

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

**EVAPORAÇÃO E TEMPERATURA EM SOLOS  
MANTIDOS COM DIFERENTES QUANTIDADES DE  
RESÍDUOS EM SUPERFÍCIE**

**TESE DE DOUTORADO**

**Rodrigo Elesbão de Almeida**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2011**

**EVAPORAÇÃO E TEMPERATURA EM SOLOS MANTIDOS  
COM DIFERENTES QUANTIDADES DE RESÍDUOS EM  
SUPERFÍCIE**

**Rodrigo Elesbão de Almeida**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutor em Engenharia Agrícola.**

**Orientador: Prof. Ph. D. Reimar Carlesso**

**Santa Maria, RS, Brasil.**

**2011**

A477e Almeida, Rodrigo Elesbão de  
**Evaporação e temperatura em solos mantidos com diferentes quantidades de resíduos em superfície / por Rodrigo Elesbão de Almeida. – 2011.**

116 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) — Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Santa Maria, RS - 2011.

“Orientação: Prof. Ph. D. Reimar Carlesso, Engenharia Agrícola”.

1. Perdas de água. 2. Evaporação. 3. Resíduos. 4. Temperatura - Solo. 5. Amplitude térmica - Solo.

I. Título.

CDU 631.6

Catálogo na Fonte:  
Bibliotecário: Fernando Scheid - CRB 10/1909

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a tese de Doutorado

**EVAPORAÇÃO E TEMPERATURA EM SOLOS  
MANTIDOS COM DIFERENTES QUANTIDADES DE  
RESÍDUOS EM SUPERFÍCIE**

elaborada por

**Rodrigo Elesbão de Almeida**

como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Doutor em Engenharia Agrícola**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Reimar Carlesso, Ph. D. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Cleudson Michelin, Dr. (IFFARROUPILHA)**

---

**Claudio García Gallárreta, Dr. (INIA)**

---

**Jackson Adriano Albuquerque, Dr. (PPGCS/UDESC)**

---

**Toshio Nishijima, Dr. (PPGEA/UFSM)**

Santa Maria, 29 de abril de 2011

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida, saúde e por iluminar meu caminho e minhas decisões.

À Universidade Federal de Santa Maria, ao Centro de Ciências Rurais, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, e especialmente ao Instituto Federal Farroupilha, por tornarem possível essa caminhada.

Ao professor Reimar Carlesso, pelo exemplo, orientações e parceria que tiveram início ainda na graduação e perduram até hoje.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade em participar dessa etapa delicada, pelas sugestões dadas e considerações feitas.

Aos professores que ministraram as aulas no decorrer do Curso, pelos ensinamentos, tempo e atenção disponibilizados.

Aos companheiros de jornada Alberto E. Knies, Cleiton D. Santa, Cleudson J. Michelin, Geraldo Rodrigues, Gisele S. Saldanha, Gustavo De David, João Andrade, Juliano D. Martins, Luís F. Grasel, Manuel M. Chadat, Rodrigo P. Mulazzani, Tiago Broetto, Vinícius Dubou, Zanandra B. de Oliveira e demais colegas que fizeram ou fazem parte desse grupo de valor, mostrando a cada dia que, em qualquer lida bruta ou confraternização, nunca se está sozinho.

Aos amigos Brantan, Célio, Mirta e Renato, que contribuíram de maneira significativa para a realização do trabalho.

Ao tempo, que possibilitou a satisfação de testemunhar a transformação de bolsistas em professores e, de antigos alunos, em colegas de trabalho.

Aos meus pais Nilto e Gleci, irmão Paulo Ricardo e irmã Roberta, pelo incentivo, apoio e pela certeza de que, independentemente do caminho que sigamos, durante a caminhada, poderemos contar uns com os outros e, ao final, estaremos todos juntos.

À minha esposa Roséli e, em especial, aos meus filhos João Francisco e Pedro que, mesmo sem entender porque o pai “preferia” o computador a brincar de esconder, foram a força necessária para seguir adiante com este projeto.

A todos aqueles que, de uma ou outra maneira, contribuíram para a realização deste trabalho, meu agradecimento e carinho.

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

### EVAPORAÇÃO E TEMPERATURA EM SOLOS MANTIDOS COM DIFERENTES QUANTIDADES DE RESÍDUOS EM SUPERFÍCIE

Autor: Rodrigo Elesbão de Almeida

Orientador: Reimar Carlesso

Local e data da defesa: Santa Maria, 29 de abril de 2011

Os sistemas conservacionistas se baseiam no mínimo revolvimento e na manutenção de resíduos sobre o solo o ano todo, protegendo-o da erosão e aumentando a infiltração de água no solo. As relações entre a manutenção de resíduos em superfície e o seu efeito sobre as perdas de água por evaporação são especialmente importantes nas fases iniciais dos cultivos, enquanto a cobertura do solo pela cultura ainda não é efetiva. Ainda há carência de informação sobre as perdas de água por evaporação. A finalidade deste trabalho foi avaliar as perdas de água por evaporação em três classes de solos distintas, bem como avaliar efeito que os resíduos em superfície exercem sobre a evaporação e sobre a temperatura dos solos. Para tanto, experimentos foram realizados em um conjunto de 12 lisímetros de drenagem, em área pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, RS, nos anos de 2007 e 2008. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, bifatorial, com duas repetições. O fator solos foi constituído de três solos: (i) Latossolo vermelho distroférico típico, de textura muito argilosa; (ii) Argissolo vermelho-amarelo aluminoso úmbrico, de textura franco-argilo-siltosa e; (iii) Argissolo vermelho distroférico arênico. O fator resíduo correspondeu a dois níveis de cobertura do solo: 0 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia, em duas repetições, perfazendo um total de 12 parcelas experimentais. O conteúdo volumétrico de água do solo (cm<sup>3</sup> água cm<sup>-3</sup> solo) foi determinado na camada que compreende de 0 a 10 cm por um conjunto TDR (Reflectometria no Domínio de Tempo) e a evaporação diária foi considerada como sendo a variação no conteúdo volumétrico de água no solo entre dois dias consecutivos. Para avaliação da temperatura do solo, foram utilizados sensores de temperatura instalados a 2,5 cm de profundidade. Na avaliação da temperatura da superfície do solo, não foram observadas diferenças significativas entre as classes de texturas dos solos para as temperaturas máxima, mínima, média e amplitude térmica no primeiro e terceiro ciclos de secagem, ambos realizados em épocas de elevada evapotranspiração de referência. A presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície atenuou as temperaturas mínimas e máximas e, por consequência, a amplitude térmica diária dos solos. Maior efeito dos resíduos sobre a temperatura dos solos foi observado à medida que o ciclo de secagem se desenvolvia. Durante o terceiro ciclo de secagem, os resíduos em superfície proporcionaram uma redução na temperatura máxima do solo de 1,8°C no primeiro dia do ciclo (solos na capacidade de campo) e 12,2°C no oitavo dia, quando a evapotranspiração de referência acumulada era de 50 mm. O efeito dos resíduos na redução das perdas de água por evaporação foi observado nos três ciclos de secagem do solo. Os resíduos em superfície proporcionaram menor evaporação especialmente nos primeiros dias dos ciclos de secagem. Nos ciclos 1 e 3, esse efeito pode ser verificado até o terceiro dia, enquanto que, no ciclo 2, o efeito se estendeu até o sexto dia. Porém, quando a escala de tempo foi alterada para evapotranspiração de referência, a presença de resíduos em superfície afetou as perdas de água por evaporação por um período de aproximadamente 10 mm de evapotranspiração de referência acumulada.

**Palavras-chave:** perdas de água, evaporação, resíduos, temperatura do solo, amplitude térmica do solo.

## ABSTRACT

Doctorate Thesis  
Graduate Program in Agricultural Engineering  
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

### EVAPORATION AND TEMPERATURE IN SOILS MAINTAINED WITH DIFFERENT QUANTITIES OF CROP RESIDUE ON SURFACE

Author: Rodrigo Elesbão de Almeida

Advisor: Reimar Carlesso

Place and date of defense: Santa Maria, April 29, 2011

Conservation tillage is based on minimum tillage and on the maintenance of crop residues on the soil surface throughout the year, thus protecting the soil from rainfall damage and increasing water infiltration in the soil. The relationships between crop residue maintenance and its effects on water loss by evaporation are particularly important during crop initial phases, when the soil coverage by the crop is not effective. However, especially regarding such phase, information on water loss by evaporation is scarce. The objective of this study was to evaluate water loss by evaporation in three distinct soil classes as well as to evaluate the effect of crop residue on soil evaporation and soil temperature. For that purpose, experiments were conducted in a set of 12 drainage lysimeters located in an area belonging to the Department of Rural Engineering of the Federal University of Santa Maria, RS, in 2007 and 2008. Experimental delineation was entirely random, bifactorial, with two replications. Factor soil consisted of three soils: (i) typical dystrophic red latosol (Rhodic Hapludox), of a very clayish texture; (ii) umbric aluminum yellow-red argisol (Haplohumult), of frank clay-lime texture and; (iii) sandy dystrophic red argisol (Rhodic Paleudalf). Factor residue comprised two levels of crop residue coverage: 0 and 4 Mg ha<sup>-1</sup> of oat with two replications, comprising a total of 12 experimental plots. The volumetric content of water in the soil (cm<sup>3</sup> water / cm<sup>3</sup> soil) was determined at the layer comprising 0 to 10 cm by using FDR (Frequency Domain Reflectometry) and daily evaporation was assumed as the variation in the volumetric content of water in the soil between two consecutive days. To estimate soil temperature, temperature sensors were installed at 2.5 cm depth. Regarding the evaluation of soil temperature, no significant differences were observed between classes of soil texture for maximum, minimum and mean temperatures, as well as for thermic amplitude on the first and third drying cycles, both carried out periods of increased reference evapotranspiration. The presence of 4 Mg ha<sup>-1</sup> of crop residue over the soil surface reduced minimum and maximum temperatures, which resulted decreased daily thermic amplitude in the soils. Greater effect of crop residue coverage on the temperature of the soils was observed as the drying cycle progressed. During the third drying cycle, crop residues coverage rendered a reduction of 1,8°C in the soil maximum temperature on the first day of the cycle (soils at field capacity) and 12,2°C on the eighth day, when cumulative reference evapotranspiration reached 50 mm. The effect of crop residues in reducing water loss by evaporation was observed for the three drying cycles. Crop residue resulted in lower water loss especially on the initial days of the drying cycles. In cycles 1 and 3, such effect was observed until the third day, while in experiment 2, it was extended to the sixth day. However, when the time scale was altered into reference evapotranspiration, the presence of crop residue on soil surface affected water losses by evaporation for a period of approximately 10 mm of cumulative reference evapotranspiration.

**Keywords:** water loss, evaporation, straw mulching, soil temperature, thermic amplitude.

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Data de início e final dos experimentos (ciclos de secagem do solo) e evapotranspiração de referência acumulada e evapotranspiração de referência média diária durante os períodos de realização dos três experimentos. Santa Maria, RS, 2011. ....41
- Tabela 2 – Matéria orgânica, densidade do solo e de partículas, macro e microporosidade e ponto de murcha permanente determinados na profundidade de 0-10 cm nos três solos estudados. Santa Maria, RS, 2011.....43
- Tabela 3 - Conteúdo de água no solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) na camada de 0-10 cm de profundidade para os três solos, determinados a 12 e 24 horas após a drenagem, partindo-se do solo saturado com lâmina de água na superfície (Procedimento 1), e depois de uma irrigação de 60mm (Procedimento 2). Santa Maria, RS, 2011. ....45
- Tabela 4 - Variáveis meteorológicas observadas durante os experimentos, realizados de 28 de novembro a 8 de dezembro de 2007. Santa Maria, RS, 2011. ....51
- No dia 2 após a drenagem, a temperatura média observada no solo 1 com 0  $\text{Mg ha}^{-1}$  de resíduos foi maior ( $18,5^\circ\text{C}$ ) do que aquela do solo com 4  $\text{Mg ha}^{-1}$  de resíduos de aveia em superfície ( $17,6^\circ\text{C}$ ). Porém, não foram observadas diferenças significativas para a Tabela 5 - Resultados do teste de comparação de médias para temperatura média diária referentes ao experimento realizado de 12 a 19 de maio de 2008. ....58
- Tabela 6 - Resultados do teste de comparação de médias para temperatura mínima diária referente ao experimento realizado de 12 a 19 de maio de 2008. ....61
- Tabela 7 - Resultados do teste de comparação de médias para temperatura máxima diária referentes ao experimento realizado de 12 a 19 de maio de 2008.....63
- Tabela 8 - Resultados do teste de comparação de médias para temperatura mínima diária referentes ao experimento realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008.....67

Tabela 9 - Resultados da perda de água (mm) entre os três solos e as duas quantidades de resíduos, observados no primeiro dia após a drenagem, no experimento realizado de 28 de novembro a 8 de dezembro de 2007. Santa Maria, 2011.....	71
Tabela 10 - Resultados do teste de comparação de médias para evaporação acumulada, entre os solos Latossolo, Argissolo Vermelho amarelo e Argissolo Vermelho e entre os dois níveis de cobertura de resíduos, referentes ao experimento realizado de 12 a 19 de maio de 2008.....	76
Tabela 11 - Resultados do teste de comparação de médias para evaporação diária, entre os solos Latossolo, Argissolo Vermelho amarelo e Argissolo Vermelho e entre os dois níveis de cobertura de resíduos, referentes ao experimento realizado de 12 a 19 de maio de 2008. ....	79
Tabela 12 - Resultados do teste de comparação de médias para evaporação diária, entre os solos Latossolo, Argissolo Vermelho amarelo e Argissolo Vermelho e entre os dois níveis de cobertura de resíduos, referentes aos dias 4 e 9 após a drenagem. ....	81
Tabela 13 - Parâmetros de solo utilizados nas estimativas das perdas de água dos solos, nos três experimentos utilizando o modelo SIMDualKc .....	86
Tabela 16 - Resultados dos testes Erro Médio (ME) e Raiz do quadrado médio do erro (RMSE) obtidos na comparação entre as perdas de água por evaporação observadas e estimadas utilizando o modelo SIMDualKc original e com a inclusão dos coeficientes 0,25; 0,5; 0,6 e 0,75 no cálculo do Kr .....	89
Tabela 17 - Resultados dos testes Erro Médio (ME) e Raiz do quadrado médio do erro (RMSE) obtidos na comparação entre as perdas de água por evaporação observadas e estimadas utilizando o modelo SIMDualKc original e com a inclusão dos coeficientes 0,25; 0,5; 0,6 e 0,75 no cálculo do Kr, durante o Experimento 2. ....	92

Tabela 18 - Resultados dos testes Erro Médio (ME) e Raiz do quadrado médio do erro (RMSE) obtidos na comparação entre as perdas de água por evaporação observadas e estimadas utilizando o modelo SIMDualKc original e com a inclusão dos coeficientes 0,25; 0,5; 0,6 e 0,75 no cálculo do Kr, durante o Experimento 3. ....	94
--	----

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Curvas características de água no Latossolo Vermelho distroférico típico, de textura muito argilosa; Argissolo Vermelho amarelo alumínico típico, de textura franco-argilo-siltosa e Argissolo Vermelho distroférico arênico, de textura franco-arenosa. Santa Maria, RS, 2011. ....44
- Figura 2 - Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), densidade de fluxo de radiação incidente (Radiação incidente) e temperaturas máxima, mínima e média diárias do ar ocorridas durante os três experimentos de campo. ....53
- Figura 3 - Temperaturas médias (A) e temperaturas mínimas (B) diárias dos solos com 4 e 0  $Mg\ ha^{-1}$  de resíduos vegetais em superfície e diferenças mínimas significativas (DMS), observadas durante o experimento realizado de 28 de novembro a 08 de dezembro de 2007. ....55
- Figura 4 - Temperatura máxima (A) e amplitude térmica (B) diárias dos solos com 4 e 0  $Mg\ ha^{-1}$  de resíduos vegetais em superfície e diferenças mínimas significativas (DMS), observadas durante o experimento realizado de 28 de novembro a 08 de dezembro de 2007. ....57
- Figura 5 - Amplitude térmica observada durante o experimento realizado de 12 a 19 de maio de 2008 e resultados do teste de comparação de médias do fator solos nos níveis do fator resíduo. Letras maiúsculas comparam solos para cada dia e letras minúsculas comparam os resultados entre as quantidades de resíduo. ....64
- Figura 6 - Temperaturas médias diárias dos solos durante o experimento realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008. Letras minúsculas comparam as temperatura média dos solos nos níveis de cobertura de resíduos e letras maiúsculas comparam as temperaturas médias nos três solos. ....65
- Figura 7 - Temperatura máxima dos solos com 4  $Mg\ ha^{-1}$  de resíduos de aveia em superfície e com 0  $Mg\ ha^{-1}$  de resíduos, observadas durante o experimento 3. Santa Maria, RS, 2011. ....68

Figura 8 - Amplitude térmica dos solos com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície e com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos, observadas durante o experimento realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008. Santa Maria, RS, 2011.....	69
Figura 9 - Média da evaporação de água dos solos com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície e dos solos com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos, durante o experimento 1 realizado de 28/11 a 8/12/2007. Santa Maria, RS .....	72
Figura 10 – Evaporação diária observada nos dias 4, 5 e 6 após a drenagem. Em cada dia, letras maiúsculas comparam solos e letras minúsculas comparam os dois níveis de resíduos. ....	74
Figura 11 - Evapotranspiração de referência (Et <sub>0</sub> ) e evaporação (E) média dos solos com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície e dos solos com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduo observados no experimento 1, realizado de 28 de novembro a 8 de dezembro de 2007. Santa Maria, RS. 2011. ....	75
Figura 12 - Evaporação média dos solos com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície e dos solos com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduo, observados no experimento 1 e 2, em relação aos dias após a drenagem (A) e à evapotranspiração acumulada (B). Santa Maria, 2011.....	77
Figura 13 – Evaporação cumulada dos solos com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície e dos solos com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos, durante o experimento 3 realizado de 20 a 28/12/2008. Santa Maria, RS .....	80
Figura 14 - Evapotranspiração de referência (Et <sub>0</sub> ) e Evaporação (E) média dos solos com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície e dos solos com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduo observados no experimento 3 realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008. Santa Maria, RS. ....	82

- Figura 15 - Relação entre as perdas de água por evaporação dos solos (1, 2 e 3) com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície e solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em três experimentos (A, B e C). Santa Maria, RS. 2011. As letras A, B e C correspondem aos experimentos 1, 2 e 3, respectivamente. Os três solos estudados são representados pelos números 1, 2 e 3. Assim, A1 representa o efeito dos resíduos sobre as perdas de água por evaporação observadas no solo 1 durante o experimento 1 (A), e assim sucessivamente. .... 85
- Figura 16 - Relação entre evaporação estimada e perdas de água por evaporação médias observadas nos experimentos 1, 2 e 3 (EXP 1, EXP 2 e EXP 3), e resultados de erro médio (ME) e da raiz quadrada do erro médio ao quadrado (RMSE). .... 87
- Figura 17 - Relação entre a evaporação estimada e as perdas de água por evaporação observadas na média dos solos com 0 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície, nos experimentos 1, 2 e 3 (EXP 1, EXP 2 e EXP 3) e resultados de erro médio (ME) e da raiz do quadrado médio do erro (RMSE). .... 88
- Figura 18 - Relação entre a evaporação estimada (Kr modificado) e as perdas de água por evaporação observadas nos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia e nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície durante o Experimento 1. .... 90
- Figura 19 - Regressão entre os valores do coeficiente X e os correspondentes RMSE para perda de água dos solos, estimadas pelo programa SIMDualKc com as alterações no Kr. .... 91
- Figura 20 - Relação entre a evaporação estimada (coeficiente 0,75 no cálculo do Kr) e as perdas de água por evaporação observadas nos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície e nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos observadas durante o Experimento 1. .... 93
- Figura 21 - Relação entre as perdas de água por evaporação observadas e a evaporação estimada pelo programa SIMDualKc com a inclusão do coeficiente 0,5 no cálculo do Kr. .... 94

## LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice A - Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura média, mínima, máxima e amplitude térmica diária do solo, coeficiente de variação e diferença mínima significativa para os fatores solo e cobertura determinados no experimento, realizado de 28 de novembro a 8 de dezembro de 2007. Santa Maria, RS, 2011. .... 108
- Apêndice B - Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura média, mínima, máxima e amplitude térmica diária do solo, coeficiente de variação e diferença mínima significativa para os fatores solo e cobertura determinados no experimento, realizado de 12 a 19 de maio de 2008. Santa Maria, RS, 2011. .... 110
- Apêndice C - Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura média, mínima, máxima e amplitude térmica diária do solo, coeficiente de variação e diferença mínima significativa para os fatores solo e cobertura determinados no experimento, realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008. Santa Maria, RS, 2011. .... 112
- Apêndice D - Resultados da análise da variância para a evaporação acumulada e diária, coeficiente de variação e diferença mínima significativa para os fatores solo e cobertura, determinados no experimento realizado de 28 de novembro a 8 de dezembro de 2007. Santa Maria, RS, 2011. .... 114
- Apêndice E - Resultados da análise da variância para evaporação acumulada e diária, coeficiente de variação e DMS para os fatores solo e resíduos, determinados no experimento 2, realizado de 12 a 19 de maio de 2008. Santa Maria, 2011. ... 115
- Apêndice F - Resultados da análise da variância para a evaporação acumulada e diária, coeficiente de variação e diferença mínima significativa para os fatores solo e resíduo determinados no experimento realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008. Santa Maria, RS, 2011. .... 116

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Hipótese:.....	16
1.2 Objetivos: .....	16
1.2.1 Objetivo geral:.....	16
1.2.2 Objetivos específicos:.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
2.1 Textura dos solos.....	18
2.2 Temperatura do solo .....	20
2.3 Água no solo.....	25
2.3.1 Armazenamento de água no solo.....	25
2.3.2 Processo de evaporação de água no solo.....	28
2.3.3 Fatores que determinam a evaporação da água do solo.....	30
2.3.3.2 Disponibilidade e fluxo de água no solo .....	31
2.3.3.3 Efeito dos resíduos vegetais na superfície do solo na evaporação .....	33
2.3.3.3.1 Manejo de solo e perdas de água por evaporação .....	33
2.3.3.3.2 Presença de resíduos vegetais na superfície do solo.....	35
2.4 Simulação de perdas de água por evaporação .....	36
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.1 Caracterização da área experimental .....	40
3.2 Implantação dos experimentos .....	40
3.3 Características dos solos.....	42
3.4 Determinação das perdas de água por evaporação dos solos .....	45
3.5 Determinação da temperatura dos solos .....	46
3.7 Análise estatística .....	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	51
4.1 Temperatura do solo .....	51
4.2 Perdas de água por evaporação dos solos.....	70
4.2.1 Experimento 1 – período de realização de 28 de novembro a 8 de dezembro de 2007. .	71
4.2.2 Experimento 2 – período de realização de 12 a 19 de maio de 2008. ....	75

4.2.3 Experimento 3 – período de realização de 20 a 28 de dezembro de 2008. ....	80
5 CONCLUSÕES .....	95
REFERÊNCIAS .....	96
APÊNDICES .....	107

# 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas conservacionistas são assim definidos por conservar recursos naturais, tais como o solo e a água, e preservar o potencial produtivo das áreas cultivadas. Nesse sentido, a presença de resíduos na superfície do solo atua na proteção do solo, tanto ao reduzir a exposição à radiação solar direta, quanto ao proteger a superfície do solo contra o impacto direto da chuva. Mais especificamente, a cobertura com resíduos vegetais atua na redução da temperatura do solo e das perdas de água para a atmosfera por evaporação direta.

A conservação da água no solo constitui um processo relevante para uma produção agrícola sustentável. Em regiões subtropicais e temperadas, nos cultivos de primavera e verão, quando as chuvas são frequentes, uma considerável proporção da água das chuvas é perdida para a atmosfera por evaporação, visto que as perdas por evaporação são potencializadas quando a superfície do solo está úmida. De acordo com Allen et al. (2006), a evaporação é o processo pelo qual a água é convertida do estado físico líquido para o de vapor (vaporização) e removida da superfície evaporante para a atmosfera.

A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo é uma prática efetiva e econômica de reduzir a evaporação e, conseqüentemente, de aumentar o armazenamento de água no solo e a disponibilidade de água às plantas. Lascano; Baumhardt (1996) compararam o efeito de um sistema convencional de plantio com o de um sistema com resíduo de trigo sobre a superfície sobre a evaporação da água do solo em uma lavoura de algodão. Eles verificaram que a evaporação foi 50% da evapotranspiração no sistema convencional, e 31% no sistema com palha de trigo.

A conservação de resíduos na superfície do solo é utilizada para proteger a superfície do solo contra a erosão, diminuir a ocorrência de plantas invasoras, diminuir a temperatura do solo e reduzir a perda de água do solo por evaporação. O uso dessa técnica, conhecida como “mulching”, provoca modificações microclimáticas que, além de alterar o balanço de radiação, devido à diferença no coeficiente de reflexão das superfícies, modifica todos os demais componentes do balanço de energia. O uso de cobertura morta (plásticos opacos, resíduos de petróleo, resíduos de cultivos agrícolas e papel) suaviza a curva diária da temperatura do solo, diminui a temperatura máxima e eleva a temperatura mínima (STRECK et al., 1994).

Os resíduos agrícolas usados como cobertura morta alteram o regime térmico do solo, principalmente por reduzir a temperatura máxima e a amplitude térmica próxima à superfície do solo. A camada de resíduos funciona como uma camada de isolamento térmico que reduz o aquecimento do solo durante o dia e a perda de calor para a atmosfera durante a noite (MIRANDA et al., 2004). A redução de temperatura obtida pela manutenção de resíduos em superfície é função do saldo da radiação, da textura, estrutura e umidade do solo.

A evaporação de água do solo é influenciada pela demanda evaporativa da atmosfera, condicionada pela disponibilidade de radiação solar, temperatura do ar, velocidade do vento, umidade relativa do ar, disponibilidade de água no solo e pelo tipo e quantidade da cobertura do solo. Além disso, o total de água evaporada da superfície do solo é influenciado pela textura do solo.

Assim, a medição das perdas de água por evaporação direta na superfície dos solos após chuvas ou irrigações é fundamental para melhorar o entendimento sobre o balanço hídrico e conseqüentemente aumentar a eficiência do uso da água em sistemas agrícolas.

## **1.1 Hipótese:**

A presença de resíduos na superfície do solo diminui as perdas de água por evaporação, pois altera a temperatura da superfície dos solos e a magnitude desse efeito depende do tipo de solo, da condição meteorológica e da disponibilidade de água no solo.

## **1.2 Objetivos:**

### **1.2.1 Objetivo geral:**

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de quantificar as alterações nas perdas de água por evaporação e na dinâmica da temperatura do solo promovidas pela presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície em três solos.

### 1.2.2 Objetivos específicos:

Determinar as alterações na temperatura do solo causadas por  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos de aveia depositada em superfície;

Quantificar a alteração nas perdas de água por evaporação da água do solo causada pela mesma quantidade de resíduos de aveia depositada em superfície em três solos sem revolvimento;

Determinar diferenças ou similaridades nas perdas de água por evaporação em três solos distintos quanto às suas respectivas capacidades de retenção de água; e

Avaliar a acurácia em estimativas de perdas de água por evaporação geradas pelo modelo descrito no FAO 56.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Textura dos solos**

A textura do solo refere-se à distribuição do tamanho das partículas no solo. A escala de tamanho varia enormemente, desde partículas grandes, visíveis a olho nu, até partículas muito pequenas, que apresentam propriedades coloidais. A distribuição percentual da argila, silte e areia é considerada, segundo Tavares Filho; Magalhães (2008), a característica física mais estável do solo, e sua correlação com a superfície específica tornam-na uma das propriedades mais importantes do solo. A textura, juntamente com outras características do solo, sobretudo a composição mineralógica e o teor de matéria orgânica, está intimamente relacionada à estrutura, consistência, permeabilidade, capacidade de troca de cátions, retenção de água e fixação de fosfatos (MICHELON, 2010).

Entre os vários fatores que afetam a retenção de água no solo, o principal é a textura do solo (RIQUELME, 2004), pois ela determina a área de contato entre a água e as partículas sólidas, ocasionando assim a acomodação das partículas e a distribuição de poros. Beutler et al. (2002), estudando a retenção de água em solos com diferentes manejos, observaram que as frações granulométricas mais finas do solo foram aquelas que mais influenciaram a retenção de água pelos solos. Petry (2000), trabalhando com solos de três classes texturais, observou que um solo muito argiloso apresentou maior quantidade total de água armazenada no perfil do que um solo de textura franco-arenosa. No entanto, a disponibilidade de água às plantas foi maior no solo de textura franco-arenosa.

#### **2.1.1 Mineralogia e classificação dos solos**

##### **2.1.1.1 Latossolos**

Caracterizam-se por serem altamente intemperizados, profundos, bem drenados, com distribuição homogênea de argila ao longo do perfil (STRECK et al, 2002). No Estado do Rio

Grande do Sul, os Latossolos foram diferenciados em Latossolos Brunos e Latossolos Vermelhos, conforme a cor predominante no horizonte B.

Quanto à mineralogia, a caulinita é o principal argilomineral encontrado nos Latossolos do Planalto do Rio Grande do Sul (MELO et al, 2004; DALMOLIN et al, 2006). A caulinita apresenta camadas compostas por uma lâmina tetraedral unida a uma lâmina octaedral (1:1). É um argilomineral não expansivo, com baixa CTC e retenção de água por ser pouco eletronegativo (SAMPAIO, 2006). Ainda, na fração argila desses solos, são encontrados os óxidos de ferro (hematita e goethita), responsáveis por suas variações de cores. A hematita é responsável pela coloração vermelha, predominando em solos bem drenados de regiões quentes e mais secas, enquanto que a goethita é responsável pelas cores amareladas e/ou brunadas, estando presente em regiões mais frias e úmidas (DALMOLIN et al, 2006).

#### 2.1.1.2 Argissolos

São solos profundos variando de bem a imperfeitamente drenados e, geralmente, apresentam uma seqüência de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C (STRECK et al, 2002). A gênese desses solos está relacionada à transferência vertical de colóides e sua deposição nos horizontes subsuperficiais (MICHELON, 2006), resultando na presença de um horizonte subsuperficial mais argiloso no perfil do solo. Isso, associado às características estruturais desse solo, muito influenciadas pela mineralogia da fração argila, faz com que sejam conhecidos por sua capacidade de armazenamento de água às plantas por um tempo mais longo em comparação a outros solos (CAMARGO, 2009).

Dentre os Argissolos presentes no RS, serão abordados neste tópico, os Argissolo Vermelho distrófico arênico – Unidade de Mapeamento São Pedro (STRECK et al., 2002) e o Argissolo Vermelho-Amarelo alumínico úmbrico – Unidade de Mapeamento Júlio de Castilhos (EMBRAPA, 2006), pois foram os solos utilizados no estudo.

Os solos classificados como Argissolo Vermelho distrófico arênico caracterizam-se por serem profundos, avermelhados, com textura superficial arenosa e bem drenados. São formados a partir de arenitos que constituem em rochas sedimentares originadas de depósitos sedimentares grosseiros. A composição mineralógica das rochas sedimentares é bastante variada: minerais resistentes provindos da desintegração mecânica das rochas e minerais recém-formados, oriundos da decomposição química (MASON, 1971). O quartzo e os

feldspatos são minerais predominantes originados da desintegração mecânica das rochas sedimentares. O quartzo é muito resistente ao ataque químico nas condições de superfície, ao passo que os feldspatos são menos resistentes.

Os Argissolos Vermelho-Amarelo alumínico úmbrico caracterizam-se por serem solos profundos, bem drenados, de coloração predominantemente avermelhada e textura argilosa. Apresentam horizonte B textural e baixo gradiente textural (DALMOLIN et al, 2006). São formados a partir de rochas basálticas, possuindo, na fração argila, a presença dos minerais caulinita e óxidos e na fração areia o quartzo (BRASIL, 1973).

## **2.2 Temperatura do solo**

A temperatura do solo é um dos fatores mais importantes para o desenvolvimento das plantas. O solo, além de armazenar e permitir os processos de transferência de água, solutos e gases, também armazena e transfere calor. A capacidade de um solo em armazenar e transferir calor é determinada pelas suas propriedades térmicas e pelas condições meteorológicas que, por sua vez, influenciam todos os processos químicos, físicos e biológicos do solo.

As propriedades térmicas do solo que possuem importância agrônômica são o calor específico e a condutividade térmica do solo. O calor específico do solo, é a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura da unidade de massa do solo em 1 °C, dessa forma, é dependente da textura, estrutura e umidade do solo, sendo uma propriedade variável no tempo e no espaço, em função da modificação da umidade do solo. A condutividade térmica do solo é definida como sendo a quantidade de calor que flui, por unidade de tempo, através de uma camada de solo. A condutividade térmica do solo depende da textura, da porosidade e da umidade. Por isso, ela varia de solo para solo e para um mesmo solo, de acordo com o seu teor de umidade. Assim, o conteúdo de água no solo altera efetivamente suas propriedades térmicas, alterando-as constantemente no tempo e no espaço.

A água pode ser transferida do solo para a atmosfera por evaporação ou por transpiração. Quando a água passa diretamente do solo para a atmosfera, caracteriza-se a evaporação e, quando em seu fluxo entre o solo e a atmosfera a água passa pela planta, caracteriza-se a transpiração. Por essa razão, a transpiração é frequentemente chamada de

evaporação produtiva, a fim de contrastá-la com a evaporação do solo, chamada de evaporação não produtiva (REICHARDT; TIMM, 2008).

Os sistemas de preparo do solo podem alterar seu regime térmico e de umidade, como é o caso no sistema de plantio direto do solo. A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo e as alterações na estrutura do solo com a utilização desse sistema de manejo ocasionam impacto na evaporação, no armazenamento de água e na temperatura do solo, devido à alteração nas transferências de calor e água na superfície deste (SARKAR; SINGH 2007).

Os resíduos vegetais que cobrem o solo atuam na reflexão da energia solar, contribuindo para a que a temperatura do solo não atinja valores demasiadamente altos na superfície do solo em regiões tropicais e subtropicais (DERPESCH et al., 1985). Além da reflexão da energia radiante, a baixa condutividade térmica do ar presente na camada de resíduos sobre o solo contribui para o menor aquecimento do solo (PREVEDELLO, 1996). A cobertura do solo por resíduos pode afetar positivamente seu regime hídrico, especialmente de duas formas: pela não formação de crosta superficial, devido à proteção do solo proporcionada pelos resíduos vegetais, e pela redução da evaporação da água do solo (DERPESCH et al., 1991).

