

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**PERDAS DE ÁGUA POR EVAPORAÇÃO DE UM
SOLO CULTIVADO COM MILHO NOS SISTEMAS DE
PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Juliano Gomes de Andrade

Santa Maria, RS, Brasil.

2008

PERDAS DE ÁGUA POR EVAPORAÇÃO DE UM SOLO CULTIVADO COM MILHO NOS SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL

por

Juliano Gomes de Andrade

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Ciência do Solo.**

Orientador: Prof. Ph. D. Reimar Carlesso

Santa Maria, RS, Brasil.

2008

A553p

Andrade, Juliano Gomes de, 1981-

Perdas de água por evaporação de um solo cultivado com milho nos sistemas de plantio direto e convencional / por Juliano Gomes de Andrade ; orientador Reimar Carlesso. – Santa Maria, 2008.

93 f. ; il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, RS, 2008.

1. Ciência do solo 2. Evaporação da água do solo 3. Reflectômetria 4. Coeficiente de evaporação 5. Sistema de cultivo 6. Milho I. Carlesso, Reimar, orient. II. Título

CDU: 633.15-167

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a dissertação de Mestrado.

**PERDAS DE ÁGUA POR EVAPORAÇÃO DE UM SOLO
CULTIVADO COM MILHO NOS SISTEMAS DE
PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL**

elaborada por
Juliano Gomes de Andrade

como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Ciência do Solo

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Prof. Ph. D. Reimar Carlesso
(Presidente/Orientador)**

Prof. Ph. D. Flávio Luiz Foletto Eltz (UFSM)

Dr. Cláudio Garcia Gallarreta (INIA – Uruguai)

Santa Maria, 04 de abril de 2008.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e Nossa Senhora Consoladora, pelo amparo espiritual em todos os momentos de minha vida.

À minha esposa Micheli, pelo amor, carinho e compreensão, nos dias e noites em que minha atenção e meus pensamentos foram somente para os estudos.

Aos meus pais, Arnaldo e Margarete, e meus irmãos, Cristiano e Caroline, os quais formam a minha família e são o alicerce em que se apóia a construção dos sonhos da minha vida, agradeço pelo amor, incentivo e união de nossa família. Em especial, agradeço ao meu pai e minha mãe pela dedicação e a força de vontade que têm em proporcionar aos seus filhos uma vida digna, de amor e honestidade, acreditando e nos incentivando a continuarmos na busca pelo conhecimento.

À minha sogra Adelaide e minha cunhada Daniele, pelo apoio e confiança.

À Universidade Federal de Santa Maria e a todos os professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, onde com muito orgulho tive a oportunidade de realizar este curso, pelos ensinamentos e pela perseverança em manter a UFSM uma instituição pública, gratuita e de qualidade.

A CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Reimar Carlesso, pela orientação, amizade e dedicação ao trabalho e com os seus alunos.

Ao Prof. Juan Pacheco Segui, pelas aulas de cultura cubana, troca de experiências e ajuda, tão importante na realização deste trabalho.

À Mirta Petri e Renato B. Spohr, pelo auxílio nas interpretações dos resultados e nas idéias de melhoria do trabalho.

Agradeço em especial pela amizade e convivência fraterna de longa data dos colegas e amigos Eduardo Giroto, Gean L. da Luz e Jovani Zalamena. Aos colegas de trabalho Cleiton Dalla Santa, Gustavo de David e Cleudson Michelon, pelo companheirismo e incentivo em todos os momentos.

Aos colegas do Projeto Sistema Irriga Alberto, Tiago, Juliano Martins e Gisele, pelo auxílio na preparação e nas determinações realizadas durante o trabalho.

Finalmente, a todos os familiares, amigos e colegas, não citados aqui, mas não menos importantes, que de uma forma ou de outra contribuíram e me deram força para que eu pudesse chegar ao final desta jornada, o meu Muito Obrigado!.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

PERDAS DE ÁGUA POR EVAPORAÇÃO DE UM SOLO CULTIVADO COM MILHO NOS SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL

Autor: Juliano Gomes de Andrade

Orientador: Reimar Carlesso

Local e data da defesa: Santa Maria, 04 de abril de 2008.

Mundialmente, o setor agrícola é o maior consumidor de água, alcançando cerca de 69% do total de água derivada de rios, lagos e aquíferos subterrâneos. Em função deste grande consumo de água pela agricultura e pela escassez de água em várias partes do mundo, há uma pressão social e ambiental muito grande, principalmente sobre a agricultura irrigada, a fim de melhorar a eficiência do uso da água. Este estudo teve como objetivo quantificar as perdas de água do solo por evaporação, nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura do milho semeada em sistema de cultivo direto e preparo convencional. O trabalho foi desenvolvido em Área Experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS. O experimento foi conduzido no período de 28 de outubro de 2006 a 10 de dezembro de 2006 e constituiu-se de quatro tratamentos: (i) semeadura direta do milho em solo desnudo (PD0); (ii) semeadura direta do milho com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo (PD3); (iii) semeadura direta do milho com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo (PD6) e, (iv) preparo convencional do solo, sem cobertura de palha na superfície (PC). As perdas de água do solo foram determinadas em quatro ciclos de secagem do solo durante os primeiros 38 dias após a emergência da cultura, realizando-se o balanço hídrico do solo nas camadas de 0 a 10 cm e de 10 a 30 cm, a partir dos dados de umidade volumétrica do solo determinada com um TDR em intervalos de 15 minutos. Determinou-se também, para o primeiro ciclo de secagem do solo os coeficientes de evaporação (Ke) e de redução da evaporação da água do solo (Kr), conforme a metodologia do Kc Dual de cultivo. Pela curta duração dos ciclos de secagem do solo, o crescimento e o desenvolvimento das plantas não foram influenciados pelo sistema de cultivo do solo nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura do milho. Na camada de 0 a 10 cm de profundidade, para o primeiro ciclo de secagem do solo, 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície proporcionou uma redução nas perdas de água por evaporação de 24,6% e 19,9% em relação ao PC e PD0, respectivamente. Com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha, a redução foi de 50,7% e 47,6%, respectivamente. Nos primeiros 30 cm do perfil do solo, a redução nas perdas de água foi de 18,2% e 23%, respectivamente com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha. Aumentando para 6,0 Mg ha⁻¹ a redução foi de 38,3% e 42% respectivamente. Com o crescimento da cultura, o aumento nas perdas de água do solo foi devido ao maior desenvolvimento das plantas com aumento da participação da transpiração no consumo de água pela cultura, pelo sombreamento da superfície pelo maior índice de área foliar das plantas. Os tratamentos com PC e PD0 apresentam Ke mais elevado, chegando a 1,32 e 1,17, respectivamente. Com a presença de palha, o máximo valor de Ke foi reduzido para aproximadamente 50% comparados com os tratamentos sem palha na superfície atingindo valores de 0,70 e 0,44, respectivamente, quando EToac era de 10,0 mm. Os tratamentos de PC e PD0 apresentaram uma rápida redução no coeficiente de redução da evaporação da água do solo, após 6,5 mm de EToac. O menor valor de Kr no final do ciclo de secagem, 0,47, foi observado para o tratamento PD0. O PD6 manteve-se por mais tempo no primeiro estágio da evaporação, reduzindo o Kr quando a EToac superou 20,0 mm.

Palavras-chave: Evaporação da água do solo; TDR; coeficiente de evaporação; sistemas de cultivo; milho.

ABSTRACT

Dissertation of Masters
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil.

LOSS OF WATER EVAPORATION OF CULTIVED SOIL WITH MAIZE IN NO-TILLAGE SYSTEM AND CONVENTIONAL TILLAGE

Author: Juliano Gomes de Andrade

Advisor: Reimar Carlesso

Santa Maria, 04 April 2008.

Worldwide, the agricultural sector is the largest consumer of water, reaching about 69% of total water derived from rivers, lakes and underground aquifers. Because of this huge consumption of water by agriculture and the scarcity of water in various parts of the world there is a social and environmental pressure very big, mainly on irrigated agriculture in order to improve the efficiency of the use of water. This study aimed to quantify the loss of water from the soil by evaporation, in the early stages of development of the corn crop sown in cultivation from no-tillage system and conventional tillage. The work was developed in Experimental Area of the Department of Rural Engineering of the Federal University of Santa Maria (UFSM), RS. The experiment was conducted in the period from October 28, 2006 to December 10, 2006 and consisted of four treatments: (i) direct maize sowing in bare soil (PD0), (ii) direct sowing of corn with 3,0 Mg ha⁻¹ of straw on the soil surface (PD3), (iii) direct sowing of corn with 6,0 Mg ha⁻¹ of straw on the soil surface (PD6), and (iv) conventional tillage of the soil without coverage of straw on the surface (PC). The loss of water from the soil were determined in four cycles of dry soil during the first 38 days after the emergence of culture, holding up the water balance in soil layers from 0 to 10 cm and 10 to 30 cm, from data of volumetric soil moisture determined with a TDR at intervals of 15 minutes. It was also determined, for the first cycle of drying soil coefficients of evaporation(K) and reducing of water evaporation from the soil (Kr), as the methodology of Kc Dual. For the short duration of the cycles of drying of the soil, growth and development of plants were not affected by the system of cultivation of the soil in the early stages of development of the corn crop. In layer from 0 to 10 cm depth for the first cycle of drying of the soil, 3,0 Mg ha⁻¹ of straw on the surface provided a reduction in the loss of water by evaporation of 24,6% and 19,9% in relation to the PC and PD0, respectively. With 6.0 Mg ha⁻¹ of straw, the reduction was 50,7% and 47,6%, respectively. In the first 30 cm of the soil profile, the reduction in losses of water was 18.2% and 23% respectively to 3.0 Mg ha⁻¹ of straw. Increasing to 6.0 Mg ha⁻¹ reduction was 38,3% and 42,0% respectively. With the growth of culture, the increase in the loss of water in the soil was due to the bigger development of plants with increasing participation of transpiration in water consumption by culture, by shading the surface at the higher leaf area index of the plants. Treatments with PC and PD0 show Ke higher, reaching 1,32 and 1,17, respectively. With the presence of straw, the maximum value of K was reduced to approximately 50% compared with the treatments without straw on the surface reaching values of 0,70 and 0,44, respectively, when EToac was 10,0 mm. The treatments of PC and PD0 showed a fast reduction in the coefficient of reduction of water evaporation from soil, after 6,5 mm of EToac. The lowest value of Kr at the end of the cycle of drying, 0,47, was observed for the treatment PD0. The PD6 has remained longer in the first stage of evaporation, reducing the Kr when EToac exceeded 20,0 mm.

Keywords: Soil water evaporation; TDR; coefficient of evaporation; cropping systems; maize.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1- Densidade do solo (Ds), macroporosidade, microporosidade, porosidade total (PT), limite superior (LS) e inferior (LI) de disponibilidade de água às plantas, determinados para as camadas de 0-10 cm e 10-30 cm, nos quatro tratamentos estudados. Santa Maria, 2008.....	39
TABELA 2. Textura do solo utilizado no experimento. Santa Maria, 2008.....	39

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1.** Diagrama ilustrando a variação nos coeficientes de cultura de base (K_{cb}) relativos à transpiração da cultura e o coeficiente de evaporação da água do solo (K_e) (adaptado de Allen et al., 1998)..... 29
- FIGURA 2.** Teoria dos dois estágios da evaporação para estimar o coeficiente de evaporação (K_e) e o coeficiente de redução da evaporação da água do solo de uma superfície vegetada. (Allen et al., 1998). 30
- FIGURA 3.** Distribuição das precipitações pluviais, irrigações aplicadas e evapotranspiração de referência (ET_o) estimada, segundo FAO-56, Allen et al. (2005), durante o experimento. Santa Maria, 2008. 33
- FIGURA 4.** Representação dos componentes utilizados em conjunto com o TDR na central de controle. Fonte de energia, dispositivo de armazenamento de dados (CR10X), TDR e multiplexador (SDMX50)..... 35
- FIGURA 5.** Índice de área foliar e altura de plantas para os tratamentos com 0, 3 e 6 $Mg\ ha^{-1}$ de palha na superfície do solo e; preparo convencional, determinados dos 13 aos 37 DAE do milho. Santa Maria, 2008. 41
- FIGURA 6.** Perda diária de água do solo para os tratamentos com 0, 3 e 6 $Mg\ ha^{-1}$ de palha na superfície do solo e; preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo (05 à 13 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008. 43
- FIGURA 7.** Perda acumulada de água do solo para os tratamentos com 0, 3 e 6 $Mg\ ha^{-1}$ de palha na superfície do solo e; preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo (05 à 13 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008..... 46

FIGURA 8. Diferença acumulada das perdas de água ocorridas nos tratamentos com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo (dos 05 aos 13 DAE). Santa Maria, 2008. 48

FIGURA 9. Diferença acumulada das perdas de água ocorridas nos tratamentos com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao tratamento sem palha, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo (dos 05 aos 13 DAE). Santa Maria, 2008. 49

FIGURA 10. Perda diária de água do solo para os tratamentos com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e; preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no segundo ciclo de secagem do solo (18 à 23 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008. 51

FIGURA 11. Perda acumulada de água do solo para os tratamentos com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e; preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no segundo ciclo de secagem do solo (18 à 23 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008. 53

FIGURA 12. Diferença acumulada das perdas de água ocorridas nos tratamentos com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no segundo ciclo de secagem do solo (dos 18 aos 23 DAE). Santa Maria, 2008. 55

FIGURA 13. Diferença acumulada das perdas de água ocorridas nos tratamentos com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao tratamento sem palha, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no segundo ciclo de secagem do solo (dos 18 aos 23 DAE). Santa Maria, 2008. 56

FIGURA 14. Perda diária de água do solo para os tratamentos com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e; preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no terceiro ciclo de secagem do solo (24 à 31

DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008. 58

FIGURA 15. Perda acumulada de água do solo para os tratamentos com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e; preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no terceiro ciclo de secagem do solo (24 à 31 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008..... 60

FIGURA 16. Diferença acumulada das perdas de água ocorridas nos tratamentos com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no terceiro ciclo de secagem do solo (dos 24 aos 31 DAE). Santa Maria, 2008. 62

FIGURA 17. Diferença acumulada das perdas de água ocorridas nos tratamentos com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao tratamento sem palha, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no terceiro ciclo de secagem do solo (dos 24 aos 31 DAE). Santa Maria, 2008. 63

FIGURA 18. Perda diária de água do solo para os tratamentos com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e; preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no quarto ciclo de secagem do solo (32 à 37 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008. 65

FIGURA 19. Perda acumulada de água do solo para os tratamentos com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e; preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no quarto ciclo de secagem do solo (32 à 37 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008..... 67

FIGURA 20. Diferença acumulada das perdas de água ocorridas nos tratamentos com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao preparo

convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no quarto ciclo de secagem do solo (dos 32 aos 37 DAE). Santa Maria, 2008. 69

FIGURA 21. Diferença acumulada das perdas de água ocorridas nos tratamentos com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao tratamento sem palha, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no quarto ciclo de secagem do solo (dos 32 aos 37 DAE). Santa Maria, 2008. 70

FIGURA 22. Coeficiente de evaporação da água do solo (K_e), para os quatro tratamentos estudados em função da ETo acumulada, no primeiro ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008. 71

FIGURA 23. Coeficiente de redução da evaporação da água do solo (K_r), para os quatro tratamentos estudados em função da ETo acumulada, no primeiro ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008. 73

LISTA DE APÊNDICES

- APÊNDICE 1** – Planilha dos dados meteorológicos coletados durante o período de realização do experimento..... 81
- APÊNDICE 2**- Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda diária de água do solo no primeiro ciclo de secagem do solo, para os tratamentos sob preparo convencional, semeadura direta sem palha e plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008..... 82
- APÊNDICE 3** - Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda diária de água do solo no segundo ciclo de secagem do solo, para os tratamentos sob preparo convencional, semeadura direta sem palha e plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008..... 82
- APÊNDICE 4** - Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda diária de água do solo no terceiro ciclo de secagem do solo, para os tratamentos sob preparo convencional, semeadura direta sem palha e plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008..... 82
- APÊNDICE 5** - Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda diária de água do solo no quarto ciclo de secagem do solo, para os tratamentos sob preparo convencional, semeadura direta sem palha e plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008..... 83
- APÊNDICE 6** - Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda acumulada de água do solo no primeiro ciclo de secagem do solo, para os tratamentos com sistema de preparo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008..... 83
- APÊNDICE 7** - Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda acumulada de água do solo no segundo ciclo de secagem do solo, para os tratamentos com sistema de preparo convencional, semeadura direta sem

palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008. 83

APÊNDICE 8 -Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda acumulada de água do solo no terceiro ciclo de secagem do solo, para os tratamentos com sistema de preparo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008..... 84

APÊNDICE 9 - Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda acumulada de água do solo no quarto ciclo de secagem do solo, para os tratamentos com sistema de preparo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008..... 84

APÊNDICE 10 - Comparação de médias da perda diária de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no primeiro ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008. 85

APÊNDICE 11 - Comparação de médias da perda diária de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no segundo ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008. 86

APÊNDICE 12 - Comparação de médias da perda diária de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no terceiro ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008. 87

APÊNDICE 13 - Comparação de médias da perda diária de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no quarto ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008. 88

APÊNDICE 14 - Comparação de médias da perda acumulada de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem

palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no primeiro ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008..... 89

APÊNDICE 15 - Comparação de médias da perda acumulada de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no segundo ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008..... 90

APÊNDICE 16 - Comparação de médias da perda acumulada de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no terceiro ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008..... 91

APÊNDICE 17 - Comparação de médias da perda acumulada de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no quarto ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008. 92

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	17
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 - Processo de evaporação da água do solo.....	19
2.2 - Fatores que afetam a evaporação da água do solo	20
2.2.1 - Meteorológicos	20
2.2.2 - Características físico-hídricas do solo	21
2.2.3 - Sistemas de Cultivo do Solo.....	22
2.2.4 - Presença de palha na superfície do solo.....	24
2.2.5 - Desenvolvimento da cultura	26
2.3 - Participação da evaporação da água do solo na evapotranspiração das culturas.....	27
3 - MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1 - Caracterização da área experimental.....	31
3.2 - Caracterização do Experimento	31
3.3 - Manejo da Cultura	32
3.4 - Determinação das perdas de água do solo	33
3.5 - Determinação dos coeficientes K_e e K_r	36
3.6 - Características físicas do solo	37
3.7 - Determinações morfofisiológicas das plantas.....	39
3.8 - Análise estatística.....	40
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1 - Crescimento da cultura.....	41
4.2 - Perdas de água da camada superficial do solo.....	42
4.2.1 - Primeiro ciclo de secagem do solo.....	42
4.2.2 - Segundo ciclo de secagem do solo	50
4.2.3 - Terceiro ciclo de secagem do solo	57
4.2.4 - Quarto ciclo de secagem do solo	64

4.3 - Coeficiente de evaporação e coeficiente de redução da evaporação da água do solo	71
5 - CONCLUSÕES	74
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
APÊNDICES	80

1- INTRODUÇÃO

Mundialmente, o setor agrícola é o maior consumidor de água, alcançando cerca de 69% do total de água derivada de rios, lagos e aquíferos subterrâneos. Os outros 31% são consumidos pelas indústrias e pelo uso doméstico (CHRISTOFIDIS, 1997). No Brasil, quase metade da água consumida destina-se à agricultura irrigada (CARDOSO et al., 1998).

Em função deste grande consumo de água pela agricultura e pela escassez de água em várias partes do mundo, há uma pressão social muito grande, principalmente sobre a agricultura irrigada, a fim de melhorar a eficiência do uso da água, tanto no desenvolvimento de projetos de irrigação quanto no manejo destas culturas, com redução nas perdas de água desde a condução da água até a área irrigada, até a redução nas perdas por evaporação nos estádios iniciais das culturas. De acordo com Cardoso et al. (1998), o manejo adequado da água na agricultura não pode ser considerado uma etapa independente do processo de produção agrícola, devendo ser analisado dentro do contexto de um sistema integrado.

As perdas de água por evaporação direta da superfície do solo nas primeiras fases de desenvolvimento das plantas, devem ser levadas em consideração quando se objetiva economia e eficiência do uso da água na agricultura moderna. A maior parte da água perdida por evaporação ocorre antes do fechamento do dossel da cultura, não tendo relação direta com a conformação do rendimento. Entretanto, é um consumo que afeta diretamente a eficiência do uso da água pelo cultivo. A solução deste problema está sendo abordada com o uso cada vez maior de princípios de agricultura sustentável, os quais incluem adequadas práticas de manejo do solo e o uso de cobertura morta para proteger o mesmo da ação direta da radiação solar e da chuva.

A introdução do sistema de plantio direto tem sido uma dessas práticas apresentando resultados altamente favoráveis no Brasil, por não alterar muito a camada superficial do solo e, permitindo que os resíduos das culturas anteriores permaneçam como cobertura morta na superfície do solo. Resultados de Stone & Moreira (2000), demonstram que, a cobertura de palha sobre a superfície do solo diminui a taxa de evapotranspiração, e se espera que um maior nível de cobertura

do solo produza uma significativa economia nos custos de operação dos sistemas de irrigação. Barros & Hanks (1993) e Moreira & Stone (1995) observaram maior eficiência do uso da água em sistema de plantio direto com cobertura morta, em relação com outros sistemas de preparo do solo. Logo, os parâmetros de manejo de irrigação para as condições de preparo convencional do solo, nem sempre satisfazem as necessidades do cultivo em condições de semeadura direta. O uso de cobertura morta modifica o comportamento do consumo de água por evaporação nos ciclos de secagem do solo, o que permite uma importante economia de água nos cultivos.

Visando no incremento da eficiência do uso da água, novas metodologias estão sendo desenvolvidas para estimar o consumo de água pelas culturas, principalmente nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas, como o coeficiente Dual de cultivo, apresentado por Allen et al. (2005), separando em dois os componentes da evapotranspiração da cultura, o componente da evaporação e o da transpiração. Esta metodologia permite predizer os efeitos gerados pelos eventos individuais de umedecimento do solo, no valor do coeficiente de cultivo, sendo possível estimar o coeficiente de evaporação e de redução da evaporação da superfície do solo. Porém, estes coeficientes são relativamente de fácil determinação para sistemas de cultivo sem cobertura do solo, não havendo muitas informações sobre o comportamento destes coeficientes em sistema de plantio direto, como é o caso da maioria das lavouras irrigadas no Brasil.

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de quantificar as perdas de água do solo por evaporação, nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura do milho semeada em sistema de cultivo direto e preparo convencional. Possui também como objetivos: (i) quantificar as perdas de água por evaporação nos sistemas de preparo convencional e de plantio direto (com diferentes quantidades de palha); (ii) quantificar a participação da fração evaporação da água da superfície do solo na evapotranspiração da cultura do milho, para estimar com maior precisão o requerimento hídrico da cultura nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Processo de evaporação da água do solo

A evaporação da água de uma superfície é um processo físico, de passagem da água do estado líquido para o gasoso, no qual, a radiação solar é a fonte principal de energia consumida neste processo. A temperatura, o déficit de saturação do ar e a velocidade do vento são os fatores que determinam a demanda evaporativa da atmosfera, a qual condiciona também o fenômeno da evaporação, sendo esta altamente limitada pela energia que chega a superfície do solo, se não houver outro fator restritivo ao fluxo hídrico (LIBARDI, 1995).

A evaporação da água do solo apresenta dois estágios distintos que se sucedem ao longo de um período de secagem do solo (RITCHIE, 1972). No estágio um, a taxa de evaporação é determinada pela quantidade de energia disponível para vaporizar a água contida na camada superficial do solo. Neste estágio, as perdas de água por evaporação dependem da demanda evaporativa da atmosfera rente à superfície do solo, sendo o fluxo capilar da água no perfil do solo suficiente para manter a superfície úmida, mantendo a taxa de evaporação elevada (REICHARDT, 1996).

No estágio dois, a evaporação é limitada, principalmente, pela diminuição da umidade do solo na camada superficial e fatores referentes às características hidráulicas do solo, que determinam a transferência de líquido e vapor à superfície. Em virtude disto, há uma redução acentuada na taxa de perda de água com o tempo. As condições atmosféricas (demanda evaporativa) acima da superfície perdem importância em relação aos fatores intrínsecos do solo, que governam a perda de água (REICHARDT, 1996; LEMON, 1956). Ritchie (1972) relata que, a taxa de evaporação durante o estágio dois, decresce em função da raiz quadrada do tempo após o umedecimento do solo. Contudo, Stroonsnijder (1987) e Gallardo et al. (1996) encontraram uma boa relação entre a evaporação acumulada em solo desnudo e a evapotranspiração de referência acumulada. Segundo Reichardt (1996), a taxa de perda de água é função linear da umidade média do perfil do solo,

e que o fluxo capilar e transferência de vapor são os processos que dominam as perdas por evaporação neste estágio.

Alguns autores apresentam um terceiro estágio da evaporação, o qual se inicia quando a relação entre a taxa de evaporação e a umidade média do solo perde a linearidade estabelecida no estágio dois e, o solo, encontra-se bem mais seco (VENTURA et al., 2005; REICHARDT, 1996). Neste estágio o fluxo da água através dos poros do solo se dá basicamente por difusão de vapor, sendo um processo bastante lento. Este estágio é determinado principalmente pelas características físicas e adsorptivas do solo. Por ser um processo lento, a taxa de evaporação neste estágio é desprezível.

Para que o processo de evaporação de água do solo ocorra e se mantenha, três condições são necessárias: suprimento contínuo de energia, gradiente de pressão de vapor entre a superfície e a atmosfera, sendo estas duas determinadas pelas variáveis meteorológicas e, a terceira condição é que deve haver um suprimento hídrico contínuo do interior à superfície do solo. Esta condição depende do potencial matricial no interior do solo e das condições de transferência do meio, como a condutividade hidráulica. Portanto, o suprimento de água para a evaporação é dependente das propriedades físicas do solo, principalmente estrutura, densidade e porosidade (HILLEL, 1973).

As perdas de água por evaporação direta da superfície do solo, têm maior relevância nas fases iniciais de desenvolvimento das plantas, antes do fechamento das entrelinhas pelo dossel vegetativo da cultura. Estas perdas não têm relação com a produtividade da cultura, mas afetam diretamente a eficiência do uso da água pelo cultivo.

2.2 - Fatores que afetam a evaporação da água do solo

2.2.1 - Meteorológicos

A mudança das moléculas de água do estado líquido para o estado de vapor requer uma quantidade de energia de aproximadamente 590 calorias por grama de

água a ser evaporada. Esta energia é proporcionada pela radiação solar e, em menor grau, pela temperatura do ar. No entanto, a força impulsora para retirar o vapor de água de uma superfície evaporante depende do gradiente de pressão de vapor entre a superfície evaporante e a atmosfera, o qual é dependente da umidade relativa do ar. À medida que ocorre a evaporação, o ar circundante se satura gradualmente e o processo se torna cada vez mais lento, até parar completamente se o ar úmido circundante não se transfere à atmosfera. Assim, para que o processo de evaporação se mantenha, há a necessidade de uma constante renovação do ar junto a superfície, trocando o ar saturado por um ar mais seco. Esta troca depende grandemente da velocidade do vento.

