dezembro e fevereiro, no qual pode haver prejuízo à germinação e à emergência das plântulas, principalmente em solos descobertos. Segundo Johnson & Lowery (1985), a variação em 1 °C na temperatura do solo pode afetar significativamente a taxa de crescimento do milho em climas temperados.

O ciclo do feijoeiro é de 90 dias em média, exigindo uma média de 300 mm de água em todo o ciclo, tendo uma necessidade média diária de 3,5 mm (Balardin, 2000). O feijoeiro não tolera excesso de água e deficiência hídrica durante o florescimento, fatores que podem provocar perdas de até 60 % na produção de grãos.

Os resíduos culturais (palha) depositados na superfície protegem o solo contra o aquecimento excessivo e a perda de água, modificando vários processos físicos, químicos e biológicos. A palha revela alta refletividade da radiação solar e baixa condutividade térmica.

Estudos realizados no norte dos Estados Unidos indicam que a cobertura do solo pela palha reduziu a temperatura do solo em 2 °C e que prejudicou a produtividade de diversas culturas, enquanto, em regiões mais quentes dos Estados Unidos, o efeito da diminuição da temperatura do solo foi benéfico para as plantas (Zobel, 1992). Johnson & Lowery (1985) verificaram diferença de cerca de 6 °C a menos para o plantio direto comparado ao preparo convencional, na profundidade de 5 cm em solo siltoso no estado de Wisconsin-USA. Azooz et al. (1995) verificaram

menores temperaturas no plantio direto do que no preparo convencional em solo siltoso de Wisconsin-USA, o que resultou em menor quantidade de dias para a emergência do milho.

Em condições subtropicais, Salton & Mielniczuck (1995) verificaram menores temperaturas máximas e menor variação diária da temperatura do solo a 0,05 m de profundidade para o plantio direto, quando comparado com o preparo convencional e preparo reduzido em um Argissolo Vermelho distrófico.

O sistema de preparo do solo, além de influir na quantidade e distribuição de palha depositada na superfície, modifica a relação massa-volume, a quantidade de água no solo, o teor de matéria orgânica e a estrutura, dentre outros. Lavouras que foram cultivadas sob plantio direto, após serem cultivadas com o preparo convencional ou reduzido, apresentaram, nos primeiros anos após a mudança do sistema de cultivo, um estado de compactação mais elevado do que lavouras que continuaram sendo revolvidas (Hakansson et al., 1988; Carter, 1988; Albuquerque & Reinert, 2001; Albuquerque et al., 2001; Genro Junior et al., 2004; Logsdon & Karlen, 2004). No entanto, esse maior estado de compactação, determinado pelos maiores valores de densidade do solo e resistência à penetração, não se refletiu em redução de produtividade (Albuquerque et al., 1995; Silva et al., 2000; Stone & Silveira, 2001; Streck, 2003; Abreu et al., 2004). Tais alterações levam a uma dinâmica de temperatura do solo que influencia o crescimento radicular (Kaspar & Bland, 1992) e desenvolvimento das plantas (Bragagnolo & Mielniczuck, 1990). Comparando diferentes estados de compactação em sistema plantio direto, com semelhante quantidade de palha sobre o solo, Kaiser et al. (2002) verificaram maiores temperaturas a 0,025 m e a 0,10 m de profundidade no tratamento com maior estado de compactação.

O objetivo deste estudo foi determinar as variações na temperatura do solo, em duas profundidades, cultivado com feijoeiro em três diferentes sistemas de manejo do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento localizou-se na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada na região fisiográfica da Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul, latitude 29 ° 41 ' sul, longitude de 53 ° 48 ' oeste e altitude de 95 m. A área foi utilizada, entre 1994 e 2001, em sistema plantio direto.

O clima da região enquadra-se na classificação "Cfa" de Köppen, ou seja, clima subtropical úmido sem estiagem, com temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C e temperatura do mês mais

frio entre -3 e 18 °C (Moreno, 1961). O solo utilizado no experimento é um Argissolo Vermelho distrófico arênico (Embrapa, 1999) (Quadro 1).