A temperatura do solo, considerando-se o seu valor em dado momento e a maneira como ela varia no tempo e no espaço, é um fator determinante nas taxas de transferência de energia e massa com a atmosfera, incluindo a evaporação e a aeração. Fatores meteorológicos, localização geográfica, declividade, cobertura vegetal, chuva e a ação antrópica são os elementos que, de acordo com Hillel (1998), mais interferem na temperatura e fluxo de calor no solo.

Além de armazenar e permitir os processos de transferência de água, solutos e gases, o solo também armazena e transfere calor. Prevedello (1996) cita que a capacidade de um solo para armazenar e transferir calor é determinada por suas propriedades térmicas e pelas condições meteorológicas do local, que, por conseguinte, influenciam todos os processos químicos, físicos e biológicos do solo. As propriedades físicas da água e do ar presentes no solo, bem como seus movimentos e disponibilidade no solo, além de muitas reações químicas que liberam nutrientes para as plantas, são influenciados pela temperatura do solo. De acordo com Gasparin et al., (2005), uma temperatura do solo desfavorável durante a estação de crescimento pode retardar ou mesmo arruinar as colheitas

A superfície do solo, seja com ou sem cobertura vegetal, é a principal trocadora e armazenadora de energia térmica nos ecossistemas terrestres. O transporte de energia no

solo ocorre principalmente pelos mecanismos de condução e de convecção de calor latente. Outros processos com função semelhante incluem a radiação, a convecção de calor pelo fluxo de água líquida, e a convecção de calor pelo movimento de ar. É a partir da intensidade da radiação solar na superfície do solo que este se aquece e se resfria no decorrer do dia e do ano, provocando variações térmicas nas camadas subjacentes (GASPARIN et al., 2005). Pelo fato da absorção e da perda de energia ocorrerem na superfície, aliado à baixa velocidade de propagação do calor no interior do solo, as variações térmicas se limitam aos horizontes mais superficiais. De acordo com Bergamaschi; Guadagnin (1993), a amplitude de variação da temperatura do solo diminui acentuadamente nos primeiros centímetros de profundidade, ao mesmo tempo em que ocorre um retardamento no período de ocorrência das máximas e mínimas, em função da magnitude e da lentidão do fluxo de calor no seu interior.

As medidas de temperatura abaixo da superfície do solo são menos imprecisas que aquelas tomadas acima da superfície, porque variações rápidas são contrabalançadas pela grande capacidade de retenção de calor do solo, sendo aproximadamente uma hora o tempo de variação da temperatura do solo em função da variação da radiação solar de (GASPARIN, 2005). De acordo com Elias (2004), um modelo analítico exponencial-senoidal em uma dimensão descreve razoavelmente bem a temperatura no solo,  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ), como função do tempo,  $t$  (s), e da profundidade,  $z$  (m),  $0 \leq z < \infty$ . A significação ecológica da temperatura do solo é obviamente importante para aqueles que trabalham na agricultura.

Outro aspecto importante no processo de aquecimento do solo é o albedo, o qual se define por meio da quantidade da radiação solar refletida sobre uma superfície, expressa em percentagem. Essa é uma característica importante das superfícies dos solos, que pode variar amplamente na faixa de 0,1 a 0,7, dependendo da cor básica do solo, da aspereza da superfície e da inclinação da radiação incidente relativa à superfície (SELLERS, 1965). O albedo também depende da umidade variável do solo exposto (JACKSON et al., 1974) e do tipo de cobertura existente sobre a superfície do solo.

A temperatura ideal do solo varia em função do cultivo. Por exemplo, em culturas como a batata, Mota (1983) relata que a alta temperatura do solo causa degeneração dos tubérculos, sendo a temperatura ideal do solo em torno de  $17^{\circ}\text{C}$  e a temperatura limite para crescimento dos tubérculos  $29^{\circ}\text{C}$ . Para a emergência de plântulas de milho, segundo Lal (1974), a temperatura ideal na zona radicular situa-se na faixa de  $25$  a  $35^{\circ}\text{C}$ . Em temperaturas superiores a  $35^{\circ}\text{C}$ , ocorre drástica redução no desenvolvimento dessas plântulas. Para hortaliças (tomateiro, berinjela, pimentão e melão), a temperatura adequada no solo está na

faixa de 15°C a 20°C. Já a temperatura do solo que resulta em atividade vegetal mínima é de 5°C para a couve e de 12°C para o feijoeiro, o tomate e o melão.

Materiais com grande quantidade de ar resultam em coberturas com temperaturas mais amenas no solo. Por isso, as coberturas de matéria vegetal também isolam eficazmente e reduzem a magnitude das oscilações diárias da temperatura do solo. No Sul do Brasil, o período compreendido entre dezembro e fevereiro concentra as temperaturas mais elevadas, quando é maior o risco de haver prejuízo à germinação e à emergência das plântulas, principalmente em solos descobertos. Segundo Johnson; Lowery (1985), a variação em 1 °C na temperatura do solo pode afetar significativamente a taxa de crescimento do milho em climas temperados. Trabalhos realizados no Centro Nacional de Pesquisa de Soja - CNPSO, citados em Embrapa (2002), indicam que a semeadura da soja não deve ser realizada quando a temperatura do solo estiver abaixo de 20°C, porque isso prejudica a germinação e a emergência. A faixa de temperatura do solo adequada para semeadura varia entre 20°C e 30°C, sendo 25°C a temperatura ideal para uma emergência rápida e uniforme.

Em estudos realizados por Silva et al.(2001), temperaturas do solo de aproximadamente 27°C (em estufas com cobertura de polietileno) aumentaram a produtividade da alface, resultando em melhor qualidade e aparência mais saudável para o produto final em relação ao solo nu e ao coberto com sombrite, 28°C e 25°C, respectivamente.

Trabalhos citados por Streck et al (1994) mostram que o uso de cobertura morta (plásticos opacos, resíduos de petróleo, resíduos de cultivos agrícolas e papel) suaviza a curva diária da temperatura do solo, porque diminui a temperatura máxima do solo e eleva a temperatura mínima. Porém, Vieira et al. (1991) encontraram baixa correlação entre a quantidade de cobertura e a temperatura do solo, atribuindo tal resultado à reduzida radiação solar incidente, uma vez que o experimento foi conduzido durante o inverno na região Sudeste do Brasil.

Trabalhos utilizando casca de arroz (LAL, 1974), resíduo de aveia (DERPSCH et al., 1985) e resíduos de trigo (BRAGAGNOLO; MIELNICZUK, 1990; MAROTE et al., 1990) como resíduos na superfície do solo mostraram redução da temperatura do solo, principalmente nas horas de maior incidência de radiação solar. Marote et al. (1990) observaram temperatura máxima de 38°C em um solo descoberto e, quando utilizaram cobertura morta, a temperatura máxima foi reduzida para 30°C. Bragagnolo; Mielniczuk (1990), trabalhando com cobertura do solo por resíduos de várias culturas, observaram diminuição da temperatura máxima com o aumento da massa seca residual. Pezzopane et al. (1996) observaram redução de 9,5°C na temperatura máxima do solo utilizando uma cobertura

de 24 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos vegetais de café. Gasparin et al. (2005) observaram temperaturas superiores a 40°C a 2 cm de profundidade, com amplitude térmica de 20°C no solo sem cobertura, enquanto que, para o solo com cobertura de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia, a temperatura máxima foi inferior a 31°C e a amplitude térmica diária foi reduzida para menos de 10°C. Varadan; Rao (1983) observaram que a temperatura máxima do solo desnudo foi de 39-40°C, enquanto que, no solo com presença de resíduos vegetais na superfície, ela atingiu 30-33°C na profundidade de 5 cm, aspecto considerado benéfico para as plantas de pomares de coco e banana daquela região.

Resultados semelhantes foram obtidos em condições tropicais do Brasil por Sidiras; Pavan (1986). Nessa região, as temperaturas máximas a 3cm de profundidade frequentemente excediam a 40°C no sistema de PC (PC), enquanto que, no plantio direto (PD) com presença de resíduos vegetais na superfície, as temperaturas mantiveram-se inferiores a 35°C.

Em estudo conduzido na região Sul do Uruguai, avaliando a temperatura de um solo Typic Argiudoll, Chabat (2010) observou que, comparado ao solo desnudo, a utilização de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos vegetais de aveia na superfície do solo resultou em temperatura máxima 6°C menor, temperatura mínima 2°C maior e amplitude térmica 40% menor, nas profundidades de 5 e 10 cm do solo.

Resultados obtidos por Knies (2010), avaliando a temperatura de um Argissolo vermelho durante o cultivo de milho na depressão central do Rio Grande do Sul, indicam que a utilização de 3 e 6 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos vegetais de aveia preta sobre a superfície do solo diminuíram a temperatura máxima em até 7,5°C e a amplitude térmica no solo em até 6,3°C. Em estudo semelhante, porém com a cultura do feijão, Oliveira (2011) verificou reduções de 3°C na temperatura máxima do solo mantido com 5 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de milho e aveia preta em relação ao solo mantido com 1 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de milho na superfície.

Em estudo com resíduos vegetais de trigo como cobertura do solo, Bragagnolo; Mielniczuk (1990) observaram uma redução de 0,6 a 1,1°C na temperatura máxima do solo por Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca adicionada à superfície. Os autores concluíram que a diferença entre a temperatura do solo descoberto e aquele com cobertura morta é função também do teor de água no solo, sendo maior quanto maior a diferença de umidade do solo.

Diferenças de temperatura do solo observadas entre tratamentos com e sem resíduos vegetais na superfície são provocadas principalmente pela redução no fluxo de calor no solo, pois, quanto mais espessa a camada de cobertura, maior o seu efeito isolante, conforme descrito por Van Wijk et al (1959). Medidas realizadas entre 10 e 14 h em um dia ensolarado, sete dias após uma chuva de 30 mm, demonstram que, quanto maior a quantidade de resíduos,

menor o fluxo de calor para o solo ( $G$ ) em relação à radiação solar global ( $R_s$ ). O fluxo de calor latente (processo de evaporação) também é reduzido devido à barreira física, provocando, conseqüentemente, o aumento do fluxo de calor sensível no aquecimento do ar próximo à superfície.

Bragagnolo; Mielniczuk (1990) observam que a manutenção de resíduos culturais na superfície do solo, combinada com a pouca mobilização do solo, dissipa por reflexão parte da energia radiante do sol, impedindo que ela chegue à superfície. Isso evita, em um primeiro momento, perdas de água por evaporação e elevação da temperatura do solo em níveis prejudiciais ao desenvolvimento da cultura. Sidiras; Pavan (1986) relatam menores temperaturas do solo no PD e no uso de cobertura permanente devido aos resíduos vegetais mantidos na superfície, os quais atuaram como isolante térmico. No verão, temperaturas registradas às 14 horas, próximas à superfície do solo, freqüentemente excediam a 40°C no PC e eram inferiores a 35°C e 30°C no PD e cobertura permanente, respectivamente. Nesse caso, os sistemas de cobertura permanente e PD proporcionaram menores variações na temperatura do solo em relação ao PC.

## **2.3 Água no solo**

As fases líquida e gasosa da água são complementares, isto é, a máxima presença de uma implica na ausência da outra. A porção dos poros do solo não ocupados pela fase líquida será complementada pela fase gasosa. A água em sua fase líquida pode estar presente nos poros do solo completa ou parcialmente. De modo geral, ainda que não estejam saturados, os solos armazenam considerável quantidade de água, parte da qual pode ser utilizada pelas plantas. Em solos não saturados, os processos dinâmicos da água de maior interesse e importância para a agricultura incluem infiltração, redistribuição e evaporação da água pelos solos (PREVEDELLO, 1996).

### **2.3.1 Armazenamento de água no solo**

A capacidade que o solo apresenta de armazenar e reter água é um de seus atributos mais importantes e um dos mais variáveis. O deslocamento e reciclagem de vários elementos químicos, o desenvolvimento dos processos bioquímicos do solo, o crescimento das plantas e

as propriedades físicas do próprio solo, tais como densidade, resistência à penetração e tensão de cisalhamento, são significativamente influenciadas pelo teor de água no solo (SANTOS, 2010).

O armazenamento e retenção de água no solo resultam das forças atrativas que ocorrem entre as fases líquida e sólida do solo, as quais possibilitam a retenção de água contra as forças da gravidade, evaporação e absorção pelas raízes (REICHARDT, 1990; LIBARDI, 1995). Segundo Forsythe (1972), os mecanismos responsáveis pela retenção de água no solo e, conseqüentemente, pelo potencial matricial, são as forças de adsorção e capilaridade. Propriedades físicas como a textura, distribuição e diâmetro médio de poros e estrutura do solo estão diretamente ligadas à variação na quantidade de água armazenada no solo. O tipo de solo e qualidade das partículas de argila são responsáveis pela afinidade que se estabelece entre a água e as partículas sólidas, resultando na energia de retenção da água no solo (REICHARDT, 1990). Rawls; Pachepsky (2002) estudaram o efeito da consistência e estrutura do solo na capacidade de retenção e verificaram que o grau de desenvolvimento, a consistência do solo seco e, principalmente, a plasticidade contribuem para a capacidade de retenção de água pelo solo e que essas características são influenciadas pelo teor de argila e matéria orgânica do solo.

O uso intensivo dos solos pode deteriorar suas propriedades físicas, alterando a densidade e a porosidade, propriedades que governam a capacidade de armazenamento e disponibilidade de água às plantas. A densidade e a porosidade do solo podem variar consideravelmente, dependendo da textura, dos teores de matéria orgânica do solo e da frequência de cultivo (ARAÚJO et al., 2004). Assim como a ação antrópica pode afetar negativamente as propriedades físicas do solo, o contrário também pode ser observado em áreas de PD consolidado, que apresentam aumento da matéria orgânica. Efeito similar foi observado em trabalho que relacionou a adição de matéria orgânica ao solo com um aumento nos valores da capacidade de campo a ponto de murcha permanente e água disponível às plantas (MAIA, et al., 2005).

A matéria orgânica atua nos solos de modo abrangente, com efeito tanto na melhoria das condições físicas do solo, tais como aeração, retenção e armazenamento de água, quanto nas suas propriedades químicas e físico-químicas, tais como fornecimento de nutrientes às plantas e capacidade de troca catiônica do solo (CTC). Além disso, ela propicia um ambiente adequado ao estabelecimento e à atividade da microbiota (FIGUEIREDO et al., 2008). Segundo Fageria et al., (1999), o aumento no teor de matéria orgânica altera a retenção de água do solo, o que se deve aos seguintes fatores: decréscimo da densidade e aumento da

porosidade total, mudança na estabilidade e distribuição do tamanho dos agregados e aumento da capacidade de adsorção. Para Emerson et al. (2003), a porosidade aumenta com o incremento de matéria orgânica e esta, por sua vez, aumenta as cargas negativas do solo, acentuando a capacidade de retenção de água, principalmente dos solos arenosos.

Os solos argilosos e/ou com alto teor de matéria orgânica possuem maior capacidade de retenção de água em comparação aos arenosos (KIEHL, 1979; FIORIN et al. 1992; TAIZ; ZEIGER, 2004). Da relação entre o conteúdo volumétrico de água no solo e o potencial matricial, resulta a curva característica de água no solo. A forma da curva é afetada pela estrutura e textura do solo, mais especificamente, pela distribuição do tamanho dos poros (HILLEL, 1980). De acordo com Silva et al. (2006), a curva de retenção de água do solo é essencial no estudo das relações solo-água.

Propriedades físicas do solo, tais como consistência, resistência à compactação, plasticidade, resistência à penetração, expansão e contração, dependem de seu conteúdo de água (HILLEL, 1980a). Dentre os fatores que influem na variabilidade do conteúdo de água no solo, encontram-se a topografia, as propriedades do solo, tipo e densidade da vegetação, profundidade do lençol freático, precipitação e radiação solar, bem como outros fatores meteorológicos (MEDEIROS; CLARKE, 2007). Entretanto, Santos (2010) acredita ser difícil identificar a importância relativa desses fatores, devido às suas mútuas e múltiplas influências na umidade do solo e, a partir disso, sugere que as relações entre umidade do solo e os fatores mencionados acima sejam estudados em vários locais e em diferentes escalas.

Os processos de expansão e contração do solo, associados à adição ou extração de água, provocam alterações no volume do solo, ou seja, no tamanho e distribuição dos poros. Assim, o armazenamento de água no solo é função do tamanho e volume dos poros (HILLEL, 1980a), mas as diferenças no armazenamento podem variar em função do teor de argila, silte, areia e matéria orgânica. Ainda de acordo com Hillel (1973), a ação indireta da matéria orgânica sobre o teor de água no solo é mais pronunciado em baixas tensões, nas quais a retenção depende principalmente do efeito de capilaridade e distribuição de tamanho de poros, sendo, portanto, afetada pela estrutura do solo. Para altas tensões, a água é retida na matriz do solo por adsorção e, assim, influenciada pela textura e superfície específica do solo. A matéria orgânica é fortemente hidrófila em função de suas cargas negativas e da alta superfície específica. Conseqüentemente, o seu poder de retenção de água é alto, podendo reter de 4 a 6 vezes o seu peso (BRADY, 1989).

Alguns estudos têm destacado a importância do conhecimento sobre a umidade na superfície do solo, a qual é um dos maiores desafios para a hidrologia e a bioclimatologia.

Dentre os fatores que influenciam a umidade do solo, estão as propriedades do solo, a topografia e a vegetação. As relações entre a umidade do solo e as características acima devem ser estudadas em uma variedade de locais e de escalas, porque os fatores que controlam a umidade do solo em regiões úmidas são diferentes daqueles em regiões áridas e semi-areadas (CANTÓN et al., 2004).

A umidade superficial do solo exerce maior controle na partição da radiação em calor latente e sensível (PAN et al., 2008), além de ser a variável chave que define e integra todas os componentes do balanço de energia da superfície. Apesar da umidade do solo ter um elevado grau de variabilidade no espaço e no tempo, compreender seu equilíbrio e sua variabilidade é fundamental para quantificar a relação entre região, ecologia, hidrologia e geologia (REICHARD; TIMM, 2004).

### 2.3.2 Processo de evaporação de água no solo

O processo de evaporação de água do solo e o de transpiração das plantas ocorrem simultaneamente, porém, podem ser tratados como processos independentes. A evaporação da água é o processo de mudança de sua fase líquida para a fase gasosa e ocorre tanto em massa contínua (rio, lago e represa), quanto em superfície porosa úmida (planta e solo). É também um fenômeno que utiliza energia externa ao sistema e a transforma em calor latente.

De acordo com Gardner (1965), a evaporação da água em superfícies inicialmente saturadas ocorre em três estágios. No primeiro, a água não é limitante e a taxa de evaporação é controlada principalmente por fatores meteorológicos. Para Allen et al. (2006), a lâmina de água evaporada na primeiro estágio denomina-se água prontamente evaporável APE (mm), enquanto a lâmina máxima de água que pode ser evaporada através da superfície do solo denomina-se lâmina total evaporável ATE (mm).

No segundo, a taxa de evaporação cai rapidamente porque as perdas de água são limitadas pelo movimento de água do solo em condições não saturadas. Nessas condições, a evaporação é controlada pela condutividade hidráulica do solo. Allen et al. (2006) destacam que, na segunda fase ou estágio, a evaporação da água do solo decresce à medida que a umidade do perfil do solo diminui. Isso é proporcional à razão entre a quantidade de água ainda disponível na camada superficial do solo e a que produz a evaporação.

O terceiro estágio ocorre quando a superfície do solo encontra-se praticamente seca. A evaporação, nesse caso, passa a ser dependente do fluxo de calor do solo, que é determinado pelas características físicas e adsorptivas do referido solo e a transmissão da água para o seu exterior ocorre por difusão de vapor, em resposta à exposição do solo à radiação solar. Nesse estágio, a taxa de evaporação pode ser considerada desprezível em função da difusão do vapor ser um processo muito lento.

Estudos de evaporação e evapotranspiração com o objetivo de fornecer dados para o manejo de irrigação normalmente dividem a evaporação em apenas dois estágios, desprezando o terceiro, pois antes de atingí-lo, o manejo já recomendaria aplicação de água via irrigação e o solo, assim, voltaria ao estágio inicial. O primeiro estágio de evaporação da água no solo pode durar de um a três dias, conforme a magnitude da taxa de evaporação. De acordo com Freitas et al., (2006), essa fase depende das condições atmosféricas externas, sendo de aproximadamente 90% da demanda evaporativa. A duração desse estágio é influenciada pela taxa de evaporação, pela profundidade do solo e pelas propriedades hidráulicas do solo. Durante o segundo estágio, a superfície se torna seca e a evaporação ocorre abaixo da superfície. O vapor d'água alcança a superfície por difusão molecular e por fluxo de massa, como consequência da flutuação na pressão do ar (JENSEN et al., 1990).

Para calcular a evaporação da água do solo, Ritchie (1972) estabeleceu os índices “U” e “a”. O primeiro refere-se à quantidade de água evaporada no primeiro estágio e o segundo corresponde à taxa de evaporação da água do solo no segundo estágio. Quando medido a campo, o valor de U varia de aproximadamente 5 mm, para solo arenoso, a 14 mm, para solo de textura mais argilosa (RITCHIE; JONHSON, 1990).

A influência da demanda evaporativa na duração do primeiro estágio e na magnitude da evaporação acumulada foi estudada por Bond; Willis (1970), que aplicaram seis demandas evaporativas (de 4,7 a 13,4 mm d<sup>-1</sup>) em colunas com solo de textura franco-arenosa. Esses autores constataram que, com o aumento da demanda evaporativa, a quantidade de água evaporada no primeiro estágio diminuiu. Entretanto, a quantidade de água evaporada nos 25 dias seguintes após ter cessado o primeiro estágio aumentou com a elevação da demanda evaporativa. Observaram ainda que, quando a demanda evaporativa é superior a 10 mm d<sup>-1</sup>, a duração do primeiro estágio é muito curta, aproximadamente dois dias. Também Reichardt (1968) constatou que a duração do primeiro estágio depende da taxa de evaporação.

### 2.3.3 Fatores que determinam a evaporação da água do solo

A mudança do estado sólido ou líquido para o estado gasoso corresponde a um aumento da energia cinética das partículas da substância, exigindo, para isso, em temperatura constante, o consumo de uma quantidade de energia que, por unidade de massa da substância, é o calor de vaporização. Em geral, a radiação solar é a principal fonte de energia para a evaporação. A quantidade de energia requerida para que haja mudança da fase líquida para a de vapor da água pura é de  $540 \text{ cal.g}^{-1}$  a  $100^\circ\text{C}$  e  $586 \text{ cal.g}^{-1}$  a  $20^\circ\text{C}$ .

Em uma superfície exposta às condições ambientais, onde existe certo conteúdo de vapor d'água, ocorre troca de moléculas entre as fases de vapor e líquida, envolvendo os fenômenos de condensação e evaporação. As condições básicas para a ocorrência desse mecanismo são a existência de uma fonte de energia, que pode ser radiação solar, calor sensível da atmosfera ou da superfície evaporante, e a existência de um gradiente de concentração de vapor entre as superfícies. A evaporação da água do solo é influenciada primeiramente, pela demanda evaporativa da atmosfera, que compreende radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento (ALLEN et al., 2005); pela disponibilidade e fluxo de água no solo; e ainda pelo tipo e quantidade de cobertura na superfície do solo.

#### 2.3.3.1 Demanda evaporativa da atmosfera e evaporação

A radiação solar é a fonte energética no processo evaporativo. A variação da intensidade da radiação solar recebida na superfície produz uma variação na temperatura do solo, o que modifica a energia cinética das moléculas de água. Em temperaturas elevadas, mais moléculas escapam da superfície devido à maior energia cinética. Assim, é possível estimar a taxa de evaporação através do balanço dos fluxos de energia. Os termos principais do balanço de energia, correspondentes a ganhos ou perdas para as superfícies vegetais, são a radiação solar líquida, o calor sensível do ar ou da camada limite, o calor sensível a partir do ou para o solo e a evaporação, expressa como fluxo de calor latente de evaporação (PEREIRA, 2007).

O aumento da temperatura possibilita que maior quantidade de vapor d'água esteja presente no mesmo volume de ar, aumentando, assim, a pressão de saturação da atmosfera e, indiretamente, diminuindo a umidade relativa do ar. De modo complementar, para cada  $10^\circ\text{C}$

de elevação da temperatura, a pressão de vapor de saturação praticamente dobra. Dessa forma, a força impulsora para retirar o vapor de água de uma superfície evaporante depende do gradiente de pressão de vapor entre tal superfície e a atmosfera, o qual, por sua vez, é dependente da umidade relativa do ar.

O vento modifica a camada de ar vizinha à superfície evaporante, frequentemente substituindo uma camada com maior conteúdo de vapor d'água por uma com menor conteúdo de vapor d'água. Na camada em contato com a superfície (aproximadamente 1 mm), o movimento de vapor ocorre por moléculas individuais (difusão molecular). Entretanto, acima dessa camada limite superficial, o responsável é o movimento turbulento do ar (difusão turbulenta).

Portanto, a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a velocidade do vento são as variáveis meteorológicas mais relevantes a serem consideradas quando se avalia o processo de evaporação de água no solo (ALLEN, 2005).

Porém, a evaporação depende também da disponibilidade e fluxo de água no solo e das condições da superfície. As perdas de água por evaporação em dias de demanda evaporativa semelhantes podem ser consideravelmente diferentes pela variação da disponibilidade de água no solo entre os dias observados. Assim, para prever as perdas de água por evaporação, é necessário a inclusão de variáveis do solo ou da água no solo, além das meteorológicas.

### **2.3.3.2 Disponibilidade e fluxo de água no solo**

A disponibilidade e o fluxo de água no solo são as principais características físico-hídricas do solo que influenciam diretamente a evaporação. Ambas estão relacionadas com a estrutura do solo, principalmente densidade e porosidade, as quais interferem na retenção e nos fluxos líquido e gasoso da água, regulando as perdas de água por evaporação (GORDIYENKO; KOSTOGRYZ, 1990).

A textura do solo é uma característica pouco variável no tempo e pouco afetada pelo manejo (REINERT et al., 2001). Dessa forma, as modificações físicas dos solos estão associadas à sua estrutura. A textura e a estrutura são características que influenciam expressivamente a movimentação da água no solo, uma vez que determinam a quantidade de poros presentes em seu perfil, os quais são de extrema importância na condutividade

hidráulica do solo. Também interferem expressivamente na infiltração, a forma dos poros e a sua continuidade.

Existe uma correlação positiva entre as perdas de água e o teor de argila do solo e negativa para o teor de silte e areia. Bonsu (1997) atribui essa relação às propriedades hidráulicas dos solos, que variam, segundo o autor, conforme a textura e a estrutura. Ainda assim, a medição das perdas de água por evaporação diretamente do solo, após a ocorrência de chuvas ou irrigações, é fundamental para a melhoria na eficiência do uso da água em sistemas agrícolas, especialmente nas fases iniciais de desenvolvimento dos cultivos.

A evaporação pode ser o maior componente do balanço da água para áreas com culturas irrigadas ou de sequeiro. A evaporação acumulada da água do solo pode representar mais da metade da evapotranspiração da cultura do tomate com dossel parcial (TANNER & JURY, 1976), proporção essa também encontrada para a cultura do algodão irrigado (AL-KHAFRAF et al., 1978). Klocke et al. (1985) relataram que a evaporação correspondeu a 30% da evapotranspiração para a cultura do milho irrigado e Lascano et al. (1987) encontraram a mesma proporção para a cultura do algodão. Liu et al. (2002), trabalhando em lisímetros sob condições de suprimento hídrico adequado para as culturas do trigo e milho, observaram que 30% da evapotranspiração desses cultivos se deve à evaporação da água do solo.

A lâmina de água evaporada diretamente da superfície de solos úmidos representa até 30% das chuvas, sobretudo em regiões tropicais e semi-áridas. Em regiões subtropicais e temperadas, nos cultivos de primavera-verão, uma considerável proporção das chuvas pluviais que deveriam ser aproveitadas pelos cultivos é perdida para a atmosfera por evaporação. 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).

A perda de água por evaporação diretamente da superfície do solo pode ser negativa, porque ela não participa das relações solo-planta-atmosfera. Toda ação antrópica que interfira nessas relações deve estar focada na redução das perdas de água por evaporação, aumento da proteção da superfície do solo contra o impacto direto das precipitações e aumento da capacidade de infiltração de água no solo.

### 2.3.3.3 Efeito dos resíduos vegetais na superfície do solo na evaporação

#### 2.2.3.3.1 Manejo de solo e perdas de água por evaporação

A crescente demanda por recursos hídricos torna necessária a utilização mais eficiente da água, tanto em áreas com disponibilidade hídrica limitada, como em regiões que ainda não enfrentam tais restrições. Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), as áreas irrigadas nos países em desenvolvimento devem aumentar dos atuais 202 para 300 milhões de hectares até 2030. A escolha da tecnologia mais adequada e, sobretudo, a promoção de métodos de irrigação que evitem o desperdício de água é fundamental para atender à demanda por alimentos, com o mínimo de impactos ambientais como a degradação dos solos e aquíferos (JOHN, 2003). Dessa forma, o manejo adequado da água e do solo nos sistemas agrícolas tem grande importância, podendo aumentar a eficiência do uso da água na produção e contribuindo para a preservação dos recursos naturais. Também constitui uma das alternativas mais viáveis para incrementar a produção de alimentos em nível mundial, aliviando a pressão pela incorporação de novas áreas aos sistemas produtivos.

No Brasil, questões como o combate à fome e a atuação na segurança alimentar acentuam a necessidade de eficiência no manejo da irrigação e da drenagem agrícola, de efetiva aplicação dos instrumentos tradicionais de gestão da água, além da otimização do uso dos equipamentos, elevando a área total sob produção em cada safra e reduzindo as áreas ociosas (CHRISTOFIDIS, 2006).

Visando o incremento da disponibilidade de água aos cultivos agrícolas e a conservação dos recursos solo e água, tem havido crescimento na utilização de sistemas de cultivos conservacionistas, tais como o sistema PD, que se caracterizam pela manutenção dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo e o seu mínimo revolvimento. No Brasil, aproximadamente 25,5 milhões de hectares foram cultivados em PD na safra 2006/07, contra 20,2 milhões de hectares na safra 2002/2003 (FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PD NA PALHA, 2010). Isso assume maior relevância quando for considerado que o PD propicia redução nas perdas por erosão e escoamento superficial, elevando assim a taxa de infiltração, além de benefícios como a redução na amplitude térmica do solo, retenção de maior quantidade de água e rendimentos superiores dos cultivos agrícolas (BRAGAGNOLO; MIELNICZUCK, 1990; FREITAS et al., 2004).

Moreira; Stone (1995) observaram maior eficiência no uso da água em sistema PD em relação a outros sistemas de preparo de solo. As diferenças na eficiência do uso da água e na retenção de água no solo em PD e PC se devem, basicamente, às alterações nas propriedades físicas do solo. A elevação na capacidade de retenção de água em PD normalmente ocorre pelo aumento da porosidade de retenção (ROJAS; VAN LIER, 1999). Essa diferença de disponibilidade de água é mais significativa na camada próxima à superfície, sendo mais frequente quando o solo se encontra em processo de secagem avançado (BRAGAGNOLO; MIELNICZUK, 1990).

Em sistema PD, duas podem ser as causas do aumento na retenção e disponibilidade de água no solo às plantas. A primeira é a diminuição da evaporação da água da superfície do solo em função da barreira formada pelos resíduos vegetais (ZHAI et al., 1990), embora tal condição seja de difícil medição a campo (DALMAGO et al., 2003). A segunda causa é a modificação na geometria dos poros do solo que, sob o ponto de vista físico, talvez, seja aquela com maior contribuição. Os principais efeitos na melhoria das condições hídricas do solo em PD provem da combinação dos dois fatores acima, aumentando a quantidade de água armazenada e reduzindo a perda por evaporação (ANDRADE, 2008).

Stone; Moreira (2000) e Dalmago (2004) defendem que o preparo do solo interfere na continuidade dos poros, aumentando a porosidade e diminuindo a condutividade hidráulica não saturada, que, por consequência, reduzem a taxa de evaporação em PC quando comparado ao PD. Assim, as diferenças nas perdas de água por evaporação observadas entre PD e PC são função de vários fatores, que agem e interagem no decorrer do processo evaporativo.

Em experimentos sem irrigação conduzidos por Dalmago et al. (2010), a evaporação da água do solo inicialmente foi mais elevada em preparo convencional para grande parte dos períodos de avaliação. Porém, a taxa de evaporação se inverteu entre 2 e 5 dias após a chuva, quando houve tendência de evaporação mais elevada em PD, independentemente da presença de plantas. Para esses autores, a inversão na taxa de evaporação observada entre os sistemas de manejo, no período mencionado, pode ser explicada pela secagem mais rápida da camada superficial do solo em preparo convencional, em comparação ao PD. Com a secagem da camada superficial do solo, a evaporação ocorre com menor intensidade em razão da condutividade hidráulica não saturada do solo diminuir na medida em que o solo seca (AYDIN et al., 2005). Isso praticamente não se observa em solo sob PD, onde a continuidade porosa e a condutividade de água do interior do perfil para a superfície é mantida (MOITRA et al., 1996).

Estudando os impactos do sistema de plantio direto com cobertura vegetal sobre a dinâmica da água, Scopel et al. (2005) verificaram que os estoques de água no solo no sistema de plantio direto foram superiores ao final do ciclo da cultura principal (milho, milheto e arroz), quando comparados com os do preparo convencional.

#### 2.3.3.3.2 Presença de resíduos vegetais na superfície do solo

O efeito dos resíduos vegetais na proteção do solo é variável em função da quantidade adicionada ao solo, da uniformidade de sua distribuição, da taxa de cobertura, do material originário e do tempo de exposição dos resíduos aos fatores ambientais. O tempo de exposição altera a proporção entre folhas e colmos porque esses materiais apresentam velocidade de decomposição diferente (STEINER, 1989; SAUER et. al., 1996; SINGH et al. 1996; FLERCHINER et. al., 2003). Stone; Moreira (2000) constataram que, em clima tropical, ocorre uma rápida diminuição da porcentagem de cobertura do solo pelos resíduos, devido à velocidade de decomposição dos resíduos com baixa relação C/N. Para Dalmago et al. (2004) e Wagner-Riddle et al. (1996), a palha de milho perde seu poder refletor por volta de 30 a 35 dias após o manejo, indicando que, a partir desse período, a disponibilidade de energia na superfície do solo em sistema PD e em sistema convencional passa a ser muito semelhante. Isso favorece o processo de evaporação em PD, uma vez que esse sistema apresenta maior disponibilidade de água na camada junto à superfície do solo.

