

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

**INFLUÊNCIA DOS RESÍDUOS VEGETAIS NA
SUPERFÍCIE DO SOLO NA DINÂMICA DE
EVAPORAÇÃO DA ÁGUA E TEMPERATURA DO
SOLO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Manuel Moura Chabat

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**INFLUÊNCIA DOS RESÍDUOS VEGETAIS NA SUPERFÍCIE
DO SOLO NA DINÂMICA DE EVAPORAÇÃO DA ÁGUA E
TEMPERATURA DO SOLO**

por

Manuel Moura Chabat

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

Orientador: Prof. Reimar Carlesso

Santa Maria, RS, Brasil

2010

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

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

**INFLUÊNCIA DOS RESÍDUOS VEGETAIS NA SUPERFÍCIE DO SOLO
NA EVAPORAÇÃO DA ÁGUA E TEMPERATURA DO SOLO**

elaborada por
Manuel Moura Chabat

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

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

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



Claudio García Gallárreta, Dr. (INIA - Uruguai)



Jorge Sawchik, Ph.D. (INIA - Uruguai)

Montevideu, 21 de maio de 2010.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria (pública e gratuita), Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela possibilidade de realizar este curso.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Reimar Carlesso pela orientação e a mão amiga sempre presente.

Ao Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) do Uruguai pela possibilidade da realização do trabalho experimental.

Agradeço a Claudio García pelo incentivo na realização desse curso, o apoio científico brindado, e sua amizade, a Roberto Docampo pela ajuda no desenvolvimento do trabalho de campo, a Sebastian Casanova pela ajuda e compartilhar suas experiências de moradia em Santa Maria.

Ao pessoal da Estação Experimental Las Brujas: Mario Reineri, César Burgos, Neru Bentancor e Marisol de Paz pela Ajuda na condução do experimento e os momentos de amizade compartilhados.

A Aline pela ajuda e compreensão nos momentos de trabalho.

Aos colegas e amigos do Sistema Irriga: Juliano, Zanandra, Rodrigo Elesbão, Roberto Miranda, Alberto, Fabricio, Ticiano, Tiago, Luis Grasel, Rodrigo Mulazzani, Vinícius, Geraldo e Francisco pela ajuda e principalmente companheirismo.

E especialmente, a minha família pelo incentivo e apoio.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
Universidade Federal de Santa Maria

INFLUÊNCIA DOS RESÍDUOS VEGETAIS NA SUPERFÍCIE DO SOLO NA DINÂMICA DE EVAPORAÇÃO DA ÁGUA E TEMPERATURA DO SOLO

AUTOR: MANUEL MOURA CHABAT

ORIENTADOR: REIMAR CARLESSO

Local e data da defesa: Montevideu, 21 de maio de 2010.

A disponibilidade e o manejo apropriado da água representam aspectos fundamentais para o desenvolvimento de sistemas de produção agrícola sustentáveis, visto que esta tem impacto direto na produtividade das culturas. A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo diminui as perdas de água do solo por evaporação e altera a temperatura do solo. A irrigação se apresenta como uma ferramenta eficiente e segura de aumentar e estabilizar os rendimentos das culturas. A exatidão no cálculo da evapotranspiração das culturas é importante para a obtenção de resultados satisfatórios, nesse contexto o uso de coeficientes culturais duais permite realizar estimativas precisas considerando separadamente a evaporação do solo e a transpiração da cultura. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência dos resíduos vegetais na superfície sobre a dinâmica de evaporação de água e temperatura do solo nas fases iniciais de desenvolvimento de plantas de soja. Além disso: (i) quantificar o efeito dos resíduos vegetais na evaporação de água; (ii) determinar o efeito da cobertura na temperatura do solo e; (iii) comparar os resultados obtidos em nível de campo com simulações realizadas com a metodologia de coeficientes culturais duais. Foi realizado um experimento num conjunto de lisímetros de drenagem instalados em uma casa de vegetação móvel (rainout shelter), localizado na Estação Experimental Las Brujas (34°40' 19" S., 56°20' 24" W., altitude 45 m) do Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), Uruguai. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, bifatorial com três repetições. O fator A foi constituído de dois níveis de cobertura do solo (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) e o fator B representou o cultivo da área com soja (com e sem cultivo). As perdas de água foram determinadas em ciclos de secagem do solo baseados na evapotranspiração de referência (ET_o), estimada pela equação Penman–Monteith-FAO. O conteúdo volumétrico de água foi determinado com sensores TDR instalados nas camadas de 0-10 cm e de 10-30 cm de profundidade. A temperatura do solo foi medida com termômetros instalados nas profundidades de 5 e 10 cm, com leituras a cada 30 minutos. A taxa de evaporação de água do solo foi diminuída em 50% pelos resíduos vegetais na superfície do solo. A cobertura do solo resultou em temperatura máxima 6 °C menor, temperatura mínima 2 °C maior e amplitude térmica 40% menor. As estimativas de água disponível no solo efetuadas com a metodologia dos Kc duais apresentaram boa concordância com valores medidos nos lisímetros tanto no solo sem cobertura como no solo coberto por resíduos vegetais.

Palavras-chave: fases iniciais plantas soja; TDR; irrigação; coeficientes culturais duais

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Graduated Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

INFLUENCE OF PLANT RESIDUES ON THE SOIL SURFACE IN THE DYNAMICS OF WATER EVAPORATION AND SOIL TEMPERATURE

Author: Manuel Moura
Advisor: Reimar Carlesso
Place and date: Montevideo, May 21st, 2010.

The availability and proper management of water represent fundamental aspects of the development of sustainable agricultural production systems, since it has direct impact on crop productivity. Maintaining crop residues on the soil surface reduces soil water loss by evaporation and soil temperature changes. Irrigation may be an efficient and safe tool to increase and support crop yields. The accuracy of crop evapotranspiration calculation is important for obtaining satisfactory results, in this context the use of dual crop coefficient allows for the accurate estimation considering separately evaporation soil and crop transpiration. Thus, the objective was to evaluate the influence of plant residues on the surface on the dynamics of water evaporation and soil temperature in the early stages of development of soybean plants. Moreover: (i) quantify plant residues effects on water evaporation, (ii) determine the effect of coverage on soil temperature and (iii) to compare the results obtained under field conditions with simulations performed with the dual crop coefficient methodology. A trial was done on a set of drainage lysimeters installed in a rain-out shelter, located in Las Brujas Experimental Station (34 ° 40 '19"S, 56 ° 20'24"W., altitude 45 m) of the National Research Institute of Agriculture (INIA), Uruguay. Design experimental was completely randomized, factorial with three replications. The factor A was composed of two levels of ground cover (0 and 4 Mg ha⁻¹ of oat straw) and the factor B represented the area of soybean cultivation (with and without plants). Water losses were determined in soil drying cycles based on reference evapotranspiration (ET_o). It was estimated by the Penman-Monteith equation. The soil water content was determined with TDR sensors installed at 0-10 cm and 10-30 cm depth. Soil temperature was measured with thermometers installed at 5 and 10 cm depths, records every 30 minutes. The evaporation rate of soil water was reduced 50% by plant residues on the soil surface. The soil cover resulted in maximum temperature 6 ° C lower, minimum temperature 2 ° C higher and temperature range 40% lower. The soil water simulations using dual crop coefficient methodology resulted in good agreement with values measured in soil lysimeters without cover and on the ground covered by crop residues.

Key-words: early stages of soybean plants; TDR; irrigation; dual crop coefficients.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Valores médios normais mensais dos dados climatológicos registrados no período de (1971-2000) da estação meteorológica Las Brujas. Las Brujas, 2010.	25
Tabela 2	– Data de início e final, duração, dias após a semeadura no início, evapotranspiração de referência acumulada e evapotranspiração de referência média diária para os diferentes ciclos de umedecimento e secagem do solo. Las Brujas, 2010.....	27
Tabela 3	– Parâmetros de solo utilizados nas estimativas. Las Brujas, 2010.	32
Tabela 4	– Evapotranspiração cultural (ETc) e relação evapotranspiração cultural com a evapotranspiração de referência (ETc/ETo) para a época I de cultivo. Las Brujas, 2010.	42
Tabela 5	– Evapotranspiração cultural (ETc) e relação evapotranspiração cultural com a evapotranspiração de referência (ETc/ETo) para a época II de cultivo. Las Brujas, 2010.	49
Tabela 6	– ETc e relação ETc/ETo para a época III de cultivo. Las Brujas, 2010.	56
Tabela 7	– Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura máxima e mínima do solo a 5 cm e 10 cm de profundidade, durante o período experimental. Las Brujas, 2010.....	60
Tabela 8	– Temperatura máxima, temperatura mínima e amplitude térmica do solo, durante o período experimental, nas profundidades de 5 e 10 cm, em resposta à presença de cobertura do solo. Las Brujas, 2010.	60
Tabela 9	– Variáveis climáticas dos dias 04 e 12 de fevereiro de 2009. Las Brujas, 2010.	61

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Comparação entre conteúdo volumétrico de água no solo obtido pelo método gravimétrico e pelo TDR (Reflectometria no Domínio de Tempo) na camada 0-30 cm de profundidade. Las Brujas, 2010. ...29
- Figura 2 – Índice de área foliar da cultura da soja com 0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo, para as épocas de semeadura de dezembro (época II) e janeiro (época III). DAS= dias após a semeadura; ns= não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.....35
- Figura 3 – Armazenamento de água no solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, durante o primeiro ciclo de secagem da época I - novembro (02 aos 13 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.....37
- Figura 4 – Perda acumulada de água do solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, no primeiro ciclo de secagem da época I - novembro (02 aos 13 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.....38
- Figura 5 – Armazenamento de água no solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, durante o segundo ciclo de secagem da época I - novembro (15 aos 21 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.....40
- Figura 6 – Perda acumulada de água do solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, no segundo ciclo de secagem da época I - novembro (15 aos 21 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.....41

- Figura 7 – Armazenamento de água no solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, durante o primeiro ciclo de secagem da época II - dezembro (15 aos 27 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010..... 44
- Figura 8 – Perda acumulada de água do solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, no primeiro ciclo de secagem da época II - dezembro (15 aos 27 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010..... 45
- Figura 9 – Armazenamento de água sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, durante o segundo ciclo de secagem da época II - dezembro (28 aos 34 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010..... 47
- Figura 10 – Perda acumulada de água do solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, no segundo ciclo de secagem da época II - dezembro (28 aos 34 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010..... 48
- Figura 11 - Armazenamento de água no solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, durante o primeiro ciclo de secagem da época III - janeiro (21 aos 29 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010..... 51
- Figura 12 – Perda acumulada de água do solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, no primeiro ciclo de secagem da época III - janeiro (21 aos 29 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010..... 52
- Figura 13 – Armazenamento de água no solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, durante o segundo ciclo de secagem da época III - janeiro (31 aos 37 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010..... 54

