

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**EVAPORAÇÃO DE ÁGUA DO SOLO NA FASE INICIAL
DE DESENVOLVIMENTO DAS CULTURAS DO MILHO
E SOJA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Gisele Schirrmann Saldanha

**Santa Maria, RS, Brasil.
2009**

**EVAPORAÇÃO DE ÁGUA DO SOLO NA FASE INICIAL DE
DESENVOLVIMENTO DAS CULTURAS DO MILHO E SOJA**

por

Gisele Schirmann Saldanha

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

Orientador: Prof. Reimar Carlesso

Santa Maria, RS, Brasil.

2009

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**EVAPORAÇÃO DE ÁGUA DO SOLO NA FASE INICIAL DE
DESENVOLVIMENTO DAS CULTURAS DO MILHO E SOJA**

elaborada por
Gisele Schirmann Saldanha

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

Reimar Carlesso, PhD.
(Presidente/Orientador)

Renato Beppler Spohr, Dr. (UFSM)

Claudio García Galaretta, Dr. (INIA)

Santa Maria RS, Brasil.

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

Aos meus pais e irmão, Jorge (*In memoriam*),
Ledi e Jonas, por todo amor, apoio,
incentivo e ensinamentos,
OFEREÇO

Ao meu esposo Juliano e ao meu filho Pedro,
por todo amor, dedicação, compreensão e
auxílio durante a realização deste trabalho,
DEDICO

*“Se não puder voar, corra. Se não puder correr, ande. Se não puder andar, rasteje,
mas continue em frente de qualquer jeito.”*

Martin Luther King

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, pública e gratuita, e ao Centro de Ciências Rurais pelos conhecimentos adquiridos no decorrer de minha formação acadêmica e de Pós-Graduação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e a CAPES pela concessão da bolsa de estudos e concretização do Curso de Mestrado.

Ao Prof. Reimar Carlesso pela orientação e principalmente pelos incentivos e presença amiga.

Aos meus pais e irmão que sempre me apoiaram e permanecem sempre ao meu lado nesta trajetória e durante toda a minha vida, muito obrigada!

Ao meu pai, que durante toda a sua existência, participou diretamente dos meus planos no empreendimento da vida, mas que nunca se extinguirá de minha memória é a saudade que gosto de ter.

Ao meu esposo Juliano, pelo carinho e compreensão e por sempre apoiar minhas decisões.

Ao meu filho Pedro, pelo simples fato de existir e encher minha vida de alegria.

À Mirta Petry e Renato Spohr pela valiosa ajuda na análise dos dados e pelas idéias de melhoria do trabalho.

Aos colegas de trabalho Cleiton Dalla Santa, Alberto E. Knies, Rodrigo Elesbão, Juliano Martins, Juliano Gomes, Zanadra B. de Oliveira pelo companheirismo e sempre que solicitados, estavam dispostos a ajudar.

A minha querida amiga Caroline, colega desde a graduação, sempre esteve ao meu lado em todos os momentos e sempre que precisei de um ombro amigo, ela estava lá.

E à todos aqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização desse trabalho, muito obrigada

RESUMO

EVAPORAÇÃO DE ÁGUA DO SOLO NA FASE INICIAL DE DESENVOLVIMENTO DAS CULTURAS DO MILHO E SOJA

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

Autor: Gisele Schirmann Saldanha
Orientador: Reimar Carlesso
Local e data da defesa: Santa Maria, 2009.

A água é um fator fundamental à produtividade das culturas, tendo papel importante nas flutuações da produção das culturas, principalmente em lavouras não irrigadas e, em regiões que apresentam períodos de déficit hídrico. A manutenção da palhada na superfície do solo faz com que diminua a quantidade de evaporação do solo, mantendo o mesmo mais úmido, diminuindo as oscilações de temperatura no solo e, conseqüentemente, aumentando o conteúdo de água no solo. Este estudo teve como objetivo quantificar as perdas de água do solo por evaporação nos estádios iniciais de desenvolvimento das culturas do milho e soja semeadas em sistema de plantio direto. O trabalho foi desenvolvido em Área Experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Foram realizados dois experimentos. O experimento com a cultura do milho foi conduzido no período de 16 de dezembro de 2007 até 16 de janeiro de 2008. O experimento com a cultura da soja foi de 17 de janeiro de 2008 até 1º de março de 2008. Ambos os experimentos foram conduzidos no interior de uma cobertura móvel, que era acionada apenas quando ocorriam precipitações pluviais na área. Os experimentos foram constituídos de cinco tratamentos: (i) sistema de plantio direto em solo desnudo (SPD0); (ii) sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia preta (*Avena strigosa* Scrb) na superfície do solo (SPD 3); (iii) sistema de plantio direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia preta na superfície do solo (SPD 6); (iv) sistema de plantio direto com 3 Mg ha⁻¹ de palha de aveia misturada com palha de ervilhaca (*Vicia sativa* L.), sendo 75% palha de aveia e 25% de ervilhaca (SPD 3M) e; (v) sistema de plantio direto 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia misturada com palha de ervilhaca, sendo 75% de palha de aveia e 25% de palha de ervilhaca (SPD 6M). As

perdas de água do solo foram determinadas em dois ciclos de secagem do solo, para o experimento com a cultura do milho e em três ciclos de secagem com a cultura da soja, realizando-se o balanço hídrico do solo nas camadas de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm de profundidade, a partir dos dados de umidade volumétrica do solo determinada com um TDR, em intervalos de 15 minutos. Comparou-se para o primeiro ciclo de secagem do solo, para ambos os experimentos, a evaporação estimada conforme a metodologia do Kc Dual de cultivo com os resultados obtidos à campo. A presença de 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia na superfície do solo reduziu em 26,3% as perdas por evaporação de água do solo comparando com os valores máximos da evaporação estimada para a cultura do milho. Na cultura da soja, houve uma redução de 52% na perda de água do solo com a presença de 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia na superfície do solo em relação ao coeficiente duais estimados.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

LOSS OF WATER EVAPORATION IN THE INICIAL GROWTH OF MAIZE AND SOYBEAN

The principal element for plants is water, which is an important mainly production in a non-irrigated areas, and even more in places which have insufficient rainfall. The use of straw protects soil from evaporation keeping the soil moisture. This study was made to quantify the water loss from the soil in the initial stages of maize and soybean cultures in the no-till farming system. The research was developed in an experimental area that belongs to the Departamento de Engenharia Rural of Universidade Federal de Santa Maria. The study was divided in two experiments, one that was done with maize was conducted starting in December, 16th 2007 and finishing in January, 16th 2008; the other experiment, done with soybean, was proceeded between January 17th and March 1st, 2008; both experiments were conducted under a mobile straw cover, which was used when it rained. The experiments occurred with five different treatments, no-tillage farming system without cover, no-tillage farming system with 3.0 Mg ha⁻¹ of bristle oat straw (*Avena strigosa* Scop); no-tillage farming system with 6.0 Mg ha⁻¹ of bristle oat straw (*Avena strigosa* Scop); no-tillage farming system with 3.0 Mg ha⁻¹ of oat and tare (*Vicia Sativa* L.) straw. The blend it was composed of 75% of oat and 25% of tare. The water loss was determined in two drying soil cycles in the maize culture, and three cycles for the soybean culture, then making an water accountancy of soil portions, the first portion was from 0 to 20 cm, and the second portion was from 20 to 40 cm, based on the volume of humidity data, determined with TDR measurement in intervals from 15 minutes. It was compared the first drying cycle the both experiments following the Kc Dual methodology of cultivation, to the results obtained, the presence of 6 Mg ha⁻¹ of oat straw in the surface shrink down 26.3% the maximum values of evaporation estimated to the maize culture. In the soybean cultivation there was a reduction of 52%, when there was a cover of 6 Mg ha⁻¹ of oat straw.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Divisão da evapotranspiração em evaporação e transpiração no período de crescimento das culturas anuais. Adaptado de ALLEN et al (2006).....	14
Figura 2-	Ilustração da variação do coeficiente da cultura de base (Kcb) relativo à transpiração da cultura e o coeficiente de evaporação da água do solo (Ke) (Allen et al., 1998).....	15
Figura 3-	Representação dos componentes utilizados em conjunto, contendo o TDR, o CR10X, e multiplexador (SDMX50).....	25
Figura 4-	Altura de plantas e índice de área foliar das plantas de milho durante o período de condução do experimento, sob sistema de plantio direto sem cobertura (SPD 0), sistema de plantio direto com 3 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3), sistema de plantio direto com 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 6), sistema de plantio direto com 3 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 3M) e sob sistema de plantio direto com 3 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 3M), Santa Maria, 2009.....	28
Figura 5-	Irrigações aplicadas e evapotranspiração de referência (ET _o) durante o período de condução do experimento com a cultura do milho. Santa Maria, 2009.....	30
Figura 6-	Perda diária de água do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em função dos DAS, no primeiro ciclo de secagem de água do solo, Santa Maria, 2009.....	31
Figura 7-	Perda diária de água do solo na profundidade de 20 a 40 cm, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), no primeiro ciclo de secagem do solo em função dos DAS, no primeiro ciclo de secagem de água do solo com a cultura do milho. Santa Maria, 2009.....	33

Figura 8-	Perda acumulada de água do solo na profundidade de 0 a 20 cm, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em função da ETo acumulada, no primeiro ciclo de secagem de água do solo, Santa Maria, 2009.....	35
Figura 9-	Perda acumulada de água do solo na profundidade de 20 a 40 cm, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em função da ETo acumulada, no primeiro ciclo de secagem de água do solo, Santa Maria, 2009.....	37
Figura 10-	Perda diária da água do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), no segundo ciclo de secagem do solo em relação aos DAS na cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.....	39
Figura 11-	Perda diária de água do solo na camada de 20 a 40 cm de profundidade para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), no segundo ciclo de secagem do solo em relação aos DAS na cultura do milho Santa Maria, RS, 2009.....	41
Figura 12-	Perda acumulada de água na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo com cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), no segundo ciclo de secagem do solo em relação à evapotranspiração de referência (ETo) acumulada na cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.....	43

Figura 13-	Perda acumulada de água na camada de 20 a 40 cm de profundidade de solo com os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), no segundo ciclo de secagem do solo em relação à ETo acumulada na cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.....	45
Figura 14-	Diferença de perda de água ocorrida em sistema de plantio direto com 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0) na camada de 0 a 20 cm de profundidade no primeiro ciclo de secagem do solo, para experimento com cultura do milho, Santa Maria, 2009.....	46
Figura 15-	Comparação entre as perdas por evaporação do solo obtidas a campo com os tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0) e a evaporação do solo estimada em função da ETo acumulada, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, 2009.....	48
Figura 16-	Altura de plantas e índice de área foliar das plantas de soja durante o período de condução do experimento sob sistema de plantio direto sem cobertura (SPD 0), sistema de plantio direto com 3 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3), sistema de plantio direto com 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 6), sistema de plantio direto com 3 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 3M) e sob sistema de plantio direto com 3 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 3M). Santa Maria, 2009.....	56
Figura 17-	Irrigações aplicadas e evapotranspiração de referência (ETo) durante o experimento com a cultura da soja. Santa Maria, 2009.....	58

Figura 18-	Perda diária de água do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, no primeiro ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação aos DAS na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.....	60
Figura 19-	Perda diária de água do solo na camada de 20 a 40 cm de profundidade, no primeiro ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação aos DAS na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.....	62
Figura 20-	Perda acumulada de água na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo, no primeiro ciclo de secagem para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação à ETo acumulada na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.....	64
Figura 21-	Perda acumulada de água na camada de 20 a 40 cm de profundidade de solo, no primeiro ciclo de secagem para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação aos DAS na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.....	66
Figura 22-	Perda diária de água na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo, no segundo ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação à ETo acumulada na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.....	68

Figura 23-	Perda diária de água na camada de 20 a 40 cm de profundidade de solo, no segundo ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação à ETo acumulada na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.....	69
Figura 24-	Perda acumulada de água na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo, no segundo ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação à ETo acumulada na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.....	70
Figura 25-	Perda acumulada de água na camada de 20 a 40 cm de profundidade de solo, no segundo ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação à ETo acumulada na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.....	72
Figura 26-	Perda diária de água do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo, no terceiro ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação aos DAS na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.....	74
Figura 27-	Perda diária de água do solo na camada de 20 a 40 cm de profundidade de solo, no terceiro ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação aos DAS na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.....	76

- Figura 28- Perda acumulada de água na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo, no terceiro ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação à ETo acumulada na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009..... 78
- Figura 29- Perda acumulada de água na camada de 20 a 40 cm de profundidade de solo, no terceiro ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação à ETo acumulada na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009..... 79
- Figura 30- Diferença de perda de água ocorrida em sistema de plantio direto com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0) na camada de 0 a 20 cm de profundidade no primeiro ciclo de secagem do solo, para experimento com cultura da soja. Santa Maria, 2009..... 81
- Figura -31 Comparação entre as perdas por evaporação do solo obtidas a campo com os tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), e a evaporação do solo estimada, em função da ETo acumulada, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, 2009..... 83

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 a 20 cm e 20 a 40 cm, nos cinco tratamentos estudados, Santa Maria, 2009.....	23
Tabela 2 - Textura do solo em plantio direto antes do início do experimento, Santa Maria, RS, 2009.....	24
Tabela 3 - Comparação de médias de índice de área foliar para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.....	29
Tabela 4 - Comparação de médias de perdas diárias de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009	32
Tabela 5 - Comparação de médias de perdas diárias de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.....	34
Tabela 6- Comparação de médias de perdas acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia, nas profundidades de 0 a 20 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.....	36

Tabela 7 - Comparação de médias de perdas acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia, nas profundidades de 20 a 40cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.....	38
Tabela 8 - Comparação de médias de perdas diária de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.....	40
Tabela 9 - Comparação de médias de perdas diária de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia,na profundidade de 20 a 40 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.	42
Tabela 10 - Comparação de médias de perdas acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.....	44

Tabela 11 - Comparação de médias de perdas acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no segundo ciclos de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS,2009.....	46
Tabela 12 - Comparação de médias de índice de área foliar e altura de plantas para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.....	57
Tabela 13 - Comparação de médias de perda diária de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009...	61
Tabela 14 - Comparação de médias de perda diária de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.....	63
Tabela 15 - Comparação de médias de perda acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha ⁻¹ e 6,0 Mg ha ⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009...	65

- Tabela 16 - Comparação de médias de perda acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009... 67
- Tabela 17 Comparação de médias de perda diária de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009... 68
- Tabela 18 - Comparação de médias de perda diária de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009... 69
- Tabela 19 - Comparação de médias de perda acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009... 71
- Tabela 20 - Comparação de médias de perda acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009... 73

- Tabela 21 - Comparação de médias de perda diária de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20cm, no terceiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009..... 75
- Tabela 22 Comparação de médias de perda diária de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no terceiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009... 77
- Tabela 23 - Comparação de médias de perda acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20cm, no terceiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009..... 78
- Tabela 24 - Comparação de médias de perda acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no terceiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009... 80

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1 - Dados meteorológicos coletados durante o período de realização do experimento com a cultura do milho. Santa Maria, 2009.....	91
Apêndice 2 - Dados meteorológicos coletados durante o período de realização do experimento com a cultura da soja. Santa Maria, 2009.....	92
Apêndice 3 - Resultados da análise química do solo realizada antes do início do experimento. Santa Maria, RS.....	93

|

SUMÁRIO

RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE APÊNDICES.....	XV
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Evaporação da água do solo.....	4
2.2 Fatores que influenciam na evaporação de água do solo no sistema de plantio direto.....	6
2.2.1 Meteorológicos.....	6
2.2.2 Características físicas do solo.....	7
2.2.3 Sistema de cultivo plantio direto.....	9
2.2.4 cobertura do solo com resído vegetal.....	10
2.2.5 Crescimento e desenvolvimento das plantas.....	13
3 CAPÍTULO I - EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DO SOLO NA FASE INICIAL DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO MILHO.....	17
RESUMO.....	17
ABSTRACT.....	18
3.1 Introdução.....	19
3.2 Material e métodos.....	20
3.2.1 Caracterização do experimento.....	20
3.2.2 Manejo da cultura.....	21
3.2.3 Crescimento e desenvolvimento da cultura.....	22
3.2.4 Características físico-hídricas do solo.....	22
3.2.5 Determinação das perdas de água do solo.....	24
3.2.6 Determinação da evaporação do solo pelo método Sindual kC.....	25
3.2.7 Análise estatística.....	27
3.3 Resultados e discussão.....	27
3.3.1 Crescimento e desenvolvimento das plantas.....	27

3.3.2	Perdas de água por evaporação.....	29
3.3.2.1	Primeiro ciclo de secagem do solo.....	30
3.3.2.2	Segundo ciclo de secagem do solo.....	38
3.3.4	Coeficiente de evaporação da água do solo.....	47
3.5	Conclusões.....	49
4	CAPÍTULO II - EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DO SOLO NA FASE INICIAL DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DA SOJA	50
	Resumo.....	50
	Abstract.....	51
4.1	Introdução.....	51
4.2	Material e métodos.....	53
4.2.1	Caracterização do experimento.....	53
4.2.2	Manejo da cultura.....	54
4.2.3	Análise estatística.....	55
4.3	Resultados e discussão.....	55
4.3.1	Crescimento e desenvolvimento das plantas.....	55
4.3.2	Determinação das perdas de água do solo.....	57
4.3.3	Perdas por evaporação da água do solo.....	58
4.3.3.1	Primeiro ciclo de secagem do solo.....	59
4.3.3.2	Segundo ciclo de secagem do solo.....	67
4.3.3.3	Terceiro ciclo de secagem do solo.....	73
4.3.4	Coeficiente de evaporação da água do solo.....	81
4.4	Conclusões.....	83
5	CONCLUSÕES GERAIS.....	84
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
7	APÊNDICE.....	90

1 INTRODUÇÃO

A água é um fator fundamental à produtividade das culturas, tendo papel importante nas flutuações na produtividade das culturas, principalmente em lavouras não irrigadas e, em regiões que apresentam períodos de déficit hídrico. O setor agrícola é considerado mundialmente como o maior consumidor de água, alcançando cerca de 70% do total de água derivada de rios, lagos e aquíferos subterrâneos. Os outros 31% são consumidos pelas indústrias e pelo uso doméstico (CHRISTOFIDIS, 1997). A cobertura morta na superfície do solo, a temperatura do solo e a umidade do solo são fatores intimamente interligados e, quando manejados adequadamente, propiciam conservação do solo e da água, além de beneficiar à produção das culturas. A implantação de culturas de cobertura e sua manutenção na superfície do solo têm sido utilizadas amplamente para aumentar a retenção de água no solo, além de diminuir a evaporação da água e o escoamento superficial, elevando a taxa de infiltração (BRAGAGNOLO & MIELNICZUCK, 1990). A literatura usualmente descreve que a manutenção da palhada na superfície do solo faz com que diminua a quantidade de evaporação do solo, mantendo o mesmo mais úmido, diminuindo as oscilações de temperatura no solo e, conseqüentemente, aumentando o conteúdo de água no solo, pois a palha serve de proteção contra os fatores ambientais (vento, radiação solar).

O termo evapotranspiração é amplamente utilizado para a passagem da água do estado líquido para o gasoso e, neste processo, incluem-se dois processos distintos (REICHARDT & TIMM, 2004). A evaporação e a transpiração representam uma porção significativa do movimento da água através do ciclo hidrológico. Além da radiação solar, outras variáveis como: temperatura do ar, vento e pressão de vapor, também interferem na evaporação, principalmente em superfícies livres de água. Poucos estudos foram realizados para medir diretamente as perdas de água por evaporação, principalmente em culturas irrigado cultivadas no sistema plantio direto. Entretanto, a estimativa da evapotranspiração das culturas é realizada sem levar em consideração a quantidade de resíduos vegetais depositados na superfície do solo. Essa cobertura muito provavelmente interfere positivamente na redução da

evaporação da água do solo para a atmosfera nos estádios iniciais de desenvolvimento das culturas.

A cobertura de palha sobre a superfície do solo diminui a taxa de evaporação, e, provavelmente, uma maior quantidade de cobertura do solo produza uma expressiva economia nos custos de operação dos sistemas de irrigação (STONE & MOREIRA, 2000). 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. Existem metodologias desenvolvidas para estimar o consumo de água pelas culturas nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas, como o coeficiente dual de cultivo, apresentado por ALLEN et al. (2005). Essa metodologia separa o componente da evapotranspiração da cultura em dois, o componente da evaporação e o da transpiração. Esta metodologia permite prever 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. Mesmo sendo coeficientes que podem ser obtidos para determinar perdas de água por evaporação em solo descoberto, não se tem informações sobre o comportamento destes coeficientes em sistema de plantio direto, como é o caso da maioria das lavouras irrigadas no Brasil.

Estimativas das perdas de água por evaporação, considerando diferentes tipos e quantidades de palha na superfície são necessárias para estimar com mais precisão as recomendações de manejo de irrigação, aumentando a eficiência do uso da água de irrigação, principalmente durante o período de semeadura-emergência das plântulas até o completo recobrimento da superfície do solo pela área foliar das plantas. A evapotranspiração das culturas é usualmente estimada com precisão quando o dossel vegetativo da cultura recobre totalmente a superfície do solo. Maior imprecisão é observada nas fases iniciais de desenvolvimento das plantas, especialmente quando a cultura irrigada estiver sendo cultivado no sistema plantio direto, pois nesse sistema a umidade permanece por mais tempo no solo o que faz com que o solo continue perdendo água por evaporação por mais tempo. 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 o rendimento da cultura. 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. Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de quantificar as perdas de água do solo por evaporação, nos estádios iniciais de desenvolvimento das culturas do milho e soja, cultivadas em sistema plantio direto com diferentes tipos e quantidades de palhada na superfície do solo. Esse trabalho também tem como objetivos: (i) quantificar as perdas de água por evaporação nos sistemas de plantio direto (com diferentes quantidades e tipos de palha); (ii) quantificar a participação da fração evaporada da água da superfície do solo na evapotranspiração das culturas, para estimar com precisão o requerimento hídrico da cultura nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas e; (iii) avaliar a interferência da área foliar nas perdas de água por evaporação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Evaporação da água do solo

O consumo de água das culturas é determinado, basicamente, pela demanda evaporativa da atmosfera, propriedades do solo e características das plantas (BERGAMASCHI, 1992). Segundo CARLESSO (1995), o suprimento de água às plantas é determinado pela habilidade da cultura em utilizar a água armazenada no solo e, a demanda, por outro lado, é determinada pela combinação dos fatores meteorológicos interagindo com o dossel vegetativo da cultura. As perdas de água por evaporação e transpiração de um cultivo constituem a evapotranspiração. Determinação essa que é essencial para estimar a quantidade de água requerida para irrigação (PEREIRA et al., 1997). A evapotranspiração máxima acumulada de uma cultura depende do seu ciclo de desenvolvimento, o qual varia principalmente com as características das plantas, fenologia, umidade do solo e condições atmosféricas, destacando-se a radiação solar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura do ar. Características da comunidade de plantas também influenciam a evaporação da água do solo, como arquitetura foliar, taxa de crescimento e cobertura do solo, população de plantas, espaçamento entre linhas, orientação das folhas, altura das plantas, profundidade e densidade do sistema radicular e fenologia da cultura (SEDYAMA et al., 1998). De acordo com BERLATO & MOLION (1981), o controle da evaporação da água do solo exercido pela vegetação seria através da sua estrutura, afetando o albedo, a rugosidade e o sistema radicular. Na medida em que diminui a umidade do solo, ocorrem restrições à transferência de água da planta para a atmosfera, que passa a depender não somente das condições meteorológicas, mas também do sistema radicular das plantas, bem como de outras características, como o estado fitossanitário das mesmas. A perda de água do solo pelo processo de evaporação constitui-se num importante parâmetro no ciclo hidrológico, podendo atingir 50% ou mais da quantidade de água evapotranspirada em um solo descoberto (PREVEDELLO, 1996). Mas, esse é um processo indesejado para a agricultura, pois a água não participa diretamente do ciclo das plantas. A palha na superfície do solo, em sistema de plantio direto, tem um efeito redutor da evaporação da água do solo, formando

uma barreira reduzindo as perdas de água (MUZILLI, 1985) e, ao mesmo tempo, reduz a quantidade de energia que entra no sistema, pelo aumento da refletividade e da rugosidade na superfície, mudando as características aerodinâmicas da camada limite próximo ao solo (VANBAVEL & HILLEL, 1976; SHEN & TANNER, 1990).

Durante os estádios iniciais de desenvolvimento das culturas, as perdas de água por evaporação do solo são expressivas, pois nesse período, a área foliar é pequena e, DOOREMBOS & PRUITT (1977) e ALLEN et al. (1998) definiram que, para culturas anuais o período entre a semeadura e a expansão da área foliar, o solo é coberto pela cultura por apenas 10% do dossel vegetativo. Este período representa as condições em que o solo se encontra usualmente descoberto nos sistemas de cultivo que utilizam o revolvimento parcial. 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). A evaporação da água de um solo sem cobertura, por exemplo, apresenta três estágios distintos, que sucedem ao longo do tempo de secagem do solo (LEMON, 1956; IDSO et al., 1975). No primeiro estágio, quando a superfície está úmida, a evaporação é elevada, constante e independente da umidade do solo. Neste período as perdas de água por evaporação dependem das condições da demanda evaporativa da atmosfera próximo ao solo (REICHARDT, 1996). O segundo estágio da evaporação inicia quando começa a ter uma resistência ao fluxo de água no interior do solo à superfície, pela diminuição da umidade (PHILLIPS, 1984). Em consequência disso, uma rápida redução da taxa de perda de água com o tempo. Segundo IDSO (1974), neste estágio, a evaporação se mantém até a umidade na superfície do solo alcançar um valor crítico, sendo este variável para cada tipo de solo. Um terceiro estágio começa quando a relação entre a taxa de evaporação e a umidade do solo perde a linearidade estabelecida no segundo estágio e o solo se encontra bem mais seco. A taxa de perda de água é extremamente lenta e governada pelas forças adsortivas, que equivalem à distância molecular da interface sólido-líquido (LEMON, 1956). Nesse terceiro estágio, a evaporação ocorre no interior do solo e o transporte da umidade para a atmosfera é feito por difusão de vapor, que é mais lento do que seria a perda de água em superfície (LEMON, 1956). Num estudo feito a campo, IDSO et al. (1974), não só comprovaram a existência dos três estágios como também concluíram sobre outros aspectos importantes relacionados à perda de água por evaporação. De acordo com

estes autores, a transição entre os estágios de secagem do solo, pode ser deduzida através da medição do albedo na superfície do solo. Ao mesmo tempo observaram que, quando a superfície é umedecida novamente durante à noite, pode reiniciar um segundo estágio no dia seguinte, entretanto, pode não ser aplicável para todo tipo de solo, devido às diferenças na sua constituição, bem como entre os distintos estágios de secagem, visto que, a transição entre eles é abrupta, principalmente do segundo para o terceiro estágio. 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 de água 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).