Os resíduos vegetais depositados na superfície do solo evitam o selamento dos poros do solo. O selamento e a rápida perda de água na camada superficial observados em solos descobertos afetam as perdas de água por evaporação, conforme relatado por Andrade (2008), que observou perdas menores no PC que nos tratamentos sob PD, a partir de 10 mm de evapotranspiração de referência ( $E_t$ ). A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo, proporcionada pelo sistema de PD, também provoca modificações microclimáticas, pois, além de alterar o balanço de radiação, devido principalmente à diferença no coeficiente de reflexão, modifica todos os demais componentes do balanço de energia na superfície do solo (PEZZOPANE et al., 1996). Desse modo, os resíduos vegetais em superfície tendem a alterar significativamente o regime de temperatura do solo por sua ação atenuadora da amplitude térmica. Fatores meteorológicos, localização geográfica, declividade da superfície, cobertura

vegetal, chuva e ação antrópica são os elementos que, de acordo com Hillel (1998), mais interferem na temperatura e fluxo de calor no solo.

A presença de resíduos vegetais em superfície, aliada ao teor elevado de umidade no solo, retardam o aquecimento do solo, que favorece as perdas de água por evaporação (GAJRI et al. 1994). Segundo Andrade et al. (2008), a utilização de cobertura morta na superfície do solo pode ocasionar uma redução nas perdas de água por evaporação de 19 a 42% para 3,0 e 6,0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos vegetais de aveia, respectivamente, em comparação com o solo descoberto. Freitas et al. (2004) afirmam que pode haver uma redução de aproximadamente 20% na evaporação com 100 % de cobertura vegetal sobre o solo, pois a evaporação é o maior componente de perda de água do balanço da hídrico para áreas com culturas irrigadas ou de sequeiro.

Avaliando as perdas de água por evaporação na fase inicial de desenvolvimento da cultura da soja no Sul do Uruguai, Chabat (2010) verificou que a taxa de evaporação diária da água de um solo Típico Argiudoll na camada superficial foi 50% menor no solo mantido com cobertura de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia. Estudando as perdas de água do solo por evaporação, durante o desenvolvimento da cultura do trigo no Norte da China, Chen et al. (2007) verificaram reduções de 21% na evaporação com a utilização de 6 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos. Iftikhar; Ali (2004), analisando o efeito de diferentes materiais de cobertura na evaporação do solo, observaram uma redução de 50% na evaporação com a utilização de resíduos vegetais de trigo.

## **2.4 Simulação de perdas de água por evaporação**

A programação e o manejo da irrigação requerem ferramentas de cálculo de utilização fácil e rápida. O modelo SIMDualKc foi desenvolvido tendo em vista o cálculo da evapotranspiração cultural (ET<sub>c</sub>) e a programação da irrigação, usando a metodologia dos coeficientes culturais duais (coeficiente cultural basal (K<sub>cb</sub>) e evaporação do solo (K<sub>e</sub>)) proposta por Allen et al. (2005, 2006). Essa metodologia considera separadamente a evaporação do solo e a transpiração da cultura, analisando o modo como a água da precipitação e da irrigação é usada pelas culturas.

O cálculo da evapotranspiração cultural, utilizando a metodologia dos coeficientes culturais (K<sub>c</sub>) médios relativos às várias fases das culturas, fornece resultados satisfatórios para cálculos com diferentes períodos temporais, incluindo a estimativa da evapotranspiração

diária para a maioria das aplicações (PEREIRA, 2004). No entanto, para irrigações de alta frequência, como é o caso da micro irrigação, e para culturas com cobertura parcial do solo, como os pomares e as hortaliças, assim como para regiões com precipitação pluvial frequente, o uso da metodologia dos coeficientes culturais duais permite produzir estimativas mais exatas da evapotranspiração cultural (ALLEN et al., 2005). A divisão do coeficiente cultural ( $K_c$ ) em evaporação do solo ( $K_e$ ) e coeficiente cultural basal ( $K_{cb}$ ) permite uma melhor percepção das frações de água provenientes da precipitação pluvial ou da irrigação utilizadas pela cultura, assim como avaliação sobre as vantagens de se manter uma fração do solo seca ou de se utilizar resíduos em superfície para controlar a evaporação do solo (E).

Durante o primeiro estágio da evaporação, que acontece logo após uma irrigação ou precipitação pluvial, a superfície do solo se mantém úmida e o processo de evaporação ocorre a uma taxa máxima, limitada somente pela quantidade de energia da radiação solar disponível na superfície do solo. Esse 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. A lâmina de evaporação acumulada nessa 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, que inicia quando a evaporação acumulada supera a APE, a superfície do solo se encontra seca e a perda de água a partir da porção exposta do solo se reduzirá proporcionalmente à quantidade de água remanescente na camada superficial do solo.

A utilização dos coeficientes culturais de base e coeficiente de evaporação ( $K_{cb}$  e  $K_e$ ) apresenta vantagens sobre a utilização dos coeficientes culturais médios ( $K_c$ ), especialmente para trabalhos de pesquisa e em locais onde as irrigações são programadas em tempo real. Pereira (2004) e Allen et al. (2005) salientam que essa substituição é tanto mais importante quanto maior for a frequência entre irrigações ou precipitações pluviais.

Um coeficiente de estresse ou de déficit de umidade do solo ( $K_s$ ) deve ser utilizado para reduzir o valor de  $K_{cb}$  quando a umidade na profundidade do perfil do solo explorado pelo sistema radicular das plantas for insuficiente para manter a plena transpiração das plantas. O coeficiente de evaporação do solo ( $K_e$ ) representa a evaporação do solo úmido, a qual se adiciona à transpiração representada no  $K_c$ , correspondendo à média dos efeitos conjugados da transpiração da cultura e da evaporação e água do solo, expressos, respectivamente, por  $K_{cb}$  e por  $K_e$ .

A campo, as perdas de água por evaporação frequentemente ocorrerem na segunda fase, com perdas de água por evaporação ( $E_s$ ) decrescentes e sempre menor do que a taxa de evaporação potencial ( $E_{s0}$ ). Para tais condições, desenvolveu-se o método de cálculo numérico, que inclui a estimativa de ATE e APE quando estas não são conhecidas.

A máxima lâmina de água evaporável durante a primeira fase da evaporação, isto é, água prontamente evaporável APE (mm), pode ser estimada em função da textura do solo (RITCHIE ET AL., 1990). Isso porque a lâmina de água evaporável determina a quantidade de água retida a um menor potencial, que pode ser mais facilmente extraída por evaporação. A APE é maior em solos de textura média, com maior capacidade de retenção e condutividade hidráulica moderada, e menor para solos de textura arenosa.

As lâminas efetivas de água evaporável (ATE e APE) são determinadas após comparação dos seus valores máximos com a lâmina média de água disponível na camada superficial de solo no início de cada ciclo de evaporação,  $D_a$  (mm). Calcula-se a lâmina  $D_a$  a partir da média das alturas de precipitação pluvial,  $P_p$  (mm) e das lâminas de irrigação  $I_{inf}$  (mm), infiltradas no solo durante o período vegetativo inicial, também considerando o armazenamento de água no solo no início do mesmo período,  $A_{ini}$  (mm).  $I_{inf}$  será igual à altura média da água infiltrada (ou aplicada),  $I$  (mm), quando a irrigação umedecer toda a superfície do solo, ou a altura corrigida  $I/f_u$ , quando a irrigação umedecer apenas a fração  $f_u$  de solo (irrigação localizada ou por sulcos).

Os coeficientes de base ( $K_{cb}$ ) representam a razão a  $ET_c$  e a  $ET_0$  quando a superfície do solo se encontra seca. No entanto, a transpiração vegetal ocorre sem limitações de abastecimento de água, respondendo à demanda evaporativa da atmosfera. A evaporação do solo é considerada através do coeficiente de evaporação do solo,  $K_e$ .

O valor máximo para o coeficiente de evaporação da água de um solo cultivado ( $K_e$ ) ocorre imediatamente após uma irrigação ou chuva. A evaporação a partir do solo é determinada pela quantidade de energia disponível na superfície do solo. Essa energia depende da fração da energia total que é consumida pela planta no processo transpiratório. O coeficiente  $K_e$  decresce após cada umedecimento à medida que aumenta a quantidade acumulada de água evaporada da camada superficial do solo, reduzindo a lâmina de água potencialmente evaporável.

O produto  $K_{e\ max} ET_0$  representa o limite superior da evapotranspiração de uma superfície vegetada de altura  $h$  e sem limitações quanto à energia disponível para a evaporação. No entanto, a evaporação a partir do solo é maior na fração de solo que não esteja

coberta pela cultura e que tenha sido umedecida pela chuva ou irrigação. Nessas condições, o fluxo evaporativo concentra-se na fração de solo umedecido exposta à radiação solar.

A escolha do método dos coeficientes de cultura de base está atrelada, essencialmente, à necessidade de se conhecer a fração de água efetivamente utilizada pelas culturas no processo de transpiração vegetal e à fração de água evaporada a partir do solo (evaporação direta). O conhecimento da fração evaporada é particularmente importante quando as irrigações são frequentes, para identificar estratégias de manejo que podem conduzir a um uso mais eficiente da água da água no solo e de irrigação. O mesmo ocorre com a irrigação complementar, já que seu objetivo é a maximização do uso do solo e da precipitação pluvial.

O valor de  $K_s$  representa, dessa forma, a comparação entre a disponibilidade real de água no solo ( $\theta_{ATUAL}-\theta_{PMP}$ ) e a disponibilidade máxima de água no solo ( $\theta_{CC}-\theta_{PMP}$ ), ambas expressas em fração do volume de solo.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Caracterização da área experimental**

Este trabalho foi conduzido em área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS, situada na Latitude de 29° 41' 24"S, Longitude de 53° 48' 42"W e altitude de 95m. O clima na região fisiográfica da Depressão Central é classificado como subtropical úmido, classe "Cfa", segundo a classificação de Koppen (MORENO, 1961), apresentando precipitação média anual de 1.322 a 1.769 mm.

Três experimentos foram instalados num conjunto de 12 lisímetros de drenagem, cada qual apresentando dimensões de 156x100x80cm, correspondentes a comprimento, largura e profundidade, respectivamente. Os lisímetros haviam sido preenchidos com solo por Santos, no ano de 1995, conforme metodologia descrita por Santos (1997). O solo encontrava-se sob plantio direto desde a sua implantação e não havia sido cultivado nos quatro anos anteriores à implantação dos experimentos, período em que permaneceu coberto por vegetação espontânea.

### **3.2 Implantação dos experimentos**

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, bifatorial, com duas repetições. O fator solos compreende três classes de textura de solo: (i) Latossolo Vermelho distroférico típico, de textura muito argilosa (Solo 1); (ii) Argissolo vermelho-amarelo aluminico úmbrico, de textura franco-argilo-siltosa (Solo 2) e; (iii) Argissolo vermelho distroférico arênico, de textura franco-arenosa (Solo 3). O fator resíduo corresponde a dois níveis de cobertura do solo: 0 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia, com duas repetições, perfazendo um total de 12 parcelas experimentais.

Três experimentos (ciclos de secagem do solo) foram realizados em diferentes épocas do ano com distintas demandas evaporativas da atmosfera. Cada ciclo de secagem foi considerado como um experimento independente. As datas do início e do final de cada experimento, bem como a ET<sub>0</sub> acumulada e a ET<sub>0</sub> média, podem ser observadas na tabela 1.

Tabela 1 - Data de início e final dos experimentos (ciclos de secagem do solo) e evapotranspiração de referência acumulada e evapotranspiração de referência média diária durante os períodos de realização dos três experimentos. Santa Maria, RS, 2011.

Experimentos	Início	Final	ET <sub>0</sub> acumulada (mm)	ET <sub>0</sub> média (mm)
Experimento 1	28/11/2007	08/12/2007	64,0	5,8
Experimento 2	13/5/2008	20/5/2008	17,0	2,1
Experimento 3	20/12/2008	28/12/2008	55,9	6,2

Onde ET<sub>0</sub> = evapotranspiração de referência

Na implantação dos experimentos, a condição inicial de umidade do solo foi próxima do limite superior de disponibilidade hídrica no solo. Após a saturação e a drenagem dos lisímetros, durante um período de 24 horas, foi iniciada a coleta de dados de temperatura e do conteúdo volumétrico de água nos solos.

A evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) foi estimada pelo método de Penman-Monteith, conforme proposto pelo boletim FAO-56 (ALLEN et al., 2005), a partir dos dados de temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento a 2,0 m (m s<sup>-1</sup>) e radiação solar (W m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>), obtidos através de uma estação meteorológica automática instalada cerca de 50m da área experimental, com leituras armazenadas a cada 15 min.

O resíduo utilizado na cobertura dos solos foi de aveia (*Avena strigosa* Schreb), cultivada nos períodos de inverno antecedentes à instalação dos experimentos em área adjacente ao conjunto de lisímetros. Nos experimentos 1 e 2, a aveia foi dessecada no estágio de florescimento da cultura. Após a secagem completa a campo, a parte aérea foi colhida e armazenada para posterior utilização.

Antes do início do experimento 1 (primeiro ciclo de secagem), os resíduos de aveia foram armazenados sobre a superfície do solo e, antes da saturação dos lisímetros, parte dos resíduos foi pesada e depositada na superfície do solo das unidades experimentais na proporção de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca. O restante dos resíduos permaneceu sobre a superfície do solo em área adjacente aos lisímetros.

Antes do início do experimento 2, os resíduos foram removidos da superfície do solo das unidades experimentais, misturados com o excedente dos resíduos que haviam sido armazenados na superfície do solo da bordadura e novamente pesados na proporção de 4 Mg

ha<sup>-1</sup> de matéria seca para, então, serem depositados sobre a superfície do solo nas parcelas experimentais.

Para o experimento 3, as plantas de aveia foram cultivadas durante o inverno de 2008, cortadas no florescimento, sem dessecação prévia, secas ao sol e armazenadas em um abrigo protegido das chuvas. Após a saturação dos lisímetros, os resíduos foram pesados e depositados na superfície das unidades experimentais na proporção de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de matéria seca.

Para evitar a influência de chuvas sobre as parcelas experimentais durante a aplicação dos ciclos de secagem do solo, foi utilizada uma cobertura móvel, formada por arcos e recoberta por uma lona de polivinil acionada momentos antes e retirada logo após a ocorrência das chuvas.

### 3.3 Características dos solos

A caracterização físico-hídrica dos solos foi realizada após a condução dos três experimentos por meio da coleta de amostras com estrutura preservada e alterada na camada de 0 a 10 cm de profundidade. As amostras com estrutura preservada foram coletadas com o auxílio de um extrator, ao qual foi acoplado um cilindro de metal de 5,56 cm de diâmetro, 3 cm de altura e 72,84 cm<sup>3</sup> de volume. As amostras com estrutura deformada foram coletadas com uma pá de corte. As análises físicas foram realizadas no Laboratório do Sistema Irriga pertencente ao Departamento de Engenharia Rural da UFSM.

A densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macroporosidade e microporosidade foram determinadas utilizando-se as amostras de solo de estrutura preservada, realizadas conforme métodos descritos em EMBRAPA (1997). Para a análise granulométrica, foi utilizado o método da pipeta (GEE; BAUDER, 1986). Na determinação da microporosidade, as amostras com estrutura preservada de solo foram saturadas e colocadas em uma coluna de areia durante 48 horas no potencial de -0,006 MPa, considerado como a tensão de separação entre macro e microporos. A porosidade total foi considerada como sendo igual à umidade de saturação do solo. Posteriormente, as amostras foram levadas à estufa a 105 °C para secagem até obtenção de massa constante.

O ponto de murcha permanente foi obtido determinando-se a umidade do solo no potencial de -1,5 MPa. Essa determinação, bem como a do potencial de -0,5 MPa, foram

realizadas por psicrometria, utilizando-se um potenciômetro de ponto de orvalho, WP4 “dewpoint potentiometer” (DECAGON, 2000). Para essa avaliação, utilizaram-se amostras de solo com estrutura alterada secas ao ar, umedecidas com água através de um borrifador, pesadas e levadas ao WP4, no qual se fez a leitura do potencial matricial da amostra. Logo após, as amostras foram levadas à estufa para secagem até obtenção de massa constante. A diferença entre as duas pesagens correspondeu ao conteúdo de água do solo no potencial determinado pelo WP4. Relacionando-se o potencial determinado no WP4 para cada sub-amostra com sua respectiva umidade, traçou-se uma curva com escala logarítmica, da qual foram retirados os valores de umidade dos solos nos potenciais de -0,5 e -1,5 MPa. Algumas das características físicas dos solos são apresentadas na tabela 2.

Tabela 2 – Matéria orgânica, densidade do solo e de partículas, macro e microporosidade e ponto de murcha permanente determinados na profundidade de 0-10 cm nos três solos estudados. Santa Maria, RS, 2011.

	Latossolo Vermelho	Argissolo Vermelho-amarelo	Argissolo Vermelho
Matéria orgânica (%)	3,8	3,5	0,5
Densidade do solo, (g cm <sup>-3</sup> )	1,16	1,16	1,49
Densidade de partículas, (g cm <sup>-3</sup> )	2,70	2,52	2,57
Macroporosidade (dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup> )	0,20	0,18	0,13
Microporosidade (dm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup> )	0,38	0,39	0,32
Ponto de Murcha Permanente (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	0,17	0,12	0,04

A construção das curvas de retenção dos três solos foi realizada com a média de oito amostras de cada solo, coletadas da camada 0 a 10 cm de profundidade. As umidades do solo na base de volume foram obtidas para os potenciais matriciais de -0,001; -0,006; -0,033; -0,1; -0,5 e -1,5 MPa. As curvas de retenção dos três solos foram ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980), utilizando-se o programa Estatística 6.0 (STATSOFT, 2001) para a camada de 0-10 cm (Figura 1).

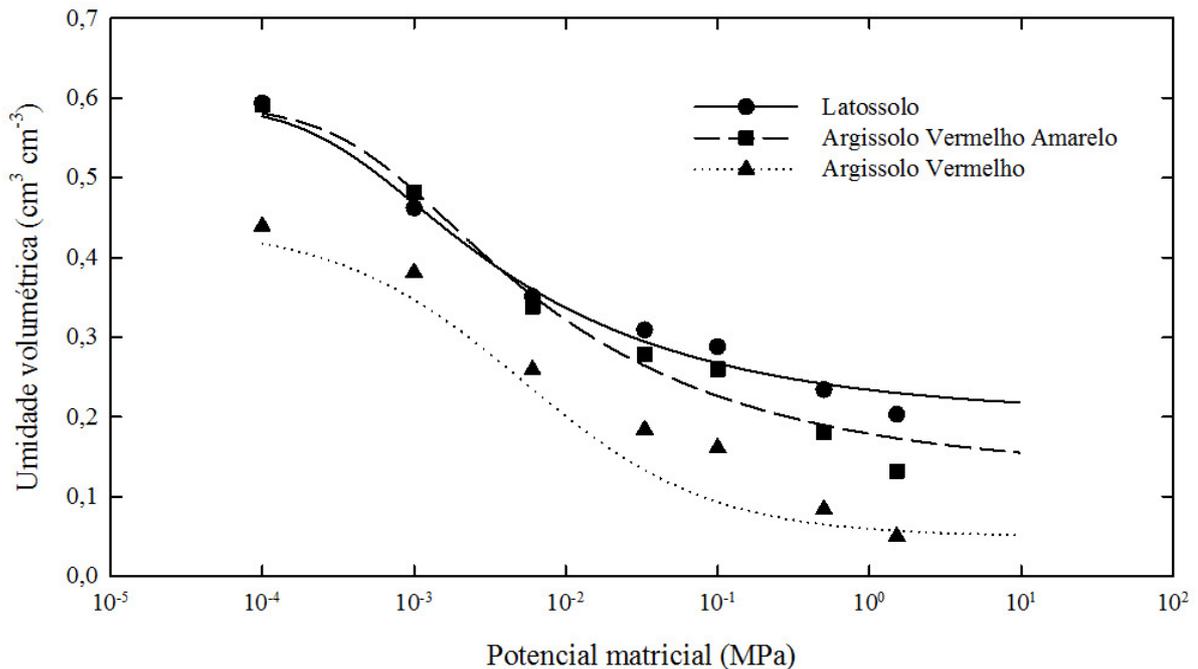


Figura 1 - Curvas características de água no Latossolo Vermelho distroférico típico, de textura muito argilosa; Argissolo Vermelho amarelo aluminico típico, de textura franco-argilo-siltosa e Argissolo Vermelho distroférico arênico, de textura franco-arenosa. Santa Maria, RS, 2011.

A determinação do limite superior de disponibilidade hídrica foi realizada a campo na camada de 0-10cm de profundidade, que é a mesma camada de solo na qual foi medida a variação diária no conteúdo volumétrico de água no solo. Para tanto, nessa camada, em cada unidade experimental foram instalados quatro sensores TDR, totalizando 16 sensores em cada um dos três solos.

Foram realizados dois procedimentos de campo para a determinação do limite superior de disponibilidade hídrica dos solos. A diferença entre eles foi o conteúdo de água no solo antes do início da drenagem. No procedimento 1, os solos foram saturados até a obtenção de lâmina de água na superfície e, no procedimento 2, os solos úmidos receberam irrigação correspondente a uma lâmina de 60mm.

Após a entrada da água, os drenos foram abertos e a superfície dos solos foi coberta com plástico preto impermeável, sobre o qual foi depositada uma camada de três centímetros de solo para evitar perdas de água do solo para a atmosfera. Nos dois procedimentos, a determinação do conteúdo de água nos solos teve início na abertura dos drenos e foi mantida por um período de sete dias, cujo registro era armazenado a cada 15 minutos.

O limite superior de disponibilidade hídrica foi considerado como o conteúdo de água presente nos solos 24h após a abertura dos drenos. O valor do conteúdo de água nos solos praticamente não apresentou variação entre os registros realizados as 12 e 24 horas após a abertura dos drenos (Tabela 3).

Tabela 3 - Conteúdo de água no solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) na camada de 0-10 cm de profundidade para os três solos, determinados a 12 e 24 horas após a drenagem, partindo-se do solo saturado com lâmina de água na superfície (Procedimento 1), e depois de uma irrigação de 60mm (Procedimento 2). Santa Maria, RS, 2011.

	Procedimento 1			Procedimento 2			GERAL
	12 h	24 h	Média	12 h	24 h	Média	
LATO*	0,393	0,390	0,392	0,389	0,389	0,389	0,390
ARGI VA	0,372	0,367	0,369	0,361	0,360	0,360	0,365
ARGI V	0,322	0,317	0,319	0,294	0,293	0,293	0,306

\* LATO = Latossolo vermelho distroférico típico, de textura muito argilosa; ARGI VA = Argissolo vermelho-amarelo aluminoso típico, de textura franco-argilo-siltosa e ARGI V = Argissolo vermelho distroférico arenoso, de textura franco-arenosa

### 3.4 Determinação das perdas de água por evaporação dos solos

A umidade volumétrica do solo foi determinada na camada de 0-10cm de profundidade com a utilização de um conjunto TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo), o qual era constituído por TDR, *datalogger*, multiplexadores e sensores. O comando gerado pelo TDR era enviado a um multiplexador central, a partir do qual era distribuído para cinco multiplexadores (SDMX 50) e, destes, aos sensores, constituídos por duas hastes paralelas de aço inox de 0,2 m de comprimento e 6,3 mm de diâmetro, distantes 50 mm uma da outra. Os valores de umidade eram armazenados em um *datalogger* modelo CR10X.

Para cada parcela experimental, foram instalados dois sensores, colocados na parte central da parcela. As hastes metálicas dos sensores foram inseridas no solo formando um ângulo de 30° com a superfície, atingindo, assim, a camada de 0-10 cm do solo. O conjunto TDR foi configurado para realizar automaticamente as determinações do conteúdo de água no

solo em um intervalo de 15 minutos. As determinações eram revisadas diariamente e, caso fosse verificado algum problema em algum dos sensores, providenciava-se a substituição do sensor defeituoso.

As perdas diárias de água na camada de 0-10 cm do solo foram assumidas como sendo função da variação no conteúdo de água armazenado no solo em dois dias consecutivos. Assim, as perdas diárias de água do solo foram determinadas pela variação do armazenamento de água no solo a partir dos dados de umidade volumétrica. O armazenamento de água no solo foi calculado para a camada de 0-10 cm (camada superficial) multiplicando-se o valor do conteúdo volumétrico de água do solo pela espessura da camada.

### **3.5 Determinação da temperatura dos solos**

A temperatura do solo foi medida com sensores instalados na profundidade de 2,5 cm utilizando um sistema com *datalogger*, multiplexador e sensores. Os sensores de temperatura utilizados foram do modelo 107-L da Campbell Scientific, conectados a um multiplexador modelo AM416, e deste, ao *datalogger* modelo CR10X. As determinações da temperatura do solo eram realizadas em intervalos de 30 minutos. A temperatura média diária dos solos foi calculada pela média aritmética dos 48 registros diários de temperatura do solo. O maior valor diário de temperatura do solo foi considerado como a temperatura máxima, e o menor valor diário, como a temperatura mínima do solo. A amplitude diária da temperatura do solo foi obtida pela subtração da temperatura máxima diária pela mínima diária.

### **3.6 Estimativa das perdas de água por evaporação dos solos usando a metodologia de Kc duais**

A máxima lâmina total de água evaporável,  $ATE_{max}$  (mm) pode ser estimada a partir das características de retenção da água do solo, considerando-se o fato que, a partir das camadas inferiores do perfil do solo, os fluxos ascendentes por capilaridade aumentam quando aumenta a demanda evaporativa da atmosfera. As expressões adotadas para a determinação da  $ATE_{max}$  foram:

$$ATE_{\max} = z_e (\theta_{LS} - 0,5\theta_{PMP}) \quad [1]$$

$$ATE_{\max} = z_e (\theta_{LS} - 0,5\theta_{PMP}) \sqrt{\frac{ET_o}{5}} \quad [2]$$

onde:

$z_e$  = profundidade da camada superficial de solo que produz as perdas de água (10cm);

$\theta_{LS}$  = conteúdo de água no solo na capacidade de campo ( $m^3 m^{-3}$ );

$\theta_{PMP}$  = conteúdo de água no solo no ponto de murcha permanente ( $m^3 m^{-3}$ ).

A lâmina total de água evaporável deve ser calculada pela expressão 1 nos períodos em que a  $ET_0$  seja maior ou igual a  $5 \text{ mm d}^{-1}$ . Já para os períodos com  $ET_0$  inferior a  $5 \text{ mm d}^{-1}$ , a expressão 2 é a recomendada pelo modelo SIMDualKc (Allen et al., 2006). Assim, a máxima lâmina total de água evaporável foi determinada pela expressão 1 para os experimentos 1 e 3, e pela expressão 2 para o experimento 2.

A máxima lâmina de água evaporável durante a primeira fase, isto é, água prontamente evaporável **APE** (mm), pode ser estimada em função da textura do solo (RITCHIE ET AL., 1989). Isso porque a lâmina de água evaporável determina a quantidade de água retida a um menor potencial e que pode ser mais facilmente extraída por evaporação. Dessa forma, tem-se:

$$\mathbf{APE}_{\max} = 20 - 0,15 \mathbf{Are} \quad [3]$$

$$\mathbf{APE}_{\max} = 11 - 0,06 \mathbf{Arg} \quad [4]$$

$$\mathbf{APE}_{\max} = 8 + 0,08 \mathbf{Arg} \quad [5]$$

onde:

**Are** e **Arg** representam os teores percentuais de areia e de argila, respectivamente, na camada superficial de solo de profundidade  $z_e$ .

No cálculo da máxima água prontamente evaporável, a expressão 3 é utilizada quando a fração areia for maior que 80%. Quando a fração argila for maior que 50%, a expressão 4 deve ser utilizada e, quando a fração areia for menor que 80% e a fração argila for menor que 50%, a máxima água prontamente evaporável deve ser calculada pela expressão 5. Assim, para cálculo da máxima água prontamente evaporável do solo 1, foi utilizada a equação 4 e, para os solos 2 e 3, a determinação foi realizada utilizando a expressão 5.

O coeficiente de evaporação ( $K_e$ ) descreve o componente da evaporação que ocorre na superfície do solo, podendo assumir valores elevados após o umedecimento do solo por uma irrigação ou chuva, e zero quando não houver mais água disponível para a evaporação.

O valor máximo do  $K_e$  nunca pode ser maior que o valor do  $K_{c \text{ max}}$  determinado pela quantidade de energia disponível na superfície do solo, a qual é limitada pela fração de solo úmido e exposto ( $f_{ew}$ ).

O coeficiente de evaporação foi calculado aplicando-se a equação:

$$K_e = \min (K_r (K_{c \text{ max}} - K_{cb}), f_{ew} * K_{c \text{ max}}) \quad [6]$$

onde:

$K_r$  - coeficiente de redução da evaporação;

$f_{ew}$  - fração do solo que está exposto e umedecido;

$K_{c \text{ max}}$  - valor máximo de  $K_c$  após chuva ou irrigação.

Para a simulação do coeficiente de evaporação nos solos com  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos de aveia na superfície, foi incluído um coeficiente de redução ( $R$ ), que representa a relação entre as perdas de água por evaporação observadas entre os solos com  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos de aveia na superfície e aqueles com  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos de aveia. Nesses solos, o coeficiente de evaporação foi calculado aplicando-se a equação:

$$K_e = \min (K_r (K_{c \text{ max}} - K_{cb}), f_{ew} * K_{c \text{ max}} * R) \quad [7]$$

No modelo SIMDualKc, a determinação do coeficiente de redução da evaporação, considera duas fases. Na primeira, que ocorre logo após uma chuva ou irrigação, a evaporação na superfície umedecida do solo ocorre a uma taxa máxima e depende somente da energia disponível, sendo  $K_r = 1$ . Na segunda fase, a ocorrência de evaporação na superfície do solo limita a evaporação da água contida em profundidade no solo. Nesse caso,  $K_r$  é calculado por:

$$K_r = \frac{ATE - D_{e,i-1}}{ATE - APE} \quad \text{para } D_{e,i-1} > APE \quad [8]$$

onde:

ATE - lâmina máxima de água que pode ser evaporada do solo (mm);

$D_{e,i-1}$  - lâmina de evaporação acumulada na camada superficial do solo até o final do dia anterior (mm);

APE - lâmina de evaporação acumulada até o final da fase 1 (mm).

Para os experimentos de verão (1 e 3), foram propostas alterações no cálculo do  $K_r$ , que passou a ser calculado por:

$$K_r = X - \frac{D_{e,i-1}}{ATE} \quad [9]$$

onde:

ATE - lâmina máxima de água que pode ser evaporada do solo (mm);

$D_{e,i-1}$  - lâmina de evaporação acumulada na camada superficial do solo até o final do dia anterior (mm);

X – limite máximo do  $K_r$ .

Os valores 0,25; 0,5; 0,6 e 0,75 foram utilizados como limites máximos do  $K_r$  nas simulações de perdas de água por evaporação utilizando-se o modelo SIMDualKc. Nessas condições, os valores obtidos para os três experimentos foram comparados com os valores de perda de água acumulada observados a campo.

### 3.7 Análise estatística

Os resultados de amplitude térmica, temperatura média, máxima e mínima diárias do solo e das perdas de água por evaporação diárias e acumuladas dos solos foram analisados através do programa estatístico SISVAR. Para a análise da variância e o teste de Tuckey, foi utilizado o nível de significância de 5% de probabilidade de erro.

O desempenho da simulação das perdas de água por evaporação dos solos foi analisado graficamente pela relação 1:1 dos dados estimados versus os dados observados, bem como por meio dos indicadores estatísticos, tais como o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o erro médio (ME) e a raiz quadrada do erro médio ao quadrado (RMSE). O ME e o RMSE foram obtidos através das seguintes equações:

$$ME = \sum_{i=1}^n \frac{ei - mi}{n} \quad [10]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ei - mi)^2}{n}} \quad [11]$$

onde:

n = número de observações;

ei = valor estimado pelo modelo;

mi = valor medido de perda de água.

O erro médio (ME) é um indicador da exatidão da estimativa, revelando a tendência da estimativa em superestimar (se positivo) ou subestimar (se negativo). Quanto mais próximo de zero for o ME, maior será a acurácia do modelo.

A raiz quadrada do erro médio ao quadrado (RMSE) quantifica a dispersão dos valores medidos e estimados em torno da linha 1:1, ou seja, quantifica a variação dos valores estimados em torno dos valores medidos. Assim, um valor de RMSE igual a zero indica que houve ajuste perfeito entre os dados estimados e os observados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Temperatura do solo

De acordo com Hillel (1998), fatores meteorológicos, localização geográfica, declividade, cobertura vegetal, chuva e a ação antrópica são os elementos que mais interferem na temperatura e fluxo de calor no solo. Esses elementos agem e interagem entre si interferindo diretamente na temperatura do solo. A interferência dos fatores meteorológicos na temperatura dos solos foi comprovada pelas diferenças observadas na temperatura dos solos registradas nas três épocas. As variáveis meteorológicas ocorridas em cada dia das três épocas podem ser verificadas na tabela 4.

A  $ET_0$  média diária observada durante a condução dos experimentos 1 e 3 foi superior a 5 mm, enquanto que, no período de desenvolvimento do experimento 2, foi de 2mm. Durante o experimento 2, as temperaturas média, mínima e máxima diárias foram menores que as observadas nos experimentos 1 e 3. A densidade de fluxo de radiação incidente (média do período) no experimento 2 foi  $372 \text{ W m}^{-2}$ , o que corresponde a apenas 60% da densidade de fluxo de radiação diária observada nos experimentos 1 e 3,  $587$  e  $569 \text{ W m}^{-2}$ , respectivamente.

No período de condução do experimento 2, além da  $ET_0$ , a densidade de fluxo de radiação, as temperaturas média, mínima e máxima diária do ar também foram sensivelmente menores (Figura 2).

A repetição do trabalho em três épocas proporciona avaliar o efeito da cobertura por resíduos vegetais na temperatura o solo em épocas com distintas condições meteorológicas. A utilização de um conjunto de lisímetros permitiu que, em cada experimento, os diferentes solos estivessem na mesma localização geográfica, declividade, condição meteorológica e ação antrópica. Isso possibilitou que a cobertura vegetal e a umidade do solo fossem as variáveis a interferir na temperatura dos solos.