Portanto, a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento são os parâmetros climatológicos mais importantes a se considerar quando se avalia o processo de evaporação da água do solo (ALLEN, 2005).

2.2.2 - Características físico-hídricas do solo

As principais características físico-hídricas que influenciam diretamente as perdas de água por evaporação estão relacionados com a estrutura do solo, principalmente densidade e porosidade, as quais interferem na retenção da água no solo e nos fluxos líquido e gasoso da água no perfil do solo (Gordiyenko & Kostogryz, 1990). Além destes fatores, a condutividade hidráulica não-saturada tem papel importante no suprimento hídrico à superfície do solo, para a manutenção do processo de evaporação.

A estrutura do solo refere-se ao arranjo e a adesão das frações granulométricas primárias do solo em agrupamentos secundários denominados agregados (BAVER et al., 1972), sendo de grande importância uma vez que influencia a movimentação da água, transferência de calor, aeração, densidade e porosidade do solo (BRADY, 1983).

Entre as partículas do solo e mesmo entre os agregados existem espaços vazios, denominados poros, oriundos do arranjo, distribuição e orientação das partículas do solo. Estes poros podem armazenar água e ar necessários para o

crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas, dos microorganismos e animais do solo. A porosidade total do solo pode ser dividida em microporosidade ou porosidade capilar e macroporosidade ou porosidade de aeração.

Segundo Hillel (1980), o movimento livre da água no solo ocorre nos macroporos, enquanto que nos microporos este movimento é dificultado, ficando restrito basicamente à capilaridade. A distribuição do tamanho dos poros, segundo o mesmo autor, afeta o armazenamento de água no solo. Outro fator importante que interfere na dinâmica da água no solo é a densidade do solo, definida como a relação entre a massa de partículas secas do solo e o volume total do solo, incluindo tanto os sólidos quanto os poros do solo (CARTER, 1993).

A modificação no espaço poroso do solo, principalmente os macroporos, afeta a densidade do solo, influenciando nas propriedades físico-hídricas do solo importantes como a porosidade de aeração, a retenção de água no solo, a disponibilidade de água às plantas e a resistência a penetração (KLEIN, 1998).

Outros fatores indiretos relacionados com as propriedades físicas do solo podem, também, afetar a evaporação da água do solo. Dentre os mais importantes está o sistema de cultivo utilizado e as práticas de manejo adotadas, principalmente, as relacionadas com a manutenção dos resíduos de cultura em superfície.

2.2.3 - Sistemas de Cultivo do Solo

Tem-se demonstrado que os sistemas de manejo do solo afetam de maneira diferente sua densidade, porosidade e a capacidade de armazenamento de água no perfil, em comparação com o solo virgem (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990; ANJOS et al., 1994; DA ROS et al., 1997; KLEIN & LIBARDI, 2002; COSTA et al., 2003) o qual, repercute diretamente no crescimento, no desenvolvimento e na produtividade dos cultivos.

De acordo com Dickey et al. (1992), o preparo convencional consiste em uma seqüência de operações que são para preparar o solo para a semeadura de uma cultura qualquer. O preparo convencional é caracterizado pela realização de uma

aração do solo e duas gradagens para nivelamento da superfície (ROJAS & VAN LIER, 1999).

O sistema de plantio direto surgiu, primeiramente, como meio de controlar ou reduzir a erosão do solo, tendo como requisito principal, a manutenção da palha das espécies cultivadas anteriormente na superfície do solo, e o estabelecimento das culturas sem o revolvimento parcial ou completo do solo.

Para melhor entender os princípios científicos envolvidos no plantio direto, este passou a ser utilizado como um sistema composto por um complexo ordenado de práticas agrícolas, interrelacionadas e interdependentes (KOCHHANN & DENARDIN, 2000). Dessa forma, ampliou-se o conceito inicial, passando a envolver a rotação de culturas, como forma de melhorar o aproveitamento dos nutrientes, as características físicas do solo, a diversificação da matéria orgânica adicionada ao sistema, além do controle da erosão (KOCHHANN & DENARDIN, 2000). Atualmente, o conceito de plantio direto inclui informações de outras áreas de conhecimento, como manejo das culturas, controle fitossanitário e variáveis agrometeorológicas, numa visão de monitoramento da dinâmica associada a este sistema de manejo do solo.

Dalmago et al. (2003a), trabalhando com evaporação da água na superfície nos sistemas de plantio direto e preparo convencional, encontraram diferenças significativas entre os sistemas de cultivo. Estas diferenças devem-se a maior umidade na superfície do solo no preparo convencional, no início de um ciclo de secagem do solo, o que facilita o processo evaporativo. A evolução da evaporação a partir do segundo ou terceiro dia após cada chuva foi conseqüência da secagem mais acelerada do solo no preparo convencional do que no plantio direto.

Métodos de preparo do solo que envolvem revolvimento do solo, provocam a interrupção da capilaridade que conduz água à superfície. Ao mesmo tempo, afetam também a densidade e a estrutura, que estão direta ou indiretamente ligados ao estado hídrico do solo (GORDIYENKO & KOSTOGRYZ, 1990), por modificarem a capacidade de retenção de água e sua dinâmica no perfil. A secagem da camada superficial que, normalmente, é mais rápida no preparo convencional, comparado ao plantio direto, leva à redução da evaporação na superfície, formando-se uma camada de isolamento na superfície, a qual funciona como se fosse um “mulching” adicionado à mesma. Portanto, resulta em efeito semelhante a uma camada de palha adicionada sobre o solo. Isto reduz a evaporação da água no solo no preparo

convencional, quando relacionada ao plantio direto. No plantio direto a palha diminui a secagem superficial do solo, mantendo a camada superficial mais úmida e, por conseguinte, a continuidade dos poros.

O sistema de plantio direto se caracteriza por apresentar na camada de 0-20 cm de profundidade maior estabilidade estrutural, maior densidade do solo, menor porosidade total e macroporosidade, em comparação com outros sistemas de preparo do solo (VIEIRA, 1981; VIEIRA & MUZILLI, 1984; CORRÊA, 1985). Estas características não contribuem da mesma forma para incrementar a infiltração de água, no entanto, no plantio direto, o solo se encontra protegido pela palha, que unida a uma maior estabilidade estrutural contribui para uma maior taxa de infiltração de água no solo e menor perda por escoamento superficial (ROTH & VIEIRA, 1983).

Duas causas são atribuídas ao aumento da retenção e disponibilidade de água às plantas em plantio direto. A primeira é a diminuição da evaporação da água da superfície do solo em função da barreira formada pelos resíduos vegetais, condição que nem sempre ocorre, quando a evaporação é medida no campo (DALMAGO et al., 2003a). A segunda causa é a modificação na geometria dos poros do solo que, sob o ponto de vista físico, talvez, seja aquela com maior contribuição. O maior efeito na melhoria das condições hídricas do solo em plantio direto se dá com a combinação dos dois fatores, aumento na quantidade de água armazenada e redução das perdas por evaporação.

2.2.4 - Presença de palha na superfície do solo.

No sistema de plantio direto, a presença de palha em superfície cria uma barreira física que impede a incidência direta da radiação sobre o solo, não deixando que este se aqueça nas mesmas proporções que o preparo convencional, reduzindo a disponibilidade de energia para o processo de evaporação. A presença de palha em superfície atua também na redução da amplitude térmica do solo, sendo esta menor do que em sistemas de preparo com o revolvimento do solo e sem palha (SALTON & MIELNICZUK, 1995; SILVA et al., 2006).

Resultados de estudos de Stone & Moreira (2000) com o uso de cobertura de palha em superfície demonstram que, esta diminui a taxa de evaporação, permitindo uma diminuição dos custos de operação dos sistemas de irrigação. Barros & Hanks (1993) e Moreira & Stone (1995) observaram maior eficiência do uso da água em sistema de plantio direto, em relação com outros sistemas de preparo do solo, indicando que os parâmetros de manejo da irrigação, determinados para as condições de preparo convencional do solo, nem sempre representam adequadamente as necessidades do cultivo manejado em sistema de plantio direto.

Melo Filho & Silva (1993) encontraram que o conteúdo de água do solo foi mais elevado nas parcelas em sistema de plantio direto durante o primeiro mês de cultivo do milho, em consequência da presença de palha na superfície do solo. Após esse período, verificaram que o conteúdo de água no solo sob preparo convencional passou a ser maior, atribuindo o fato à quebra de capilaridade causada pela mobilização do solo e redução da cobertura no plantio direto. Stone & Moreira (2000) explicam que este comportamento pode ser em função da rápida decomposição dos resíduos com baixa relação C/N, característica esta de clima tropical, o que provoca uma diminuição da porcentagem de cobertura do solo pela palha e, em consequência, aumentam-se as perdas de água por evaporação e por escoamento superficial. A palha perde seu poder refletor a cerca de 30 a 35 dias após o manejo da mesma, conforme mostrado por Dalmago et al. (2004a) e Wagner-Riddle et al. (1996), indicando que, após este tempo, a disponibilidade de energia na superfície do solo em plantio direto e no preparo convencional é muito semelhante, favorecendo o processo de evaporação em plantio direto, por apresentar maior disponibilidade de água na camada junto à superfície do solo. Essa redução na reflectância da palha causa modificações na dinâmica térmica do solo pela mudança no fluxo de calor e na temperatura do solo.

Em trabalho desenvolvido por Dahiya et al. (2007), estudando os efeitos do preparo do solo e da presença de palha na superfície, nos regimes hídrico e térmico do solo, encontrou que a presença de palha na superfície do solo reduziu as perdas de água por evaporação em comparação com os tratamentos sem palha. Com o revolvimento do solo, a superfície do solo é ampliada, facilitando a evaporação da água do solo, a qual foi maior quando não foi realizado o preparo do solo. Quanto ao fluxo de calor no solo, encontraram que a presença de palha na superfície, resultou

em menor fluxo de calor durante o dia e, maior durante a noite, comparado à ausência de palha.

Estudos realizados por Mulumba & Lal (2008), avaliando as características de retenção da água do solo, da densidade do solo e estabilidade de agregados, em sistemas de cultivo com manutenção de palha em superfície encontraram que, esta incrementou a porosidade total, a capacidade de água disponível, a agregação do solo e o conteúdo de umidade do solo na capacidade de campo. No mesmo trabalho encontraram que, quantidades de palha menores que $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, ocasionam pequenos incrementos na porosidade comparados quando não se utiliza palha em cobertura. Similarmente, quantidades de palha acima de $8,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, não observaram incrementos significativos na disponibilidade de água para as plantas.

O sistema de preparo do solo e a presença de palha na superfície influenciam também a temperatura do solo na camada superficial, como demonstrado em trabalhos desenvolvidos por Salton & Mielniczuk (1995) e Silva et al. (2006) no qual encontraram que as temperaturas máximas do solo são observadas nos sistemas onde há uma maior mobilização do solo, além de observarem uma redução na amplitude térmica do solo, com a presença de palha em superfície, principalmente em função da redução do fluxo de calor no solo.

2.2.5 - Desenvolvimento da cultura

A presença de plantas crescendo interfere indiretamente no processo de evaporação da água do solo, pela interceptação da radiação solar incidente, ocasionando o sombreamento do solo e reduzindo a disponibilidade de energia, pelo incremento da área foliar das plantas durante o ciclo. No início o efeito da área foliar das plantas é pequeno, e a evaporação tende a ser maior, perdendo importância quando a área foliar das plantas é suficiente para o fechamento das entrelinhas de cultivo (BERGAMASCHI et al., 2004; DALMAGO et al., 2004a).

A cultura determina a velocidade de extração de água do solo, a qual também é variável com o tempo, em função do crescimento da área foliar e da expansão do sistema radicular. O aumento da área foliar das plantas permite maior interceptação da radiação (BERGAMASCHI et al., 2004), elevando a demanda de água da cultura

e, por conseguinte, ocasionando uma maior extração de água do solo. Já o crescimento radicular contribui para o avanço da frente de extração, à medida que aumenta o volume do solo explorado pelo sistema radicular das plantas, aumentando a eficiência de absorção de água ao longo da arquitetura radicular (BASSOI et al., 1994).

2.3 - Participação da evaporação da água do solo na evapotranspiração das culturas.

A evapotranspiração do cultivo é estimada normalmente pela multiplicação da evapotranspiração de referência por um coeficiente de cultura que expressa a diferença entre a evapotranspiração da superfície cultivada e a cultura de referência. Esta diferença pode ser combinada dentro de um coeficiente único do cultivo, ou pode ser separada em dois fatores que descrevem separadamente a evaporação e a transpiração do cultivo. A seleção do coeficiente a ser utilizado, dependerá do propósito do cálculo, a precisão requerida, a disponibilidade de dados climáticos e a escala de tempo sob a qual se realizam os cálculos.

Para muitas finalidades, como o planejamento e dimensionamento de sistemas de irrigação, o simples conhecimento do valor da evapotranspiração é suficiente. No entanto, na modelagem de crescimento de planta e na estimativa do consumo de água, torna-se necessário conhecer a magnitude de cada componente (evaporação e transpiração). A determinação desses parâmetros é, também, necessária para o aprimoramento de práticas de manejo de irrigação (Rodrigues et al., 1998)

Durante os estádios iniciais de desenvolvimento das culturas anuais, a evapotranspiração ocorre predominantemente na forma de evaporação. Entretanto, estimativas precisas da ET durante este período devem considerar a frequência com que a superfície do solo é umedecida. O período inicial é definido por Doorembos & Pruitt (1977) e Allen et al. (1998), para culturas anuais, como o período entre a semeadura e aproximadamente 10% de cobertura do solo pelo dossel vegetativo da cultura. Este período representa as condições em que o solo se encontra usualmente descoberto nos sistemas de cultivo que utilizam o revolvimento parcial

ou completo do solo. Se a superfície do solo é molhada neste período, a taxa de evaporação pode ser relativamente elevada. Com o secamento da superfície do solo, mudam as condições hidráulicas e a evaporação decresce (ALLEN et al., 2005).

O coeficiente médio de cultura, o qual é uma relação entre a evapotranspiração máxima da cultura e a evapotranspiração de referência, durante os estágios iniciais da cultura, é denominado como coeficiente de cultura para o período inicial $K_{c_{ini}}$. O valor de $K_{c_{ini}}$ é requerido para a construção da curva de coeficiente de cultura simples para uma estação de crescimento que incorpora os impactos da frequência de molhamento no K_c . O método de K_c "Dual" foi adicionado ao método do coeficiente simples, para simular os impactos da evaporação separadamente (ALLEN et al., 2005). Entretanto, o método de K_c simples é frequentemente aplicado para planejamentos de estudos gerais e análises regionais e, assim, são necessários valores de K_c precisos e representativos.

De acordo com o enfoque do coeficiente dual de cultivo, se determinam em separado os efeitos da transpiração do cultivo e o da evaporação do solo. Utilizam-se dois coeficientes: o coeficiente basal de cultivo (K_{cb}) para descrever a transpiração da planta, e o coeficiente de evaporação da água do solo (K_e) para descrever a evaporação que ocorre na superfície do solo. Dessa forma, o coeficiente único de cultivo é dividido em:

$$K_c = K_{cb} + K_e \quad (1)$$

Onde, o K_c é o coeficiente de cultura; K_{cb} é o coeficiente basal de cultivo; e; K_e é o coeficiente de evaporação da água do solo.

O K_{cb} é definido como o quociente entre a evapotranspiração da cultura e a evapotranspiração de referência quando a superfície do solo se encontra seca, mas com conteúdo médio de água na zona radicular do solo, adequado para manter a taxa de transpiração da planta. O K_{cb} representa a linha potencial do valor do K_c na ausência dos fatores adicionais introduzidos pelo umedecimento do solo pela precipitação pluvial ou pela irrigação. O K_e descreve o componente da evaporação que ocorre na superfície do solo, podendo assumir valores elevados após o umedecimento do solo por uma irrigação ou precipitação pluvial. O valor de K_e é

reduzido à medida que o solo seca, chegando a zero quando não houver mais água disponível para a evaporação, conforme exemplificado na figura 1.

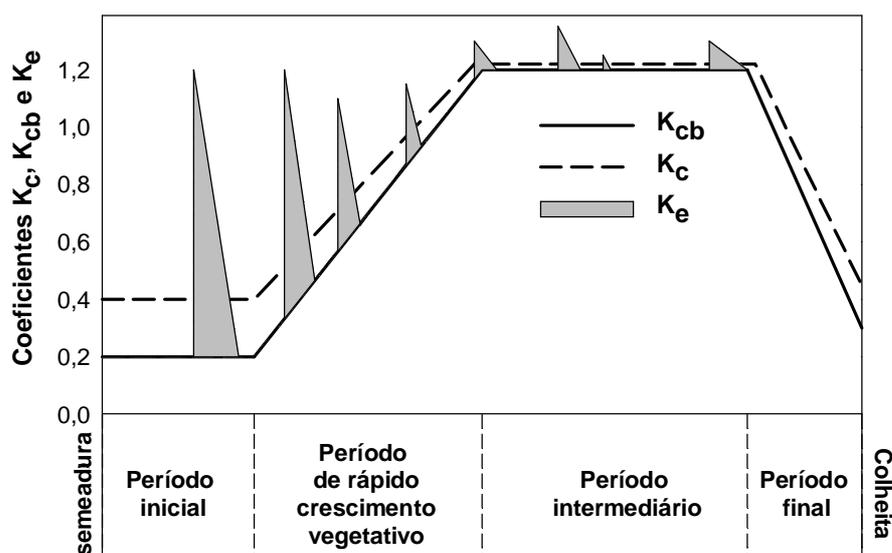


Figura 1 - Diagrama ilustrando a variação nos coeficientes de cultura de base (K_{cb}) relativos à transpiração da cultura e o coeficiente de evaporação da água do solo (K_e) (adaptado de Allen et al., 1998).

Esta redução é expressa pelo coeficiente de redução da evaporação da água do solo (K_r), considerando o primeiro e o segundo estágio do processo de evaporação (Figura 2). Durante o primeiro estágio da evaporação, a qual acontece logo após uma irrigação ou precipitação pluvial, a superfície do solo se mantém úmida e o processo de evaporação se dá a uma taxa máxima, limitada somente pela quantidade de energia da radiação solar disponível na superfície do solo. Este estágio se mantém até que as perdas acumuladas de evaporação sejam tais que as propriedades hidráulicas do solo comecem a ser limitantes, não sendo possível a manutenção do suprimento de água para a superfície do solo para que o processo ocorra potencialmente. A lâmina de evaporação acumulada nesta etapa é igual à água prontamente evaporável (APE), a qual representa a quantidade de água que pode ser perdida por evaporação sem restrições da camada superficial, dependendo basicamente da textura do solo.

Para o segundo estágio da evaporação, o qual inicia quando a evaporação acumulada supera a APE, a superfície do solo se encontrará seca e a evaporação a partir da porção exposta do solo se reduzirá proporcionalmente a quantidade de água remanescente na camada superficial do solo.

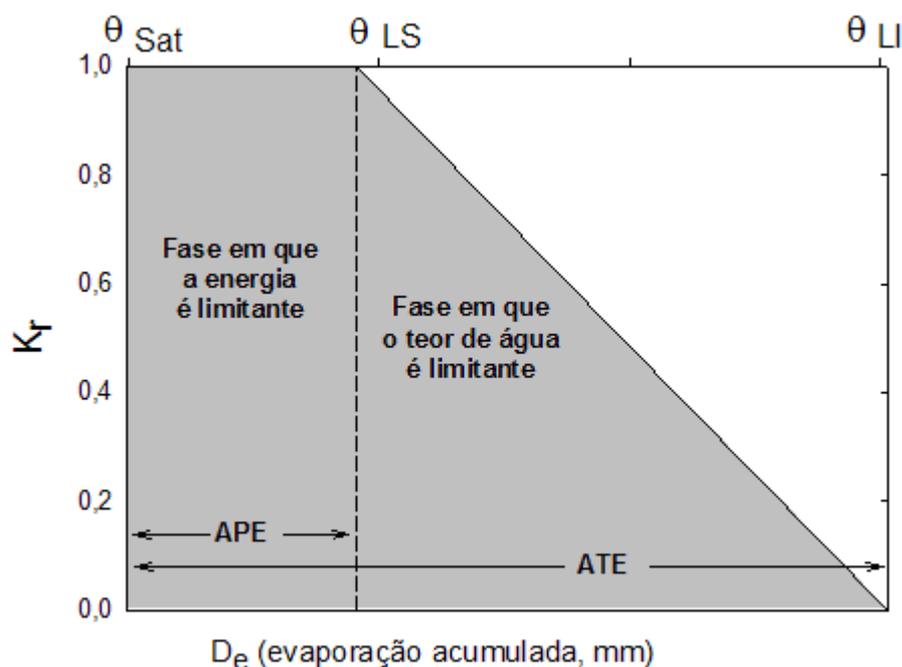


Figura 2 - Teoria dos dois estágios da evaporação para estimar o coeficiente de evaporação (K_e) e o coeficiente de redução da evaporação da água do solo de uma superfície vegetada. (Allen et al., 1998).

Klocke et al. (1990), relataram que a evaporação direta da água do solo representou 30% da evapotranspiração durante um ano de produção da cultura do milho irrigado. Dalmago et al. (2003a) também verificaram que no início do crescimento das plantas de milho, a evaporação média foi de 25% a 40% da evapotranspiração máxima da cultura, reduzindo esta participação depois de atingida a máxima área foliar, próximo ao pendoamento, ficando em torno de 15% da evapotranspiração máxima. Esta redução, segundo os autores, deve-se ao sombreamento do solo pela cultura, reduzindo a evaporação por limitar a quantidade de radiação incidente sobre a superfície do solo.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Caracterização da área experimental

O trabalho foi desenvolvido em Área Experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), localizada na latitude de 29° 41' 24''S, longitude de 53° 48'42''O e altitude de 95 m.

O clima do local é do tipo Cfa, subtropical úmido com verões quentes, segundo a classificação de Köppen (MORENO, 1961) e precipitação média anual entre 1322 e 1769 mm. O solo é classificado como ARGISSOLO VERMELHO distrófico arênico (EMBRAPA, 1999), e, a área é manejada sob sistema de plantio direto há um tempo superior a dez anos, tendo como base de rotação de culturas o cultivo de milho e soja no verão e, aveia como cultura de cobertura no período de inverno.

3.2 - Caracterização do Experimento

O experimento foi conduzido no período de 28 de outubro de 2006 a 10 de dezembro de 2006, para a determinação das perdas de água na camada superficial do solo da cultura do milho cultivada em sistemas de semeadura direta e preparo convencional.

O experimento constituiu-se de quatro tratamentos: (i) plantio direto do milho em solo desnudo (PD0); (ii) plantio direto do milho com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo (PD3); (iii) plantio direto do milho com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo (PD6) e, (iv) preparo convencional do solo, sem cobertura de palha na superfície (PC). O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, contendo quatro tratamentos e quatro repetições, perfazendo um total de 16

parcelas experimentais. As parcelas apresentaram dimensões de 4,0 x 3,2 m e área igual a 12,8 m².

A palha utilizada nos tratamentos em sistema de plantio direto foi a de aveia (*Avena strigosa* Schreb), cultivada no período de inverno antecedente à instalação do experimento. A aveia foi dessecada no estágio de florescimento da cultura. Após a secagem completa a campo, a parte aérea foi colhida e armazenada para posterior utilização.

Na preparação dos tratamentos em plantio direto, retiraram-se todas as plantas daninhas e os resíduos vegetais de cultura antecessoras na área e, após a limpeza total do terreno, a quantidade de palha designada em cada tratamento foi distribuída uniformemente na superfície do solo. No tratamento sob preparo convencional, o preparo do solo foi realizado manualmente através do revolvimento do solo até uma profundidade de aproximadamente 20 a 25 cm, com a utilização de pá de corte, deixando posteriormente a superfície nivelada e em condições de semeadura.

3.3 - Manejo da Cultura

A semeadura do milho foi realizada com uma semeadora de parcelas, autopropelida, com duas linhas de semeadura. O híbrido de milho utilizado foi o Pioneer 30F53, semeado no dia 28 de outubro de 2006, com espaçamento entre linhas de 0,80 m e população média final de 65.000 pl ha⁻¹.

A fertilização do solo foi realizada com base na análise química do solo, seguindo as recomendações para a cultura do milho, conforme a Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (2004). Utilizou-se para a adubação de base da cultura o equivalente a 15 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O, de uma fórmula comercial, e mais 180 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia (45-0-0) em cobertura, divididos em duas aplicações, sendo a primeira quando a cultura atingiu o estágio V4 (quatro folhas completamente expandidas) e, a segunda no estágio V7 (sete folhas completamente expandidas), segundo a escala fenológica apresentada por Ritchie et al. (1993).

Para suprir as necessidades hídricas da cultura foram realizadas duas irrigações durante o período de coleta de dados do experimento (crescimento vegetativo da cultura), como apresentado na figura 3, por meio de um sistema de irrigação convencional fixo, considerando a evapotranspiração de referência diária e o coeficiente de cultura específico para cada subperíodo de desenvolvimento das plantas. Foram aplicadas lâminas de irrigação visando elevar o conteúdo de umidade do solo para próximo da saturação a fim de uniformizar a umidade do solo em todos os tratamentos, antes do início de cada ciclo de secagem do solo.

3.4 - Determinação das perdas de água do solo

As precipitações pluviais ocorridas, as irrigações aplicadas e a evapotranspiração de referência estimada segundo metodologia proposta por Allen et al. (2005), durante o período de estudo são apresentadas na figura 3. Quatro ciclos de secagem do solo foram observados em função da distribuição das precipitações pluviais e das irrigações aplicadas durante o crescimento vegetativo da cultura do milho.