2.2 Fatores que influenciam na evaporação de água do solo no sistema de plantio direto

2.2.1 Meteorológicos

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 à superfície, trocando o ar saturado por um ar mais seco. Esta troca depende grandemente da velocidade do vento. Além disso, é necessário que exista algum mecanismo que retire as moléculas da interface água-ar e previna que essas moléculas condensem novamente. A quantidade de água e a velocidade a que esta circula nas diferentes etapas do ciclo hidrológico são influenciadas por diversos fatores como, por exemplo, a cobertura vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e geologia. A disponibilidade hídrica é a maior causa de variabilidade dos rendimentos de grãos observados a cada ano nas diversas regiões produtoras brasileiras (FARIAS, 2004). No ambiente natural, os parâmetros climatológicos mais

importantes que devem ser considerados quando se avalia o processo de evaporação da água do solo são a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento (ALLEN, 2005).

2.2.2 Características físicas do solo

Os sistemas de manejo do solo afetam diferentemente a densidade e porosidade e o armazenamento de água ao longo do perfil do solo, interferindo diretamente no desenvolvimento e na produtividade das culturas. Porém, no sistema plantio direto, na grande maioria dos casos, o solo encontra-se protegido pela cobertura morta. Assim, aliando-se o efeito desta cobertura com a maior estabilidade estrutural, a infiltração de água no solo no sistema plantio direto tem sido mais elevada que em outros sistemas de preparo, ocasionando menor perda de água por escoamento superficial e por evaporação direta (ROTH & VIEIRA, 1983), aumentando o armazenamento de água no solo e, conseqüentemente, disponibilizando mais água às plantas. A estrutura do solo, a consistência, a porosidade total, o número e tamanho dos poros e a difusão de gases são afetados pela compactação, afetando o crescimento das raízes e, por conseqüência, afeta o crescimento e desenvolvimento da cultura (TAYLOR & BRAR, 1991). Em termos práticos, o uso intensivo de máquinas, segundo CAMARGO & ALLEONI (1997), vem tornando comuns os problemas de compactação em solos agrícolas. Com a crescente utilização do sistema plantio direto, os atributos físicos do solo têm sido modificados, necessitando de pesquisas com períodos de duração mais longos para se poder estudar os fenômenos ligados à sua estrutura.

MUZILLI (1985) afirma que, a cobertura de resíduos acumulada sobre o solo no sistema plantio direto contribui para aumentar o armazenamento de água através da formação de uma camada isolante que impede a evaporação direta da água da superfície do solo. Esse armazenamento possibilita melhor uniformidade na germinação das sementes e no crescimento inicial das plantas. A cobertura contribui ainda que indiretamente para a conservação da água no solo e no controle de plantas daninhas, as quais consomem grande quantidade de água pela transpiração (BERTONI, 1959) e esta contribui também para a redução de perdas por evaporação, diminuindo as variações de umidade, principalmente na camada superficial. Em um trabalho conduzido por BRAGAGNOLO & MIELNICZUK (1990) a umidade foi de 8 a 10% superior no solo com palha de trigo na superfície em

comparação com o solo desnudo nas camadas de 0 a 10 a 10 a 20 cm de profundidade. Os mesmos autores observaram também que, quatro dias após a irrigação o conteúdo de água no solo desnudo encontrava-se próxima ao ponto de murcha permanente, enquanto que o solo coberto com 5 a 7 Mg ha⁻¹ de palha apresentava umidade na faixa da água disponível.

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 quantidade 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 Mg ha⁻¹, ocasionam pequenos incrementos na porosidade comparados quando não se utiliza palha em cobertura. Similarmente, para quantidades de palha acima de 8,0 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). Os autores 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. A utilização de culturas de coberturas de solo tem uma grande importância na melhoria das condições de solo (químicas, físicas e biológicas) (AMABILE et al., 1994 e FAVARETTO et al., 2000). Apresentando como um de seus múltiplos efeitos o de controle da erosão hídrica, manutenção ou acúmulo de matéria orgânica no interior do perfil do solo (BIEDERBECK et al., 1998; ALCANTARA et al., 2000).

A quantidade total de água armazenada no perfil de um solo é tradicionalmente definida como sendo uma característica estática, representando a quantidade de água que um solo pode reter ou armazenar entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (CARLESSO & ZIMMERMANN, 2000). Em função do manejo a que está submetido, o solo tanto é passível de degradação quanto de melhoramento, em seu potencial produtivo. Quando ocorre a degradação da estrutura do solo, tem-se como efeito imediato o aumento da sua densidade, diminuição da macroporosidade e armazenamento de água ao longo do perfil,

caracterizando a compactação desse solo (STONE & MOREIRA, 2000; ALVES, 2001). O melhor aproveitamento da água retida no solo pode tornar-se fundamental para a melhoria das produções e das condições do solo, pois, à medida que é submetido a muitos ciclos de umedecimento e secagem, o solo pode ter suas propriedades físicas prejudicadas como, por exemplo, um aumento na densidade do solo (FASSBENDER, 1982).

Sistemas de cultivo de solo sem revolvimento foram mais eficientes, pois com a superfície do solo coberta durante todo o ano, evitam-se grandes perdas de água por evaporação, como constatado por GIRALDES & GONZÁLEZ (1994). Segundo TENORIO et al.(1997) e TENORIO et al. (2001), perfis de solo em parcelas de pousio contêm ao redor de 10% mais água que perfis de parcelas com cultivos, devido às menores perdas de água que sofrem as parcelas diante da ausência de consumidores potenciais. A quantidade de água que as plantas podem retirar do solo para sua utilização encontra-se dentro de alguns limites denominados assim de capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Esses valores estão intimamente ligados às características físicas do solo como textura, por exemplo, e de outras características que podem ser modificadas pelo manejo, como a estrutura e a porosidade. Na literatura encontram-se algumas divergências de resultados, mas a maior parte dos trabalhos indica uma superioridade do plantio direto em relação ao sistema convencional no que se trata de armazenamento e disponibilidade de água às plantas (SIDIRAS et al., 1983; CENTURION & DEMATTÊ, 1985; NESMITH et al., 1987; NORWOOD, 1994; SALTON & MIELNICZUCK, 1995; DRURY et al., 1999; SILVA et al., 2001b; LAMPURLANÉS et al., 2001).

2.2.3 Sistema de cultivo plantio direto

O surgimento do plantio direto ocorreu para controlar ou reduzir a erosão do solo. Este sistema tem como princípio básico, a manutenção dos resíduos vegetais de espécies antecedentes à cultura na superfície do solo e o estabelecimento das culturas através da mobilização apenas na linha de semeadura. Devido à drástica redução da erosão, ocorre a contaminação do meio ambiente, possibilitando ao agricultor maior garantia de renda, pois a estabilidade da produção é ampliada, em comparação aos métodos tradicionais de manejo de solo. Por seus efeitos benéficos sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, pode-se afirmar que o

sistema plantio direto é uma ferramenta essencial para se alcançar a sustentabilidade dos sistemas agropecuários. Esse sistema de produção requer cuidados na sua implantação, mas, depois de estabelecido, seus benefícios se estendem não apenas ao solo, mas, também, ao rendimento das culturas e a competitividade dos sistemas agropecuários (SANTANA et al., 2008).

O sistema plantio direto tem-se caracterizado por apresentar, na camada de 0 a 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 e MUZILLI, 1984; CORRÊA, 1985). Em sistema de plantio direto, o solo tende a apresentar uma maior continuidade e interligação entre os poros (MAULÉ & REED, 1993; SCHAEFER et al., 2001), o que facilita o transporte de água até a superfície para manter o processo de evaporação. Entre as práticas de manejo do solo e cultura que interferem na perda de água do solo por evaporação, a que tem mais efeito é a presença da palha das culturas na superfície do solo.

2.2.4 Cobertura de solo com resíduo vegetal

Vários trabalhos indicam que a cobertura de solo com palha reduz as perdas de água por evaporação por formar uma barreira que dificulta os processos de condução e difusão de vapor na superfície, e aumenta a refletividade devida sua coloração mais clara (BAUMHART et. al. 1985; CENTURION & DEMATTÊ, 1985; MOROTE et. al., 1990; BRAGAGNOLO & MIELCNICZUCK, 1990b; FORTIN, 1993; SALTON & MIELCNICZUCK, 1995). A diferença na quantidade de água disponível às plantas em sistema de plantio direto e convencional é maior quanto mais próximo a superfície, e esse fato é mais freqüente quando o solo se encontra em processo de secagem avançado devido à evaporação da água do solo. (BRAGAGNOLO & MIELCNICZUCK, 1990a; FORTIN, 1993; SAUER et. al., 1996). Nessa situação, a água está mais dependente de forças de adsorção do que das forças de capilaridade (CENTURION & DEMATTÊ, 1985), dificultando a absorção de água pelas plantas em solos mais secos, como na maioria dos casos verificados em sistema de plantio convencional. No sistema de plantio direto, o conteúdo de água do solo é maior que em áreas cultivadas em preparo convencional (SIDIRAS ET AL., 1983; SALTON & MIELNICKZUK, 1995). SIDIRAS et al. (1983) verificaram que em sistema de plantio direto o solo reteve de 36% a 45% a mais de água disponível

para as culturas, reduzindo as perdas de água por evaporação do solo. MELO FILHO & SILVA (1993) verificaram que o conteúdo de água no solo foi mais elevado nas parcelas submetidas ao sistema de plantio direto, durante o primeiro mês da cultura do milho, em decorrência da maior cobertura do solo, e mais baixo que o encontrado no sistema convencional durante os meses seguintes. Isso aconteceu devido à rápida decomposição da palha dos resíduos, característico do clima tropical, que diminui a percentagem de palha e, conseqüentemente aumenta a evaporação do solo.

A diminuição da evaporação é apontada como uma das maiores vantagens da permanência dos resíduos na superfície do solo (CAMPOS et. al., 1994), a qual reduz aproximadamente 30% às perdas de água por evaporação em sistema de plantio direto comparado ao sistema plantio convencional (MOROTE et. al., 1990; BRAGAGNOLO & MIELNICZUCK, 1990b). Apesar dessas afirmações, faz-se necessário um maior entendimento sobre o assunto, pois o efeito da palha depende da taxa de cobertura, da uniformidade de distribuição da mesma e da quantidade adicionada ao solo, além do tipo e da cor, que variam com a exposição ao ambiente (STEINER, 1989; SAUER et. al., 1996; SINGH et al. 1996; FLERCHINER et. al., 2003). Em experimentos realizados em ambientes controlados, SAUER et al.(1996) observaram que, a evaporação da água foi menor nos locais onde se encontravam as parcelas de solo coberto de palha em relação àquelas de solo desnudo. Estes autores também observaram que houve uma significativa redução da evaporação quando se aumentava a quantidade de palha na superfície, de maneira semelhante que foi verificado por BOND & WILLIS (1969) em um experimento em laboratório e por BRAGAGNOLO & MIELNICZUCK (1990b) a campo, a partir de avaliações indiretas, pela umidade volumétrica. Em um trabalho realizado por MELO FILHO & SILVA (1993) pôde-se constatar 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 conseqüência da presença de palha na superfície do solo. Após esse período os autores 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, redução da cobertura no plantio direto e, também, devido ao crescimento e desenvolvimento das plantas, que acabam por consumir mais água devido ao aumento da área foliar. Este comportamento pode ser explicado em experimento realizado por STONE & MOREIRA (2000) constataram que devido à

função da rápida decomposição dos resíduos com baixa relação C/N, característica esta de clima tropical, ocorre uma diminuição da porcentagem de cobertura do solo pela palha e, em consequência, ocorre um aumento das perdas de água por evaporação e por escoamento superficial. A palha de milho 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 sistema plantio direto e no sistema 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. Na maioria das vezes, o conteúdo volumétrico de água é maior no solo sob semeadura direta do que no preparo convencional (ZHAI et al., 1990). Atribui-se esse fator à modificação de tamanho de poros de solos sob semeadura direta e à menor evaporação da água diretamente da superfície de solos com cobertura de resíduo vegetal. Mas existem contradições na literatura se o incremento do armazenamento de água no solo representa um benefício ao crescimento das plantas (TOLLNER et al., 1984; ZHAI et al., 1990). TOLLNER et al. (1984) relatam que, a influência dos sistemas de manejo sobre as características hídricas do solo depende do clima e das propriedades de solos, principalmente a textura e a estrutura. Assim, a utilização de cobertura vegetal na superfície do solo reduz a influência das condições meteorológicas e físicas do solo na evaporação da água do solo (BONSU, 1997).

As plantas de cobertura são utilizadas com a finalidade de proteger o solo da erosão e melhorar suas características físicas, químicas e biológicas e é um dos principais fatores que determinam o sucesso ou não do sistema plantio direto (ARGENTA et al., 2000). Com essa finalidade, diversas plantas são utilizadas, tais como: ervilhaca (*Vicia villosa*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), aveia preta (*Avena strigosa*), entre outras. Além da quantidade, também é importante a qualidade da palhada proveniente das mais diversas plantas de cobertura de solo. Deve-se enfatizar a limitação da utilização de leguminosas como cobertura de solo, principalmente em regiões mais quentes devido à baixa relação C/N, que faz com que ocorra a aceleração da decomposição da palha. Na região Sul do Brasil, destaca-se a utilização do consórcio entre gramínea e leguminosa. O cultivo

consorciado dessas espécies consorciadas resulta em um material com relação C/N, intermediária aquelas das espécies isoladas, com menor taxa de decomposição, se comparada a das leguminosas isoladas, proporcionando um aumento de tempo de cobertura de solo. Cita-se ainda a liberação mais rápida dos nutrientes dos resíduos de leguminosas, disponibilizando-os mais rapidamente para a cultura principal (GIACOMINI et al., 2003). RANELLS & WAGGER (1996) para o consórcio entre centeio e ervilhaca peluda, e HEINRICHS et al. (2001) para o consórcio entre aveia preta e ervilhaca comum. Além da relação C/N, as proporções dos carboidratos estruturais e lignina também podem ser alteradas nos resíduos culturais de espécies consorciadas (RANELLS & WAGGER, 1996).

2.2.5 Crescimento e desenvolvimento das plantas

O crescimento e desenvolvimento da cultura podem, ao mesmo tempo, ser afetados pelos sistemas de manejo e afetar os processos que ocorram nos mesmos. Dependendo do sistema utilizado, sistema de plantio direto ou sistema de plantio convencional, podem ocorrer alterações no crescimento das plantas e na data de ocorrência dos estádios fenológicos, como por exemplo, na cultura do milho (DALMAGO, 2004). A presença de plantas crescendo interfere indiretamente no processo de evaporação da água do solo, pois com o aumento da área foliar ocorre um aumento da interceptação da radiação solar incidente nas mesmas e, devido incremento da área foliar das plantas, ocorre o sombreamento do solo, reduzindo a disponibilidade de energia em direção ao solo. Na fase inicial das culturas, 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). O crescimento e desenvolvimento das plantas e a conseqüente diminuição da evaporação da água do solo, é exemplificado na figura 1.

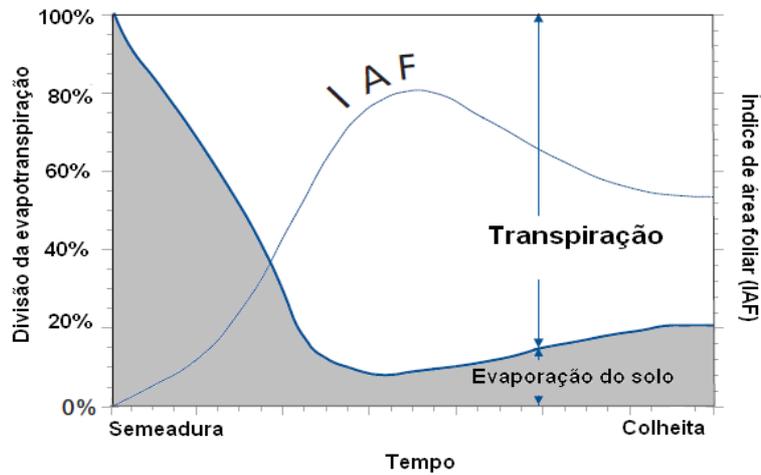


Figura 1 - Divisão da evapotranspiração em evaporação e transpiração no período de crescimento das culturas anuais. Adaptado de ALLEN et al (2006).

Inicialmente, o efeito do índice de área foliar é pequeno, mas sua importância aumenta durante o ciclo de crescimento e desenvolvimento das plantas. A evapotranspiração ocorre predominantemente na forma de evaporação. Entretanto, estimativas precisas da ETo durante este período devem considerar a frequência com que a superfície do solo é umedecida. O período inicial de desenvolvimento das culturas anuais é definido por DOOREMBOS & PRUITT (1977) e ALLEN et al. (1998) como um período em que aproximadamente 10% de cobertura do solo é realizado pelo dossel vegetativo da cultura. Este período representa as condições em que o solo se encontra usualmente descoberto nos sistemas de cultivo com revolvimento do solo e, 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 do solo e a evaporação decresce (ALLEN et al., 2005). Dessa forma, a evaporação da água na superfície do solo, tende a ser maior no início do ciclo das culturas do que quando o índice de área foliar for máximo, quando a maior quantidade de energia é interceptada pelo dossel (BERGAMASCHI et al. 2004). A área foliar é um excelente indicador da capacidade fotossintética da planta e sua determinação é importante para estudos da relação solo-água-planta. O método de Kc "Dual" foi adicionado ao método do coeficiente simples, para simular os impactos da evaporação separadamente (ALLEN et al., 2005). Neste cálculo 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. O coeficiente de cultura, o qual é uma relação entre a evapotranspiração máxima das plantas e a evapotranspiração de referência, durante seus estágios iniciais, 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 fase de crescimento que avalia os efeitos da frequência de irrigação no K_c . Assim, o coeficiente de cultivo é dividido em:

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

Onde: 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 coeficiente basal (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 coeficiente da cultura (k_c) na ausência dos fatores adicionais introduzidos pelo umedecimento do solo pela precipitação pluvial ou pela irrigação. O componente que descreve a evaporação na superfície do solo, coeficiente de evaporação da água do solo (K_e), pode assumir valores elevados após o umedecimento do solo por uma irrigação ou precipitação pluvial (ALLEN et al, 2005).

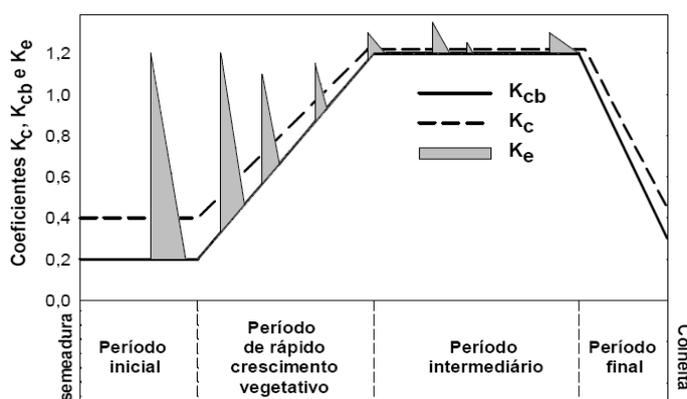


Figura 2 - Ilustração da variação do coeficiente da cultura de base (K_{cb}) relativo à transpiração da cultura e o coeficiente de evaporação da água do solo (K_e) (Allen et al., 1998).

O coeficiente de redução da evaporação da água do solo (K_r) expressa o primeiro e o segundo estágio do processo de evaporação. 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.

Durante um ano de produção da cultura do milho irrigado, KLOCKE et al. (1990), relataram que a evaporação direta da água do solo representou 30% de toda a evapotranspiração. 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 - EVAPORAÇÃO DE ÁGUA DO SOLO NA FASE INICIAL DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DO MILHO

Resumo - As perdas de água por evaporação são importantes nos estádios iniciais das culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas de água por evaporação de um solo cultivado no sistema plantio direto. Foram realizados dois experimentos, com a cultura do milho e com a cultura da soja, sob uma cobertura móvel para controlar as precipitações pluviais no local. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com cinco tratamentos e três repetições. Os tratamentos utilizados foram: (i) sistema de plantio direto em solo desnudo (SPD0); (ii) sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia preta (*Avena strigosa* Scrb) na superfície do solo (SPD 3); (iii) sistema de plantio direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia preta na superfície do solo (SPD 6); (iv) sistema de plantio direto com 3 Mg ha⁻¹ de palha de aveia misturada com palha de ervilhaca (*Vicia sativa* L.), sendo 75% palha de aveia e 25% de ervilhaca (SPD 3M); e (v) sistema de plantio direto 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia misturada com palha de ervilhaca, sendo 75% de palha de aveia e 25% de palha de ervilhaca (SPD 6M). Ciclos de umedecimento e secagem foram aplicados durante o desenvolvimento inicial da cultura do milho. Os ciclos eram concluídos quando a evapotranspiração de referência acumulada atingia aproximadamente 40 mm. O conteúdo de água no solo foi medido com TDR, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm. As perdas de água por evaporação, no primeiro ciclo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, no solo com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 3M) e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 6M) na superfície proporcionaram uma redução nas perdas de água por evaporação de 21% e 29,6% , respectivamente, em relação à semeadura direta sem palha na superfície. Com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia preta (SPD 6), a redução nas perdas de água foi de 33,3% . Na profundidade de 20 a 40 cm, o tratamento que resultou em menor perda de água por evaporação foi 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca na superfície (SPD 6M), com 22,6%. No segundo ciclo não houve diferenças entre os tratamentos. Foi realizada uma comparação do tratamento com solo descoberto (SPD 0) com cada um dos demais tratamentos, no primeiro ciclo e na camada de 0 a 20 cm de profundidade. A manutenção da cobertura vegetal na

superfície do solo resultou em maior conteúdo de água na camada superficial em relação ao solo descoberto.

Palavras-chave: crescimento inicial; ciclo de umedecimento e secagem; perda de água; cobertura vegetal.

Soil evaporation losses during initial maize growth

Abstract – The water loss through evaporation is an important process in the starting stages of crop cultures. The purpose of this research was to evaluate the loss of water through evaporation of a soil used in the no-till farming. The experiment was preceded in a mobile cover to control the rainfalls. The experiment was developed in five treatments and three repetitions. The treatments were (i) no-till farming system with no cover, (ii) no-till farming system with 3.0 Mg ha⁻¹ of bristle oat straw (*Avena strigosa* Scrb); (iii) no-till farming system with 6.0 Mg ha⁻¹ of bristle oat straw (*Avena strigosa* Scrb); (iv) no-till farming system with 3.0 Mg ha⁻¹ of oat and tare (*Vicia Sativa* L.) straw, the mixture was composed of 75% of oat and 25% of tare; (v) no-till farming system with 6.0 Mg ha⁻¹ of oat and tare straw, the mixture also was composed of 75% of oat and 25% of tare. Cycles of moisture and drying were applied during the starting stage of maize cultivation. The cycles were concluded when the evapotranspiration is about 40 mm. The existent water in the soil was measured with the TDR methodology at the profundity of 0 up to 20 cm and of 20 up to 40 cm. The water loss through evaporation, in the first cycle in the portion from 0 to 20 cm, 3,0 Mg ha⁻¹ of oat and tare straw and 6,0 Mg ha⁻¹ of oat and tare straw in the surface caused a reduction in the loss of water of 21% and 29.4% in relation to the no-till farming system without covers. In the experiment with the cover 6,0 Mg ha⁻¹ of bristle oat straw the reduction in the evaporation was 33.3%. In the portion of 20 and 40cm the less effective treatment was the 6,0 Mg ha⁻¹ of oat and tare straw, with a reduction of 22.6%. In the second cycle there was no difference between the treatments. It was proceeded comparisons between the cultivation with no cover and each one of the others. With it, it was possible to conclude that the maintenance of a vegetative cover in the soil surface results in a bigger quantity of water in the most superficial portion of the soil when it is compared with the naked soil.

Keywords: initial growth; drying cycle; water loss; vegetable coverage

3.1 Introdução

O grande consumo de água pela agricultura faz com que ocorra uma grande pressão social, principalmente sobre a agricultura irrigada, com a finalidade de melhorar a eficiência do uso da água, tanto no desenvolvimento de projetos de irrigação quanto no manejo desta nos cultivos, 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. Perdas de água por evaporação direta da superfície do solo nas primeiras fases de desenvolvimento das plantas devem ser levadas em consideração quando o objetivo for economia e eficiência do uso da água na agricultura. 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. Contudo esse 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. Mantendo os resíduos culturais na superfície do solo, ocorre simultaneamente a conservação do solo e da água (MUNAWAR et al., 1990). BRAGAGNOLO & MIELNICZUK (1990) observaram que, nas profundidades de 0-10 a 10 a 20 cm, umidade 8 a 10% superior no solo com palha de trigo na superfície em comparação com o solo desnudo. Os autores observaram também que, quatro dias após a irrigação o conteúdo de água no solo desnudo encontrava-se próxima ao ponto de murcha permanente, enquanto que o solo coberto com 5 a 7 Mg ha⁻¹ de palha estava com umidade na faixa da água disponível. Os efeitos benéficos dos resíduos culturais na superfície e o sistema de cultivo do solo na redução da evaporação da água do solo estão associados com a quantidade e tipo dos resíduos, das práticas de manejo do solo, tempo e profundidade do preparo (LASCANO et al., 1994). O efeito dos resíduos vegetais na

superfície na umidade do solo depende da quantidade, forma de distribuição e a origem dos resíduos (STRECK et al., 1994; MODEL et al., 1995). O efeito é diminuído à medida que a cultura se desenvolve, e aumenta a área foliar interceptando uma parte da radiação solar, ao mesmo tempo em que extrai maior quantidade de água. A manutenção de água no perfil do solo pela diminuição da evaporação é importante durante a fase inicial do desenvolvimento das culturas, quando o dossel vegetativo é reduzido e insuficiente para cobrir a superfície do solo para minimizar as perdas de água. Visando o 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 prever 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.

O objetivo principal deste trabalho foi determinar as perdas de água por evaporação do solo na cultura do milho, cultivada com diferentes tipos e quantidades de cobertura de resíduos vegetais na superfície do solo. O trabalho também apresenta como objetivos específicos; (i) 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 e; (ii) avaliar a interferência da área foliar nas perdas de água por evaporação.