- Figura 14 – Perda acumulada de água do solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, no segundo ciclo de secagem da época III - janeiro (31 aos 37 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010..... 55
- Figura 15 – Temperatura do solo aos 5 cm de profundidade, durante o período Novembro 2008 – Fevereiro 2009, em resposta à presença de cobertura na superfície do solo e cultivo. Las Brujas, 2010..... 58
- Figura 16 – Temperatura do solo aos 10 cm de profundidade durante o período Novembro 2008 – Fevereiro 2009, em resposta à presença de cobertura na superfície do solo e cultivo. Las Brujas, 2010..... 59
- Figura 17 - Temperatura do solo durante o dia 4 de fevereiro nos tratamentos Não cultivado 0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha na superfície e solo cultivado 0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, nas profundidades de 5 e 10 cm. As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos. Las Brujas, 2010. 62
- Figura 18 – Temperatura do solo durante o dia 12 de fevereiro nos tratamentos Não cultivado 0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha na superfície e solo cultivado 0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, nas profundidades de 5 e 10 cm. As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos. Santa Maria, 2010..... 63
- Figura 19 – Valores estimados e medidos de água disponível nos tratamentos sem cobertura do solo, apresentando-se as curvas dos valores estimados de água disponível no solo e os pontos das observações feitas (+); a linha a traços representa a água disponível total. Las Brujas, 2010. 65
- Figura 20 – Valores estimados e medidos de água disponível nos tratamentos com cobertura do solo, apresentando-se as curvas dos valores estimados de água disponível no solo e os pontos das observações feitas (+); a linha a traços representa a água disponível total. Las Brujas, 2010. 66
- Figura 21 – Comparação entre os valores estimados e medidos de água disponível no solo nas parcelas sem cobertura do solo. Las Brujas, 2010..... 67
- Figura 22 - Comparação entre os valores estimados e medidos de água disponível no solo nas parcelas com cobertura do solo. Las Brujas, 2010..... 67

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Equação de ajuste da área foliar das plantas de soja. Las Brujas, 2010.	75
APÊNDICE C - Resultados do quadrado medio da análise da variância para agua armazenada no solo sob dois niveis de cobertura do solo e presença ou ausência de cultivo no primeiro ciclo de secagem na época I. Las Brujas, 2010.	77
APÊNDICE D - Resultados do quadrado medio da análise da variância para evapotranspiração acumulada sob dois niveis de cobertura do solo e presença ou ausência de cultivo no primeiro ciclo de secagem da época I. Las Brujas, 2010.	78
APÊNDICE E - Resultados do quadrado medio da análise da variância para agua armazenada no solo sob dois niveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no segundo ciclo de secagem da época I. Las Brujas, 2010.	79
APÊNDICE F - Resultados do quadrado medio da análise da variância para evapotranspiração acumulada sob dois niveis de cobertura do solo e presença ou ausência de cultivo no segundo ciclo de secagem da época I. Las Brujas, 2010.	80
APÊNDICE G - Resultados do quadrado medio da análise da variância para agua armazenada no solo sob dois niveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no primeiro ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.	81
APÊNDICE H - Resultados do quadrado medio da análise da variância para evapotranspiração acumulada sob dois niveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no primeiro ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.	82
APÊNDICE J - Resultados do quadrado medio da análise da variância para agua armazenada no solo sob dois niveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no segundo ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.	83

APÊNDICE K - Resultados do quadrado medio da análise da variância para evapotranspiração acumulada sob dois níveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no segundo ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.	84
APÊNDICE L - Resultados do quadrado medio da análise da variância para agua armazenada no solo sob dois níveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no primeiro ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.	85
APÊNDICE M - Resultados do quadrado medio da análise da variância para evapotranspiração acumulada sob dois níveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no primeiro ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.	86
APÊNDICE N - Resultados do quadrado medio da análise da variância para agua armazenada no solo sob dois níveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no segundo ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.	87
APÊNDICE O - Resultados do quadrado medio da análise da variância para evapotranspiração acumulada sob dois níveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no segundo ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.	88
APÊNDICE P - Resultados do quadrado medio do analise da variância para temperatura do solo aos 0,05 cm de profundidade sob dois níveis de cobertura e presença ou ausencia de cultivo no dia 04 de fevereiro de 2009. Las Brujas, 2010.	89
APÊNDICE Q - Resultados do quadrado medio do analise da variância para temperatura do solo aos 0,10 cm de profundidade sob dois níveis de cobertura e presença ou ausencia de cultivo no dia 04 de fevereiro de 2009. Las Brujas, 2010.	90
APÊNDICE R - Resultados do quadrado medio do analise da variância para temperatura do solo aos 0,05 cm de profundidade sob dois níveis de cobertura e presença ou ausencia de cultivo no dia 12 de fevereiro de 2009. Las Brujas, 2010.	91
APÊNDICE S - Resultados do quadrado medio do analise da variância para temperatura do solo aos 0,10 cm de profundidade sob dois níveis de cobertura e presença ou ausencia de cultivo no dia 12 de fevereiro de 2009. Las Brujas, 2010.	92

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1 Processo de evapotranspiração	17
2.2 Fatores que determinam a evaporação da água do solo.....	18
2.2.1 Fatores climáticos	18
2.2.2 Sistemas de cultivo e práticas de manejo	19
2.2.3 Crescimento e desenvolvimento da cultura.....	20
2.3 Coeficientes culturais duais	21
2.4 Temperatura do solo.....	23
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Características do experimento	26
3.2 Coleta de dados.....	28
3.2.1 Dados meteorológicos.....	28
3.2.2 Caracterização físico hídrica do solo dos lisímetros.....	28
3.2.3 Umidade do solo	28
3.2.4 Temperatura do solo	30
3.2.5 Determinações morfofisiológicas nas plantas	30
3.3 Estimativa do conteúdo de água no solo usando a metodologia de Kc duais ..	30
3.4 Análise estatística	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Área foliar das plantas	35
4.2 Perdas de água por evaporação.....	36
4.2.1 Época I	36
4.2.2 Época II	43
4.2.3 Época III	50
4.5 Temperatura do solo.....	57

4.6 Estimativa da água disponível no solo usando o modelo Simdualkc.....	65
5 CONCLUSÕES	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APÊNDICES	74

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade e o manejo apropriado da água são aspectos fundamentais para o desenvolvimento de sistemas de produção agrícola sustentáveis, visto que esta tem impacto direto na oscilação da produtividade das culturas. O aumento da produtividade devido ao manejo adequado do solo e da água resulta em maiores quantidades de resíduos vegetais na superfície do solo, incremento na matéria orgânica do solo, solo melhor estruturado, afetando a dinâmica da água do solo.

No Uruguai, os solos cultivados apresentam elevada variabilidade na capacidade de armazenamento de água; além disso, as chuvas apresentam distribuição irregular ao longo do ano, resultando em alta vulnerabilidade ao déficit hídrico e grande variabilidade dos rendimentos médios das culturas, principalmente para as culturas anuais de verão. Dessa forma, faz-se necessário aprimorar estratégias para maximizar o armazenamento de água no solo e aumentar o aproveitamento da água das chuvas. Do mesmo modo, preconiza-se um planejamento de datas de semeadura e a escolha das variedades adequadas, que possibilitam minimizar os efeitos negativos da ocorrência dos períodos de déficit hídrico.

A utilização de semeadura direta e a rotação de culturas aliadas à manutenção de resíduos culturais na superfície do solo são práticas de manejo que contribuem para o uso mais eficiente da água. A manutenção de resíduos vegetais aumenta a chuva efetiva e diminui as perdas de água por evaporação, aumentando, assim, o armazenamento de água no solo, o que resulta em maior quantidade disponível para transpiração das plantas. O uso da irrigação aumenta e estabiliza os rendimentos das culturas. Porém, ela deve ser corretamente manejada para que ocorra o desejado aumento da produtividade. O cálculo da evapotranspiração das culturas é importante para a obtenção de resultados satisfatórios. Nesse contexto o uso de coeficientes culturais duais (ALLEN et al., 1998) permite realizar estimativas precisas, considerando separadamente a evaporação da água do solo e a transpiração da cultura.

A medição precisa e o conhecimento da dinâmica das perdas de água por evaporação, após a ocorrência de uma chuva ou irrigação, são informações

fundamentais para aumentar a eficiência do uso da água nos sistemas agrícolas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência dos resíduos vegetais na superfície sobre a dinâmica de evaporação de água e temperatura do solo, nas fases iniciais de desenvolvimento de plantas de soja. O trabalho também possui como objetivos: (i) quantificar o efeito dos resíduos vegetais na evaporação de água; (ii) determinar o efeito da cobertura na temperatura do solo e; (iii) comparar os resultados obtidos em nível de campo com simulações realizadas utilizando a metodologia de coeficientes culturais duais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Processo de evapotranspiração

Evapotranspiração (ET) é a combinação de dois processos distintos pelos quais a água é perdida da superfície do solo, parte por evaporação e outra parte pela transpiração da cultura (ALLEN et al., 1998). Para as culturas anuais, a ET durante o período inicial de desenvolvimento é mais influenciada pela evaporação direta da água da camada superficial do solo (PEREIRA, 2007).

A evaporação é o processo em que a água líquida converte-se em vapor de água e é removida da superfície evaporante. A mudança do estado das moléculas da água de líquido para vapor necessita de grande quantidade de energia. Esta energia é basicamente proveniente da radiação solar e, em menor nível, da temperatura do ar (ALLEN et al., 1998).

Segundo Ritchie (1972, 1974); Ritchie; Johnson (1990) e Allen et al., (2005a), a evaporação de um solo desnudo pode ser descrita em dois estágios. No primeiro, denominado como limitado pela energia, a água encontra-se disponível ou é transportada para a superfície do solo em proporção suficiente para suprir a taxa de evaporação potencial. Neste estágio a evaporação é controlada pela demanda evaporativa da atmosfera.

No segundo estágio da evaporação, o transporte de água das camadas inferiores do perfil do solo para as camadas próximas à superfície é insuficiente para fornecer água à taxa de evaporação potencial. Na medida que o solo seca, pode vir a ocorrer a formação de camada ressecada em sua superfície, o que vem a acarretar diminuição severa na taxa de evaporação, sendo determinada pela condutibilidade hidráulica do solo. Ritchie (1972) relata que no segundo estágio da evaporação a taxa decresce em função da raiz quadrada do tempo após o molhamento.

Um terceiro estágio é identificado em solos que apresentam fendas quando secos. Nestes a secagem acontece em uma taxa baixa e em período de tempo mais prolongado. De acordo com Allen et al. (2005a), a ocorrência de secagem até

profundidades de 0,5 m é possível em solos que contenham grandes quantidades de argilas expansivas, onde as rachaduras podem atingir até 1 m de profundidade.

O tempo transcorrido entre o primeiro e o terceiro estágio é de difícil determinação, visto que depende da intensidade da demanda evaporativa da atmosfera e da reflexibilidade da superfície (GARDNER; HILLEL, 1962). Soluções matemáticas e aplicação de modelos para determinar a duração das etapas do processo de evaporação foram propostas por Giráldez et al. (1999).

2.2 Fatores que determinam a evaporação da água do solo

A evaporação da água do solo é influenciada por: (i) demanda evaporativa da atmosfera, que compreende radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento; (ii) disponibilidade e transporte de água no solo e; (iii) tipo e quantidade de cobertura na superfície do solo.

2.2.1 Fatores climáticos

A radiação solar é o fator que mais influencia no processo de evaporação, devido à grande quantidade de energia requerida neste processo. Porém, a força para retirar o vapor de água de uma superfície evaporante depende do gradiente de pressão de vapor entre essa superfície e a atmosfera, a qual é dependente da umidade relativa do ar. O calor contido no ar atua também como fonte secundária de energia.

A passagem das moléculas de água do estado líquido para o estado de vapor requer uma quantidade de energia de aproximadamente 590 calorias por grama de água. À medida que ocorre a evaporação, o ar mais próximo da superfície evaporante se satura gradualmente e o processo se torna cada vez mais lento, até cessar completamente. Isto ocorre quando o ar úmido circundante não é transferido à atmosfera. Assim, para que o processo de evaporação seja mantido por um período maior de tempo, a velocidade e a turbulência do vento devem contribuir para

a renovação da massa de ar que recebe o vapor de água desprendido pela superfície do solo, diminuindo a tensão de vapor e incrementando a evaporação.