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com os seguintes preparos do solo: plantio direto há sete anos (PD); plantio direto revolvido por uma aração e uma gradagem (PDar) e plantio direto revolvido por escarificador (PDesc), distribuídos em quatro blocos. No inverno, cultivou-se aveia preta em todas as parcelas, a qual foi dessecada cerca de 20 dias antes da sementeira, inclusive nas parcelas que receberam o preparo do solo. O revolvimento com arado de discos atuou até 0,30 m de profundidade e foi seguido de uma gradagem superficial. A escarificação foi efetuada com escarificador de três hastas, a 0,30 m de profundidade. O preparo do solo foi realizado cerca de 15 dias antes da sementeira do feijoeiro, com o objetivo de diminuir o estado de compactação, oriundo de cinco anos sob plantio direto.

No dia 23/11/2001, foi efetuada a sementeira do feijão preto, cultivar FT-NOBRE, com espaçamento entre linhas de 0,45 m e adubação de base de 400 kg ha⁻¹ da fórmula 5-20-20. A adubação nitrogenada de cobertura, com 80 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia, foi realizada aos 30 dias da emergência das plantas. Realizaram-se duas aplicações de graminicida, enquanto o controle de folhas largas foi realizado com capina manual. Foram feitas duas aplicações de fungicidas e inseticidas.

A instalação dos 24 termopares de cobre-constantan, um para cada profundidade e parcela, foi efetuada um dia após a sementeira do feijão, nas profundidades de 0,025 e 0,10 m, na entrelinha da cultura. Instalou-se também um termopar a 0,30 m de altura, na entrelinha do feijoeiro, para medir a temperatura do ar. Quando as plantas de feijoeiro alcançaram pleno desenvolvimento vegetativo, elas sombrearam o termopar, porém esse fato não inviabilizou o aproveitamento dos dados de temperatura. Instalou-se também um pluviômetro para o registro das precipitações. Os termopares e o pluviômetro estavam conectados a um armazenador eletrônico de dados, modelo CR 23X (Campbell Scientific), que registrava a temperatura e a precipitação em intervalos de 30 min.

Quadro 1. Caracterização de alguns atributos físicos do solo utilizados no experimento

Profundidade	Densidade de partícula	Areia	Silte	Argila
m	Mg m ⁻³	g kg ⁻¹		
0-0,05	2,50	741	170	89
0,10-0,15	2,56	713	208	79

A área experimental era constituída de um sistema de irrigação por aspersão, o qual era acionado quando a quantidade de água no solo era insuficiente para o adequado desenvolvimento do feijoeiro, mediante avaliação da umidade volumétrica do solo associada à avaliação visual dos sintomas de murcha. A irrigação fez-se necessária, pois o período do florescimento, que é a fase fenológica mais crítica para a cultura do feijão, coincidiu com uma pequena estiagem. O feijoeiro atingiu o estágio de florescimento no dia 30 de dezembro de 2001. Entre o dia 27 de dezembro e o dia 22 de janeiro, foram realizadas seis irrigações, totalizando 85 mm de água irrigada.

A emergência das plântulas de feijoeiro ocorreu, em média, no dia 28/11/2001, cinco dias após a semeadura, sendo favorecida pelas condições adequadas de umidade do solo, haja vista que a quantidade de chuvas nos primeiros cinco dias após a semeadura atingiu aproximadamente 13 mm (Figura 1). Cerca de vinte dias após a emergência, no dia 18 de dezembro de 2001, foi realizada a primeira irrigação na área (2 mm) e, no dia 22 de dezembro de 2001, ocorreu a última chuva do ano 2001 na área do experimento.

A densidade do solo (Ds) foi determinada em 23/01/2002, no período de pleno florescimento do feijoeiro, utilizando cilindros metálicos de 0,05 m de diâmetro por 0,03 m de altura. Foram coletadas amostras nas profundidades de 0–0,05; 0,05–0,10; 0,10–0,15; 0,15–0,20; 0,20–0,25 e 0,25–0,30 m.

Cada parcela abrangia uma área de 75 m², a avaliação da produtividade foi realizada no dia 12/02/2002, colhendo e trilhando manualmente as plantas de uma área útil de 1,35 m². A massa de grãos foi corrigida para 13 % de umidade. A análise

estatística foi realizada para cada profundidade, comparando-se as médias pelo teste da diferença mínima significativa (DMS) a 5 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período de florescimento do feijoeiro (ao final de dezembro de 2001) coincidiu com o período de maior deficiência hídrica no local do experimento (Figura 1). O ciclo do feijoeiro foi de 80 dias e o total de água fornecida (chuva mais irrigação) foi de 351 mm.