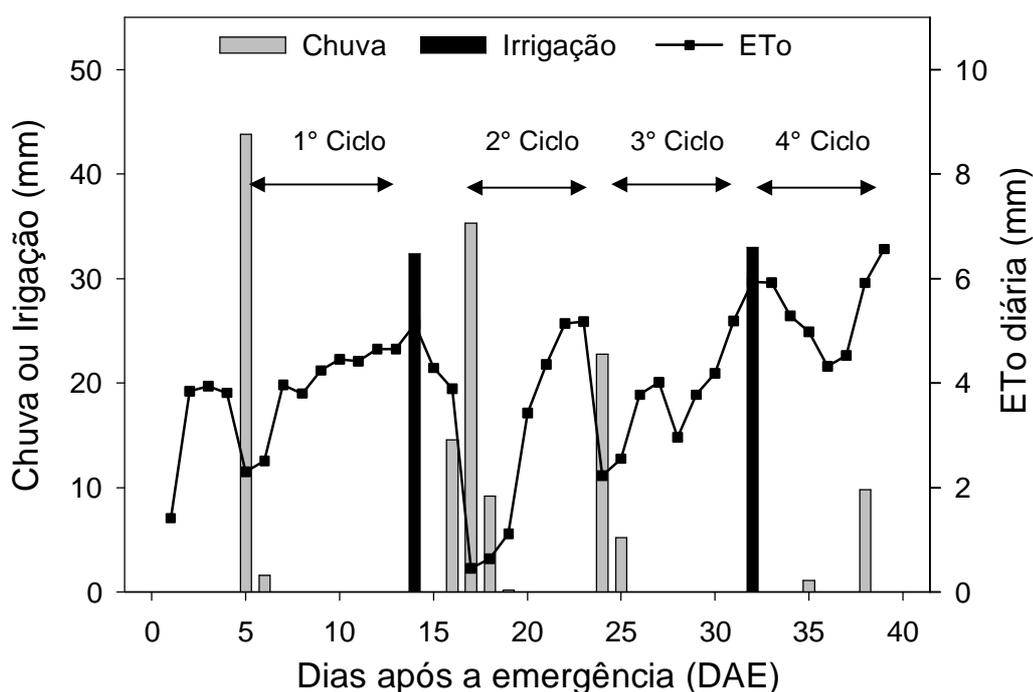


Figura 3 - Distribuição das precipitações pluviais, irrigações aplicadas e evapotranspiração de referência (ETo) durante o experimento. Santa Maria, 2008.

A precipitação pluvial ocorrida durante o período do experimento foi obtida através de um pluviômetro com diâmetro de 20 cm, instalado junto à área experimental fazendo-se a leitura da quantidade de água coletada após cada precipitação pluvial. O volume total de precipitação pluvial durante o período foi de 143,6 mm, distribuídos em dez eventos, com média de 16,2 mm cada um. Em função da distribuição irregular das precipitações, houve a necessidade da aplicação de duas irrigações durante o ciclo da cultura, a primeira de 32,4 mm aos 14 dias após a emergência (DAE) e a segunda, de 33,0 mm aos 32 DAE. Assim, o total de água aplicado via irrigação ou precipitação pluvial durante os 39 dias de experimento foi de 209 mm.

A ETo foi estimada pelo método de Penman-Monteith, conforme metodologia proposta pelo boletim FAO-56, (ALLEN et al., 2005), a partir dos dados de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento a 2,0 m (m s^{-1}) e radiação solar ($\text{W m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), obtidos através de uma estação meteorológica automática instalada próximo ao experimento, com leituras realizadas a cada 15 min. A ETo média da semeadura até os 39 DAE foi de $4,0 \text{ mm dia}^{-1}$. Os dados de ETo foram utilizados para relacionar as perdas de água do solo com a demanda da atmosfera, através dos coeficientes de evaporação e para o acompanhamento do consumo hídrico da cultura ao longo do experimento e determinação das irrigações aplicadas.

As perdas de água do solo foram determinadas diariamente realizando-se o balanço hídrico do solo, considerando como entradas de água no solo, as precipitações pluviais e as irrigações. A perda de água do solo foi assumida como sendo em função da evaporação direta da água do solo e pela transpiração das plantas, desconsiderando a percolação profunda e o escoamento superficial da água. Assim, as perdas de água do solo foram determinadas pela variação do armazenamento de água no solo a partir dos dados de umidade volumétrica do solo diariamente, determinados através de um TDR 100 - *Time Domain Reflectometer* (Figura 4).

Com o TDR, o comando gerado pelo equipamento era enviado a um multiplexador central e deste distribuído para outros quatro multiplexadores (SDMX50), um para cada repetição, e finalmente para os sensores, para a determinação da umidade volumétrica do solo, sendo os resultados armazenados em um dispositivo de armazenamento de dados CR10X.

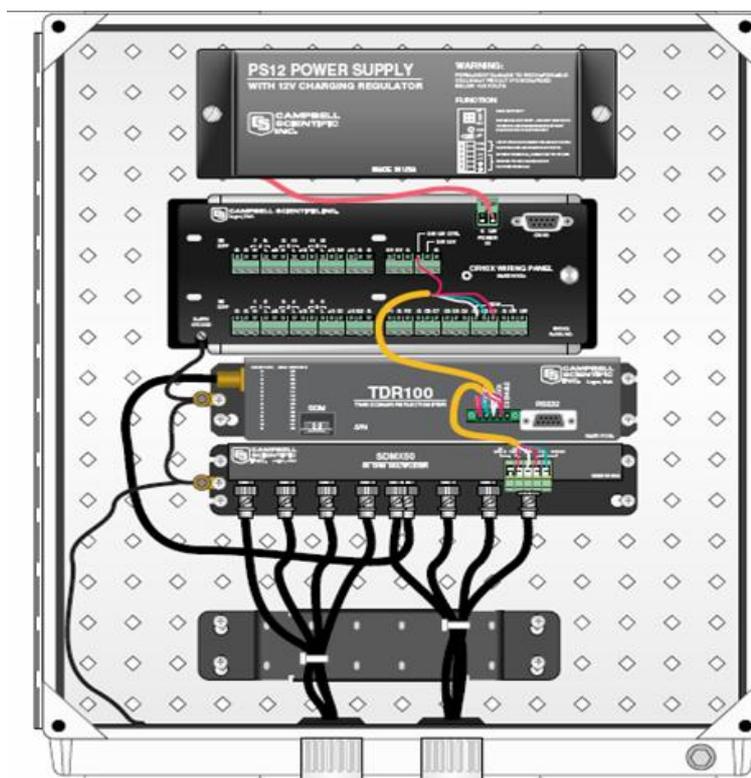


Figura 4 - Representação dos componentes utilizados em conjunto com o TDR na central de controle. Fonte de energia, dispositivo de armazenamento de dados (CR10X), TDR e multiplexador (SDMX50).

Em cada parcela foram instalados dois sensores de TDR, com hastes de 20 cm de comprimento, colocados na entrelinha das plantas. Um sensor foi inserido inclinado no solo, para determinar o conteúdo de água na camada de 0 a 10 cm e o outro foi inserido verticalmente na camada de 10 a 30 cm.

O TDR foi configurado para realizar automaticamente as medições do conteúdo de água no solo com um intervalo de tempo de 15 minutos. Os resultados foram descarregados todos os dias para verificar a consistência das determinações e o comportamento dos sensores ao longo do dia. Em caso de problemas de leitura, os sensores eram ajustados ou substituídos.

O armazenamento de água no solo foi calculado para as duas camadas do perfil do solo multiplicando-se o valor do conteúdo volumétrico de água do solo pela espessura da camada. A variação no armazenamento de água no solo foi utilizada no balanço hídrico do solo para estimar a perda de água do solo por evaporação direta e pela transpiração das plantas.

3.5 - Determinação dos coeficientes Ke e Kr

Os coeficientes Ke e Kr foram estimados para o primeiro ciclo de secagem do solo, a partir dos dados meteorológicos e das características físico-hídricas do solo na camada de 0-30 cm, seguindo a metodologia do Kc Dual de cultivo, proposta por Allen et al. (2005).

A metodologia do Kc Dual consiste em dividir o Kc em dois coeficientes: um para a transpiração do cultivo, denominado coeficiente basal de cultivo (Kcb), e outro para a evaporação do solo (Ke).

Antes da estimativa do Ke, determinou-se o coeficiente de redução da evaporação (Kr), considerando-se as duas etapas da evaporação da água do solo. Durante o primeiro estágio da evaporação, o Kr é igual 1,0, enquanto a evaporação acumulada (Esac) for menor que a Água Prontamente Evaporável (APE), onde:

$$APE = 8 + 0,08 \text{ Arg} \quad (2)$$

Sendo:

APE = Lâmina de água do solo prontamente evaporável durante a primeira etapa da evaporação (mm), quando o teor de areia do solo < 80% e argila < 50%.

Arg = Teor médio de argila no solo, na camada de 0-30 cm. No experimento, o valor utilizado foi de 12,75%.

Para o segundo estágio da evaporação, o qual se inicia quando a evaporação acumulada supera a APE, a superfície do solo se encontrará seca e a evaporação a partir da porção exposta do solo se reduzirá proporcionalmente a quantidade de água remanescente na camada superficial do solo.

Sendo:

$$Kr = \frac{ATE - Es_{ac(i-1)}}{ATE - APE} \quad (3)$$

Onde:

Kr = coeficiente adimensional de redução da evaporação da água do solo;

Es_{ac} = lâmina acumulada de evaporação da camada superficial ao final do dia anterior (mm);

ATE = lâmina máxima de água disponível para evaporação na camada superficial (mm); onde $ATE_{m\acute{a}x} = 1000 (\theta_{Sat} - \theta_{Li}) \cdot Ze$; Ze = Profundidade da camada em cm.

APE = Lâmina de água do solo prontamente evaporável durante a primeira etapa da evaporação (mm).

Após a determinação do K_r , calculou-se a variação do K_e para o primeiro ciclo de secagem do solo, conforme a equação a seguir:

$$K_e = K_r ((E_s/E_{T_o}) - K_{c_b}) \quad (4)$$

Onde:

K_e = coeficiente de evaporação da água do solo;

K_r = coeficiente de redução da evaporação da água do solo;

E_s = Evaporação da água do solo (mm);

E_{T_o} = Evapotranspiração de referência diária (mm).

K_{c_b} = coeficiente basal de cultivo (representa basicamente o componente da transpiração no valor de E_{T_c}). Para o estágio inicial de desenvolvimento de culturas anuais, $K_{c_b} = K_{c_{ini}}$, onde $K_{c_{ini}} = 0,15$.

3.6 - Características físicas do solo

No final do experimento foi realizada a caracterização física do solo. Foram determinadas a textura, macro e microporosidade, porosidade total, densidade do solo, limite superior e inferior de disponibilidade de água no solo.

A caracterização física foi realizada a partir da amostragem do solo feita através da abertura de uma trincheira em duas parcelas de cada tratamento, coletando-se amostras de solo deformadas e indeformadas nas profundidades de 0 a 0,10 m e de 0,10 a 0,30 m. As amostras deformadas foram utilizadas para a determinação do limite inferior de disponibilidade de água no solo e da análise granulométrica. Com as amostras indeformadas determinou-se a densidade do solo, a porosidade total, a macro e microporosidade e o limite superior de disponibilidade de água no solo às plantas.

As amostras foram analisadas no Laboratório de Física do Solo do Departamento de solos da Universidade Federal de Santa Maria. As determinações

analíticas de textura, densidade do solo e distribuição do tamanho de poros, apresentados nas tabelas 1 e 2, foram realizadas conforme métodos descritos em EMBRAPA (1997). Para a análise granulométrica o método utilizado foi o da pipeta (GEE & BAUDER, 1986). A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, utilizando um cilindro de metal de aproximadamente $65,0 \text{ cm}^3$ de volume.

Para a determinação da microporosidade as amostras indeformadas de solo foram saturadas e colocadas em uma coluna de areia para a determinação dos pontos de $-0,001$, $-0,006$ e $-0,01$ MPa durante 48 horas em cada um dos potenciais, sendo o ponto de $-0,006$ MPa considerado como sendo a separação entre macro e microporos e, o ponto de $-0,01$ MPa como o limite superior de disponibilidade de água no solo (LS). A porosidade total foi considerada como sendo igual à umidade de saturação do solo. Após as amostras foram levadas à estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ para secagem até massa constante.

O limite inferior de disponibilidade de água (LI) foi considerado como sendo a umidade do solo no potencial de $-1,5$ MPa. Esta determinação foi realizada por psicrometria, utilizando um potenciômetro de ponto de orvalho, WP4 “dewpoint potentiometer” (DECAGON, 2002). Para essa avaliação utilizaram-se amostras de solo com estrutura deformada secas ao ar, umedecidas com água através de um borrifador, pesadas e levadas até o WP4 onde se fez a leitura do potencial que a amostra se encontrava. Após isso as amostras foram levadas para a estufa para secagem até massa constante. A diferença entre as duas pesagens correspondeu ao conteúdo de água do solo no potencial determinado pelo WP4. Relacionando-se o potencial determinado no WP4 para cada sub-amostra com sua respectiva umidade, traçou-se uma curva, com escala logarítmica, da qual foi retirado o valor de umidade do solo no potencial de $-1,5$ MPa.

Na tabela 1, são apresentados os dados de densidade do solo, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, limite superior e inferior de disponibilidade de água no solo, para o solo utilizado no experimento, para as camadas de 0-10 cm e de 10-30 cm, em cada um dos tratamentos estudados.

Tabela 1- Densidade do solo (Ds), macroporosidade, microporosidade, porosidade total (PT), limite superior (LS) e inferior (LI) de disponibilidade de água às plantas, determinados para as camadas de 0-10 cm e 10-30 cm, nos quatro tratamentos estudados. Santa Maria, 2008.

Tratamentos*	Camada (cm)	Ds (gcm ⁻³)	Porosidade		PT (cm ³ cm ⁻³)	LS	LI
			Macro	Micro			
PD 0	0 – 10	1,68	0,094	0,300	0,395	0,296	0,069
	10 – 30	1,58	0,097	0,308	0,405	0,303	0,082
PD 3	0 – 10	1,65	0,101	0,307	0,408	0,303	0,069
	10 – 30	1,63	0,079	0,311	0,390	0,306	0,082
PD 6	0 – 10	1,68	0,091	0,276	0,368	0,271	0,069
	10 – 30	1,59	0,097	0,307	0,404	0,301	0,082
PC	0 – 10	1,20	0,244	0,271	0,515	0,265	0,069
	10 – 30	1,42	0,145	0,289	0,434	0,283	0,082

* PD 0 = Plantio direto com solo desnudo; PD 3 = Plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo; PD 6 = Plantio direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo; PC = Preparo convencional com revolvimento do solo.

Tabela 2 - Textura do solo utilizado no experimento. Santa Maria, 2008.

Camada (cm)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural
0 - 10	58,3	29,8	11,8	Franco Arenoso
10 - 30	43,3	43,1	13,7	Franco

3.7 - Determinações morfofisiológicas das plantas

Aos 13 DAE foram selecionadas e identificadas duas plantas por parcela para as determinações não destrutivas de área foliar e altura de plantas. Estas determinações foram realizadas semanalmente. As plantas selecionadas eram semelhantes em altura e número de folhas, no momento da identificação. A área foliar foi determinada individualmente para cada folha medindo-se desde o aparecimento da mesma até o surgimento da bainha. A área foliar foi obtida pelo produto do comprimento pela largura máxima de cada folha, multiplicada pelo fator 0,75 (STICKLER et al., 1961). O índice de área foliar foi calculado ao longo do ciclo de desenvolvimento das plantas, pela razão entre a área foliar fotossinteticamente ativa da planta, definida como o somatório da área foliar de todas as folhas das plantas, e a superfície do solo ocupada por essa planta. A altura de plantas foi obtida medindo-se a distância vertical desde a base da planta até a bainha mais elevada.

3.8 - Análise estatística

Os resultados das extrações de água do solo diária e acumulada foram analisados estatisticamente através do programa estatístico SAEG, versão 9.1 sendo a análise de variância e o teste de Tukey determinados em nível de 5% de probabilidade de erro. Os testes de comparação de médias foram realizados para todos os dias de cada ciclo de secagem do solo. Os valores foram submetidos à transformação raiz quadrada ($\sqrt{x + 0,5}$) para homogeneizar a variância em virtude da grande heterogeneidade dos dados (STORCK, 2000).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Crescimento da cultura

Na figura 5, são apresentados os resultados do índice de área foliar e de altura de plantas, determinados aos 13, 20, 27 e 37 DAE. As diferenças entre os sistemas de cultivo do solo não foram significativas. Isso se deve em função da duração reduzida dos ciclos de secagem do solo os quais não foram suficientemente longos para causar deficiência hídrica nas plantas e afetar seu crescimento e desenvolvimento.

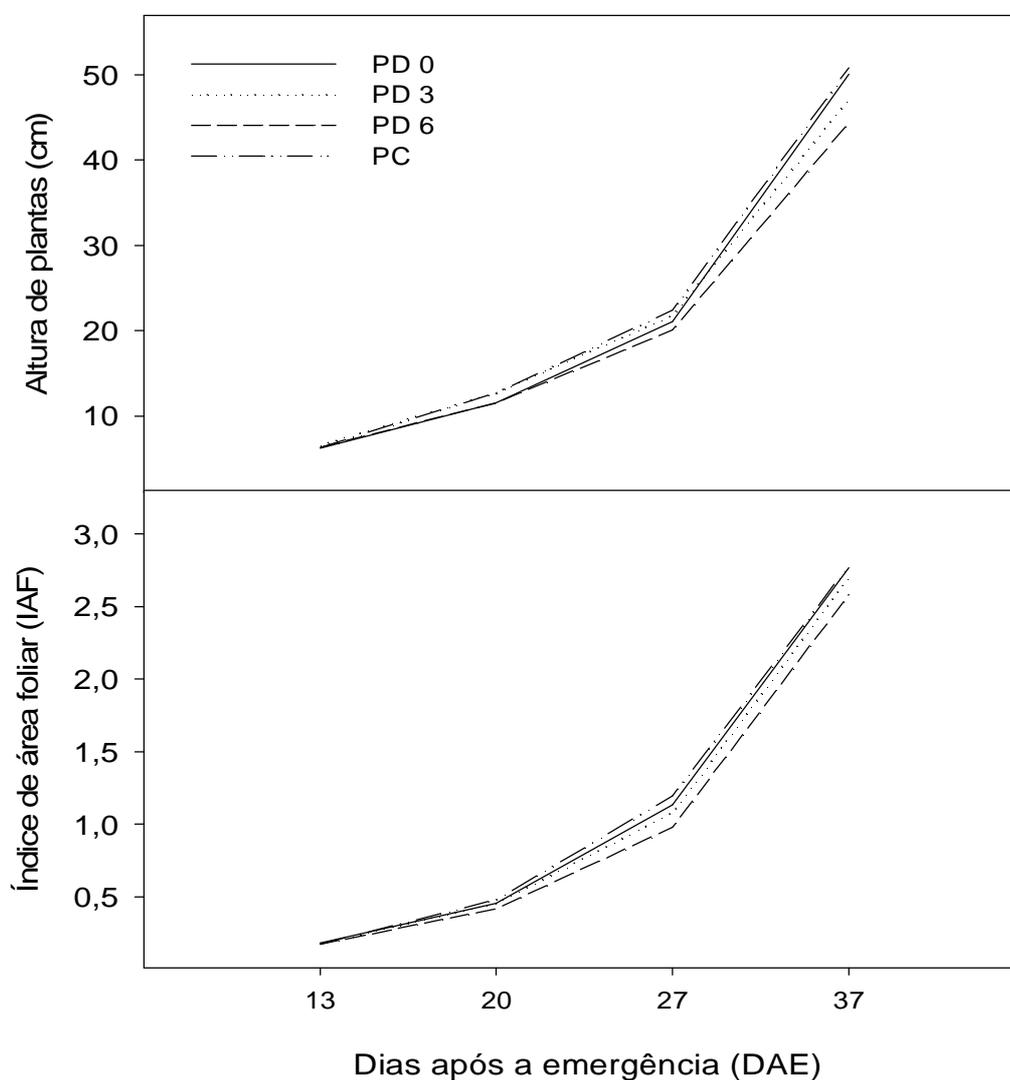


Figura 5 - Índice de área foliar e altura de plantas em plantio direto com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e preparo convencional, determinados dos 13 aos 37 DAE do milho. Santa Maria, 2008.

A altura de plantas e o índice de área foliar foram semelhantes para todos os tratamentos, tendo valores muito próximos durante todo o ciclo de crescimento estudado. Aos 37 DAE, o valor médio da altura de plantas e do índice de área foliar para todos os tratamentos foi de 48,09 cm e 2,70, respectivamente.

4.2 - Perdas de água por evaporação da camada superficial do solo.

4.2.1 - Primeiro ciclo de secagem do solo.

Este ciclo de secagem do solo teve início após uma chuva de 43,8 mm aos cinco DAE, prolongando-se até os 13 DAE quando se realizou uma irrigação de 32,4 mm na cultura. Durante estes oito dias a ETo acumulada (EToac) foi de 32,7 mm, apresentando uma média de 4,09 mm dia⁻¹. As plantas no final do período, aos 13 DAE, apresentavam um IAF médio entre os tratamentos de 0,17 e altura de plantas de 6,35 cm.

A variação da perda diária de água durante o primeiro ciclo de secagem do solo, para as camadas de 0 a 10 cm, 10 a 30 cm e 0 a 30 cm em função da EToac estão colocados na figura 6. A maior perda de água do solo ocorreu quando a EToac estava entre 6,0 e 10,0 mm para as três camadas avaliadas, correspondendo ao segundo e terceiro dia após o umedecimento do solo. A maior perda de água do solo somente no segundo ou no terceiro dia, deve-se principalmente à forma de determinação da água do solo. No primeiro dia a água perdida encontra-se praticamente em estado livre no solo, sendo que o processo de evaporação ocorre na sua taxa potencial, rente à superfície do solo, dependendo somente da energia da radiação solar incidente na superfície. Por integralizar o teor de umidade de toda a camada avaliada, neste caso de 0-10 cm e de 10-30 cm, as hastes dos sensores não são capazes de determinar com precisão toda a variação ocorrida na superfície do solo.

Na camada de 0 a 10 cm, a maior perda de água para o PC e para o PD0, ocorreu no segundo dia após a precipitação, com 6,48 mm de EToac, sendo a perda de 4,09 mm dia⁻¹ e 3,39 mm dia⁻¹ respectivamente. Nos tratamentos com presença de palha, a taxa máxima de perda de água ocorreu após 10,28 mm de EToac, com perdas de água de 2,25 mm dia⁻¹ e 1,20 mm dia⁻¹, para os tratamentos PD3 e PD6.

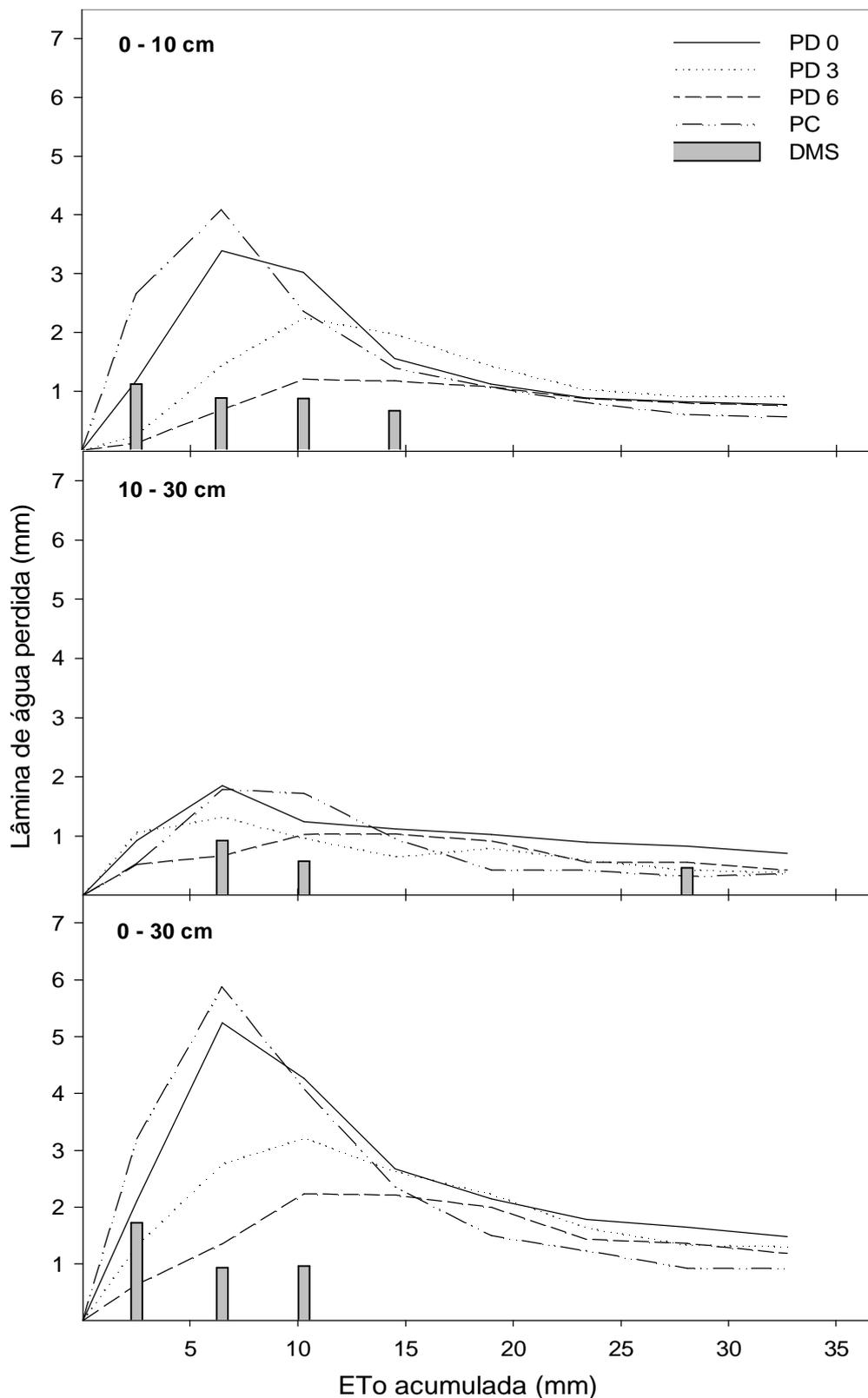


Figura 6 - Perda diária de água do solo para plantio direto com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo (05 à 13 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008.

A palha em cobertura, aliada ao teor elevado de umidade no solo, retardam o aquecimento do solo, necessário para favorecer as perdas de água por evaporação, conforme mostrado também por Gajri et al. (1994) em um experimento de milho em condições de solo e temperatura do ar similares.

Após a máxima perda de água diária para o PC e para o PD0, ocorre uma redução na taxa de perda de água nestes tratamentos, sendo que a partir de 10 mm de Etoac, as perdas no PC se tornam menores que no tratamento PD0. Isto também foi observado por Stone & Moreira (2000) e Dalmago (2004), que no PC, o preparo do solo interfere na continuidade dos poros, aumentando a porosidade e diminuindo a condutividade hidráulica não saturada. Com a rápida perda de água na camada superficial, ocorre a quebra da continuidade capilar não sendo possível a manutenção do fornecimento de água das camadas inferiores para a superfície para manter o processo de evaporação em sua taxa potencial. Desta forma a secagem da camada superficial forma uma barreira ao fluxo de água para a atmosfera reduzindo as perdas de água por evaporação (PHILLIPS, 1984; LEVIEN, 1999). Já no PD, a ausência de preparo do solo com revolvimento, mantém a estrutura do solo e aumenta sua capacidade de retenção de água. Esta manutenção da estrutura permite o aumento da condutividade hidráulica não saturada do solo, favorecendo o fluxo de água no perfil do solo para a manutenção do processo de evaporação, além do maior armazenamento de água no solo. Além da maior umidade do solo, a manutenção da evaporação por mais tempo no estágio um no PD, está relacionada com a presença de palha na superfície do solo, que impede o impacto direto das gotas de chuva no solo, evitando a formação do selamento superficial, como ocorre no PC (BARCELOS et al., 1999).