O processo de evaporação é limitado pela quantidade de energia disponível. 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 densidade de fluxo de calor latente (PEREIRA, 2007). 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 da água do solo (ALLEN, 2005a).

2.2.2 Sistemas de cultivo e práticas de manejo

A utilização de sistemas conservacionistas de preparo do solo altera o armazenamento de água em relação a sistemas de preparo convencional, o que foi reportado por vários pesquisadores (SALTON; MIELNICZUK, 1995; ROJAS; VAN LIER, 1999; COSTA et al., 2003; DALMAGO et al., 2009). O sistema de semeadura direta e o preparo reduzido do solo, os quais têm como premissa o não revolvimento ou a mínima mobilização do solo, bem como a manutenção dos resíduos culturais na superfície ou sua incorporação apenas parcial, podem contribuir para uma melhor condição físico-hídrica do solo. Isso ocorre pela não formação de crostas superficiais, aumento da estabilidade de agregados, devido ao acúmulo de matéria orgânica; estabelecimento de porosidade contínua (bioporos), pela atividade biológica da fauna edáfica e de raízes; e o equilíbrio entre os valores de macro e microporosidade, que por sua vez podem contribuir para um maior volume de água disponível (SALTON; MIELNICZUK, 1995).

A manutenção de resíduos vegetais resultantes da utilização de sistemas conservacionistas de cultivo ajuda no controle da erosão, aumenta a infiltração de água e reduz as perdas de água por evaporação direta (GARCIA-PRÉCHAC et al., 2004), sendo esta última função da barreira física formada pelos resíduos vegetais (ZHAI et al., 1990; FABRIZZI et al., 2005). Segundo Flerchinger et al. (2003), o efeito

dos resíduos vegetais na superfície do solo na diminuição das perdas de água por evaporação é mais expressivo em climas úmidos que em climas secos. Esses mesmos autores observaram que o solo desnudo apresentou maior evaporação do que o solo coberto com palha de trigo. No entanto, a presença de resíduos vegetais proporciona vantagens na manutenção das relações hídricas, por funcionar como uma camada dissipadora de energia cinética das gotas de chuva, e também como isolador térmico, diminuindo as perdas de água por evaporação para a atmosfera. Por outro lado, ela apresenta desvantagem, pois a água por ela interceptada e armazenada é perdida diretamente para a atmosfera, sem fazer parte do sistema solo-planta (SILVA et al., 2006a).

Em áreas frequentemente irrigadas e com pequenas lâminas, as perdas de água por evaporação podem ser elevadas, isso porque a superfície do solo é umedecida em intervalos reduzidos, comprometendo a eficiência no uso da água. As maiores perdas por evaporação ocorrem nos primeiros dias após o umedecimento (ANDRADE 2007, 2008). A redução rápida da umidade das superfícies descobertas ou com pouca quantidade de resíduos vegetais geralmente implica a necessidade de aplicar lâminas de irrigação na fase inicial de desenvolvimento das culturas para proporcionar uma boa emergência e estabelecimento uniforme, resultando em um aumento no consumo de água. Resultados que confirmam este fato foram apresentados por Liu et al. (2002): trabalhando sob condições de suprimento hídrico adequado para as culturas do trigo e milho, cultivadas em lisímetros, identificaram que 30% da evapotranspiração foi devida à evaporação direta de água do solo. Essa quantidade de água possui pequena contribuição no rendimento final da cultura. Os autores destacam a possibilidade de aumentar a eficiência do uso da água diminuindo a evaporação do solo. Sarkar et al. (2007a) relataram o aumento na eficiência com o uso de resíduos vegetais na superfície do solo, comparado com solo desnudo na cultura da cevada, e a principal causa seria a diminuição das perdas de água por evaporação.

2.2.3 Crescimento e desenvolvimento da cultura

A evapotranspiração e a partição entre evaporação e transpiração são influenciadas pelo tipo de cultivo, variedade e fase de desenvolvimento em que se

encontra a cultura. Com o crescimento da cultura, ocorre o aumento da área foliar, incrementando a interceptação da radiação solar por parte da planta. Dessa forma a menor quantidade de energia que chega à superfície do solo resulta na diminuição da evaporação de água. Existe uma relação direta entre a fração de solo coberta pela vegetação e a evaporação da água. No momento da semeadura, o total de perdas de água ocorre por evaporação e, quando a cobertura vegetal é completa, mais de 90% da evapotranspiração ocorre na forma de transpiração (ALLEN et al., 1998). A altura das plantas e o índice de área foliar (IAF) influenciam na diminuição da evaporação, pois diminuem o efeito ocasionado pelo vento e pelo sombreamento nas horas do dia em que os raios solares incidem em forma não perpendicular à superfície.

Ritchie e Basso (2008) afirmam que até valores de IAF aproximadamente de 3 a evapotranspiração está controlada pela energia disponível. Assim, quando o IAF for superior a 3,0, saber se a água é perdida por evaporação direta do solo ou pela transpiração das plantas é indiferente, pois a perda vai ser de igual magnitude. A principal causa desse fato seria o aumento do calor sensível em torno das plantas, o que causa um incremento nos valores de transpiração. Para valores de IAF menores de 3,0, a partição da evapotranspiração entre o solo e as plantas depende em maior medida da umidade da superfície do solo.

Liu et al. (2002) afirmam que um incremento no IAF das culturas nas primeiras fases de desenvolvimento poderia melhorar a eficiência no uso da água devido à grande diminuição da evaporação. Em estudo realizado para as culturas de trigo e milho, esses autores observaram que a evaporação de água da superfície do solo foi 30 % da evapotranspiração da cultura, totalizando perdas anuais de mais de 250 mm de água. Segundo esses autores, reduzir a evaporação seria uma das mais importantes maneiras de economizar água e combater o déficit hídrico.

2.3 Coeficientes culturais duais

O cálculo da evapotranspiração da cultura, utilizando a metodologia dos coeficientes culturais (K_c) médios relativos às várias fases das culturas, fornece

resultados satisfatórios para cálculos com diferentes intervalos de tempo, incluindo a estimativa da evapotranspiração diária para a maioria das culturas (PEREIRA, 2004). No entanto, para irrigações frequentes e para culturas que proporcionam a cobertura parcial do solo, assim como em regiões com precipitação frequente, o uso dos coeficientes culturais duais permite produzir estimativas da evapotranspiração da cultura mais exatas (ALLEN et al., 2005b). A metodologia dos K_c duais consiste em dividi-los em dois coeficientes: um para a transpiração do cultivo, denominado coeficiente basal de cultivo (K_{cb}); e outro para a evaporação do solo, denominado coeficiente de evaporação (K_e). Dessa forma, dividir o coeficiente cultural nos componentes de evaporação do solo e de coeficiente base da cultura possibilita uma melhor percepção do destino das frações de água provenientes da chuva ou da irrigação utilizadas pela cultura, assim como avaliar as vantagens de manter uma fração do solo seca ou optar pela prática da utilização de cobertura morta para controlar a evaporação do solo (E).

O K_{cb} consiste no quociente entre a transpiração da cultura e a evapotranspiração de referência, quando a superfície do solo se encontra seca, porém com conteúdo de água adequado na zona radicular do solo para manter a taxa de transpiração da planta. O K_{cb} representa o valor mínimo de K_c , na ausência dos efeitos do umedecimento do solo pela chuva ou irrigação. O K_e descreve o componente da evaporação que ocorre na superfície, podendo assumir valores elevados após o umedecimento do solo através de eventos de irrigação ou chuva. O valor de K_e é reduzido à medida que o solo seca, chegando a zero quando não houver mais água disponível para a evaporação.

Durante o primeiro estágio da evaporação, o qual acontece logo após evento de irrigação ou chuva, a superfície do solo se encontra 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. Este estágio se mantém até que as perdas acumuladas de evaporação sejam tais que as propriedades hidráulicas do solo comecem a ser limitantes, não sendo possível a manutenção do suprimento de água na superfície para que o processo ocorra potencialmente. A lâmina de evaporação acumulada nesta etapa é igual à água prontamente evaporável (REW), a qual representa a quantidade de água que pode ser perdida por evaporação, sem restrições da camada superficial, dependendo basicamente da textura do solo.

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

As primeiras aplicações da metodologia dos coeficientes culturais duais proposta por Allen et al. (1998), relatadas por Allen (2000), foram utilizadas para a cultura do algodão em estudo desenvolvido na Turquia visando à comparação de diversas metodologias do cálculo da evapotranspiração da cultura. Esse procedimento também foi utilizado por Liu e Pereira (2000) para as culturas de trigo e milho na China. Howell et al. (2004) testaram-na para o algodão, cultura de cobertura parcial do solo e não só confirmaram a exatidão do método, como o consideraram vantajoso na comparação da evapotranspiração cultural entre irrigação suplementar, irrigação para a produção máxima e ausência de irrigação. Do mesmo modo, a exatidão das estimativas para culturas com cobertura total do solo foi relatada recentemente por Er-Raki et al. (2007) para a cultura do trigo. Outros estudos apresentam resultados positivos na utilização desta metodologia para a fruticultura e culturas com cobertura parcial do solo, como os relatados por Goodwin et al. (2006) e Paço et al. (2006), este último referente a pomares no Oeste de Portugal. Liu & Luo (2010) confirmam o bom desempenho da metodologia para estimar a evapotranspiração estacional em trigo no norte da China, porém esta foi imprecisa no cálculo dos valores de pico de evapotranspiração diária.

2.4 Temperatura do solo

A temperatura do solo é um fator determinante da duração do período sementeira-emergência. O preparo do solo altera seu regime térmico por duas vias: primeiro, pela modificação da cobertura vegetal, a qual muda o coeficiente de reflexão, influenciando na entrada e saída de energia da superfície; segundo, porque o preparo modifica algumas propriedades físicas do solo, como densidade, porosidade, conteúdo de água (FABRIZZI et al., 2005).

A presença de resíduos na superfície do solo ocasiona impacto na evaporação, no armazenamento de água e na sua temperatura, devido à alteração

nas transferências de calor e água na superfície deste (SARKAR et al. 2007, SARKAR; SINGH 2007). A arquitetura dos resíduos, a manutenção em pé ou roçado, inteiros ou picados e a distribuição na superfície afetam de maneira diferente os fluxos de calor e água (FLERCHINGER et al., 2003). Bortoluzzi e Eltz (2000), estudando o efeito de diferentes manejos mecânicos de resíduos vegetais de aveia preta em sistema de plantio direto no Sul do Brasil, descobriram que o manejo com resíduo em pé, resíduo rolado e resíduo roçado retardou a ocorrência da temperatura máxima do solo, em relação ao manejo sem resíduo. A cobertura exerce grande influência na temperatura do solo, pois dependendo da natureza, coloração e quantidade modifica a capacidade do solo de refletir a radiação solar.

Flerchinger et al. (2003) apresentam resultados de simulações de balanço de energia na superfície, evaporação, temperatura, e conteúdo de água no solo usando o modelo SHAW (FLERCHINGER; PIERSON, 1991). Avaliando o referido modelo em diferentes locais, tipos de resíduos e arquitetura destes, os autores reportaram que no final do inverno o solo com resíduo de trigo em pé aqueceu antes que o solo nu e que o solo com resíduo de trigo em plano. Os autores explicam que o albedo da palha em pé seria menor que o do solo desnudo. Sarkar e Singh (2007a), utilizando resíduos vegetais de palha de arroz, relatam incremento na temperatura do solo comparado ao tratamento sem palha, às 7:00 e uma diminuição às 14:00.