Nos dias 04 e 05 de dezembro, os resultados de temperatura dos solos podem ter sido afetados pela ocorrência de chuvas, que ocasionou a cobertura das unidades experimentais com lona. Nesses dias, as temperaturas média e máxima e a amplitude térmica nos solos com  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos de aveia foram inferiores àquelas observadas nos solos com  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos.

Tabela 4 - Variáveis meteorológicas observadas durante os experimentos, realizados de 28 de novembro a 8 de dezembro de 2007. Santa Maria, RS, 2011.

Data	*ET <sub>0</sub> (mm)	Tar (°C)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Umidade (%)	Vento (m s <sup>-1</sup> )	Radiação (W m <sup>-2</sup> )	Precip (mm)
Experimento 1								
28/11/2007	6,11	21,0	26,6	15,3	64,5	2,3	665,0	0
29/11/2007	6,52	21,2	28,2	14,2	64,0	2,8	667,2	0
30/11/2007	6,67	21,6	29,1	14,5	65,3	2,7	656,3	0
01/12/2007	6,82	22,5	29,9	15,6	65,8	2,9	659,6	0
02/12/2007	5,45	22,4	28,9	16,2	70,3	2,0	544,5	0
03/12/2007	5,51	23,1	27,9	18,9	70,6	2,4	517,0	0
04/12/2007	6,05	24,5	32,9	19,0	75,6	2,0	554,4	8,8
05/12/2007	3,45	22,5	26,4	19,8	78,4	2,5	321,1	1,0
06/12/2007	5,40	20,5	26,2	16,6	68,6	1,8	575,2	0
07/12/2007	6,04	22,0	29,7	13,8	59,2	1,2	657,4	0
08/12/2007	6,02	23,7	31,8	13,9	57,5	1,1	643,4	0
Experimento 2								
12/05/2008	1,80	15,4	21,3	12,2	85,2	1,5	320	0
13/05/2008	1,75	16,1	20,7	12,7	86,3	1,4	351	0
14/05/2008	1,55	13,6	20,7	9,3	88,6	0,6	355,3	0,2
15/05/2008	1,71	13,0	20,8	7,1	82,3	0,6	399,8	0,2
16/05/2008	1,79	13,7	22,7	6,8	81,2	0,7	395,3	0,2
17/05/2008	2,07	14,6	24,2	7,0	81,0	1,2	379,7	0,2
18/05/2008	2,36	18,1	29,2	9,0	76,8	1,0	402,3	0,2
19/05/2008	2,98	23,5	31,3	16,8	67,8	1,6	376,2	0
Experimento 3								
20/12/2008	8,06	25,6	33,5	18,8	63,6	2,6	601,5	0
21/12/2008	7,39	26,6	37,7	17,5	55,0	1,8	622,0	0
22/12/2008	7,02	28,1	33,2	22,3	60,0	2,5	603,9	0
23/12/2008	4,57	26,5	31,7	21,6	69,4	1,4	438,9	0
24/12/2008	3,20	23,6	27,3	20,9	84,7	1,1	333,3	18,6
25/12/2008	6,22	24,0	29,6	20,1	73,2	1,8	690,2	0
26/12/2008	6,45	24,2	29,7	19,1	68,2	2,3	648,0	0
27/12/2008	6,90	25,0	31,0	18,5	61,1	2,3	662,6	0
28/12/2008	6,04	25,7	35,0	18,4	66,7	1,6	517,1	0

\*ET<sub>0</sub> = Evapotranspiração de referência; Tar, Tmax e Tmin = temperatura média, máxima e mínima do ar, respectivamente; Umidade = umidade relativa do ar; Vento = velocidade do vento; Radiação = densidade de fluxo de radiação solar incidente; Precip = precipitação pluviométrica.

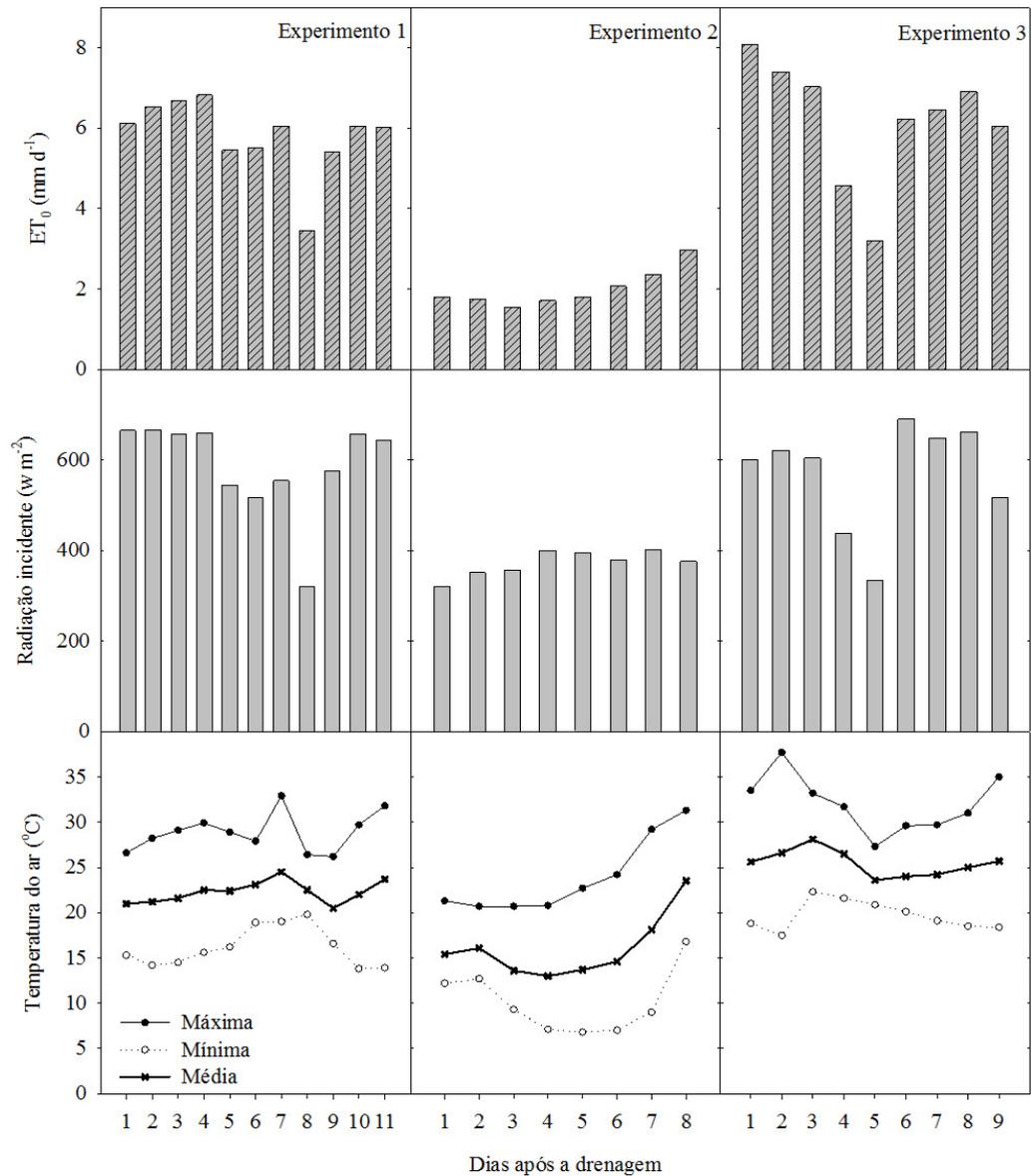


Figura 2 - Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), densidade de fluxo de radiação incidente (Radiação incidente) e temperaturas máxima, mínima e média diárias do ar ocorridas durante os três experimentos de campo.

Os resultados do quadrado médio da análise da variância e as diferenças mínimas significativas (DMS) para as temperaturas média, mínima, máxima e amplitude térmicas diárias do solo durante o experimento 1 são apresentados no apêndice A.

Os resultados da análise da variância não indicaram interação significativa para a temperatura média diária dos solos entre os fatores solo e resíduo em nenhum dos 11 dias do experimento 1. Também não foram observadas diferenças significativas na temperatura média diária entre os três solos durante todo o período.

Os valores diários da temperatura média dos solos apresentaram efeito significativo para o fator resíduo em todos os dias do experimento 1, sendo que a presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície reduziu a temperatura média dos solos em todos os dias do experimento 1 (Figura 2A).

As diferenças entre a temperatura média diária dos solos com 0 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos na superfície observadas após uma chuva ou irrigação são efeitos aditivos da alteração das propriedades reflexivas do solo pela presença dos resíduos em superfície e, também, da diferença no conteúdo de água no solo. No início do experimento, quando a umidade do solo estava próxima ao limite superior de disponibilidade hídrica, a presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície promoveu uma redução de 0,8 °C na temperatura média dos solos. A partir do terceiro dia após o início do experimento, as 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície promoveram uma redução média de 3,0 °C na temperatura média dos solos.

A temperatura média dos solos cobertos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície foi sempre inferior a 27°C em todos os dias do experimento, e a temperatura média dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos ultrapassou 29°C em seis dos 11 dias do experimento 1. Essa redução na temperatura média diária dos solos proporcionada pela presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície é importante para diversos cultivos. Por exemplo, no caso da batata, a temperatura de 29 °C é considerada por Mota (1983) como temperatura limite para o crescimento dos tubérculos.

A temperatura mínima observada nos solos com de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície foi superior à dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em seis dias, sendo as maiores diferenças observadas no início do período, quando os solos apresentavam umidade próxima ao limite superior de disponibilidade hídrica (Figura 2B).

No período compreendido entre os dias 1 e 3 após a drenagem, a temperatura mínima dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície foi em média 2 °C superior àquela observada nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos. Entre os solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície, a média da temperatura mínima observada durante todo o experimento foi de 21,9 °C e, nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície, foi de 21,0 °C. Resultados similares foram relatados por Lal (1974), que encontrou 0,5°C de diferença na temperatura mínimas diárias entre o preparo convencional e plantio direto.

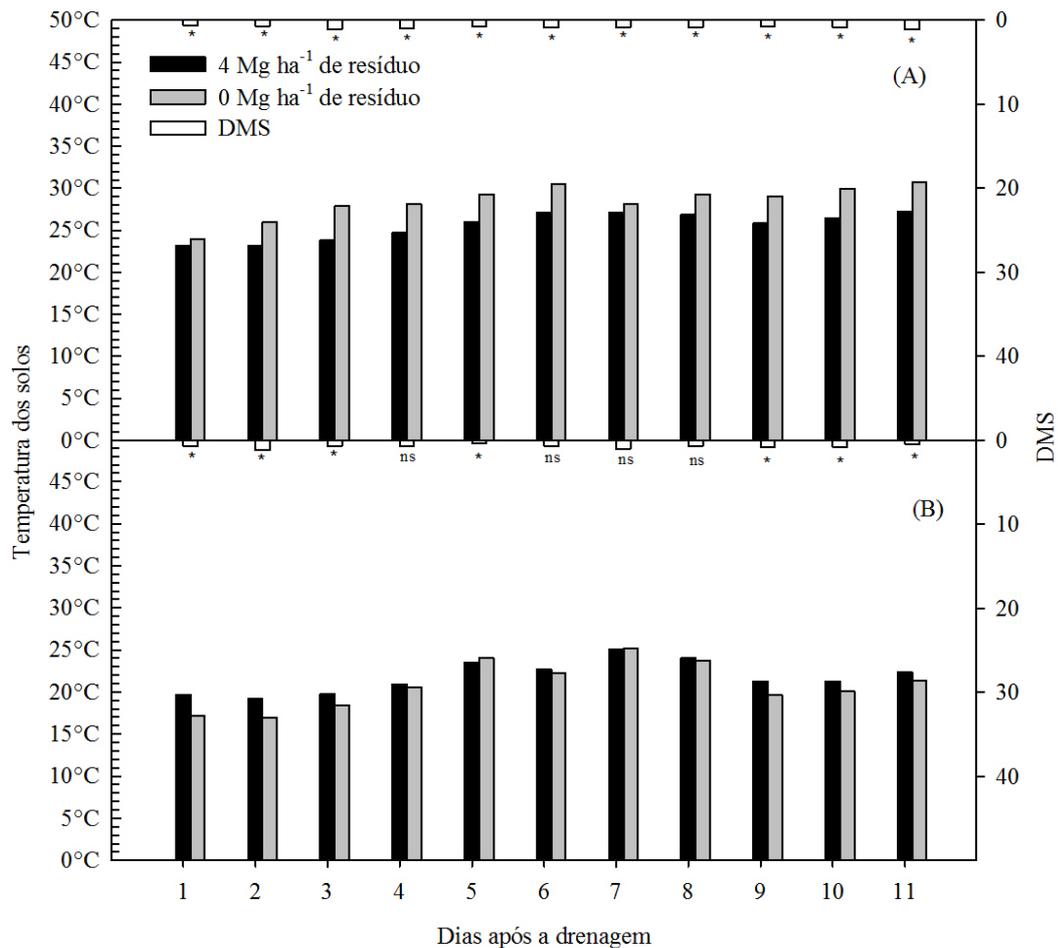


Figura 3 - Temperaturas médias (A) e temperaturas mínimas (B) diárias dos solos com 4 e 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos vegetais em superfície e diferenças mínimas significativas (DMS), observadas durante o experimento realizado de 28 de novembro a 08 de dezembro de 2007.

Tais resultados não indicaram interação significativa entre os fatores solo e resíduo para a temperatura máxima diária dos solos em nenhum dia do experimento realizado de 28 de novembro a 08 de dezembro de 2007. Não foram observadas diferenças significativas para a temperatura máxima diária entre os solos durante o período de condução do experimento 1.

A temperatura máxima diária dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia foi significativamente inferior à dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície durante todos os dias de condução do experimento 1.

As temperaturas máximas dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície, além de inferiores, apresentaram menor variação do que as observadas nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos (Figura 4). As temperaturas máximas dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície variaram de 27,4 a 33,5 °C e, nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, a variação foi de 32,2 a 42,7 °C para o primeiro e o último dia do experimento (Figura 4). Isso

indica que a temperatura máxima dos solos também é influenciada pelo conteúdo de água no solo, porque no início do experimento, quando o conteúdo de água nos solos era similar, a presença dos 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície proporcionaram redução de 6,1 °C na temperatura máxima e, no último dia do experimento, com o solo mais seco, essa redução foi de 10,5°C .

Resultados similares de redução na temperatura máxima dos solos em função da cobertura por resíduos foram encontrados por Gasparin et al. (2005), que observaram temperaturas superiores a 40°C em solo sem cobertura e 31 °C em solo com cobertura de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia. Pezzopane et al. (1996) observaram redução de 9,5 °C na temperatura máxima do solo com resíduos na superfície e Varadan; Rao (1983) observaram que a temperatura máxima do solo desnudo alcançou 39-40 °C, enquanto que, no solo com cobertura de resíduos, atingiu 30-33 °C.

Após a ocorrência de uma chuva ou irrigação, inicia a perda de água do solo para a atmosfera. A redução gradual da quantidade de água no solo proporciona redução no fluxo de calor para o interior solo com conseqüente aquecimento da superfície do solo. Isso pode ser observado quando se comparam os resultados de temperatura máxima no solo entre os solos com 0 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de na superfície. A temperatura máxima dos solos nos primeiros dias foi inferior à observada nos últimos dias de drenagem (Figura 4A), embora a densidade de radiação incidente tenha sido maior nos primeiros dias do experimento.

No primeiro dia do ciclo de secagem, os solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos apresentavam elevado conteúdo de água na superfície e, como conseqüência, aqueceram menos. À medida que o experimento transcorria, com a perda de umidade do solo, maiores foram os valores observados para a temperatura máxima dos solos.

A presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície do solo reduziu a temperatura máxima dos solos em todos os dias do experimento. No primeiro dia, quando a umidade do solo estava próxima do limite superior de disponibilidade hídrica, a redução foi de 4,8 °C e, a partir do segundo dia, a redução da temperatura máxima foi em média de 8,5 °C. Gasparin et al. (2005) encontraram redução de 2,25 °C na temperatura máxima dos solos para cada 1 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia adicionada e Bragagnolo; Mielniczuk (1990) observaram redução de 0,6 a 1,1 °C para cada 1 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos na superfície dos solos. Os resultados da análise da variância não indicaram interação significativa entre os fatores solo e resíduos para a amplitude térmica diária dos solos em nenhum dia do experimento realizado de 28 de novembro a 08 de dezembro de 2007. Não foram observadas diferenças

significativas na amplitude térmica diária dos três solos durante o período de condução do experimento.

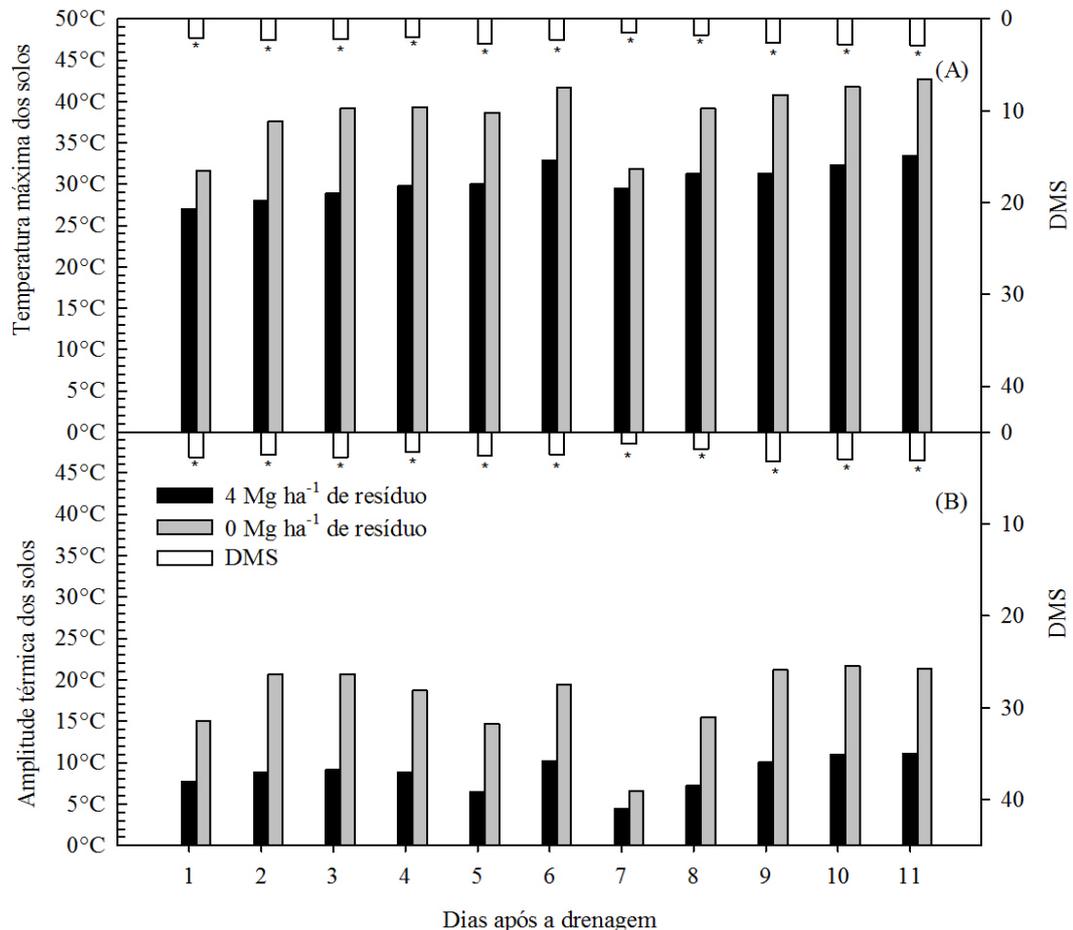


Figura 4 - Temperatura máxima (A) e amplitude térmica (B) diárias dos solos com 4 e 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos vegetais em superfície e diferenças mínimas significativas (DMS), observadas durante o experimento realizado de 28 de novembro a 0 de dezembro de 2007.

A utilização de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície reduziu a amplitude térmica diária em todos os dias do experimento (Figura 4B). Os solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos apresentaram uma amplitude térmica diária média de 17,8 °C. Nos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície, a amplitude térmica diária foi de 8,6 °C. Isso significa uma redução de 2,3°C na amplitude térmica diária por Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície. Resultados similares foram relatados por Gasparin et al. (2005), que observaram redução de 2,5°C na temperatura máxima do solo por Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície.

Um segundo experimento foi realizado no período de 12 a 19 de maio de 2008. A  $ET_0$  média diária nesse período foi de 2,12 mm, o que representa uma redução de 63,6% em relação ao experimento 1.

As variáveis meteorológicas observadas no período de condução do experimento 2 foram de menor magnitude que aquelas observadas no experimento 1, exceto para a umidade relativa do ar (Tabela 4). A redução na densidade de fluxo de radiação incidente e da temperatura do ar proporcionou temperaturas do solo inferiores às aquelas observadas no experimento 1.

Os resultados do quadrado médio da análise da variância e as diferenças mínimas significativas para as temperaturas média, mínima e máxima e amplitude térmica diárias do solo determinadas durante o experimento realizado no período de 12 a 19 de maio de 2008 são apresentados no apêndice B. Os resultados da análise da variância indicaram interação significativa para a temperatura média diária dos solos entre os fatores solo e resíduos nos dias 2, 7 e 8 após a drenagem (Tabela 5).

No dia 2 após a drenagem, a temperatura média observada no solo 1 com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo foi maior (18,5°C) do que aquela do solo com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície (17,6 °C). Porém, não foram observadas diferenças significativas para a temperatura média dos solos 2 e 3 para as duas quantidades de resíduos de aveia em superfície. Entre os três solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, a temperatura média do solo 1 foi maior que as temperaturas dos demais solos (17,7 e 17,2°C nos solos 2 e 3, respectivamente).

A temperatura média diária dos três solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície foi similar nos 8 dias do experimento 2. Nos dias 3 e 4 após a drenagem, a temperatura média diária dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície foi significativamente superior às aquelas observadas nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos. No dia 3, a temperatura média diária dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície foi 16,3°C e a temperatura média nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo foi 15,6 °C, ou seja, a temperatura média dos solos foi 0,7°C superior com a utilização de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície. A temperatura média dos solos no dia 4 após a drenagem apresentou comportamento similar ao observado no dia 3.

A temperatura média dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> resíduos de aveia em superfície foi superior às temperaturas médias dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> resíduos nos dias 2 e 3 após a drenagem. Isso provavelmente ocorreu porque, nesses dias, foram observadas baixas temperaturas médias do ar e, assim, a presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em

superfície funcionou como uma barreira, reduzindo a perda de calor dos solos para a atmosfera.

Tabela 5 - Resultados do teste de comparação de médias para temperatura média diária referentes ao experimento realizado de 12 a 19 de maio de 2008.

Dias após a drenagem		LATOS.	ARG. V. A.	ARG. V.	Média
1	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	17,0	17,5	17,3	17,3
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	17,7	17,1	16,4	17,1
	Média	17,4	17,3	16,9	
2	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	17,6 Ab	17,8 Aa	17,8 Aa	17,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	18,5 Aa	17,7 Ba	17,2 Ba	17,8
	Média	18,1	17,8	17,5	
3	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	16,1	16,5	16,4	16,3 a
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	16,5	15,3	15,1	15,6 b
	Média	16,3 A	15,9 A	15,8 A	
4	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	14,6	15,3	15,1	15,0 a
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	15,0	14,0	13,6	14,2 b
	Média	14,8 A	14,7 A	14,4 A	
5	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	14,5	14,0	15,0	14,5
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	15,2	14,9	13,7	14,6
	Média	14,9	14,5	14,4	
6	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	14,8	15,2	15,2	15,1
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	15,5	15,3	14,2	15,0
	Média	15,2	15,3	14,7	
7	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	16,5 Ab	16,7 Ab	16,8 Aa	16,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	17,9 Aa	18,2 Aa	16,4 Ba	17,5
	Média	17,2	17,5	16,6	
8	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	18,2 Ab	18,1 Ab	18,3 Aa	18,2
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	19,8 Aa	20,2 Aa	18,8 Ba	19,6
	Média	19,0	19,2	18,6	

Letras maiúsculas comparam resultados dos solos na linha e letras minúsculas comparam resultados entre as quantidades de resíduo nas colunas em cada dia

Nos dias 7 e 8 após a drenagem, foi observada interação significativa entre os fatores solo e resíduos para a temperatura média diária do solo. No dia 7, a temperatura média do solo 3 com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia foi 16,4°C, sendo significativamente inferior aos 17,9 e 18,2°C observados nos solos 1 e 2.

No dia 8 após a drenagem, a temperatura média do solo 3 com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia foi 18, 8°C, ou seja, significativamente inferior aos 19,8 e 20,2°C observados nos solos 1 e 2, respectivamente. A temperatura média do solo 3 foi similar entre as duas quantidades de resíduos. Porém, nos solos 1 e 2, a presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície proporcionou redução de 1,6 e 2,1 °C na temperatura média dos solos (Tabela 5).

No experimento 2, foram observadas diferenças na temperatura média diária entre os solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia e com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície apenas nos dias 2, 3, 4, 7 e 8. Para os dias 2, 3, 4 e 7, essas diferenças foram inferiores a 1 °C e, para o dia 8 após a drenagem, as diferenças foram de 1,4°C. Esses resultados são inferiores aos 2,9 °C observados no experimento 1, indicando que o efeito dos resíduos em superfície na redução da temperatura do solo depende da densidade do fluxo de radiação incidente.

Foi observada interação significativa para a temperatura mínima entre os fatores solos e resíduo em todos os dias do experimento 2. A interação significativa foi causada pelas diferenças observadas entre as temperaturas mínimas dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo, enquanto que a temperatura mínima dos três solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia na superfície foi similar (Tabela 6).

Diferenças significativas foram observadas para a temperatura mínima entre os solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos durante todos os dias do experimento 2. As temperaturas mínimas do solo 1 com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos foram significativamente maiores que as temperaturas mínimas do solo 2 com o mesmo nível de cobertura.

A temperatura mínima do solo 1 mantido com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície foi maior que a mínima do mesmo solo com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo nos dias 2, 3 e 6 após a drenagem. Nos demais dias, as temperatura mínimas do solo 1 com os dois níveis de cobertura foram similares. Para os solos 2 e 3, a temperatura mínima dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície foi superior à dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo.

No segundo ciclo de secagem (experimento 2), realizado em época de menor densidade de fluxo de radiação incidente, foram observadas temperaturas mínimas do solo menos extremas nos solos cobertos por resíduos. Entre os solos com cobertura de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície, a temperatura mínima diária não foi inferior a 10°C em

nenhum dia, enquanto que, entre os solos sem resíduo, isso ocorreu entre os dias 4 e 6 após a drenagem dos solos.

Tabela 6 - Resultados do teste de comparação de médias para temperatura mínima diária referente ao experimento realizado de 12 a 19 de maio de 2008.

Dias após a drenagem		LATOS.	ARG. V. A.	ARG. V.	Média
1	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	15,3 Ba	16,1 Aa	15,7 ABa	15,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	15,2 Aa	14,3 Bb	14,5 Bb	14,7
	Média	15,3	15,2	15,1	
2	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	15,3 Aa	16,0 Aa	15,7 Aa	15,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	14,6 Ab	13,0 Bb	13,7 ABb	13,8
	Média	15,0	14,5	14,7	
3	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	13,0 Aa	13,8 Aa	13,4 Aa	13,4
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	11,8 Ab	10,0 Bb	11,1 ABb	11,0
	Média	12,4	11,9	12,3	
4	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	11,1 Aa	12,3 Aa	11,7 Aa	11,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	9,7 Aa	7,5 Bb	9,0 ABb	8,7
	Média	10,4	9,9	10,4	
5	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	10,5 Aa	11,7 Aa	11,1 Aa	11,1
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	9,3 Aa	7,2 Bb	8,6 ABb	8,4
	Média	9,9	9,5	9,9	
6	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	10,8 Aa	11,9 Aa	11,2 Aa	11,3
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	9,7 Ab	7,9 Bb	9,0 ABb	8,9
	Média	10,3	9,9	10,1	
7	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	12,1 Aa	12,9 Aa	12,5 Aa	12,5
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	11,4 Aa	9,8 Bb	10,7 ABb	10,6
	Média	11,8	11,4	11,6	
8	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	16,1 Ab	16,4 Aa	16,3 Aa	16,3
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	16,4 Aa	15,6 Bb	15,6 Bb	15,9
	Média	16,3	16,0	16,0	

Letras maiúsculas comparam resultados dos solos na linha e letras minúsculas comparam resultados entre as quantidades de resíduo nas colunas em cada dia.

A temperatura mínima diária do Argissolo Vermelho amarelo foi inferior à temperatura mínima observada no Latossolo em todos os dias de observação, contrapondo o que, teoricamente, seria esperado para o regime térmico desses solos, uma vez que o solo argiloso deveria transmitir mais calor para o interior do perfil e, dessa forma, aquecer menos durante o dia e resfriar menos durante a noite. Porém, como será apresentado e discutido posteriormente (Tabela 10), entre os três solos sem cobertura, o Argissolo Vermelho amarelo apresentou as maiores perdas de água por evaporação no experimento realizado de 12 a 19 de maio de 2008. Provavelmente em função da superfície mais seca nesse solo, a condutividade térmica do solo foi reduzida. Assim, o solo mais seco (Argissolo V. A.) por conduzir menos calor para as camadas inferiores aqueceu mais durante o dia. Com menos calor armazenado durante o dia, o solo mais seco resfria mais durante o período noturno, apresentando a temperatura mínima inferior à mínima do Latossolo.

Interação significativa entre os fatores solo e resíduos foi observada para a temperatura máxima diária dos solos em todos os dias do experimento 2. A temperatura máxima foi similar para os três solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície em todos os dias do experimento 2. Os valores de temperatura máxima dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo foram superiores aos observados nos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície durante todos os dias do experimento 2, indicando que a presença de resíduos na superfície reduz significativamente a temperatura máxima dos solos (Tabela 7).

A temperatura máxima do Argissolo Vermelho mantido com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo foi significativamente inferior à temperatura máxima dos demais solos com o mesmo nível de cobertura em todos os dias do experimento 2. Em condições normais, os solos arenosos apresentam condutividade térmica e calor específico menores do que os solos argilosos. Nos solos arenosos, durante o período diurno, a maior parte da energia incidente fica na superfície, devido à sua baixa condutividade térmica, provocando maior aquecimento. Normalmente, a variação da temperatura do solo em solos arenosos é maior. Porém, como nesse experimento o Argissolo Vermelho apresentou menor perda de água, as temperaturas mínimas observadas nele não diferiram significativamente dos demais solos e a temperatura máxima foi inferior à temperatura máxima dos demais solos.

As temperaturas mínimas e máximas diárias dos solos foram afetadas pelas diferenças observadas nas perdas de água por evaporação dos três solos. Do mesmo modo, os resultados da amplitude térmica diária também foram influenciados pelas diferenças observadas no conteúdo de água presente na camada superficial dos solos.

Tabela 7 - Resultados do teste de comparação de médias para temperatura máxima diária referentes ao experimento realizado de 12 a 19 de maio de 2008.

Dias após a drenagem		LATOS.	ARG. V. A.	ARG. V.	Média
1	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	21,0 Ab	20,3 Ab	20,7 Ab	20,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	24,5 Aa	25,2 Aa	22,1 Ba	23,9
	Média	22,8	22,8	21,4	
2	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	22,1 Ab	21,3 Ab	21,7 Ab	21,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	26,3 Aa	26,9 Aa	24,2 Ba	25,8
	Média	24,2	24,1	23,0	
3	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	21,2 Ab	20,0 Ab	20,8 Ab	20,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	25,0 Aa	25,5 Aa	22,5 Ba	24,3
	Média	23,1	22,8	21,7	
4	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	19,6 Ab	19,1 Ab	19,3 Ab	19,3
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	23,9 Aa	24,1 Aa	21,2 Ba	23,1
	Média	21,8	21,6	20,3	
5	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	20,3 Ab	19,4 Ab	20,1 Ab	19,9
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	25,0 Ba	27,8 Aa	22,4 Ca	25,1
	Média	22,7	23,6	21,3	
6	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	19,9 Ab	19,0 Ab	19,9 Ab	19,6
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	24,4 Ba	26,8 Aa	21,7 Ca	24,3
	Média	22,2	22,9	20,8	
7	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	22,3 Ab	21,3 Ab	22,3 Ab	22,0
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	27,8 Ba	30,8 Aa	24,8 Ca	27,8
	Média	25,1	26,1	23,6	
8	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	23,7 Ab	23,6 Ab	23,7 Ab	23,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	30,0 Ba	32,4 Aa	27,8 Ca	30,1
	Média	26,9	28,0	25,8	

Letras maiúsculas comparam resultados dos solos na linha e letras minúsculas comparam resultados entre as quantidades de resíduo nas colunas em cada dia

Interação significativa entre os fatores solo e resíduo foi observada para a amplitude térmica diária do solo em todos os dias do experimento 2. A amplitude térmica do solo 2 com a presença 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície foi inferior à dos solos 1 e 3 durante

todo o período de drenagem. Os valores de amplitude térmica diários dos solos com  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduo foram superiores aos observados nos solos com  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos de aveia na superfície durante todos os dias do experimento 2 (Figura 5).