Na camada de 10 a 30 cm de profundidade, verifica-se que as perdas máximas de água do solo também ocorreram no segundo e no terceiro dia, no entanto com lâmina inferior à observada na camada superficial. O PC e PD0 foram os tratamentos que apresentaram as maiores taxas de perda de água do solo, semelhante ao que ocorreu na camada de 0 a 10 cm. Porém, após o terceiro dia de secagem do solo, não houve diferenças entre os tratamentos.

Analisando as perdas nos primeiros 30 cm do perfil do solo, pode-se observar que o comportamento da extração de água do solo é semelhante ao que ocorre na camada de 0 a 10 cm de profundidade. O PC e o PD0 são os tratamentos com as maiores taxas de perda de água do solo, principalmente até 14,5 mm de

EToac, ocorrendo nos primeiros três a quatro dias após o umedecimento do solo. O PC apresenta uma taxa de perda de água diária maior que os demais tratamentos no segundo dia de secagem do solo, chegando a um valor de 5,87 mm com 6,5 mm de EToac, semelhante ao que ocorre com o PD0. Para os tratamentos PD3 e PD6, a máxima taxa de extração de água do solo foi de 3,21 e 2,23 mm, com 10 mm de EToac.

Na figura 7 observa-se a perda de água diária acumulada, para as camadas do perfil do solo avaliadas, em função da EToac durante o primeiro ciclo de secagem do solo. Na camada de 0 a 10 cm de profundidade devido às taxas de extração de água do solo serem mais elevadas no início do ciclo de secagem, o tratamento PC, teve a maior perda acumulada durante o ciclo, com 13,56 mm, para uma EToac de 32,7 mm. Os tratamentos PD0, PD3 e PD6 apresentaram uma perda de água acumulada de 12,76, 10,22 e 6,69 mm, respectivamente. Para esta camada, a presença de 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície proporcionou uma redução nas perdas de água por evaporação de 24,6% e 19,9% em relação aos tratamentos PC e PD0, respectivamente. Com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha, a redução nas perdas de água foi de 50,7% e 47,6%, respectivamente. As perdas ocorridas nos tratamentos PD0 e PC foram semelhantes, não havendo diferença estatística significativa.

Para a camada de 0 a 30cm de profundidade, observa-se que as perdas acumuladas no PD0 ultrapassam as do PC a partir dos 28 mm de EToac, atingindo no final do ciclo 21,35 mm. A maior perda no tratamento PD0, deve-se às maiores perdas ocorridas na camada de 10 a 30 cm a partir de 10 mm de EToac principalmente pela ausência de cobertura na superfície do solo e a manutenção da continuidade dos poros do solo favorecendo o fluxo de água das camadas inferiores para a superfície do solo, mantendo o processo de evaporação. Nos tratamentos de PC, PD3 e PD6 as perdas acumuladas no final do ciclo foram de 20,09, 16,44 e 12,4 mm, respectivamente. Com a utilização de 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, a redução nas perdas de água dos primeiros 30 cm do perfil do solo, em relação aos tratamentos em PC e PD0, foi de 18,17% e 23%, respectivamente.

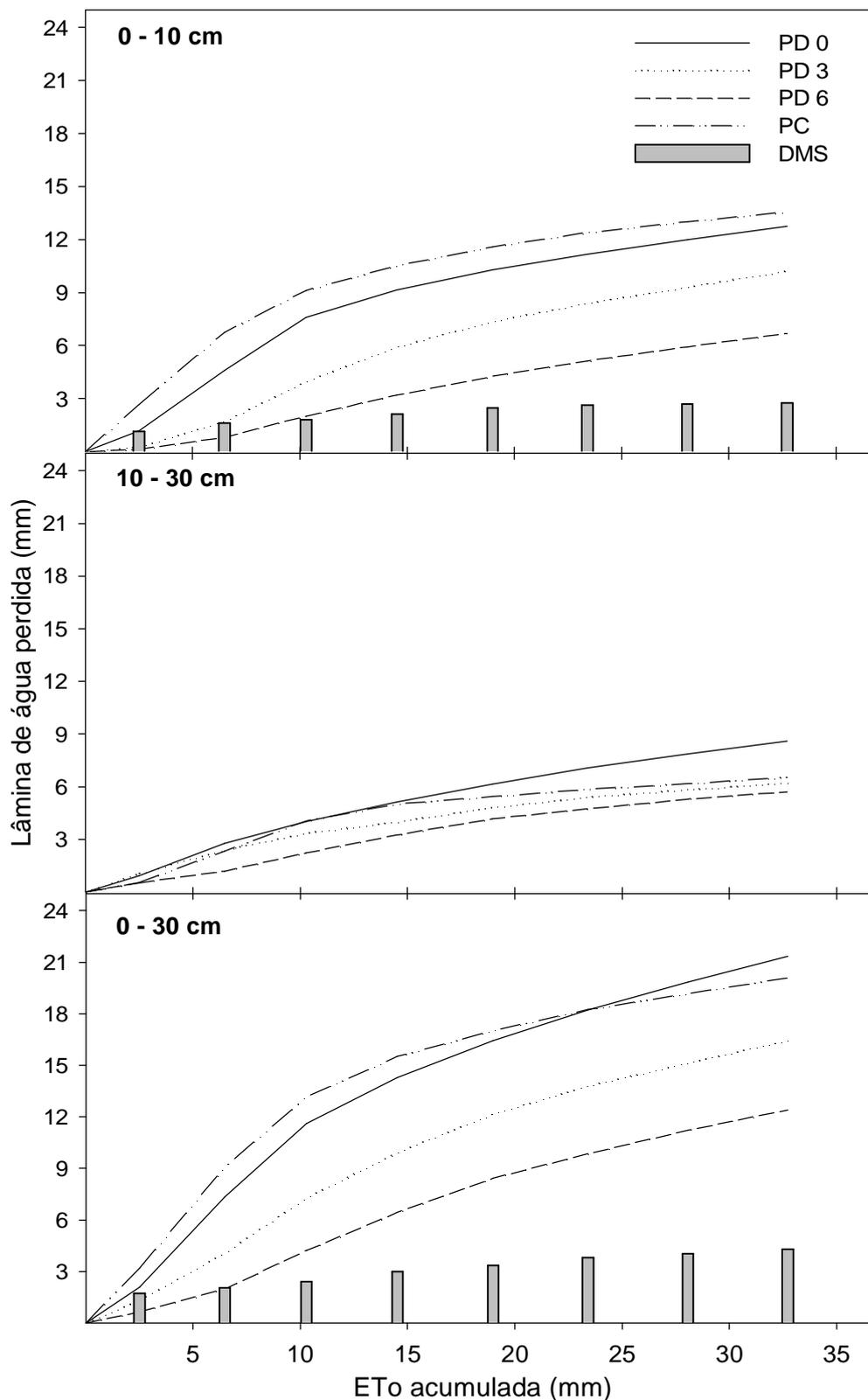


Figura 7 - Perda acumulada de água do solo para plantio direto com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo (05 à 13 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008.

Aumentando a quantidade de palha para $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ a redução foi de 38,28% e 41,92% respectivamente, concordando com resultados obtidos por Dalmago (2003) e Bragagnolo & Mielniczuk (1990), que demonstraram que a presença de palha na superfície do solo em PD promove uma redução na evaporação de até 30% em relação ao solo descoberto.

Nas figuras 8 e 9, são apresentadas as diferenças nas perdas de água do solo ocorridas durante o ciclo de secagem. Para todas as camadas avaliadas do perfil do solo, as maiores diferenças entre os tratamentos ocorreram com aproximadamente 10,0 mm de EToac. Na camada de 0 a 10 cm de profundidade, o tratamento PD6 é o que apresenta a maior diferença, ou seja, uma perda menor que no PC (7,33 mm), com 14,53 mm de EToac. A maior diferença entre o PC e o PD3 foi de 5,16 mm com 10,28 mm de EToac, diminuindo gradativamente para 3,33 mm no final do ciclo. Finalmente, a diferença entre o PC e o PD0 foi de 2,17 mm, com 6,48 mm de EToac.

Na camada de 10 a 30 cm de profundidade, as diferenças nas perdas de água nos tratamentos em sistema de PD em relação ao PC, foram inferiores às observadas para a camada superficial, porém, a diferença entre o PD0 e o PC nesta camada foi negativa a partir de 15,0 mm de EToac, evidenciando que esta camada teve uma maior participação na manutenção do fluxo de água para a camada superficial para atender o processo de evaporação.

Verificando as perdas na camada de 0 a 30 cm de profundidade, as diferenças entre os tratamentos na camada de 10 a 30 cm refletem no resultado final, de maneira que a maior perda de água nesta camada foi para o PD0 apresentando uma perda de 1,25 mm maior que o PC. Para o PD3 e o PD6 a máxima diferença foi de 5,85 e 9,08 mm, ocorrendo entre 10,0 e 14,0 mm de EToac, respectivamente. As perdas de água do solo em um determinado sistema de cultivo dependem de uma grande variedade de fatores, porém, no sistema de PD um dos fatores que mais influenciam nas perdas de água por evaporação nos estádios iniciais de desenvolvimento de uma cultura é a presença de palha na superfície do solo, a qual absorve o impacto da gota da chuva reduzindo o selamento superficial e aumentando a infiltração da água no solo (BARCELOS et al., 1999), além da reflexão da energia radiante, diminuindo as perdas por evaporação (BAVER et al., 1972).

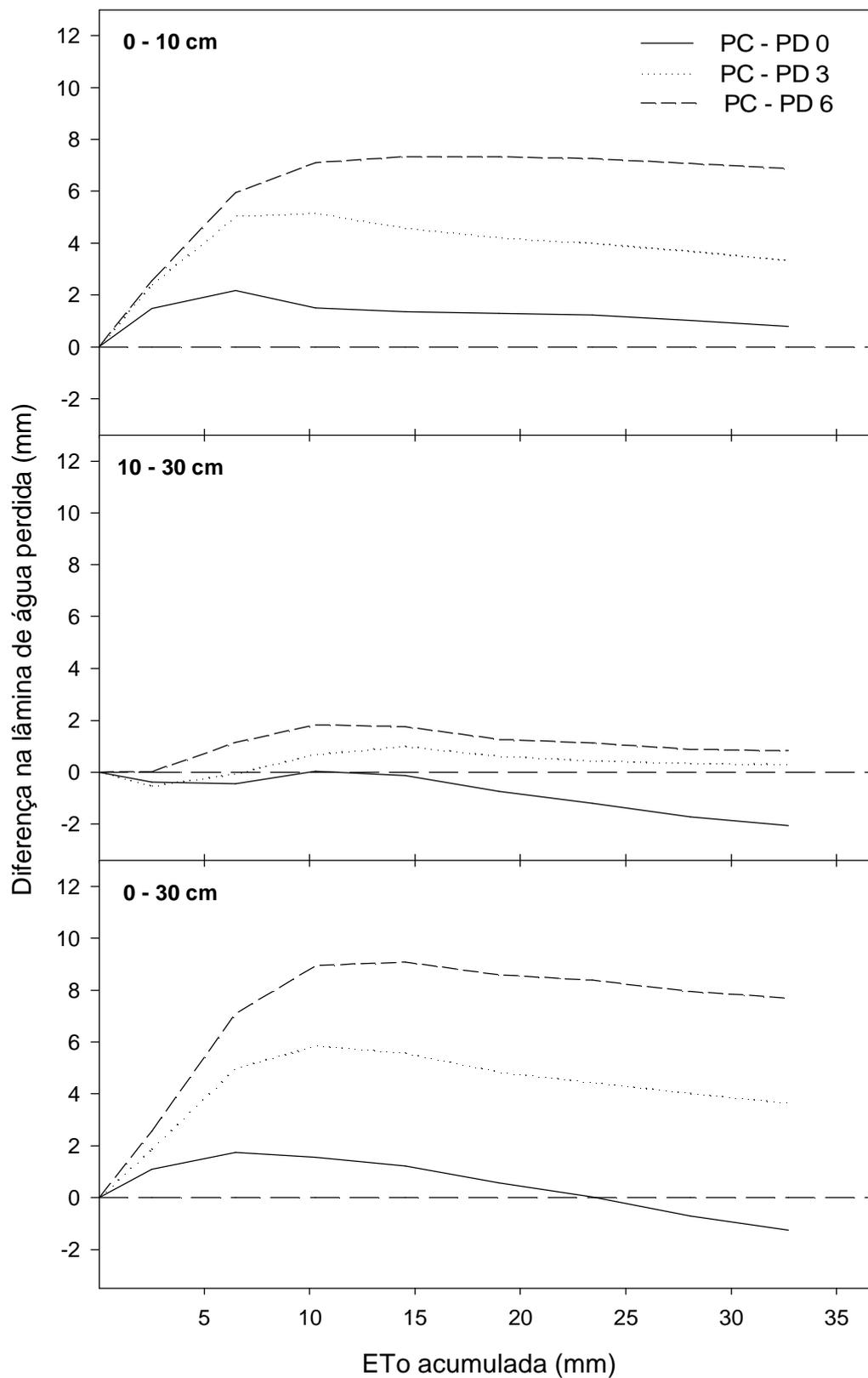


Figura 8 - Diferença acumulada das perdas de água ocorridas em plantio direto com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo (dos 05 aos 13 DAE). Santa Maria, 2008.

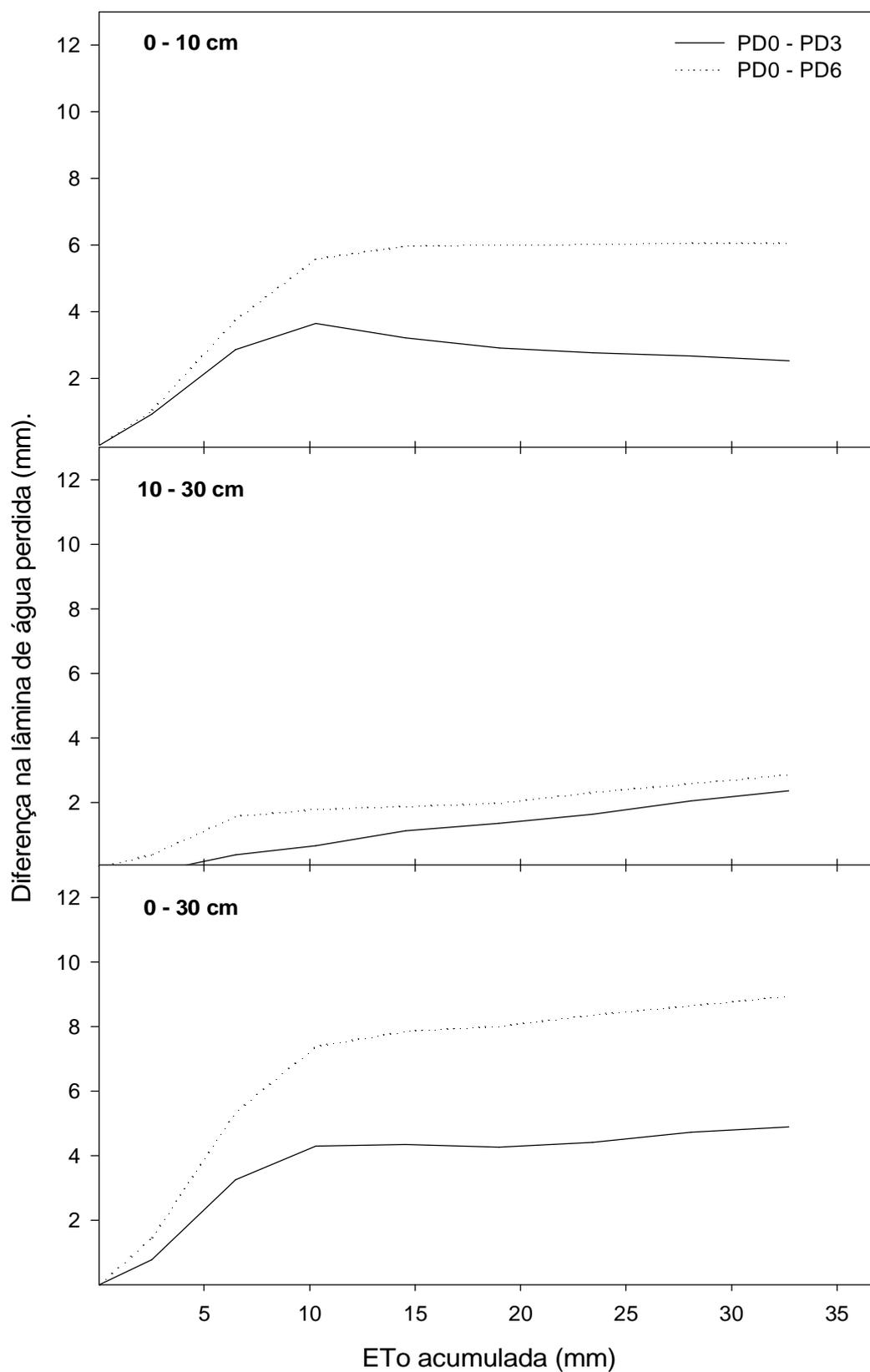


Figura 9 - Diferença acumulada das perdas de água ocorridas em plantio direto com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao tratamento sem palha, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo (dos 05 aos 13 DAE). Santa Maria, 2008.

Dessa forma, pode-se observar as diferenças nas perdas de água do solo nos tratamentos com 3,0 e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha, em relação às perdas no tratamento em PD0, sem cobertura.

Na camada de 0 a 10 cm de profundidade a maior diferença nas perdas de água ocorreu entre o PD6 e o PD0, aproximadamente 6,0 mm a partir de 15,0 mm de EToac. A diferença entre o PD0 e o PD3 foram menores, 3,64 mm aos 10,0 mm de EToac, diminuindo para 2,54 mm no final do ciclo. Isso se deve ao fato de que as maiores taxas de perda de água no PD3 ocorrem depois do PD0.

4.2.2 - Segundo ciclo de secagem do solo

Este ciclo de secagem do solo teve duração de cinco dias, iniciando aos 18 DAE e encerrando aos 24 DAE quando houve uma precipitação de 22,8 mm. A EToac foi de 19,22 mm, média de 3,84 mm dia⁻¹. Aos 20 DAE as plantas apresentavam um IAF médio de 0,45 e altura média de plantas de 12,13 cm, para todos os tratamentos.

Na camada de 0 a 10 cm de profundidade, as perdas de água desta camada no quarto dia após início do ciclo de secagem foram semelhantes entre os quatro tratamentos (Figura 10). Para os demais dias houve diferença significativa entre os tratamentos. A maior perda foi de 4,06 mm para o tratamento PC, ocorrida no segundo dia do ciclo quando a EToac era de 4,54 mm. Já no PD0, a máxima taxa de perda de água foi de 3,35 mm, no terceiro dia após o umedecimento do solo, quando a EToac era de 8,90 mm. Estas taxas de perda de água foram semelhantes às observadas no início do primeiro ciclo de secagem do solo, porém com EToac menor.

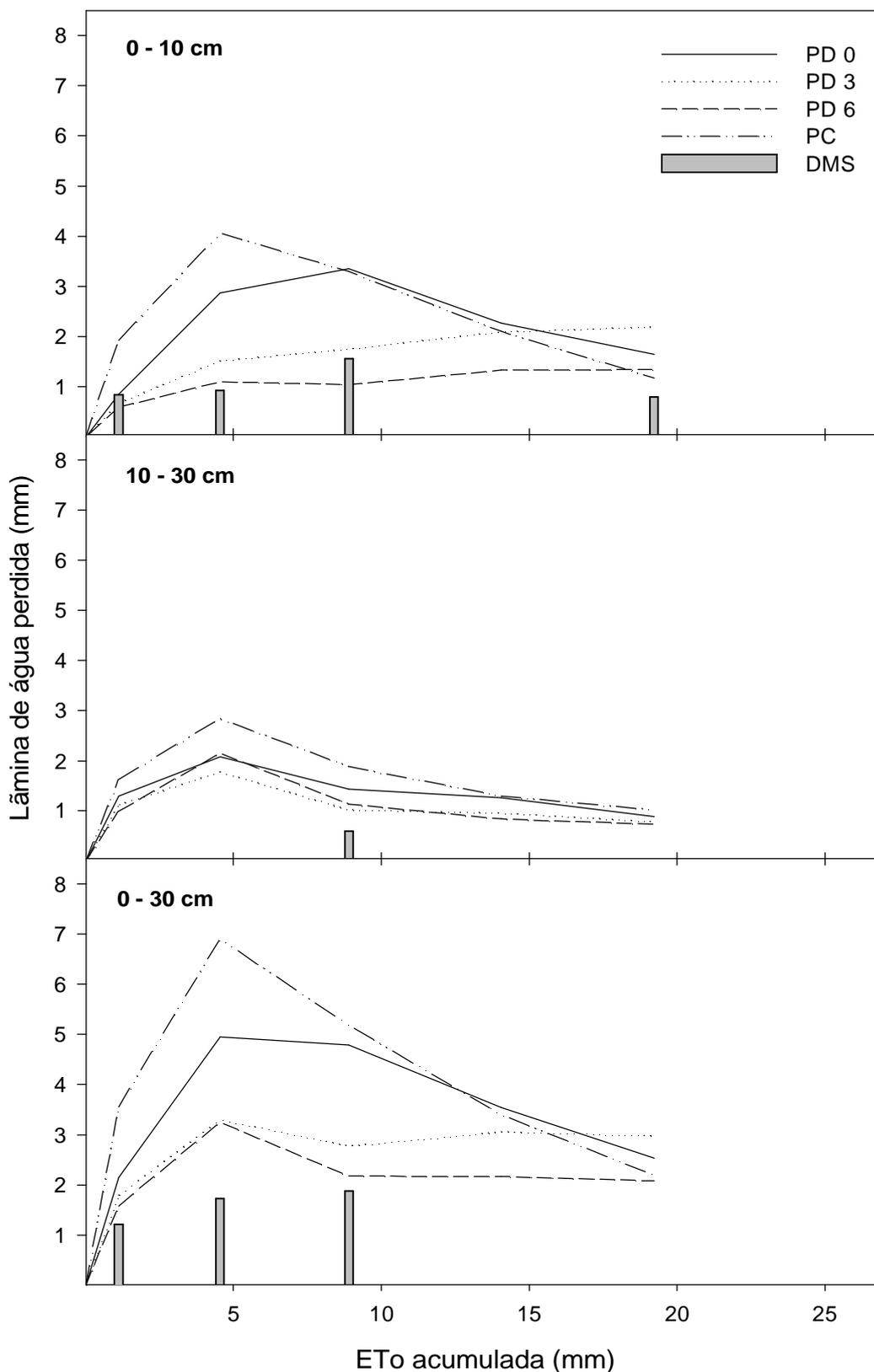


Figura 10 - Perda diária de água do solo para plantio direto com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no segundo ciclo de secagem do solo (18 à 23 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008.

Para a camada de 10 a 30 cm de profundidade, somente no terceiro dia após o início do ciclo de secagem houve diferença significativa entre os tratamentos. A extração de água nesta camada apresenta valores mais elevados quando comparados com a mesma camada no primeiro ciclo, principalmente para o tratamento em PC, provavelmente pela redução na disponibilidade de água na camada superficial deste tratamento fazendo com que as plantas aprofundassem o seu sistema radicular para atender a demanda hídrica da cultura. Este comportamento também foi observado por Dalmago (2004) e por Michelon et al. (2007).

Avaliando a perda de água ocorrida na camada de 0 a 30 cm de profundidade, verifica-se que a diferença das perdas entre os tratamentos foi significativa no primeiro, segundo e terceiro dia depois do início da secagem do solo. Elevadas taxas de extração de água do solo nesta camada são resultado da maior extração ocorrida na camada de 10 a 30 cm de profundidade.

As perdas de água do solo, acumuladas durante o ciclo apresentaram diferença estatística entre os tratamentos, na camada de 0 a 10 cm de profundidade. A maior perda acumulada foi observada para o tratamento PC com 12,56 mm quando a EToac era de 19,22 mm, não diferindo do PD0 que apresentou uma perda total no final do ciclo de 10,99 mm. Nos tratamentos de PD3 e PD6 a perda de água acumulada no final do ciclo foi de 8,24 e 5,40 mm, respectivamente. A redução nas perdas de água com a utilização de 3,0 e 6,0 Mg ha⁻¹ em relação ao tratamento em PC foi de 34,4 e 57%, respectivamente e, em relação ao PD0, esta redução foi de 25,02 e 50,86%.

Na camada de 10 a 30 cm de profundidade, foram observadas diferenças entre os tratamentos quando a EToac era de 14,0 e 19,22 mm. A extração total no final do ciclo nesta camada foi de 8,67, 6,96, 5,67 e 5,84 mm para os tratamentos PC, PD0, PD3 e PD6, respectivamente.

No final do período de secagem do solo, a perda total de água na camada de 0 a 30 cm de profundidade, foi maior para o tratamento em PC (21,23 mm). Entre os tratamentos em PD, as maiores perdas foram observadas no PD0 (17,95 mm), seguido pelo PD3 (13,92 mm) e pelo PD6 (11,25 mm). A extração de água nesta camada apresentou diferença estatística entre os tratamentos em todos os dias de avaliação da umidade do solo.