A densidade do solo na camada de 0–0,05 m foi de 1,53 Mg m⁻³ no PD; de 1,45 Mg m⁻³, no PDar, e de 1,35 Mg m⁻³, no PDesc (Figura 2). Na camada de 0,05–0,10 m, o revolvimento no PDar reduziu a Ds para valores de 1,48 Mg m⁻³, enquanto, no PD, a Ds foi de 1,72 Mg m⁻³. O revolvimento do solo pela aração e gradagem foi eficiente em reduzir a Ds na profundidade de 0,075 m, que, geralmente, é a camada do solo onde ocorre maior compactação no PD (Hakansson et al., 1988; Hill, 1990; Albuquerque et al., 1995; Unger & Jones, 1998; Silva et al., 2000; Stone & Silveira, 2001). O revolvimento pela escarificação no PDesc foi menos eficiente do que o PDar na redução dos valores da Ds na profundidade de 0,05–0,10 m.

A temperatura máxima do solo medida durante todo o ciclo do feijoeiro foi de 43,7 °C, observada a 0,025 m de profundidade no sistema de cultivo em que o solo recebeu revolvimento pelo escarificador (PDesc). No sistema de cultivo que recebeu revolvimento do solo com arado e grade de discos (PDar), também se verificaram altas temperaturas na profundidade de

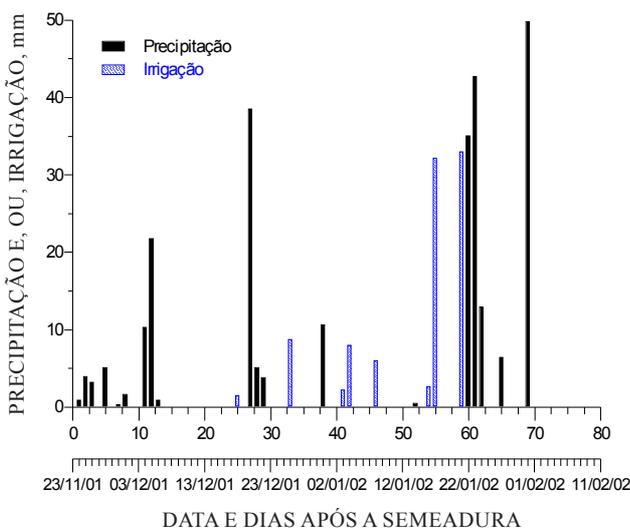


Figura 1. Lâmina de precipitação e, ou, irrigação durante o ciclo da cultura do feijoeiro.

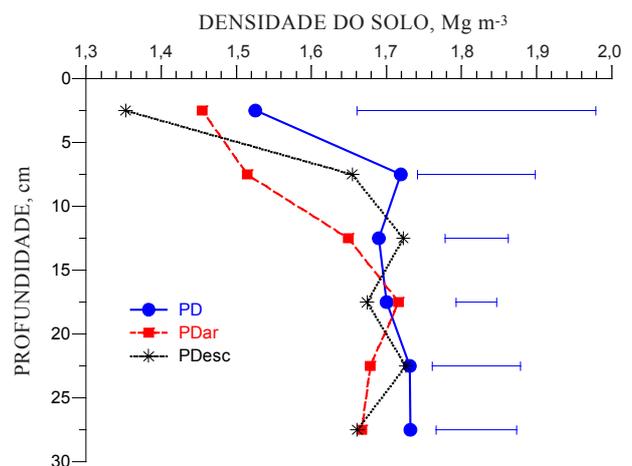


Figura 2. Densidade do solo ao longo do perfil, em três sistemas de manejo do solo. Linhas horizontais indicam a diferença mínima significativa a 5 % (DMS) e comparam médias dos tratamentos em cada profundidade.

0,025 m, com máxima de 42,2 °C. No plantio direto, o efeito da palha na superfície evitou que o solo se aquecesse em proporções iguais à dos outros sistemas, ficando em torno de 36 °C (Quadro 2). Tais dados salientam a importância da cobertura vegetal na diminuição da temperatura máxima do solo, haja vista que a palha apresenta baixa condutividade térmica e alta refletividade dos raios solares (Prevedello, 1996; Hillel, 1998). Trevisan et al. (2002) verificaram que a palha de aveia diminuiu a amplitude térmica a 0,10 e a 0,20 m de profundidade durante o ano todo, comparada com o solo que permaneceu sem cobertura morta. Sidiras & Pavan (1986) observaram efeito significativo da cobertura do solo na temperatura do solo a 0,03 e 0,06 m, com a seguinte ordem na temperatura: preparo convencional > plantio direto > cobertura permanente.