3.2 Material e métodos

3.2.1 Caracterização do experimento

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). O experimento com a cultura do milho foi conduzido no período de 11 de dezembro de 2007 a 16 de janeiro de 2008 e conduzido no interior de uma cobertura móvel (rainshelter), estruturada em arcos, com movimentação mecânica de uma lona encerrada que desliza sobre arcos metálicos. A cobertura móvel somente era acionada (fechada) quando da ocorrência de precipitações pluviais na área experimental. Essa estrutura possibilitou um controle dos ciclos de umedecimento e secagem do solo, sem interferência das precipitações pluviais.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. O experimento estava constituído de cinco tratamentos: (i) sistema de plantio direto em solo desnudo (SPD0); (ii) sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia preta (*Avena strigosa* Scrb) na superfície do solo (SPD 3); (iii) sistema de plantio direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia preta na superfície do solo (SPD 6); (iv) sistema de plantio direto com 3 Mg ha⁻¹ de palha de aveia misturada com palha de ervilhaca (*Vicia sativa* L.), sendo 75% palha de aveia e 25% de ervilhaca (SPD 3M); e (v) sistema de plantio direto 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia misturada com palha de ervilhaca, sendo 75% de palha de aveia e 25% de palha de ervilhaca (SPD 6M). As parcelas experimentais apresentaram as dimensões de 2,0 x 2,0 m, totalizando uma área de 4m². No preparo da área, antes do início do experimento, retiraram-se todas as plantas daninhas e os resíduos vegetais da área e, após a limpeza total do terreno, a quantidade de palhada de cada tratamento foi adicionada uniformemente na superfície do solo.

3.2.2 Manejo da cultura

A semeadura do milho foi feita manualmente, simulando o sistema de plantio direto. O híbrido utilizado foi Pioneer 30F53, com um espaçamento entre linhas foi de 45 cm e com uma população final de plantas foi de 70.000 pl ha⁻¹. A adubação de cobertura foi feita com uma dosagem de 50 kg ha⁻¹ de N com uréia, quando as plantas encontravam-se em estágio V7 (sete folhas completamente expandidas), segundo escala fenológica para a cultura do milho descrita por RITCHIE et al. (1993). Para suprir as necessidades hídricas da cultura foram realizadas irrigações

durante o período de coleta de dados do experimento (crescimento vegetativo da cultura), por meio de um sistema de irrigação de micro-aspersão, considerando a evapotranspiração de referência diária e o coeficiente de cultura específico para cada subperíodo de desenvolvimento das plantas (ALLEN et al., 2004).

3.2.3 Crescimento e desenvolvimento da cultura

Aos 15 dias após a semeadura (DAS) da cultura do milho, foram selecionadas e marcadas duas plantas por parcela para as determinações não destrutivas de área foliar das plantas, medindo-se área foliar e altura. Essas determinações foram realizadas duas vezes por semana. O índice de área foliar das plantas foi determinado pela razão entre a área foliar da planta e a área superficial de solo por ela ocupada. A altura das plantas foi determinada medindo-se a distância vertical entre a superfície do solo e a última folha completamente expandida ou fora do cartucho. A medição da área foliar das plantas foi realizada desde a emergência das folhas do cartucho até o aparecimento da bainha e foi determinada a partir da medição do comprimento e largura máxima de cada folha, multiplicada pelo fator 0,75 (STICKLER et al., 1961).

3.2.4 Características físico-hídricas do solo

Antes da instalação do experimento, foi realizada a coleta de amostras para a caracterização física do perfil do solo (textura, densidade de partículas, densidade do solo), nas camadas de 0 a 10 cm, 10 a 20 cm e 20 a 40 cm de profundidade. Para a análise granulométrica e densidade de partículas foram utilizadas amostras com estrutura não preservadas. As amostras com estrutura preservada (indeformada) foram coletadas com o auxílio de um extrator, no qual foi acoplado um cilindro de metal de 5,56 cm de diâmetro, 3 cm de altura e volume de 72,84 cm³. As amostras deformadas foram utilizadas para a determinação do limite inferior de disponibilidade de água no solo e 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.

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 em que as amostras se encontravam. Após, 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 subamostra 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 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°C para secagem até massa constante. Na tabela 1, são apresentados os dados de densidade do solo, limite superior e inferior de disponibilidade de água no solo, para o solo utilizado no experimento, para as camadas de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm. Na tabela 2 são apresentados os valores de argila, areia e silte e a classe textural em cada profundidade de solo.

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 a 20 cm e 20 a 40 cm, nos cinco tratamentos estudados, Santa Maria, 2009.

Tratamentos	Camada (cm)	Ds (g/cm ³)	Porosidade (cm ³ cm ⁻³)				
			Macro	Micro	PT	LI	
SPD 0	0 a 20	2,6	0,093	0,280	0,373	0,272	0,072
	20 a 40	2,54	0,096	0,300	0,396	0,302	0,08
SPD 3M	0 a 20	2,58	0,088	0,305	0,393	0,281	0,079
	20 a 40	2,46	0,075	0,309	0,384	0,303	0,083
SPD 6M	0 a 20	2,6	0,087	0,275	0,362	0,287	0,086
	20 a 40	2,48	0,090	0,306	0,396	0,301	0,082
SPD 3	0 a 20	2,57	0,074	0,268	0,342	0,265	0,061
	20 a 40	2,5	0,083	0,286	0,369	0,301	0,076
SPD 6	0 a 20	2,42	0,080	0,280	0,360	0,285	0,063
	20 a 40	2,48	0,091	0,267	0,358	0,241	0,072

*SPD 0 = Sistema plantio direto com solo descoberto; SPD 3 = Sistema plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de 100% de palha de aveia na superfície do solo; SPD 6 = Sistema plantio direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de 100% de palha de aveia na superfície do solo; SPD 3M = Sistema plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de 75% de palha de aveia preta e 25% de ervilhaca comum na superfície do solo; e SPD 6M = Sistema plantio direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de 75% de palha de aveia preta e 25% de ervilhaca comum na superfície do solo.

Tabela 2- Textura do solo em plantio direto antes do início do experimento, Santa Maria, RS, 2009.

Camada de solo (cm)	Areia %	Silte %	Argila %	Classe textural
5	52,1	27,6	20,2	Franco arenoso
15	40,6	32,6	26,7	Franco
30	38,9	30,5	30,6	Franco argiloso

3.2.5 Determinação das perdas de água do solo

Irrigações foram aplicadas para atender a necessidade hídricas das culturas a partir da determinação da evapotranspiração de referência estimada segundo FAO 56, metodologia proposta por ALLEN et al.(1998), que determina a quantidade de água a ser aplicada na cultura com base na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), pelo método de Penman-Monteith. Os dados meteorológicos (temperatura do ar (°C)), umidade relativa do ar (%), insolação (h), velocidade do vento a 2 m (ms⁻¹), pressão atmosférica (kPa) e precipitação pluvial (mm) necessários para o cálculo da evapotranspiração foram obtidos de uma estação meteorológica automática instalada próxima ao local do experimento. Ciclos de secagem do solo foram observados em função da distribuição das irrigações realizadas durante o crescimento vegetativo da cultura do milho. Utilizou-se um sistema de micro-aspersão, com uma taxa de aplicação de 18 mm suficientes para umedecer a camada superficial do solo, antes do início de cada ciclo de secagem. O início de cada ciclo de secagem foi considerado a partir do primeiro dia após irrigação. A água extraível do perfil é a quantidade de água que está no limite superior (L_s) e o limite inferior (L_i) de disponibilidade de água. 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 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 determinado diariamente, através de um TDR 100 - *Time Domain Reflectometer* que, na Figura 3, está apresentado em conjunto com CR10X e multiplexador (SDM 50). Em cada parcela foram instalados dois

sensores, 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 20 cm e o outro foi inserido na camada de 20 a 40 cm.

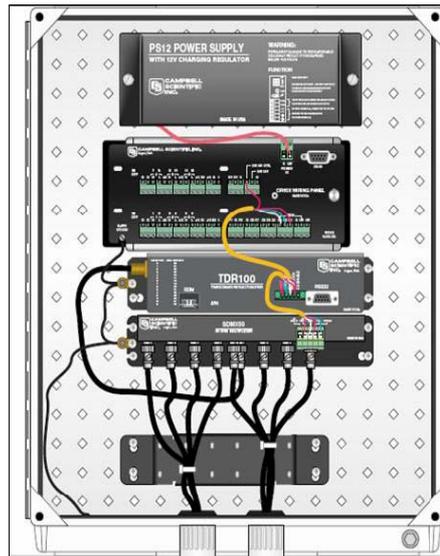


Figura 3- Representação dos componentes utilizados em conjunto, contendo o TDR, o CR10X, e multiplexador (SDMX50). ANDRADE, 2008.

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 eram armazenados todos os dias para verificar a consistência das determinações e o comportamento dos sensores ao longo do dia. Em caso de problemas na leitura da umidade, os sensores eram ajustados ou substituídos.

3.2.6 Determinação da evaporação do solo pelo método Sindual Kc

Os coeficientes K_e e K_r foram estimados para o primeiro ciclo de secagem e umedecimento do solo para o experimento, a partir dos dados meteorológicos e das características físico-hídricas do solo da camada de 0 a 20 cm, seguindo a metodologia do Kc Dual de cultivo, proposta por Allen et al. (2005). Para estimar o K_e , determina-se o coeficiente de redução da evaporação (K_r), considerando-se as

duas primeiras etapas da evaporação da água do solo. Durante o primeiro estágio da evaporação, o K_r é igual a 1,0, enquanto a evaporação acumulada (E_s acumulada) for menor que a água prontamente evaporável, (REW):

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

Onde: REW = 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 a 20 cm. No experimento, o valor utilizado foi de 20,2 %.

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.

$$TEW = (L_s - L_i) \cdot D_s \cdot Prof \quad (3)$$

Onde: TEW é a lâmina total de água disponível para evaporação na camada superficial (mm); L_s é a lâmina superior (mm); L_i é a lâmina inferior (mm), D_s é a densidade do solo, $Prof$ é a profundidade (cm).

$$K_r = \frac{TEW - De_{i-1}}{TEW - REW} \quad (4)$$

Onde: TEW é a lâmina total de água disponível para evaporação na camada superficial (mm); L_s é a lâmina superior (mm); L_i é a lâmina inferior (mm), D_s é a densidade do solo, $Prof$ é a profundidade (cm); K_r é coeficiente adimensional de redução da evaporação da água do solo; De é a lâmina acumulada de evaporação da camada superficial ao final do dia anterior (mm); e REW é a lâmina de água prontamente evaporável. 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:

$$K_e = K_r ((E_s/E_{T_o}) - K_{cb}) \quad (5)$$

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_{cb} = coeficiente basal de cultivo (representa basicamente o componente da transpiração no valor de E_{T_o}). No estágio inicial de desenvolvimento de culturas anuais, $K_{cb} = K_{cini}$, onde $K_{cini} = 0,15$.

3.2.7 Análise estatística

Os resultados das perdas de água do solo diária e acumulada por evaporação e de índice de área foliar e altura de plantas foram analisados estatisticamente através do programa estatístico "SOC/NTIA/Embrapa" (STORCK et al., 2002), sendo a análise de variância e o teste de Duncan 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.

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Crescimento e desenvolvimento das plantas

Na Figura 4, são apresentados os resultados de altura e índice de área foliar das plantas de milho realizadas aos 16, 20, 25, 30 e 36 dias após a semeadura. As diferentes quantidades e tipos de palha não ocasionam diferenças no índice de área foliar e nem na altura de plantas para a cultura do milho. Isso se deve ao fato de que os ciclos de secagem do solo eram relativamente curtos para causar déficit severo nas plantas. Para a cultura do milho, o valor médio da altura e do índice de área foliar, aos 43 DAS, foi de 37,5 cm e 2,30 respectivamente. A Tabela 3 apresenta os resultados da análise estatística realizada para a altura e índice de área foliar das plantas.

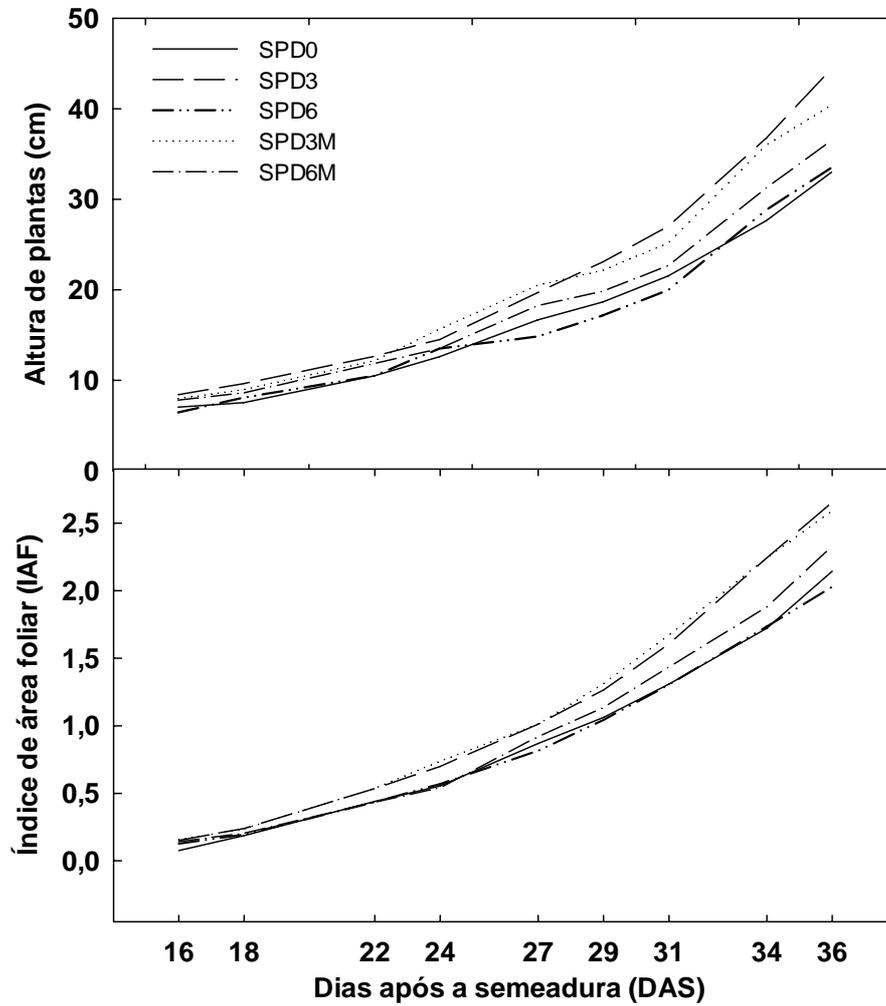


Figura 4- Altura de plantas e índice de área foliar das plantas de milho durante o período de condução do experimento, sob sistema de plantio direto sem cobertura (SPD 0), sistema de plantio direto com 3 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3), sistema de plantio direto com 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 6), sistema de plantio direto com 3 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 3M) e sob sistema de plantio direto com 3 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 6M), Santa Maria, 2009.

Tabela 3- Comparação de médias de índice de área foliar para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.

Índice de área foliar (IAF)					
DAS	SPD 0	SPD 3	SPD 6	SPD 3M	SPD 6M
16	0,0770a	0,1520b	0,1260b	0,1570b	0,1420b
18	0,1871a	0,2400a	0,1940a	0,2360a	0,2050a
22	0,4397a	0,5340a	0,4348a	0,5370a	0,4340a
24	0,5550a	0,6990a	0,5409a	0,7380a	0,5690a
27	0,8690a	1,0390a	0,8140a	1,0110a	0,9180a
29	1,0610a	1,2640a	1,0430a	1,3119a	1,1350a
31	1,3070a	1,6050a	1,3036a	1,6700a	1,4340a
34	1,7220a	2,0480a	1,7354a	2,2430a	1,8790a
36	2,1430a	2,6540a	2,0270a	2,5910a	2,3290a

Altura de plantas (cm)					
DAS	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
16	7,10 a	7,97 a	7,82 a	8,42 a	6,45 a
18	7,50 a	8,97 a	8,62 a	9,62 a	8,08 a
22	10,50 a	12,17 a	11,83 a	12,65 a	10,50 a
24	12,60 a	15,67a	13,50 a	14,50 a	13,50 a
27	16,70 a	20,50 a	18,25 a	19,67 a	14,83 a
29	18,70 a	22,17 a	19,83 a	23,08 a	17,17 a
31	21,50 a	25,17 a	22,67 a	27,00 a	19,97 a
34	27,60 a	36,00 a	31,25 a	36,75 a	28,82 a
36	33,00 a	40,40 a	36,50 a	44,42 a	33,50 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

3.3.2 Perdas de água por evaporação

Anterior ao primeiro ciclo de secagem foi aplicada irrigação de 30 mm para uniformizar o conteúdo de água no solo. Dois ciclos de secagem do solo foram observados em função da distribuição das irrigações aplicadas durante o crescimento vegetativo da cultura do milho (Figura 5). Os ciclos de umedecimento e secagem iniciavam com o umedecimento completo do perfil do solo e encerravam quando a evapotranspiração de referência (ET₀), determinada por Penamn-Monteith atingia determinado valor acumulado em cada ciclo.

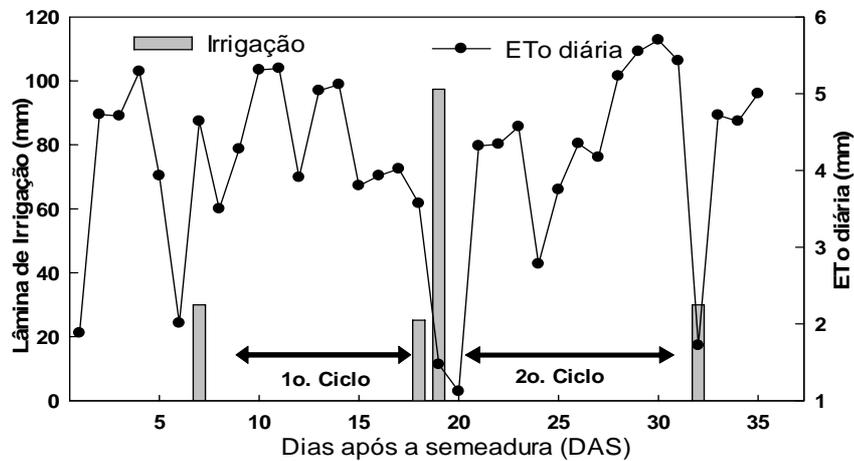


Figura 5 - Irrigações aplicadas e evapotranspiração de referência (ETo) durante o período de condução do experimento com a cultura do milho. Santa Maria, 2009.

3.3.2.1 Primeiro ciclo de secagem do solo

O primeiro ciclo de umedecimento e secagem do solo apresentou duração de nove dias, de 7 a 16 DAS (18 de Dezembro até 27 de Dezembro de 2007). Durante esse período a ETo acumulada foi de 40,22 mm, apresentando uma média de 4,4 mm dia⁻¹. Na Figuras 6 são apresentados os resultados de perda diária de água do solo para o primeiro ciclo de secagem, para a camada de 0 a 20 cm de profundidade do solo. No tratamento com solo descoberto (SPD 0) no primeiro dia do ciclo de secagem do solo, as perdas de água por evaporação foram governadas pelas condições meteorológicas, pois a água encontrava-se em estado livre na superfície do solo.

A duração desse estágio de evaporação após uma precipitação pluvial ou irrigação foi pequeno, pois, à medida que a umidade do solo próximo da superfície diminuía, outros fatores, como tipo e quantidade de cobertura do solo, crescem em importância, diminuindo assim as perdas de água por evaporação e aumentando a conservação da água no solo. No sistema plantio direto, a ausência de revolvimento, mantém a estrutura do solo e aumenta sua capacidade de retenção de água. Esta manutenção da estrutura permitiu 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.

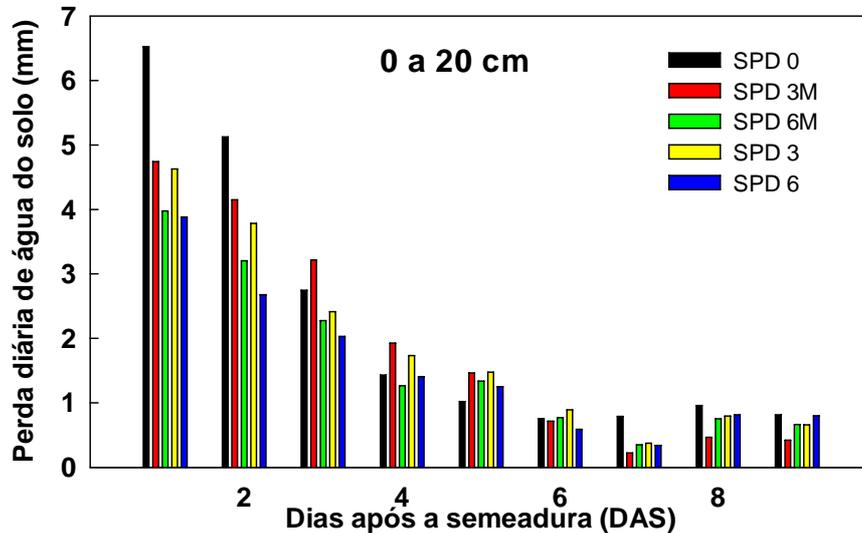


Figura 6 - Perda diária de água do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em função dos DAS, no primeiro ciclo de secagem de água do solo, Santa Maria, 2009.

Além da maior umidade do solo, a manutenção da evaporação por mais tempo no primeiro estágio no sistema de plantio direto foi relacionada com a presença de palha na superfície do solo, o que impediu o impacto direto das gotas de chuva no solo, evitando a formação do selamento superficial. Maior perda de água foi observada do primeiro ao terceiro dia do ciclo de secagem do solo, para o tratamento sem palha na superfície. Após o quarto dia de secagem do solo, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 4).

Nos tratamentos com presença de palha na superfície, a taxa máxima de perda de água ocorreu também no primeiro dia de secagem do ciclo, com perdas de água de 3,98, 4,63, 4,74 e 3,88mm dia⁻¹, respectivamente para os tratamentos com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), respectivamente.

Tabela 4 - Comparação de médias de perdas diárias de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ (SPD 3M) e 6,0 Mg ha⁻¹ (SPD 6M) de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ (SPD 3) e 6,0 Mg ha⁻¹ (SPD 6) de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	0 a 20 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	6,523 a	4,740 b	3,976 b	4,630 b	3,883 b
2	5,126 b	4,150 ab	3,205 b	3,783 ab	2,676 b
3	2,746 ab	3,216 a	2,275 b	2,413 b	2,030 b
4	1,430 a	1,926 a	1,266 a	1,733 a	1,406 a
5	1,020 a	1,463 a	1,336 a	1,476 a	1,250 a
6	0,755 a	0,716 a	0,770 a	0,893 a	0,590 a
7	0,790 a	0,223 a	0,350 a	0,375 a	0,340 a
8	0,960 a	0,466 a	0,753 a	0,795 a	0,813 a
9	0,813 a	0,421 a	0,664 a	0,659 a	0,798 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

Na camada de 20 a 40 cm de profundidade (Figura 7), verificou-se que as maiores perdas de água do solo ocorreram entre o primeiro e o terceiro dia. No entanto com lâmina inferior à observada na camada superficial. Nessa camada, as perdas significativas ocorreram também do primeiro ao terceiro dia de secagem.

O tratamento sem cobertura (SPD 0) foi o que apresentou maiores perdas diárias, 5,2 mm no primeiro dia e no terceiro dia 3,5 mm de secagem de água do solo. A maior perda diária de água do solo na camada de 20 a 40 cm de profundidade ocorreu onde não havia cobertura de palha (SPD 0). Isto deve-se às maiores perdas ocorridas na camada de 0 a 20 cm, devido a interferência direta das condições meteorológicas no tratamento com solo desnudo (SPD 0).

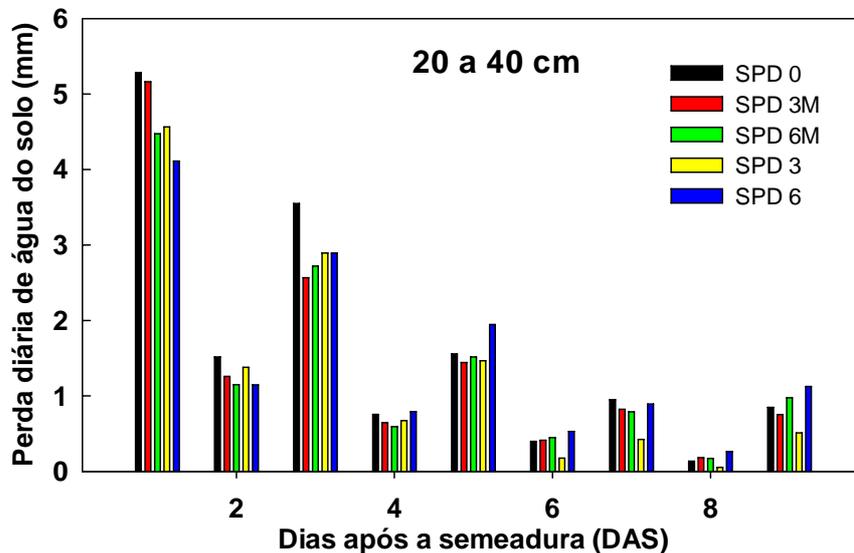


Figura 7- Perda diária de água do solo na profundidade de 20 a 40 cm, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), no primeiro ciclo de secagem do solo em função dos DAS, no primeiro ciclo de secagem de água do solo com a cultura do milho. Santa Maria, 2009.

A tabela 5 apresenta os dados de análise estatística das perdas diárias de água do solo por evaporação. Observa-se que o tratamento sem a presença de cobertura vegetal no solo (SPD 0) e o tratamento com 3 Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca (SPD 3M), não diferiram entre si no primeiro dia do ciclo, mas diferiram dos demais tratamentos. No tratamento sem cobertura vegetal a perda foi de 5,23 mm de água e no tratamento com 3 Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca a perda foi de 5,12 mm perdidos no primeiro dia do ciclo de secagem.

A presença de palha na superfície do solo reduziu a evaporação da água do solo, provavelmente pelo aumento da reflexão da energia, minimizando o efeito do vento sobre a superfície evaporante e reduzindo assim, a temperatura do solo. À medida que o solo descoberto perde água e tem sua superfície ressecada, a transferência de energia para as camadas inferiores do perfil e a evaporação é reduzida e isso faz com que ao final dos ciclos de secagem as diferenças na evaporação dos solos com e sem cobertura sejam reduzidas.

Tabela 5- Comparação de médias de perdas diárias de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	20 a 40 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	5,232 a	5,124 a	4,653 b	4,431 b	4,122 b
2	1,516 b	1,150 b	2,896 a	2,563 a	1,146 b
3	3,550 a	2,720 a	0,676 b	0,646 b	2,893 a
4	0,753 ab	0,593 ab	1,463 a	1,440 a	0,790 ab
5	1,560 a	1,515 a	0,260 ab	0,413 ab	1,950 a
6	0,396 ab	0,446 ab	0,501 ab	0,826 a	0,533 ab
7	0,950 a	0,785 a	0,053 ab	0,183 ab	0,893 a
8	0,136 ab	0,175 ab	0,765 a	0,753 a	0,260 ab
9	0,846 ab	0,975 a	0,160 ab	0,560 ab	1,185 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

Na camada de 0 a 20 cm de profundidade (Figura 8), a maior taxa de perdas acumulada de água ocorreu no sistema de plantio direto sem palha (21,97mm) e, para o tratamento SPD 3M, (SPD 6M), (SPD 3) e (SPD 6) as perdas foram de 14,9; 17,9; 19,5 e 15,6 mm, respectivamente. A maior perda de água na camada de 20 a 40 cm ocorreu no tratamento sem cobertura (SPD 0), provavelmente devido às maiores perdas ocorridas na camada superior a partir de 10 mm de ETo acumulada. Comparando o tratamento sem cobertura (SPD 0) com os tratamentos com palha na superfície 3Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca (SPD 3M), 3Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3) e 6Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca (SPD 6M) e, observou-se uma redução nas perdas de água por evaporação de 18,2%, 21% e 29,6% respectivamente. Com a utilização de 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia na superfície (SPD 6), a redução nas perdas de água dos primeiros 20 cm do perfil do solo foi de 33,3%.