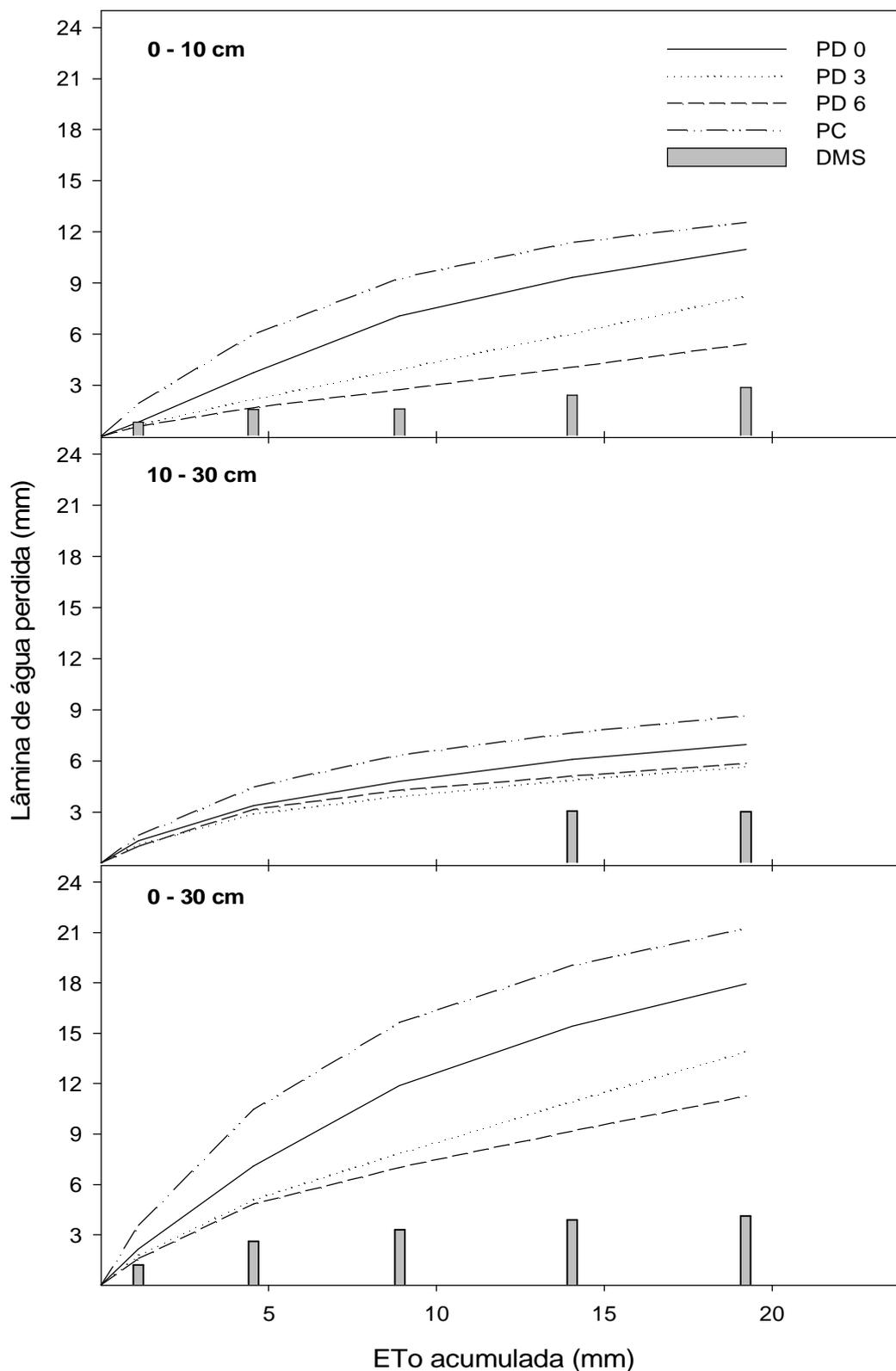


Figura 11 - Perda acumulada de água do solo para plantio direto com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no segundo ciclo de secagem do solo (18 à 23 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008.

A diferença entre a extração de água do solo ocorrida nos tratamentos conduzidos sob semeadura direta, no segundo ciclo de secagem do solo, em relação àquela ocorrida no preparo convencional, está exposta na figura 12. Neste ciclo, avaliando-se a camada de 0 a 10 cm de profundidade, as maiores diferenças são observadas para o PD6 atingindo 7,15 mm quando a EToac era de 19,22 mm. A diferença entre o PC e o PD3 atingiu um valor máximo de 5,33 mm com EToac entre 8,0 e 14,0 mm. Já para o PD0, as diferenças observadas em relação ao PC tiveram os menores valores, 2,26 mm, com 4,5 mm de EToac. Tanto no PD0 quanto no PD3, a diminuição das diferenças em relação ao PC, foi relacionada com a redução das perdas diárias de água do solo a partir dos 9,0 mm de EToac passando a ser inferior às taxas observadas nos demais tratamentos.

Na camada de 10-30 cm as diferenças entre os tratamentos em PD em relação ao PC mostraram que as perdas de água no PC foram maiores que os demais tratamentos, porém, a magnitude destas diferenças foi semelhante entre os tratamentos em PD, principalmente naqueles com cobertura de palha em superfície. A presença de palha em superfície é um dos fatores que mais influenciam na redução das perdas de água e esta afirmação é justificada quando se analisa as diferenças na extração de água do solo. Na camada de 0-30 cm, a utilização de 3,0 e 6,0 Mg ha de palha em superfície, resultou em uma diferença em relação ao PC de 7,3 e 10,0 mm a menos de perda de água respectivamente, quando a EToac era de 19,22 mm.

Comparando as diferenças entre os tratamentos sob PD, exposto na figura 13, verificou-se que a quantidade de palha na superfície do solo é o fator que mais interfere nas perdas de água, principalmente na camada superficial, onde o processo de evaporação se dá com maior intensidade. Na camada de 0 a 10 cm de profundidade, a maior diferença é observada entre o PD6 e o PD0 (5,58 mm), pela maior quantidade de palha na superfície do solo, o que diminui as perdas de água do solo. Na comparação do PD3 com o PD0, as diferenças observadas foram menores, atingindo o valor máximo de 3,3 mm, quando a EToac era de 14,0 mm. Na camada de 10 a 30 cm de profundidade, a diferença nas perdas diárias de água entre os tratamentos PD3 e PD6 em relação ao PD0 foram semelhantes, ficando próxima de 1,0 mm. No somatório das duas camadas do perfil do solo avaliado, o comportamento das diferenças entre os tratamentos foi semelhante ao observado na camada superficial, em função da pequena influência da camada de 10 a 30 cm.

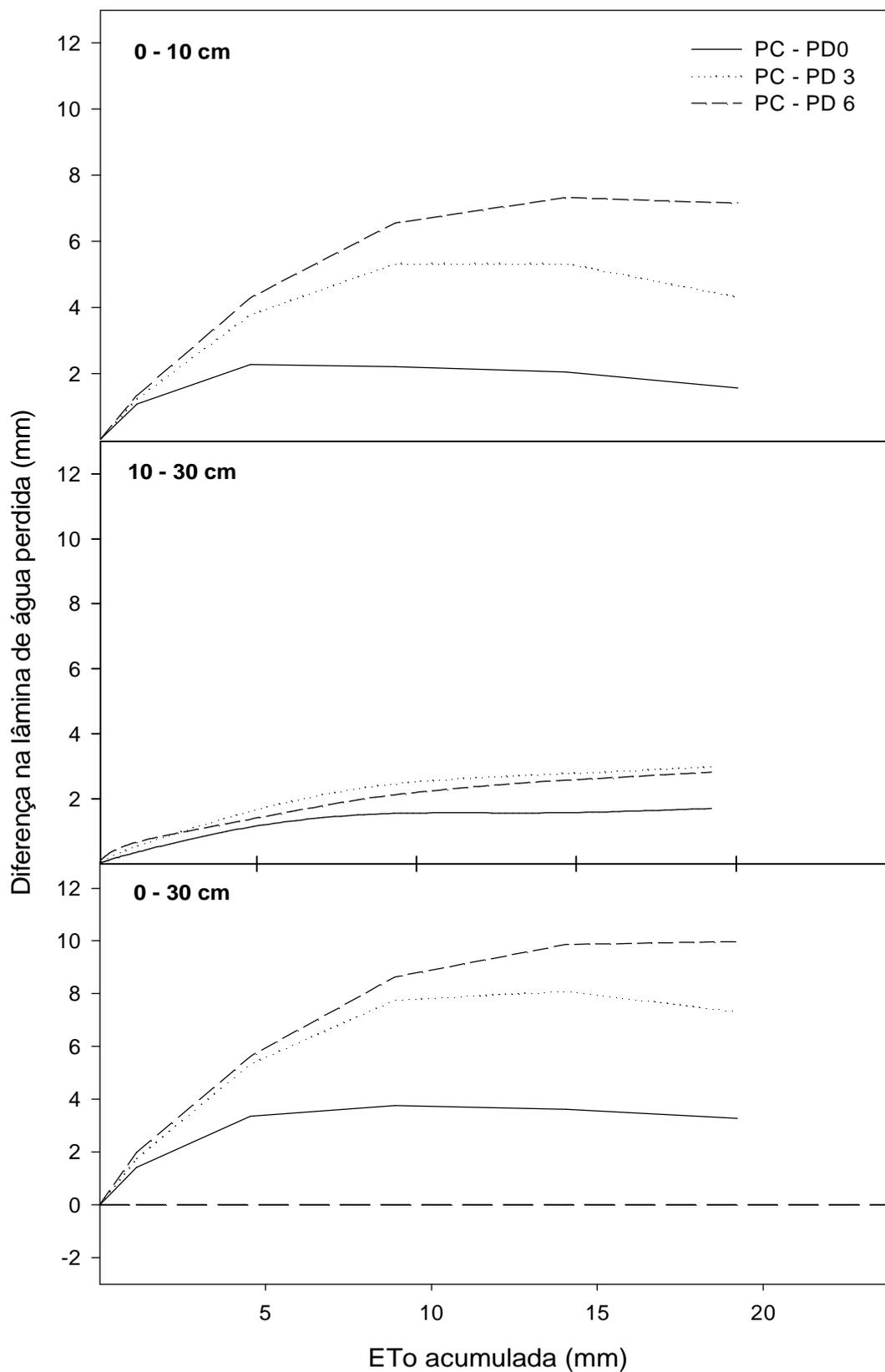


Figura 12 - Diferença acumulada das perdas de água ocorridas em plantio direto com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no segundo ciclo de secagem do solo (dos 18 aos 23 DAE). Santa Maria, 2008.

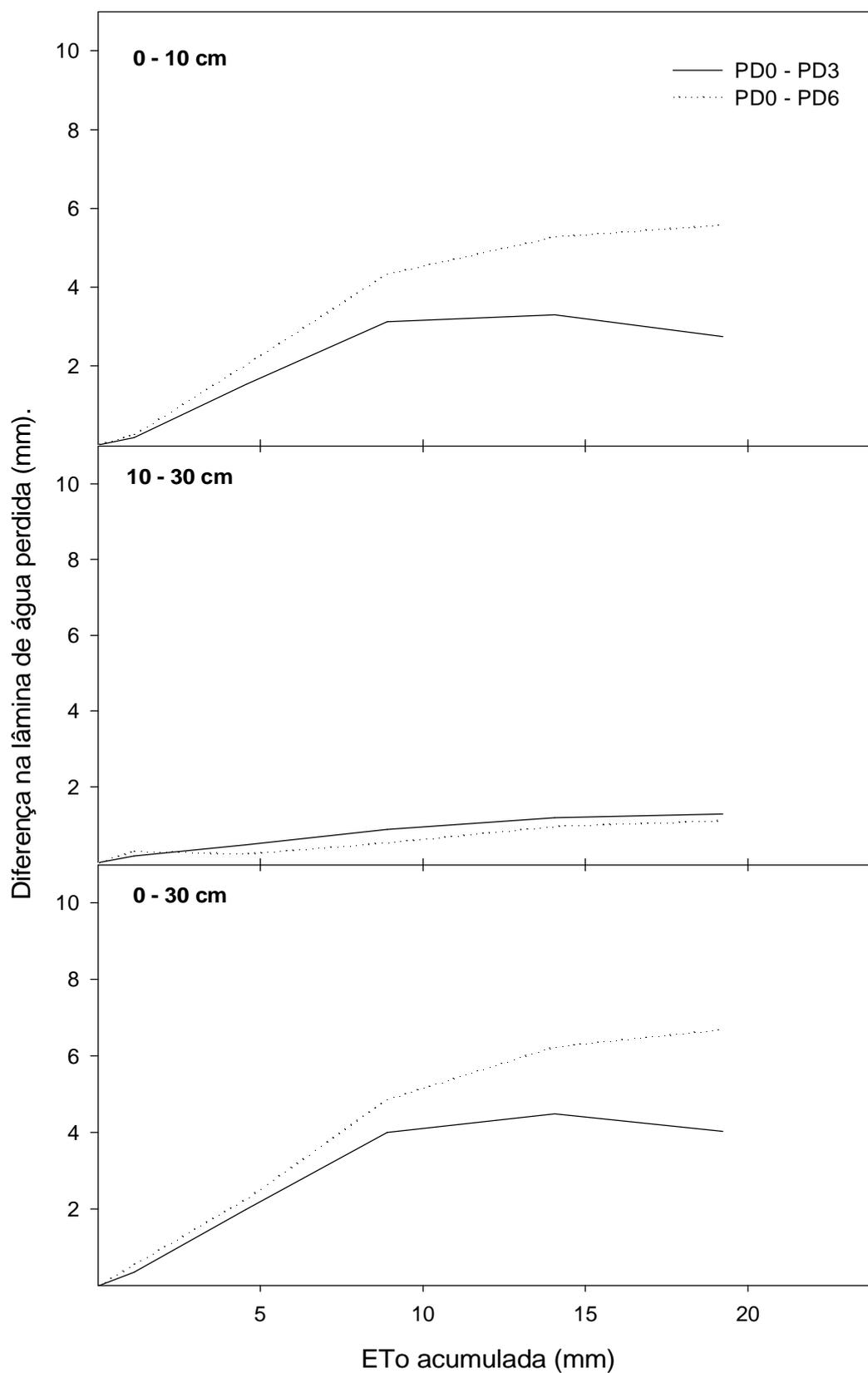


Figura 13 - Diferença acumulada das perdas de água ocorridas em plantio direto com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao tratamento sem palha, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no segundo ciclo de secagem do solo (dos 18 aos 23 DAE). Santa Maria, 2008.

4.2.3 - Terceiro ciclo de secagem do solo

Este ciclo de secagem do solo teve a duração de sete dias, iniciando aos 24 DAE da cultura após precipitação pluvial de 22,8 mm e mais 5,2 mm aos 25 DAE, encerrando aos 31 DAE. A EToac durante este período foi de 26,45 mm, média de 3,78 mm por dia. Aos 27 DAE, o IAF e a altura de plantas, média para os tratamentos, foi de 1,09 e 21,33 cm, respectivamente.

A perda diária de água do solo neste ciclo de secagem (Figura 14), para a camada de 0 a 10 cm, os tratamentos em sistema de PD apresentaram sua taxa máxima com 4,0 mm a mais de ETo acumulada em relação ao PC, em virtude da ocorrência de uma precipitação de 5,2 mm no primeiro dia do ciclo. Mesmo com esta precipitação, o PC apresentou a máxima taxa de extração de água com 6,33 mm de EToac, com valor igual a 3,77 mm. O valor máximo para o PD0 foi de 3,65 mm com 10,34 mm de EToac. Nos tratamentos PD3 e PD6 houve um pequeno aumento nas taxas de extração a partir dos 17,0 mm de EToac, devido ao aumento na insolação e na radiação solar diária, aumentando a demanda atmosférica, tendo o PD3 as maiores taxas de perda de água. Essa mudança nas condições meteorológicas influenciou principalmente a extração de água do solo na camada de 10 a 30 cm de profundidade, onde houve um aumento na perda de água desta camada em todos os tratamentos, porém, sem diferença estatística significativa.

Quanto as perdas ocorridas de 0 a 30 cm de profundidade, observa-se que as maiores taxas de extração de água ocorrem nos tratamentos PC e PD0 com EToac entre 6,0 e 13,0 mm. Já para o PD3 as maiores taxas de perda de água foram verificadas a partir dos 13,0 mm de EToac.

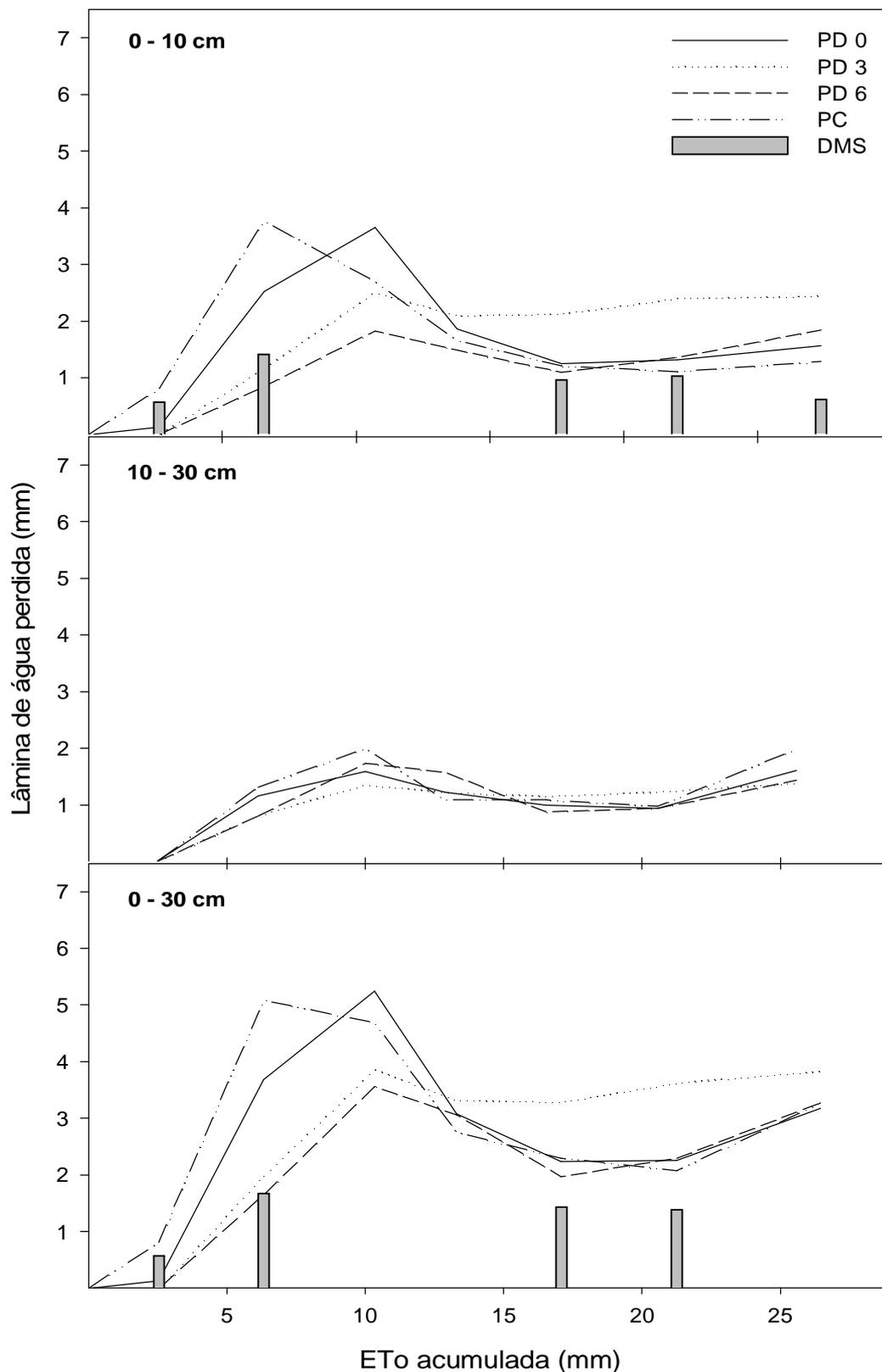


Figura 14 - Perda diária de água do solo para plantio direto com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no terceiro ciclo de secagem do solo (24 à 31 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008.

Na figura 15 são apresentadas as perdas acumuladas de água do solo. Na camada de 0 a 10 cm os tratamentos apresentaram diferenças significativas em todos os dias do ciclo de secagem do solo. Nesta camada, no tratamento PD3 observa-se uma extração acumulada no final do ciclo maior que os demais tratamentos. Este fato deve-se às maiores taxas de extração diária de água do solo ocorridas na camada superficial depois dos 13,0 mm de EToac. O PD6 foi o tratamento que proporcionou a menor perda acumulada neste período, chegando ao final do ciclo com uma perda total na camada de 0-10 cm de 8,45 mm, em média 32% a menos que os demais tratamentos. Na camada de 10-30 cm a extração acumulada em todos os tratamentos não apresentou diferença estatística, com uma perda acumulada variando de 7,0 a 8,5 mm, quando a EToac era de 26,45 mm.

Visualizando as perdas em todo o perfil analisado, observa-se diferenças estatísticas entre os tratamentos somente após 13,0 mm de EToac. Ao final do ciclo de secagem do solo, o tratamento PC apresentou a maior perda acumulada de água, 20,98 mm. O PD3 teve um acréscimo nas perdas acumuladas a partir dos 13,0 mm de EToac, como visto na camada superficial, chegando ao final do ciclo com uma perda acumulada de 20,89 mm, semelhante ao tratamento PD0. A menor perda acumulada foi observada no tratamento PD6, 15,81 mm, representando uma economia de água de aproximadamente 25% em relação ao tratamento PC e de 20% em relação aos demais tratamentos. Essa economia na extração da água do solo mostra que mesmo com o desenvolvimento mais avançado das plantas neste ciclo, o dossel vegetativo da cultura não estava totalmente fechado e desta forma o processo de evaporação tem grande participação nas perdas de água do solo e, que a maior quantidade de palha na superfície já com certo grau de decomposição ainda permite a redução das perdas de água por evaporação. Já no tratamento PD3 a menor quantidade de palha e a decomposição afetam sua eficiência na redução da evaporação, pela redução na percentagem de cobertura do solo.

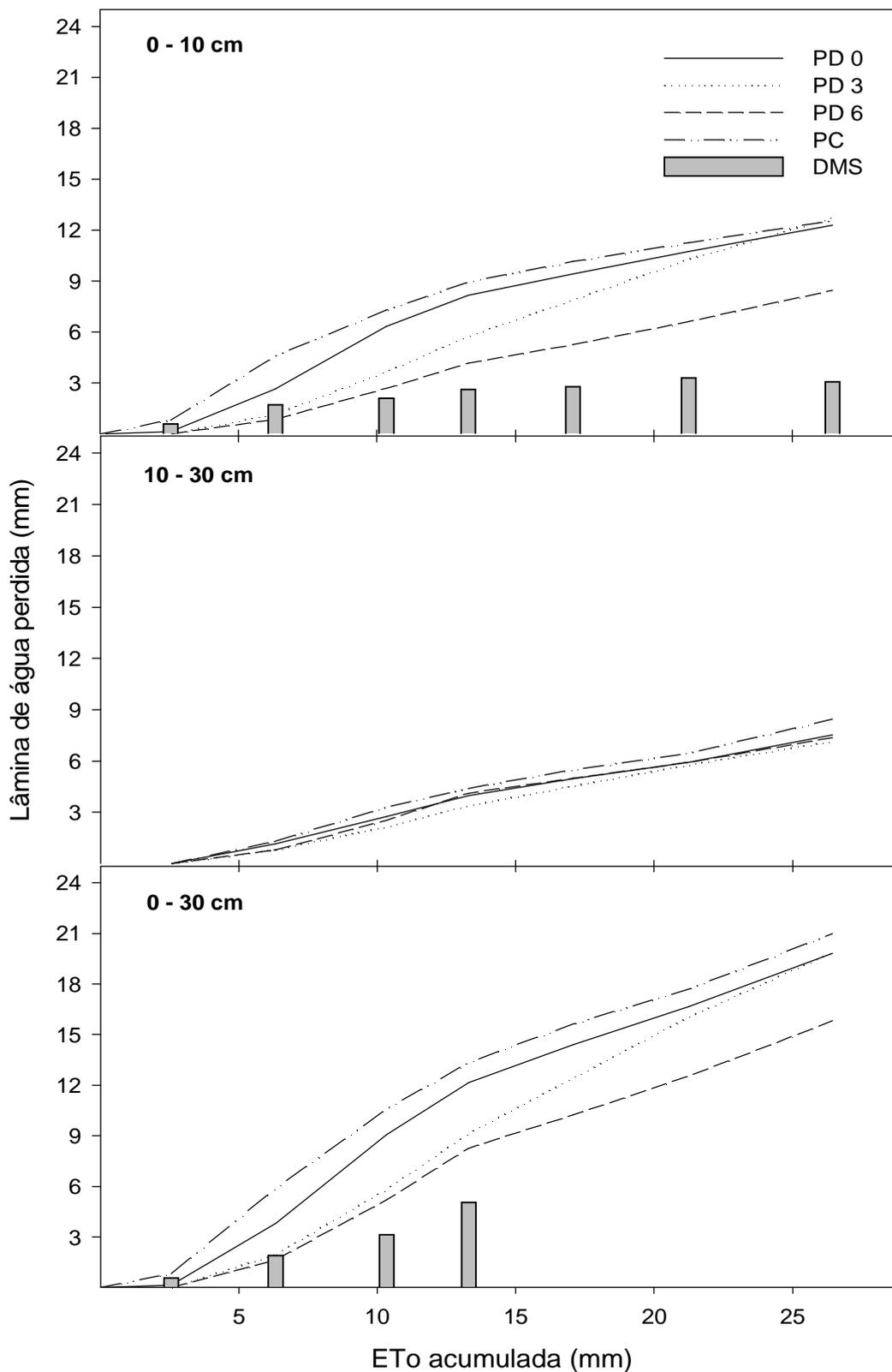


Figura 15 - Perda acumulada de água do solo para plantio direto com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no terceiro ciclo de secagem do solo (24 à 31 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008.

A figura 16 mostra as diferenças na perda de água do solo, nas camadas de 0 a 10 cm, 10 a 30 cm e 0 a 30 cm de profundidade, entre os tratamentos em semeadura direta em relação ao tratamento em preparo convencional. Na camada de 0 a 10 cm de profundidade a maior diferença observada foi entre o PD6 e o PC atingindo valores superiores a 4,0 mm quando a EToac era de 10,0 mm. A maior diferença entre o PD3 e o PC foi de 3,61 mm com a mesma ETo acumulada do PD6, reduzindo gradativamente no decorrer do ciclo de secagem, ultrapassando as perdas no PC. O PD0 apresentou pequenas diferenças em relação ao PC, sendo a maior de 1,92 mm observada com 6,33 mm de EToac. Na camada de 10 a 30 cm de profundidade, pouca diferença nas perdas de água entre os tratamentos foi observada, ficando esta próxima a 1,0 mm durante todo o ciclo.

Na comparação das diferenças entre os tratamentos em plantio direto com e sem palha na superfície, apresentado na figura 17, observa-se que na camada de 0 a 10 cm foi onde ocorreram as maiores diferenças, principalmente para o PD3 em que no início do ciclo de secagem do solo, a palha tem um efeito redutor nas perdas de água, mas com o decorrer do ciclo a maior disponibilidade de água no PD3, permite a manutenção do processo de extração de água do solo em taxas mais elevadas, reduzindo as diferenças e até ultrapassando as perdas do PD0. No PD6 a extração de água do solo foi sempre inferior ao PD0, evidenciado pelos valores positivos, sendo o máximo valor para a camada superficial, de 4,15 mm com EToac de 17,0 mm.

Conforme mostrado por Dalmago et al. (2004a) e por outros autores, (WAGNER-RIDDIE et al., 1996), a palha perde o seu poder refletor da radiação a cerca de 30 a 35 dias, após o corte, aumentando a disponibilidade de energia na superfície do solo em PD, ficando muito semelhante aos sistemas sem a presença de palha em superfície. Desta forma favorece o processo de evaporação, por apresentar maior disponibilidade de água rente a superfície do solo. Dalmago et al. (2004a) também verificou que a redução na reflectância da palha, provoca alterações na dinâmica térmica do solo ao longo do tempo, através do fluxo de calor no solo e da temperatura deste.