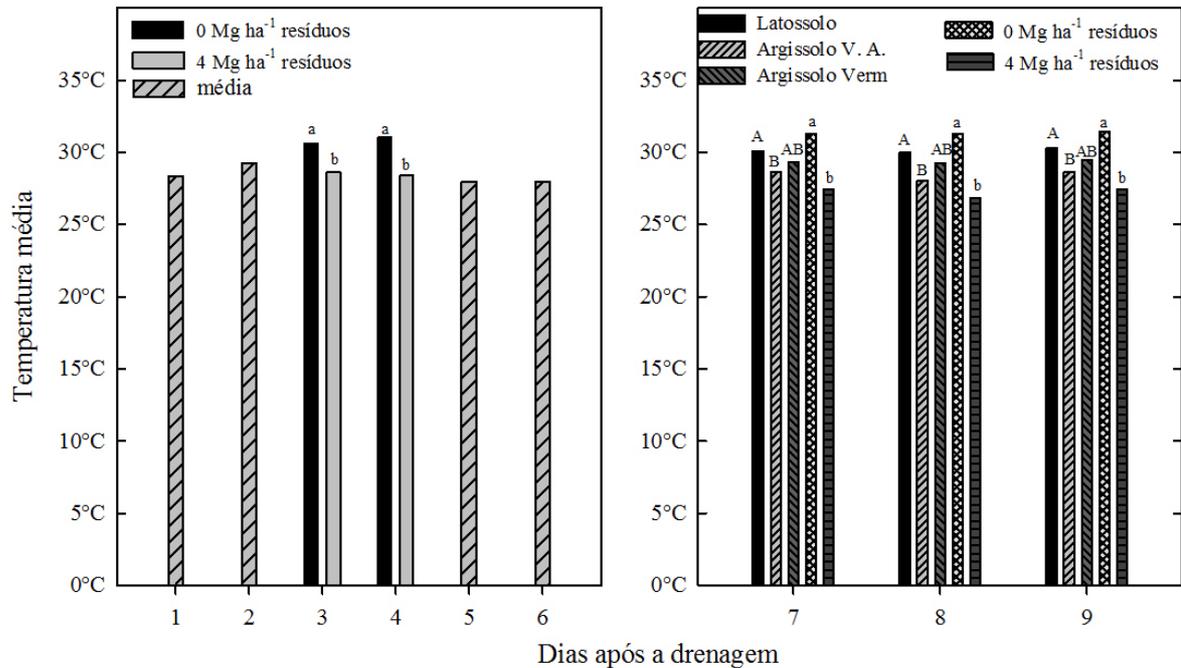


Figura 5 - Amplitude térmica observada durante o experimento realizado de 12 a 19 de maio de 2008 e resultados do teste de comparação de médias do fator solos nos níveis do fator resíduo. Letras maiúsculas comparam solos para cada dia e letras minúsculas comparam os resultados entre as quantidades de resíduo.

A amplitude térmica do Argissolo Vermelho amarelo mantido com  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos foi significativamente maior do que no Latossolo e Argissolo Vermelho em todos os dias do experimento 2. A amplitude térmica do Argissolo Vermelho foi significativamente menor do que nos solos 1 e 2, sendo as maiores diferenças observadas a partir do quinto dia após a drenagem.

No terceiro experimento realizado no período de 20 a 28 de dezembro de 2008, com  $ET_0$  média no período de  $6,21 \text{ mm dia}^{-1}$ , não houve interação significativa entre os fatores solo e resíduos para a temperatura média diária do solo em nenhum dos dias analisados. Os resultados do quadrado médio da análise da variância e as DMS para as temperaturas mínima, média e máxima e da amplitude térmica diárias do solo durante o experimento realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008 são apresentados no apêndice C.

A temperatura média dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície foi menor do que com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em dois períodos, o primeiro entre os dias 3 e 4, e o segundo período entre os dias 7 e 9 após a drenagem. Nos dias 3 e 4 as temperaturas médias observadas nos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície foram 28,6°C e 28,4°C. Nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, as temperaturas médias foram 30,6 e 31°C.

Nesses dias, foram observadas reduções de 0,50 e 0,65°C na temperatura média dos solos por Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície (Figura 6).

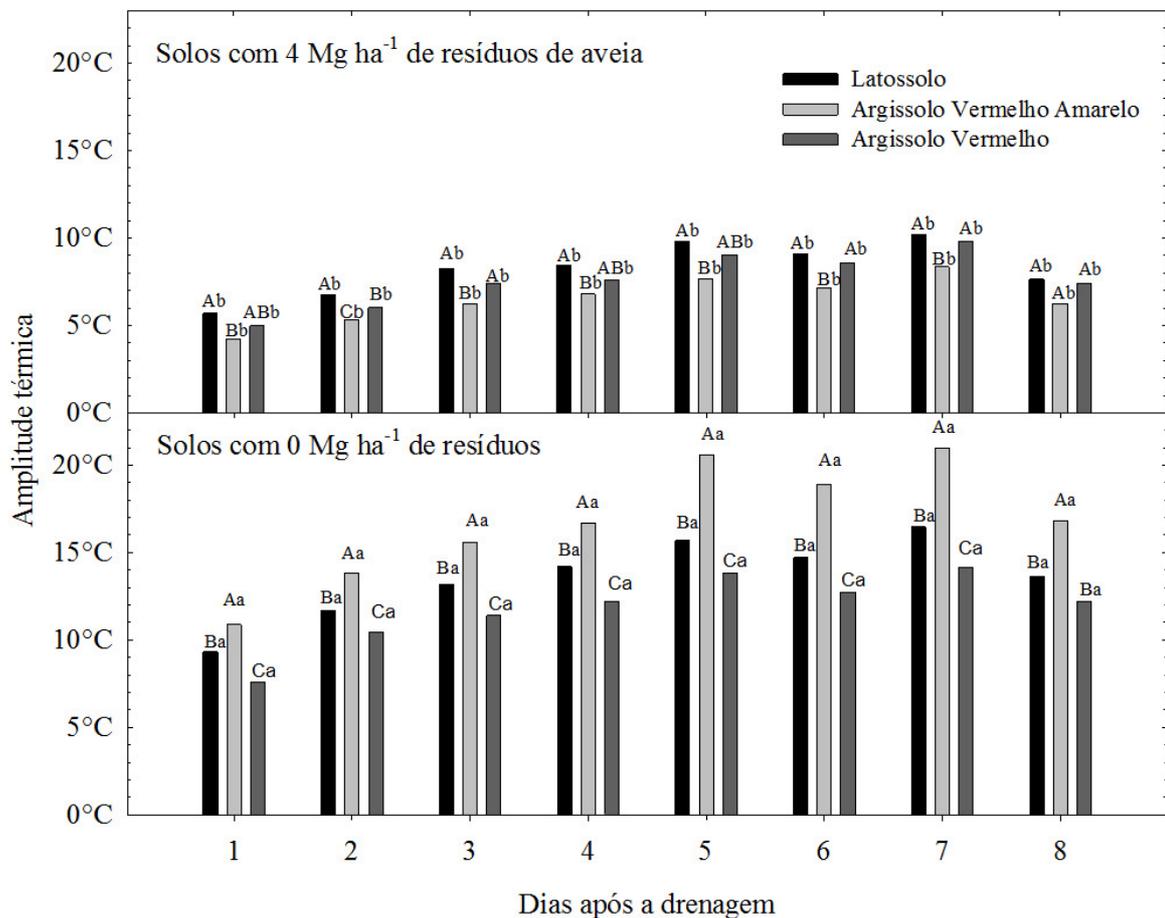


Figura 6 - Temperaturas médias diárias dos solos durante o experimento realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008. Letras minúsculas comparam as temperatura média dos solos nos níveis de cobertura de resíduos e letras maiúsculas comparam as temperaturas médias nos três solos.

Diferenças na temperatura média entre os solos foram observadas a partir do sétimo dia após a drenagem. O Latossolo apresentou as maiores temperaturas médias diárias enquanto que o Argissolo Vermelho amarelo apresentou as menores. No Argissolo Vermelho,

as temperaturas médias foram intermediárias, não diferindo estatisticamente daquelas dos demais solos. A temperatura média do Latossolo foi 2,0 °C maior que a do Argissolo Vermelho amarelo entre os dias 7 e 9 após a drenagem.

A temperatura média dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície foi significativamente menor do que com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos nos dias 7, 8 e 9 após a drenagem, quando a redução na temperatura média dos solos foi de 0,98, 1,13 e 1,0 °C por Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície, respectivamente. Esses resultados são similares aos encontrados no experimento 1, no qual, a partir do dia 4 após a drenagem, foi observada uma redução na temperatura média diária dos solos de 0,75 °C por Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície.

Observou-se interação significativa entre os fatores solo e resíduo para a temperatura mínima diária do solo no período compreendido entre os dias 2 e 8 após a drenagem no experimento 3 (Tabela 8).

No primeiro dia após a drenagem, não houve diferença para a temperatura mínima entre os três solos, e foi observado efeito significativo para o fator resíduo. A temperatura mínima dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo foi 2,4 °C menor do que a dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície. Resultados similares foram observados no experimento 1, quando os solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície apresentaram temperatura mínima 2,7 °C maior do que nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo.

Os resultados da temperatura mínima dos solos indicam que a presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície dos solos reduziu a transferência de calor do solo para a atmosfera, atenuando a temperatura mínima no Latossolo e no Argissolo Vermelho entre o segundo e o oitavo dias após a drenagem. Porém, no Argissolo Vermelho amarelo, foi verificado efeito da cobertura de resíduos sobre a temperatura mínima apenas no dia 2 após a drenagem. Assim como nos experimentos anteriores, não foram observadas diferenças significativas entre as temperaturas mínimas do Latossolo e Argissolo Vermelho. Isso provavelmente ocorreu porque o efeito das diferenças nas propriedades térmicas entre os constituintes desses solos seja anulado pelas diferenças na densidade entre eles, quanto ao efeito na temperatura mínima do solo.

Em relação à temperatura máxima diária, verifica-se que não houve interação significativa entre os fatores solo e resíduo para a temperatura máxima diária dos solos no experimento realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008.

Tabela 8 - Resultados do teste de comparação de médias para temperatura mínima diária referentes ao experimento realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008.

Dias após a drenagem	Cobertura	LATOS.	ARG. V. A.	ARG. V.	Média
1	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	27,0	25,4	25,7	26,0 a
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	23,4	23,5	24,0	23,6 b
	Média	25,2	24,5	24,9	
2	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	27,1 Aa	25,0 Ba	25,8 ABa	26,0
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	23,0 Ab	23,4 Ab	23,4 Ab	23,3
	Média	25,1	24,2	24,6	
3	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	27,0 Aa	24,8 Ba	25,9 ABa	25,9
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	23,3 Ab	23,6 Aa	24,0 Ab	23,6
	Média	25,2	24,2	25,0	
4	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	26,8 Aa	24,6 Ba	25,9 ABa	25,8
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	24,2 Ab	24,5 Aa	25,0 Aa	24,6
	Média	25,5	24,6	25,5	
5	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	27,8 Aa	25,7 Ba	26,9 ABa	26,8
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	25,1 Ab	25,9 Aa	25,7 Aa	25,6
	Média	26,5	25,8	26,3	
6	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	26,7 Aa	24,6 Ba	25,7 ABa	25,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	23,5 Ab	24,3 Aa	24,1 Ab	24,0
	Média	25,1	24,5	24,9	
7	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	26,2 Aa	23,8 Ba	26,2 Aa	25,4
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	23,0 Ab	23,9 Aa	23,7 Ab	23,5
	Média	24,6	23,9	25,0	
8	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	24,7 Aa	22,0 Ba	23,8 Aa	23,5
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	22,0 Ab	22,6 Aa	22,7 Aa	22,4
	Média	23,4	22,3	23,3	
9	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	25,0 Aa	22,3 Ba	23,9 Aba	23,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	22,6 Ab	23,0 Aa	23,5 Aa	23,0
	Média	23,8	22,7	23,7	

Letras maiúsculas comparam resultados dos solos na linha e letras minúsculas comparam resultados entre as quantidades de resíduo nas colunas em cada dia

Os solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo na superfície apresentaram valores de temperatura máxima superior aos dos solos cobertos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície em todos os dias do experimento 3. Os valores de temperatura máxima diária nos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície apresentaram variação de 4,1 °C entre a maior temperatura máxima do solo (observada no dia 1 após a drenagem) e a menor (dia 6 após a drenagem). Enquanto que, nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, essa variação nas temperaturas máximas foi de 11,1 °C (Figura 7).

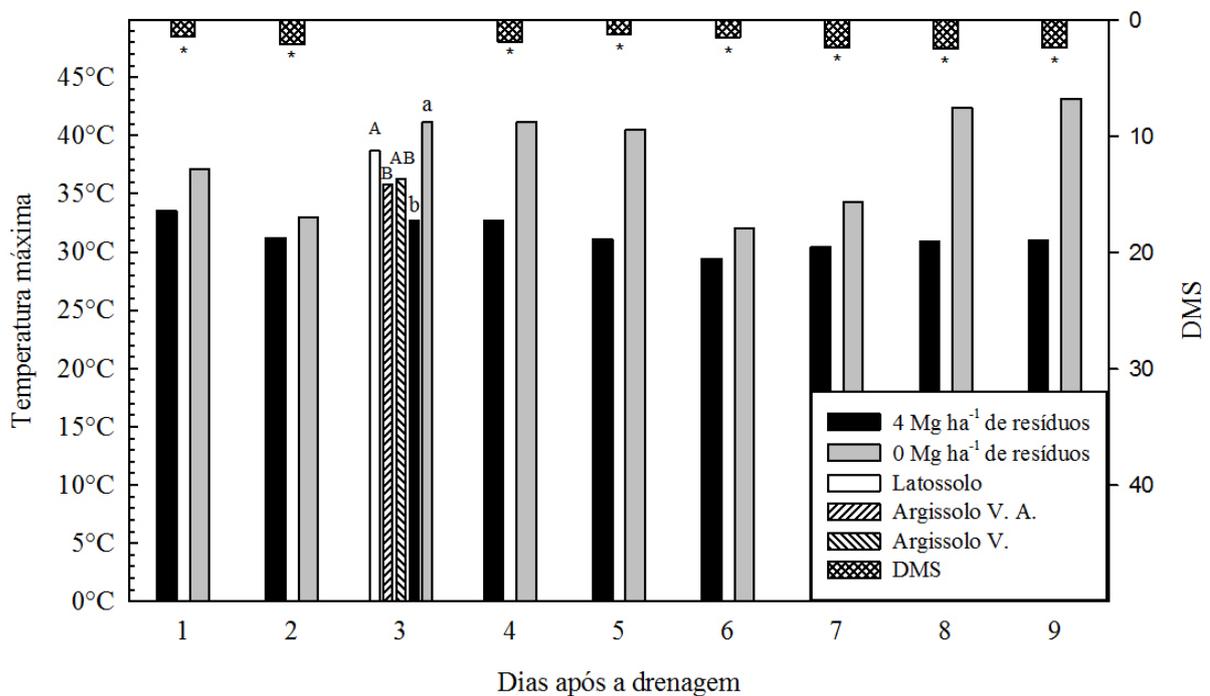


Figura 7 - Temperatura máxima dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície e com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, observadas durante o experimento 3. Santa Maria, RS, 2011.

A presença de resíduos de aveia na superfície do solo ocasiona menor variação na temperatura máxima do solo no início do ciclo de secagem, quando o solo possui elevado conteúdo de água. No primeiro dia após a drenagem, a temperatura máxima dos solos mantidos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície foi 3,6 °C menor do que a temperatura máxima dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup>. No último dia, a temperatura máxima dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície foi 11,4 °C menor do que aquela dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo.

No nono dia após a drenagem, a temperatura máxima dos solos foi reduzida em 2,8 °C por Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia depositada em superfície. No experimento 3, a temperatura máxima média foi reduzida em 1,8 °C por Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia depositada em superfície.

Verifica-se que não houve interação significativa entre os fatores solo e resíduo para a amplitude térmica diária dos solos no experimento realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008. A presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície do solo reduziu significativamente a amplitude térmica do solo, provavelmente atuando como barreira, tanto ao aquecimento diurno, quanto ao resfriamento noturno. Neste estudo, em todos os dias analisados, a amplitude térmica do solo com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície foi menor do que nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo. As maiores diferenças entre as amplitudes térmicas das duas quantidades de resíduo foram observadas no final do experimento (Figura 8 ).

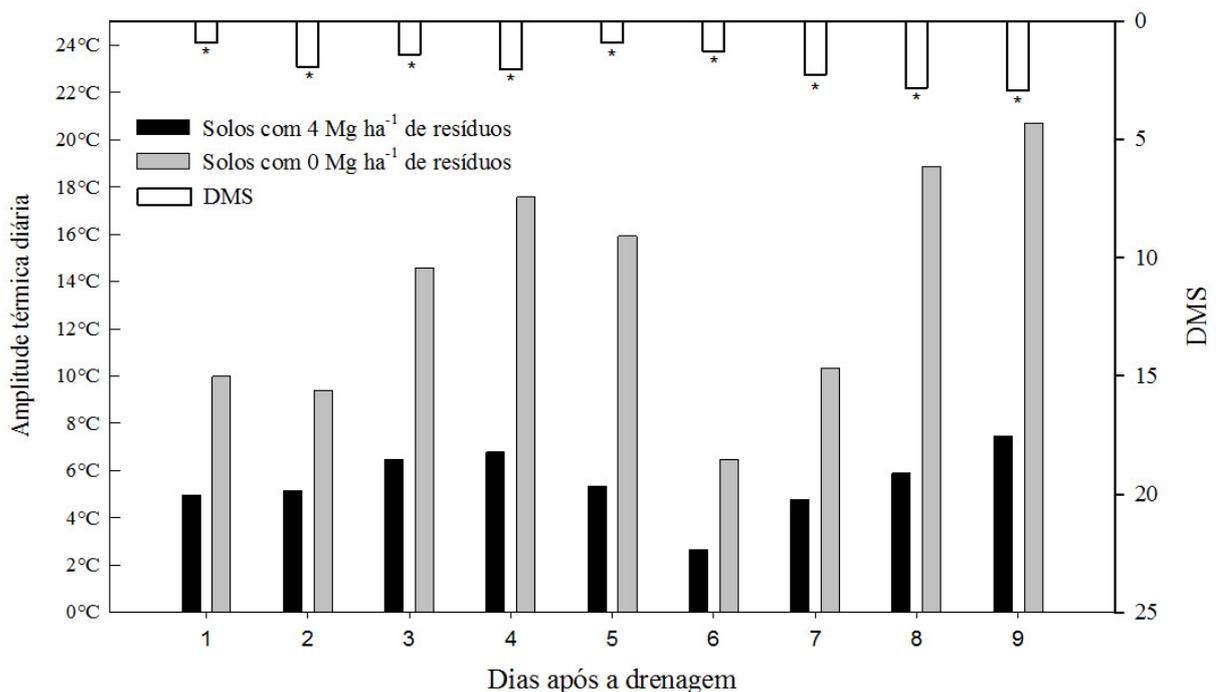


Figura 8 - Amplitude térmica dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície e com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, observadas durante o experimento realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008. Santa Maria, RS, 2011.

A amplitude térmica, bem como a temperatura máxima, apresentou uma relação inversa com o conteúdo de água no solo. Isso foi observado nos três ciclos de secagem do solo (experimentos 1, 2 e 3) para os solos com os dois níveis de cobertura.

Para os três solos utilizados neste estudo, não foi observada diferença na amplitude térmica diária. A textura dos solos, mesmo distinta, não ocasionou diferenças nas temperaturas máximas e amplitude térmica diárias entre os três solos nos experimentos 1 e 3. Porém, no experimento 2, diferenças observadas entre as temperaturas dos solos demonstraram que houve efeito significativo do fator solo para a temperatura máxima e amplitude térmica. Isso pode ter sido ocasionado pelas diferenças nas perdas de água por evaporação observadas entre os três solos, uma vez que a água armazenada no solo afeta diretamente a temperatura do solo.

#### **4.2 Perdas de água por evaporação dos solos**

Os solos apresentaram distintas curvas características de água no solo (Figura 1). As diferenças entre as curvas estão relacionadas à constituição e arranjo da fase sólida e da interação dessa com a fase líquida dos três solos. Após a saturação e a drenagem, a lâmina de água armazenada na camada de 0-10 cm do solo 1 foi de 40 mm nos experimentos 1 e 2 e de 42 mm no experimento 3. No solo 2, a lâmina de água armazenada foi de 36 mm para os três experimentos e, no solo 3, foi de 29 mm para os experimentos 1 e 2, e de 32 mm para o experimento 3. Esses valores são similares aos valores de armazenamento de água no solo observados no limite superior de disponibilidade hídrica dos três solos, determinados posteriormente à realização dos experimentos (Tabela 3).

Nos solos saturados, todos os poros estão preenchidos por água e são condutores, logo a condutividade hidráulica é máxima. À medida que o solo se torna não saturado, o ar tende a ocupar os espaços vazios antes ocupados pela água e, assim, a secção disponível para fluxo de água no interior do solo é gradativamente reduzida. Nessa situação, fluxos de ar e água podem ocorrer no interior do solo. Com a perda de água por evaporação, um gradiente de potencial é criado no interior do solo, o que provoca movimento ascendente de água no solo em resposta ao gradiente de potencial.

Porém, à medida que o volume de poros ocupados por ar na camada superficial dos solos aumenta, o fluxo de água para a superfície é dificultado porque a condutividade hidráulica é reduzida. Nesse sentido, pelas diferenças observadas nas curvas características do Latossolo Vermelho, Argissolo Vermelho amarelo e Argissolo Vermelho, seria esperado que as perdas de água por evaporação também fossem diferentes entre os três solos, o que não foi

verificado nos experimentos 1 e 3, conforme resultados das perdas de água por evaporação apresentados a seguir.

#### 4.2.1 Experimento 1 - período de realização de 28 de novembro a 8 de dezembro de 2007.

Os resultados da análise da variância para as perdas de água por evaporação acumuladas durante o experimento realizado de 28 de novembro a 8 de dezembro de 2007 são apresentados no apêndice D. Esses resultados indicaram interação significativa entre os fatores solos e resíduo no primeiro dia após a drenagem. O solo 1 mantido com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo apresentou perda de água menor do que os demais solos na mesma condição. Nesse dia, também foi verificado que a presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície proporcionou redução na perda de água nos três solos (Tabela 9).

Os resultados observados no primeiro dia do experimento 1 (Tabela 9) evidenciam que a presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície proporcionou redução de 47% nas perdas de água por evaporação nos solos 1 e 3, e redução de 68% nas perdas observadas no solo 2.

Tabela 9 - Resultados da perda de água (mm) entre os três solos e as duas quantidades de resíduos, observados no primeiro dia após a drenagem, no experimento realizado de 28 de novembro a 8 de dezembro de 2007. Santa Maria, 2011

	4 Mg ha <sup>-1</sup>	0 Mg ha <sup>-1</sup>	Média
Latossolo	2,1 A b	4,1 B a	3,1
Argissolo V. A.	2,4 A b	6,8 A a	4,6
Argissolo V.	3,0 A b	5,7 A a	4,3
Média	2,5	5,5	

Letras maiúsculas representam o resultado do teste de Tuckey na coluna e letras minúsculas representam o resultado do teste de Tuckey na linha, ambos com 5% de probabilidade de erro.

A partir do segundo dia após a drenagem, não foram observadas diferenças nas perdas de água por evaporação acumuladas entre os solos. Os solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia mantida em superfície apresentaram menores perdas de água por evaporação do que os com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo até o final do experimento 1 (Figura 9).

Observaram-se diferenças significativas nas perdas de água acumuladas entre os solos mantidos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície e com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo em todos os dias do experimento 1. É importante salientar que as perdas de água observadas no primeiro dia continuam sendo contabilizadas no cálculo da perda de água acumulada. Isso pode ser observado pela equidistância entre as curvas de evaporação dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície e dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo (Figura 9).

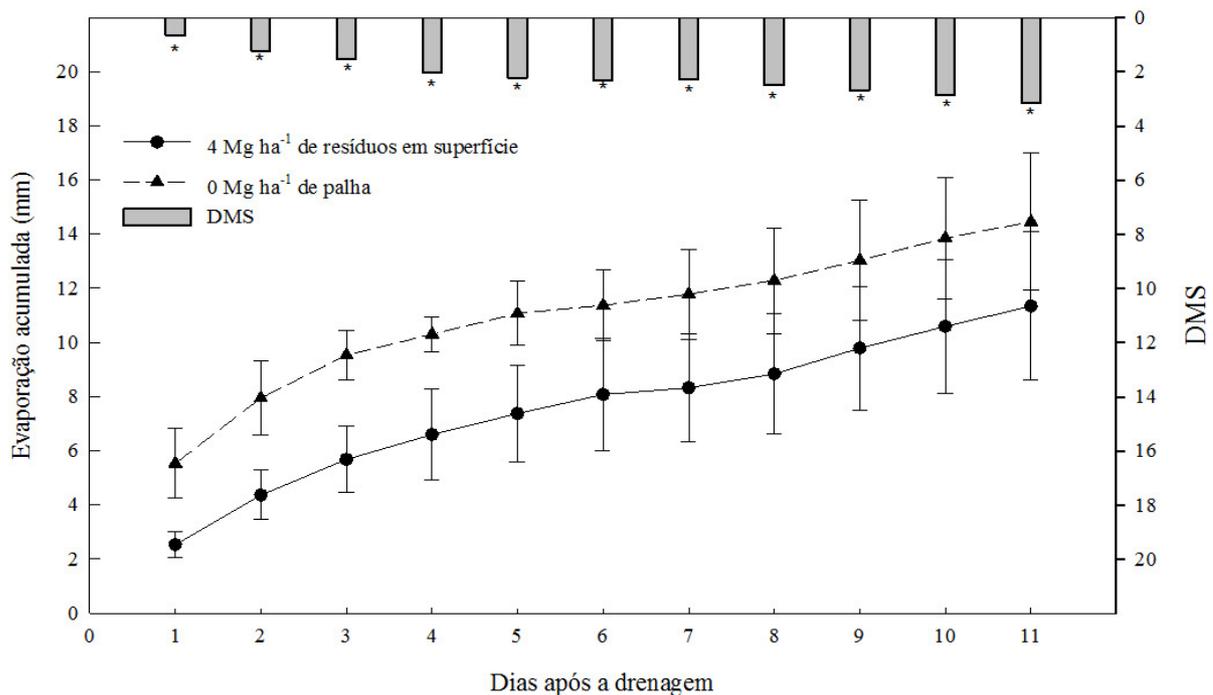


Figura 9 - Média da evaporação de água dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície e dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, durante o experimento 1 realizado de 28/11 a 8/12/2007. Santa Maria, RS

A redução nas perdas acumuladas de água dos solos com a utilização dos 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície foram de 45, 40, 36, 33, 29, 29, 28, 25, 24 e 22%, para os dias 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11, respectivamente.

A perda de água acumulada (média dos três solos) nos solos mantidos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo no segundo dia do experimento 1 foi de 8 mm (Figura 9). Nos solos mantidos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície, o mesmo valor de lâmina evaporada acumulada (8mm) somente foi observado no sexto dia após a drenagem. A diferença de quatro dias para o acúmulo da mesma perda de água do solo em função das duas quantidades de resíduo manteve-se até o final do experimento 1. Esse dado é agronomicamente importante para o

manejo de áreas agrícolas no período entre a semeadura e o estágio inicial de desenvolvimento da cultura, quando a evaporação ainda é o principal componente da evapotranspiração da cultura. Isso indica que a presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície manteria a umidade no solo por até 4 dias a mais do que em uma área com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo, sem a necessidade de acionar o sistema de irrigação. Isso pode representar redução dos custos com a irrigação, dependendo da frequência das chuvas.

É importante mencionar que a análise das perdas de água por evaporação do solo como perdas diárias ou como perdas acumuladas ocasiona interpretação distinta dos resultados. Isso ocorre porque a análise da perda diária desconsidera as perdas de água por evaporação ocorridas no período que antecede ao dia analisado. Na análise da perda acumulada, as diferenças observadas no primeiro dia após a drenagem continuam sendo contabilizadas nos dias subsequentes.

Na análise da evaporação diária do experimento 1, não foi observada interação significativa entre os fatores solo e resíduo a partir do segundo dia após a drenagem (Apêndice D). Os resultados das perdas de água por evaporação no primeiro dia do experimento são apresentados na tabela 9.

As perdas de água por evaporação diárias nos dias 2 e 3 não foram diferentes entre os solos e os níveis de cobertura. Observaram-se diferenças significativas quanto às perdas de água por evaporação entre os solos no dia 4. Nesse dia, entre os solos 1, 2 e 3 as perdas de água por evaporação observadas foram 1,58, 0,60 e 0,35 mm, indicando que a maior perda ocorreu no Latossolo, e a menor no Argissolo Vermelho, enquanto que a evaporação observada no Latossolo Vermelho amarelo não diferiu significativamente dos demais. Como o solo 1 (Latossolo) apresentou evaporação menor que os demais solos no primeiro dia após a drenagem, o mesmo permaneceu com maior umidade na superfície, o que proporcionou maiores perdas de água por evaporação nos dias que se seguiram (dias 4, 5 e 6). Ainda, no dia 4, a perda de água por evaporação média dos solos mantidos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo em superfície (0,9mm) não diferiu significativamente da evaporação nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo (0,8mm) (Figura 10).

Nos dias 5 e 6 após a drenagem, foram observadas diferenças significativas nas perdas de água por evaporação entre os solos. No dia 5, as perdas de água por evaporação foram de 1,18; 0,80 e 0,34 mm para os solos 1, 2 e 3, respectivamente. No dia 6 após a drenagem, as perdas de água por evaporação foram 0,85; 0,43 e 0,23 mm para os solos 1, 2 e 3, respectivamente. A análise das perdas de água por evaporação ocorridas nesses dias evidencia que as perdas de água por evaporação observadas no solo 1 são estatisticamente superiores às

do solo 3. Já as perdas do solo 2 não diferem significativamente das dos demais solos, em nível de 5% de probabilidade. No dia 6 após a drenagem, os solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície apresentaram evaporação superior aos solos sem cobertura. Dalmago et al., (2010) relatam maiores perdas de água por evaporação em solos mantidos com resíduo na superfície a partir do segundo até o quinto dia após uma chuva. De acordo com Aydin et al., (2005), isso decorre do rápido secamento da superfície do solo exposta, que quebraria a continuidade dos poros, reduzindo as perdas de água por evaporação nos solos sem cobertura.

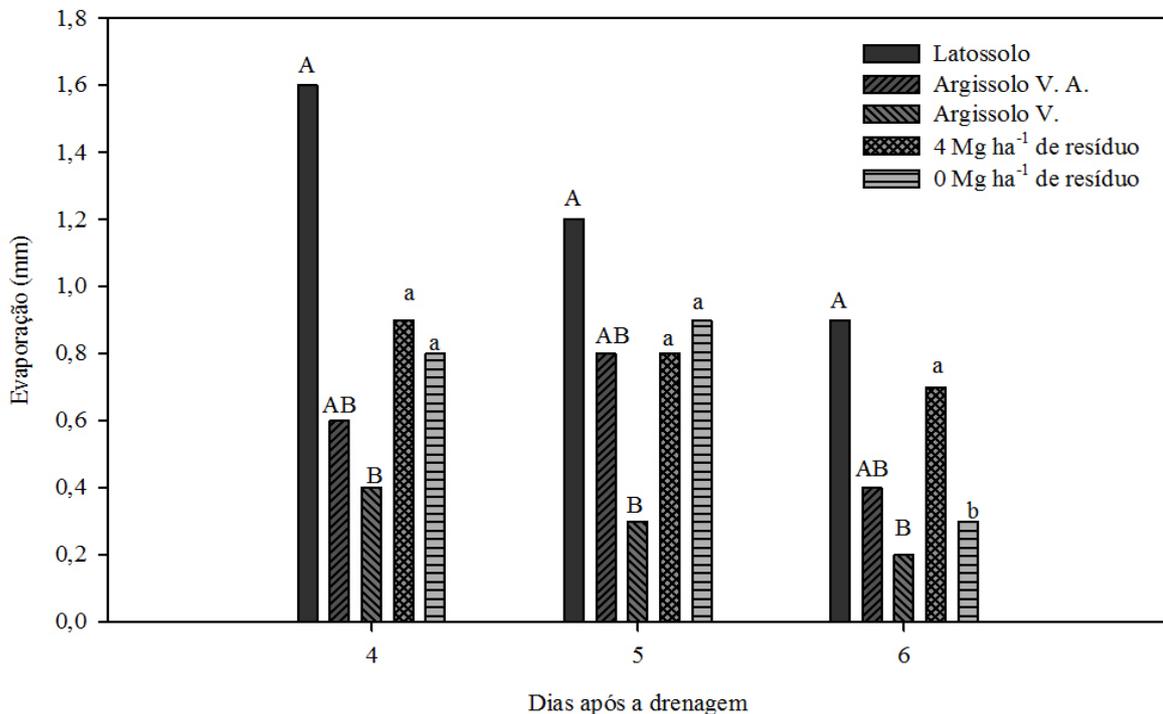


Figura 10 – Evaporação diária observada nos dias 4, 5 e 6 após a drenagem. Em cada dia, letras maiúsculas comparam solos e letras minúsculas comparam os dois níveis de resíduos.

A partir do dia 7 após a drenagem, não foram observadas diferenças significativas nas perdas de água por evaporação entre os solos e os níveis de cobertura.

Durante o experimento 1, mesmo com demanda evaporativa diária superior a 5 mm, as perdas de água por evaporação diárias foram inferiores a 1mm d<sup>-1</sup> a partir do quarto dia após a drenagem (Figura 11).

Os dias 1 e 10 após a drenagem apresentaram valores de ET<sub>0</sub> similares (aproximadamente 6 mm d<sup>-1</sup>). As perdas de água por evaporação nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo foram de 5,5 no dia 1 e de 0,8 mm d<sup>-1</sup> no dia 10 e com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície foram de 2,5 e 0,8 mm d<sup>-1</sup>.

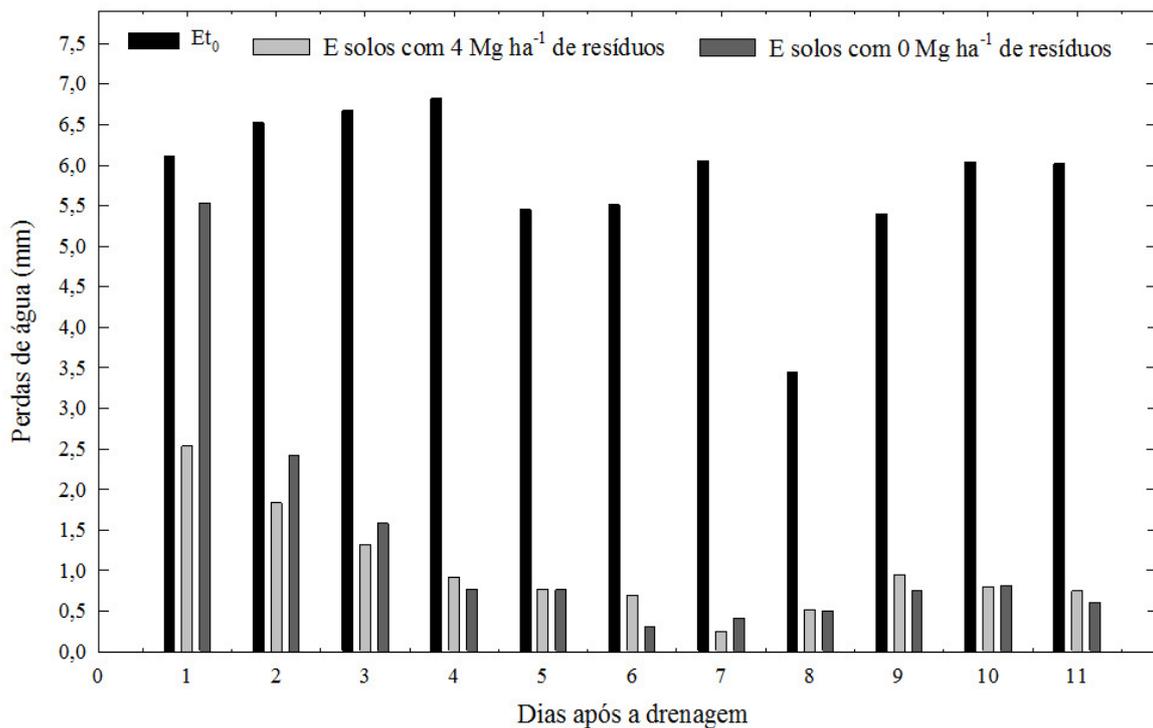


Figura 11 - Evapotranspiração de referência ( $E_{t_0}$ ) e evaporação (E) média dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície e dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo observados no experimento 1, realizado de 28 de novembro a 8 de dezembro de 2007. Santa Maria, RS. 2011.