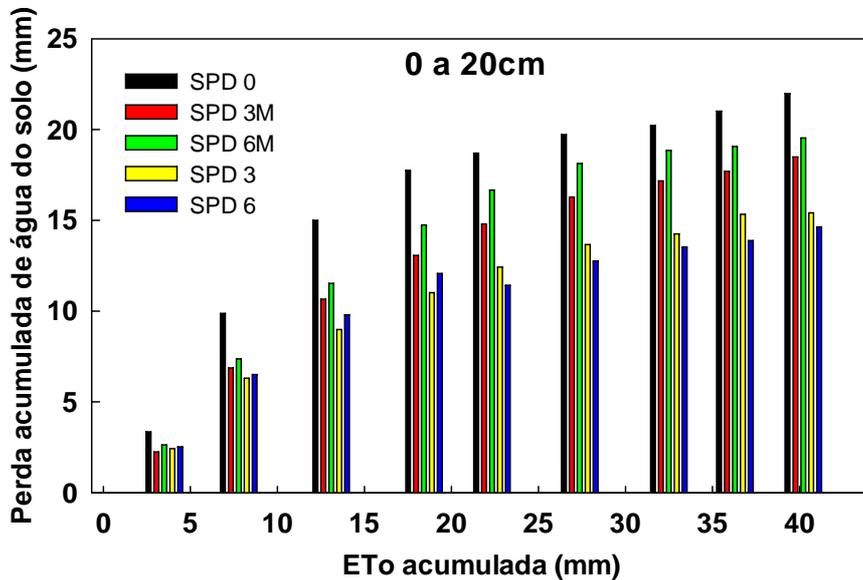


Figura 8 - Perda acumulada de água do solo na profundidade de 0 a 20 cm, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em função da ETo acumulada, no primeiro ciclo de secagem de água do solo, Santa Maria, 2009.

Na perda acumulada de água no solo, para a camada de 0 a 20 cm de profundidade, houve diferença significativa no primeiro dia do ciclo de secagem (Tabela 6). No início do ciclo de secagem do solo, o tratamento que não apresentava cobertura vegetal (SPD 0) resultou em uma maior perda em relação aos demais tratamentos. O resultado demonstra que, com o passar dos dias, as diferenças acumuladas de perda de água do solo através da evaporação entre os tratamentos diminuem, e no final do ciclo, esses valores não diferem. Esses resultados estão de acordo com os resultados obtidos por DALMAGO (2003) e BRAGAGNOLO & MIELNICZUK (1990), que demonstraram que a presença de palha na superfície do solo em SPD promove uma redução na evaporação de aproximadamente 30% em relação ao solo descoberto.

Tabela 6 - Comparação de médias de perdas acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, nas profundidades de 0 a 20 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	0 a 20 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	3,353 a	2,243 b	2,636 b	2,423 b	2,530 b
2	9,875 a	6,870 a	7,373 a	6,310 a	6,506 a
3	15,000 a	10,653 a	11,526 a	8,986 a	9,790 a
4	17,750 a	13,066 a	14,743 a	11,013 a	12,065 a
5	18,701 a	14,800 a	16,670 a	12,420 a	11,426 a
6	19,720 a	16,280 a	18,133 a	13,666 a	12,763 a
7	20,224 a	17,170 a	18,846 a	14,256 a	13,533 a
8	21,012 a	17,695 a	19,070 a	15,336 a	13,883 a
9	21,973 a	18,495 a	19,533 a	15,416 a	14,640 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

Na figura 9 são apresentados os resultados de perda acumulada de água, para a camada de 20 a 40 cm de profundidade, em relação à ETo acumulada durante o primeiro ciclo de secagem do solo. Nessa camada a diminuição da umidade foi menor que na camada de 0 a 20 cm. Perdas de água dos tratamentos em sistema de plantio direto com cobertura de palha em relação ao tratamento sem cobertura foram inferiores às observadas para a camada superficial. Os resultados entre os tratamentos em relação à perda de acumulada água na camada de 20 a 40 cm, é reflexo das perdas ocorridas na camada superior, de maneira que a maior perda de água nesta camada foi para o tratamento sem cobertura vegetal.

Para as parcelas com 3 Mg ha⁻¹ de aveia, 3 Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca, 6 Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca e 6 Mg ha⁻¹ de aveia a máxima perdas ocorreu no final do ciclo de secagem, com 12,14; 13,2; 13,6 e 11,6 mm, respectivamente. O tratamento com 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, foi o que obteve menor perdas acumulada, sendo esta 22,6% menor que tratamento sem cobertura. O tratamento com cobertura de 3 Mg ha⁻¹ de palha de aveia teve uma redução de 19,06% na perda de água e, com 3 ha⁻¹ de aveia e ervilhaca e 6 Mg ha⁻¹ de aveia, a redução foi de 9,3% e 12%, respectivamente.

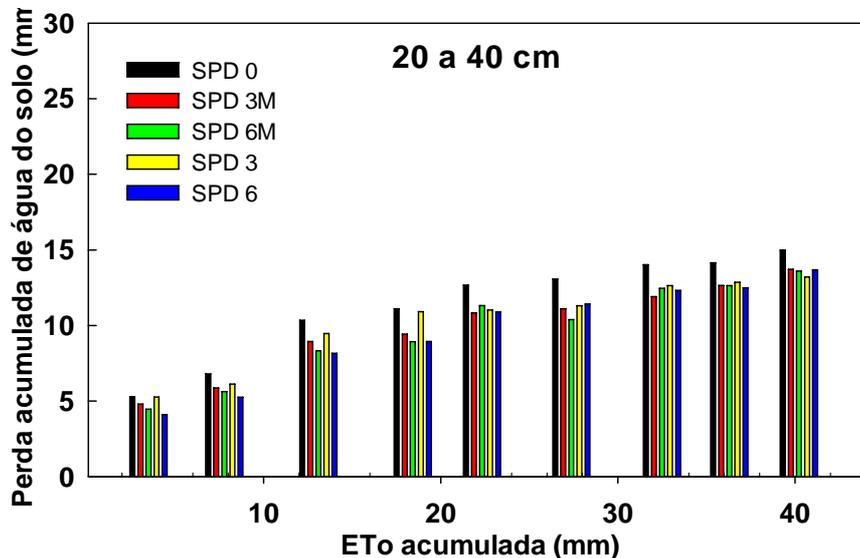


Figura 9 - Perda acumulada de água do solo na profundidade de 20 a 40 cm, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em função da ETo acumulada, no primeiro ciclo de secagem de água do solo, Santa Maria, 2009.

Observando os resultados apresentados na tabela 7, verifica-se que, inicialmente não houve diferença significativa entre os tratamentos, mas no terceiro dia do ciclo, houve diferença entre o solo descoberto (SPD 0) e os demais tratamento com cobertura vegetal (SPD 3M, SPD 6M, SPD3 e SPD6). Foi constatado que, como já foi amplamente estudada por outros autores, a eficácia da cobertura morta sobre o solo na diminuição das perdas de água do solo por evaporação. As perdas de água do solo no sistema de plantio direto dependem de uma grande variedade de fatores, porém o fator mais importante e determinante que influenciou diretamente nas perdas de água por evaporação nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura do milho, foi com a presença ou ausência de cobertura vegetal na superfície do solo além da reflexão da energia radiante, diminuindo as perdas por evaporação, como apresentado na tabela 6. Do terceiro ao sétimo dia do ciclo, houve diferença significativa entre os tratamentos com cobertura vegetal em relação ao solo desnudo. No tratamento sem cobertura vegetal (SPD 0), no terceiro dia do ciclo, encontra-se a maior perda acumulada de água, que é de 10,3 mm e, no tratamento com 6Mg ha⁻¹ de aveia (SPD 6) a perda acumulada foi de 8,1 mm sendo esse o menor resultado encontrado em relação aos demais tratamentos.

Tabela 7- Comparação de médias de perdas acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, nas profundidades de 20 a 40cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	20 a 40 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	5,283 a	4,803 b	4,473 b	5,263 a	4,110 b
2	6,800 a	5,876 a	5,623 a	6,126 a	5,256 a
3	10,350 a	8,946 ab	8,336 ab	9,470 b	8,156 ab
4	11,110 a	9,416 ab	8,936 ab	10,913 b	8,946 ab
5	12,670 a	10,825 ab	11,310 ab	11,026 b	10,890 ab
6	13,063 a	11,113 b	10,390 ab	11,303 b	11,423 b
7	14,013 a	11,901 b	12,460 ab	12,630 b	12,313 ab
8	14,150 a	12,645 a	12,635 a	12,861 a	12,490 a
9	14,996 a	13,710 a	13,605 a	13,206 a	13,680 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

3.3.2.2 Segundo ciclo de secagem do solo

O segundo ciclo de umedecimento e secagem do solo teve uma duração de 10 dias, de 19 a 28 DAS. Durante esse período a ETo acumulada foi de 40,18 mm, apresentando uma média de 4,01 mm dia⁻¹. Na figura 10 são apresentados os resultados de perdas diárias de água do solo que ocorreram no segundo ciclo de secagem, para a camada de 0 a 20 cm de profundidade. Nesse ciclo de secagem do solo, o dossel vegetativo das plantas era maior, variando de 0,61 a 0,76 de índice de área foliar, fazendo com que os resultados de perda de água por evaporação fosse menor. Nos tratamentos com cobertura de palha (SPD3, SPD6, SPD 3M e SPD 6M) ocorreu uma maior continuidade dos poros do solo, favorecendo as perdas de água por evaporação do solo. Na camada de 0 a 20 cm de profundidade (Figura 10), houve diferença significativa de perda diária de água do solo por evaporação até o quarto dia do ciclo na maioria dos tratamentos, mas no tratamento com 6Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca (SPD 6M) houve diferença até o terceiro dia (Tabela 8). As maiores taxas de evaporação foram observadas nos dois primeiros dias do ciclo de secagem, o que de acordo com JENSEN et al., (1990) caracteriza o primeiro estágio de evaporação. No tratamento sem cobertura de palha (SPD0) ocorreu um ressecamento da superfície, que ocasionou diminuição das perdas por evaporação devido à formação de uma camada ressecada que acaba atuando como se fosse uma cobertura na superfície. A secagem da camada superficial forma uma barreira ao fluxo de água para a atmosfera reduzindo as perdas de água por evaporação.

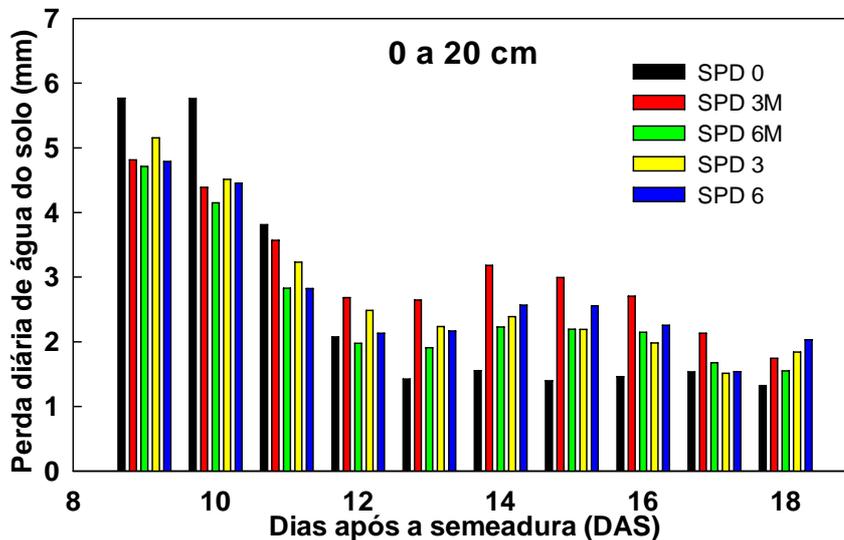


Figura 10 - Perda diária da água do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), no segundo ciclo de secagem do solo em relação aos DAS na cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.

O primeiro estágio de secagem do solo pode durar de um a três dias, conforme a magnitude da taxa de evaporação que, nesta fase, depende das condições atmosféricas externas, sendo que as condições climáticas são determinantes em aproximadamente 90% da demanda evaporativa. A duração do primeiro estágio de evaporação foi influenciada pela taxa de evaporação, pela profundidade e propriedades hidráulicas do solo, como afirmam JENSEN et al., (1990). O tratamento com solo descoberto não apresentou diferença significativa de perda diária de água após o segundo dia do ciclo (Tabela 8).

Isso pode ser explicado devido ao aumento da área foliar das plantas que, provocando sombreamento nas entrelinhas de cultivo, fazem com que as perdas por evaporação sejam diminuídas conforme o crescimento e desenvolvimento da cultura, que apresentava um índice de área foliar médio aproximado de 0,80 e altura média aproximada de plantas de 16 cm.

Tabela 8 - Comparação de médias de perdas diárias de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	0 a 20 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	5,766 a	4,310 a	4,713 a	5,156 a	5,223 a
2	5,763 a	4,89 ab	4,150 b	4,513 ab	4,363 b
3	3,813 a	3,573 ab	2,830 b	3,233 ab	2,953 ab
4	2,076 a	2,683 a	1,980 a	2,486 a	2,243 a
5	1,426 b	2,643 a	1,910 ab	2,240 a	2,183 a
6	1,553 b	3,183 a	2,230 ab	2,390 ab	2,463 ab
7	1,396 b	2,993 a	2,196 ab	2,193 ab	2,333 ab
8	1,463 a	2,706 a	2,150 a	1,986 a	2,026 a
9	1,485 a	2,056 a	1,570 a	1,846 a	1,436 a
10	1,790 a	2,026 a	1,860 a	1,940 a	1,733 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

Na figura 11 são apresentados os valores observados de perda diária de água do solo na camada de 20 a 40 cm. Em maior profundidade, a água não sofre diretamente o efeito das condições meteorológicas, mas sim depende quase que exclusivamente da textura do solo e, sendo esse um Argissolo, com uma elevada percentagem de argila, houve uma maior retenção de água nessa camada.

No primeiro dia do ciclo, houve uma elevada perda de água em relação aos demais, pois devido à irrigação aplicada, há uma elevada quantidade de água na superfície o que favorece a ação direta do ambiente, principalmente pelo vento e radiação solar. A partir do segundo dia ocorreu uma diminuição das perdas de água por evaporação na camada de 0 a 20 cm reduzindo assim a transferência de energia para a camada de 20 a 40 cm, e a dessa forma a evaporação foi reduzida. Esse fato ocasionou que, ao final dos ciclos de secagem, as diferenças na evaporação dos solos descobertos e com cobertura sejam menores.

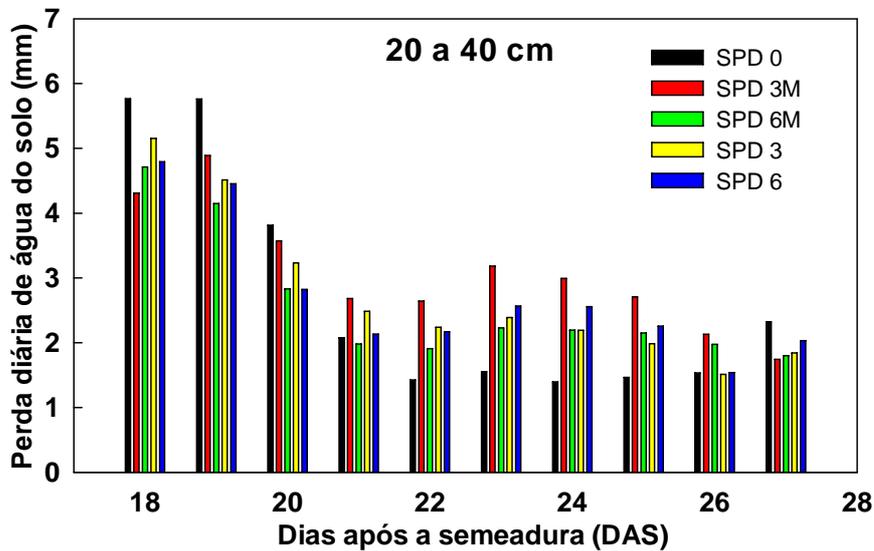


Figura 11 - Perda diária de água do solo na camada de 20 a 40 cm de profundidade para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), no segundo ciclo de secagem do solo em relação aos DAS na cultura do milho Santa Maria, RS, 2009.

O tratamento com solo descoberto apresentou diferença significativa de perda diária de água do quinto ao oitavo dia do ciclo de secagem (Tabela 9). Nos tratamentos com 6Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca (SPD 6M) e 6Mg ha⁻¹ de aveia (SPD 6), ocorreram as menores perdas diárias de água, o que pode ser atribuído as maiores quantidades de cobertura do solo.

Nos últimos dias do ciclo não houve diferença significativa entre todos os tratamentos. Isso pode ser explicado devido ao aumento da área foliar das plantas, que faz com que as perdas por evaporação sejam diminuídas conforme o crescimento e desenvolvimento da cultura, que nesse ciclo apresentava um índice de área foliar médio aproximado de 0,80 e altura média aproximada de plantas de 16 cm.

Tabela 9 - Comparação de médias de perdas diárias de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	20 a 40 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	5,766 a	4,310 a	4,713 a	5,156 a	4,793 a
2	5,763 a	4,890 ab	4,150 b	4,513 ab	4,453 b
3	3,813 a	3,573 ab	2,830 b	3,233 ab	2,823 b
4	2,076 a	2,683 a	1,980 a	2,486 a	2,133 a
5	1,426 b	2,643 a	1,910 ab	2,240 a	2,170 ab
6	1,553 b	3,183 a	2,230 ab	2,390 ab	2,566 ab
7	1,396 b	2,993 a	2,196 ab	2,193 ab	2,556 ab
8	1,463 b	2,706 a	2,150 ab	1,986 ab	2,256 ab
9	1,536 a	2,130 a	1,976 a	1,513 a	1,540 a
10	2,323 a	1,743 a	1,800 a	1,843 a	2,033 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

Na figura 12 são apresentadas as perdas acumuladas de água durante o segundo ciclo de secagem para a camada de 0 a 20 cm de profundidade. Observa-se que inicialmente ocorreu uma maior perda acumulada de água por evaporação no tratamento sem cobertura (SPD 0), até aproximadamente 20 mm de ETo acumulada. Após esse período, percebe-se que os tratamentos com palhada perdem mais água. Nos tratamentos com cobertura vegetal (SPD 3M, SPD 6M, SPD 3 e SPD 6), a perda de água acumulada do solo continuou aumentando até o final do ciclo pois, no sistema de plantio direto, há uma maior conservação da água, e esta encontra-se mais tempo armazenada, e conseqüentemente as perdas por evaporação levaram mais tempo pra se igualar as perdas ocorridas em solo descoberto (SPD 0). Não foi verificada diferença na perda acumulada de água entre os tratamentos no segundo ciclo de secagem, evidenciando a importância do dossel vegetativo das plantas na redução das perdas de água por evaporação (Tabela 10). Nessa fase, as perdas de água do sistema solo são creditadas a perdas e transpiração de água através das plantas e apenas uma pequena parcela é atribuída à evaporação.

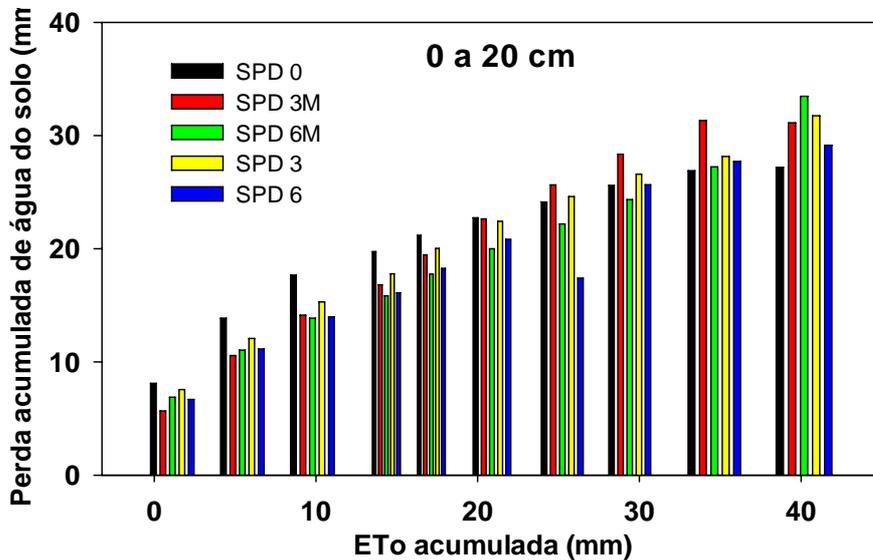


Figura 12 - Perda acumulada de água na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo com cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), no segundo ciclo de secagem do solo em relação à evapotranspiração de referência (ETo) acumulada na cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.

Durante o segundo ciclo de secagem, a perda acumulada de água do solo, na camada de 0 a 20 cm de profundidade, foi semelhante entre os tratamentos. Provavelmente isso ocorreu porque as parcelas com solo descoberto apresentavam maiores perdas de água por evaporação que as parcelas com cobertura morta na camada superior. Na tabela 9 observa-se que nos dois últimos dias do ciclo, ocorre diferença significativa entre os tratamentos sem cobertura (SPD 0) e os tratamentos com cobertura (SPD 3M, SPD 6M, SPD 3 e SPD 6). A perda acumulada no tratamento com solo descoberto, no último dia do ciclo, foi de 27,2 mm. Os tratamentos com cobertura vegetal, SPD 3M, SPD 6M, SPD 3 e SPD 6, obtiveram uma perda acumulada de água no final do ciclo de 31,2mm, 33,45mm, 31,7mm e 29,14mm respectivamente. O resultado obtido apresenta valores de SPD 0 e SPD 6 muito próximos, pois, o solo desnudo sofre ação direta dos efeitos ambientais, fazendo com que ocorra um ressecamento na superfície formando uma espécie de barreira protetora, fazendo assim com que a evaporação no solo descoberto (SPD 0) seja, no decorrer do ciclo, menor que os demais tratamentos.

Tabela 10 - Comparação de médias de perdas acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	0 a 20 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	8,100 a	5,670 a	6,893 a	7,556 a	6,690 a
2	13,866 a	10,560 a	11,043 a	12,066 a	11,146 a
3	17,676 a	14,130 a	13,873 a	15,300 a	13,966 a
4	19,753 a	16,813 a	15,846 a	17,783 a	16,096 a
5	21,176 a	19,456 a	17,756 a	20,020 a	18,266 a
6	22,733 a	22,636 a	19,986 a	22,413 a	20,840 a
7	24,126 a	25,633 a	22,183 a	24,603 a	17,396 a
8	25,590 a	28,340 a	24,330 a	26,586 a	25,650 a
9	26,885 b	31,316 a	27,230 ab	28,146 ab	27,720 ab
10	27,195 b	31,123 a	33,455 a	31,750 a	29,140 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

Na camada de 20 a 40 cm (Figura 13), a perda acumulada de água do solo foi semelhante em todos os tratamentos. Pode-se observar que houve um aumento na perda acumulada de água do solo nos tratamentos com cobertura de palha em relação ao solo descoberto (SPD 0). As diferenças entre os tratamentos nessa camada refletem no resultado final do ciclo de secagem, de maneira que, apesar de não diferirem significativamente entre si, a maior perda de água nesta camada foi para o SPD 3M apresentando uma perda de 2,8 mm maior que o SPD 0.

Para os tratamentos SPD3, SPD6 e SPD 6M a máxima perda foi de 0,89 mm, 4,72 mm, 4,29 mm ocorrendo entre 5,44 e 9,78 mm de ETo acumulada, respectivamente. As perdas de água do solo em um determinado sistema de cultivo dependem de uma grande variedade de fatores, porém, no sistema de SPD 0, um dos fatores que mais influenciam nas perdas de água por evaporação nos estágios iniciais de desenvolvimento de uma cultura é a ausência de palha na superfície do solo, pois quando há cobertura de solo se tem um aumento da reflexão da energia radiante o que ocasiona uma diminuição das perdas de água do solo por evaporação (BAVER et al.,1972).

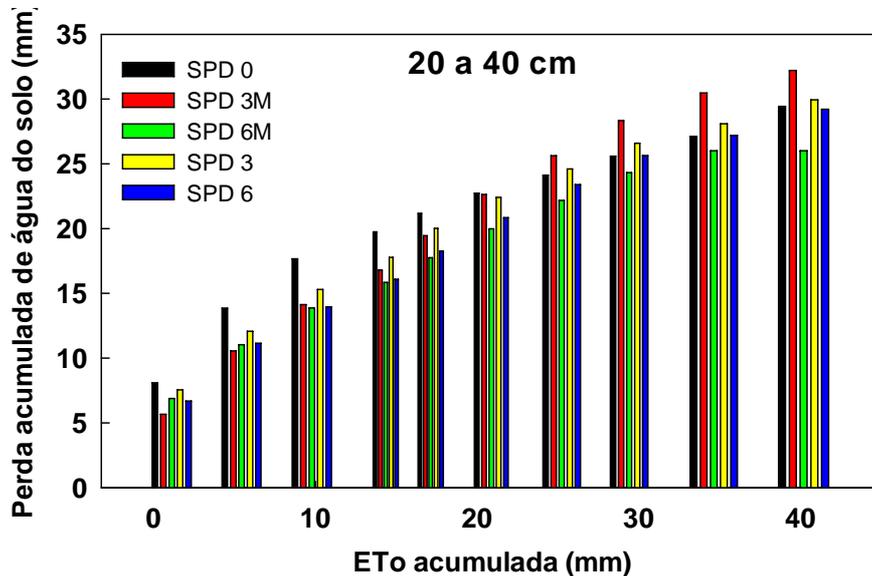


Figura 13 - Perda acumulada de água na camada de 20 a 40 cm de profundidade de solo com os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), no segundo ciclo de secagem do solo em relação à ETo acumulada na cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.

Nesse ciclo de umedecimento e secagem além das condições meteorológicas, houve também a influência do sistema radicular das plantas, visto que este já estava bem desenvolvido na cultura, fazendo com que as plantas extraíssem maior quantidade de água do solo. Ao mesmo tempo, a área foliar das plantas estava mais desenvolvida fazendo com que as plantas transpirassem mais, aumentando assim as perdas de água do solo. As perdas de água nessa camada de solo não tiveram diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 11).