Na camada de 10 a 30 cm de profundidade, as diferenças entre os tratamentos foram pouco expressivas, não chegando a 0,5 mm durante o ciclo. Devido a isso, as diferenças observadas na camada de 0 a 30 cm pouco diferem das observadas na camada mais superficial.

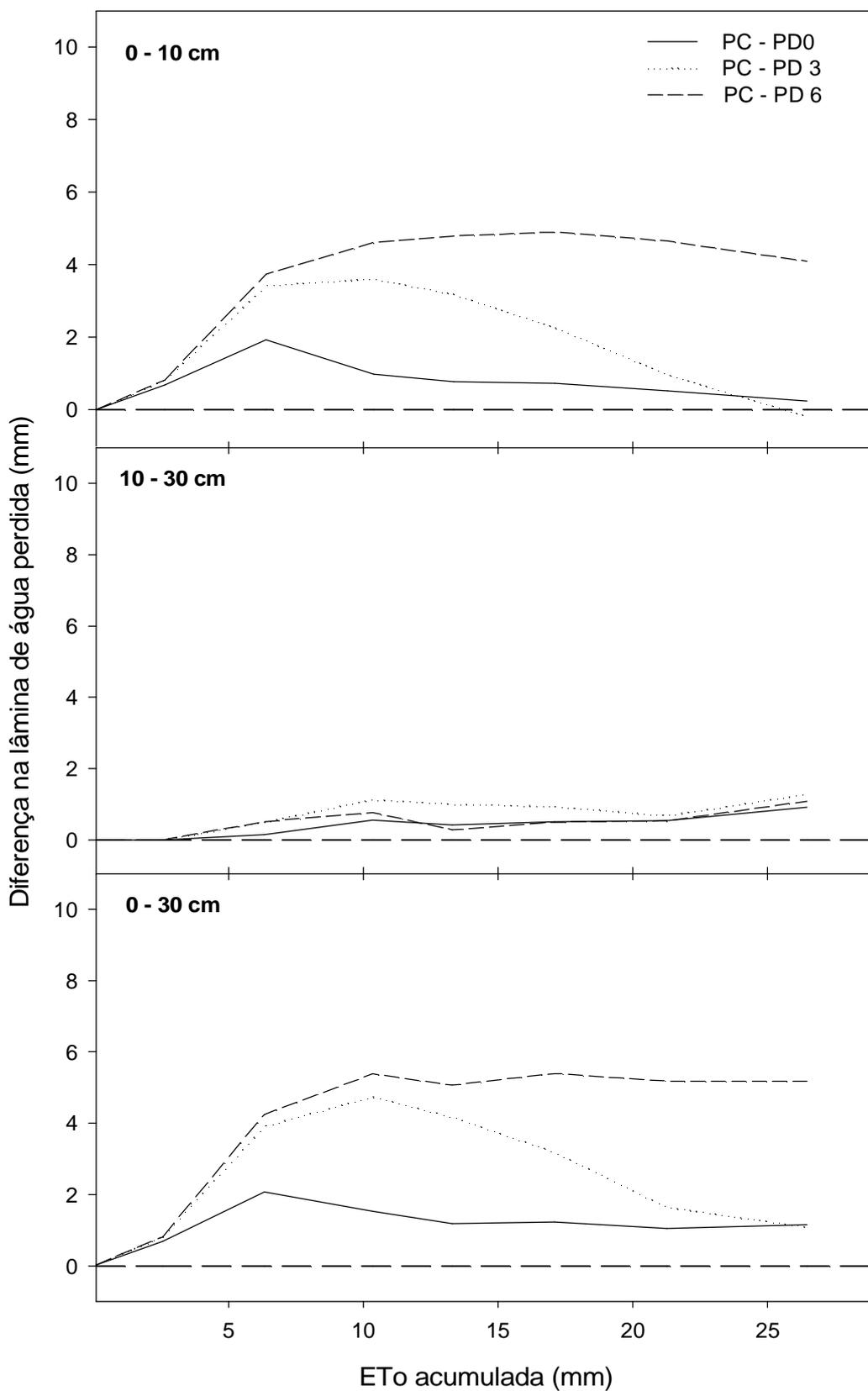


Figura 16 - Diferença acumulada das perdas de água ocorridas em plantio direto com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no terceiro ciclo de secagem do solo (dos 24 aos 31 DAE). Santa Maria, 2008.

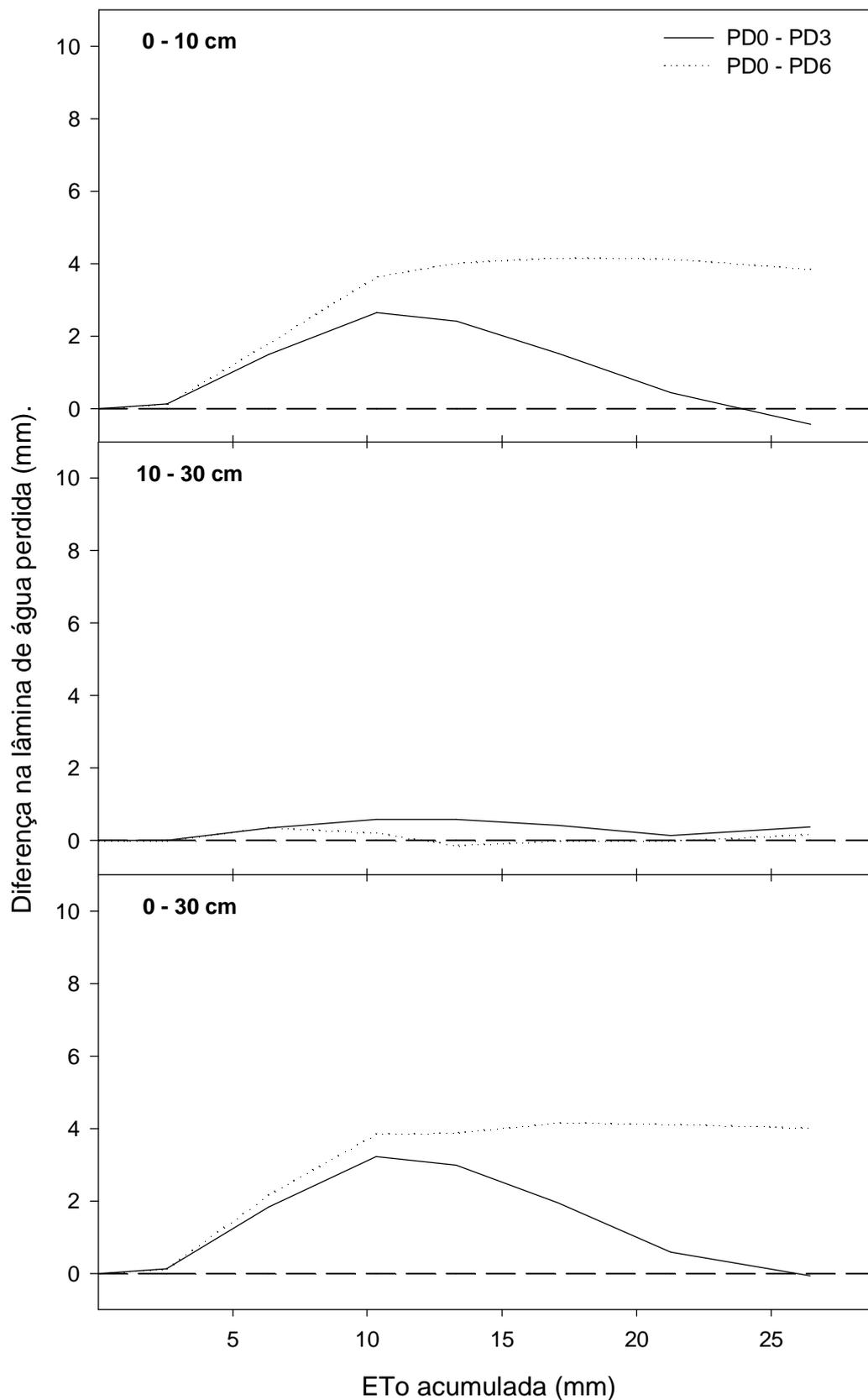


Figura 17 - Diferença acumulada das perdas de água ocorridas em plantio direto com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao tratamento sem palha, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no terceiro ciclo de secagem do solo (dos 24 aos 31 DAE). Santa Maria, 2008.

4.2.4 - Quarto ciclo de secagem do solo

Este último ciclo de secagem do solo ocorreu entre 32 e 38 DAE, com duração de seis dias, apresentando uma EToac de 30,96 mm, média de 5,16 mm por dia. O início do ciclo se deu após uma irrigação de 33,0 mm, finalizando quando da ocorrência de novas precipitações pluviais aos 38 DAE. Aos 37 DAE as plantas apresentavam um IAF médio entre os tratamentos de 2,71 e altura média de plantas de 48,0 cm.

Neste ciclo as diferenças entre os tratamentos nas perdas de água são pouco expressivas, principalmente entre o PC, PD0 e PD3 em que a intensidade das perdas foi semelhante entre eles durante o ciclo (Figura 18). Na camada de 0 a 10 cm de profundidade, apesar de não haver diferença significativa entre os tratamentos, o tratamento PC apresentou taxas de perda de água do solo diária menores que os tratamentos PD0 e PD3 a partir de 11,0 mm de EToac, e, após 16,0 mm de EToac, perda de água no PC foi inferior ao PD6. Os valores máximos de extração diária de água do solo na camada de 0 a 30 cm de profundidade, foram observados no segundo dia após o início do ciclo de secagem do solo, após 11,21 mm de EToac, para todos os tratamentos.

Neste ciclo de secagem as plantas apresentavam um desenvolvimento de área foliar avançado, provocando sombreamento nas entrelinhas de cultivo. Com o fechamento das entrelinhas de cultivo pelas folhas das plantas, aumenta-se a interceptação da radiação solar (BERGAMASCHI et al., 2004), desfavorecendo o processo de evaporação da água do solo. A partir deste estágio de desenvolvimento da cultura, a fração da transpiração das plantas assume maior importância no consumo de água do cultivo. Desta forma, o processo de evaporação da água do solo é reduzido, diminuindo a influência da quantidade de palha nas perdas de água (ANDRADE et al., 2007).

Os resultados das perdas de água acumuladas nas três camadas estudadas durante o quarto ciclo de secagem do solo, relacionados com a EToac estão demonstrados na figura 19.

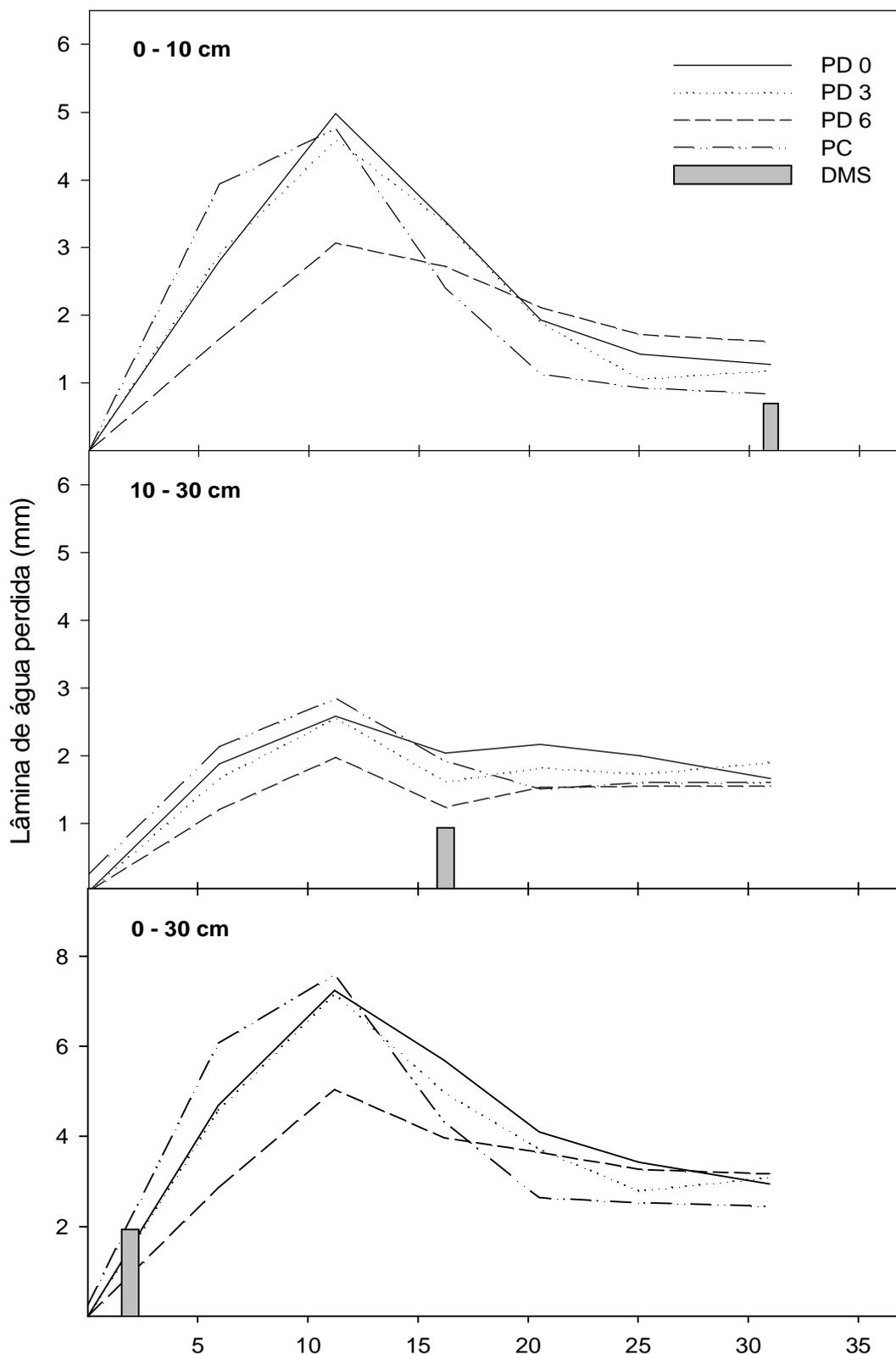


Figura 18 - Perda diária de água do solo para plantio direto com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no quarto ciclo de secagem do solo (32 à 37 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008.

Na camada superficial, de 0 a 10 cm de profundidade, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas quanto às perdas acumuladas para todos os dias do ciclo, confirmando que após o fechamento das entrelinhas pelo dossel da cultura, o processo transpiratório da planta é o fator que mais influencia na redução da umidade do solo. Mesmo sem diferenças significativas, verifica-se que pelo menor armazenamento de água no PC, as perdas acumuladas no final do período para este tratamento foram inferiores aos tratamentos PD0 e PD3, os quais acumularam uma perda total de 15,81 mm e 15,02 mm, respectivamente, enquanto que o PC e o PD6 uma extração acumulada de água de 13,99 mm e 12,88 mm respectivamente.

Na camada de 10 a 30 cm de profundidade, as diferenças entre os tratamentos são verificadas a partir do terceiro dia do ciclo. O tratamento PD0 foi o que apresentou a maior perda acumulada no final do ciclo, com 12,26 mm, superando às ocorridas no PC, que foram de 11,86 mm. O tratamento de PD6 apresentou a menor perda acumulada no final do ciclo, com 9,05 mm, decorrente provavelmente da maior disponibilidade de água na camada superficial fazendo com que as plantas concentrassem seu sistema radicular nesta camada e menos em profundidade. Resultados similares sobre o padrão de extração de água em função da distribuição do sistema radicular das plantas também foram observados por Mello Ivo & Mielniczuk (1999) e por Dalmago (2004).

Verificando-se todo o perfil estudado, os tratamentos somente apresentaram diferença significativa com 5,93, 11,21 e 16,19 mm de EToac. A maior perda de água do solo foi observada no tratamento PD0, com 28,07 mm quando a EToac era de 30,96 mm, seguido do PD3 e do PC, que apresentaram uma perda de água acumulada de 26,32 e 25,86 mm, respectivamente.

O efeito da palha na redução da evaporação é mais significativo quando grandes quantidades são adicionadas à superfície e com boa uniformidade de distribuição. Nestas condições, maior será a camada de isolamento, aumentando também o espaço, através do qual, o vapor d'água deverá ser transportado por difusão, o que é um processo de transporte mais lento que a advecção, que ocorre sobre a palha (DALMAGO, 2004). Esta afirmação justifica a menor perda acumulada de água no PD6 em relação aos demais tratamentos, 21,93 mm no final do ciclo de secagem do solo, 22,0 % menor que o tratamento PD0.

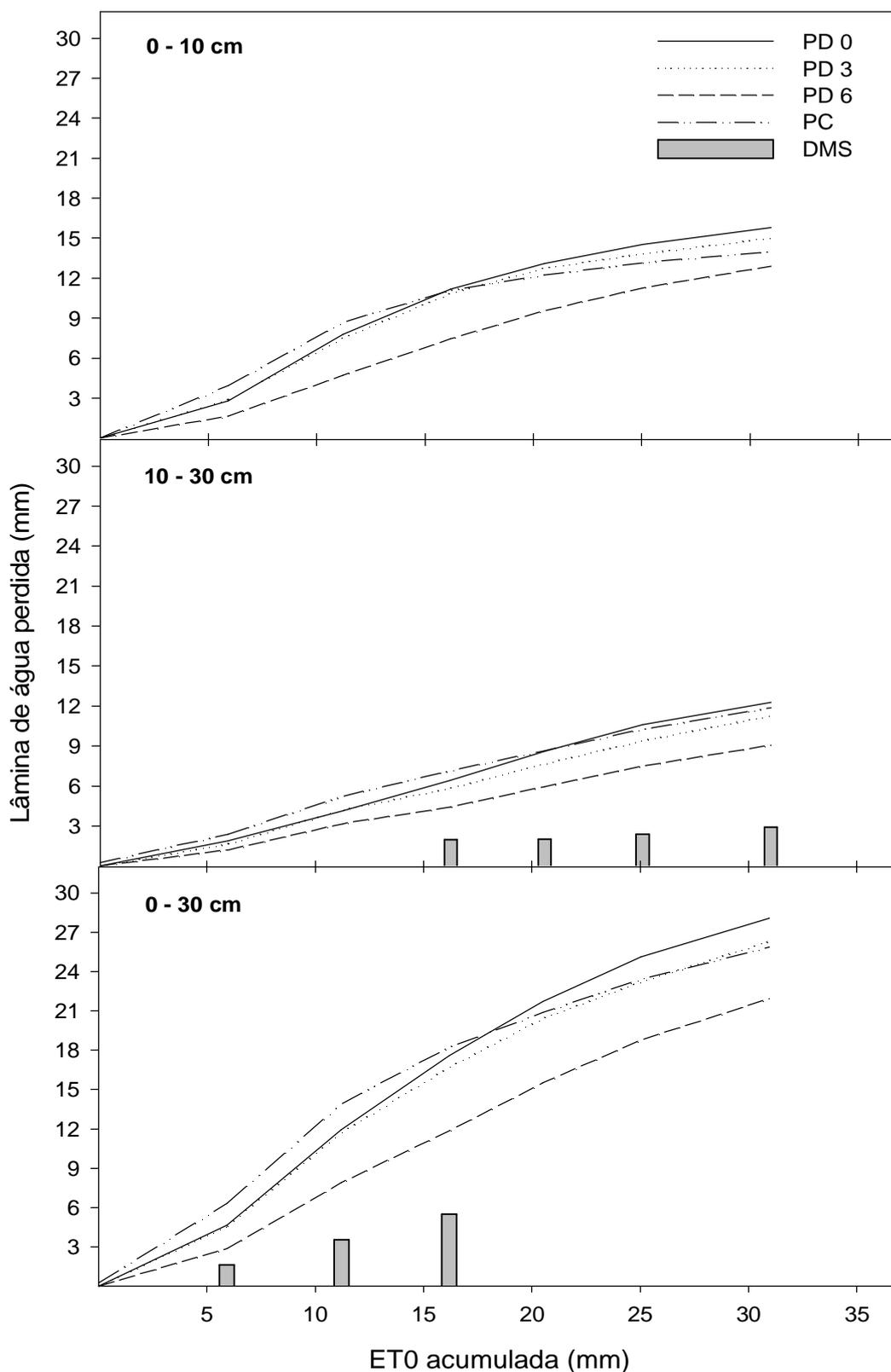


Figura 19 - Perda acumulada de água do solo para plantio direto com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo e; preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no quarto ciclo de secagem do solo (32 à 37 DAE). As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos para cada dia do ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008.

As diferenças entre as perdas de água do solo nos tratamentos em PD em relação às aquelas do PC e a diferença entre os tratamentos em PD com cobertura de palha e o PD0 durante o ciclo de secagem, pode ser visualizada nas figuras 20 e 21.

Com os resultados apresentados na figura 20, observa-se que a maior diferença na extração de água entre os tratamentos em PD e o PC, ocorreu entre 11,0 e 16,0 mm de EToac, diminuindo gradativamente até o final do período. Na camada superficial, a perda ocorrida nos tratamentos em PD0 e PD3 superaram a perda no PC a partir dos 16,0 mm de EToac, como visto nos valores negativos das diferenças. Já na camada de 10 a 30 cm de profundidade, as diferenças entre os tratamentos foram bastante reduzidas, principalmente para o PD0 e PD3, onde a extração da água do solo foi muito próxima à do PC.

De 0 a 30 cm de profundidade, o comportamento das diferenças segue o mesmo padrão apresentado na camada superficial. O PD6 foi o tratamento em que se observou a maior diferença nas perdas de água do solo em relação ao PC, apresentando uma diferença máxima de 6,38 mm quando a EToac era de 16,19 mm. Os tratamentos PD0 e PD3 tiveram perdas menores que o plantio convencional até os 16,19 mm de EToac acumulada onde, deste ponto em diante, houve inversão do comportamento inicial, chegando ao final do ciclo com extração superior ao PC.

Na figura 21, estão as diferenças nas perdas de água apresentada pelos tratamentos com 3,0 e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície em relação às perdas apresentadas pelo tratamento em semeadura direta sem palha na superfície. A presença de 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo permitiu uma redução na extração de água nas duas camadas avaliadas, apresentando uma diferença de 3,73 mm na camada de 0 a 10 cm de profundidade. Na camada de 10 a 30 cm as diferenças aumentaram até o final do ciclo, onde o valor foi de 3,21 mm de extração a menos que o PD0.

A decomposição do material orgânico usado como cobertura do solo pode explicar o fato de que as diferenças entre o PD3 e o PD0 foram pequenas neste ciclo, ficando próximas de 1,0 mm nas duas camadas avaliadas. No somatório das diferenças nas duas camadas do perfil, de 0 a 30 cm de profundidade, a máxima diferença observada entre o PD6 e PD3 em relação ao PD0 foi de 6,36 e de 1,89 mm, respectivamente, com 25,0 mm de EToac.

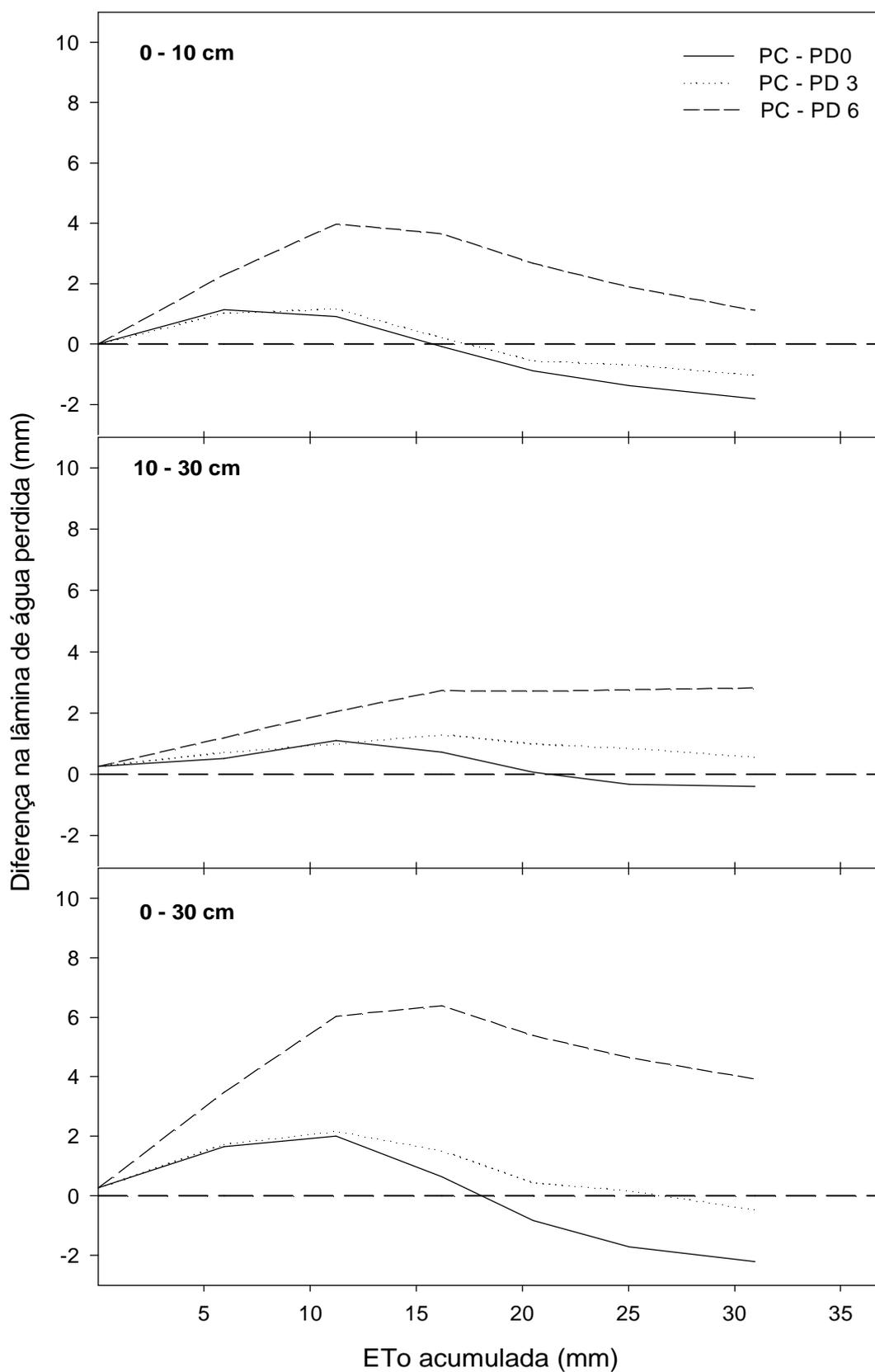


Figura 20 - Diferença acumulada das perdas de água ocorridas em plantio direto com 0, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao preparo convencional, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no quarto ciclo de secagem do solo (dos 32 aos 37 DAE). Santa Maria, 2008.