#### 4.2.2 Experimento 2 – período de realização de 12 a 19 de maio de 2008.

Durante o período de realização do experimento 2, a  $E_{t_0}$  foi menor do que no experimento 1 (Tabela 9). Os resultados da análise da variância para as perdas de água por evaporação acumuladas indicaram interação significativa entre solos e quantidades de resíduo a partir do terceiro dia após a drenagem (Apêndice E).

As condições meteorológicas foram diferentes entre os períodos de condução dos experimentos 1 e 2. No experimento 2, os resultados das perdas de água por evaporação no primeiro dia após a drenagem indicam que as perdas do solo 1 (1,35 mm d<sup>-1</sup>) foram significativamente inferiores às observadas nos solos 2 e 3 (2,03 e 2,12 mm d<sup>-1</sup>). Além disso, esses resultados indicam que as perdas de água por evaporação entre os solos com as duas quantidades de resíduo foram similares (Tabela 10).

No segundo dia após a drenagem, as perdas de água por evaporação acumuladas do solo 1 (2,24 mm d<sup>-1</sup>) foram significativamente menores que as perdas no solo 2 (3,45 mm d<sup>-1</sup>)

e no solo 3 (3,52 mm d<sup>-1</sup>). As perdas de água por evaporação nos solos com 0 Mg de resíduo em superfície (3,36 mm d<sup>-1</sup>) foram significativamente maiores que as perdas de água por evaporação nos solos com 4 Mg de resíduo em superfície (2,78 mm d<sup>-1</sup>).

Tabela 10 - Resultados do teste de comparação de médias para evaporação acumulada, entre os solos Latossolo, Argissolo Vermelho amarelo e Argissolo Vermelho e entre os dois níveis de cobertura de resíduos, referentes ao experimento realizado de 12 a 19 de maio de 2008.

Dias após a drenagem		LATOS.	ARG. V. A.	ARG. V.	Média
1	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	1,5	1,7	2,1	1,8
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	1,2	2,4	2,2	1,9
	Média	1,4 B	2,0 A	2,1 A	
2	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	2,1	2,8	3,5	2,8
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	2,4	4,1	3,5	3,4
	Média	2,2	3,5	3,5	
3	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	2,6 Bb	3,3 Bb	5,2 Aa	3,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	4,1 Ba	5,8 Aa	4,9 ABb	4,9
	Média	3,3	4,6	5,0	
4	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	3,3 Bb	3,6 Bb	6,2 Aa	4,4
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	5,1 Ba	7,7 Aa	6,1 Ba	6,3
	Média	4,2	5,7	6,1	
5	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	4,0 Bb	4,3 Bb	7,0 Aa	5,1
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	6,2 Ca	10,0 Aa	7,4 Ba	7,8
	Média	5,1	7,1	7,2	
6	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	5,0 Bb	5,0 Bb	7,7 Aa	5,9
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	7,1 Ba	11,6 Aa	8,1 Ba	8,9
	Média	6,1	8,3	7,9	
7	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	5,7 Bb	5,5 Bb	8,5 Aa	6,6
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	7,9 Ba	12,3 Aa	8,6 Ba	9,6
	Média	6,8	8,9	8,5	
8	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	6,3 Bb	6,3 Bb	9,2 Aa	7,3
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	8,7 Ba	13,0 Aa	9,1 Ba	10,3
	Média	7,5	9,7	9,2	

Letras maiúsculas comparam resultados dos solos na linha e letras minúsculas comparam resultados entre as quantidades de resíduo nas colunas em cada dia

Os resultados da análise da variância evidenciaram que as perdas de água por evaporação acumuladas ocorreram de forma similar entre o terceiro e o oitavo dias após a drenagem. Nesse período, as perdas de água por evaporação do solo 3 mantido com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia foram significativamente maiores do que as perdas dos solos 1 e 2 com a mesma quantidade de resíduos. Porém, entre os solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, as maiores perdas de água por evaporação foram observadas no solo 2. Não foram observadas diferenças significativas nas perdas de água por evaporação do solo 3 entre as duas quantidades de resíduos. As perdas de água por evaporação nos solos 1 e 2 mantidos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície foram menores do que nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 10).

Durante os primeiros cinco dias do período de realização do experimento 2, a evaporação acumulada observada nos solos mantidos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo foi 7,8 mm (Figura 12 A). Esse valor foi equivalente a 90% da ET<sub>0</sub> acumulada (8,6 mm) no mesmo período de tempo (Figura 12 B).

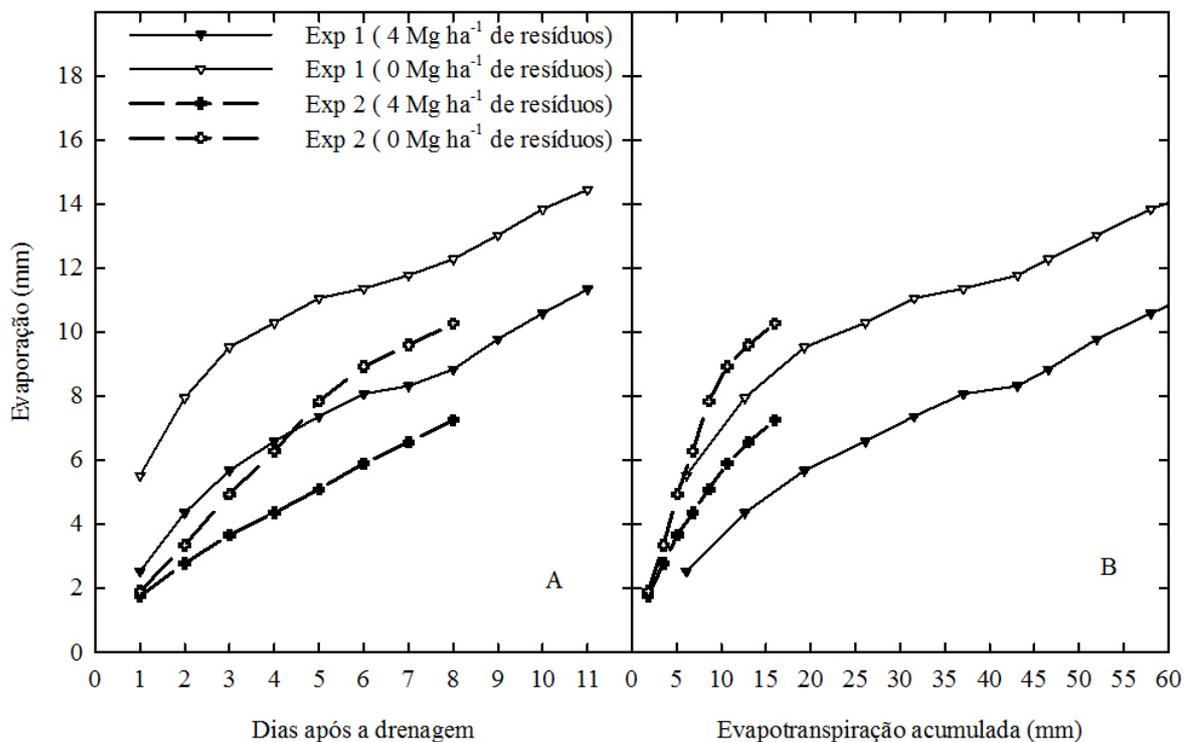


Figura 12 - Evaporação média dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície e dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo, observados no experimento 1 e 2, em relação aos dias após a drenagem (A) e à evapotranspiração acumulada (B). Santa Maria, 2011.

No experimento 1, realizado em época com demanda evaporativa superior, essa magnitude de evaporação foi observada somente no primeiro dia. Porém, quando o processo de evaporação é analisado usando a  $ET_0$  acumulada como escala temporal, o período em que a evaporação nos solos com  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduo em superfície e a  $ET_0$  são próximas é de aproximadamente 9 mm para os dois experimentos (Figura 12 B). A partir dos 9 mm de  $ET_0$  acumulada, a evaporação diária foi reduzida em ambos os experimentos, o que provavelmente caracteriza o início do segundo estágio da evaporação, no qual a taxa de evaporação é mais dependente das características hidráulicas do solo do que da demanda evaporativa da atmosfera.

Durante o experimento 2, a redução média nas perdas diárias de água proporcionada pela presença de  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduo de aveia na superfície dos solos foi de  $0,43 \text{ mm dia}^{-1}$  para os primeiros sete dias após a drenagem. Nesse período, a  $Et_0$  média diária foi 1,86 mm. Freitas et. al. (2006), trabalhando com uma demanda evaporativa diária fixa de 3mm, constataram uma redução na evaporação de  $1,4 \text{ mm dia}^{-1}$  nos primeiros sete dias de observação em função da presença de  $3,5 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduo de aveia em superfície em solos areia franca e muito argiloso.

Os resultados da evaporação diária evidenciam que a evaporação observada no Argissolo Vermelho amarelo com  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduo foi superior à evaporação dos demais solos com o mesmo nível de cobertura no período compreendido entre os dias 4 e 6 após a drenagem (Tabela 11). O referido solo perdeu mais água em superfície que os demais solos e, nessa condição, apresentou temperaturas mínimas inferiores (Tabela 6) e máximas superiores (Tabela 7). Uma pequena variação no conteúdo de umidade do solo afeta significativamente o regime térmico do mesmo em função de que, à medida que o solo perde água, esses espaços são ocupados pelo ar, que apresenta condutividade térmica 24 vezes menor que a da água. Dessa forma, o solo mais seco conduz menos calor para as camadas inferiores. Assim, durante o dia, a temperatura máxima é mais elevada e durante a noite, em função do menor calor armazenado durante o período diurno, a temperatura mínima é mais baixa.

No dia 3 após a drenagem, os três solos com  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduo apresentaram maior evaporação. Porém, no dia 6, apenas o Argissolo Vermelho amarelo apresentou redução significativa da evaporação em função da presença dos  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos de aveia em superfície.

Tabela 11 - Resultados do teste de comparação de médias para evaporação diária, entre os solos Latossolo, Argissolo Vermelho amarelo e Argissolo Vermelho e entre os dois níveis de cobertura de resíduos, referentes ao experimento realizado de 12 a 19 de maio de 2008.

Dias após a drenagem		LATOS.	ARG. V. A.	ARG. V.	Média
1	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	1,5	1,7	2,1	1,8 a
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	1,2	2,4	2,2	1,9 a
	Média	1,4 B	2,0 A	2,1 A	
2	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	0,6	1,1	1,4	1,0 b
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	1,2	1,4	1,7	1,5 a
	Média	0,9 B	1,2 A	1,6 A	
3	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	0,5 Bb	0,5 Bb	1,7 Ab	0,9
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	1,7 Aa	1,7 Aa	1,4 Aa	1,6
	Média	1,1	1,1	1,5	
4	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	0,7 Ab	0,3 Ba	1,0 Aa	0,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	1,0 Ba	1,8 Aa	1,2 Ba	1,3
	Média	0,9	1,1	1,1	
5	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	0,7 Ab	0,7 Ab	0,8 Ab	0,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	1,1 Ba	2,3 Aa	1,3 Ba	1,6
	Média	0,9	1,5	1,1	
6	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	1,0 Aa	0,7 Ab	0,7 Aa	0,8
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	0,9 Ba	1,6 Aa	0,7 Ba	1,1
	Média	1,0	1,2	0,7	
7	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	0,7	0,6	0,8	0,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	0,7	0,7	0,5	0,7
	Média	0,7	0,7	0,7	
8	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	0,6	0,7	0,8	0,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	0,9	0,7	0,9	0,8
	Média	0,7	0,7	0,8	

Letras maiúsculas comparam resultados dos solos na linha e letras minúsculas comparam resultados entre as quantidades de resíduo nas colunas em cada dia

#### 4.2.3 Experimento 3 – período de realização de 20 a 28 de dezembro de 2008.

Os resultados da análise da variância para as perdas de água por evaporação acumuladas do experimento realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008 não indicaram interação significativa entre os fatores solos e resíduo em nenhum dia do período. Porém, a presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia na superfície dos solos proporcionou redução significativa nas perdas de água por evaporação acumuladas desde o primeiro até o último dia do experimento 3 Apêndice F (Figura 13). Não foram observadas diferenças significativas nas perdas de água por evaporação acumuladas entre os solos analisados.

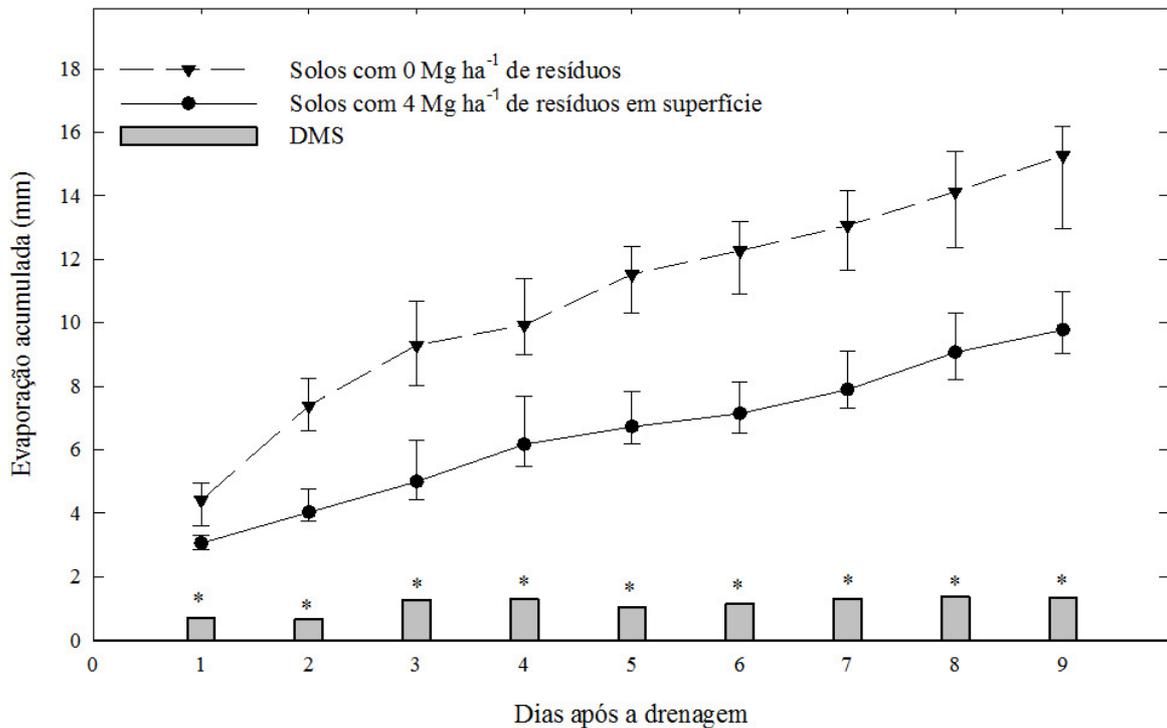


Figura 13 – Evaporação cumulada dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície e dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, durante o experimento 3 realizado de 20 a 28/12/2008. Santa Maria, RS

As perdas de água por evaporação acumuladas observadas entre os solos com as duas quantidades de resíduo apresentaram diferenças crescentes até o final do experimento 3. A perda de água acumulada até o terceiro dia, na média dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo, foi de 9,36 mm e, nos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia na superfície, foi de 5,36 mm.

Nos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo, o período de tempo necessário para que ocorresse uma perda de água de 9,26 mm foi de 8 dias (ET<sub>0</sub> acumulada de 50 mm).

No experimento 3, assim como nos experimentos 1 e 2, foi observada uma redução na evaporação pela presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia na superfície dos solos (Figura 13). A presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície reduziu em 28; 43; 43; 35; 38; 39; 36; 33 e 31% as perdas de água por evaporação acumuladas para os dias 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8 e 9 após o início da secagem do solo, respectivamente.

Os resultados da análise da variância para as perdas de água por evaporação diárias observados no experimento 3 indicaram interação significativa entre os fatores solos e resíduo para os dias 4 e 9 após a drenagem (Tabela 12).

Tabela 12 - Resultados do teste de comparação de médias para evaporação diária, entre os solos Latossolo, Argissolo Vermelho amarelo e Argissolo Vermelho e entre os dois níveis de cobertura de resíduos, referentes aos dias 4 e 9 após a drenagem.

Dias após a drenagem		LATOS.	ARG. V. A.	ARG. V.	Média
4	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	1,4 Aa	0,8 ABa	0,4 Bb	0,8
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	1,3 Aa	1,0 Aa	1,4 Aa	1,2
	Média	1,3	0,9	0,9	
9	4 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	1,2 Aa	0,4 Ba	0,5 Bb	0,7
	0 Mg ha <sup>-1</sup> resíduos	0,9 Ab	0,6 Aa	0,8 Aa	0,7
	Média	1,0	0,5	0,6	

Letras maiúsculas comparam resultados dos solos na linha e letras minúsculas comparam resultados entre as quantidades de resíduo nas colunas em cada dia

No quarto dia, as perdas de água por evaporação dos três solos mantidos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície foram similares. A interação entre os fatores solo e resíduo foi significativa e ocasionada pelas perdas de água por evaporação observadas no solo 3 (Argissolo Vermelho). A perda de água no solo 3 com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo (0,4mm) foi significativamente menor do que as perdas observadas no mesmo solo mantido com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície (1,4mm) e do que nos solos 1 e 2 com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo (1,4 e 0,8mm, respectivamente). Essa inversão nas perdas de água por evaporação entre solos com duas coberturas de resíduo foram observadas também por Dalmago et al.,

(2004). No estudo desses autores, a inversão na taxa de perda de água entre os solos com e sem resíduo se manteve até a entrada subsequente de água nos solos.

Os resultados do desdobramento da interação significativa nas perdas de água por evaporação entre os fatores solo e resíduos, observados no dia 9 após a drenagem, indicam que a interação foi causada pelas perdas de água por evaporação observada no solo 1 com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície (1,20mm). No solo 1 com resíduos de aveia em superfície, as perdas de água por evaporação foram significativamente maiores que aquelas dos demais solos com o mesmo nível de cobertura e também foram superiores às perdas observadas no solo 1 com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo (Tabela 12).

Como as perdas de água por evaporação são maiores nos primeiros dias após uma chuva ou irrigação, sendo esse o período em que a resíduo exerce maior influência, o efeito do resíduo na redução das perdas de água por evaporação dos solos é tanto maior quanto menor for o intervalo entre duas chuvas ou irrigações (Figura 14). Além disso, as perdas de água por evaporação são maiores em locais e climas mais úmidos, com maior frequência de precipitações.

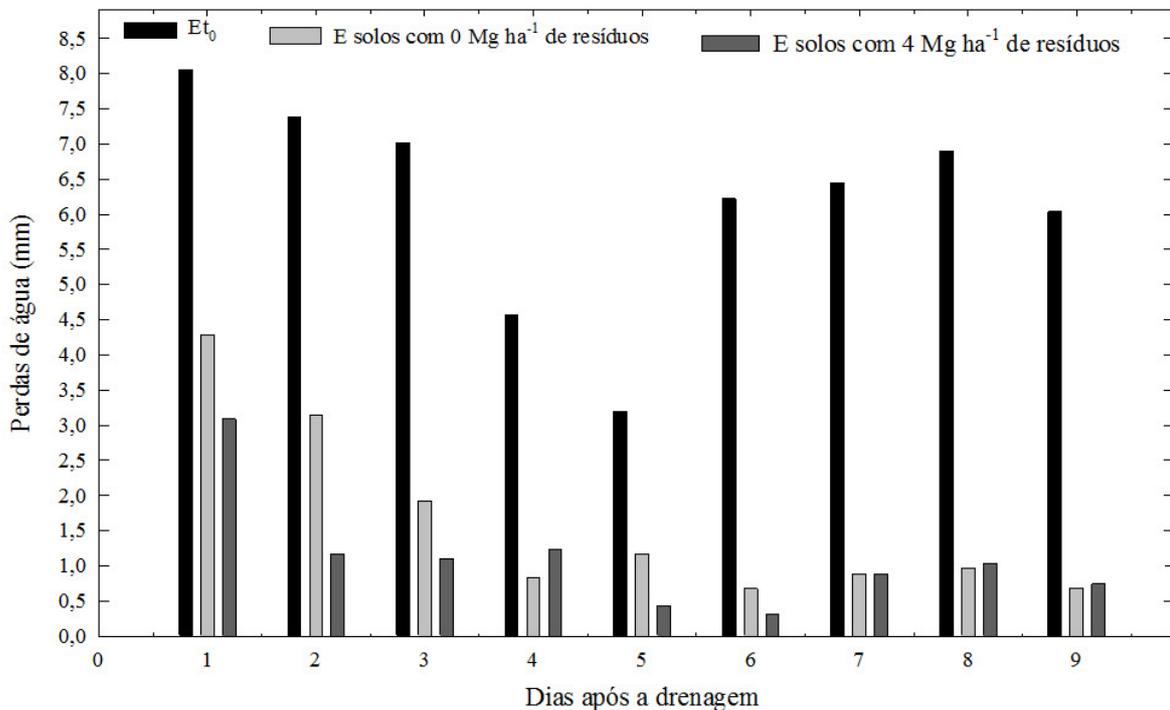


Figura 14 - Evapotranspiração de referência (Et<sub>0</sub>) e Evaporação (E) média dos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície e dos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo observados no experimento 3 realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008. Santa Maria, RS.

Em um experimento com solos areia franca e muito argiloso, Freitas et. al. (2006) fixaram a demanda evaporativa diária em 3; 5,2 e 7 mm e observaram efeito da resíduo na evaporação nos dois tipos de solo. No referido estudo, a presença de 3,5 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo em superfície proporcionou uma redução de 1,4; 2,4 e 3,2 mm dia<sup>-1</sup> para as demandas evaporativas da atmosfera de 3; 5,2 e 7 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente, durante os primeiros sete dias de observação. Outros pesquisadores (ANDRADE, 2008; SALDANHA, 2009; CHABAT, 2010; KNIES, 2010), trabalhando em condições de campo, observaram perdas de água por evaporação inferiores. Em um período de nove dias (ET<sub>0</sub> acumulada de 33 mm), Andrade (2008) observou perdas de água por evaporação de 12,5 e 10 mm na camada superficial do solo (10 cm) para solos sem e com 3 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície. Trabalhando em solo com características semelhantes, Saldanha (2008), em nove dias (ET<sub>0</sub> acumulada de 53 mm), observou uma redução nas perdas de água por evaporação de 20 para 16,8 mm na camada de 0 a 20 cm, comparando solo descoberto e solo com 3 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície.

Na região central do Uruguai, Chabat (2010) observou redução de 21,1 para 10,3 mm nas perdas de água por evaporação do solo com a utilização de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície nos primeiros 10 cm de solo, em um período equivalente à ET<sub>0</sub> de 40 mm. Knies (2010) observou redução inferior a 5 mm no conteúdo de água armazenado nos primeiros 10 cm de solo para as coberturas dos solos de 0, 3 e 6 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia, em um período de tempo equivalente a 55 mm de ET<sub>0</sub>. Esse autor atribui à reduzida perda de água observada à contribuição da água nas camadas inferiores do solo, uma vez que o nível freático permaneceu próximo à superfície durante o período de observação. Por outro lado, Dalmago et al. (2010) não observaram diferenças nas perdas de água por evaporação entre os sistemas convencional e plantio direto para períodos que variaram de 3 a 12 dias.

A comparação entre os sistemas plantio direto e cultivo convencional, no que se refere a perdas de água por evaporação, mesmo que apresentando resultados conflitantes, tem sido objeto de estudos (AASAE; TANAKA, 1987, DALMAGO et al., 2003; PHILIPS, 1984). Porém, para se caracterizar especificamente o efeito que a resíduo na superfície exerce sobre as perdas de água por evaporação do solo, a comparação entre o sistema PD e PC não é suficiente, visto que outros fatores, além da presença da resíduo na superfície, agem e interagem sobre as perdas de água por evaporação. Por exemplo, no plantio convencional, a quebra na continuidade dos poros, altera a capacidade de infiltração, armazenamento e transferência de água no interior do solo (SIDIRAS et al., 1983; GORDIYENKO; KOSTOGRYZ, 1990), o que não acontece no sistema PD.

No desenvolvimento dos três experimentos deste estudo, a superfície dos solos não foi mobilizada e, provavelmente, a continuidade dos poros foi mantida, tanto para os solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia em superfície, como para os solos mantidos com 0 Mg ha<sup>-1</sup>. Assim, em condições similares de manejo (não revolvimento e proteção da superfície contra o selamento superficial), foi observada relação entre as perdas de água por evaporação no solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia na superfície e naqueles com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo em três solos distintos quanto às características de cada um. Os resultados da relação direta entre as perdas de água por evaporação observadas nos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduo de aveia na superfície e com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos, ambos sem revolvimento superficial nos três ciclos de secagem, são apresentados na figura 15.

Para o solo 1, o efeito da resíduo na redução das perdas de água por evaporação foi de 24, 30 e 41% nos experimentos 1, 2 e 3, respectivamente. No solo 2 foi onde se observou maior efeito do resíduo na redução das perdas de água por evaporação para os três experimentos. Os valores dessa redução foram 39, 53 e 42% nas perdas de água por evaporação dos experimento 1, 2 e 3, respectivamente.

Nos três experimentos, o solo 3 foi aquele no qual se observou a menor influência dos resíduos em superfície sobre as perdas de água por evaporação, sendo que 25% das perdas de água por evaporação podem ser atribuídas à presença da resíduo e no experimento 2 (B) apenas 1% das diferenças observadas na evaporação entre os solos com os dois níveis de cobertura pode ser atribuído a presença dos 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície.

Mesmo nos experimentos 1 e 3, realizados em épocas de elevada demanda evaporativa da atmosfera, o efeito dos resíduos em superfície sobre as perdas de água por evaporação apresentou grande variação. Porém, na média dos três experimentos e solos, 31% da redução das perdas de água por evaporação pode ser atribuído à presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície.

Um único valor médio não parece ser suficiente para representar o efeito dos resíduos na redução das perdas de água por evaporação do solo. No caso deste estudo, a presença de resíduos influenciou a perda de água do solo, que depende de fatores externos, em especial, da densidade de fluxo de radiação solar incidente e da lâmina de água armazenada no solo no dia. Assim, quanto maior for a duração de um experimento ou um intervalo entre entradas de água no solo (chuva ou irrigação), menor será o efeito dos resíduos na redução das perdas de água por evaporação. Esse resultado pode ser comprovado em todos os solos e ciclos de secagem avaliados, evidenciando a importância que o conteúdo de água no solo, em um dado momento, exerce sobre as perdas de água por evaporação dos solos (Figuras 11 e 14).

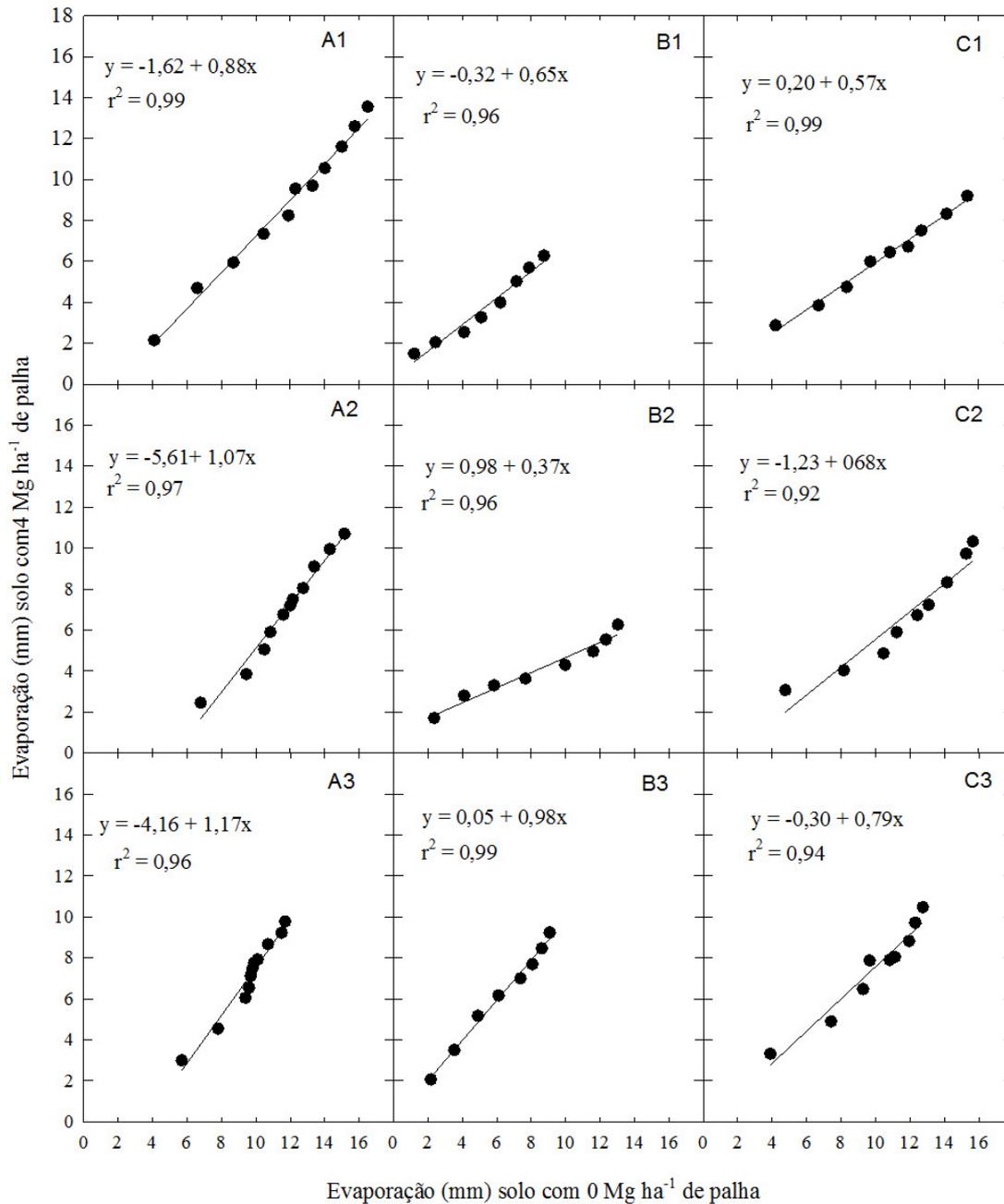


Figura 15 - Relação entre as perdas de água por evaporação dos solos (1, 2 e 3) com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície e solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em três experimentos (A, B e C). Santa Maria, RS. 2011. As letras A, B e C correspondem aos experimentos 1, 2 e 3, respectivamente. Os três solos estudados são representados pelos números 1, 2 e 3. Assim, A1 representa o efeito dos resíduos sobre as perdas de água por evaporação observadas no solo 1 durante o experimento 1 (A), e assim sucessivamente.

A maior evaporação nos solos é observada logo após uma irrigação ou chuva, confirmando que sistemas de manejo com maior frequência de aplicação de lâminas de irrigação propiciam maiores perdas de água por evaporação.

Em uma análise conjunta das perdas de água por evaporação ocorridas nos três experimentos, observa-se que os resíduos mantidos em superfície exercem influência sobre a evaporação da água dos solos, especialmente nos primeiros três dias após a drenagem. Após esse período, pode haver maior evaporação nos solos cobertos por resíduos, o que Dalmago (2004) caracteriza como inversão nas taxas de perda de água.

#### 4.3. Simulação das perdas de água por evaporação usando o modelo SIMDualKc

As variáveis meteorológicas utilizadas como parâmetros de entrada do modelo SIMDualKc foram temperatura máxima diária, velocidade do vento, temperatura do ponto de orvalho e  $E_t_0$  determinada pelo método de Penman-Monteith. Os parâmetros de solo determinados para os três solos são apresentados na tabela 13.

Tabela 13 - Parâmetros de solo utilizados nas estimativas das perdas de água dos solos, nos três experimentos utilizando o modelo SIMDualKc

Parâmetros	SOLO 1	SOLO 2	SOLO 3
Limite superior na camada 0-10 cm ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	0,39	0,37	0,32
Ponto de murcha na camada 0-10 cm ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	0,17	0,11	0,03
Profundidade da camada superficial do solo, $Z_e$ (m)	0,10	0,10	0,10
ATE (mm) Experimentos 1 e 3	30,5	31,5	30,5
ATE (mm) Experimento 2	20,3	20,9	20,3
APE (mm)	7,22	10,40	8,56
$f_w$	1,00	1,00	1,00

ATE (mm) = água totalmente evaporável na camada 0-10 cm; APE (mm) = Água prontamente evaporável na camada 0-10 cm;  $f_w$  = Fração de solo umedecida pela irrigação.

Nos três experimentos, a simulação da evaporação utilizando o modelo do SIMDualKc superestimou as perdas de água por evaporação observadas. Para o experimento 2, os valores gerados pela simulação apresentaram um ME de 1,83 e RMSE de 3,1. Esses resultados, mesmo que elevados, demonstram a eficiência do modelo na previsão das perdas de água por

evaporação dos solos. Nos experimentos 1 e 3, o ME e a RMSE calculados entre as perdas de água por evaporação observadas e simuladas foram elevados, indicando que as simulações proporcionaram superestimativas das perdas de água por evaporação (Figura 16).

A simulação das perdas de água por evaporação utilizando o modelo SIMDualKc proporcionou indicadores que superestimaram os valores de perdas de água por evaporação medidos nos dois níveis de cobertura do solo. Essa superestimativa foi verificada mesmo com a utilização do fator de correção (0,7) no cálculo do  $K_e$  nos solos com  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos em superfície (Figura 17).