A diferença de perda de água do solo nos tratamentos em sistema de plantio direto com cobertura em relação àquelas do sistema de plantio direto sem cobertura durante o primeiro ciclo de secagem, com a cultura do milho, na camada de 0 a 20 cm, pode ser observadas na figura 14. O tratamento SPD 6 apresentou uma maior economia de água em relação ao solo descoberto (SPD 0), ou seja, onde se obteve uma menor perda acumulada de água do solo de 7,59 mm em 18,4mm ETo acumulada. A menor diferença ficou entre o SPD0 e o SPD3M, ou seja, menor economia de água em relação ao solo descoberto (SPD 0), que foi de 1,3 mm com uma ETo acumulada de 32,4mm.

Tabela 11 - Comparação de médias de perdas acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	20 a 40 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	8,100 a	5,670 a	6,893 a	7,556 a	6,690 a
2	13,866 a	10,560 a	11,043 a	12,066 a	11,146 a
3	17,676 a	14,130 a	13,873 a	15,300 a	13,966 a
4	19,753 a	16,813 a	15,846 a	17,783 a	16,096 a
5	21,176 a	19,456 a	17,756 a	20,020 a	18,266 a
6	22,733 a	22,636 a	19,986 a	22,413 a	20,840 a
7	24,126 a	25,633 a	22,183 a	24,603 a	23,396 a
8	25,590 a	28,340 a	24,330 a	26,586 a	25,650 a
9	27,126 a	30,470 a	26,010 a	28,100 a	27,190 a
10	29,446 a	32,216 a	26,010 a	29,940 a	29,220 a

*Médias seguidas por mesma letra não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

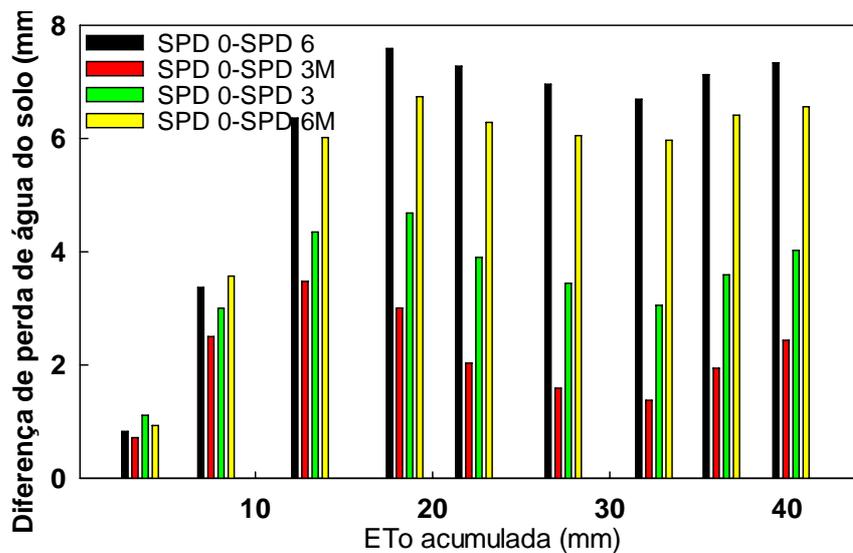


Figura 14 - Diferença de perda de água ocorrida em sistema de plantio direto com 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0) na camada de 0 a 20 cm de profundidade no primeiro ciclo de secagem do solo, para experimento com cultura do milho, Santa Maria, 2009.

Na camada de 0 a 20 cm de profundidade, as maiores diferenças foram observadas quando a ETo acumulada encontrava-se em 18,4 mm. A diferença entre o SPD 0 e o SPD 6 M foi de 7,6 mm. Nos tratamentos, SPD 6, SPD 3M e SPD 3 as

diferenças foram de 6,7; 3,0 e 4,6 mm, respectivamente. Tanto no SPD 3 quanto no SPD 6M, a diminuição das diferenças em relação ao SPD 0, foi relacionada com a redução das perdas diárias de água do solo a partir do quarto dia após a semeadura em relação ao resultado observado nos demais tratamentos. Os tratamentos SPD 6 e SPD 6M, tiveram maior diferença de perdas que o tratamento SPD 3M e SPD 3 até o final do ciclo.

A presença de maior quantidade de palha de aveia (SPD 6) na superfície do solo permitiu redução na perda de água na camada avaliada de 7,3 mm aos 40,22 mm de Eto acumulada. A decomposição do material orgânico usado como cobertura do solo pode explicar o fato de que as diferenças entre o SPD3M e o SPD0 e entre SPD6M e SPD0 foram menores que os tratamentos com apenas aveia como cobertura, 4,02mm e 2,43 mm, respectivamente. Nos tratamentos com presença de ervilhaca na cobertura (SPD 3M e SPD 6M), obteve-se uma menor diferença com o solo descoberto devido à menor relação C/N existente entre a leguminosa (ervilhaca) e a gramínea (aveia preta).

3.3.4 Coeficiente de 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. No primeiro ciclo de secagem do solo, APE e ATE foram determinadas para a camada de 0 a 20 cm de profundidade, assumindo-se que a evaporação afeta toda a camada. Na Figura 15, os valores de evaporação foram estimados durante o primeiro ciclo de secagem do solo e observados às diferenças entre os tratamentos utilizados e a evaporação estimada, como apresentado. O ciclo de secagem do solo foi dos sete aos 17 DAS, onde a participação da transpiração das plantas é mínima sendo que a perda de água depende basicamente da evaporação. O valor de APE obtido, em função do teor de argila médio da camada, (20,2%) foi de 10,4mm, utilizando esse valor para todos os tratamentos. Os valores de ATE variaram em função da cobertura entre aos tratamentos sem palha (SPD 0) e com palha (SPD 3M, SPD 6M, SPD 3 e SPD 6), sendo que o tratamento sem palha na cobertura teve uma menor retenção de água no solo, ficando esta prontamente disponível para a

evaporação. O tratamento sem cobertura vegetal (SPD 0) apresentou o maior valor de evaporação de água do solo em relação aos tratamentos com cobertura (SPD 3M, SPD 6M, SPD 3 e SPD 6) com um valor acumulado de 21,97mm, enquanto que a evaporação estimada foi de 25,09 mm.

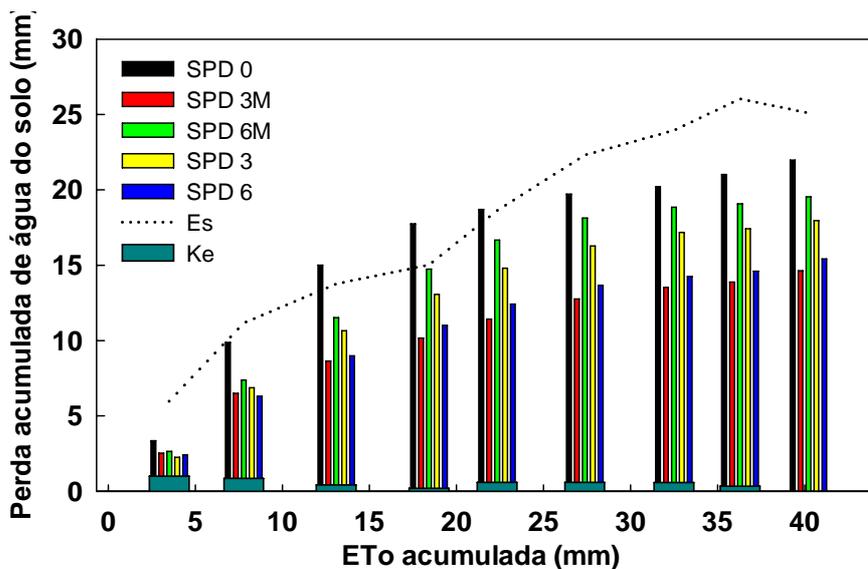


Figura 15 - Comparação entre as perdas por evaporação do solo obtidas a campo com os tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0) e a evaporação do solo estimada em função da ETo acumulada, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura do milho, Santa Maria, 2009.

Percebe-se que a evaporação estimada (ES) inicialmente segue a tendência dos tratamentos, mas no decorrer do ciclo ela torna-se maior que as demais perdas. Isso ocorreu, pois, para o cálculo da APE, necessita do teor de argila e, na área experimental, o conteúdo superficial de argila foi de 20,2%, sendo este considerado um valor relativamente elevado, o que faz com que ocorra uma maior disponibilidade de água prontamente evaporável no início do ciclo de secagem. O máximo valor de Ke atingindo foi de 0,59, quando a ETo acumulada era de 18,6 mm. Após o valor máximo de Ke, o rápido ressecamento da camada superficial do solo restringiu as perdas de água por evaporação, provocando uma diminuição nos valores de Ke, sendo que na ETo acumulada de 40,22mm (último dia do ciclo) esse valor chegou a zero. 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.

O valor de APE obtido, em função do teor de argila médio da camada, foi de 10,4 mm, utilizando-se este valor para todos os tratamentos. Os valores de ATE variaram em função da quantidade de cobertura vegetal utilizada na superfície do solo, principalmente devido a menor proteção da água do solo no tratamento com solo desnudo (SPD 0), conseqüentemente diminuindo a retenção de água no solo, ficando esta prontamente disponível para a evaporação.

Como observado 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).

3.5 Conclusões

Na camada de 20 a 40 cm, a utilização de 6,0 Mg ha⁻¹ na superfície do solo, cultivado com milho resulta em menor perda de água por evaporação do solo, com 22,6% de redução em relação ao solo desnudo.

No segundo ciclo de secagem, pôde-se constatar a influência da área foliar na evaporação do solo. Neste segundo ciclo de secagem do solo, O índice de área foliar das plantas encontrava-se maior, ocasionando em uma menor perda de água por evaporação devido o sombreamento nas entrelinhas de cultivo.

4 CAPÍTULO II - EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DO SOLO NA FASE INICIAL DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DA SOJA

RESUMO - A utilização de cobertura morta (palha) sobre o solo tem sido amplamente utilizada para, entre outras coisas, diminuir a evaporação de água. O objetivo deste trabalho foi determinar as perdas de água do solo, sob cultivo de soja, com diferentes tipos e quantidades de cobertura de resíduos vegetais na superfície do solo. O experimento foi conduzido em área experimental do Dep. de Eng. Rural, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, no ano agrícola 2007/08, sendo constituído de cinco tratamentos: Os tratamentos utilizados foram: (i) sistema de plantio direto em solo desnudo (SPD0); (ii) sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia preta (*Avena strigosa* Scrb) na superfície do solo (SPD 3); (iii) sistema de plantio direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia preta na superfície do solo (SPD 6); (iv) sistema de plantio direto com 3 Mg ha⁻¹ de palha de aveia misturada com palha de ervilhaca (*Vicia sativa* L.), sendo 75% palha de aveia e 25% de ervilhaca (SPD 3M); e (v) sistema de plantio direto 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia misturada com palha de ervilhaca, sendo 75% de palha de aveia e 25% de palha de ervilhaca (SPD 6M). Ciclos de umedecimento e secagem foram aplicados durante o desenvolvimento inicial da cultura do milho. Os ciclos eram concluídos quando a evapotranspiração de referência acumulada atingia aproximadamente 60 mm. O conteúdo de água no solo foi medido com TDR, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm. Foram aplicados três ciclos de umedecimento e secagem do solo. O conteúdo de água no solo foi medido através de sensores TDR (*Time Domain Reflectometer*) com um intervalo de 15 minutos. A presença de 3,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 3M) e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 6M) na superfície proporcionaram uma redução nas perdas de água por evaporação de 5,9% e 10,16% em relação à semeadura direta sem palha na superfície, respectivamente. Com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia preta (SPD 6), a redução nas perdas de água foi de 13,3%. No segundo e no terceiro ciclo de secagem, em ambas as profundidades, não houve diferença significativa de evaporação da água do solo.

Palavras-Chave: aveia preta, ervilhaca, TDR, umidade do solo.

Soil evaporation losses during initial soybean growth

ABSTRACT – The use of straw cover over the soil has been used to shrink the water evaporation. Objective of this study was to determine the water loss from soil, when it is being used to the soybean cultivation, using different kinds and quantities of straw cover over the soil surface. The experiment was proceeded in an experimental area of Departamento de Engenharia Rural from Universidade Federal de Santa Maria, in 2007/08, based on five treatments (i) no-till farming system without cover (SPD0); (ii) no-till farming system with 3,0 Mg ha⁻¹ of Bristle oat straw (*Avena strigosa* Scrb) (SPD 3); (iii) no-till farming system with 6,0 Mg ha⁻¹ bristle oat straw (SPD 6); (iv) no-till farming system with 3 Mg ha⁻¹ bristle oat and tare straw (*Vicia sativa* L.), the mixture was composed by 75% oat straw and 25% of tare straw (SPD 3M); and, finally, (v) no-till farming system with 6 Mg ha⁻¹ bristle oat and tare straw, the mixture was composed by 75% of oat and 25% of tare (SPD 6M). Cycles of moisture and drying were applied to the experiment during the initial stage of soybean, the cycles were finished when the evapotranspiration was about 60 mm. The presence of water in the soil was measured with TDR in two portions divided into 0 up to 20 cm and 20 up to 40 cm. Three cycles were tested in the soil; the presence of water was measured each 15 minutes. In the SPD 3M and SPD 6M, at the soil surface there was a reduction of 5.9% and 10.16% in the water loss, compared with the plantation without cover. In the SPD 6 the reduction in the water loss was 13,3%. In the other tests there was no significant difference in the water evaporation.

Key words: Oat, vetch, TDR, soil moisture.

4.1 INTRODUÇÃO

Sistemas conservacionistas são usualmente definidos por objetivar a conservação de recursos naturais, como o solo e a água, e preservar o potencial produtivo das áreas cultivadas. A implantação de culturas de cobertura e sua manutenção na superfície do solo têm sido utilizadas amplamente para o controle da amplitude térmica da temperatura do solo, para reter maior quantidade de água no solo, além de diminuir a evaporação da água e o escoamento superficial

(BRAGAGNOLO e MIELNICZUCK, 1990). O sistema plantio direto mantém resíduos de biomassa dos cultivos formando cobertura morta na superfície do solo reduz a intensidade de desagregação e incorpora matéria orgânica no perfil promove benefícios às condições físicas, hidráulicas e químicas do solo, a médio e longo prazo, aumentando a eficiência do uso da água em sistemas de cultivo irrigado, redução de custos de produção e aumento de produtividade, quando comparado ao sistema de manejo convencional. Resíduos deixados pela biomassa dos cultivos, afeta positivamente o comportamento físico-hidráulico do solo e fisiológico da planta que regulam o balance do índice de demanda por água, a evaporação, a transpiração e induz a um uso mais eficiente da água pelas plantas cultivadas (SILVA, 1986; ANDRADE et al., 2002; ALVES SOBRINHO, 2003). Em função do 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 desta nos cultivos, 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. A evaporação da água do solo pode ser o principal componente do balanço hídrico, principalmente quando a cultura possui cobertura incompleta do solo (SULEIMAN & RITCHIE, 2003). Conseqüentemente, nas áreas onde as chuvas são irregulares, a evaporação do solo pode afetar diretamente o rendimento da cultura. O efeito dos resíduos vegetais na superfície do solo na sua umidade depende da quantidade, forma de distribuição e origem dos resíduos (STRECK et al., 1994; MODEL et al., 1995). À medida que a cultura se desenvolve e aumenta à área foliar interceptando uma parte da radiação solar, ao mesmo tempo em que extrai maior quantidade de água, o efeito da cobertura é diminuído.

A manutenção da água no perfil do solo pela redução das perdas por evaporação é importante durante a fase inicial do desenvolvimento das culturas, quando o dossel vegetativo é reduzido e insuficiente para cobrir a superfície do solo, sendo a evaporação o processo predominante de perda de água do solo. O tipo de

cobertura vegetal no solo também tem grande importância. Como o sistema plantio direto caracteriza-se pela manutenção de resíduos culturais e sensível diminuição das perdas de solo por erosão, tem-se observado acréscimos no teor de matéria orgânica no solo (GONÇALVES & CERETTA, 1999). Isso pode promover alterações no manejo da adubação nitrogenada, embora esta seja influenciada principalmente pela quantidade e características dos resíduos que antecedem, imediatamente, a cultura de interesse. A taxa de decomposição de resíduos vegetais está associada à relação carbono/nitrogênio (C/N) do tecido, por isso espécies não gramíneas como ervilhaca e nabo forrageiro possuem maior taxa de decomposição, quando comparadas com gramíneas como aveia preta (SALET et al., 1997). O objetivo deste trabalho foi determinar as perdas de água por evaporação com a cultura da soja, cultivada com diferentes tipos e quantidades de cobertura de resíduos vegetais na superfície do solo. Possui também como objetivos: (i) quantificar as perdas de água por evaporação no sistema de plantio direto (com diferentes quantidades e tipos 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 e (iii) avaliar a interferência da área foliar nas perdas de água por evaporação

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização do experimento

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). Para o início do experimento com a cultura da soja, a semeadura ocorreu em 17 de janeiro de 2008, e seu término ocorreu no dia 1° de março de 2008. O experimento foi conduzido no interior de uma cobertura móvel (rainshelter),

estruturada em arcos, com movimentação mecânica de uma lona encerrada que desliza sobre arcos metálicos. A cobertura móvel somente era acionada (fechada) quando da ocorrência de precipitações pluviais na área experimental. Essa estrutura possibilitou um controle dos ciclos de umedecimento e secagem do solo, sem interferência das precipitações pluviais.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. O experimento constituído de cinco tratamentos: (i) sistema de plantio direto em solo desnudo (SPD0); (ii) sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia preta (*Avena strigosa* Scrb) na superfície do solo (SPD 3); (iii) sistema de plantio direto com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia preta na superfície do solo (SPD 6); (iv) sistema de plantio direto com 3 Mg ha⁻¹ de palha de aveia misturada com palha de ervilhaca (*Vicia sativa* L.), sendo 75% palha de aveia e 25% de ervilhaca (SPD 3M); e (v) sistema de plantio direto 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia misturada com palha de ervilhaca, sendo 75% de palha de aveia e 25% de palha de ervilhaca (SPD 6M). As parcelas experimentais apresentaram as dimensões de 2,0 x 2,0 m, totalizando uma área de 4m².

4.2.2 Manejo da cultura

A semeadura da soja foi realizada com espaçamento entre linhas de 50 cm e uma população final de 200.000 pl/ha⁻¹. A cultivar de soja utilizada foi a FUNDACEP 55 (ciclo precoce e com hábito de crescimento determinado). A fertilização do solo para a cultura da soja foi feita com base na análise química do solo, seguindo as recomendações para a cultura, conforme a Comissão de Fertilidade do Solo RS/SC (2004). Foram utilizados, para adubação de base, 15 kg ha⁻¹ de N, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 60 kg ha⁻¹ de K₂O. A semeadura da cultura da soja foi feita manualmente e a adubação foi realizada na linha de semeadura. Foram utilizados 40 Kg de P₂O₅ ha⁻¹ e 65 Kg de K₂O ha⁻¹ sendo esta adubação realizada de acordo com a análise química, seguindo as recomendações para a cultura da soja (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC 2004).

A caracterização física do solo, a evaporação da água do solo pelo método Sindual Kc, e as determinações das perdas de água do solo através da evaporação foram determinadas do mesmo modo em que foram determinadas para o experimento com a cultura do milho (Capítulo I).

4.2.3 Análise estatística

Os resultados das perdas de água do solo diária e acumulada por evaporação e resultados de área foliar foram analisados estatisticamente através do programa estatístico “SOC/NTIA/Embrapa” (STORCK et al., 2002), sendo a análise de variância e o teste de Duncan 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.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Crescimento e desenvolvimento das plantas

A medição de área foliar iniciou-se aos 22 dias após a semeadura (DAS). A medida era feita do folíolo central do trifólio, medindo-se o comprimento e a largura do folíolo. A altura das plantas era medida da superfície do solo até último nó formado na haste principal. O índice de área foliar foi determinado pela razão entre a área foliar fotossinteticamente ativa das folhas (m^2) e a área superficial de solo ocupada pela planta. A realização das medidas de área foliar e de altura de plantas era realizada duas vezes por semana. Os valores médios obtidos no último dia de avaliação, de altura de plantas e do índice de área foliar, nos 42 DAS, foram de 34,9cm e 0,48, respectivamente.

Os resultados de altura das plantas e índice de área foliar foram semelhantes durante todo período de avaliação. Para a cultura da soja, o valor médio da altura e do índice de área foliar, aos 42 DAS, foi de 34,97 cm e 0,44 respectivamente (Figura 16). Um bom crescimento inicial das plantas resulta em maior captura de luz pelas folhas, favorecendo que o índice de área foliar máximo seja atingido mais rapidamente (SIDDIQUE et al., 1990). Além disso, proporciona maior e mais rápido sombreamento da superfície do solo, ocorrendo desta forma, menor evaporação de água do solo, a qual pode ser aproveitada na transpiração e crescimento das plantas.

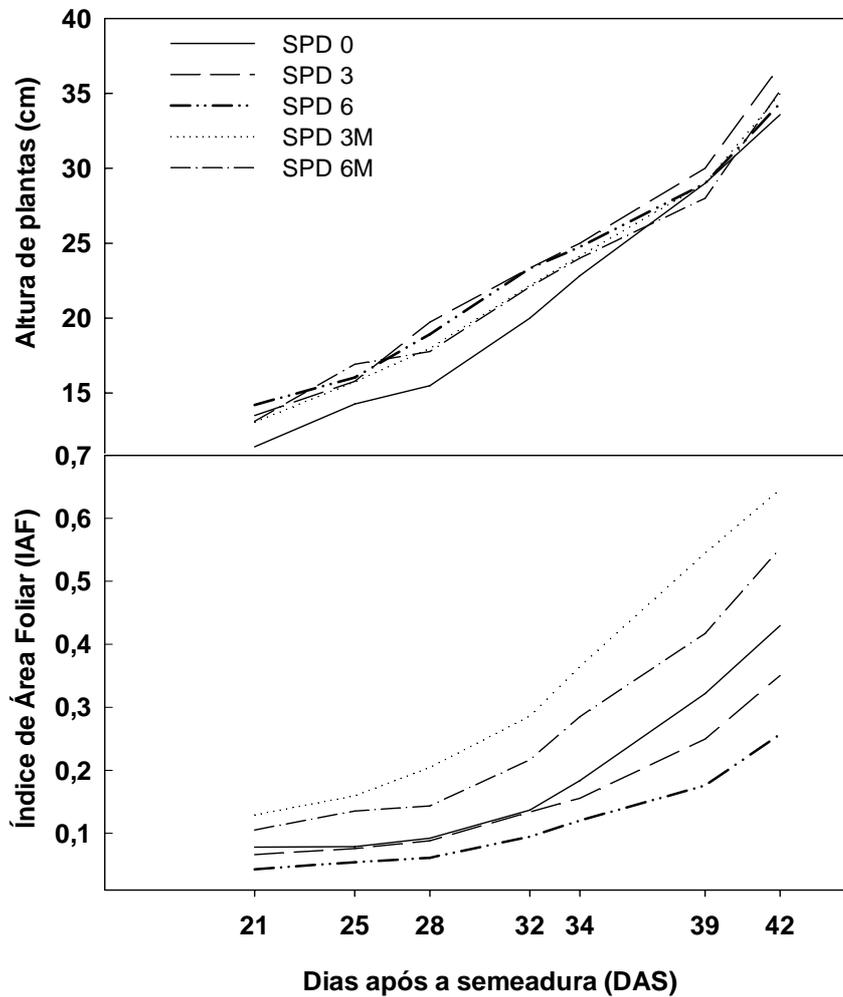


Figura 16 - Altura de plantas e índice de área foliar das plantas de soja durante o período de condução do experimento sob sistema de plantio direto sem cobertura (SPD 0), sistema de plantio direto com 3 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3), sistema de plantio direto com 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 6), sistema de plantio direto com 3 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 3M) e sob sistema de plantio direto com 3 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 6M). Santa Maria, 2009.

Tabela 12 - Comparação de médias de índice de área foliar e altura de plantas para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

Índice de área foliar (IAF)					
DAS	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
21	0,0780 b	0,1289 a	0,1049 a	0,0660 a	0,0426 a
25	0,0788 a	0,1594 a	0,1353 a	0,0750 a	0,0539 a
28	0,0920 a	0,2040 a	0,1434 a	0,0880 a	0,0609 a
32	0,1368 a	0,2859 a	0,2163 a	0,1335 a	0,0945 a
34	0,1836 a	0,3645 a	0,2849 a	0,1557 a	0,1200 a
39	0,3217 a	0,5449 a	0,4168 a	0,2495 a	0,1756 a
42	0,4297 a	0,6457 a	0,5524 a	0,3502 a	0,4571 a
Altura de plantas (cm)					
DAS	SPD 0	SPD 3	SPD 6	SPD 3M	SPD 6M
21	11,416 b	13,500 a	14,200 a	13,058 a	13,116 a
25	14,266 a	15,783 a	16,033 a	15,750 a	16,916 a
28	15,500 a	19,733 a	18,933 a	17,983 a	17,766 a
32	20,000 a	23,333 a	23,316 a	22,183 a	22,083 a
34	22,833 a	25,000 a	24,750 a	24,145 a	24,000 a
39	29,000 a	30,000 a	28,983 a	28,995 a	28,000 a
42	33,582 a	36,833 a	34,333 a	34,979 a	35,166 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

4.3.1 Determinação das perdas de água do solo

As irrigações foram aplicadas para atender a necessidade das culturas a partir da determinação da evapotranspiração de referência estimada segundo metodologia proposta pela metodologia ALLEN et al. (1998). No experimento com a cultura da soja, foram aplicados três ciclos de umedecimento e secagem do solo (Figura 17).

Os ciclos de umedecimento e secagem eram completos quando, para o estudo com a cultura da soja, a ETo acumulada atingia um valor de aproximadamente 60 mm. Os ciclos de secagem do solo foram simulados com o auxílio da aplicação de irrigações foram simulados com o auxílio da aplicação de irrigações. Utilizou-se um sistema de micro-aspersão, com uma taxa de aplicação de 18 mm hora⁻¹ suficientes para umedecer a camada superficial do solo, antes do início de cada ciclo de secagem. O início de cada ciclo de secagem foi considerado a partir do primeiro dia após irrigação.

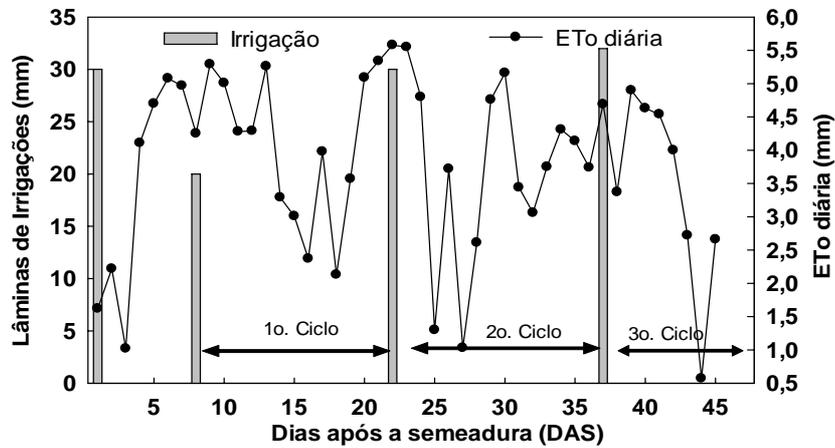


Figura 17 - Irrigações aplicadas e evapotranspiração de referência (ETo) durante o experimento com a cultura da soja. Santa Maria, 2009.