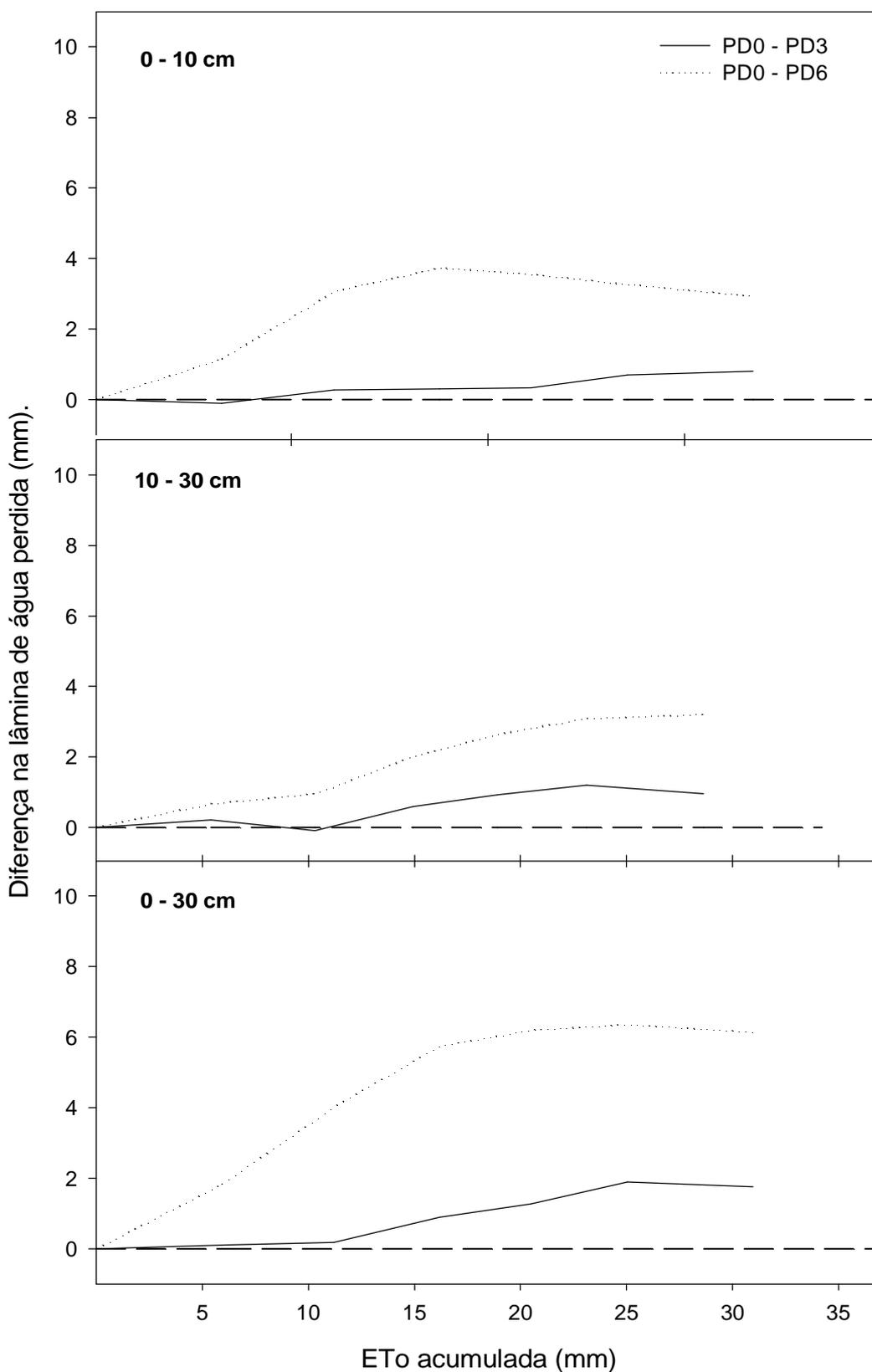


Figura 21 - Diferença acumulada das perdas de água ocorridas em plantio direto com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo em relação ao tratamento sem palha, determinada nas camadas de 0-10 cm, 10-30 cm e de 0-30 cm, no quarto ciclo de secagem do solo (dos 32 aos 37 DAE). Santa Maria, 2008.

4.3 - Coeficiente de evaporação e coeficiente de redução da evaporação da água do solo

Nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, o consumo de água pelo cultivo se dá principalmente pela evaporação direta da água do solo, tendo o K_e , grande participação na evapotranspiração da cultura. Dessa forma, os maiores valores de K_e são observados logo após o umedecimento do solo com irrigação ou chuva.

Na figura 22, são apresentados os valores de K_e , determinados durante o primeiro ciclo de secagem do solo, dos 05 aos 13 DAE, onde a participação da transpiração das plantas é mínima no consumo de água, sendo este dependente basicamente da evaporação da água do solo. Nesta figura observa-se as diferenças entre os sistemas de cultivo utilizados. Os tratamentos com PC e PD0 apresentam os valores mais elevados de K_e , chegando a 1,32 e 1,17, respectivamente. Estes elevados valores devem-se à ausência de cobertura sobre a superfície do solo e a maior disponibilidade de água prontamente evaporável no início do ciclo de secagem.

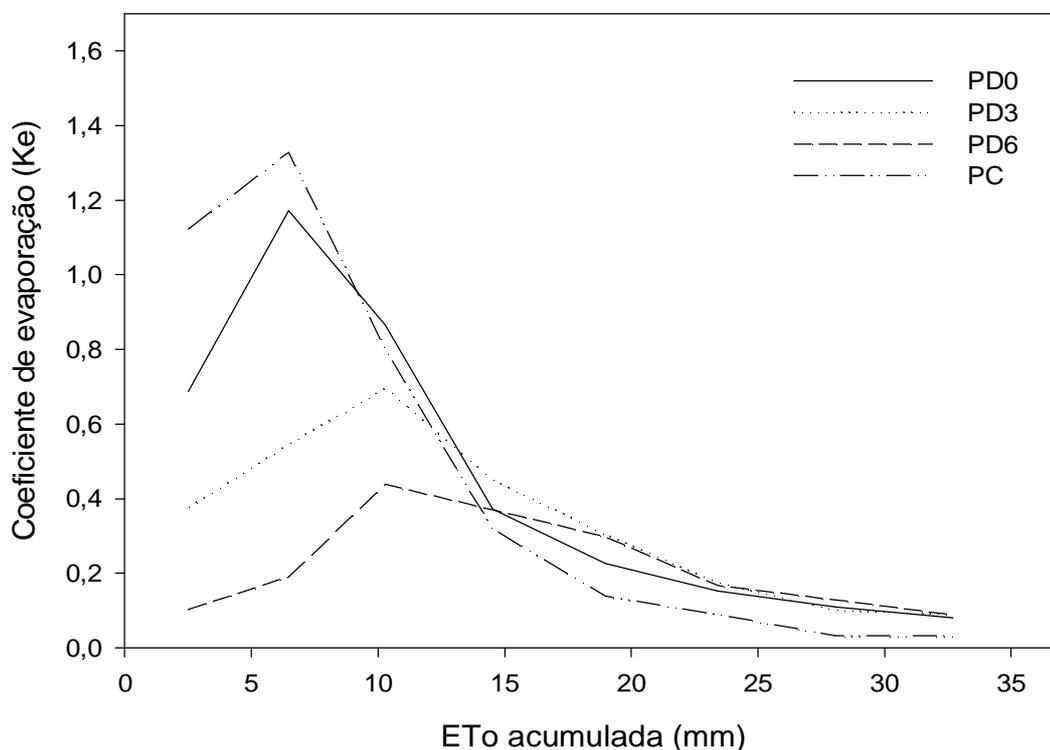


Figura 22 - Coeficiente de evaporação da água do solo (K_e), para os quatro tratamentos estudados em função da ETo acumulada, no primeiro ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008.

Com a presença de palha em superfície, a exemplo do que ocorre nos tratamentos PD3 e PD6, o máximo valor de K_e foi reduzido para aproximadamente 50% comparados com os tratamentos sem palha na superfície (PC e PD0) atingindo valores de 0,70 e 0,44, respectivamente, quando ET_{0ac} era de 10,0 mm. No entanto, após o máximo valor de K_e nos tratamentos de PC e de PD0, o rápido ressecamento da camada superficial do solo restringe as perdas de água por evaporação, provocando uma acentuada redução nos valores de K_e , os quais passam a ser inferiores aos verificados para o PD3 e para o PD6, após 15,0 mm de ET_0 acumulada.

A metodologia do coeficiente dual de cultivo, mostra a determinação deste coeficiente para cultivo em solo desnudo, porém, o comportamento deste coeficiente durante o período de secagem do solo é influenciado pelo sistema de manejo do solo utilizado, principalmente pela manutenção da palhada de culturas anteriores na superfície do solo, como é o caso da maioria das áreas cultivadas no sul do Brasil.

No primeiro ciclo de secagem do solo, APE e ATE foram determinadas para a camada de 0-30 cm de profundidade, assumindo-se que a evaporação afeta toda a camada. O valor de APE obtido, em função do teor de argila médio da camada, 12,75%, foi de 9,02 mm, utilizando-se este valor para todos os tratamentos. Os valores de ATE variaram em função do sistema de cultivo, principalmente devido ao aumento na macroporosidade ocorrida no tratamento PC, consequentemente diminuindo a retenção de água no solo, ficando esta prontamente disponível para a evaporação.

Os resultados do K_r determinado durante o primeiro ciclo de secagem do solo, para os quatro tratamentos estudados são apresentados na figura 23. Os tratamentos de PC e PD0 apresentaram uma rápida redução no coeficiente de redução da evaporação da água do solo, após 6,5 mm de ET_{0ac} . O menor valor de K_r no final do ciclo de secagem, 0,47, foi observado para o tratamento PD0. Como visualizado nos resultados de perda diária de água do solo no primeiro ciclo de secagem, as taxas de perda de água nestes tratamentos foram muito elevadas, retirando rapidamente a água da superfície do solo. Assim a evaporação passa rapidamente do primeiro estágio, onde depende somente das condições meteorológicas, para o segundo estágio onde depende além da demanda atmosférica, das condições físico-hídricas do solo para a manutenção do processo de evaporação (VENTURA, 2006).

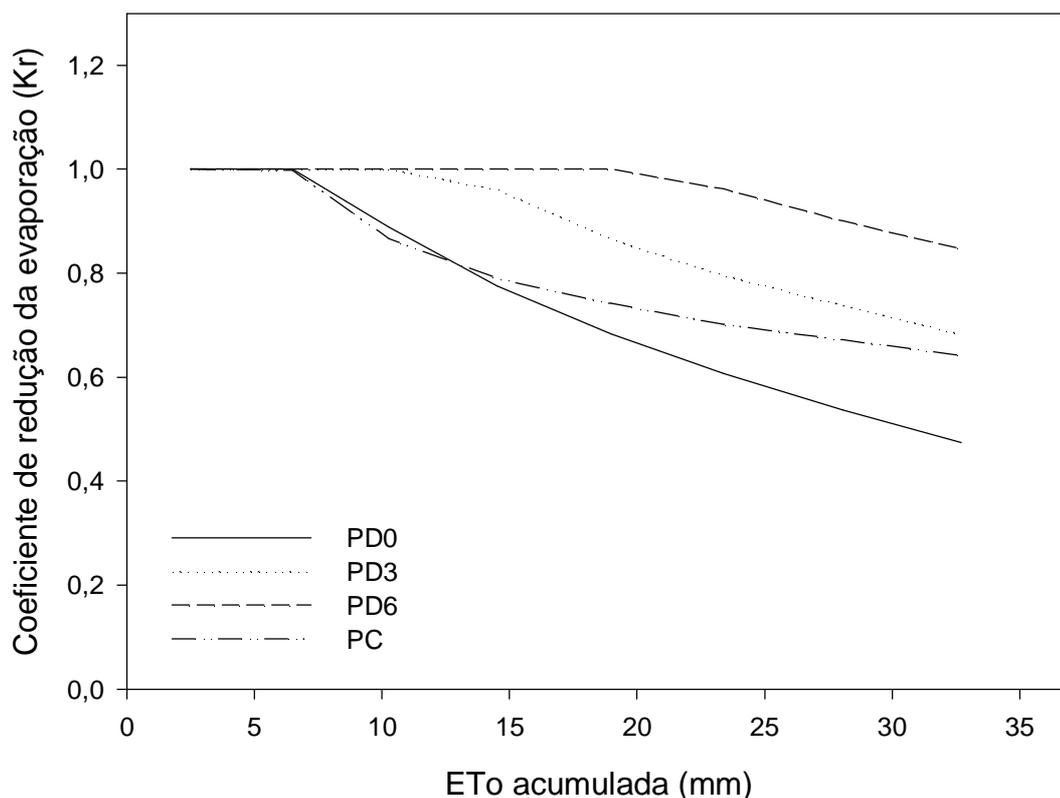


Figura 23 - Coeficiente de redução da evaporação da água do solo (K_r), para os quatro tratamentos estudados em função da ETo acumulada, no primeiro ciclo de secagem do solo. Santa Maria, 2008.

A evaporação observada no tratamento PD6 foi mantida por um período maior de tempo no primeiro estágio da evaporação, iniciando a redução no K_r quando a EToac superou 20,0 mm. A presença de palha na superfície do solo reduz as taxas de perda diária de água por evaporação, seja por barreira física ou por redução do aquecimento do solo, pela menor incidência de radiação solar sobre o solo, diminui a disponibilidade de energia para o processo de evaporação. No entanto, a presença da palha em grande quantidade, mantém a superfície do solo úmida, mantendo o fornecimento de água para o processo de evaporação por um período de tempo mais longo (FREITAS et al., 2006).

5 - CONCLUSÕES

Pela curta duração dos ciclos de secagem do solo, o crescimento e o desenvolvimento das plantas não foram influenciados pelo sistema de cultivo do solo nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura do milho.

Na camada de 0 a 10 cm de profundidade, para o primeiro ciclo de secagem do solo, a presença de 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície proporcionou uma redução nas perdas de água por evaporação de 24,6% e 19,9% em relação ao preparo convencional e à semeadura direta sem palha na superfície, respectivamente. Com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha, a redução nas perdas de água foi de 50,7% e 47,6%, respectivamente.

Nos primeiros 30 cm do perfil do solo, a redução total nas perdas de água nos quatro ciclos de secagem do solo, com a utilização de 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície foi de 13,2% e 12,2%, em relação ao preparo convencional e ao plantio direto sem palha na superfície respectivamente. Aumentando a quantidade de palha para 6,0 Mg ha⁻¹, a redução foi de 30,4% e 29,6%, respectivamente.

A ausência de palha sobre a superfície do solo e a maior disponibilidade de água prontamente evaporável no início do ciclo de secagem do solo determinaram os valores mais elevados do coeficiente de evaporação para o preparo convencional e para o plantio direto sem palha na superfície do solo. No entanto, a presença de palha na superfície reduziu em 50% os valores máximos do coeficiente de evaporação, quando comparada à ausência de palha em superfície, mantendo o processo de evaporação no primeiro estágio por um período de tempo mais longo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., & SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper N. 56. Roma, 1998.

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., SMITH, M., RAES, D., & WRIGTH, J. L. FAO-56 dual crop coefficient procedure for predicting evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE.**, v. 131(1), 2005.

ANDRADE, J. G. et al. Perdas de água por evaporação em milho com semeadura convencional e direta para diferentes níveis de cobertura morta. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007, Gramado, **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. CD-ROM.

ANJOS, J. T. et al. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 1, p. 139-145, 1994.

BARCELOS, A. A.; CASSOL, E. A.; DENARDIN, J. E. Infiltração de água em um latossolo vermelho-escuro sob condições de chuva intensa em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 35-43, 1999.

BARROS, L.C.G.; Hanks, R.J. Evapotranspiration and yield of beans as affected by mulch and irrigation. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.692-697, 1993.

BASSOI, L. H. et al. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: II. Comparação entre a cultura irrigada e fertirrigada. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, n.3, p. 541-548, 1994.

BERGAMASCHI, H. et al. Solar radiation intercepted by maize crops as function of soil tillage systems and water availabilities. IN: XIII INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANISATION CONFERENCE, 2004, Brisbane. **Proceedings...** Brisbane: ASSS/IECA, 2004.

BAVER, L.D., GARDNER, W.H., & GARDNER, W.R. **Soil Physics**: New York. J. Wiley, 1972, 498 p.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 6 Ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1983, 647 p.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Campinas, v. 14, n.3, p. 369-374, 1990.

CARDOSO, H.E.A.; MANTOVANI, E.C.; COSTA, L.C. **As águas da agricultura**. Agroanalysis. Instituto Brasileiro de Economia/Centro de Estudos Agrícolas. Rio de Janeiro. 1998. p.27-28.

CARPENEDO, V. ; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de latossolos roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 99-105,1990.

CARTER, M.R. **Soil sampling and methods of analysis**. Canadian Society Soil Science. 1993. 823 p.

CHRISTOFIDIS, D. **A água e a crise alimentar**. [www.iica.org.br/ Aguatrap/Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm](http://www.iica.org.br/Aguatrap/Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm). 1997. 14p.

CORREA, J.C. Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do Estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.11, p.1317-1322, nov. 1985.

COSTA, F. S. et al. Propriedades de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.3, p. 527-535, 2003.

DAHIYA, R. et al. The effect of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: Experimental findings and modeling. **Soil & Tillage Research**. V. 96, p. 52-63. 2007.

DALMAGO, G. A. et al. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de semeadura direta e convencional de milho. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2003, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: SBA./UFSC/UNIFRA, 2003a. V.1. p. 295-296. CD-ROM.

DALMAGO, G. A. et al. Reflectância para a radiação fotossinteticamente ativa e fluxo de calor em solo sob plantio direto e preparo convencional. In: X REUNIÓN ARGENTINA DE AGROMETEOROLOGÍA, IV REUNIÓN LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGÍA, 2004, Mar del Prata. **Anais...** Mar del Prata: FCEyN/UBA/INTA, 2004a.

DALMAGO, G. A. **Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional**. 2004. 245 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Porto Alegre, 2004

Da ROS, C. O. et al. Manejo de solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 241-247, 1997.

DECAGON DEVICES. Operator's manual version 1.3 WP4 dewpointmeter. USA, Decagon devices, 2000. 70 p.

DICKEY, E. C. et al. Tillage system definitions. In: GRIFFITH, D. R. et al. **Conservation Tillage Systems and Management: Crop residue management with no-till, ridge-till, mulch-till**. Ames: Midwest Plan Service, 1992. p. 5-7.

DOORENBOS, J. & PRUITT, W. O. Crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper N. 24 (revised)**. FAO, Roma, 1977.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Serviço de produção de informação, 1999.412p.

FREITAS, P. S. L. et al. Influencia da cobertura de resíduos de culturas nas fases da evaporação direta da água do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 104-111, 2006.

GAJRI, P.R; ARORA, V.K & M.R.CHAUDHARY. Maize growth responses to deep tillage, straw mulching and farmyard manure in coarse textured soils of N.W. India. **Soil Use and Management** 10, 15-20. 1994.

GALLARDO, M., JACKSON, L. E., SCHULBACH, K., SNYDER, R. L., THOMPSON, R.B. e WYLAND, L. J. Production and water use in lettuces under variable water supply. **Irrigation Science**, 16, 125 – 137. 1996.

GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. Methods of soil analysis. Part 1. 2 ed. Madison, **American Society of Agronomy**. 1986.

GORDIYENKO, V. P.; KOSTOGRYZ, P. V. Patterns of moisture evaporation at variable bulk densities of the upper soil layer. **Soviet Soil Science**, New York, v. 22, n. 8, p. 111-122, 1990.

HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and processes**. 3. ed. New York: Academic Press, 1973. 288 p.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. Academic Press, Orlando, 1980.

KLEIN, V.A **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Piracicaba, 1998. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas)- Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba-SP, 1998.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Condutividade hidráulica de um latossolo roxo, não saturado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 6, p. 945-953, 2002.

KLOCKE, D. L., MARTIN, D. L., TODD, R. W. et al. Evaporation measurements and predictions from soils under crop canopies. **Trans. ASAE**. St. Joseph, v. 33, n. 5, p. 1590-1596, 1990.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 36 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 20).

LEMON, E. R. The potencialities for decreasing soil moisture evaporation loss. **Proceedings. Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.20, n.1, p. 120 – 125, 1956

LEVIEN, R. **condições de cobertura e métodos de preparo do solo para a implantação da cultura de milho (*Zea mays* L.)**. 1999. 305 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: P. L. Libardi, 1995. 497 p.

MELO FILHO, J.F.; SILVA, J.R.C. Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um Podzólico Vermelho-Amarelo no Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n.2, p.291-297, 1993.

MELLO IVO, W. M. P. & MIELNICZUK, J. Influência da estrutura do solo na distribuição e na morfologia do sistema radicular do milho sob três métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 135-143, 1999.

MICHELON, C. J. et al. Evaporação de água do solo no sistema de cultivo plantio direto com diferentes níveis de palha de azevém. In: XXXI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2007, Gramado, **Anais...** Gramado: SBCS, 2007. CD-ROM.

MOREIRA, J.A.A.; STONE, L.F. Sistema radicular do feijoeiro afetado pelo preparo do solo e pela lâmina de irrigação. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25, 1995, Viçosa. Resumos... Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 1995. v.3, p.1746-1748.

MORENO, J. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: secretaria de agricultura e abastecimento, diretoria de terras e colonização, secção de geografia, 1961.

MULUMBA, L. N. & LAL, R. Mulching effects on selected soil physical properties. **Soil & Tillage Research**. V. 98, p. 106-111. 2008.

PHILLIPS, R. E.; PHILLIPS, S. H. P. **No-Tillage Agriculture**: princípios e práticas. Nova York: Van Nostrand Reinhold Company, 1984, 306 p.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. 2. ed. Piracicaba: USP/ESALQ, 1996. 505p.

RITCHIE, J. T. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. **Water Resources Research**, Washington, v. 8, n. 5, p. 1204 – 1213, 1972.

RITCHIE, S. W., HANWAY, J. J. & BENSON, G. O. **How a corn plant develops**. Special Report n. 48. Iowa State University of Science and Technology, Ames, Iowa, 1993.

RODRIGUES, L. N. et al. Modelo de Ritchie para determinações da transpiração do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e da evapotranspiração direta da água do solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria. V. 6, n. 2, p. 179-185, 1998.

ROJAS, A. L. C.; VAN LIER, Q. J. alterações físicas e hídricas de um podzólico em função de sistemas de preparo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 105-115, 1999.

ROTH, C.; VIEIRA, M.J. Infiltração de água no solo. **Plantio Direto**, Ponta Grossa, v.1, n.3, p.4, 1983.

SALTON, J. C. & MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um podzólico vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, p. 313-319. 1995.

Comissão de Química e Fertilidade do Solo. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 10. ed. Porto Alegre, 2004, 400p.

SILVA, V. R., REICHERT, J. M. & REINERT, D. J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V. 30, p. 391-399. 2006.

STICKLER, F.C., WEARDEN S., PAULI, A W. Leaf area determination in grain sorghum. **Agronomy Journal**, Madison, v.53, p.187-188. 1961.

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.4, p.835-841, 2000.

STORCK, L.; et al. **Experimentação Vegetal. Santa Maria**. Ed. UFSM 1, 198p. 2000.

STROOSNIJDER, L. Soil evaporation: test of a practical approach under semi-arid conditions. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, 35, 417 – 426. 1987.

VENTURA, F., SNYDER, R. L. & BALI, K.M. Estimating bare soil evaporation using experimental soil moisture data. **Geophysical Research Abstracts**. V. 7, 03181, 2005.

VENTURA, F., SNYDER, R. L. & BALI, K. M. Estimating evaporation from bare soil using soil moisture data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE**. V. 132, n. 2, p. 153-158, 2006.

VIEIRA, M.J. Propriedades físicas do solo. In: IAPAR (Londrina, PR). **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina, 1981. p.19-32. (IAPAR. Circular, 23).

VIEIRA, M.J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, n.7, p.873-882, jul. 1984.

WARGNER-RIDDLE, C.; GILLESPIE, T. J.; SWANTON, C. J. Rye mulch characterization for the purpose of microclimatic modeling. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 78, n. 1-2, p. 67-81, 1996.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Planilha dos dados meteorológicos coletados durante o período de realização do experimento.