Sistemas com semeadura direta proporcionam a ocorrência de temperaturas menores na superfície do solo, quando comparados a sistemas com semeadura convencional. Isso ocasiona maior calor específico da água e maior condutibilidade térmica no perfil do solo. Ao mesmo tempo, o maior albedo dos resíduos vegetais (menor radiação líquida), junto com a menor condutibilidade térmica destes em relação ao solo, determina menor oscilação térmica no solo, reduzindo fundamentalmente a temperatura máxima (SILVA et al., 2006b).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado durante o período de primavera e verão, no ano agrícola 2008/2009, na Estação Experimental “Las Brujas” (34° 40’ 19’’ S., 56°20’24’’ W., altitude 45 m), do Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), no Departamento de Canelones, região sul do Uruguai.

O clima do local é definido, segundo a classificação de Köppen (MORENO, 1961), como do tipo Cfa, temperado úmido, com chuvas durante todo o ano e verões quentes. A chuva média anual é de 1100 mm, e a temperatura média do ar é de 17°C. Na Tabela 1 são apresentados os valores normais mensais de chuvas, temperatura média do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Tabela 1 – Valores médios normais mensais dos dados climatológicos registrados no período de (1971-2000) da estação meteorológica Las Brujas. Las Brujas, 2010.

Mês do ano	Chuva (mm)	Temperatura media (°C)	Umidade relativa (%)	Velocidade do vento (m s ⁻¹)	Insolação (horas)
Janeiro	86	23	70	2,4	10
Fevereiro	94	22	74	2,2	8,9
Março	86	20	76	2,1	8,0
Abril	86	17	79	1,9	6,5
Maio	74	14	81	1,9	5,9
Junho	66	11	82	2,0	4,8
Julho	72	10	82	2,2	4,9
Agosto	72	11	79	2,2	5,9
Setembro	83	13	76	2,5	6,7
Outubro	96	16	75	2,4	7,6
Novembro	91	18	72	2,4	9,1
Dezembro	71	21	69	2,4	9,9

O solo utilizado é classificado como um Brunosol típico, sistema de classificação de solos do Uruguai (ALTAMIRANO, 1976), correspondendo a um Tipic Argiudoll, pela classificação da Soil Taxonomy (USDA, 1972). Esse tipo de solo ocupa uma área significativa na região Sul e Centro Sul do Uruguai (DURÁN; GARCIA-PRÉCHAC, 2007). Caracteriza-se por apresentar cor escura (pardo a preta), conteúdo médio de matéria orgânica (maior de 2%), elevada saturação de bases, textura média a pesada e drenagem moderadamente boa. A sequência de horizontes mais frequente é A, B e C, sendo o B um horizonte argilúvico e o C apresenta acumulação secundária de carbonato de cálcio.

3.1 Características do experimento

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, bifatorial com três repetições. O fator A foi constituído de dois níveis de cobertura do solo (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia), e o fator B representou o cultivo da área com soja (com e sem cultivo).

Foram realizadas três épocas de cultivo da soja: época I – semeadura em novembro; época II – semeadura em dezembro e; época III – semeadura em janeiro. Avaliaram-se as perdas de água por evaporação e as alterações na temperatura do solo pela cobertura do solo com resíduos vegetais nas fases iniciais de desenvolvimento das plantas. Foi utilizado um conjunto de 12 lisímetros de drenagem, instalados sob uma cobertura móvel (rainout shelter).

Cada lisímetro apresenta 1,9 m de comprimento, 0,9 m de largura e 1,45 m de profundidade, caracterizando uma unidade experimental. A cobertura móvel apresenta fechamento automático quando inicia a chuva, permanecendo fechada durante a permanência desta. Permitindo trabalhar em condições de campo e ao mesmo tempo sem a ocorrência das chuvas.

A área experimental foi semeada com aveia preta (*Avena strigosa Schreb*) no inverno anterior ao do experimento, sendo esta dessecada no mês de agosto. Os restos culturais de aveia foram retirados da superfície dos lisímetros. A cultura da soja foi semeada no sistema plantio direto, utilizando-se a cultivar Rafaela 58, na

densidade de semeadura de 220.000 pl ha⁻¹ e no espaçamento de 0,45 m entre linhas. Após a semeadura, foram distribuídos os resíduos na superfície do solo em função dos tratamentos. O resíduo vegetal de aveia foi mantido em lugar arejado e seco até o momento de ser utilizado em cada semeadura.

Foram avaliados ciclos de umedecimento e secagem do solo para quantificar a influência da cobertura nas perdas de água por evaporação e na variação da temperatura. A duração do ciclo de secagem foi baseada na evapotranspiração de referência (ET_o) acumulada, sendo considerado um ciclo de secagem completo quando a ET_o atingia um valor acumulado superior a 40 mm. A duração do ciclo de secagem expressa em ET_o procurou não ocasionar déficit hídrico na cultura. Em cada cultivo, foram realizados dois ciclos de secagem do solo, cuja duração está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Data de início e final, duração, dias após a semeadura no início, evapotranspiração de referência acumulada e evapotranspiração de referência média diária para os diferentes ciclos de umedecimento e secagem do solo. Las Brujas, 2010.

Semeadura	Ciclo de secagem	Data de início	Data final	Duração (dias)	DAS no início	ET _o acumulada (mm)	ET _o média Diária (mm)
Novembro	Primeiro	6/11	17/11	11	2	55	5,0
	Segundo	19/11	25/11	6	15	37	6,2
Dezembro	Primeiro	24/12	5/1	12	15	65	5,4
	Segundo	6/1	12/1	6	28	41	6,8
Janeiro	Primeiro	4/2	12/2	9	21	38	4,2
	Segundo	14/2	20/2	6	31	28	4,7

DAS= Dias após a semeadura; Eto= evapotranspiração de referência.

A umidade do solo no início de cada ciclo de secagem estava próxima da saturação, visando uniformizar a umidade de todas as parcelas. As irrigações foram realizadas através de microaspersores, com uma intensidade de aplicação de 13 mm h⁻¹.

3.2 Coleta de dados

3.2.1 Dados meteorológicos

O dados meteorológicos para o cálculo da ET_o foram coletados de uma estação meteorológica Campbell Scientific, Inc. Uk, instalada a aproximadamente 1000 metros de distância da área experimental. Valores horários de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, insolação e radiação solar foram coletados e utilizados para o cálculo da ET_o , estimada pela equação Penman-Monteith-FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

3.2.2 Caracterização físico hídrica do solo dos lisímetros

A densidade do solo foi determinada a partir de amostras de solo não deformadas, coletadas com auxílio de anéis metálicos com volume de 100 cm^3 . Foram retiradas seis amostras na parte intermediária das camadas de 0-10 cm e de 10-30 cm de profundidade. Os parâmetros físico-hídricos do solo – curva característica de água, porosidade total; macroporosidade e microporosidade – foram determinados por Casanova (2008).

3.2.3 Umidade do solo

Medições da umidade do solo foram realizadas durante os ciclos de secado do solo. Em cada parcela experimental, foi determinado o conteúdo volumétrico de água utilizando sensores TDR (Reflectometria no Domínio de Tempo). Foram instalados dois sensores, com hastes de 20 cm de comprimento, na entrelinha das plantas. Um sensor foi inserido inclinado no solo, para determinar o conteúdo de água na camada de 0 a 10 cm de profundidade, e o outro foi inserido verticalmente na camada de 10 a 30 cm de profundidade. A perda de água do solo foi determinada pela diferença de duas medidas consecutivas de conteúdo de água no solo. O valor

da perda foi assumido como sendo o total da evaporação direta da água do solo e transpiração das plantas. O armazenamento de água foi determinado para as duas camadas do perfil do solo multiplicando-se o valor do conteúdo volumétrico de água da camada por sua espessura. Também foram retiradas amostras de solo deformadas para determinar sua umidade pelo método gravimétrico. Na Figura 1, é apresentada a relação entre as determinações de umidade pelo método do TDR e pelo método gravimétrico.

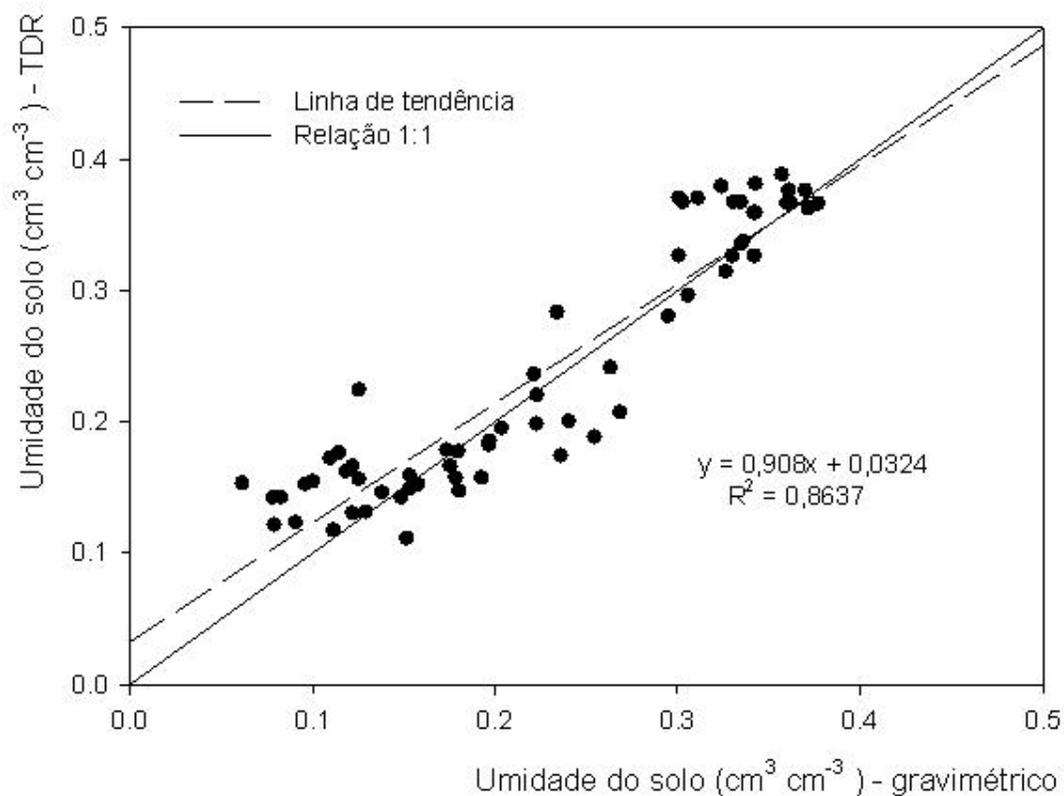


Figura 1 – Comparação entre conteúdo volumétrico de água no solo obtido pelo método gravimétrico e pelo TDR (Reflectometria no Domínio de Tempo) na camada 0-30 cm de profundidade. Las Brujas, 2010.

3.2.4 Temperatura do solo

A temperatura do solo foi medida com termômetros modelo DS1921G ThermoChron iButton, da Maxim Integrated Products, Inc, os quais foram instalados em cada parcela experimental nas profundidades de 5 e 10 cm. Esse tipo de termômetro mede e armazena o valor de temperatura em um chip interno. A programação da memória interna foi realizada de modo a registrar e armazenar valores de temperatura em intervalos de 30 minutos. Com as 48 leituras diárias, foi calculada a temperatura média, máxima, mínima e amplitude diária. A determinação da temperatura do solo foi realizada a partir do dia 26 de novembro de 2008 até o 19 de fevereiro de 2009. Houve interrupção nas medidas no período entre os dias 17 e 30 de dezembro de 2008 e de 12 a 16 de janeiro de 2009.