A água disponível às plantas (expressa em altura de lâmina, mm) é utilizada como indicador de déficit hídrico e também indica o momento de irrigar a cultura (RITCHIE et al., 1972, ROSENTHAL et al., 1987, CARLESSO, 1995).

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 20 cm e o outro foi inserido verticalmente na camada de 20 a 40 cm.

4.3.3 Perdas por evaporação da água do solo

Foram aplicados três ciclos de secagem do solo para a determinação das perdas de água por evaporação durante o período vegetativo da cultura da soja. Para iniciar o primeiro ciclo, foi realizada uma irrigação de 20 mm aos sete dias após a semeadura (DAS). Nos 22 DAS, foi realizada uma nova irrigação de 30 mm, dando início ao segundo ciclo, com duração até o 37 dias após a semeadura (DAS), onde foi aplicada uma lâmina de irrigação de 32 mm, começando assim o terceiro ciclo de secagem. Os ciclos de umedecimento e secagem iniciavam com o umedecimento completo do perfil do solo e eram encerrados quando a evapotranspiração de

referência (ET_o), determinada por Penamn-Monteith, atingia um valor acumulado de aproximadamente 60 mm.

4.3.3.1 Primeiro ciclo de secagem do solo

O primeiro ciclo de secagem do solo apresentou duração de 11 dias, dos seis aos 17 dias após a semeadura. No final do ciclo a ET_o acumulada foi de 58,03 mm, apresentando uma média de 5,27 mm dia⁻¹. O início do primeiro ciclo de secagem de água do solo foi após uma irrigação de com lâmina de 20 mm, ocorrendo aos sete dias após a semeadura da cultura. A perda diária de água durante o primeiro ciclo de secagem de água do solo para a cultura da soja, para a camada de 0 a 20 cm de profundidade está apresentada na figura 18. As maiores perdas de água encontradas na camada de 0 a 20 cm de profundidade ocorreram do primeiro ao terceiro dia após o umedecimento do solo. No primeiro dia do ciclo, processo de evaporação ocorreu na sua taxa máxima, pois essa camada mais superficial foi mais afetada pelos fatores ambientais (vento e radiação solar). Com a rápida diminuição do conteúdo de água do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, como ocorreu ao final do ciclo de secagem da água do solo, houve uma diminuição do fornecimento de água das camadas inferiores para a superfície. Na superfície do solo houve a formação de uma barreira ao fluxo de água para a atmosfera, que funcionou como uma cobertura vegetal, reduzindo as perdas de água por evaporação.

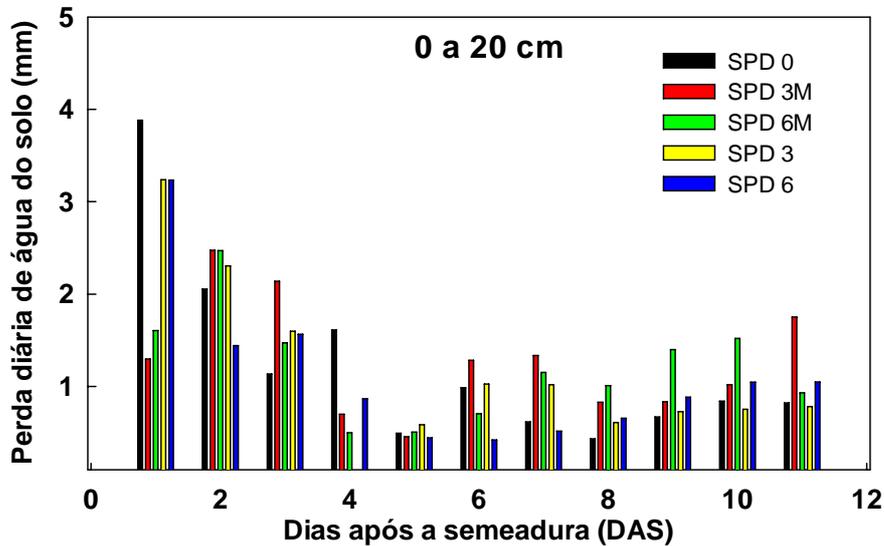


Figura 18 - Perda diária de água do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade, no primeiro ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação aos DAS na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.

No tratamento SPD 0, as perdas diárias de água do solo variaram durante o primeiro ciclo. Inicialmente, o tratamento SPD 0 apresentou diferença significativa em relação aos tratamentos com cobertura (SPD 3M, SPD 6M, SPD 3 e SPD 6). A partir do segundo dia do ciclo de secagem do solo, o SPD 0 começou a diminuir as perdas de água do solo em relação aos demais tratamentos, como apresentado na tabela 13. Nos tratamentos com presença de palha na superfície, a taxa máxima de perda de água ocorreu também no primeiro dia de secagem do ciclo, com perdas de água de 1,29, 1,65¹, 3,23 e 3,23 mm dia⁻¹ para os tratamentos SPD 3M e SPD 6M, SPD 3 e SPD 6, respectivamente. No tratamento SPD 0, a perda de água do solo por evaporação no primeiro dia do ciclo, foi de 3,88 mm. No final do ciclo de secagem foi observado em relação a SPD 0, foi um dos tratamentos com menor perda diária de água do solo. Apesar de ser o primeiro ciclo de secagem do solo para o experimento com a cultura da soja, percebeu-se que, onde não havia cobertura vegetal, houve o ressecamento da superfície do solo, e isso ocorreu mais rapidamente pois esse solo já havia sido submetido, no experimento anterior, a ciclos de secagem do solo.

Tabela 13 - Comparação de médias de perda diária de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ (SPD 3M) e 6,0 Mg ha⁻¹ (SPD 6M) de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ (SPD 3) e 6,0 Mg ha⁻¹ (SPD 6) de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

0 a 20 cm de profundidade					
Dias do ciclo	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	3,883 a	1,297 b	1,605 b	3,239 ab	3,236 ab
2	2,055 a	2,475 a	2,470 a	2,306 a	1,443 a
3	1,136 b	2,141 a	1,471 ab	1,598 ab	1,566 a
4	1,613 a	0,700 a	0,500 a	0,001 a	0,868 b
5	0,494 a	0,457 a	0,506 a	0,586 a	0,444 b
6	0,986 a	1,285 a	0,706 a	1,028 a	0,423 b
7	0,617 b	1,337 a	1,153 ab	1,020 ab	0,517 b
8	0,433 b	0,830 a	1,010 a	0,611 ab	0,658 ab
9	0,672 b	0,836 ab	1,401 a	0,728 b	0,885 b
10	0,843 b	1,020 ab	1,522 a	0,7540 b	1,047 ab
11	0,822 b	1,752 a	0,931 b	0,7840 b	1,049 ab

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

A camada de 20 a 40 cm de profundidade teve uma menor quantidade de água perdida por evaporação em relação à perda diária ocorrida na camada de 0 a 20 cm. Nessa camada, não há uma influência direta das condições ambientais como vento e radiação solar. Em uma maior profundidade existem outras variantes que atuam na diminuição das perdas de água por evaporação, como as características físicas do solo e a sua textura. Nessa profundidade a redução na perda de água do solo ocorreu, pois se tem uma quantidade maior de argila. A argila faz com que a quantidade de água evaporada do solo seja menor que na camada superior, devido a sua força de adsorção de água nas partículas de argila. Dessa forma, a quantidade de água disponível para a evaporação é menor.

A perda diária de água nessa camada no primeiro dia do ciclo teve uma maior perda nos primeiros dois dias do ciclo. Na camada de 20 a 40 cm (Figura 19), a maior perda de água ocorreu para o tratamento com 6 Mg ha⁻¹ de aveia (SPD 6) no primeiro dia após a precipitação, com 1,56 mm e, para esse mesmo dia, o tratamento sem cobertura teve uma perda de água de 0,76 mm.

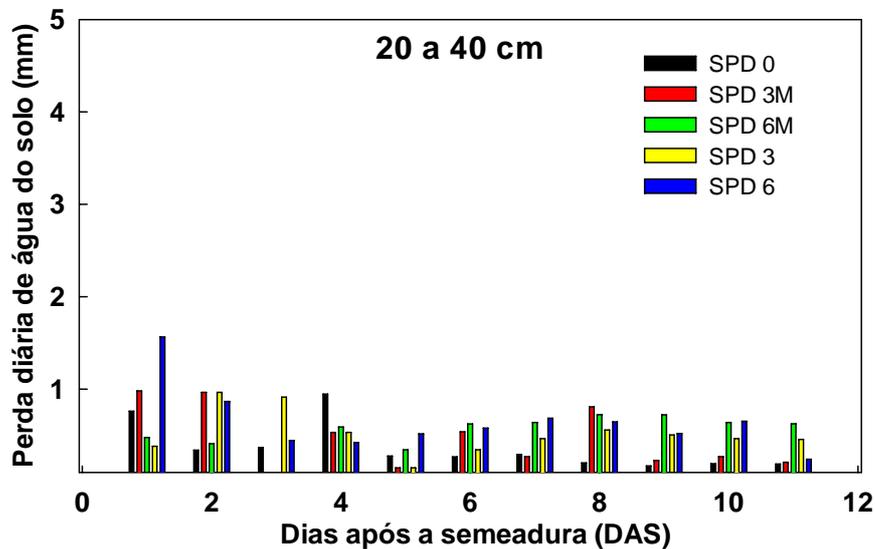


Figura 19- Perda diária de água do solo na camada de 20 a 40 cm de profundidade, no primeiro ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação aos DAS na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.

Durante o primeiro ciclo de secagem para a camada de 20 a 40 cm de profundidade, as perdas diárias de água por evaporação não diferiram significativamente (Tabela 14). Apesar de não diferirem significativamente, o tratamento com 6 Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca (SPD 6M) foi o tratamento que, no último dia do ciclo, apresentou uma maior perda de água do solo apresentando um valor de 0,65 mm.

O tratamento que obteve menor perda de água por evaporação, no último dia do ciclo, foi o tratamento sem cobertura de palha (SPD 0), resultando em 0,19 mm de água perdida por evaporação, comprovando o que, após o umedecimento do solo ocorre a formação de uma camada ressecada devido as condições meteorológicas, resultando na diminuição das perdas diárias de água no final do ciclo.

Tabela 14 - Comparação de médias de perda diária de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	20 a 40 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	0,762 a	0,981 b	0,478 a	0,381 a	1,566 b
2	0,341 a	0,966 b	0,411 a	0,966 b	0,868 b
3	0,367 a	0,091 a	0,008 b	0,913 b	0,444 a
4	0,948 b	0,533 a	0,592 b	0,533 b	0,423 a
5	0,277 a	0,149 a	0,345 a	0,149 a	0,517 a
6	0,268 a	0,540 a	0,624 a	0,344 a	0,580 ab
7	0,294 a	0,270 a	0,640 a	0,465 a	0,685 a
8	0,202 a	0,809 a	0,725 a	0,557 a	0,647 ab
9	0,170 a	0,229 a	0,724 a	0,504 a	0,520 a
10	0,194 a	0,270 a	0,640 a	0,465 a	0,654 a
11	0,190 a	0,209 a	0,625 a	0,457 a	0,243 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

As maiores taxas de evaporação foram observadas nos dois primeiros dias do ciclo de secagem, o que de acordo com JENSEN et al., (1990) caracteriza o primeiro estágio de evaporação. Esse estágio pode durar de um a três dias, conforme a magnitude da taxa de evaporação que, nesta fase, depende das condições atmosféricas externas, sendo esta de aproximadamente 90% da demanda evaporativa. Ainda segundo os mesmo autores a duração do primeiro estágio de evaporação é influenciada pela taxa de evaporação, pela profundidade e propriedades hidráulicas do solo. Durante o segundo estágio de secagem do solo, a superfície torna-se seca e a evaporação ocorre abaixo da superfície.

A figura 20 apresenta a perda de água acumulada durante todo o primeiro ciclo de secagem do solo, para a camada de solo de 0 a 20 cm de profundidade, em função da ETo acumulada durante este ciclo de secagem. O tratamento sem a presença da cobertura vegetal (SPD 0), teve a maior perda acumulada durante o ciclo, com 15,21 mm, para uma ETo acumulada de 58,03 mm. Os tratamentos com cobertura no solo, SPD3M, SPD3, SPD 6M e SPD6 apresentaram no final do ciclo uma perda de água acumulada de 14,1mm, 14,01 mm, 13,5 mm e 13,04 mm, respectivamente.

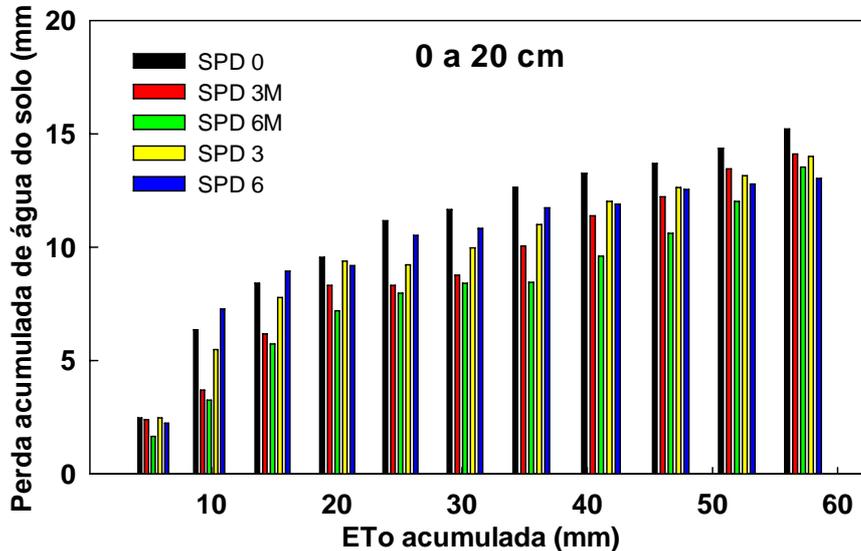


Figura 20 - Perda acumulada de água na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo, no primeiro ciclo de secagem para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação à ETo acumulada na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.

A presença de 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 6) na superfície proporcionou uma redução nas perdas de água por evaporação de 13,3% em relação ao solo desnudo (SPD0). Com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 6M) a redução nas perdas de água foi de 10,16%. Com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3), a redução de água evaporada do solo foi de 12,1% em relação ao solo descoberto e, com 3,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 3M), a redução da perdas foi de 5,9% menor. As maiores perdas de água acumulada foram do tratamento sem cobertura de solo (SPD 0) e do tratamento com 3Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca (SPD 3M). A perda observada no solo desnudo deve-se às condições meteorológicas (vento, radiação solar). A maior perda de água observada no tratamento com presença de ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) pode ser atribuída a sua menor relação C/N, resultando em rápida decomposição, diminuindo a cobertura do solo e, conseqüentemente, maior evaporação de água do solo em relação aos tratamentos com apenas um tipo de resíduo vegetal (SPD3 e SPD 6). Comparando os tratamentos com mistura de resíduos vegetais (SPD 3M e SPD 6M) com os tratamentos com apenas o resíduo de aveia preta sobre o solo. Estes resultados estão de acordo com SIDIRAS et. al. (1984) que observaram que o efeito da

cobertura do solo com resíduos vegetais na redução das perdas de água por evaporação foi mais pronunciada na camada superficial do solo, sendo estas perdas reduzidas pela cobertura da superfície com resíduos de aveia-preta, tanto na cultura da soja como no milho.

Tabela 15 - Comparação de médias de perda acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	0 a 20 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	2,473 a	2,393 a	1,65 b	2,473 a	2,236 a
2	6,360 a	3,696 b	3,253 b	5,480 ab	7,273 b
3	8,413 ab	6,170 b	5,726 c	7,783 ab	8,946 a
4	9,553 a	8,310 a	7,196 a	9,386 a	9,193 a
5	11,163 a	8,310 a	7,970 a	9,230 a	10,520 a
6	11,656 a	8,770 ab	8,405 b	9,970 ab	10,833 ab
7	12,646 a	10,053 ab	8,453 b	11,000 ab	11,736 ab
8	13,263 a	11,390 a	9,606 a	12,020 a	11,896 a
9	13,696 a	12,223 a	10,616 a	12,630 a	12,550 a
10	14,366 a	13,456 a	12,020 a	13,156 a	12,793 a
11	15,213 a	14,113 a	13,540 a	14,008 a	13,040a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

Para a camada de 20 a 40 cm de profundidade (Figura 21), observa-se que as perdas acumuladas com 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 6) ultrapassa as do tratamento sem cobertura a partir dos 32,5 mm de ETo acumulado, atingindo no final do ciclo 10,8 mm. A maior perda no tratamento SPD6 ocorreu, pois, o solo com maior quantidade de palha mantém a água durante mais tempo no solo em relação ao solo descoberto. Nos tratamentos de SPD 0, SPD 3M, SPD 6M e SPD 3 as perdas acumuladas no final do ciclo foram de 8,6 mm; 9,1 mm; 10,1 mm e 9,2 mm, respectivamente. Na profundidade 20 a 40 cm, a perda acumulada de água do solo apresentou diferença significativa entre os tratamentos apenas no primeiro dia do ciclo (Tabela 16). O tratamento com solo desnudo (SPD 0) não apresentou diferença significativa em relação aos tratamentos com cobertura de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), diferindo apenas dos tratamentos que apresentavam cobertura de aveia e ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M).

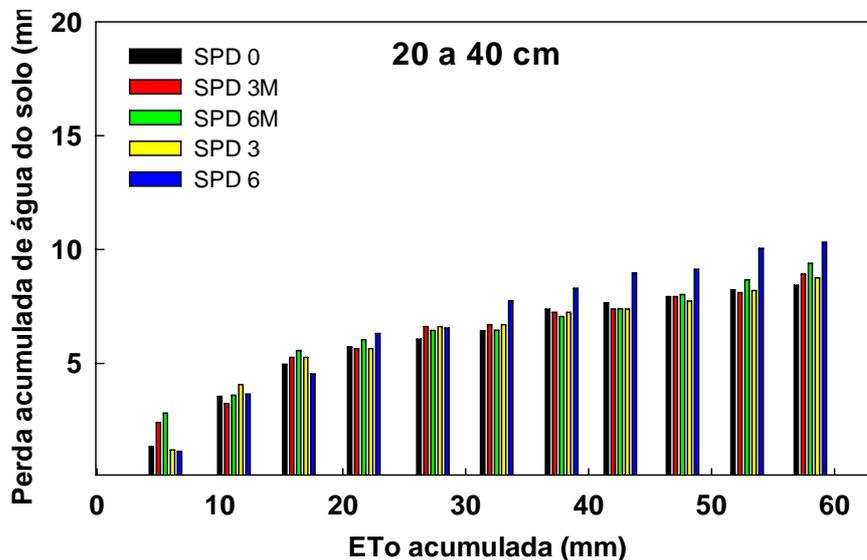


Figura 21 - Perda acumulada de água na camada de 20 a 40 cm de profundidade de solo, no primeiro ciclo de secagem para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação aos DAS na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.

Ao final desse ciclo, nessa segunda profundidade, houve diferença significativa no primeiro dia do ciclo, no tratamento sem cobertura vegetal (SPD 0). A partir do segundo dia do ciclo de secagem do solo, não houve diferença significativa entre os tratamentos.

Esse fato pode ser atribuído devido aos ciclos de umedecimento e secagem ocorridos no experimento anterior, pois o solo já havia sido exposto à ciclos de secagem, e isso fez com que o solo desnudo (SPD 0) formasse uma espécie de crosta superficial, fazendo com que esse tratamento apresentasse uma menor perda de água acumulada ao final do ciclo, em relação ao tratamento com 6Mg ha⁻¹ de aveia. Outro fator que contribui para a menor perda de água por evaporação, é que não há uma influência direta das condições climáticas nessa profundidade, favorecendo uma diminuição das diferenças entre os tratamentos após o segundo dia do ciclo.

Tabela 16 - Comparação de médias de perda acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	20 a 40 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	1,347 b	2,405 a	2,815 a	1,203 b	1,138 b
2	3,557 a	3,235 a	3,608 a	4,065 a	3,649 a
3	4,963 a	5,267 a	5,563 a	5,267 a	4,536 a
4	5,725 a	5,648 a	6,042 a	5,648 a	6,312 a
5	6,067 a	6,614 a	6,453 a	6,614 a	6,554 a
6	6,435 a	6,705 a	6,461 a	6,705 a	7,752 a
7	7,383 a	7,239 a	7,054 a	7,239 a	8,296 a
8	7,661 a	7,388 a	7,400 a	7,388 a	8,967 a
9	7,930 a	7,929 a	8,024 a	7,733 a	9,127 a
10	8,224 a	8,109 a	8,665 a	8,198 a	10,057 a
11	8,427 a	8,918 a	9,390 a	8,756 a	10,316 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

4.3.3.2 Segundo ciclo de secagem do solo

Este ciclo de secagem do solo teve duração de 12 dias e teve seu início aos 21 DAS e encerrando aos 36 DAS. Para iniciar o ciclo, foi feita uma irrigação de 30 mm. A ETo acumulada do ciclo foi de 61,3 mm, média de 5,1 mm dia⁻¹. A maior perda diária de água ocorreu para o tratamento com a presença de 6Mg ha⁻¹ de aveia (SPD 6) que foi de 2,7 mm, ocorrida no primeiro dia do ciclo quando a ETo era de 5,57 mm (Figura 22). Para o tratamento sem cobertura (SPD0), a máxima perda de água foi de 2,16 mm, também no primeiro dia do ciclo.

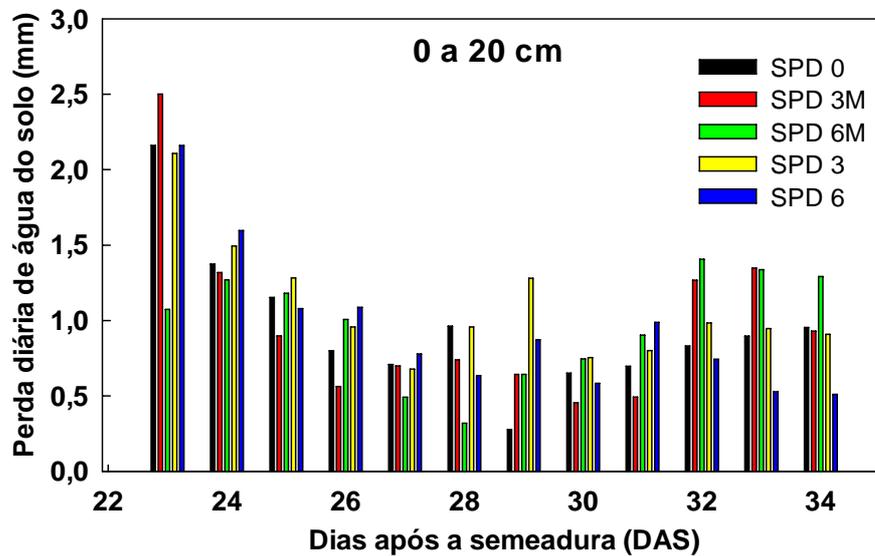


Figura 22 - Perda diária de água na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo, no segundo ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação à ETo acumulada na cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

Tabela 17 - Comparação de médias de perda diária de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	0 a 20 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	2,160 a	2,501 a	1,474 b	2,108 a	2,761 a
2	1,375 a	1,318 a	1,270 a	1,494 a	1,597 a
3	1,153 a	0,897 a	1,180 a	1,281 a	1,079 a
4	0,800 a	0,562 a	1,007 a	0,957 a	1,087 a
5	0,708 a	0,700 a	0,491 a	0,678 a	0,779 a
6	0,963 a	0,739 a	0,320 a	0,958 a	0,634 a
7	0,277 a	0,643 a	0,643 a	1,280 a	0,873 a
8	0,651 a	0,454 a	0,745 a	0,753 a	0,584 a
9	0,697 a	0,492 a	0,903 a	0,801 a	0,988 a
10	0,831 a	1,268 a	1,406 a	0,983 a	0,743 a
11	0,897 a	1,348 a	1,337 a	0,946 a	0,728 a
12	0,954 a	0,930 a	1,291 a	0,909 a	0,711 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

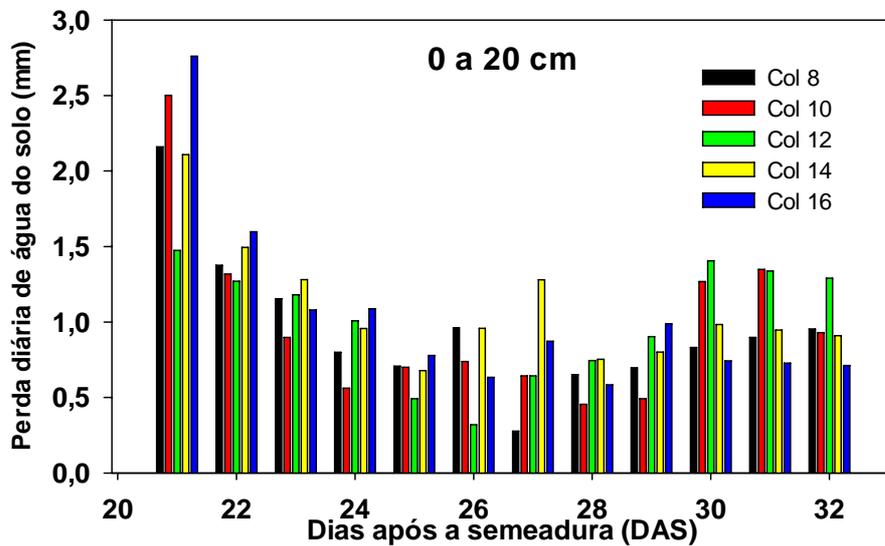


Figura 23 - Perda diária de água na camada de 20 a 40 cm de profundidade de solo, no segundo ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação à ETo acumulada na cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

Tabela 18 - Comparação de médias de perda diária de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	20 a 40 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	1,347 a	1,588 a	1,096 a	1,588 a	2,851 b
2	2,210 ab	2,027 ab	1,489 a	2,027 ab	0,602 a
3	1,405 a	1,012 a	0,970 a	1,012 a	1,240 a
4	0,763 a	0,892 a	0,817 a	0,892 a	1,001 a
5	0,342 a	0,587 a	0,545 a	0,587 a	0,656 a
6	0,368 a	0,790 a	0,740 a	0,790 a	1,083 a
7	0,949 a	0,977 a	0,915 a	0,977 a	1,425 a
8	0,278 a	0,734 a	0,685 a	0,734 a	0,935 a
9	0,269 a	0,558 a	0,329 a	0,558 a	0,512 a
10	0,294 a	0,648 a	0,569 a	0,648 a	0,567 a
11	0,203 a	0,768 a	1,060 a	0,768 a	0,887 a
12	0,171 a	0,753 a	1,227 a	0,753 a	0,969 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

A maior perda acumulada de água na camada de 0 a 20 cm de profundidade foi observada no tratamento com 6Mg ha⁻¹ de aveia (SPD 6) totalizando ao final do ciclo em uma perda acumulada de 16,1 mm quando a EToac era de 61 mm (Figura 24). Nesse ciclo de secagem do solo, para a perda acumulada de água, o tratamento sem cobertura vegetal (SPD0) apresentou uma perda de água total no final do ciclo de 15,2 mm e os demais tratamentos, de 3Mg ha⁻¹ aveia e ervilhaca (SPD3M), 6Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca (SPD6M) e 3Mg ha⁻¹ de aveia (SPD 3) a perda de água acumulada no final do ciclo foi de 15,9mm, 14,26mm e 15,75mm respectivamente.