Na profundidade de 0,10 m, o sistema PDar apresentou maior temperatura máxima (43,4 °C) e foi diferente dos outros sistemas de manejo do solo (Quadro 2). Ao contrário de climas temperados onde o aquecimento do solo é desejável para proporcionar temperaturas adequadas à emergência das plântulas, em climas tropicais e subtropicais, o aquecimento excessivo do solo pode prejudicar a germinação e a emergência das plântulas. Hornetz et al. (2001) verificaram que temperatura do solo acima de 40 °C inibiu a germinação do feijoeiro. Azooz et al. (1995) verificaram menor período para a emergência de plântulas de milho no preparo convencional do que no plantio direto com cobertura do solo de 91 %, mas a taxa de emergência foi similar entre o preparo convencional e o plantio direto quando foi retirada a palha de 0,15 m de cada lado da linha de semeadura.

O resfriamento do solo pode diminuir a velocidade de emergência das plântulas, porém esse efeito ocorre quando se realiza a semeadura logo após a saída do inverno, quando as temperaturas ainda são

baixas. No presente estudo, a semeadura do feijoeiro ocorreu no final do mês de novembro, as temperaturas mínimas registradas não foram consideradas limitantes ao desenvolvimento do feijoeiro. No PDar, foram verificadas as menores temperaturas mínimas do solo, tanto na profundidade de 0,025 m como na de 0,10 m. As temperaturas mínimas diárias na profundidade de 0,025 m mostraram pequenas oscilações entre os tratamentos, ficando entre 19,2 °C, no PD; 17,3 °C, no PDesc, e 16,9 °C, no PDar, mas os valores diferiram entre as profundidades e entre os sistemas de manejo do solo (Quadro 2).

Na profundidade de 0,025 m, o PDar apresentou a maior amplitude térmica durante todo o ciclo do feijoeiro. O arado de discos incorporou quase a totalidade dos restos culturais da aveia, deixando o solo descoberto, provocando maior aquecimento do solo durante o dia e maior resfriamento durante a noite (Figura 3). Tais resultados concordam com os obtidos por Salton & Mielniczuk (1995), estudando os mesmos sistemas de manejo do solo em um Argissolo Vermelho em Eldorado do Sul (RS). Dalmago et al. (2004) verificaram maior aquecimento do solo, principalmente, nos primeiros 30 dias após a emergência das plântulas de milho, tanto a 0,025 como a 0,10 m de profundidade, no sistema de preparo convencional comparado com o plantio direto.

A 0,10 m de profundidade, o maior aquecimento diurno e o resfriamento noturno ocorreram, principalmente, quando o feijoeiro ainda não sombreava totalmente o solo, até 60 dias (Figura 3). À medida que as plantas foram crescendo, a amplitude térmica a 0,10 m foi reduzida em todos os sistemas de manejo do solo.

Para avaliar o efeito dos sistemas de manejo nos dias ensolarados, escolheram-se os dias 02/12/2001 (quatro dias após a emergência) e 01/01/2002 (trinta e cinco dias após a emergência), ambos com período

Quadro 2. Temperatura máxima, mínima, amplitude térmica do solo, durante todo o ciclo do feijoeiro e produtividade de grãos, nas duas profundidades analisadas e nos sistemas de cultivo

Tratamento	Profundidade	T _{max}	T _{min}	Amplitude	Produtividade
	m	°C			Mg ha ⁻¹
Plantio direto	0,025	36,2 Aa	19,2 Ba	17,0	2,40a
	0,10	34,8 Ab	20,2 Aa	14,7	
Pdarado	0,025	42,2 Aa	16,9 Bb	25,2	2,29a
	0,10	43,4 Aa	18,4 Ab	25,0	
Pdescarificado	0,025	43,7 Aa	17,3 Aab	26,4	2,25a
	0,10	38,3 Ab	19,6 Aa	18,7	

Médias seguidas pela mesma letra, maiúscula, comparam profundidade dentro de cada sistema de manejo do solo e médias seguidas pela mesma letra, minúscula, comparam os sistemas de manejo do solo dentro de cada profundidade, não diferem entre si pela DMS (P < 5 %). (Pdarado = plantio direto seguido de aração e gradagem; Pdescarificado = plantio direto seguido de escarificação).