3.2.5 Determinações morfofisiológicas nas plantas

Para as determinações de área foliar e altura das plantas, foram selecionadas aleatoriamente duas plantas por parcela experimental. A área foliar foi determinada medindo-se o comprimento e a largura de cada folíolo. Calculou-se a área foliar de cada planta pela soma das áreas individuais de cada folha. Aos 40 dias após a emergência (DAE), foi avaliada a área foliar de uma amostra de 12 plantas, utilizando-se um escâner para ajustar a relação entre os valores de comprimento e largura de cada folha medidas a campo (Apêndice A). O índice de área foliar foi determinado pela razão entre a área foliar da planta e a área superficial de solo ocupada pela planta.

3.3 Estimativa do conteúdo de água no solo usando a metodologia de Kc duas

A evapotranspiração cultural, ET_c (mm d^{-1}) foi calculada multiplicando-se a evapotranspiração de referência, ET_o (mm d^{-1}), pelo coeficiente cultural, K_c .

$$E_{tc} = K_c E_{To} \quad (1)$$

A forma do K_c dual é a seguinte:

$$K_c = K_{cb} + K_e \quad (2)$$

Onde:

K_{cb} = coeficiente cultural de base

K_e = coeficiente de evaporação

O valor de K_{cb} depende do estágio fenológico da cultura. A duração dos estágios fenológicos das plantas de soja utilizados foram: inicial de 20 dias, de rápido desenvolvimento de 25 dias, médio de 60 dias e final de 30 dias. Os valores de K_{cb} utilizados foram 0,15, 1,1 e 0,3 para o período inicial, médio e final, respectivamente (ALLEN et al., 1998). Para os tratamentos em que o solo permaneceu sem cultivo, foi utilizado o valor de $K_{cb} = 0,15$.

O K_e pode ser calculado

$$K_e = K_r (K_{c_{max}} - K_{cb}) \quad (3)$$

onde:

K_r = coeficiente de redução da evaporação

K_{cb} = coeficiente cultural de base,

$K_{c_{max}}$ = valor máximo para K_c imediatamente a seguir a uma chuva ou uma irrigação.

Na Tabela 3, podem ser observados os valores dos parâmetros de solo utilizados nas estimativas. A profundidade da camada superficial responsável pela evaporação foi determinada em 10 cm.

Tabela 3 - Parâmetros de solo utilizados nas estimativas. Las Brujas, 2010.

Parâmetro	Valor
Capacidade de campo na camada 0-10 cm, θ_{FC} ($m^3 m^{-3}$)	0,38
Ponto de murcha na camada 0-10 cm, θ_{WP} ($m^3 m^{-3}$)	0,12
Capacidade de campo na camada 10-30 cm, θ_{FC} ($m^3 m^{-3}$)	0,38
Ponto de murcha na camada 10-30 cm, θ_{WP} ($m^3 m^{-3}$)	0,18
Profundidade da camada superficial do solo, Ze (m)	0,10
Água evaporável total na camada 0-10 cm, TEW (mm)	32
Água prontamente evaporável na camada 0-10 cm, REW (mm)	10
Água disponível às plantas total, TAW, na camada 0-30 cm (mm)	66
Fração de solo umedecida pela irrigação, fw	1

O valor de REW de 10 mm foi estimado com base no teor de argila de 25% da camada superficial do solo, usando a equação para solos que tem o teor de areia do solo < 80% e argila < 50% (RITCHIE et al., 1989).

$$REW = 8 + 0,08 \text{ Arg} \quad (4)$$

Onde:

REW= água prontamente evaporável

Arg= teor de argila do solo em porcentagem

O total de água evaporável (TEW) foi estimado pela equação proposta por Allen et al. (1998).

$$TEW = 1000 (\theta_{fc} - 0,5\theta_{wp}). Ze \quad (5)$$

Onde:

θ_{fc} = conteúdo de umidade no solo na capacidade de campo ($m^3 m^{-3}$)

θ_{wp} = conteúdo de umidade no solo no ponto de murcha permanente ($m^3 m^{-3}$)

Ze= profundidade da camada evaporativa (m)

O total de água disponível às plantas (TAW) para a camada explorada pelas raízes das plantas foi estimado pela equação:

$$TAW = 1000 (\theta_{FC} - \theta_{WP}) Z_r \quad (6)$$

Onde:

θ_{fc} = conteúdo de umidade no solo na capacidade de campo ($m^3 m^{-3}$)

θ_{wp} = conteúdo de umidade no solo no ponto de murcha permanente ($m^3 m^{-3}$)

Z_r = profundidade das raízes (m)

Por fim, foram comparados os valores estimados de água disponível às plantas e os valores medidos a campo. Para realizar esta comparação foi utilizada uma regressão forçada à origem, determinando o erro médio (ME), raiz quadrada do erro médio ao quadrado (RMSE) e o coeficiente de determinação (R^2). Para cada tratamento e data de semeadura, foi realizada uma simulação. No cálculo da regressão, foram utilizados os dados para cada tratamento, independentemente da data de semeadura.

O ME e o RMSE foram obtidos através das seguintes equações:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_s - a_m) \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_s - a_m)^2} \quad (8)$$

Onde:

n = número de observações;

a_s = valor de água disponível às plantas no solo estimada;

a_m = valor de água disponível às plantas no solo medida;

3.4 Análise estatística

Para a análise estatística dos resultados foi utilizado o programa Sisvar versão 5.3, em nível de 5% de probabilidade de erro.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Área foliar das plantas

Na Figura 2, são apresentados os valores de IAF da cultura da soja determinados aos 21, 27 e 34 DAS para a época II e aos 14, 23, 29 e 35 DAS para a época III. O índice de área foliar da cultura da soja não foi afetado pelos tratamentos (APÊNDICE B).

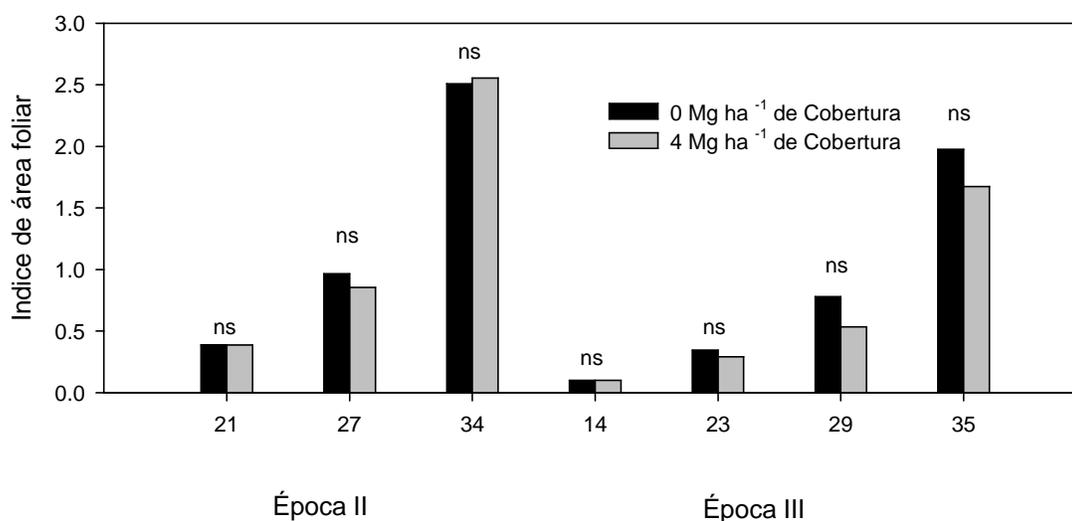


Figura 2 - Índice de área foliar da cultura da soja com 0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha na superfície do solo, para as épocas de semeadura de dezembro (época II) e janeiro (época III). DAS= dias após a semeadura; ns= não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.

O valor médio do IAF aos 34 DAS para a época II em ambos os tratamentos foi de 2,50. Aos 35 DAS da semeadura de Janeiro (época III), o IAF médio nos tratamentos foi 1,8. Na época I não foi realizada medição de área foliar, o cultivo foi interrompido aos 21 DAS por falta de plantas devido à entrada de animais na área experimental.

4.2 Perdas de água por evaporação

4.2.1 Época I

Primeiro ciclo de secagem do solo

O primeiro ciclo de secagem do solo para a época I iniciou após uma irrigação de 50 mm, ocorrida no dia 5 de novembro, um dia após da semeadura da soja, e finalizou no dia 17 de novembro (13 DAS), tendo uma duração de 11 dias. A evapotranspiração de referência acumulada (EToac) para o período foi de 55 mm, representando um valor médio de $5,0 \text{ mm dia}^{-1}$. A água armazenada no perfil do solo durante o primeiro ciclo de secagem para as camadas de 0 a 10 cm, 10 a 30 cm e 0 a 30 cm em função da EToac está apresentada na Figura 3.

Observou-se interação significativa para os tratamentos cobertura do solo e presença de cultivo na variação de água armazenada na camada 0 – 10 cm de profundidade do solo (APÊNDICE C). Além disso, o efeito da cobertura de manter o armazenamento de água no solo mais elevado foi maior no solo não cultivado do que no cultivado. No entanto, neste ciclo de secagem, o cultivo da soja encontrava-se nas fases iniciais de desenvolvimento, dessa forma o efeito do cultivo provavelmente seja devido à perturbação do solo durante a semeadura, e não por efeito próprio das plantas.

As perdas acumuladas de água no solo durante o primeiro ciclo de secagem estão apresentadas na Figura 4. A partir dos 5 mm de EToac, a perda de água por evaporação foi maior no solo não cultivado sem cobertura (3 mm), comparado com o solo mantido com palha na superfície (0,5 mm). Esse comportamento se manteve durante os 11 dias do ciclo de secagem, resultando em uma perda acumulada de água por evaporação de 24 e 15 mm no solo sem cobertura e o mantido com cobertura, respectivamente.

A quantidade de água armazenada na camada 10 – 30 cm de profundidade foi semelhante, ao longo do ciclo de secagem, com valores médios de 76 mm no início do ciclo e 68 mm no final deste. Por outro lado, no solo cultivado, a perda acumulada de água foi maior no solo sem cobertura (37 mm) que naquele mantido com cobertura (29,5 mm) aos 55 mm de EToac (APÊNDICE D).