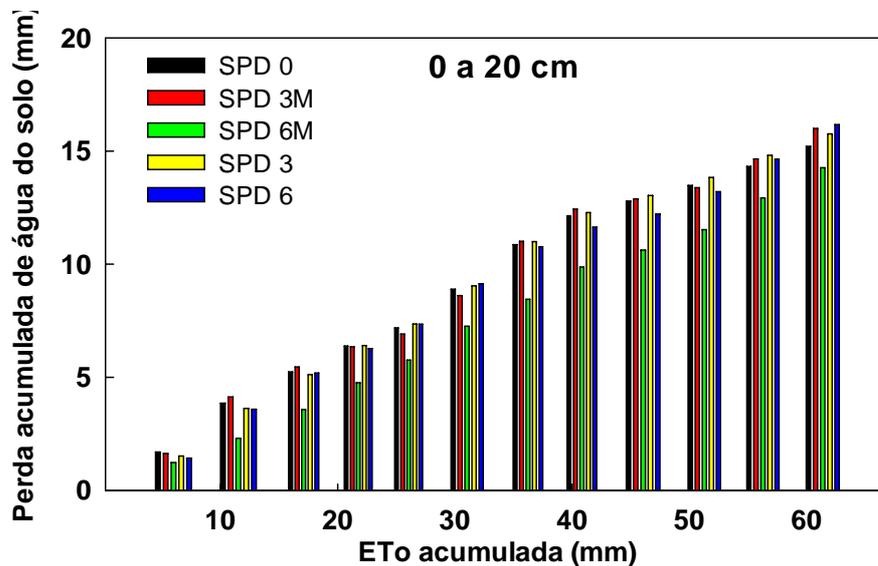


Figura 24 - Perda acumulada de água na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo, no segundo ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação à ETo acumulada na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.

Mesmo não havendo diferenças significativas entre os tratamentos, foi observado que, ao final do ciclo de secagem do solo, o tratamento sem cobertura vegetal (SPD 0) teve maior perda acumulada de água somente em relação ao tratamento com 6,0 Mg ha⁻¹ aveia e ervilhaca (SPD 6M), sendo que solo desnudo obteve uma perda acumulada de 15,2 mm enquanto que no tratamento SPD 6M a perda acumulada foi de 14,2 mm (Tabela 19).

Tabela 19 - Comparação de médias de perda acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	0 a 20 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	1,698 a	1,633 a	1,230 a	1,518 a	1,427 a
2	3,858 a	4,134 a	2,304 ab	3,626 a	3,588 a
3	5,233 a	5,452 ab	3,574 ab	5,120 ab	5,184 ab
4	6,386 a	6,349 ab	4,754 a	6,401 ab	6,264 ab
5	7,186 ab	6,911 a	5,761 a	7,358 a	7,351 a
6	8,894 a	8,611 a	7,252 a	9,036 ab	9,130 a
7	10,857 a	11,004 ab	8,449 a	10,994 ab	10,763 ab
8	12,134 a	12,434 a	9,874 a	12,274 a	11,636 a
9	12,786 a	12,888 a	10,619 a	13,027 a	12,220 a
10	13,482 a	13,381 a	11,522 a	13,828 a	13,207 a
11	14,313 a	14,648 a	12,928 a	14,811 a	14,640 a
12	15,210 a	15,996 a	14,265 a	15,757 a	16,167 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

Na camada de 20 a 40 cm de profundidade, a maior perda acumulada de água do solo ocorreu no tratamento com 6Mg ha⁻¹ de aveia (SPD 6) com 17,6mm no final do ciclo de secagem. Nos tratamentos com 3Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca (SPD3M) e 6Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca (SPD6M), a perda de água acumulada no final do ciclo foi de 16,9 mm e 15,5 mm, respectivamente (Figura 25). Os tratamentos não diferiram estatisticamente no final do ciclo, mas apenas o tratamento com 6Mg ha⁻¹ aveia e ervilhaca (SPD 6M) teve menor taxa de evaporação da água do solo do que o tratamento sem cobertura (SPD 0), como apresentado na tabela 20. No tratamento com cobertura vegetal de 6Mg ha⁻¹ aveia e ervilhaca (SPD 6M), a redução da evaporação do solo foi de 9,38% em relação ao tratamento sem resíduo vegetal. Nos tratamentos com 3Mg ha⁻¹ de aveia (SPD3) e 6Mg ha⁻¹ de aveia (SPD6) houve uma maior perda acumulada devido ao aumento na insolação e na radiação solar diária, aumentando a demanda atmosférica, resultando na maior perda acumulada de água no tratamento 6Mg ha⁻¹ de aveia (SPD6). As perdas de água na camada de 20 a 40 cm de profundidade apresentaram valores mais elevados quando comparados com a mesma camada no primeiro ciclo, 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.

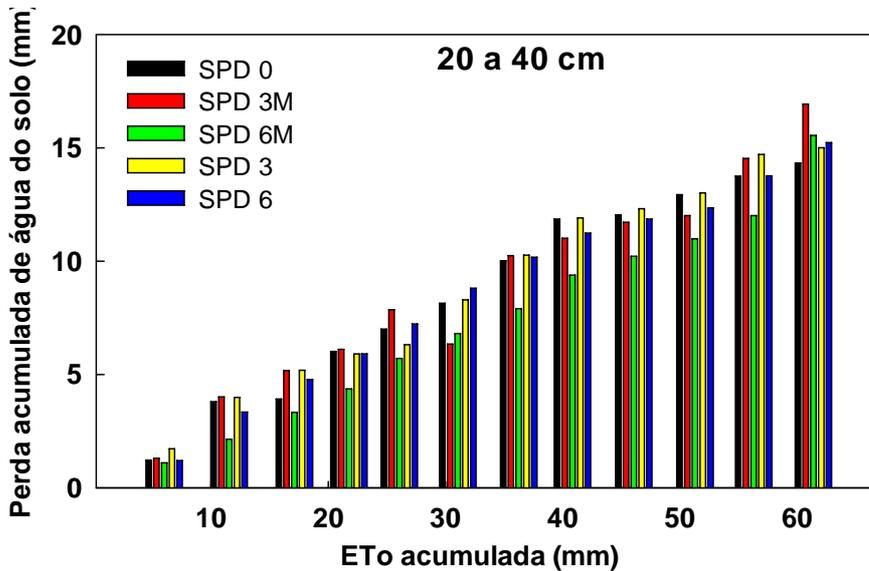


Figura 25 - Perda acumulada de água na camada de 20 a 40 cm de profundidade de solo, no segundo ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação à ETo acumulada na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.

A mudança nas condições meteorológicas influenciou principalmente a perdas de água do solo na camada de 20 a 40 cm de profundidade, onde houve um aumento na perda de água desta camada em todos os tratamentos. Apenas no primeiro dia do ciclo observou-se diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 20). Nos tratamentos sob plantio direto com cobertura vegetal (SPD 3, SPD6, SPD 3M e SPD 6M), apresentam um maior conteúdo de água de água no solo, o que faz com que as plantas que estão sob esses tratamentos apresentem maior consumo de água por evapotranspiração, pois nesse ciclo, as plantas apresentavam-se com maior desenvolvimento vegetativo. No último dia do ciclo, a perda acumulada de água do solo no tratamento sem cobertura vegetal foi de 14,3 mm. Nos tratamentos com 3Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca (SPD 3M), as perdas acumuladas atingiram um valor máximo de 16,9mm. Nos tratamentos com 6Mg ha⁻¹ de aveia e ervilhaca (SPD 6M), 6Mg ha⁻¹ de aveia (SPD 6)e 3Mg ha⁻¹ de aveia (SPD 3), as perdas acumuladas de água foram de 15,5 mm, 15 mm e 15,2 mm respectivamente.

Tabela 20 - Comparação de médias de perda acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no segundo ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	20 a 40 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	1,220 b	1,301 b	1,103 b	1,723 b	1,202 b
2	3,801 a	4,012 a	2,143 a	3,987 a	3,345 a
3	3,915 a	5,173 a	3,329 a	5,187 a	4,782 a
4	6,017 a	6,109 a	4,367 a	5,903 a	5,912 a
5	7,003 a	7,853 a	5,705 a	6,312 a	7,234 a
6	8,143 a	6,340 a	6,803 a	8,294 a	8,803 a
7	10,015 a	10,240 a	7,904 a	10,264 a	10,167 a
8	11,856 a	11,013 a	9,387 a	11,907 a	11,234 a
9	12,045 a	11,719 a	10,214 a	12,309 a	11,851 a
10	12,939 a	12,014 a	10,986 a	13,013 a	12,350 a
11	13,751 a	14,531 a	12,014 a	14,709 a	13,761 a
12	14,326 a	16,924 a	15,547 a	15,001 a	15,231 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

A umidade na superfície do solo é altamente influenciada pelas condições ambientais e isso faz com que ocorra uma perda de água por evaporação maior nessa superfície e, essas perdas de água na camada superior fizeram com que haja uma transferência de energia para as camadas inferiores do perfil. A diminuição da umidade do solo através da evaporação é reduzida e isso faz com que ao final dos ciclos de secagem a quantidade de água perdida por evaporação do solo com e sem cobertura foram menores.

4.3.3.3 Terceiro ciclo de secagem do solo

O último ciclo de secagem do solo ocorreu entre 37 e 43 DAS, com duração de sete dias, apresentando uma ETo acumulada de 35 mm, média de 5,8 mm por dia. O ciclo de secagem teve início após uma irrigação de 32,0 mm (Figura 26). As diferenças entre os tratamentos nas perdas diárias de água são pouco expressivas nesse ciclo.

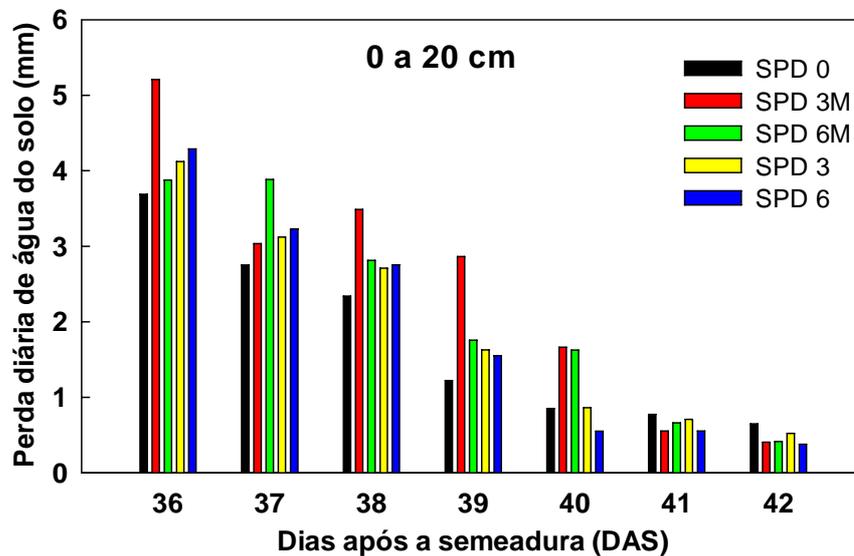


Figura 26 - Perda diária de água do solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo, no terceiro ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação aos DAS na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.

Na camada de 0 a 20 cm de profundidade, mesmo não havendo diferença significativa entre os tratamentos, o tratamento com solo desnudo (SPD 0) apresentou taxas de perda de água do solo diária menor que os demais tratamentos com cobertura (SPD 3M, SPD 6M, SPD 3 e SPD 6), valores esses observados na tabela 21. Esse resultado deve-se ao fato de, como já foi comentado, ocorrer devido à formação de uma camada ressecada pelas condições meteorológicas (vento, radiação solar). Porém o fator determinante para a diminuição da perda de água do solo por evaporação foi o fato de que as plantas possuíam um maior dossel vegetativo, cobrindo as entrelinhas de semeadura, fazendo com que as perdas por evaporação sejam menores devido a não incidência direta de radiação solar no solo desnudo. Os tratamentos com cobertura vegetal, como o SPD 3M, a secagem do solo permanece por mais algum tempo em relação ao SPD 0, pois os tratamentos com cobertura vegetal resultaram na maior retenção de umidade no solo em relação ao tratamento com solo descobertos, ou seja, a presença da palha em uma quantidade que cubra o solo, fez com que mantivesse a superfície do solo úmida,

fazendo com que o fornecimento de água para o processo de evaporação continuasse por um período de tempo mais longo.

Tabela 21 - Comparação de médias de perda diária de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20cm, no terceiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	0 a 20 cm				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	3,690 a	5,209 a	3,876 a	4,122 a	4,287 a
2	2,750 a	3,036 a	3,884 a	3,120 a	3,229 a
3	2,339 a	3,486 a	2,813 a	2,709 a	2,752 a
4	1,223 a	2,863 a	1,755 a	1,627 a	1,552 a
5	0,852 ab	1,662 ab	1,625 ab	0,862 a	0,552 ab
6	0,775 a	0,553 a	0,661 a	0,709 a	0,553 a
7	0,647 a	0,406 a	0,414 a	0,521 a	0,378 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

A presença de palha na superfície do solo reduziu a evaporação da água do solo, provavelmente por aumentar a reflexão da energia, minimizar o efeito do vento sobre a superfície evaporante e reduzir a temperatura do solo. O uso de cobertura na superfície do solo demonstra que há diminuição da taxa de evaporação e, se espera que um maior nível de cobertura do solo produza uma significativa economia nos custos de operação dos sistemas de irrigação. A diminuição de umidade na profundidade de 20 a 40 cm (Figura 27) foi menor em todos os tratamentos. Esse resultado foi obtido, pois, na camada superior também houve uma menor perda de umidade, diminuindo assim as perdas de água da camada inferior. 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.

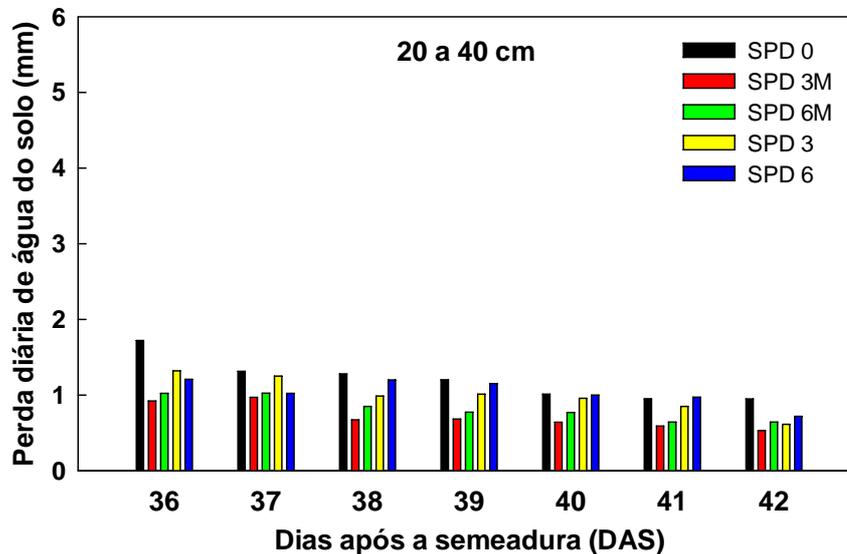


Figura 27- Perda diária de água do solo na camada de 20 a 40 cm de profundidade de solo, no terceiro ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação aos DAS na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.

Nesse terceiro ciclo de secagem do solo não houve diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 22). A partir deste estágio de desenvolvimento da cultura, a fração da transpiração das plantas assume maior importância no consumo de água do cultivo, diminuindo assim as perdas de água por evaporação. Com o fechamento das entrelinhas de cultivo pelas folhas das plantas, aumenta-se a interceptação da radiação solar, desfavorecendo o processo de evaporação da água do solo, sendo que as plantas apresentaram, aos 42 dias após a semeadura índice de área foliar e altura, em média, de 0,48 e 34,9 cm, respectivamente. Desta forma, o processo de evaporação da água do solo é reduzido, diminuindo a influência da quantidade de palha nas perdas de água, como foi observado também por ANDRADE et al., 2007, em experimento sobre perdas de água por evaporação. Nesse ciclo de secagem do solo, a cobertura vegetal que estava sobre o solo, após 42 dias após a semeadura, já havia perdido grande parte do seu poder de refletância, o que contribuiu para o aumento da perda de água.

Tabela 22 - Comparação de médias de perda diária de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no terceiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

20 a 40 cm de profundidade					
Dias do ciclo	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	1,720 a	0,921 a	1,023 a	1,321 a	1,210 a
2	1,313 a	0,970 a	1,024 a	1,251 a	1,023 a
3	1,281 a	0,671 a	0,851 a	0,987 a	1,201 a
4	1,203 a	0,683 a	0,774 a	1,012 a	1,151 a
5	1,011 a	0,641 a	0,769 a	0,956 a	1,001 a
6	0,950 a	0,591 a	0,643 a	0,851 a	0,971 a
7	0,948 a	0,533 a	0,644 a	0,612 a	0,719 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

A perda acumulada de água do solo neste ciclo de secagem (Figura 28), para a camada de 0 a 20 cm diferiu significativamente entre os tratamentos apenas no primeiro dia. A maior perda acumulada observada foi no tratamento SPD 3M que, comparando com os demais tratamentos no último dia do ciclo resultou em uma perda acumulada de água 17,2 mm, superando às ocorridas no SPD 6, que foram de 15 mm, decorrente provavelmente da maior disponibilidade de água na camada superficial fazendo com que as plantas. Isso ocorreu devido ao aumento na insolação e na radiação solar diária, aumentando a demanda atmosférica. 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. Esta afirmação justifica a menor perda acumulada de água no tratamento SPD 6 em relação aos demais tratamentos, 15 mm no final do ciclo de secagem do solo, 13% menor que o tratamento SPD 3M.

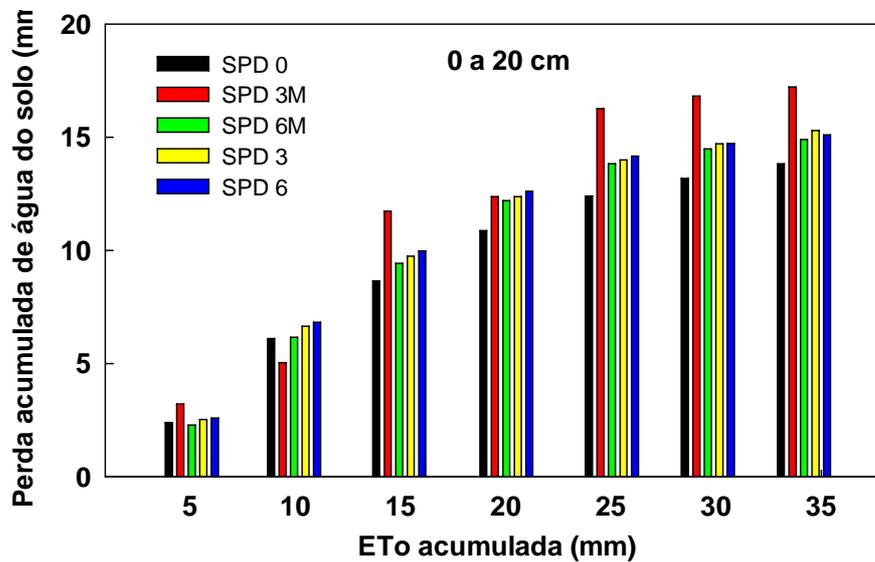


Figura 28 - Perda acumulada de água na camada de 0 a 20 cm de profundidade de solo, no terceiro ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação à ETo acumulada na cultura da soja. Santa Maria, RS. 2009.

As diferenças significativas ocorreram apenas no primeiro dia do ciclo e, verifica-se que pelo menor armazenamento de água no SPD 0, as perdas acumuladas no final do período para este tratamento foram inferiores aos tratamentos SPD 6M, SPD 6, SPD 3 e SPD 3M, os quais acumularam uma perda total de 14,8, 15,1, 15,3 e 17,2 mm, respectivamente. A partir do segundo dia do ciclo, os tratamentos não apresentaram diferenças significativas quanto às perdas acumuladas de água do solo, confirmando que após o fechamento das entrelinhas pelo dossel da cultura, o processo transpiratório da planta é o fator que mais influência na redução da umidade do solo (Tabela 23).

Tabela 23 - Comparação de médias de perda acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 0 a 20cm, no terceiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	0 a 20 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	2,391 a	3,209 b	2,276 a	2,522 a	2,587 b
2	6,103 a	5,036 a	6,160 a	6,643 a	6,817 a
3	8,643 a	11,732 a	9,422 a	9,739 a	9,975 a
4	10,866 a	12,366 a	12,197 a	12,366 a	12,611 a
5	12,398 a	16,258 a	13,822 a	13,997 a	14,163 a
6	13,174 a	16,811 a	14,483 a	14,707 a	14,720 a
7	13,822 a	17,217 a	14,898 a	15,288 a	15,098 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

No início do ciclo de secagem do solo 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, desfavorecendo também 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.

Na figura 29 pode ser observado que, à medida que o solo sem cobertura (SPD 0) perde água por evaporação e teve sua superfície ressecada, a transferência de energia para as camadas inferiores do perfil e a evaporação foi reduzida e isso fez com que ao final dos ciclos de secagem as diferenças na evaporação dos solos nos tratamentos SPD 3, SPD 6, SPD 3M, SPD 6M e SPD 0 fossem reduzidas. As perdas que ocorreram entre os tratamentos foram muito semelhantes, não diferiram significativamente entre si (Tabela 24).

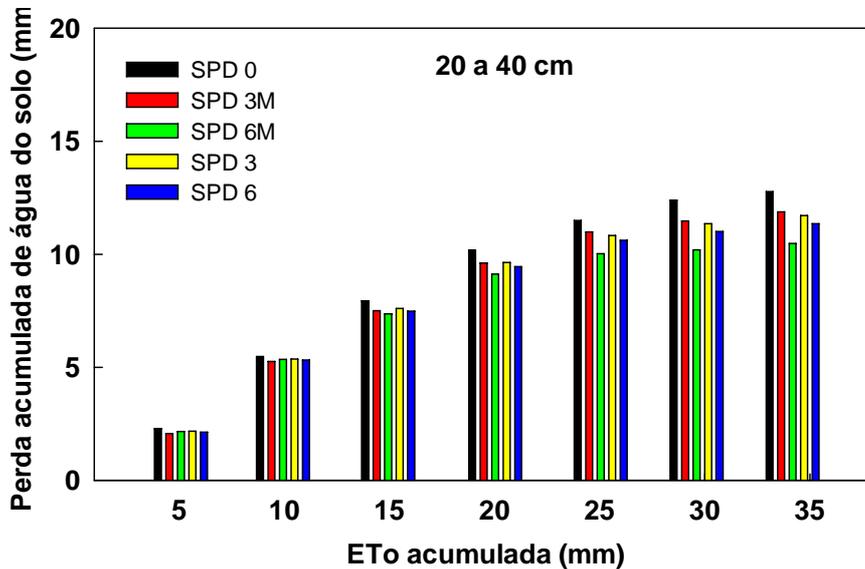


Figura 29- Perda acumulada de água na camada de 20 a 40 cm de profundidade de solo, no terceiro ciclo de secagem, para os cinco tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), em relação à ETo acumulada na cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

Tabela 24 - Comparação de médias de perda acumulada de água do solo para os tratamentos com sistema de plantio direto sem palha e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca e sistema de plantio direto com 3,0 Mg ha⁻¹ e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia, na profundidade de 20 a 40 cm, no terceiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, RS, 2009.

Dias do ciclo	20 a 40 cm de profundidade				
	SPD 0	SPD 3M	SPD 6M	SPD 3	SPD 6
1	2,231 a	2,329 a	2,003 a	2,012 a	1,987 a
2	5,731 a	5,321 a	5,521 a	5,532 a	5,531 a
3	8,012 a	7,511 a	7,700 a	7,681 a	7,430 a
4	10,121 a	9,866 a	9,210 a	9,721 a	9,765 a
5	11,802 a	11,312 a	10,054 a	11,004 a	10,610 a
6	12,315 a	11,712 a	10,723 a	11,821 a	11,012 a
7	13,019 a	12,280 a	10,865 a	11,902 a	11,301 a

*Médias seguidas por mesma letra na linha não diferem significativamente no teste de Duncan, com 5% de probabilidade de erro.

Na figura 30, são apresentadas as diferenças nas perdas de água do solo nos tratamentos SPD 3, SPD 6, SPD 3M, e SPD 6M na superfície em relação às perdas apresentadas pelo tratamento sem palha na superfície do solo (SPD 0) no primeiro

ciclo de secagem do solo com a cultura da soja. A presença de $6,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de aveia e ervilhaca (SPD 6M) na superfície do solo permitiu uma maior redução na perda de água, apresentando uma diferença de $4,2 \text{ mm}$ quando a ET_0 acumulada apresentava um valor de $37,8 \text{ mm}$. A decomposição do material orgânico usado como cobertura do solo pode explicar o fato de que as diferenças entre os tratamentos SPD 3 e SPD 0 foram pequenas neste ciclo, com $1,6 \text{ mm}$ de água pedida por evaporação na camada de 0 a 20 cm de profundidade. A maior diferença observada, para o primeiro ciclo de umedecimento e secagem do solo, entre os demais tratamentos com cobertura (SPD 3M e SPD6) em relação ao tratamento sem cobertura (SPD 0) foi de $2,53$ e de $2,8 \text{ mm}$, respectivamente, quando a ET_0 acumulada atingiu valor de $37,8 \text{ mm}$. A menor diferença ocorreu quando se comparou o tratamento SPD 0 com o tratamento SPD 6, ou seja, suas perdas acumuladas de água foram próximas. Esse fato ocorreu devido à formação de uma camada ressecada de solo que diminui as perdas por evaporação fazendo com que esses valores assemelhem-se a valores obtidos em solos com resíduos vegetais.