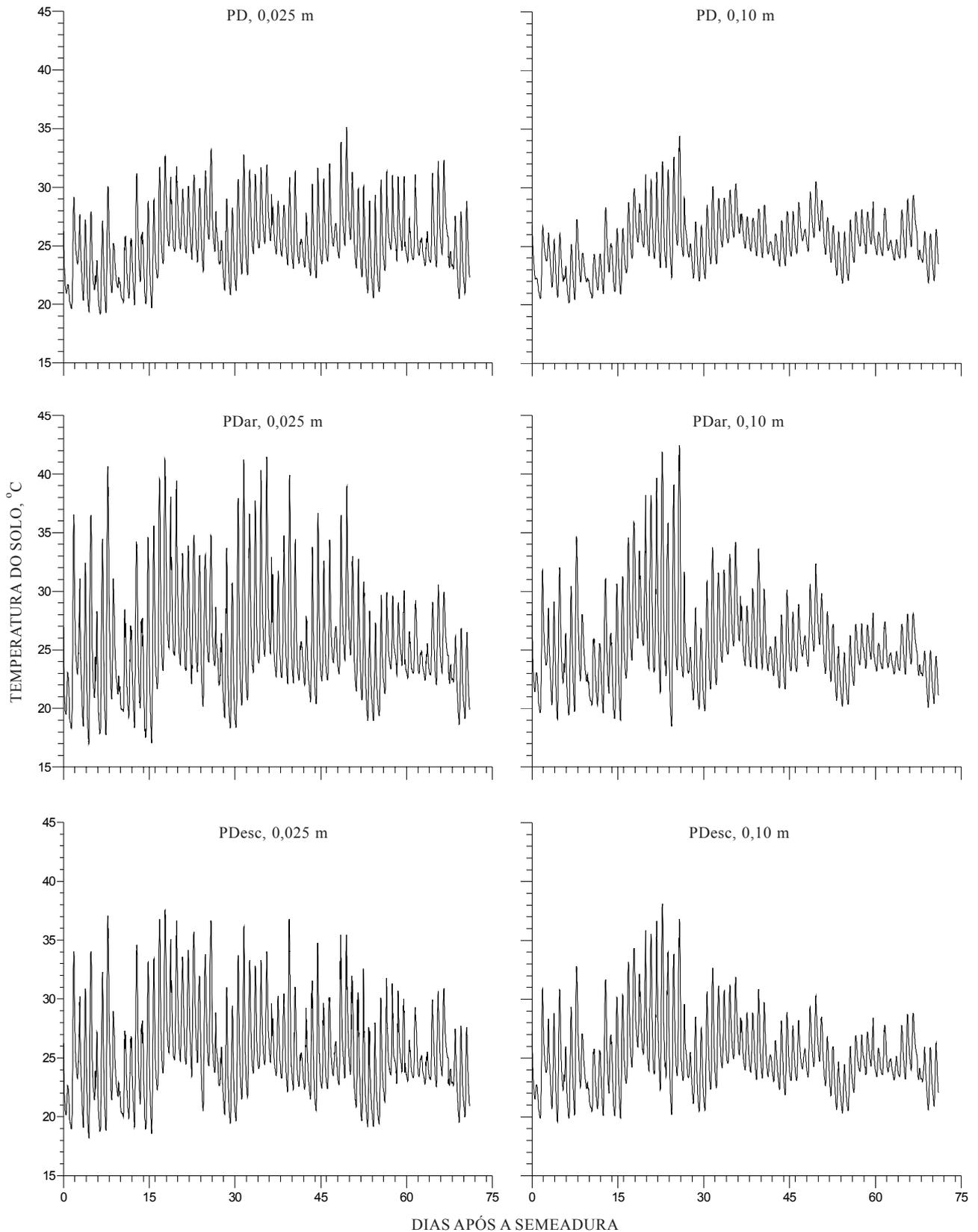


Figura 3. Temperatura do solo na profundidade de 0,025 m (coluna esquerda) e 0,10 m de profundidade (coluna direita) durante o ciclo do feijoeiro nos diferentes sistemas de manejo do solo. (PD = plantio direto, PDar = plantio direto seguido de aração e gradagem; PDesc = plantio direto seguido de escarificação).

de 12 h de sol. No dia 02/12/2001, registrou-se a maior temperatura a 0,025 m de profundidade no PDar, próximo de 40 °C, enquanto, no PD, a temperatura máxima registrada foi em torno de 30 °C, uma diferença de 10 °C (Figura 4).