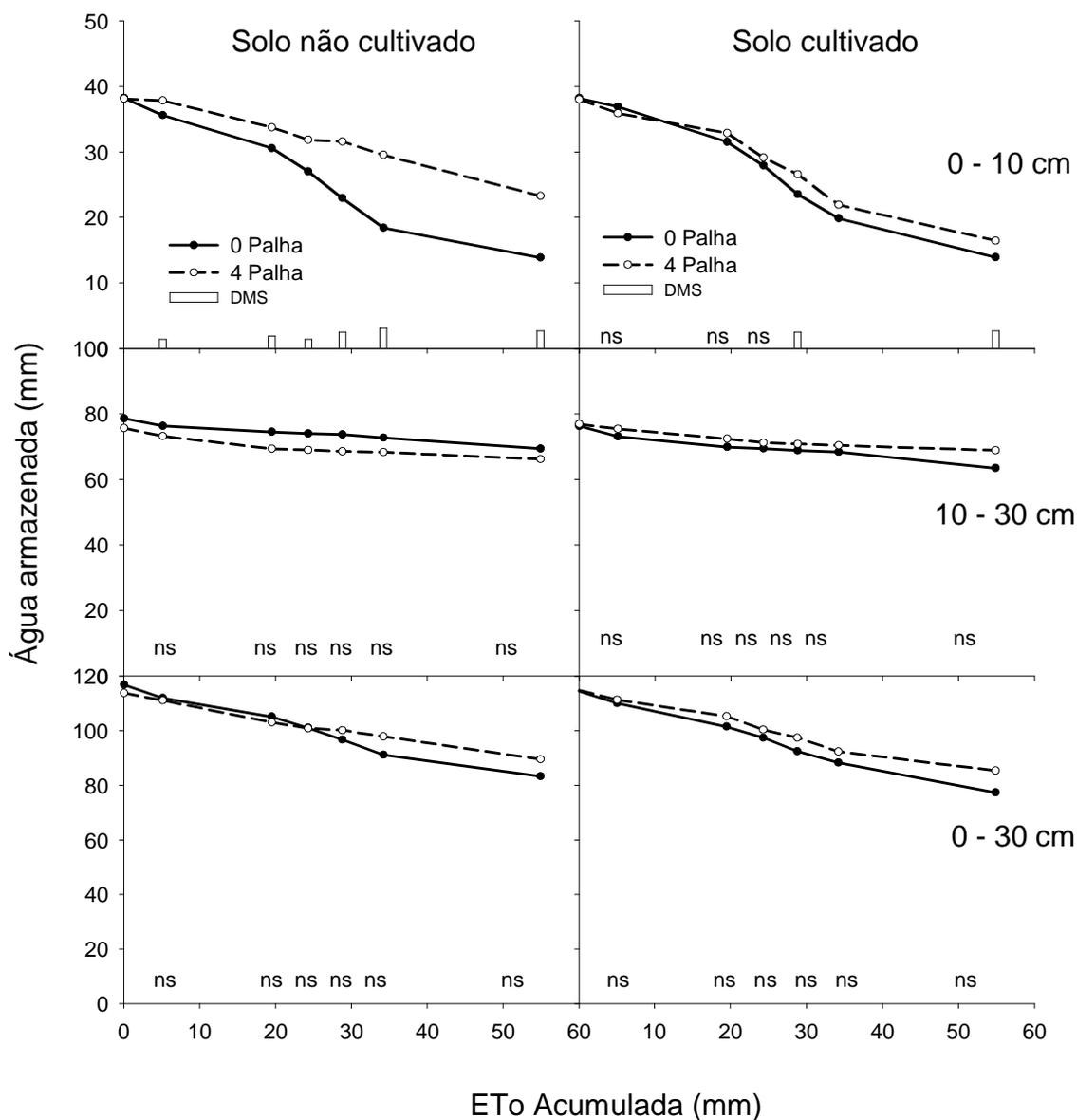


Figura 3 – Armazenamento de água no solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, durante o primeiro ciclo de secagem da época I - novembro (02 aos 13 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P < 0,05). Las Brujas, 2010.

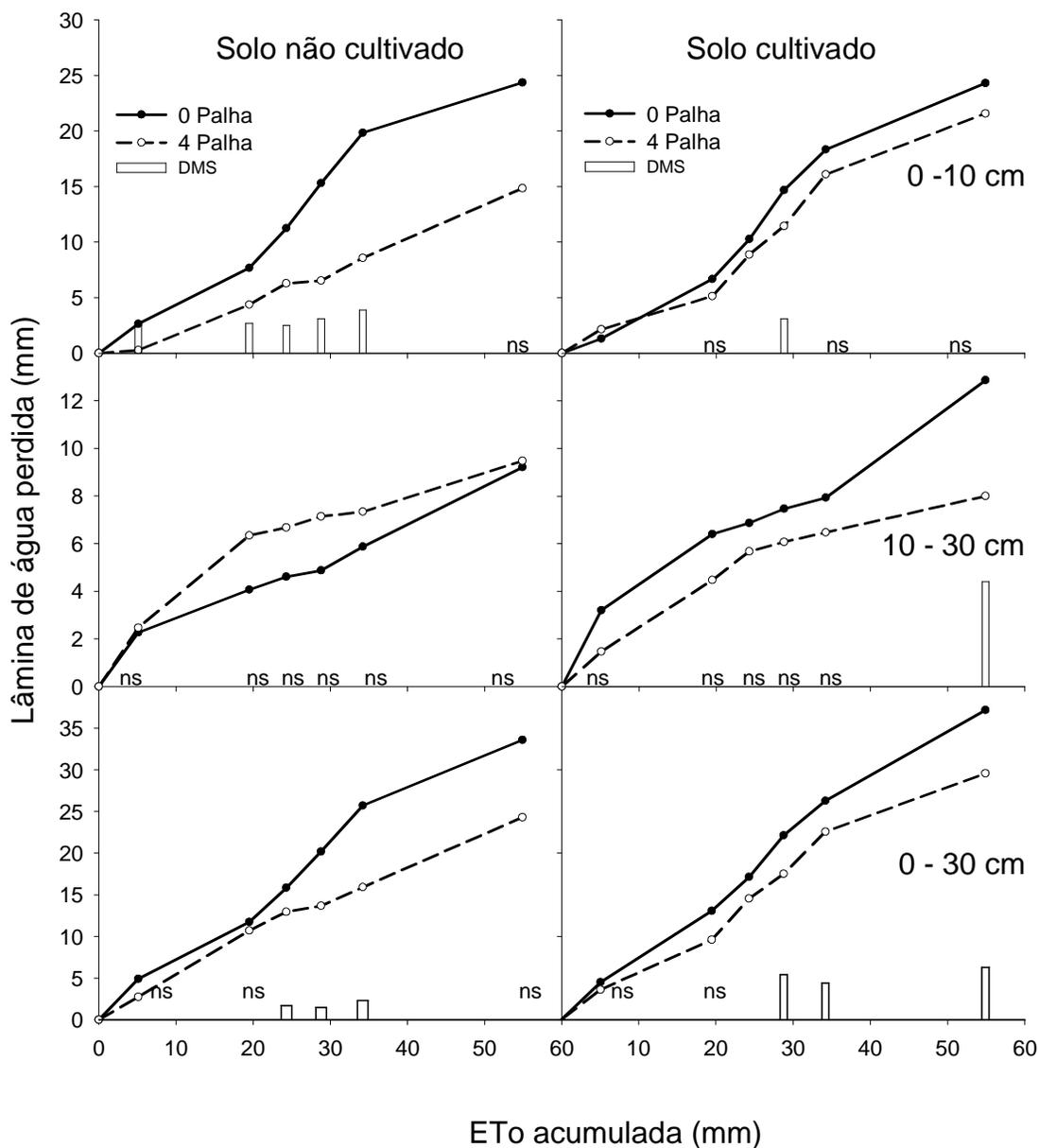


Figura 4 – Perda acumulada de água do solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, no primeiro ciclo de secagem da época I - novembro (02 aos 13 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.

Stone e Moreira (2000) verificaram que o plantio direto com adequada cobertura da superfície por resíduos vegetais apresentou maior economia de água por reduzir a evaporação direta quando comparado ao plantio direto sem a cobertura.

Segundo ciclo de secagem do solo

O segundo ciclo de secagem do solo para a época I começou após uma irrigação de 50 mm, realizada no dia 18 de novembro (14 DAS) e foi encerrado no dia 25 de novembro (21 DAS), com uma duração de 6 dias. A EToac para o período foi de 37 mm, apresentando um valor médio de 6,17 mm dia⁻¹. Os resultados de armazenamento de água no perfil do solo durante o segundo ciclo de secagem para as camadas de 0 a 10 cm, 10 a 30 cm e 0 a 30 cm em função da EToac são apresentados na Figura 5.

A cobertura e o cultivo do solo não ocasionaram interação no armazenamento de água no solo durante o ciclo de secagem (APÊNDICE E). No entanto, foi observado efeito no armazenamento de água em relação à presença de cobertura na superfície até os 11 mm de Etoac. Nesse período as perdas de água na camada 0 a 10 cm de profundidade foram maiores no solo sem palha (APÊNDICE F).

Ao final do ciclo de secagem (37 mm de EToac), a quantidade de água perdida do solo foi semelhante entre os tratamentos com cobertura e sem cobertura por resíduos vegetais (Figura 6). Bond e Willis (1969), trabalhando com evaporação de água do solo, encontraram que, na fase de inicial de secagem do solo, a taxa de evaporação foi alterada pela presença de resíduos na superfície. Essa taxa foi menor nos tratamentos em que a quantidade de resíduos era maior. Para esses autores, após um período de secagem prolongado, as perdas acumuladas de água por evaporação foram iguais, independentemente da quantidade de resíduo na superfície do solo.

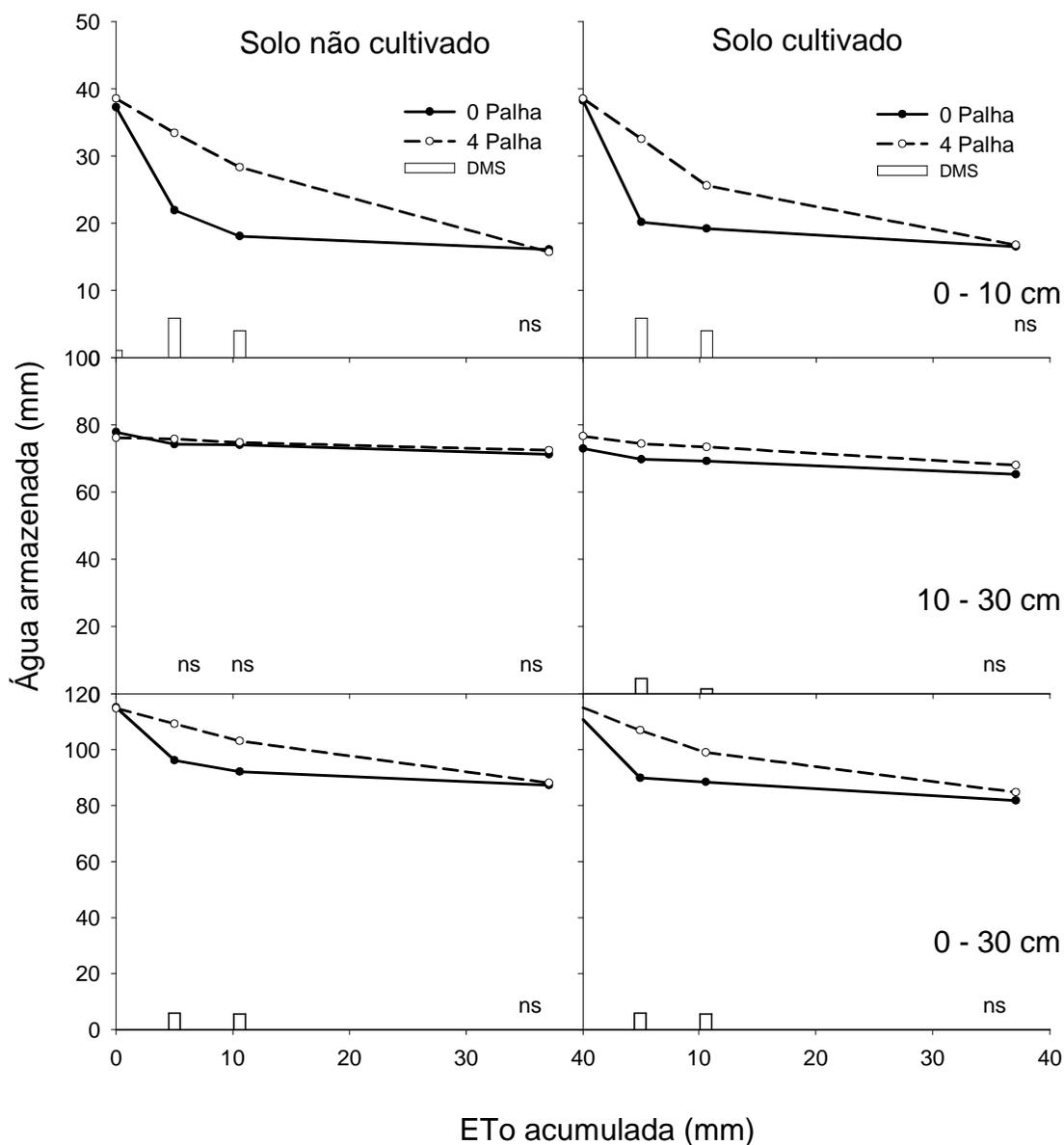


Figura 5 - Armazenamento de água no solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, durante o segundo ciclo de secagem da época I - novembro (15 aos 21 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.