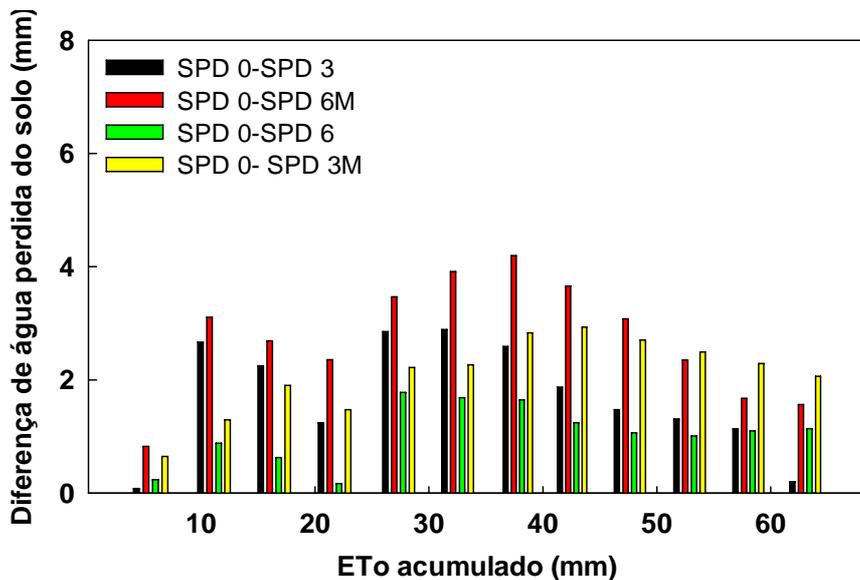


Figura 30 - Diferença de perda de água ocorrida em sistema de plantio direto com 3 e 6 Mg ha^{-1} de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha^{-1} de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0) na camada de 0 a 20 cm de profundidade no primeiro ciclo de secagem do solo, para experimento com cultura da soja. Santa Maria, 2009.

As perdas de água do solo em um determinado sistema de cultivo dependem de uma grande variedade de fatores, porém, no sistema de plantio direto é 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, e conseqüentemente ocorreu uma maior reflexão da energia radiante diminuindo desse modo, as perdas por evaporação, como foi observado também por BAVER et al. (1972) e BARCELOS et al. (1999).

4.3.4 Coeficiente de evaporação da água do solo

Nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura, a principal via de consumo de água pelo cultivo ocorre principalmente pela evaporação direta da água do solo, sendo o K_e de grande participação na evapotranspiração da cultura. Os maiores valores de evaporação estimada são observados logo após o umedecimento do solo com irrigação ou chuva. Os valores de ATE variaram em função da cobertura, principalmente entre aos tratamentos sem palha e com palha, principalmente devido ao aumento na macroporosidade, sendo que os tratamentos sem palha tiveram uma menor retenção de água no solo, ficando esta prontamente disponível para a evaporação. Na figura 31 observam-se os valores de perda de água por evaporação durante o primeiro ciclo de secagem do solo do solo com a cultura da soja. Neste caso nota-se que a evaporação estimada (K_e) inicialmente teve um comportamento semelhante aos demais tratamentos. No primeiro ciclo de secagem do solo, APE e ATE foram determinadas para a camada de 0 a 20 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, 20,2%, foi de 10,4mm, utilizando esse valor para todos os tratamentos. No decorrer do ciclo, a tendência desse valor foi de ser mais elevada que os demais tratamentos, sendo maior inclusive do que o tratamento sem cobertura de solo (SPD0). Os valores máximos da evaporação estimada e do SPD 0 foram de 33,0 mm e 15,8 mm, respectivamente. Existe uma correlação positiva entre as perdas de água por evaporação e o teor de argila (BONSU, 1997), isto é atribuído às propriedades hidráulicas dos solos, as quais variam, segundo o autor, com a textura e a estrutura. Assim, a medição das perdas de água por evaporação direta do solo, após a ocorrência de chuvas ou irrigações, é fundamental para a melhoria na eficiência do uso da água em sistemas

agrícolas. 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. A presença de palha na superfície do solo reduziu as taxas de perda diária de água por evaporação, pois além de formar uma barreira física reduzindo assim o aquecimento do solo também diminuiu a incidência de radiação solar sobre o solo, diminuindo assim disponibilidade de energia para o processo de evaporação. O tratamento sem cobertura vegetal (SPD 0) no final do primeiro ciclo, teve menor perda de água por evaporação menor que os tratamentos com 3Mg ha^{-1} de aveia (SPD 3) e 6Mg ha^{-1} aveia (SPD 6), concordando com FREITAS et al., 2006. Esses autores relatam que 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.

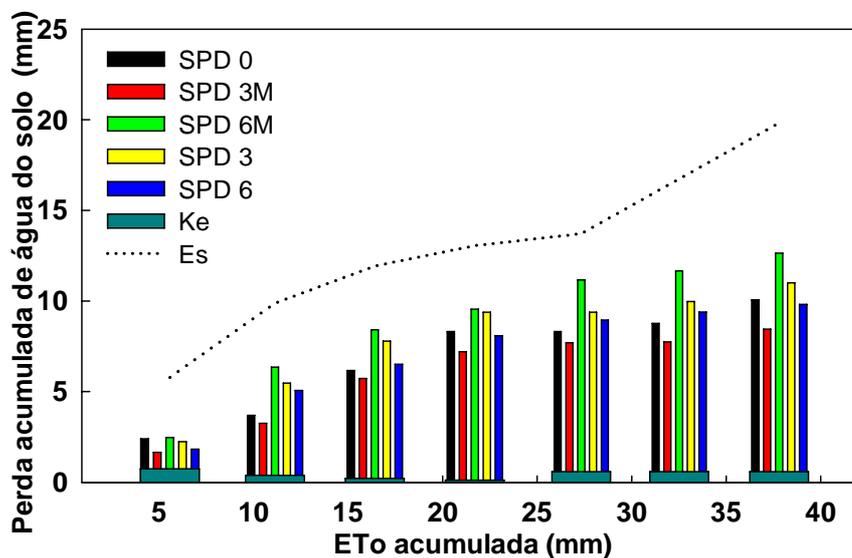


Figura 31 - Comparação entre as perdas por evaporação do solo obtidas a campo com os tratamentos avaliados, 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia (SPD 3 e SPD 6), 3 e 6 Mg ha⁻¹ de palha de aveia com ervilhaca (SPD 3M e SPD 6M) e sem cobertura (SPD 0), e a evaporação do solo estimada, em função da ETo acumulada, no primeiro ciclo de secagem do solo para a cultura da soja. Santa Maria, 2009.

5 CONCLUSÕES

Na camada de 0 a 20 cm de profundidade, para o primeiro ciclo de secagem do solo com a cultura da soja, a presença de 3,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 3M) e 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia e ervilhaca (SPD 6M) na superfície proporcionaram uma redução nas perdas de água por evaporação de 5,9% e 10,16% e com 6,0 Mg ha⁻¹ de palha de aveia preta (SPD 6), a redução nas perdas de água foi de 13,3% em relação à semeadura direta sem palha na superfície, respectivamente, confirmando assim, os benefícios da cobertura vegetal sobre o solo em relação ao solo descoberto.

Na camada de 20 a 40 cm, o tratamento que resultou em menor perda de água por evaporação foi o solo descoberto (SPD 0), devido a sua maior perda na camada de 0 a 20 cm, sendo que nessa profundidade as perdas de água por evaporação são menores do que na camada superior.

A área foliar das plantas de soja, no segundo e terceiro ciclo de secagem do solo, apresentaram grande importância para a diminuição das perdas de água do solo por evaporação, pois nesses ciclos, as folhas das plantas de soja estavam com um índice de área foliar mais elevado e, devido ao sombreamento causado, as perdas eram menores em relação ao primeiro ciclo.

6 CONCLUSÕES GERAIS

A perda de diária de água do solo e a perda acumulada, em ambas as culturas, teve um decréscimo com o aumento da área foliar das culturas, devido ao sombreamento que as folhas das plantas faz na entrelinha.

O tipo de cobertura vegetal sobre o solo também foi um fator muito importante na perda de água do solo por evaporação, pois a cobertura com consórcio (SPD 3M e SPD 6M) apresentou uma relação C/N maior do que os tratamentos com somente gramínea (SPD 3 e SPD 6), favorecendo a decomposição da leguminosa.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AASE, J. K.; TANAKA, D. L. Soil water evaporation comparison among tillage practices in the northern great plains. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 5, n. 2, p.436-440, 1987.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 27, n.4, Aug. 2003. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php>. Acessado em 15 de dezembro de 2008.

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., UBERTI, A. A. A.; VIZZOTTO, V. J.; LEITE, G. B.; KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v. 18, p. 139-145, 1994.

ALCÂNTARA, F.A. et al. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo vermelho escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.35,n.2,p.277, 288, 2000.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration guideline for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 331 p. (Paper 56).

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.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; FLECK, N.G. et al. Efeitos do manejo mecânico e químico da aveia-preta no milho em sucessão e no controle do capim-papuã. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília. V. 36, n. 6, p. 851-860, 2000.

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.

BAVER, L.D., GARDNER, W.H., & GARDNER, W.R. **Soil Physics**. New York. J. Wiley, 498 p, 1977.

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. **Evaporação e Evapotranspiração**. Porto Alegre, IPAGRO: Secretaria de Agricultura, RS. 1981. 95p. (Boletim Técnico, 7).

BERGAMASCHI, H. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. Brasília: **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 39, n. 9, p.831-839. 2004.

BIEDERBECK, V.O.; CAMPBELL, C.A.; RASIAH, V. et al. Soil quality attributes as influenced by annual legumes used as green manure. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.30, n.8/9, p.1177-1185, 1998.

BONSU, M. Soil water management implications during the constant rate and the falling rate stages of soil evaporation. **Agric. Water Manage.** v.33, p. 87–97, 1997.

BRAGAGNOLO, L.; 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, p. 369 – 374.1990.

CANAVALLE, L. B; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um Latossolo Vermelho-escuro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, n.1, p.1-6, 1997.

CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, L.F. **Água no solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação**. Santa Maria, Imprensa Universitária, 2000. 88p

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.1, p.183-188, 1995.

CARLESSO, R. et al. Efeito da lâmina de irrigação na senescência foliar do feijoeiro. **Irriga**, Botucatu. V.12, n.4, p. 545-556. 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO-RS/SC. **Manual de adubação e calagem**. 10 ed. Porto Alegre. Ed. Evangraf, 2004. 394 p.

CARPENEDO, V.; MIELNICKZUK, 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, p. 99-105. 1990.

CHRISTOFIDIS, D. **A água e a crise alimentar**. www.iica.org.br/Aguatrap/Demetrios/Christofidis/P2TB01.htm. 1997. 14p.

DALMAGO, G.A. et al. Evapotranspiration in maize crops as function of soil tillage systems. In: INTERNATIONAL SOIL CONSERVATION ORGANISATION CONFERENCE, 13., 2004, Brisbane. **Conference Proceedings...** Brisbane: Australian Society of Soil Science Incorporated and International Erosion Control Association, 2004. p.1-4 (Paper n. 780).

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

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome: FAO, 1977. 179p. **Irrigation and Drainage**, Paper 24.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA- EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, p.15-37, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Centro Nacional de Informática na Agropecuária. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. 1. Ed. Brasília, 1999b.370p.

FARIAS, J.R.B. **Environmental limitations to maximum soybean yield**. IN: WORLD SOYBEAN RESEARCH CONFERENCE, 7, Foz do Iguassu. **Proceedings**. Londrina: Embrapa-Soja, 2004.

Formatado: Inglês (Estados Unidos)

Formatado: Português (Brasil)

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.

HILLEL, D. The field water balance and water use efficiency. In: _____. **Optimizing the soil physical environment towards greater crop yields**. New York: Academic Press, p.79-100. 1972.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. New York, Academic Press, 413p. 1980.

JACOBI, U.S.; FLECK, N.G. Avaliação do potencial alelopático de genótipos de aveia no início do ciclo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.1, p.11-19, 2000.

LASCANO, R.J. et al. Soil and plant evaporation from strip-tilled cotton: measurement and simulation. **Agronomy Journal**, 86:987-994, 1994.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Adv. Soil Sci.**, V.1, p. 277-294, 1985.

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 Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

MORENO, J.A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Seção de Geografia, 1961.43p.

MOROTE, C.G.B.; VIDOR, C.; MENDES, N.G. & PEREIRA, J.S. Melhoria da nodulação da soja pela cobertura do solo e inoculação com *Bradyrhizobium*. **R. Bras. Ci. Solo**, 14:143-150, 1990.

MATZENAUER, R.; BARNI, N. A.; MALUF, J. R. T. Estimativa do consumo relativo de água para a cultura da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.6, 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo>>. Acesso em: 03 Ago 2007.

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. **R. Bras. Ci. Solo**, 17:291-297, 1993.

MODEL, N.S.; LEVIEN, R.; FROSI, R.A. Água armazenada e temperatura do solo em oito sistemas de manejo do solo. **Pesq. Agropec. Gaúcha**, 1:41-49, 1995.

MOJTAHEDI, H.; SANTO, G.S.; INGHAM, R.E. Suppression of *Meloidogyne chitwoodi* with sudangrass cultivars as green manure. **Journal of Nematology**, Lakeland, v.25, n.2, p.303-311, 1993.

MUNAWAR, A. et al. Tillage and cover crop management for soil water conservation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 82, n.4, p. 773-774, 1990.

MWENDERA, E.J.; FEYEN, J. Effects of tillage and rainfall on soil surface roughness and properties. **Soil Technology**. v.7, p. 93-103. 1994.

NELSON, J.B.; KING, L.D. Green manure as a nitrogen source for wheat in the Southeastern United States.American. **Journal of Alternative Agriculture**, Greenbelt, v.11, n.4, p.182-189, 1996.

OLIVEIRA, C.A.P. de; SOUZA, C.M. de. Influência da cobertura morta na umidade, incidência de plantas daninhas e de broca-do-rizoma (*Cosmopolites sordidus*) em um pomar de bananeiras (*Musa* spp.). *Rev. Brás. Frutic., Jaboticabal*, v.25, n.2, Aug.2003. Disponível: <http://www.scielo.br/scielo. Acesso em: 25 Fev 09.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba : Ed. FEALQ, 1997. 183p.

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

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo. Com problemas resolvidos**. Curitiba. 446 p. 1996.

STAMPFORD, N.P.; ALBUQUERQUE, M.H.; SANTOS, D.R. Aproveitamento do nitrogênio pelo sorgo em sucessão a leguminosas incorporadas em diferentes épocas de corte. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, n.2, p.221-227, 1994.

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

SULEIMAN, A. A.; RITCHIE, J. T. Modeling Soil Water Redistribution during Second-Stage Evaporation. **Soil Science Society of America Journal**. v. 67, n. 2, p.377-386, 2003.

RADIN, B. et al. Evapotranspiração da cultura do milho em função da demanda evaporativa atmosférica e do crescimento das plantas. Porto Alegre, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 9, n. 1-2, p. 7-16, 2003.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 1. ed. Barueri. Editora Manole, 478 p. 2004.

RITCHIE, J.T.; BURNETT, E.; HENDERSON, R.C. Dryland evaporative flux in a subhumid climate. 3. Soil water influences. **Agronomy Journal**, Madison v.64, p.168-173, 1972.

ROSENTHAL, W.D.; ARKIN, G.F.; SHOUSE, P.L. et al. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. **Agronomy Journal**, Madison, v.79, p.1019-1026, 1987.

SCHUCH, U.K.; D.W. BURGER. Water use and crop coefficients of woody ornamentals in containers. **J. Amer. Soc. Hort.Sci.**, v.122, n.5, p. 727-734. 1997.

STAMPFORD, N. P.; ALBUQUERQUE, M. H.; SANTOS, D. R. Aproveitamento do nitrogênio pelo sorgo em sucessão a leguminosas incorporadas em diferentes épocas de corte. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n. 2, p. 221-227, 1994.

STONE, L. F, MOREIRA, J. A. A. Efeitos do sistema de preparo do solo no uso água e na produtividade do feijoeiro. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 35, n. 4. p. 835-841. 2000.

STICKLER, F.C.; WEARDEN, S. & PAULI, A.W. Leaf area determination in grain sorghum. **Agron. J.**, n.53, p.187-188,1961.

STONE, L.F.; Moreira, J.A.A. Efeitos do sistema 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.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 3.ed. Porto Alegre. Ed. ARTMED, 719 p. 2002.

TOLLNER, E.W.; HARGROVE, W.L.; LANGDALE, G.W. Influence of conventional and no-tillage practices on soil physical properties in the southern Piedmont. **J. Soil Water Conserv.**, 39:73-76, 1984.

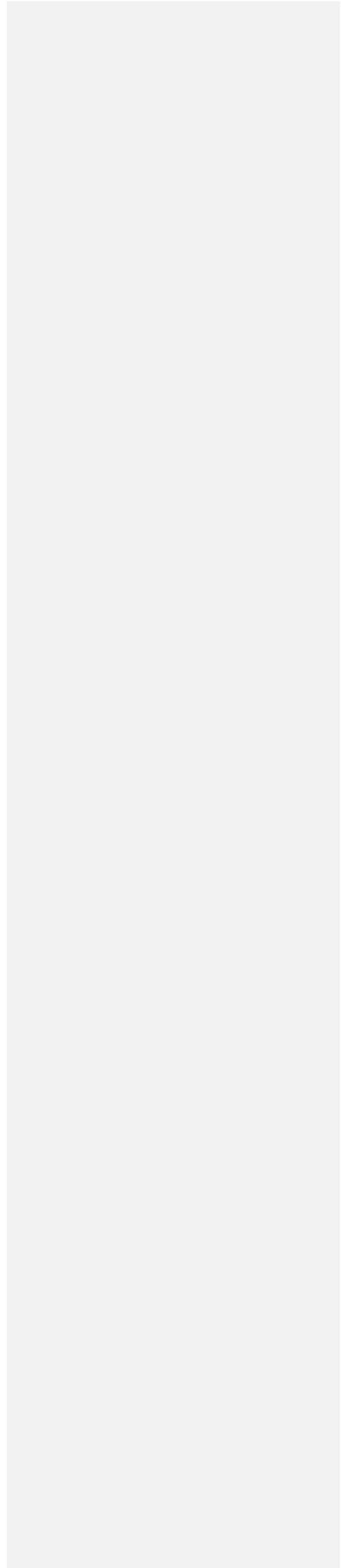
VIEIRA, M. J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 7, p. 873-882, 1984.

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

ZHAI, R.; KACHANOSKI, R.G. & VORONEY, R.P. Tillage effects on the spatial and temporal variations of soil water. **Soil Sci. Soc. Am. J.** n. 54 p.186-192, 1990.

WAGNER-RIDDLE, C., THURTELL, G.W., KING, K.M., KIDD, G.E.; BEAUCHAMP, E.G. Nitrous oxide and carbon dioxide fluxes from a bare soil using a micrometeorological approach. **J. Environ. Qual.** n.25, p. 898-907. 1996.

APÊNDICE



Apêndice 1 - Planilha dos dados meteorológicos coletados durante o período de realização do experimento com a cultura do milho. Santa Maria, 2009.

Data	Temperatura (°C)			UR ar média (%)	Insolação (h)	Vel. Vento (m.s ⁻¹)	ETo (mm)	P - I (mm)
	T máx	T mín	T média					
11/12/07	24,7	18	21,35	65,92	12,8	1	5,57	0
12/12/07	25,7	12,6	19,15	51,875	12,8	1,31	5,21	0
13/12/07	29,7	14,2	21,95	59,64	12,8	1,65	5,47	0
14/12/07	32,5	16,8	24,65	45,595	12,5	0,94	6,06	0
15/12/07	32,1	17,8	24,95	52,415	12,5	0,69	6,16	0
16/12/07	24,7	18,8	21,75	67,635	11,8	1,33	5,21	30
17/12/07	27,5	15,1	21,3	57,42	13	1,87	5,39	0
18/12/07	27,8	16,7	22,25	57,59	13,3	0,73	5,9	0
19/12/07	30,1	15,2	22,65	53,135	13	0,44	6,08	0
20/12/07	30,8	17,1	23,95	46,035	13	0,97	6,16	0
21/12/07	31,8	17,6	24,7	46,405	13	0,72	6,26	0
22/12/07	33,3	16,9	25,1	49	12,5	0,54	6,08	0
23/12/07	32,9	17,9	25,4	53,285	12,8	0,84	6,21	0
24/12/07	34,7	20,2	27,45	59,305	11,3	0,58	2,8	0
25/12/07	30,1	20,2	25,15	63,285	12,8	0,56	6,24	0
26/12/07	31,9	21,4	26,65	59,19	12,8	0,5	6,52	0
27/12/07	30,4	22,3	26,35	67,025	13	0,88	6,36	25,2
28/12/07	30,8	22,4	26,6	65,085	12,8	0,81	6,52	97,4*
29/12/07	27,2	19,2	23,2	76,27	10	0,64	5,16	0
30/12/07	26,2	19,2	22,7	77,63	11	0,54	5,35	0
31/12/07	30,8	17,9	24,35	62,655	12,5	0,44	6,18	0
01/01/08	31,5	19,7	25,6	60,725	13	0,66	6,4	0
02/01/08	32,3	21,1	26,7	58,795	13	0,77	6,52	0
03/01/08	32,8	21,8	27,3	66,19	9,8	0,49	5,39	0
04/01/08	31,1	20,3	25,7	64,08	13,3	0,55	6,52	0
05/01/08	30,1	21,1	25,6	55,85	13	0,57	6,33	0
06/01/08	29,1	20,6	24,85	55,325	12,8	0,89	6,12	0
07/01/08	30,8	17,2	24	45,955	13	0,65	6,09	0
08/01/08	33,5	15,6	24,55	49,58	12,5	0,36	6,27	0
09/01/08	34,7	18,7	26,7	49,265	12	0,38	6,49	0
10/01/08	35,8	20,6	28,2	45,26	12,5	0,45	6,81	30
11/01/08	26,9	21,3	24,1	70,12	11,5	0,43	5,76	0
12/01/08	26,5	17,4	21,95	59,78	12,8	1,43	5,49	0
13/01/08	28,7	17,3	23	62,555	12,5	1,85	5,44	0
14/01/08	31,3	18,9	25,1	59,32	12,8	1,27	6,01	0

*Precipitação ocorrida.

Apêndice 2 - Planilha dos dados meteorológicos coletados durante o período de realização do experimento com a cultura da soja. Santa Maria, 2009.

Data	Temperatura (°C)			UR ar média (%)	Insolação (h)	Vel. Vento (m.s ⁻¹)	ETo (mm)	P - I (mm)
	T máx	T mín	T média					
17/1/2008	25,4	19,0	22,2	85,2	13,0	1,8	5,35	30
18/1/2008	23,5	17,5	20,5	89,1	10,0	1,8	4,46	0
19/1/2008	27,2	17,5	22,35	75,0	12,0	2,2	5,06	0
20/1/2008	25,1	14,4	19,75	67,2	13,0	1,9	5,17	0
21/1/2008	26,1	13,8	19,95	63,8	13,0	2,4	5,05	0
22/1/2008	28,1	15,9	22	66,6	13,0	2,8	5,15	0
23/1/2008	27,3	17,6	22,45	69,4	13,0	2,6	5,29	20
24/1/2008	29,1	18,3	23,7	68,2	13,0	2,1	5,57	0
25/1/2008	29,9	18,7	24,3	69,4	13,0	2,4	5,56	0
26/1/2008	27,6	18,2	22,7	68,5	13,0	2,8	5,28	0
27/1/2008	27,9	19,0	23,45	68,5	13,0	2,8	5,29	0
28/1/2008	29,0	18,4	23,7	65,9	13,0	1,8	5,63	0
29/1/2008	27,9	20,0	23,95	80,0	11,0	1,4	5,18	0
30/1/2008	25,8	19,4	21,4	80,2	13,0	2,1	5,29	0
31/1/2008	24,1	18,7	21,4	82,8	12,0	2,6	4,77	0
1/2/2008	27,5	18,2	22,85	76,4	12,0	2,1	5,06	0
2/2/2008	25,8	18,8	22,3	85,4	12,0	1,0	5,25	0
3/2/2008	26,5	16,0	21,3	74,5	13,0	1,7	5,15	0
4/2/2008	26,6	12,0	19,3	71,3	12,0	0,8	5	0
5/2/2008	30,7	13,6	22,15	66,7	12,0	1,2	5,29	0
6/2/2008	32,9	17,0	24,95	64,5	12,0	1,5	5,63	30
7/2/2008	34,4	20,0	27,2	54,0	12,0	1,9	5,8	0
8/2/2008	33,1	18,0	25,55	67,1	13,0	1,4	6	0
9/2/2008	27,4	21,2	24,3	77,8	12,0	1,1	5,54	0
10/2/2008	29,4	22,4	25,9	74,5	12,0	1,4	5,56	0
11/2/2008	21,8	18,0	19,9	86,2	12,0	1,9	4,66	0
12/2/2008	24,5	17,0	20,75	83,6	10,0	1,2	4,3	0
13/2/2008	27,0	14,4	20,7	77,0	12,0	1,0	4,98	0
14/2/2008	29,6	15,9	22,75	73,7	12,0	1,2	5,2	0
15/2/2008	30,9	19,1	25	79,7	10,0	1,5	4,59	0
16/2/2008	29,1	19,5	24,3	83,2	12,0	1,3	5,23	0
17/2/2008	29,5	20,4	24,95	81,7	12,0	1,6	5,22	0
18/2/2008	29,0	19,6	24,3	76,0	12,0	2,2	5	0
19/2/2008	29,9	19,9	24,9	78,0	12,0	2,2	5,1	0
20/2/2008	30,0	21,0	25,5	74,5	12,0	1,5	5,28	0
21/2/2008	30,1	18,0	24,05	74,6	12,0	1,3	5,2	32
22/2/2008	30,2	16,5	23,35	72,0	12,0	1,2	5,12	0
23/2/2008	30,7	19,1	24,9	66,0	12,0	2,3	5,08	0
24/2/2008	30,0	16,7	23,35	72,7	12,0	2,1	4,86	0
25/2/2008	31,4	19,3	25,35	72,7	12,0	2,4	5	0
26/2/2008	31,9	20,4	26,15	71,7	12,0	2,3	5,09	0
27/2/2008	31,5	20,8	26,15	80,5	12,0	1,9	5,02	0
28/2/2008	26,4	21,1	23,75	89,0	11,0	1,7	4,56	0
29/2/2008	27,8	20,0	23,9	85,8	11,0	1,6	4,57	0
1/3/2008	25,7	18,4	22,05	89,2	11,0	1,0	4,51	0

Apêndice 3- Laudo de análise química em plantio direto antes do início do experimento. Santa Maria, RS.

pH água	Ca	Mg	Al	HeAl	CTC pH7	Al	V	SMP	M.O	Arg.	P	K
					cmolc/dm ³		%	--		% m/v		Mg/dm ³
4,8	2,5	1,1	1,2	3,1	6	24	54	6,3	1,3	18	25,8	40