Cabe salientar que temperaturas do solo acima de 38 °C podem provocar a morte de plântulas de milho (Lal et al., 1974). A temperatura do solo máxima nesse dia, em todos os sistemas de cultivo do solo, ocorreu perto de 15 h e a temperatura máxima do ar ficou em torno de 37 °C (Figura 4). Nesse mesmo dia, na profundidade de 0,10 m, a temperatura máxima no PDar foi de 34 °C e, no PD, de 26 °C, às 15 h. O PDesc apresentou comportamento intermediário entre os sistemas de cultivo avaliados. Tais resultados concordam que os sistemas conservacionistas de cultivo, que mantêm os resíduos na superfície, reduzem as temperaturas máximas e a amplitude diária, com reflexos positivos na conservação da umidade do solo (Bragagnolo &

Mielniczuk, 1990; Salton & Mielniczuk, 1995; Trevisan et al., 2002) e na nodulação de soja (Voss & Sidiras, 1985). Argenton et al. (2005), em um Latossolo Vermelho distroférrico, observaram que, no dia 05/01/1999, a temperatura máxima do solo na profundidade de 0,05 m aconteceu próximo das 15 h e foi de 28,3 °C no sistema de preparo convencional, enquanto, na mata nativa, foi de apenas 20,5 °C. Dalmago et al. (2004) verificaram que a maior temperatura do solo a 0,025 m, em um dia ensolarado (18/12/2002), foi de 38 °C, no preparo convencional, e de 35 °C, no sistema plantio direto.

No dia 01/01/2002, quando as plantas de feijão já estavam em pleno crescimento vegetativo, percebeu-se uma diminuição da temperatura máxima do solo, ocorrida às 16 h, cerca de 1 h mais tarde que o verificado no dia 02/12/2001, enquanto a temperatura do ar foi similar à do dia 02/12/2001, próxima de 37 °C (Figura 5). As diferenças de temperatura do solo entre os sistemas de cultivo do

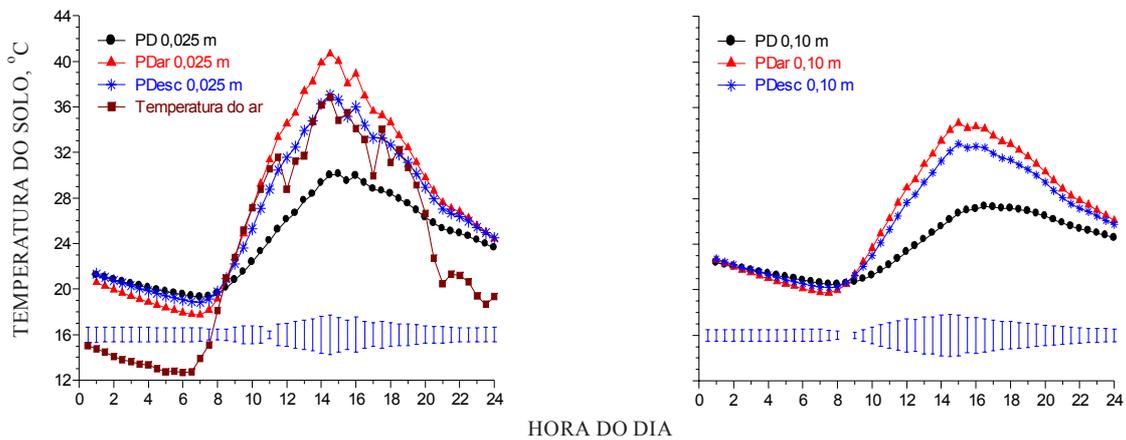


Figura 4. Temperatura diária do ar e do solo, nas profundidades de 0,025 e 0,10 m, nos três sistemas de manejo solo, no dia 02/12/2001. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS $p > 0,05$) e comparam os sistemas de manejo do solo. (PD = plantio direto, PDar = plantio direto seguido de aração e gradagem; PDesc = plantio direto seguido de escarificação).