DATA	Temperatura do ar (°C)			UR ar media (%)	Inso- lação (h)	Vel. Vento (m.s ⁻¹)	Rs (Cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	ETo (mm)	P - I (mm)
	máx	min	media						
31/10/2006	25,6	20,2	22,3	84,8	7,0	0,79	493,75	3,62	1,9
1/11/2006	23,6	20,2	21,2	86,5	0,0	1,12	152,43	1,42	0,0
2/11/2006	27,2	15,9	20,6	76,0	7,1	1,78	521,83	3,84	0,0
3/11/2006	28,4	15,1	21,0	59,8	7,1	0,84	534,87	3,94	0,0
4/11/2006	25,2	14,9	20,1	65,5	7,9	0,73	551,69	3,81	0,0
5/11/2006	27,6	16,6	22,1	89,5	4,6	0,79	318,38	2,30	43,8
6/11/2006	25,4	20,2	21,8	76,0	4,6	0,30	348,40	2,51	1,6
7/11/2006	22,6	12,7	17,2	60,8	12,1	0,53	695,28	3,97	0,0
8/11/2006	22,6	10,9	15,8	67,0	12,0	0,71	683,98	3,80	0,0
9/11/2006	24,4	10,0	16,7	62,5	11,8	0,97	715,13	4,25	0,0
10/11/2006	27,2	10,0	19,0	59,0	11,8	1,13	695,59	4,45	0,0
11/11/2006	25,6	14,5	19,7	61,3	11,9	1,17	680,11	4,42	0,0
12/11/2006	28,0	12,7	20,9	57,5	12,0	1,09	691,96	4,65	0,0
13/11/2006	30,4	16,0	23,0	52,8	12,2	0,67	692,63	4,65	0,0
14/11/2006	33,4	19,4	24,8	52,3	12,2	0,96	696,62	5,13	32,4 (i)
15/11/2006	34,6	19,8	26,6	53,3	10,5	0,87	558,25	4,29	0,0
16/11/2006	36,2	20,0	25,4	64,3	7,4	1,39	450,15	3,89	14,6
17/11/2006	22,6	19,0	19,9	94,5	0,0	1,03	61,14	0,45	35,3
18/11/2006	19,4	16,9	17,7	92,5	0,0	1,01	84,79	0,64	9,2
19/11/2006	18,4	15,1	16,5	82,5	0,0	0,40	143,45	1,11	0,2
20/11/2006	24,6	14,6	19,0	73,5	7,2	0,64	509,20	3,43	0,0
21/11/2006	29,6	14,5	22,5	74,5	10,2	0,90	611,33	4,36	0,0
22/11/2006	32,0	17,7	24,7	65,0	12,3	0,50	711,33	5,14	0,0
23/11/2006	32,2	17,1	25,0	61,8	12,4	0,65	708,94	5,18	0,0
24/11/2006	32,0	18,8	23,9	89,0	0,9	1,57	246,49	2,23	22,8
25/11/2006	25,6	21,0	22,4	92,5	2,2	1,77	323,11	2,55	5,2
26/11/2006	28,0	19,8	22,9	72,5	7,1	0,65	500,02	3,78	0,0
27/11/2006	24,2	16,5	19,8	76,5	4,0	1,08	512,06	4,01	0,0
28/11/2006	26,6	18,0	21,2	81,3	1,9	1,54	343,01	2,96	0,0
29/11/2006	28,6	19,0	22,0	75,0	7,0	1,11	499,88	3,78	0,0
30/11/2006	27,4	17,4	21,9	70,8	8,4	0,53	579,82	4,18	0,0
1/12/2006	31,8	16,5	24,9	64,5	12,4	0,47	714,70	5,19	0,0
2/12/2006	35,4	23,0	28,0	56,3	11,9	1,25	701,23	5,93	33,0 (i)
3/12/2006	35,6	21,4	27,6	58,0	9,1	1,35	659,17	5,93	0,0
4/12/2006	33,2	19,8	26,3	66,5	12,0	1,11	668,34	5,28	0,0
5/12/2006	29,4	18,0	23,0	71,0	9,4	1,12	654,60	4,98	1,1
6/12/2006	29,0	18,6	23,2	67,8	8,1	1,15	551,45	4,32	0,0
7/12/2006	27,8	16,1	21,1	62,0	8,5	0,55	631,56	4,53	0,0
8/12/2006	29,6	16,4	22,9	67,3	13,3	1,33	675,00	5,92	9,8
9/12/2006	32,1	17,4	24,2	63,9	13,0	0,52	700,54	6,57	0,0
10/12/2006	32,8	17,9	25,6	63,9	13,0	0,48	694,77	6,77	0,0

APÊNDICE 2 - Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda diária de água do solo no primeiro ciclo de secagem do solo, para os tratamentos sob preparo convencional, semeadura direta sem palha e plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	0–10 cm		10 – 30 cm		0 – 30 cm	
	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)
1° dia	0,805*	13,634	0,067 ^{ns}	25,057	0,558*	17,942
2° dia	0,968*	6,720	0,183*	12,279	1,186*	5,662
3° dia	0,225*	7,568	0,063*	7,993	0,235*	5,561
4° dia	0,056*	7,874	0,048 ^{ns}	20,324	0,019 ^{ns}	11,097
5° dia	0,018 ^{ns}	8,647	0,025 ^{ns}	23,622	0,041 ^{ns}	16,393
6° dia	0,008 ^{ns}	9,096	0,014 ^{ns}	16,420	0,025 ^{ns}	11,460
7° dia	0,016 ^{ns}	8,354	0,066*	11,849	0,062 ^{ns}	9,739
8° dia	0,019 ^{ns}	9,924	0,009 ^{ns}	17,653	0,016 ^{ns}	14,506

* = significativo em nível de probabilidade de 5%; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação.

APÊNDICE 3 - Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda diária de água do solo no segundo ciclo de secagem do solo, para os tratamentos sob preparo convencional, semeadura direta sem palha e plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	0–10 cm		10 – 30 cm		0 – 30 cm	
	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)
1° dia	0,211*	10,938	0,047 ^{ns}	11,585	0,260*	9,619
2° dia	0,621*	6,586	0,134 ^{ns}	17,709	0,725*	9,640
3° dia	0,479*	11,587	0,077*	7,367	0,522*	9,504
4° dia	0,077 ^{ns}	13,880	0,099 ^{ns}	20,529	0,165 ^{ns}	12,168
5° dia	0,095*	9,046	0,050 ^{ns}	14,054	0,058 ^{ns}	9,810

* = significativo em nível de probabilidade de 5%; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação.

APÊNDICE 4 - Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda diária de água do solo no terceiro ciclo de secagem do solo, para os tratamentos sob preparo convencional, semeadura direta sem palha e plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	0–10 cm		10 – 30 cm		0 – 30 cm	
	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)
1° dia	0,161*	14,226	-	-	0,161*	14,226
2° dia	0,684*	11,261	0,043 ^{ns}	11,514	0,698*	10,298
3° dia	0,179 ^{ns}	14,735	0,033 ^{ns}	10,695	0,129 ^{ns}	13,287
4° dia	0,028 ^{ns}	8,081	0,031 ^{ns}	27,477	0,005 ^{ns}	14,595
5° dia	0,098*	9,636	0,039 ^{ns}	17,273	0,141*	11,384
6° dia	0,140*	10,066	0,035 ^{ns}	19,948	0,173*	10,958
7° dia	0,104*	5,971	0,030 ^{ns}	10,061	0,023 ^{ns}	7,598

* = significativo em nível de probabilidade de 5%; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação.

APÊNDICE 5 - Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda diária de água do solo no quarto ciclo de secagem do solo, para os tratamentos sob preparo convencional, semeadura direta sem palha e plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	0–10 cm		10 – 30 cm		0 – 30 cm	
	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)
1° dia	0,243 ^{ns}	15,122	0,074 ^{ns}	11,970	0,344 [*]	7,671
2° dia	0,165 ^{ns}	13,179	0,045 ^{ns}	12,849	0,189 ^{ns}	10,407
3° dia	0,078 ^{ns}	13,110	0,148 [*]	12,572	0,109 ^{ns}	12,212
4° dia	0,096 ^{ns}	13,868	0,046 ^{ns}	11,026	0,110 ^{ns}	9,175
5° dia	0,071 ^{ns}	12,963	0,021 ^{ns}	11,394	0,054 ^{ns}	12,529
6° dia	0,057 [*]	8,886	0,067 ^{ns}	14,635	0,025 ^{ns}	9,476

* = significativo em nível de probabilidade de 5%; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação.

APÊNDICE 6 - Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda acumulada de água do solo no primeiro ciclo de secagem do solo, para os tratamentos com sistema de preparo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	0–10 cm		10 – 30 cm		0 – 30 cm	
	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)
1° dia	0,80 [*]	13,63	0,67 ^{ns}	25,06	0,56 [*]	17,94
2° dia	1,99 [*]	8,71	0,22 ^{ns}	18,10	1,88 [*]	8,72
3° dia	1,91 [*]	6,38	0,22 ^{ns}	14,55	1,93 [*]	6,37
4° dia	1,57 [*]	5,99	0,14 ^{ns}	14,13	1,52 [*]	6,49
5° dia	1,33 [*]	6,08	0,10 ^{ns}	13,88	1,25 [*]	6,69
6° dia	1,17 [*]	5,92	0,11 ^{ns}	11,81	1,13 [*]	6,17
7° dia	1,03 [*]	5,55	0,15 ^{ns}	10,68	1,08 [*]	5,91
8° dia	0,92 [*]	5,29	0,15 ^{ns}	9,67	0,98 [*]	5,73

* = significativo em nível de probabilidade de 5%; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação.

APÊNDICE 7 - Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda acumulada de água do solo no segundo ciclo de secagem do solo, para os tratamentos com sistema de preparo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	0–10 cm		10 – 30 cm		0 – 30 cm	
	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)
1° dia	0,21 [*]	10,94	0,47 ^{ns}	11,58	0,26 [*]	9,62
2° dia	0,89 [*]	8,07	0,20 ^{ns}	16,65	1,03 [*]	9,35
3° dia	1,45 [*]	5,28	0,29 ^{ns}	13,92	1,58 [*]	7,59
4° dia	1,36 [*]	5,73	0,39 [*]	12,12	1,67 [*]	6,85
5° dia	1,08 [*]	5,90	0,45 [*]	11,06	1,49 [*]	6,27

* = significativo em nível de probabilidade de 5%; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação.

APÊNDICE 8 -Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda acumulada de água do solo no terceiro ciclo de secagem do solo, para os tratamentos com sistema de preparo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	0 – 10 cm		10 – 30 cm		0 – 30 cm	
	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)
1° dia	0,16*	14,23	ns	ns	0,16*	14,23
2° dia	0,97*	12,36	0,43 ^{ns}	11,51	0,95*	10,81
3° dia	0,90*	8,79	0,75 ^{ns}	10,05	0,84*	9,42
4° dia	0,71*	8,28	0,86 ^{ns}	15,93	0,60*	11,02
5° dia	0,59*	7,42	0,46 ^{ns}	15,97	0,47 ^{ns}	10,59
6° dia	0,49*	7,40	0,27 ^{ns}	14,31	0,39 ^{ns}	9,54
7° dia	0,38*	5,66	0,61 ^{ns}	10,75	0,32 ^{ns}	7,27

* = significativo em nível de probabilidade de 5%; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação.

APÊNDICE 9 - Quadrado médio e coeficiente de variação da análise da variância para a perda acumulada de água do solo no quarto ciclo de secagem do solo, para os tratamentos com sistema de preparo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	0 – 10 cm		10 – 30 cm		0 – 30 cm	
	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)	Tratamento	CV (%)
1° dia	0,24 ^{ns}	15,12	0,10 ^{ns}	14,25	0,40*	6,13
2° dia	0,40 ^{ns}	12,89	0,16 ^{ns}	9,92	0,55*	6,66
3° dia	0,33 ^{ns}	12,50	0,23*	7,33	0,53*	7,63
4° dia	0,22 ^{ns}	12,31	0,22*	5,99	0,40 ^{ns}	7,83
5° dia	0,16 ^{ns}	12,26	0,22*	5,73	0,33 ^{ns}	8,15
6° dia	0,12 ^{ns}	11,08	0,26*	6,46	0,31 ^{ns}	7,46

* = significativo em nível de probabilidade de 5%; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação.

APÊNDICE 10 - Comparação de médias da perda diária de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no primeiro ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	SISTEMA DE CULTIVO			
	PC	PD0	PD3	PD6
0 -10 cm				
1° dia	2,66a	1,18b	0,26b	0,12b
2° dia	4,09a	3,40a	1,44b	0,68b
3° dia	2,36a	3,02a	2,25a	1,21b
4° dia	1,40ab	1,55ab	1,97a	1,17b
5° dia	1,07 ^{ns}	1,12 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,07 ^{ns}
6° dia	0,81 ^{ns}	0,89 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,87 ^{ns}
7° dia	0,60 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,80 ^{ns}
8° dia	0,56 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,91 ^{ns}	0,76 ^{ns}
10 – 30 cm				
1° dia				
2° dia	1,79a	1,85a	1,32ab	0,66b
3° dia	1,72a	1,24ab	0,96b	1,03b
4° dia	0,95 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,65 ^{ns}	1,03 ^{ns}
5° dia	0,43 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,92 ^{ns}
6° dia	0,42 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,56 ^{ns}
7° dia	0,32b	0,83a	0,42ab	0,28b
8° dia	0,36 ^{ns}	0,70 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,42 ^{ns}
0 – 30 cm				
1° dia	3,20a	2,10ab	1,32b	0,64b
2° dia	5,88a	5,24a	2,76b	1,35c
3° dia	4,08ab	4,27a	3,22b	2,23c
4° dia	2,35 ^{ns}	2,12 ^{ns}	2,63 ^{ns}	2,21 ^{ns}
5° dia	1,50 ^{ns}	1,89 ^{ns}	2,23 ^{ns}	1,76 ^{ns}
6° dia	1,23 ^{ns}	1,56 ^{ns}	1,63 ^{ns}	1,29 ^{ns}
7° dia	0,92 ^{ns}	1,65 ^{ns}	1,34 ^{ns}	1,08 ^{ns}
8° dia	0,93 ^{ns}	1,30 ^{ns}	1,21 ^{ns}	1,18 ^{ns}

PC = Sistema de cultivo com preparo convencional do solo; PD0 = Sistema de cultivo direto sem palhada na superfície; PD3 = Sistema de cultivo direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície e; PD6 = Sistema de cultivo direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Linhas seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

APÊNDICE 11 - Comparação de médias da perda diária de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no segundo ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	SISTEMA DE CULTIVO			
	PC	PD0	PD3	PD6
0 -10 cm				
1° dia	1,93a	0,85b	0,68b	0,59b
2° dia	4,06a	2,87b	1,52c	1,10c
3° dia	3,30ab	3,35a	1,75bc	1,04c
4° dia	2,10 ^{ns}	2,27 ^{ns}	2,10 ^{ns}	1,33 ^{ns}
5° dia	1,17b	1,64ab	2,19a	1,34b
10 – 30 cm				
1° dia	1,63 ^{ns}	1,30 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,99 ^{ns}
2° dia	2,84 ^{ns}	2,07 ^{ns}	1,78 ^{ns}	2,15 ^{ns}
3° dia	1,88a	1,44ab	1,02b	1,14b
4° dia	1,30 ^{ns}	1,27 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,84 ^{ns}
5° dia	1,02 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,79 ^{ns}	0,73 ^{ns}
0 – 30 cm				
1° dia	3,56a	2,15b	1,80b	1,58b
2° dia	6,90a	4,95b	3,30bc	2,71c
3° dia	5,18a	4,79a	2,78b	2,18b
4° dia	3,40 ^{ns}	3,54 ^{ns}	2,82 ^{ns}	1,96 ^{ns}
5° dia	2,19 ^{ns}	2,53 ^{ns}	2,78 ^{ns}	1,89 ^{ns}

PC = Sistema de cultivo com preparo convencional do solo; PD0 = Sistema de cultivo direto sem palhada na superfície; PD3 = Sistema de cultivo direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície e; PD6 = Sistema de cultivo direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Linhas seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

APÊNDICE 12 - Comparação de médias da perda diária de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no terceiro ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	SISTEMA DE CULTIVO			
	PC	PD0	PD3	PD6
0 -10 cm				
1° dia	0,81a	0,13b	0,00b	0,00b
2° dia	3,77a	2,53ab	1,16bc	0,84c
3° dia	2,70 ^{ns}	3,65 ^{ns}	2,50 ^{ns}	1,84 ^{ns}
4° dia	1,66 ^{ns}	1,86 ^{ns}	2,09 ^{ns}	1,48 ^{ns}
5° dia	1,21ab	1,25ab	2,13a	1,09b
6° dia	1,11b	1,32b	2,40a	1,36b
7° dia	1,28b	1,56b	2,44a	1,84ab
10 – 30 cm				
1° dia	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
2° dia	1,31 ^{ns}	1,16 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,80 ^{ns}
3° dia	1,99 ^{ns}	1,59 ^{ns}	1,36 ^{ns}	1,74 ^{ns}
4° dia	1,09 ^{ns}	1,23 ^{ns}	1,22 ^{ns}	1,60 ^{ns}
5° dia	1,09 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,87 ^{ns}
6° dia	0,97 ^{ns}	0,94 ^{ns}	1,23 ^{ns}	0,94 ^{ns}
7° dia	1,99 ^{ns}	1,61 ^{ns}	1,38 ^{ns}	1,43 ^{ns}
0 – 30 cm				
1° dia	0,81a	0,13b	0,00b	0,00b
2° dia	5,08a	3,68a	1,98b	1,64b
3° dia	4,69 ^{ns}	5,25 ^{ns}	3,86 ^{ns}	3,56 ^{ns}
4° dia	2,75 ^{ns}	3,09 ^{ns}	3,01 ^{ns}	3,06 ^{ns}
5° dia	2,02ab	2,24ab	3,28a	1,75b
6° dia	2,08b	2,26ab	3,63a	2,06b
7° dia	3,27 ^{ns}	3,17 ^{ns}	3,83 ^{ns}	3,28 ^{ns}

PC = Sistema de cultivo com preparo convencional do solo; PD0 = Sistema de cultivo direto sem palhada na superfície; PD3 = Sistema de cultivo direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície e; PD6 = Sistema de cultivo direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Linhas seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

APÊNDICE 13 - Comparação de médias da perda diária de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no quarto ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	SISTEMA DE CULTIVO			
	PC	PD0	PD3	PD6
0 -10 cm				
1° dia	3,94 ^{ns}	2,81 ^{ns}	2,92 ^{ns}	1,65 ^{ns}
2° dia	4,76 ^{ns}	4,98 ^{ns}	4,60 ^{ns}	3,06 ^{ns}
3° dia	2,40 ^{ns}	3,39 ^{ns}	3,36 ^{ns}	2,72 ^{ns}
4° dia	1,13 ^{ns}	1,93 ^{ns}	1,89 ^{ns}	2,12 ^{ns}
5° dia	0,93 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,06 ^{ns}	1,72 ^{ns}
6° dia	0,84b	1,28ab	1,19ab	1,61a
10 – 30 cm				
1° dia	2,13 ^{ns}	1,88 ^{ns}	1,67 ^{ns}	1,20 ^{ns}
2° dia	2,84 ^{ns}	2,26 ^{ns}	2,56 ^{ns}	1,97 ^{ns}
3° dia	1,92ab	2,29a	1,21b	1,24b
4° dia	1,51 ^{ns}	2,17 ^{ns}	1,82 ^{ns}	1,53 ^{ns}
5° dia	1,60 ^{ns}	1,99 ^{ns}	1,73 ^{ns}	1,55 ^{ns}
6° dia	1,61 ^{ns}	1,67 ^{ns}	1,90 ^{ns}	1,55 ^{ns}
0 – 30 cm				
1° dia	6,07a	4,68ab	4,59ab	2,86b
2° dia	7,60 ^{ns}	7,24 ^{ns}	7,16 ^{ns}	5,04 ^{ns}
3° dia	4,32 ^{ns}	5,68 ^{ns}	4,57 ^{ns}	3,96 ^{ns}
4° dia	2,64 ^{ns}	4,10 ^{ns}	3,72 ^{ns}	3,65 ^{ns}
5° dia	2,53 ^{ns}	3,42 ^{ns}	2,79 ^{ns}	3,26 ^{ns}
6° dia	2,45 ^{ns}	2,94 ^{ns}	3,09 ^{ns}	2,78 ^{ns}

PC = Sistema de cultivo com preparo convencional do solo; PD0 = Sistema de cultivo direto sem palhada na superfície; PD3 = Sistema de cultivo direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície e; PD6 = Sistema de cultivo direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Linhas seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

APÊNDICE 14 - Comparação de médias da perda acumulada de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no primeiro ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	SISTEMA DE CULTIVO			
	PC	PD0	PD3	PD6
0 -10 cm				
1° dia	2,66a	1,18b	0,26b	0,12b
2° dia	6,75a	4,58b	1,70c	0,80c
3° dia	9,12a	7,60a	3,96b	2,01c
4° dia	10,51a	9,16a	5,93b	3,18c
5° dia	11,58a	10,28a	7,36b	4,26c
6° dia	12,39a	11,17a	8,40b	5,13c
7° dia	13,00a	11,99ab	9,31b	5,93c
8° dia	13,56a	12,76ab	10,23b	6,69c
10 – 30 cm				
1° dia	0,54 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,52 ^{ns}
2° dia	2,33 ^{ns}	2,77 ^{ns}	2,39 ^{ns}	1,18 ^{ns}
3° dia	4,05 ^{ns}	4,01 ^{ns}	3,35 ^{ns}	2,21 ^{ns}
4° dia	5,00 ^{ns}	5,14 ^{ns}	4,00 ^{ns}	3,25 ^{ns}
5° dia	5,43 ^{ns}	6,16 ^{ns}	4,80 ^{ns}	4,17 ^{ns}
6° dia	5,85 ^{ns}	7,05 ^{ns}	5,40 ^{ns}	4,73 ^{ns}
7° dia	6,17 ^{ns}	7,88 ^{ns}	5,83 ^{ns}	5,29 ^{ns}
8° dia	6,53 ^{ns}	8,59 ^{ns}	6,22 ^{ns}	5,71 ^{ns}
0 – 30 cm				
1° dia	3,20a	2,10ab	1,32b	0,63b
2° dia	9,08a	7,37a	4,09b	1,99c
3° dia	13,16a	11,61a	7,31b	4,22c
4° dia	15,51a	13,73a	9,93b	6,43c
5° dia	17,01a	15,62ab	12,17b	8,19c
6° dia	18,24a	17,18ab	13,80b	9,49c
7° dia	19,17a	18,83a	15,14a	10,57b
8° dia	20,09a	20,13a	16,35a	11,75b

PC = Sistema de cultivo com preparo convencional do solo; PD0 = Sistema de cultivo direto sem palhada na superfície; PD3 = Sistema de cultivo direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície e; PD6 = Sistema de cultivo direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Linhas seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

APÊNDICE 15 - Comparação de médias da perda acumulada de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no segundo ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	SISTEMA DE CULTIVO			
	PC	PD0	PD3	PD6
0 -10 cm				
1° dia	1,93a	0,85b	0,68b	0,59b
2° dia	5,99a	3,72b	2,20bc	1,69c
3° dia	9,28a	7,07b	3,95c	2,73c
4° dia	11,38a	9,34a	6,05b	4,06b
5° dia	12,56a	10,99ab	8,24bc	5,40c
10 – 30 cm				
1° dia	1,63 ^{ns}	1,30 ^{ns}	1,12 ^{ns}	0,99 ^{ns}
2° dia	4,47 ^{ns}	3,37 ^{ns}	2,91 ^{ns}	3,14 ^{ns}
3° dia	6,36 ^{ns}	4,81 ^{ns}	3,93 ^{ns}	4,28 ^{ns}
4° dia	7,65a	6,08ab	4,65ab	4,37b
5° dia	8,67a	6,96ab	5,24b	4,91b
0 – 30 cm				
1° dia	3,56a	2,15b	1,80b	1,58b
2° dia	10,46a	7,09b	5,10bc	4,29c
3° dia	15,64a	11,88b	7,88c	6,47c
4° dia	19,04a	15,42a	10,70b	8,43b
5° dia	21,23a	17,95a	13,48b	10,32b

PC = Sistema de cultivo com preparo convencional do solo; PD0 = Sistema de cultivo direto sem palhada na superfície; PD3 = Sistema de cultivo direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície e; PD6 = Sistema de cultivo direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Linhas seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

APÊNDICE 16 - Comparação de médias da perda acumulada de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no terceiro ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	SISTEMA DE CULTIVO			
	PC	PD0	PD3	PD6
	0 -10 cm			
1° dia	0,81a	0,13b	0,0b	0,0b
2° dia	4,58a	2,66b	1,16bc	0,84c
3° dia	7,28a	6,31a	3,67b	2,67b
4° dia	8,94a	8,17ab	5,76bc	4,15c
5° dia	10,14a	9,41a	7,89ab	5,25b
6° dia	11,25a	10,73a	10,29a	6,60b
7° dia	12,53a	12,29a	12,73a	8,45b
	10 – 30 cm			
1° dia	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,00 ^{ns}
2° dia	1,31 ^{ns}	1,16 ^{ns}	0,82 ^{ns}	0,80 ^{ns}
3° dia	3,30 ^{ns}	2,75 ^{ns}	2,17 ^{ns}	2,54 ^{ns}
4° dia	4,40 ^{ns}	3,98 ^{ns}	3,40 ^{ns}	4,11 ^{ns}
5° dia	5,49 ^{ns}	4,98 ^{ns}	4,55 ^{ns}	4,99 ^{ns}
6° dia	6,46 ^{ns}	5,92 ^{ns}	5,78 ^{ns}	5,93 ^{ns}
7° dia	8,45 ^{ns}	7,53 ^{ns}	7,16 ^{ns}	7,36 ^{ns}
	0 – 30 cm			
1° dia	0,81a	0,13b	0,0b	0,0b
2° dia	5,89a	13,81b	1,98bc	1,64c
3° dia	10,58a	9,06a	5,84b	5,20b
4° dia	13,33a	12,15ab	8,85ab	8,26b
5° dia	15,63 ^{ns}	14,39 ^{ns}	12,44 ^{ns}	10,24 ^{ns}
6° dia	17,71 ^{ns}	16,65 ^{ns}	16,07 ^{ns}	12,53 ^{ns}
7° dia	20,98 ^{ns}	19,83 ^{ns}	19,89 ^{ns}	15,81 ^{ns}

PC = Sistema de cultivo com preparo convencional do solo; PD0 = Sistema de cultivo direto sem palhada na superfície; PD3 = Sistema de cultivo direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície e; PD6 = Sistema de cultivo direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Linhas seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).

APÊNDICE 17 - Comparação de médias da perda acumulada de água do solo para para os tratamentos com sistema de cultivo convencional, semeadura direta sem palha e semeadura direta com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, no quarto ciclo de secagem do solo. Santa Maria, RS, 2008.

Dia do ciclo	SISTEMA DE CULTIVO			
	PC	PD0	PD3	PD6
0 -10 cm				
1° dia	3,94 ^{ns}	2,81 ^{ns}	2,92 ^{ns}	1,65 ^{ns}
2° dia	8,69 ^{ns}	7,78 ^{ns}	7,52 ^{ns}	4,72 ^{ns}
3° dia	11,09 ^{ns}	11,17 ^{ns}	10,88 ^{ns}	7,44 ^{ns}
4° dia	12,22 ^{ns}	13,11 ^{ns}	12,78 ^{ns}	9,56 ^{ns}
5° dia	13,15 ^{ns}	14,54 ^{ns}	13,84 ^{ns}	11,27 ^{ns}
6° dia	13,99 ^{ns}	15,81 ^{ns}	15,02 ^{ns}	12,88 ^{ns}
10 – 30 cm				
1° dia	2,39 ^{ns}	1,88 ^{ns}	1,67 ^{ns}	1,20 ^{ns}
2° dia	5,23 ^{ns}	4,14 ^{ns}	4,23 ^{ns}	3,18 ^{ns}
3° dia	7,15a	6,43a	5,44ab	4,42b
4° dia	8,66a	8,60a	7,26ab	5,95b
5° dia	10,26a	10,59a	8,99ab	7,50b
6° dia	11,86a	12,26a	10,89ab	8,66b
0 – 30 cm				
1° dia	6,32a	4,68b	4,59b	2,66c
2° dia	13,92a	11,92a	11,75a	7,90b
3° dia	18,24a	17,61a	16,32ab	11,86b
4° dia	20,88 ^{ns}	21,71 ^{ns}	20,44 ^{ns}	15,51 ^{ns}
5° dia	23,41 ^{ns}	25,13 ^{ns}	23,23 ^{ns}	18,77 ^{ns}
6° dia	25,86 ^{ns}	28,07 ^{ns}	26,32 ^{ns}	21,94 ^{ns}

PC = Sistema de cultivo com preparo convencional do solo; PD0 = Sistema de cultivo direto sem palhada na superfície; PD3 = Sistema de cultivo direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície e; PD6 = Sistema de cultivo direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha na superfície. Linhas seguidas de mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey (P<0,05).