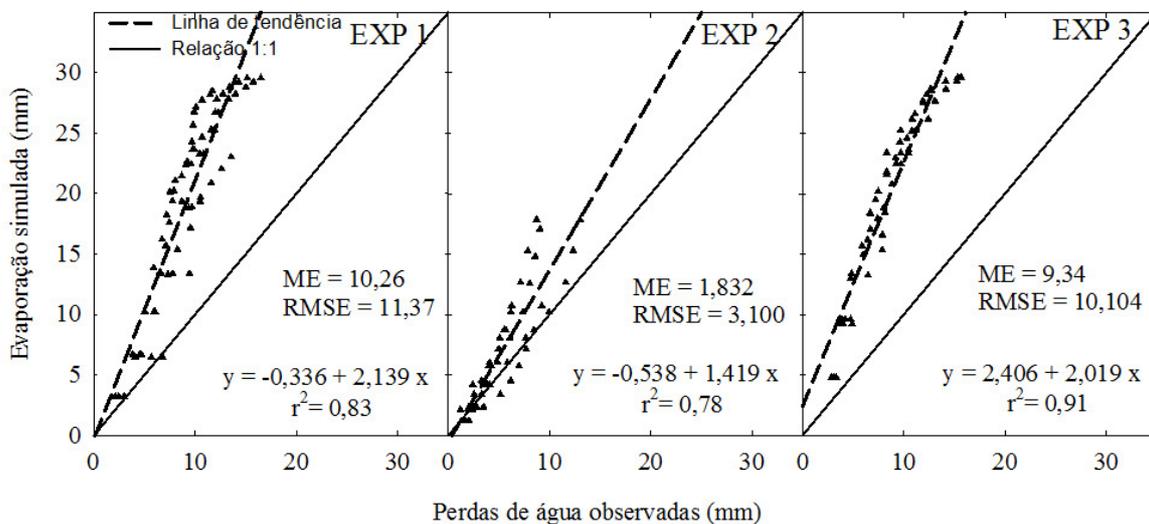


Figura 16 - Relação entre evaporação estimada e perdas de água por evaporação médias observadas nos experimentos 1, 2 e 3 (EXP 1, EXP 2 e EXP 3), e resultados de erro médio (ME) e da raiz quadrada do erro médio ao quadrado (RMSE).

Os elevados valores de ME e RMSE observados na relação entre as perdas de água por evaporação observadas e estimadas, especialmente nos experimentos 1 e 3, demonstram a fragilidade do modelo em estimar as perdas de água por evaporação em períodos com  $ET_0$  maior que  $5 \text{ mm d}^{-1}$ . No experimento 2, a análise das simulações das perdas de água por evaporação geradas pelo modelo proporcionou valores de ME e RMSE inferiores aos observados nos experimentos 1 e 3, indicando que, para a condição de  $ET_0$  menor que  $5 \text{ mm d}^{-1}$ , o modelo é eficiente em prever os resultados de perdas de água por evaporação dos solos.

Nos três experimentos, a simulação das perdas de água por evaporação nos solos com  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  foi menos eficiente que a simulação para os solos que apresentavam  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de

resíduos em superfície. Os valores de evaporação estimados pelo modelo foram superiores aos valores medidos a campo desde o início das observações nos experimentos 1 e 3. Nessa fase, os solos apresentavam umidade próxima ao limite superior de disponibilidade hídrica, o que deveria proporcionar perdas de água por evaporação na taxa potencial. Mesmo assim, as perdas de água por evaporação dos solos não se processaram na taxa potencial, indicando que um coeficiente de redução deveria ser introduzido no modelo.

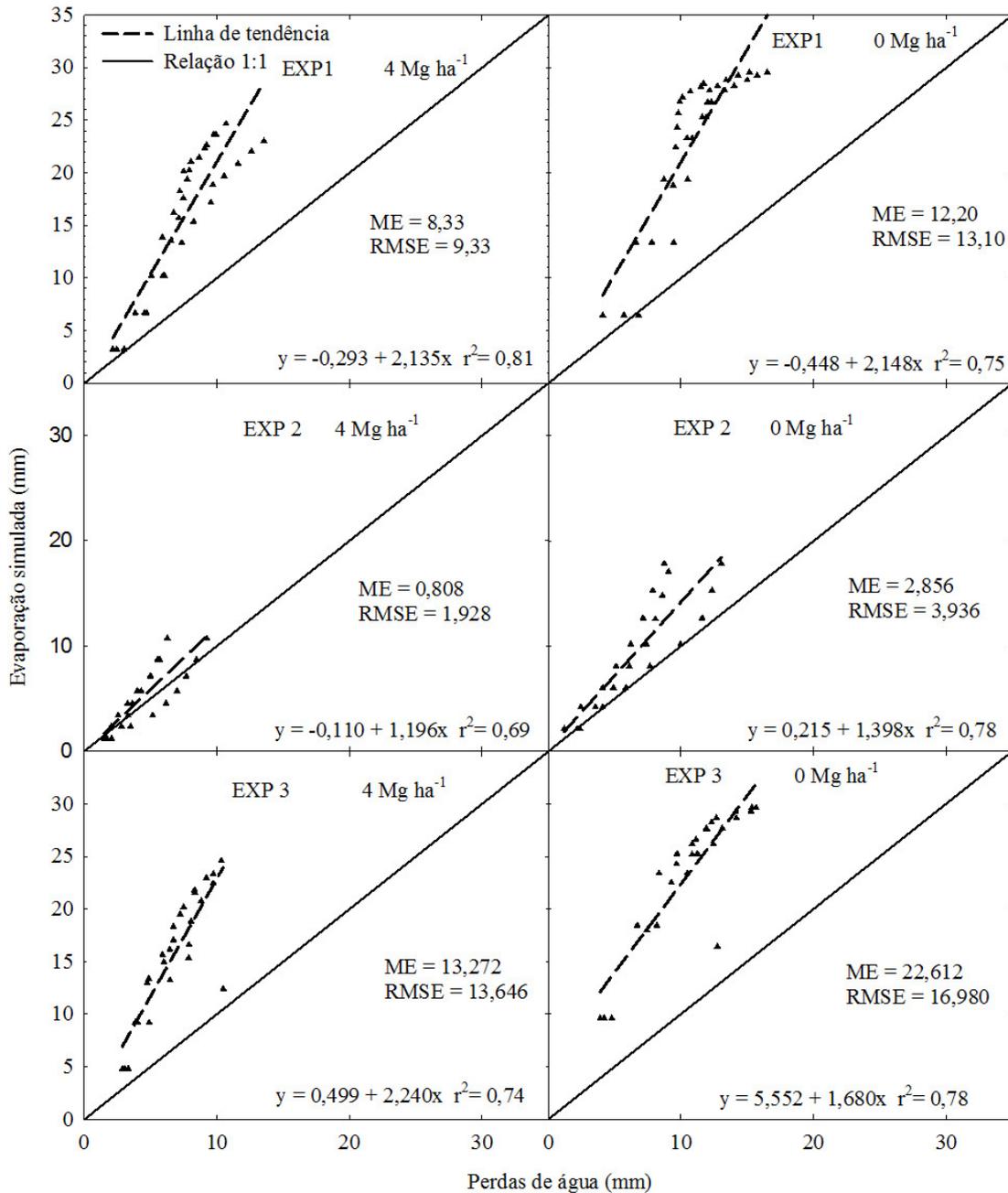


Figura 17 - Relação entre a evaporação estimada e as perdas de água por evaporação observadas na média dos solos com 0 e 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície, nos experimentos 1, 2 e 3 (EXP 1, EXP 2 e EXP 3) e resultados de erro médio (ME) e da raiz do quadrado médio do erro (RMSE).

Teoricamente, enquanto as perdas de água por evaporação ocorrem na faixa da lâmina de água prontamente evaporável (APE), as perdas de água por evaporação ocorrem na taxa potencial. Porém, isso somente foi observado no experimento 2, realizado num período com valores de  $ET_0$  média diária próximos a 2mm por dia. Nos demais experimentos, realizados em períodos com maior  $ET_0$ , pode-se notar que a perda de água não ocorre na taxa potencial. Isso evidencia que um fator de correção no Kr deve ser implementado no modelo, ainda que as perdas de água por evaporação ocorram na faixa da água prontamente evaporável.

Foram testados os coeficientes 0,25; 0,5; 0,6 e 0,75 no cálculo do Kr. Além disso, foram verificados os resultados das simulações em função dos testes ME e RMSE, estes, por sua vez, originados da comparação entre os resultados de perda de água estimados e observados. Os resultados dos testes para o Experimento 1 são apresentados na tabela 16.

Tabela 14 - Resultados dos testes Erro Médio (ME) e Raiz do quadrado médio do erro (RMSE) obtidos na comparação entre as perdas de água por evaporação observadas e estimadas utilizando o modelo SIMDualKc original e com a inclusão dos coeficientes 0,25; 0,5; 0,6 e 0,75 no cálculo do Kr

EXPERIMENTO 1	0,25		0,5		0,6		0,75		SIMDualKc	
	ME	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE
SOLO 1 com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície	-4,50	4,87	-0,28	0,64	1,41	1,53	3,94	4,15	6,78	7,39
SOLO 1 com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos	-6,46	6,80	-1,23	1,40	0,86	1,02	4,00	4,20	11,79	12,35
SOLO 2 com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície	-2,65	2,81	1,66	1,88	3,39	3,68	5,97	6,41	9,44	10,44
SOLO 2 com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos	-6,49	6,54	-1,27	1,78	0,83	2,04	3,96	4,86	11,75	12,82
SOLO 3 com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície	-2,85	2,89	1,40	1,82	3,10	3,57	5,65	6,25	8,75	9,86
SOLO 3 com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos	-4,49	4,51	0,65	1,81	2,70	3,55	5,79	6,63	13,05	14,07
SOLO 1	-2,87	3,58	-0,76	1,09	0,09	1,47	1,36	3,10	9,29	10,17
SOLO 2	-1,96	2,35	0,20	1,83	1,06	2,89	2,35	4,71	10,60	11,69
SOLO 3	-1,10	2,41	1,02	1,82	1,88	2,83	3,15	4,60	10,90	12,15
Média dos solos com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície	-3,33	3,65	0,93	1,55	2,63	3,09	5,19	5,70	8,33	9,33
Média dos solos com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos	-5,82	6,04	-0,62	1,68	1,46	2,44	4,58	5,33	12,20	13,10
Média geral	-4,57	4,99	0,16	1,62	2,05	2,78	4,89	5,52	10,26	11,37

A alteração no cálculo do Kr, promovida pela utilização dos coeficientes, produziu estimativas mais precisas dos valores de perda de água observados. Entre os valores de

coeficiente testados, a utilização do coeficiente 0,5 no cálculo do Kr foi o mais eficiente em prever os resultados de perda de água observados no experimento 1.

A utilização do referido coeficiente proporcionou estimativas que superestimaram os valores observados nos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos (ME = 0,93) e subestimaram os valores observados nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos (ME = -0,62). Os valores estimados utilizando-se o programa SIMDualKc com a alteração no cálculo do Kr (inclusão do coeficiente 0,5) se aproximaram da linha 1:1, indicando que o programa foi eficiente em prever as perdas de água por evaporação observadas.

Do primeiro ao quarto dia, não foram observadas diferenças nas perdas de água por evaporação estimadas, enquanto que entre as perdas de água por evaporação observadas houve diferença significativa para os três solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície apenas para o primeiro dia. A partir desse dia, foram observadas diferenças nas perdas de água por evaporação entre os solos com os dois níveis de cobertura. Essas diferenças também foram observadas nas estimativas geradas pelo modelo (Figura 18).

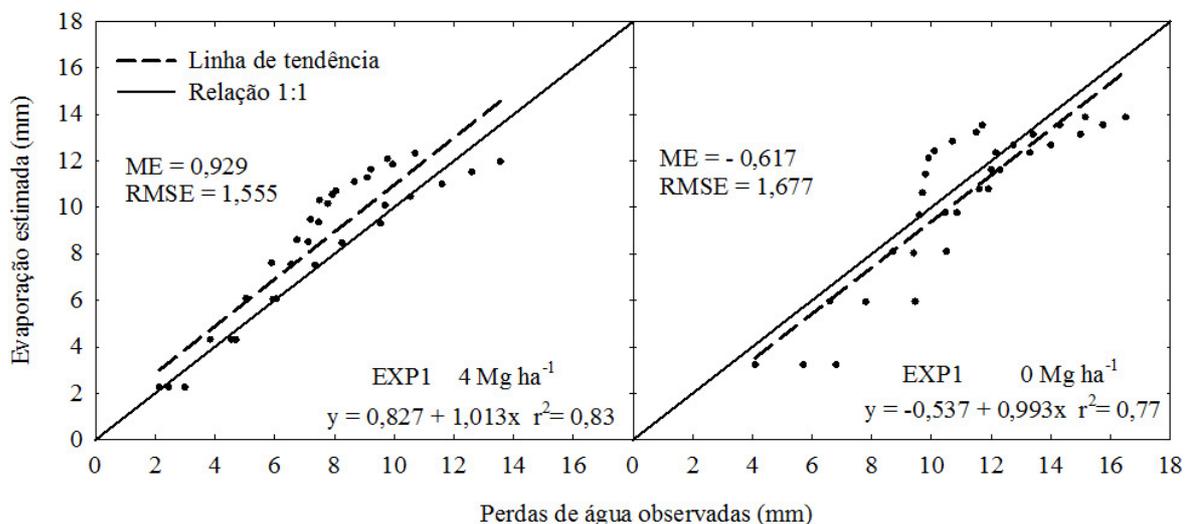


Figura 18 - Relação entre a evaporação estimada (Kr modificado) e as perdas de água por evaporação observadas nos solos com 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia e nos solos com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos em superfície durante o Experimento 1.

A determinação do valor do coeficiente de redução (R) mais eficaz em reduzir o RMSE foi realizada pela análise de regressão entre os valores de RMSE, calculados em função dos valores adotados (0,25; 0,5; 0,6 e 0,75) para o coeficiente R no cálculo do Kr. Da

relação entre os valores de RMSE obtidos e os coeficientes R, que lhes deram origem, foi ajustada uma equação quadrática. A partir dela, foi determinado o ponto de mínima da curva, correspondente ao menor RMSE, no qual os valores estimados são mais representativos dos valores observados. Para os resultados do experimento 1, recomenda-se o valor 0,49 como o valor do coeficiente R, que resulta em menor RMSE (1,8631) (Figura 19).

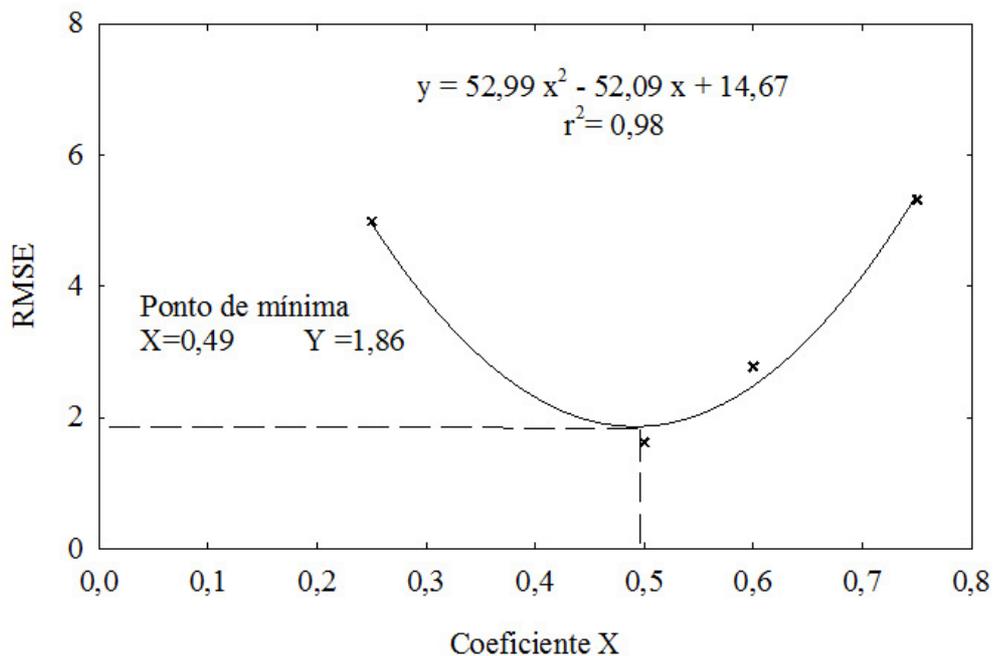


Figura 19 - Regressão entre os valores do coeficiente X e os correspondentes RMSE para perda de água dos solos, estimadas pelo programa SIMDualKc com as alterações no Kr.

O modelo original do SIMDualKc aplicado ao experimento 2 apresentou resultados que superestimaram os valores observados de perda de água. As estimativas de perda de água do modelo foram mais eficientes em prever as perdas de água por evaporação para o experimento 2, quando comparados aos do experimento 1.

Como a  $ET_0$  média observada no experimento 2 foi menor que  $5 \text{ mm dia}^{-1}$ , o cálculo da ATE foi determinado pela equação 2. Essa metodologia adotada para o experimento 2 confere valores de ATE inferiores aos obtidos para períodos com  $ET_0$  maior que  $5 \text{ mm dia}^{-1}$ . Ao se utilizar a equação 2, os valores estimados são mais próximos aos observados no experimento de campo.

As alterações propostas no Kr não proporcionaram maior acurácia nas estimativas de evaporação para o período de realização do experimento 2. Enquanto o modelo original

proporcionou super estimativas, o modelo com as alterações subestimou as perdas de água por evaporação nos três solos com os dois níveis de cobertura (tabela 17).

No experimento 2, a proposta de alterar o valor do Kr (coeficiente 0,75) proporcionou melhor estimativa de perdas de água por evaporação. As perdas de água por evaporação simuladas subestimaram as perdas observadas nos dois níveis de cobertura em todo o período de condução do experimento 2 (Figura 20).

Tabela 15 - Resultados dos testes Erro Médio (ME) e Raiz do quadrado médio do erro (RMSE) obtidos na comparação entre as perdas de água por evaporação observadas e estimadas utilizando o modelo SIMDualKc original e com a inclusão dos coeficientes 0,25; 0,5; 0,6 e 0,75 no cálculo do Kr, durante o Experimento 2.

EXPERIMENTO 2	0,25		0,5		0,6		0,75		SIMDualKc	
	ME	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE
SOLO 1 com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície	-2,54	2,74	-1,28	1,35	-0,77	0,80	-0,02	0,26	1,68	2,21
SOLO 1 com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos	-3,65	4,02	-1,95	2,16	-1,26	1,42	-0,25	0,40	4,21	5,02
SOLO 2 com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície	-2,79	2,90	-1,52	1,54	-1,01	1,02	-0,25	0,54	1,42	2,19
SOLO 2 com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos	-6,66	7,29	-4,97	5,43	-4,28	4,68	-3,27	3,58	1,19	2,04
SOLO 3 com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície	-4,90	5,19	-3,64	3,81	-3,13	3,26	-2,37	2,45	-0,68	1,22
SOLO 3 com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos	-4,54	4,81	-2,85	2,98	-2,17	2,26	-1,17	1,24	3,17	4,14
SOLO 1	-3,09	3,44	-1,61	1,80	-1,02	1,15	-0,13	0,34	2,95	3,88
SOLO 2	-4,73	5,55	-3,24	3,99	-2,64	3,39	-1,76	2,56	1,31	2,12
SOLO 3	-4,72	5,00	-3,24	3,42	-2,65	2,80	-1,77	1,94	1,24	3,05
Média dos solos com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos na superfície	-2,48	3,22	-1,56	2,13	-1,19	1,73	-0,64	1,24	0,81	1,93
Média dos solos com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos	-3,60	4,74	-2,37	3,23	-1,87	2,65	-1,14	1,88	2,86	3,94
Média geral	-4,18	4,75	-2,70	3,21	-2,10	2,62	-1,22	1,87	1,83	3,10

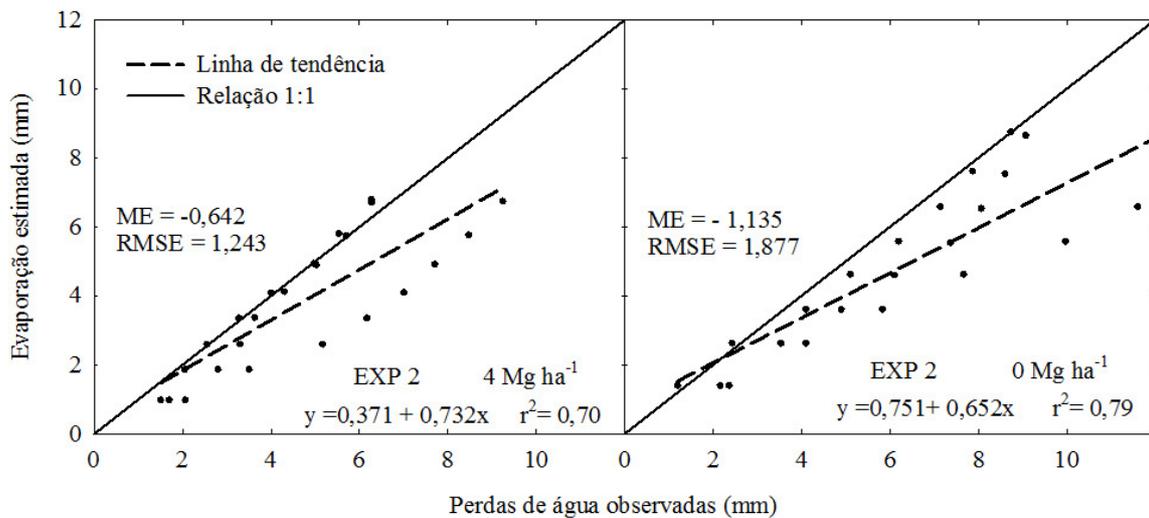


Figura 20 - Relação entre a evaporação estimada (coeficiente 0,75 no cálculo do  $K_r$ ) e as perdas de água por evaporação observadas nos solos com  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos de aveia em superfície e nos solos com  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos observadas durante o Experimento 1.

As perdas de água por evaporação durante o experimento 2 foram menores daquelas do experimento 1. Houve pequena diferença entre os valores observados e estimados de perdas de água por evaporação, tanto pelo modelo SIMDualKc, quanto pelo modelo com as alterações propostas.

As estimativas geradas pela simulação utilizando o modelo SIMDualKc superestimaram as perdas de água por evaporação observadas durante o experimento 3. Foram testadas alterações no cálculo do  $K_r$  utilizando os mesmos coeficientes testados nos experimentos 1 e 2. Assim como no experimento 1, os resultados dos testes ME e RMSE indicaram o valor 0,5 como sendo aquele que resulta em valores simulados mais próximos aos observados (Tabela 18).

A utilização do valor 0,5 como coeficiente redutor do  $K_r$  proporcionou estimativas similares aos valores de perdas de água por evaporação observados no experimento 3. A acurácia nas estimativas foi observada tanto nos solos com  $0 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduo, como nos solos com  $4 \text{ Mg ha}^{-1}$  de resíduos de aveia em superfície (Figura 21).

Tabela 16 - Resultados dos testes Erro Médio (ME) e Raiz do quadrado médio do erro (RMSE) obtidos na comparação entre as perdas de água por evaporação observadas e estimadas utilizando o modelo SIMDualKc original e com a inclusão dos coeficientes 0,25; 0,5; 0,6 e 0,75 no cálculo do Kr, durante o Experimento 3.

EXPERIMENTO 3	0,25		0,5		0,6		0,75		SIMDualkc	
	ME	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE	ME	RMSE
SOLO 1 com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície	-6,08	6,43	2,49	2,62	-0,01	0,44	2,60	2,70	9,53	10,24
SOLO 1 com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos	-0,78	1,06	0,39	0,94	6,79	6,96	10,03	10,30	13,81	14,18
SOLO 2 com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície	-8,16	8,43	0,37	0,60	-3,22	3,26	-1,10	1,25	9,89	10,65
SOLO 2 com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos	-1,29	1,72	-0,89	1,06	6,28	6,43	9,52	9,76	12,54	12,89
SOLO 3 com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície	-6,41	6,58	-0,51	0,69	-1,51	1,67	0,59	1,37	8,60	9,39
SOLO 3 com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos	-2,19	2,35	0,72	0,76	5,25	5,38	8,44	8,66	13,47	13,84
SOLO 1	-3,43	4,60	1,44	1,97	3,39	4,93	6,31	7,53	11,67	12,36
SOLO 2	-4,73	6,08	-0,26	0,86	1,53	5,10	4,21	6,96	11,21	11,82
SOLO 3	-4,30	4,94	0,11	0,72	1,87	3,98	4,51	6,20	11,04	11,83
SOLOS com 4 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos de aveia na superfície	-6,89	7,20	0,79	1,60	-1,58	2,13	0,69	1,89	9,34	10,10
SOLOS com 0 Mg ha <sup>-1</sup> de resíduos	-1,42	1,79	0,07	0,93	6,11	6,29	9,33	9,60	13,27	13,65
Média Geral	-4,15	5,25	0,43	1,31	2,26	4,70	5,01	6,92	22,61	16,98

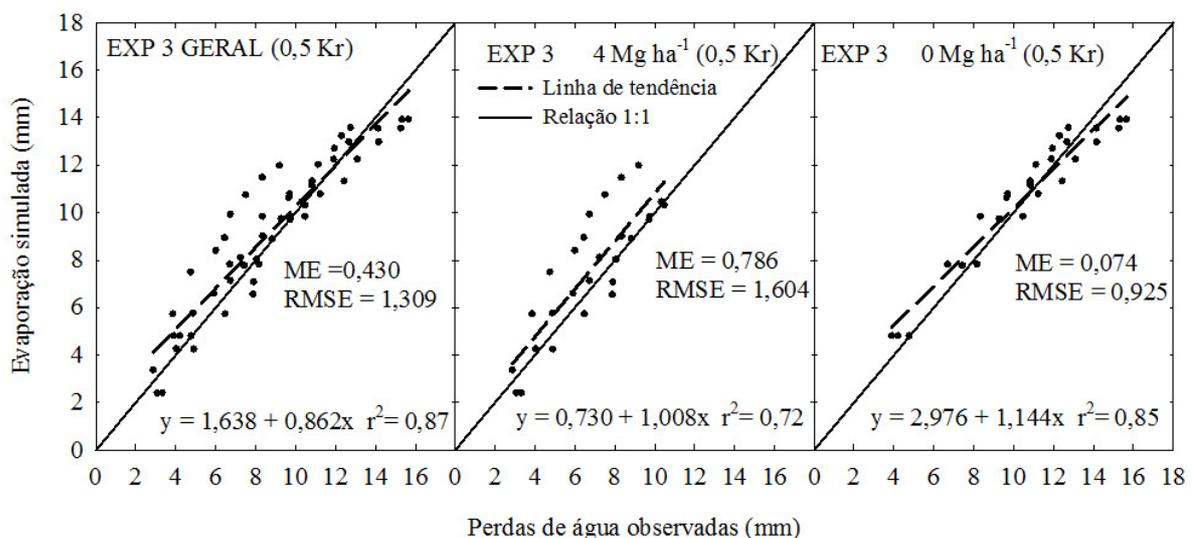


Figura 21 - Relação entre as perdas de água por evaporação observadas e a evaporação estimada pelo programa SIMDualKc com a inclusão do coeficiente 0,5 no cálculo do Kr.

## 5 CONCLUSÕES

A presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de aveia distribuída sobre a superfície promoveu redução na temperatura máxima e na amplitude térmica diárias observadas nos solos: Latossolo Vermelho distroférico típico, de textura muito argilosa (Solo 1), Argissolo vermelho-amarelo alumínico típico, de textura franco-argilo-siltosa (Solo 2) e Argissolo vermelho distroférico arênico, de textura franco-arenosa (Solo 3). Essa redução foi mais efetiva à medida que a superfície dos solos perdia mais água por evaporação.

Em períodos com evapotranspiração de referência maiores que 5mm dia<sup>-1</sup>, os três solos apresentam temperatura similar e, quando a evapotranspiração de referência foi de aproximadamente 2 mm dia<sup>-1</sup>, a temperatura máxima e a amplitude térmica diárias do Argissolo vermelho distroférico arênico foram inferiores às dos Latossolo Vermelho distroférico típico e Argissolo vermelho-amarelo alumínico típico.

A presença de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de aveia distribuída sobre a superfície dos solos reduz as perdas de água por evaporação. A redução na evaporação apresentada pelos solos cobertos com de 4 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos de aveia em superfície sobre aqueles com 0 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos se estabeleceu enquanto as perdas por evaporação se processaram com a água facilmente evaporável (fase 1 da evaporação).

O modelo SIMDualKc com pequenos ajustes no cálculo do Kr, foi eficiente para prever as perdas de água por evaporação diretamente da superfície do solo em períodos sem crescimento de plantas.

## REFERÊNCIAS

AASAE, J. K.; TANAKA, D. L. Soil water evaporation comparisons among tillage practices in the northern great plains. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 51, n.2, p. 436-440, 1987.

AL-KHAFRAF, S.; WIERENGA, P. J.; WILLIAMS, B. L. Evaporative flux from irrigated cotton as related to leaf area index, soil water and evaporative demand. *Agronomy Journal*, Madison, v. 70, p. 912-917, 1978.

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., M., RAES, SMITH, D. Evapotranspiración del cultivo: guías para determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje n. 56. Roma: Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, 2006.

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, p. 2-13, 2005.

ANDRADE, J. G. de. Perdas de água por evaporação de um solo cultivado com milho nos sistemas de plantio direto e convencional. 2008. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um Latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 337-345, 2004.

AYDIN, M.; YANG, S. L.; KURT, N.; YANO, T. Test of a simple model for estimating evaporation from bare soils in different environments. *Ecological Modelling*, v. 182, p. 91-105, 2005.

BEUTLER, A.N. et al. Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 26, p. 829-834, 2002.

BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R. Modelos de ajuste para médias de temperatura do solo, em diferentes profundidades. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 95-99, 1993.

BOND, J. J.; WILLIS, W. O. Soil water evaporation: first stage drying as influenced by surface residue and evaporation potential. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 34, p. 924-928, 1970.

- BONSU, M.** Soil water management implications during the constant rate and the falling rate stages of soil evaporation. *Agricultural Water Management*, v. 33, p. 87–97, 1997.
- BRADY, N. C.** *Natureza e propriedades dos solos*. 7. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878p.
- 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.
- BRASIL.** Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul. 1st. Recife, PE, Brasil, Ministério da Agricultura - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS), 1973. 431p.
- CAMARGO, L. A.** Mineralogia da argila e atributos físicos de um argissolo em curvaturas de relevo. 2009. 111 P. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, 2009
- CANTÓN, Y.; SOLÉ-BENET, A.; DOMINGO, F.** Temporal and spatial patterns of soil moisture in semiarid badlands of SE Spain. *Journal of Hydrology*, n. 285, p. 199-214, 2004.
- CHABAT, M. M.** Influência dos resíduos vegetais na superfície do solo na dinâmica da evaporação da água e temperatura do solo. 2010. 92p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- CHEN, S.Y. et al.** Effects of straw mulching on soil temperature, evaporation and yield of winter wheat: field experiments on the North China Plain. *Annals of Applied Biology*, v.150, p.261-268, 2007.
- CHRISTOFIDIS, D.** *Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil*. Brasília-DF: UnB, 2006.
- DALMAGO, G. A.** Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional. 2004. 245 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- DALMAGO, G. A. et al.** Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de semeadura direta e convencional de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13, 2003, Santa Maria. Anais... Santa Maria: SBA/UFMS/UNIFRA, 2003, v.1, 2003. p. 295-296. 1 CD-ROM.

**DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; KRÜGER, C.A.M.B.; BERGONCI, J. I.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M.** Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e convencional. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 45, n. 8, p. 780-790, 2010.

**DALMOLIN, R.S.D. et al** Principais solos do Planalto do Rio Grande do Sul: guia de excursão. 2 ed. Santa Maria: Departamento de Solos, UFSM, 2006. 48p.

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

**DERPESCH, R.; ROTH, C. H.; SIDIRAS, N.; KÖPKE, U.** Controle da erosão no Paraná. In: *Brasil: Sistemas de cobertura de solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*. IAPAR-GTZ, 1991. 268 p.

**DERPESCH, R.; SIDIRAS, N.; HEINZMANN, F. X.** Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 20, p. 761-773, 1985.

**ELIAS, E. A.** Modelagem analítica do perfil de temperatura no solo. 2004. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

**EMBRAPA.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

**EMBRAPA.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.

**EMBRAPA-EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.** Centro Nacional de PESQUISA DE SOJA - CNPSO. Exigências Climáticas para a Cultura da Soja. Disponível em: [www.cnpso.embrapa.br/retec2001/br/eclimaticas](http://www.cnpso.embrapa.br/retec2001/br/eclimaticas). Acesso em: 12 de jul. 2008.

**EMERSON, W.W.; McGARRY, D.** Organic carbon and soil porosity. *Australian Journal of Soil Research*, Melbourne, v. 41, p. 107-118, 2003.

**FAGERIA, N.K.** Maximização de eficiência de produção das culturas. In: **FAGERIA, N.K.; STONE, L.F.; SANTOS, A.B. dos (Ed.).** Comunicação para Transferência de Tecnologia, Brasília: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 294 p.

**FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA.** Evolução da Área de Plantio Direto no Brasil por Décadas (2002-2006). Disponível em: <<http://www.febrapdp.org.br/port/plantiodireto.html>>. Acesso em: 25 nov. 2010.

**FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS M. L. G.; TOSTES, R.** Propriedades físicas da matéria orgânica de um latossolo vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. *Bioscience Journal*, v. 24, n. 3, p 24-30, 2008.

**FIORIN, J. E., REINERT, D. J., ALBUQUERQUE, J. A.** Armazenamento de água no solo e crescimento e produção do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 21, p. 249-255, 1992.

**FLERCHINGER, G. N., SAUERB, T. J., AIKENC, R. A.** Effects of crop residue cover and architecture on heat and water transfer at the soil surface. *Geoderma*, v. 116, p. 217–233, 2003.

**FORSYTHE, W.** Física de Suelos. São José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1972. 212 p.

**FREITAS, P. S. L. Mantovani, E. C.; Sedyama G. C.; Costa, L. C.** Influência 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.

**FREITAS, P. S. MANTOVANI, L.; E. C., SEDIYAMA, G. C.; COSTA, L. C.** Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 8, n. 1, p. 85-91, 2004.