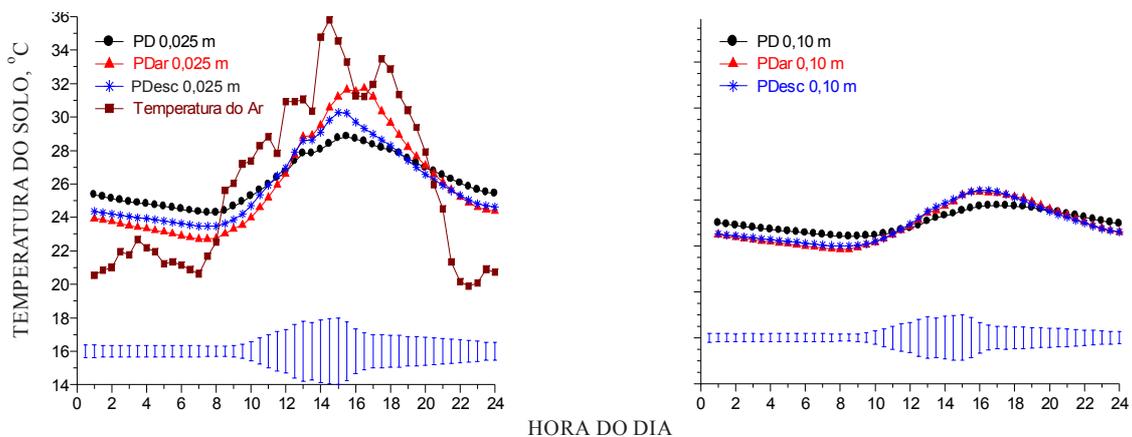


Figura 5. Temperatura diária do ar e do solo, nas profundidades de 0,025 e 0,10 m, nos três sistemas de manejo solo, no dia 01/01/2002. Barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS $p > 0,05$) e comparam os sistemas de manejo do solo. (PD = plantio direto, PDar = plantio direto seguido de aração e gradagem; PDesc = plantio direto seguido de escarificação).

solo foram minimizadas pela cobertura viva do feijoeiro; contudo, o sistema PDar ainda apresentou maior temperatura do que o PD (Figura 5). Na profundidade de 0,10 m, não houve diferenças entre os sistemas de manejo do solo.

O experimento foi irrigado quando o valor da umidade do solo poderia comprometer o desenvolvimento do feijoeiro, razão pela qual, possivelmente, a produtividade do feijoeiro não diferiu entre os sistemas de cultivo, produzindo em torno de 2,3 Mg ha⁻¹ (Quadro 2).

CONCLUSÕES

1. Durante o ciclo do feijoeiro, o sistema plantio direto proporcionou menor temperatura máxima e menor amplitude térmica no solo do que os sistemas de plantio direto seguidos de aração ou escarificação.

2. Em dias típicos de verão, com 12 h de sol e temperatura do ar em torno de 37 °C, o solo sob plantio direto manteve temperaturas mais baixas do que os demais sistemas, tanto a 0,025 m como a 0,10 m de profundidade.

3. Apesar das variações na temperatura do solo entre os sistemas de manejo, na condição de lavoura irrigada, não houve efeito desses sobre a produtividade do feijoeiro.