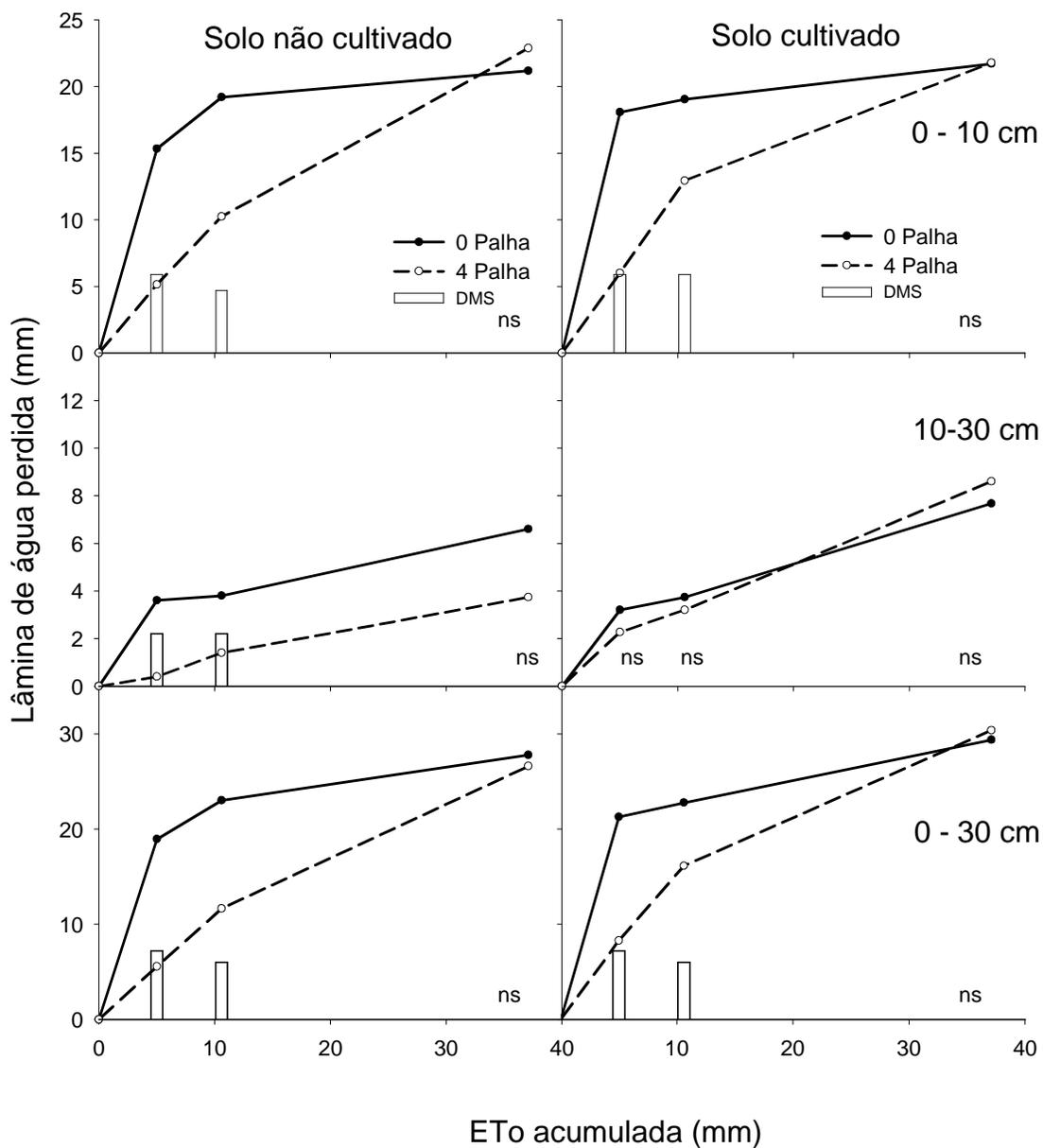


Figura 6 – Perda acumulada de água do sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, no segundo ciclo de secagem da época I - novembro (15 aos 21 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.

A presença de cobertura não ocasionou diferenças no armazenamento de água no solo na camada de 10 a 30 cm de profundidade do solo. O armazenamento de água observado na camada de 0 a 30 cm de profundidade apresentou o mesmo comportamento que na camada 0 a 10 cm, com mais quantidade de água armazenada no solo mantido com cobertura de palha que no solo sem cobertura. As perdas de água acumuladas foram maiores no solo sem cobertura até os 11 mm de ET_{oac} .

Na Tabela 4, são apresentados os valores de ET_c e da relação entre ET_c e ET_o observados nos períodos de 0 a 10 mm e de 0 a 40 mm de ET_{oac} no primeiro e segundo ciclo de secagem da época I de cultivo.

Tabela 4 – Evapotranspiração cultural (ET_c) e relação evapotranspiração cultural com a evapotranspiração de referência (ET_c/ET_o) para a época I de cultivo. Las Brujas, 2010.

Período ET_o (mm)	Ciclo de secagem	Não cultivado				Cultivado			
		Cobertura do solo ($Mg\ ha^{-1}$)							
		0		4		0		4	
		$ET_{c,ac}$ (mm)	$\frac{ET_{c,ac}}{ET_{o,ac}}$	$ET_{c,ac}$ (mm)	$\frac{ET_{c,ac}}{ET_{o,ac}}$	ET_c (mm)	$\frac{ET_{c,ac}}{ET_{o,ac}}$	$ET_{c,ac}$ (mm)	$\frac{ET_{c,ac}}{ET_{o,ac}}$
0 – 10	Primeiro	4,8	0,48	1,8	0,18	3,3	0,33	3,3	0,33
	Segundo	15,3	1,53	5,1	0,51	18,6	1,86	6,0	0,60
0 - 40	Primeiro	21,1	0,53	10,3	0,26	20,4	0,51	17,8	0,45
	Segundo	21,4	0,54	22,0	0,55	21,7	0,54	21,7	0,54

$ET_{c,ac}$ = evapotranspiração cultural acumulada; $ET_{o,ac}$ = evapotranspiração de referência acumulada.

A taxa de evaporação, com 10 mm de $ET_{o,ac}$, foi mais elevada no segundo ciclo de secagem que no primeiro ciclo, atingindo valores de 1,53 e 1,86 nos tratamentos sem cobertura do solo, enquanto que no primeiro ciclo de secagem do solo esses valores foram 0,48 e 0,33. Ao considerar o período entre 0 e 40 mm de $ET_{o,ac}$, observa-se uma taxa de evaporação semelhante nos dois ciclos de secagem, com valores que variaram entre 0,25 e 0,55. Para ambos os ciclos de secagem, é possível afirmar que a maior perda de água ocorreu por evaporação direta do solo devido à breve duração destes. Aos 21 DAS, no final do segundo ciclo de secagem, as plantas não apresentavam área foliar elevada para reduzir a evaporação de água

do solo. Ocorreu perda de plantas devido à entrada de animais na área experimental, antecipando o término do experimento.

4.2.2 Época II

Primeiro ciclo de secagem

O primeiro ciclo de secagem do solo na época II iniciou após uma irrigação de 60 mm no dia 23 de dezembro (14 DAS) e encerrou no dia 5 de janeiro (27 DAS), com uma duração de 12 dias. A ET_{oac} para o período foi de 65 mm, significando um valor médio de $5,4 \text{ mm dia}^{-1}$. Os resultados da água armazenada no perfil do solo para as camadas de 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm em função da ET_{oac} são apresentados na Figura 7.

Observou-se interação entre os fatores para o armazenamento e nas perdas acumuladas de água do solo (APÊNDICE G; APÊNDICE H). No solo não cultivado, até os 27 mm de ET_{oac} , as perdas de água na camada 0 a 10 cm foram mais elevadas no tratamento sem cobertura do que no solo com cobertura de palha, atingindo valores médios de 19 e 10 mm, respectivamente. A partir dessa ET_{oac} , o solo sem cobertura encontrava-se seco na superfície, reduzindo as perdas de água por evaporação enquanto que no solo coberto a evaporação continuava, de forma que as perdas finais foram semelhantes (Figura 8).

Na camada 10 a 30 cm de profundidade, no solo não cultivado, a diminuição do armazenamento de água foi menor e não se observaram diferenças entre os tratamentos de cobertura do solo. Entretanto, no solo cultivado ocorreu diminuição do armazenamento na camada 10 a 30 cm, com efeito da cobertura na perda acumulada de água aos 65 mm de ET_{oac} , apresentando valores de 38 e 50 mm no solo com cobertura e sem cobertura, respectivamente. Araya e Stroosnijder (2010), estudando técnicas de conservação de água na Etiópia, encontraram efeito da cobertura do solo por resíduos vegetais no aumento da água no solo, mas esse aumento não resultou na melhora dos rendimentos obtidos na cultura da cevada.