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

**GARDNER, W.R.** Dynamic aspects of soil water availability to plants. *Annual Review of Plant Physiology*. v.16, p.323-342, 1965.

**GASPARIN, E.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E.** Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 27, p. 107-115, 2005.

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

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

**HILLEL, D. Environmental soil physics. London: Academic Press, 1998.**

**HILLEL, D. Fundamentals of Soil Physics. New York: Academic Press, 1980. 413 p.**

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

**IFTIKHAR, F.; ALI, S. Impact of different types of mulches on soil moisture. Sarhad J. Agric. V.20, p. 571-573, No.4, 2004.**

**JACKSON, R.D.; PINTER JR, P.J.; IDSO, S.B. Wheat spectral reflectance: interactions between crop configuration, sun elevation and, azimuth angle. APPLIED OPTICS, Washington, v.18 p.3730-3731, 1979.**

**JENSEN, M.; BURMAN, R. D.; ALLEN, R. G. Evapotranspiration and irrigation water requirements. Manual of Practice No. 70, New York: ASCE, 1990, 360 p.**

**JOHN, L. ONU quer mais eficiência na irrigação. 2003 Disponível em: <[http://www.estadao.com.br/ext/ciencia/agua/negociacoesde2003\\_7.htm](http://www.estadao.com.br/ext/ciencia/agua/negociacoesde2003_7.htm)>. Acesso em: 07 jan. 2008.**

**JOHNSON, M. D. & LOWERY, B. Effect of three conservation tillage practices on soil temperature and thermal properties. Soil Science Society of America Journal, v. 49, p. 1547-1552, 1985.**

**KIEHL, E.J. Manual de edafologia, relações solo-planta. São Paulo, Editora Ceres, 1979. 263p.**

**KNIES, A. E. Temperatura e umidade de um solo franco arenoso cultivado com milho. 2010. 104p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.**

**LAL, R. Effect of constant and fluctuating soil temperature on the growth, development and nutrient uptake of maize seeding. Plant Soil, Amsterdam, v. 40, p. 589-606, 1974.**

**LASCANO, R. J.; BAUMHARDT, R. L.** Effects of crop residue on soil and plant water evaporation in dryland cotton system. *Theoretical and Applied Climatology*, Vienna, v. 54, p. 69-84, 1996.

**LASCANO, R. J.; VAN BAVEL, C. H. M.; HATFILED, J. L.; UPCHURCH, D. R.** Energy and water balance of a sparse crop: simulated and measured soil crop evaporation. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 51, p. 1113-1121, 1987.

**LIBARDI, P.L.** Dinâmica da água no solo. Piracicaba: P.L. Libardi, 497p. cap.7: Movimento da água no solo, 1995.

**LIU, C.; ZHANG X.; ZHANG, Y.** Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 111, p. 109–120, 2002.

**MAIA, C. E., MORAIS, E. R. C. de, MEDEIROS, J. F de.** Capacidade de campo, ponto de murcha permanente e água disponível para as plantas em função de doses de vermicomposto. *Caatinga*, Mossoró, v. 18, n. 3, p. 195-199, jul./set. 2005. Disponível em: <<http://www.ufersa.edu.br/caatinga/artigos/Vol18n3a05art10.pdf>>. Acesso em: 18 jan. 2008.

**MAROTE, C. G. B.; VIDOR, C.; MENDES, N. G.** Alterações na temperatura do solo pela cobertura morta e irrigação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 4, p. 81-84, 1990.

**MASON, B.** Princípios de geoquímica: Editora da USP, São Paulo, 1971.

**MEDEIROS, J. D.; CLARKE, J. A. G.** Variabilidade espacial do conteúdo de água no solo numa pequena bacia rural: Análise geoestatística. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 12, n. 1, p. 43-52, 2007.

**MELO, G.W; MEURER, E.J;. PINTO L.F.S.** Fontes de potássio em solos distroféricos caulínicos originados de basalto no Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:597-603, 2004.

**MICHELON, C.R.** Balanço químico em seis conjuntos solo-saprolito do Rio Grande do Sul. 2006. 68 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

**MICHELON, C.J.** Pedofunções para retenção de água de solos do Rio Grande do Sul irrigados por aspersão. 2010. 109 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MIRANDA, F. R. de; OLIVEIRA, F. N. S.; ROSA, M. de F.; LIMA, R. N. Efeito da cobertura morta com a fibra da casca de coco sobre a temperatura do solo. *Ciência Agrônômica*, v. 35, p. 335-339, 2004.

MOITRA, R.; GHOSH, D.; SARKAR, S. Water use pattern and productivity of rainfed yellow Sarson (*Brassica rapa* L. var. glauca) in relation to tillage and mulching. *Soil & Tillage Research*, v. 38, p. 153-160, 1996.

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

MORENO, J.A. Clima do Rio Grande do Sul. Seção de Geografia. Secretaria da Agricultura. Porto Alegre, 1961. 42p

MOTA, F. S. Meteorologia agrícola. 6. ed. São Paulo: Nobel, 1983.

OLIVEIRA, M. L. et al. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 4, p. 535-539, 2005.

OLIVEIRA, Z.B. Perdas de água e variações na temperatura de um Argissolo Vermelho em função de diferentes quantidades de resíduos vegetais na superfície e espaçamentos entre linhas do feijoeiro. 2011. 120p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2011.

PAN, Y. X.; WANG, X. P.; JIA, R. L.; CHEN, Y. W.; HE, M. Z. Spatial variability of surface soil moisture content in a re-vegetated desert area in Shapotou, Northern China. *Journal of Arid Environments*, v. 72, p. 1675-1683, 2008.

PEREIRA, L.S., 2004. Necessidades de Água e Métodos de Rega. Publ. Europa-América, Lisboa, 313 pp.

PEREIRA, L. S. Necessidades de água em regadio. In: TALLER E MINI-CURSO SOBRE TÉCNICAS DE RIEGO Y FERTIRRIEGO. Herramientas Computacionales para Diseño y Manejo, Cuenca, Ecuador: CYTED y Universidad de Cuenca, 24-27 de Julho de 2007.

PETRY, M.T. Interação solo-planta e disponibilidade de água no solo às plantas de sorgo e soja. 2000. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000

**PEZZOPANE, J. E. M.; CUNHA, G. M.; ARNSHOLZ, E.; COSTALONGA, M.** Temperatura do solo em função da cobertura morta por palha de café. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 4, n. 2, p. 7-10, 1996.

**PHILLIPS, R. E.** Soil moisture. In **PHILLIPS, R. E.; PHILIPS, S. H.** No-Tillage Agriculture: principals and practices. New York: Van Nostrand Reinhold Company, p. 67-86. 1984.

**PREVEDELLO, C. L.** Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba: Salesward-Discovery, 1996. 446 p.

**RAWLS, W. J., PACHEPSKY, Y. A.** Soil consistence and structure as predictors of water retention. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 66, n. 4. p. 1115-1126, 2002.

**REICHARDT, K.** A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1990.

**REICHARDT, K.** Estudo do processo da evaporação da água do solo. Piracicaba: ESALQ/USP, 1968, 95p.

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

**REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R.** Propriedades físicas de solos em sistema de plantio direto irrigado. In: **CARLESSO, R.; PETRY, M. T.; ROSA, G. M.; CERETTA, C. A.** IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO NO RIO GRANDE DO SUL. Anais ... Santa Maria, RS: UFSM, 2001, 165p.

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

**RITCHIE, J. T.; JONHSON, B. S.** Soil and plant factors affecting evaporation. In: **Stewart, B. H.; Nielson, D. R. (Ed.)** Irrigation of Agricultural Crops. Madison: Agronomy Society of Americana, p.363-390, 1990.

**RIQUELME, U.F.B.** Propriedades físicas e hídricas do solo em sistemas de manejo do feijoeiro. 2004. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

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

**SALDANHA, G. S. Evaporação de água do solo na fase inicial de desenvolvimento da culturas do milho e soja. 2009. 93p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.**

**SAMPAIO, E. Mineralogia do Solo. Departamento de Geociências. Universidade de Évora. Évora. Portugal. 22p. 2006.**

**SANTOS, R. F. Comportamento morfo-fisiológico de plantas submetidas a déficit hídrico em solos de diferentes texturas. 1997. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1997.**

**SANTOS, T. E. M. Dinâmica espacial e temporal da umidade do solo em bacia experimental do semiárido pernambucano. 2010. 68 p. Tese (Doutorado em Agronomia, Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.**

**SANTOS, G.O; HERNANDEZ, F.B.T.; ROSSETTI, J.C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada v.4, nº. 3, p.142–149, 2010.**

**SARKAR, S., SINGH, S. R. Interactive effect of tillage depth and mulch on soil temperature, productivity and water use pattern of rainfed barley (*Hordeum vulgare*L.). Soil & Tillage Research, v .92 p.79–86, 2007.**

**SAUER, T. J.; HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Corn residue age and placement effects on evaporation and soil thermal regime. Soil Science Society of America Journal, v. 60, p. 1558 1564, 1996.**

**SCOPEL, E. et al. Impactos do sistema de plantio direto com cobertura vegetal (SPDCV) sobre a dinâmica da água, do nitrogênio mineral e do carbono do solo docerrado brasileiro. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 22, n. 1, p. 169-183, 2005.**

**SELLERS, W. D. Physical climatology. Chicago: University of Chicago, 1965. 272 p.**

**SIDIRAS, N.; DERPSCH, R.; MONDARDO, A. Influência de diferentes sistemas de preparo do solo na variação da umidade e rendimento da soja, em Latossolo Roxo distrófico (Oxisol). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.7, n.1, p.103-106, 1983.**

**SIDIRAS, N., PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo na temperatura do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 10, n. 3, p. 181-184, 1986.**

**SILVA, E. M. da; LIMA, J. E. F. W.; AZEVEDO, J. A.; RODRIGUES, L. N. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 41, n. 2, p. 323-330, fev. 2006.**

**SILVA, A. P. da; NADLER, A.; KAY, B. D. Factors contributing to temporal stability in spatial patterns of water content in the tillage zone. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v. 58, n. 3-4, p. 207-218, 2001.**

**STEINER, J. L. Tillage and surface residue effects on evaporation from soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 53, n. 3, p. 911-916, 1989.**

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

**STRECK, E. V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, EMATER / UFRGS, 2002.**

**STRECK, N. A.; SCHNEIDER, F. M.; BURIOL, G. A. Modificações físicas causadas pelo mülching. Revista Brasileira Agrometeorologia, v. 2, p. 131-142, 1994.**

**TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 3. ed. Porto Alegre, RS: Artmet, 2004.**

**TANNER, C. B.; JURY, W. A. Estimating evaporation and transpiration from a row crop during incomplete cover. Agronomy Journal, Madison, v. 68, p. 239-243, 1976.**

**VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.**

**VAN WIJK, W. R., LARSON, W. E., BURROWS, W. C. Soil temperature and early growth of corn from mulched and unmulched soil. Soil Science Society of America Proceedings, Houston, v. 23, n. 6, p. 428-434, 1959.**

**VARADAN, K. M., RAO, A. S. Effect of mulch on soil temperature in humid tropical latosols under coconut (*Cocos nucifera* Linn.) and banana (*Musa paradisiaca*). Agricultural Meteorology, Amsterdam, v. 28, n. 4, p. 375-386, 1983.**

**VIEIRA, S. R.; NASCIMENTO, P. C.; SARVASI, F. O. C. & MOURA, E. G. Umidade e temperatura da camada superficial do solo em função da cobertura morta por resteva de soja em plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 15, p. 219-224, 1991.**

**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. Journal of Environmental Quality, n. 25, p. 898-907,  
1996.**

**ZHAI, R., KACHANOSKI, R. G., VORONEY, R. P. Tillage effects on the spatial and  
temporal variation of soil water. Soil Science Society of America Journal, v. 54, p. 186-  
192, 1990.**

## **APÊNDICES**

**Apêndice A - Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura média, mínima, máxima e amplitude térmica diária do solo, coeficiente de variação e diferença mínima significativa para os fatores solo e cobertura determinados no experimento, realizado de 28 de novembro a 8 de dezembro de 2007. Santa Maria, RS, 2011.**

Dias após a drenagem	Fator Solo	Fator Resíduos	Interação	Resíduo	CV (%)	DMS	
						Solo	Resíduos
Temperatura média							
1	0,08 <sup>ns</sup>	3,00 *	0,75 <sup>ns</sup>	0,17	1,76	0,88	0,58
2	0,33 <sup>ns</sup>	24,08 *	0,33 <sup>ns</sup>	0,25	2,08	1,08	0,71
3	0,08 <sup>ns</sup>	52,08 *	0,58 <sup>ns</sup>	0,58	3,00	1,65	1,08
4	0,33 <sup>ns</sup>	33,33 *	0,33 <sup>ns</sup>	0,50	2,74	1,53	1,00
5	0,08 <sup>ns</sup>	30,08 *	0,08 <sup>ns</sup>	0,20	2,38	1,40	0,81
6	0,25 <sup>ns</sup>	30,08 *	0,58 <sup>ns</sup>	0,41	2,28	1,40	0,91
7	0,25 <sup>ns</sup>	5,33 *	0,08 <sup>ns</sup>	0,33	2,14	1,25	0,82
8	0,00 <sup>ns</sup>	16,33 *	0,33 <sup>ns</sup>	0,33	2,10	1,25	0,82
9	0,08 <sup>ns</sup>	30,08 *	0,58 <sup>ns</sup>	0,25	1,86	1,08	0,71
10	0,08 <sup>ns</sup>	40,33 *	1,08 <sup>ns</sup>	0,33	2,09	1,25	0,82
11	0,01 <sup>ns</sup>	33,78 *	1,28 <sup>ns</sup>	0,64	2,76	1,74	1,13
Temperatura mínima							
1	0,08 <sup>ns</sup>	18,75 *	0,25 <sup>ns</sup>	0,25	2,76	1,08	0,71
2	0,25 <sup>ns</sup>	12,00 *	0,25 <sup>ns</sup>	0,67	4,67	1,77	1,15
3	0,08 <sup>ns</sup>	6,75 *	0,25 <sup>ns</sup>	0,25	2,69	1,08	0,71
4	0,00 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,25	2,47	1,08	0,71
5	0,25 <sup>ns</sup>	0,75 *	0,25 <sup>ns</sup>	0,08	1,24	0,63	0,41
6	0,08 <sup>ns</sup>	0,75 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,25	2,28	1,08	0,71
7	0,25 <sup>ns</sup>	0,33 <sup>ns</sup>	0,58 <sup>ns</sup>	0,50	2,89	1,53	1,00
8	0,25 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,25	2,15	1,08	0,71
9	0,58 <sup>ns</sup>	8,33 *	0,08 <sup>ns</sup>	0,33	2,91	1,25	0,82
10	0,08 <sup>ns</sup>	3,00 *	0,25 <sup>ns</sup>	0,33	2,86	1,25	0,82
11	0,24 <sup>ns</sup>	3,01 *	0,66 <sup>ns</sup>	0,11	1,53	0,72	0,47
Temperatura máxima							
1	1,58 <sup>ns</sup>	65,33 *	1,58 <sup>ns</sup>	2,17	5,02	3,19	2,08
2	0,58 <sup>ns</sup>	280,33 *	0,58 <sup>ns</sup>	2,66	5,05	3,54	2,31
3	1,00 <sup>ns</sup>	341,33 *	1,33 <sup>ns</sup>	2,50	4,72	3,42	2,23
4	1,08 <sup>ns</sup>	270,75 *	1,75 <sup>ns</sup>	2,08	4,26	3,13	2,04
5	0,25 <sup>ns</sup>	234,08 *	1,08 <sup>ns</sup>	2,58	4,76	3,49	2,71
6	1,33 <sup>ns</sup>	225,33 *	1,33 <sup>ns</sup>	2,67	4,45	3,54	2,31

**Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura média, mínima, máxima e amplitude térmica diária do solo, coeficiente de variação e diferença mínima significativa para os fatores solo e cobertura determinados no experimento, realizado de 28 de novembro a 8 de dezembro de 2007. Santa Maria, RS, 2011.**

Dias após a drenagem	Fator Solo	Fator Resíduos	Interação	Resíduo	CV (%)	DMS	
						Solo	Resíduos
7	0,58 <sup>ns</sup>	14,08 *	1,58 <sup>ns</sup>	1,08	3,46	2,25	1,47
8	0,33 <sup>ns</sup>	184,083 *	0,33 <sup>ns</sup>	1,58	3,60	2,73	1,78
9	0,25 <sup>ns</sup>	261,33 *	3,58 <sup>ns</sup>	3,33	5,14	3,96	2,58
10	0,08 <sup>ns</sup>	270,75 *	3,25 <sup>ns</sup>	3,92	5,41	4,29	2,80
11	0,74 <sup>ns</sup>	254,66 *	2,43 <sup>ns</sup>	4,13	5,34	4,41	2,87
Amplitude térmica							
1	2,58 <sup>ns</sup>	161,33*	1,08 <sup>ns</sup>	3,83	18,07	4,25	2,77
2	1,58 <sup>ns</sup>	420,08*	0,58 <sup>ns</sup>	3,08	12,47	3,80	2,48
3	2,08 <sup>ns</sup>	396,75*	0,75 <sup>ns</sup>	3,75	13,43	4,20	2,74
4	1,75 <sup>ns</sup>	290,08*	1,58 <sup>ns</sup>	2,25	11,32	3,25	2,12
5	0,58 <sup>ns</sup>	200,08*	1,08 <sup>ns</sup>	3,25	17,88	3,91	2,55
6	1,58 <sup>ns</sup>	261,33*	2,08 <sup>ns</sup>	3,00	12,08	3,76	2,45
7	0,58 <sup>ns</sup>	14,08*	0,58 <sup>ns</sup>	0,75	17,61	1,88	1,22
8	0,58 <sup>ns</sup>	192,00*	0,25 <sup>ns</sup>	1,67	11,92	2,80	1,82
9	1,08 <sup>ns</sup>	385,33*	3,58 <sup>ns</sup>	5,17	14,99	4,93	3,21
10	1,58 <sup>ns</sup>	341,33*	1,08 <sup>ns</sup>	4,50	13,40	4,60	3,00
11	1,47 <sup>ns</sup>	313,04*	1,57 <sup>ns</sup>	4,80	13,51	4,75	3,09

\*CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa; \* = diferença significativa a 5% de probabilidade de erro; <sup>ns</sup> = diferença não significativa

**Apêndice B - Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura média, mínima, máxima e amplitude térmica diária do solo, coeficiente de variação e diferença mínima significativa para os fatores solo e cobertura determinados no experimento, re alizado de 12 a 19 de maio de 2008. Santa Maria, RS, 2011.**

Dias após a drenagem	Fator Solo	Fator Resíduos	Interação	Resíduo	CV (%)	DMS	
						Solo	Resíduos
Temperatura média							
1	0,26 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	0,08	1,70	0,63	0,41
2	0,31*	0,01 <sup>ns</sup>	0,53*	0,05	1,29	0,50	0,32
3	0,34 <sup>ns</sup>	1,56*	0,79 <sup>ns</sup>	0,17	2,54	0,88	0,57
4	0,24 <sup>ns</sup>	1,88*	0,98 <sup>ns</sup>	0,29	3,69	1,17	0,76
5	0,40 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,31	3,75	0,20	0,78
6	0,30 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	0,16	2,63	0,86	0,56
7	0,69 <sup>ns</sup>	2,06*	1,18*	0,14	2,17	0,80	0,52
8	0,35*	5,91*	0,75*	0,06	1,28	0,53	0,34
Temperatura mínima							
1	0,02 <sup>ns</sup>	3,08*	0,71*	0,05	1,46	0,48	0,31
2	0,20 <sup>ns</sup>	10,72*	1,21*	0,08	1,97	0,63	0,41
3	0,23 <sup>ns</sup>	17,91*	1,83*	0,22	3,81	1,01	0,66
4	0,36 <sup>ns</sup>	27,09*	2,94*	0,36	5,83	1,29	0,84
5	0,24 <sup>ns</sup>	22,09*	2,88*	0,31	5,75	1,20	0,79
6	0,11 <sup>ns</sup>	18,25*	2,12*	0,20	4,41	0,96	0,63
7	0,15 <sup>ns</sup>	10,51*	1,35*	0,12	3,05	0,76	0,50
8	0,11 <sup>ns</sup>	0,46*	0,36*	0,04	1,22	0,43	0,28
Temperatura máxima							
1	2,38*	32,41*	3,08*	0,20	2,00	0,97	0,63
2	1,88*	49,29*	2,35*	0,14	1,55	0,80	0,52
3	2,28*	39,57*	3,47*	0,35	2,61	1,28	0,83
4	2,69*	41,85*	2,67*	0,24	2,32	1,07	0,70
5	5,50*	79,05*	9,54*	0,29	2,38	1,16	0,76
6	4,61*	66,13*	8,86*	0,26	2,33	1,11	0,72
7	6,31*	103,66*	12,46*	0,23	1,91	1,03	0,67
8	3,27*	135,14*	8,53*	0,49	2,61	1,51	0,99
Amplitude térmica							
1	2,02*	55,47*	4,36*	0,13	5,07	0,78	0,51
2	1,95*	105,97*	4,99*	0,05	2,46	0,48	0,31
3	2,67*	110,72*	8,23*	0,14	3,57	0,80	0,52

**Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura média, mínima, máxima e amplitude térmica diária do solo, coeficiente de variação e diferença mínima significativa para os fatores solo e cobertura determinados no experimento, realizado de 12 a 19 de maio de 2008. Santa Maria, RS, 2011.**

Dias após a drenagem	Fator Solo	Fator Resíduos	Interação	Resíduo	CV (%)	DMS	
						Solo	Resíduos
4	3,66*	136,28*	7,61*	0,13	3,32	0,79	0,52
5	7,37*	184,71*	19,55*	0,22	3,66	1,02	0,66
6	5,53*	153,87*	16,32*	0,18	3,59	0,92	0,60
7	7,64*	180,19*	18,61*	0,21	3,46	1,00	0,65
8	3,00*	151,37*	9,33*	0,34	5,45	1,26	0,82

\*CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa; \* = diferença significativa a 5% de probabilidade de erro; <sup>ns</sup> = diferença não significativa

**Apêndice C - Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura média, mínima, máxima e amplitude térmica diária do solo, coeficiente de variação e diferença mínima significativa para os fatores solo e cobertura determinados no experimento, realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008. Santa Maria, RS, 2011.**

Dias após a drenagem	Fator Solo	Fator Resíduos	Interação	Resíduo	CV (%)	DMS	
						Solo	Resíduos
Temperatura média							
1	1,17 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>ns</sup>	1,23 <sup>ns</sup>	0,65	2,85	1,75	1,14
2	1,74 <sup>ns</sup>	1,37 <sup>ns</sup>	1,2 <sup>ns</sup>	0,59	2,63	1,67	1,09
3	2,49 <sup>ns</sup>	12,10*	0,77 <sup>ns</sup>	0,49	2,37	1,52	0,99
4	1,64 <sup>ns</sup>	20,57*	0,59 <sup>ns</sup>	0,33	1,94	1,25	0,81
5	0,85 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	1,44 <sup>ns</sup>	0,34	2,09	1,27	0,83
6	0,61 <sup>ns</sup>	0,73 <sup>ns</sup>	1,73 <sup>ns</sup>	0,31	2,00	1,21	0,76
7	2,41*	46,06*	1,4 <sup>ns</sup>	0,39	2,12	1,35	0,88
8	3,68*	61,16*	1,07 <sup>ns</sup>	0,39	2,15	1,35	0,88
9	2,95*	48,00*	0,36 <sup>ns</sup>	0,45	2,29	1,46	0,95
Temperatura mínima							
1	0,57 <sup>ns</sup>	17,16*	1,15 <sup>ns</sup>	0,47	2,78	1,49	0,97
2	0,69 <sup>ns</sup>	21,47*	1,64*	0,24	1,97	1,05	0,69
3	1,00 <sup>ns</sup>	15,66*	1,73*	0,28	2,14	1,15	0,75
4	1,07*	4,60*	1,79*	0,18	1,70	0,93	0,60
5	0,54 <sup>ns</sup>	4,56*	2,06*	0,25	1,92	1,09	0,71
6	0,45 <sup>ns</sup>	8,84*	2,08*	0,15	1,54	0,83	0,54
7	0,59 <sup>ns</sup>	6,69*	2,84*	0,17	1,70	0,90	0,58
8	1,32 <sup>ns</sup>	3,23*	2,91*	0,28	2,30	1,14	0,74
9	1,56 <sup>ns</sup>	1,69 <sup>ns</sup>	2,4 <sup>ns</sup>	0,55	3,16	1,60	1,04
Temperatura máxima							
1	2,17 <sup>ns</sup>	9,88*	2,23 <sup>ns</sup>	0,98	3,08	2,14	1,40
2	6,54 <sup>ns</sup>	87,91*	1,16 <sup>ns</sup>	2,20	4,22	3,22	2,10
3	9,25*	216,24*	0,28 <sup>ns</sup>	1,35	3,15	2,52	1,64
4	5,24 <sup>ns</sup>	261,61*	0,14 <sup>ns</sup>	1,68	3,62	2,81	1,83
5	1,92 <sup>ns</sup>	20,10*	1,31 <sup>ns</sup>	0,70	2,72	1,81	1,18
6	0,85 <sup>ns</sup>	44,93*	1,27 <sup>ns</sup>	1,09	3,23	2,27	1,48
7	8,67 <sup>ns</sup>	397,56*	0,79 <sup>ns</sup>	2,72	4,50	3,57	2,33
8	11,81 <sup>ns</sup>	445,30*	0,67 <sup>ns</sup>	2,88	4,58	3,60	2,40
9	9,63 <sup>ns</sup>	392,16*	1,08 <sup>ns</sup>	2,84	4,48	3,66	2,38

**Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura média, mínima, máxima e amplitude térmica diária do solo, coeficiente de variação e diferença mínima significativa para os fatores solo e cobertura determinados no experimento, realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008. Santa Maria, RS, 2011.**

Dias após a drenagem	Fator Solo	Fator Resíduos	Interação	Resíduo	CV (%)	DMS	
						Solo	Resíduos
Amplitude térmica							
1	1,41 <sup>ns</sup>	53,09*	2,93 <sup>ns</sup>	2,31	8,53	1,34	0,88
2	3,71 <sup>ns</sup>	196,26*	3,55 <sup>ns</sup>	10,85	12,79	2,92	1,90
3	5,50 <sup>ns</sup>	348,30*	2,44 <sup>ns</sup>	0,98	8,14	2,15	1,40
4	3,15 <sup>ns</sup>	335,60*	5,62 <sup>ns</sup>	11,65	13,20	3,05	1,99
5	0,54 <sup>ns</sup>	43,82*	0,40 <sup>ns</sup>	0,38	13,46	1,33	0,87
6	0,28 <sup>ns</sup>	93,63*	0,14 <sup>ns</sup>	0,80	11,84	1,94	1,26
7	5,30 <sup>ns</sup>	507,39*	2,57 <sup>ns</sup>	2,48	12,73	3,42	2,23
8	6,78 <sup>ns</sup>	524,44*	3,06 <sup>ns</sup>	3,92	14,06	4,29	2,80
9	5,96 <sup>ns</sup>	445,30*	6,54 <sup>ns</sup>	4,28	14,47	4,49	2,92

\*CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa; \* = diferença significativa a 5% de probabilidade de erro; <sup>ns</sup> = diferença não significativa

**Apêndice D - Resultados da análise da variância para a evaporação acumulada e diária, coeficiente de variação e diferença mínima significativa para os fatores solo e cobertura, determinados no experimento realizado de 28 de novembro a 8 de dezembro de 2007. Santa Maria, RS, 2011.**

Dias após a drenagem	Fator Solo	Fator Resíduos	Interação	Resíduo	CV (%)	DMS	
						Solo	Resíduos
Evaporação acumulada							
1	2,55*	27,00*	1,51*	0,23	11,78	1,03	0,67
2	1,00 <sup>ns</sup>	38,52*	3,51 <sup>ns</sup>	0,75	14,02	1,87	1,22
3	0,24 <sup>ns</sup>	44,47*	2,01 <sup>ns</sup>	1,17	14,21	2,34	1,53
4	0,70 <sup>ns</sup>	41,07*	1,17 <sup>ns</sup>	2,09	17,12	3,14	2,04
5	2,77 <sup>ns</sup>	40,89*	0,30 <sup>ns</sup>	2,47	17,04	3,41	2,22
6	5,28 <sup>ns</sup>	32,51*	1,75 <sup>ns</sup>	2,65	16,75	3,53	2,30
7	7,25 <sup>ns</sup>	35,88*	1,61 <sup>ns</sup>	2,63	16,13	3,52	2,29
8	10,72 <sup>ns</sup>	35,54*	1,59 <sup>ns</sup>	3,12	16,73	3,83	2,50
9	13,12 <sup>ns</sup>	31,53*	1,31 <sup>ns</sup>	3,65	16,73	4,14	2,70
10	14,56 <sup>ns</sup>	31,85*	1,09 <sup>ns</sup>	4,10	16,57	4,39	2,86
11	18,39 <sup>ns</sup>	28,98*	1,61 <sup>ns</sup>	4,90	17,17	4,80	3,13
Evaporação diária							
1	2,55*	27,00*	1,51*	0,23	11,78	1,03	0,67
2	0,52 <sup>ns</sup>	1,02 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>ns</sup>	0,53	34,53	1,59	1,04
3	0,33 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,28	36,66	1,15	0,75
4	1,68*	0,07 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	0,20	53,47	0,98	0,64
5	0,70*	0,00 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,05	29,78	0,50	0,32
6	0,41*	0,48*	0,20 <sup>ns</sup>	0,06	49,93	0,53	0,35
7	0,18 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	0,05	66,52	0,48	0,31
8	0,37 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,12	68,62	0,76	0,49
9	0,12 <sup>ns</sup>	0,12 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,07	31,86	0,59	0,38
10	0,05 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,04	23,14	0,41	0,26
11	0,27 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	0,11	48,57	0,71	0,46

\*CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa; \* = diferença significativa a 5% de probabilidade de erro; <sup>ns</sup> = diferença não significativa

**Apêndice E - Resultados da análise da variância para evaporação acumulada e diária, coeficiente de variação e DMS para os fatores solo e resíduos, determinados no experimento 2, realizado de 12 a 19 de maio de 2008. Santa Maria, 2011.**

Dias após a drenagem	Fator Solo	Fator Resíduos	Interação	Resíduo	CV (%)	DMS	
						Solo	Resíduos
Evaporação acumulada							
1	0,70 *	0,07 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,06	13,7	0,54	0,35
2	2,06 *	0,99 *	0,43 <sup>ns</sup>	0,15	12,64	0,84	0,55
3	3,12 *	4,87 *	2,02 *	0,17	9,72	0,91	0,59
4	4,10 *	11,17 *	4,20 *	0,21	8,59	0,99	0,65
5	5,65 *	22,58 *	7,24 *	0,14	5,76	0,81	0,53
6	5,51 *	27,66 *	10,47 *	0,13	4,95	0,80	0,52
7	5,24 *	27,60 *	11,67 *	0,17	5,10	0,89	0,58
8	5,04 *	27,36 *	12,28 *	0,14	4,33	0,82	0,54
Evaporação diária							
1	0,71 *	0,07 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	0,06	13,7	0,54	0,35
2	0,36 *	0,52 *	0,18 <sup>ns</sup>	0,04	15,26	0,41	0,27
3	0,23 *	1,47 *	0,75 *	0,04	15,24	0,41	0,27
4	0,07 *	1,3 *	0,53 *	0,01	9,35	0,21	0,13
5	0,35 *	1,98 *	0,51 *	0,01	8,53	0,21	0,14
6	0,21 *	0,26 *	0,35 *	0,03	16,85	0,34	0,22
7	0 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,03	27,56	0,4	0,26
8	0,01 <sup>ns</sup>	0 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>	0,03	23,87	0,35	0,23

\*CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa; \* = diferença significativa a 5% de probabilidade de erro; <sup>ns</sup> = diferença não significativa

**Apêndice F - Resultados da análise da variância para a evaporação acumulada e diária, coeficiente de variação e diferença mínima significativa para os fatores solo e resíduo determinados no experimento realizado de 20 a 28 de dezembro de 2008. Santa Maria, RS, 2011.**

Dias após a drenagem	Fator Solo	Fator Resíduos	Interação	Resíduo	CV (%)	DMS	
						Solo	Resíduos
Evaporação acumulada							
1	0,17 <sup>ns</sup>	4,32 *	0,33 <sup>ns</sup>	0,26	13,77	1,10	0,72
2	0,98 <sup>ns</sup>	30,12 *	0,72 <sup>ns</sup>	0,23	8,12	1,03	0,67
3	2,05 <sup>ns</sup>	47,88 *	2,09 <sup>ns</sup>	0,82	12,32	1,97	1,28
4	0,92 <sup>ns</sup>	38,95 *	3,18 <sup>ns</sup>	0,84	10,93	1,99	1,30
5	0,97 <sup>ns</sup>	56,42 *	1,93 <sup>ns</sup>	0,53	7,95	1,59	1,03
6	0,76 <sup>ns</sup>	66,41 *	2,11 <sup>ns</sup>	0,67	8,47	1,78	1,16
7	1,47 <sup>ns</sup>	66,46 *	1,99 <sup>ns</sup>	0,86	8,75	2,01	1,31
8	2,58 <sup>ns</sup>	64,54 *	3,12 <sup>ns</sup>	0,93	8,31	2,09	1,36
9	1,93 <sup>ns</sup>	62,93 *	4,15 <sup>ns</sup>	0,90	7,72	2,06	1,34
Evaporação diária							
1	0,17 <sup>ns</sup>	4,32 *	0,33 <sup>ns</sup>	0,26	13,77	1,10	0,72
2	0,66 <sup>ns</sup>	11,64 *	0,21 <sup>ns</sup>	0,19	20,33	0,95	0,62
3	0,21 <sup>ns</sup>	2,04 *	0,36 <sup>ns</sup>	0,29	35,62	1,17	0,76
4	0,23 <sup>ns</sup>	0,46 *	0,34 *	0,06	23,83	0,53	0,35
5	0,17 <sup>ns</sup>	1,61 <sup>ns</sup>	1,16 <sup>ns</sup>	0,43	81,59	1,42	0,93
6	0,22 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,07	53,54	0,57	0,37
7	0,12 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,04	22,46	0,43	0,28
8	0,45 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,10	32,10	0,70	0,46
9	0,33 *	0,01 <sup>ns</sup>	0,11 *	0,01	15,82	0,24	0,16

\*CV = coeficiente de variação; DMS = diferença mínima significativa; \* = diferença significativa a 5% de probabilidade de erro; <sup>ns</sup> = diferença não significativa