LITERATURA CITADA

- ABREU, S.L.; REICHERT, J.M. & REINERT, D.J. Escarificação mecânica e biológica para a redução da compactação em Argissolo Franco-Arenoso sob plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 28:519-531, 2004.
- ALBUQUERQUE, J.A. & REINERT, D.J. Densidade radicular do milho considerando os atributos de um solo com horizonte B textural. R. Bras. Ci. Solo, 25:539-549, 2001.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: Efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. R. Bras. Ci. Solo, 19:115-119, 1995.
- ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L. & ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. R. Bras. Ci. Solo, 25:717-723, 2001.
- ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C. & WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. R. Bras. Ci. Solo, 29:425-435, 2005.
- AZOOZ, R.H.; LOWERY, B. & DANIEL, T.C. Tillage and residue management influence on corn growth. Soil Till. Res., 33:215-227, 1995.
- BALARDIN, R.S.; COSTA, E.C.C. & RIBEIRO, N.D., eds. Feijão, recomendações técnicas para cultivo no Rio Grande do Sul. 2000. Santa Maria, Comissão Estadual de Pesquisa do Feijão – CEPEF, 2000. 80p.
- BRAGAGNOLO, N. & MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. R. Bras. Ci. Solo, 14:91-98, 1990.
- CARTER, M.R. Temporal variability of soil macroporosity on a fine sandy loam under moldboard ploughing and direct drilling. Soil Till. Res. 12:35-51, 1988.
- CONAB, 2005 <http://www.conab.gov.br/download/safra/FeijaoTotalSerieHist.xls>. Acesso em 17/10/2005.
- DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; COMIRAN, F.; BIANCHI, C.A.M.; BERGONCI J.I.; & HECKLER, B.M.M. Soil temperature in maize crops as function of soil tillage systems. In: ISCO 2004 - INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANIZATION CONFERENCE, 23., Brisbane, 2004. Resumos expandidos. Brisbane, ISCO, 2004. 4p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Embrapa Solos, 1999. 412p.
- GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo Argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. R. Bras. Ci. Solo, 28:477-484, 2004.
- HAKANSSON, I.; VOORHEES, W.B. & RILEY, H. Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop responses in different traffic regimes. Soil Till Res., 11:239-282, 1988.
- HILL, R.L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 54:161-166, 1990.
- HILLEL, D. Environmental soil physics. New York, Academic Press, 1998. 771p.
- HORNETZ, B.; SHISANYA, C.A. & GITONGA, N.M. Crop water relationships and thermal adaptation of kathika beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and green grams (*Vigna radiata* L. Wilczek) with special reference to temporal patterns of potential growth in the drylands of SE Kenya. J. Arid Environ., 48:591-601, 2001.
- JOHNSON, M.D. & LOWERY, B. Effect of three conservation tillage practices on soil temperature and thermal properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 49:1547-1552, 1985.
- KAISER, D.R.; STRECK, C.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R.; FERREIRA, F. & KUNZ, M. Temperatura do solo afetada por diferentes estados de compactação. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA. 14., Cuibá, 2002. Anais. Cuibá, 2002. 4p.
- KASPAR, T.C. & BLAND, W.L. Soil temperature and root growth. Soil Sci., 154:290-299, 1992.
- LAL, R. Effect of constant and fluctuating soil temperature on the growth, development and nutrient uptake of maize seedlings. Plant Soil, 40:589-606, 1974.
- LOGSDON, S.D. & KARLEN, D.L. Bulk density as a soil quality indicator during conversion to no-tillage. Soil Till. Res., 78:143-149, 2004.

- MORENO, J.A. Clima do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961. 46p.
- PREVEDELLO, C.L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba, C.L. Prevedello, 1996. 446p.
- SALTON, J.C. & MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). R. Bras. Ci. Solo, 19:313-319, 1995.
- SIDIRAS, N. & PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo na temperatura do solo. R. Bras. Ci. Solo, 10:181-184, 1986.
- SILVA, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. Ci. Rural, 30:795-801, 2000.
- STONE, L.R. & SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. R. Bras. Ci. Solo, 25:395-401, 2001.
- STRECK, C.A. Compactação do solo e seus efeitos no desenvolvimento radicular e produtividade da cultura do feijoeiro e da soja. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2003. 83p. (Tese de Mestrado)
- TREVISAN, R.; HERTER, F.G. & PEREIRA, I.S. Variação da amplitude térmica do solo em pomar de pessegueiro cultivado com aveia preta (*Avena* sp.) e em sistema convencional. R Bras. Agrociencia, 8:155-157, 2002.
- UNGER, P.W. & JONES, O.R. Long-term tillage and cropping systems affect bulk density and penetration resistance of soil cropped to dryland wheat and grain sorghum. Soil Till. Res., 45:39-57, 1998.
- VOSS, M. & SIDIRAS, N. Nodulação da soja em plantio direto em comparação com plantio direto. Pesq. Agropec. Bras., 20:775-782, 1985.
- ZOBEL, R.W. Soil environmental constraints to root growth. In: HATFIELD, J.J. & STEWART, B.A., eds. Limitations to plant root growth. New York, Springer-Verlag, 1992, p.27-48.