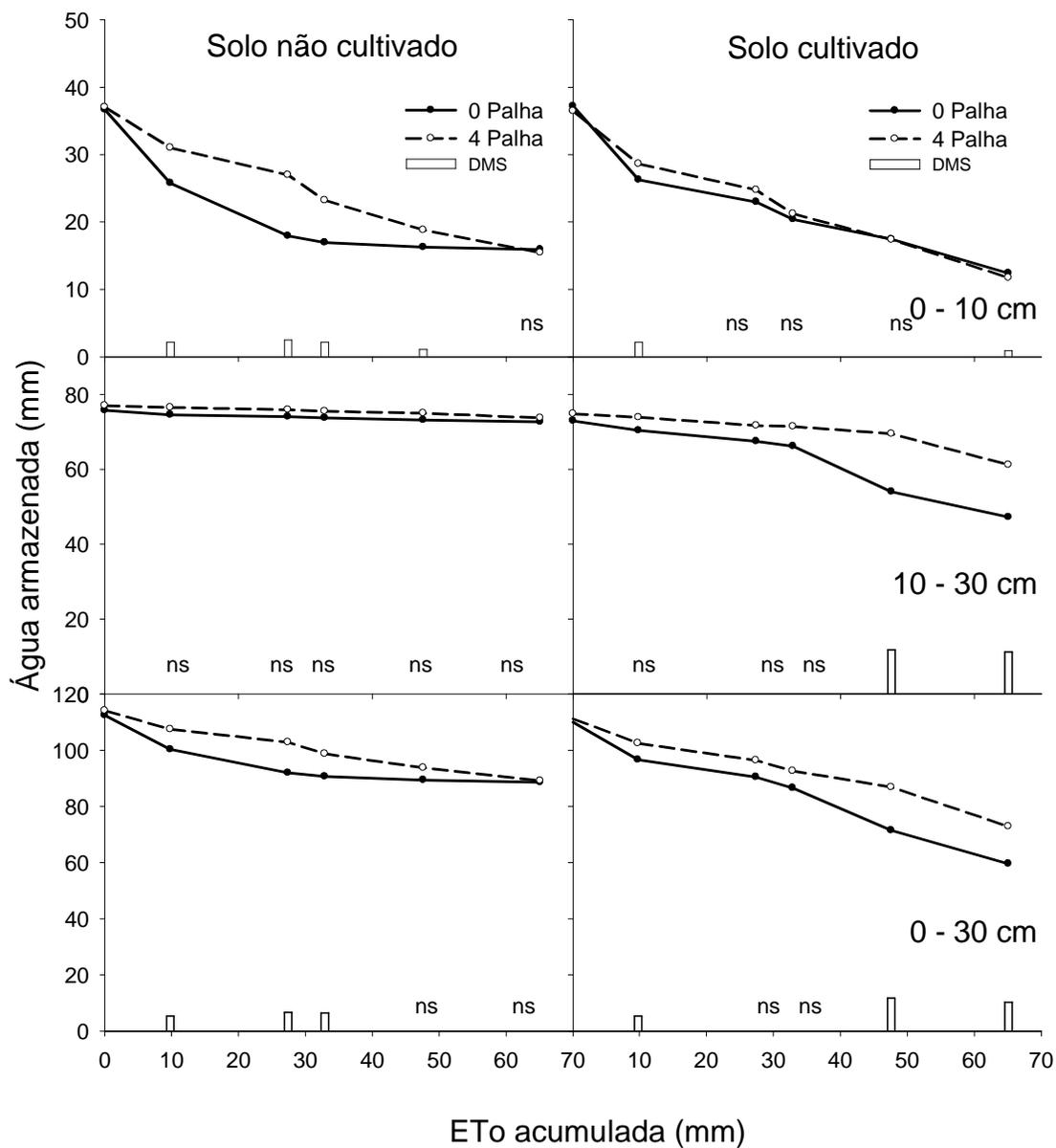


Figura 7 – Armazenamento de água no solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, durante o primeiro ciclo de secagem da época II - dezembro (15 aos 27 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.

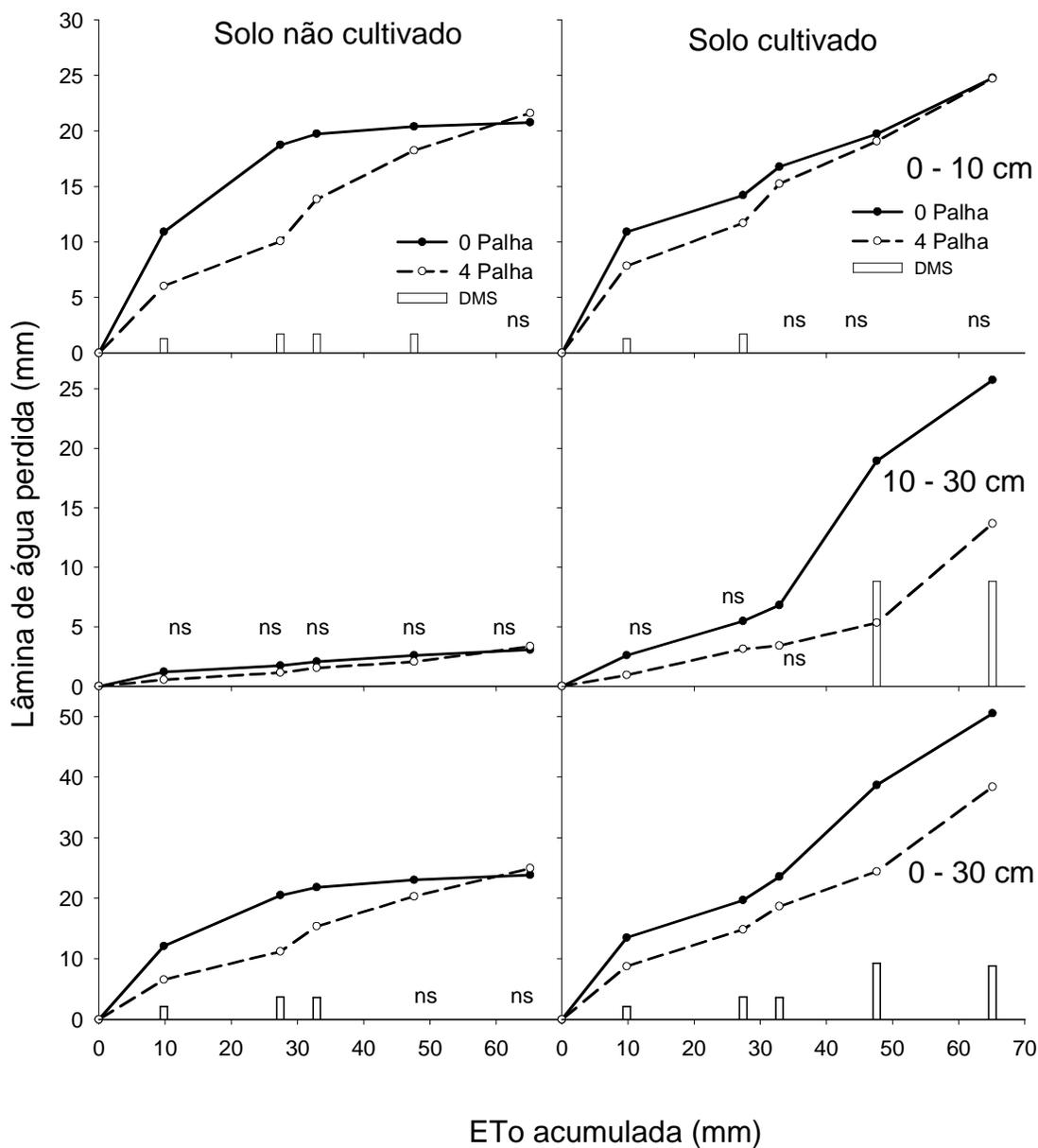


Figura 8 – Perda acumulada de água do sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, no primeiro ciclo de secagem da época II - dezembro (15 aos 27 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.

Segundo ciclo de secagem

O segundo ciclo de secagem do solo para a época II iniciou após uma irrigação de 30 mm, aplicada no dia 5 de janeiro (27 DAS), e encerrou no dia 12 de janeiro (33 DAS), com duração de 6 dias. A ET_{oac} para o período foi de 41 mm, representando um valor médio de $6,83 \text{ mm dia}^{-1}$. A água armazenada no perfil do solo durante o segundo ciclo de secagem para as camadas de 0 a 10 cm, 10 a 30 cm e 0 a 30 cm, em função da ET_{oac} , é apresentada na Figura 9.

Neste ciclo de secagem, a primeira medição do conteúdo de água no solo ocorreu aos 14 mm de ET_{oac} , pois nesse período não foi possível fazer as medições de umidade conforme planejadas para a condução do experimento.

O armazenamento de água no solo não cultivado, na camada 0 a 10 cm de profundidade, aos 14 mm de ET_{oac} , foi maior no tratamento com cobertura do que no tratamento sem cobertura, apresentando valores médios de 25 e 19 mm, respectivamente.

No solo cultivado, os resultados do armazenamento de água foram semelhantes nos tratamentos com a presença ou ausência de cobertura. Foi observado efeito significativo do cultivo tanto no armazenamento (APÊNDICE I) como nas perdas de água do solo (APÊNDICE J). Os resultados das perdas de água (Figura 10) foram maiores no solo cultivado; devido à transpiração das plantas, o sistema radicular da cultura absorveu água da camada de 10 a 30 cm. Dessa forma, ao analisar o armazenamento na camada de 0 a 30 cm de profundidade, o solo cultivado apresentou menor armazenamento do que o não cultivado. Almeida et al. (2008) observaram que a presença de palha em superfície diminui a evaporação da água em diferentes tipos de solos. Nesse estudo, a redução na evaporação proporcionada pela presença de palha na superfície do solo foi em média 26% nos primeiros quatro dias após a irrigação.

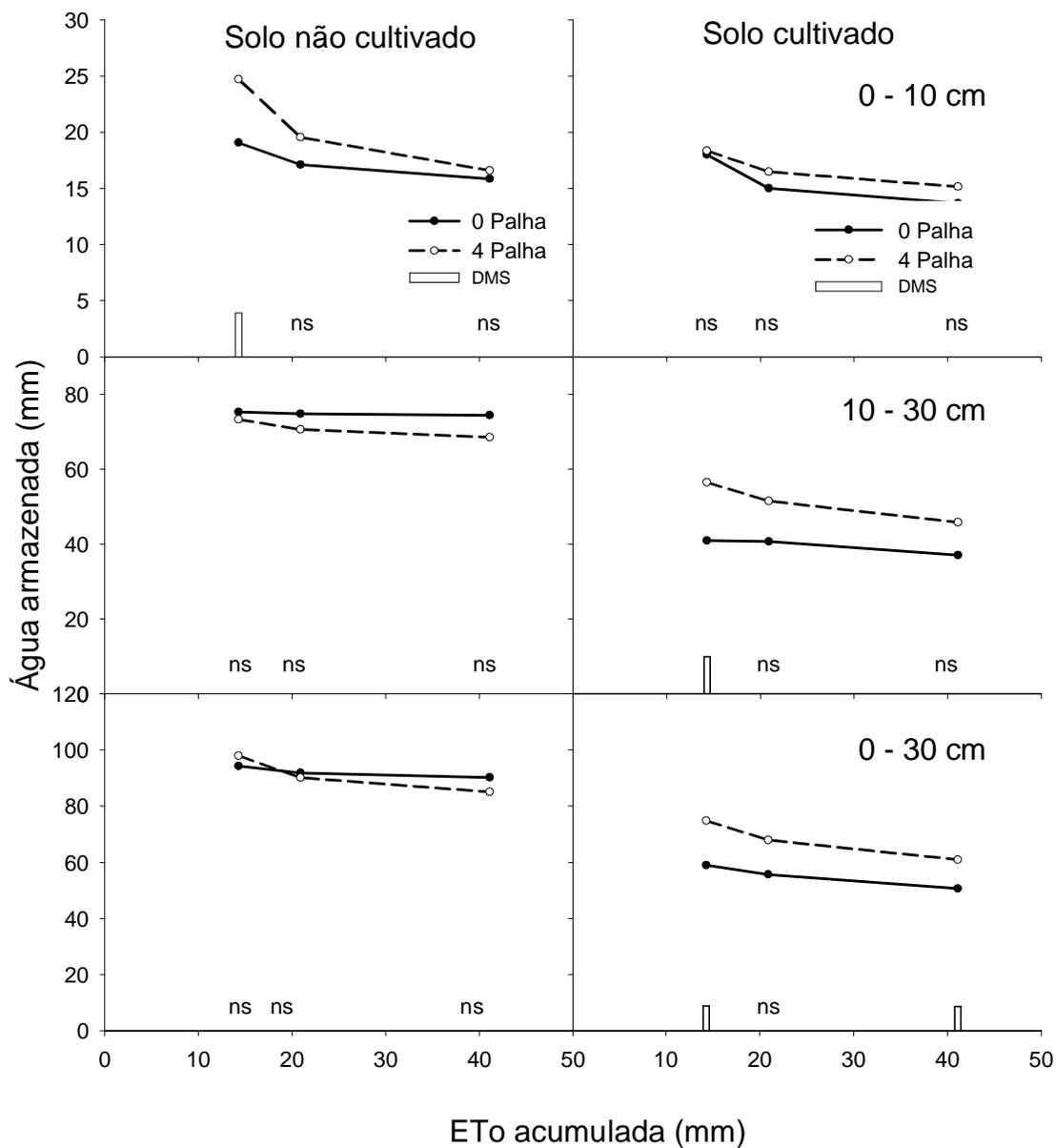


Figura 9 - Armazenamento de água sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, durante o segundo ciclo de secagem da época II - dezembro (28 aos 34 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.

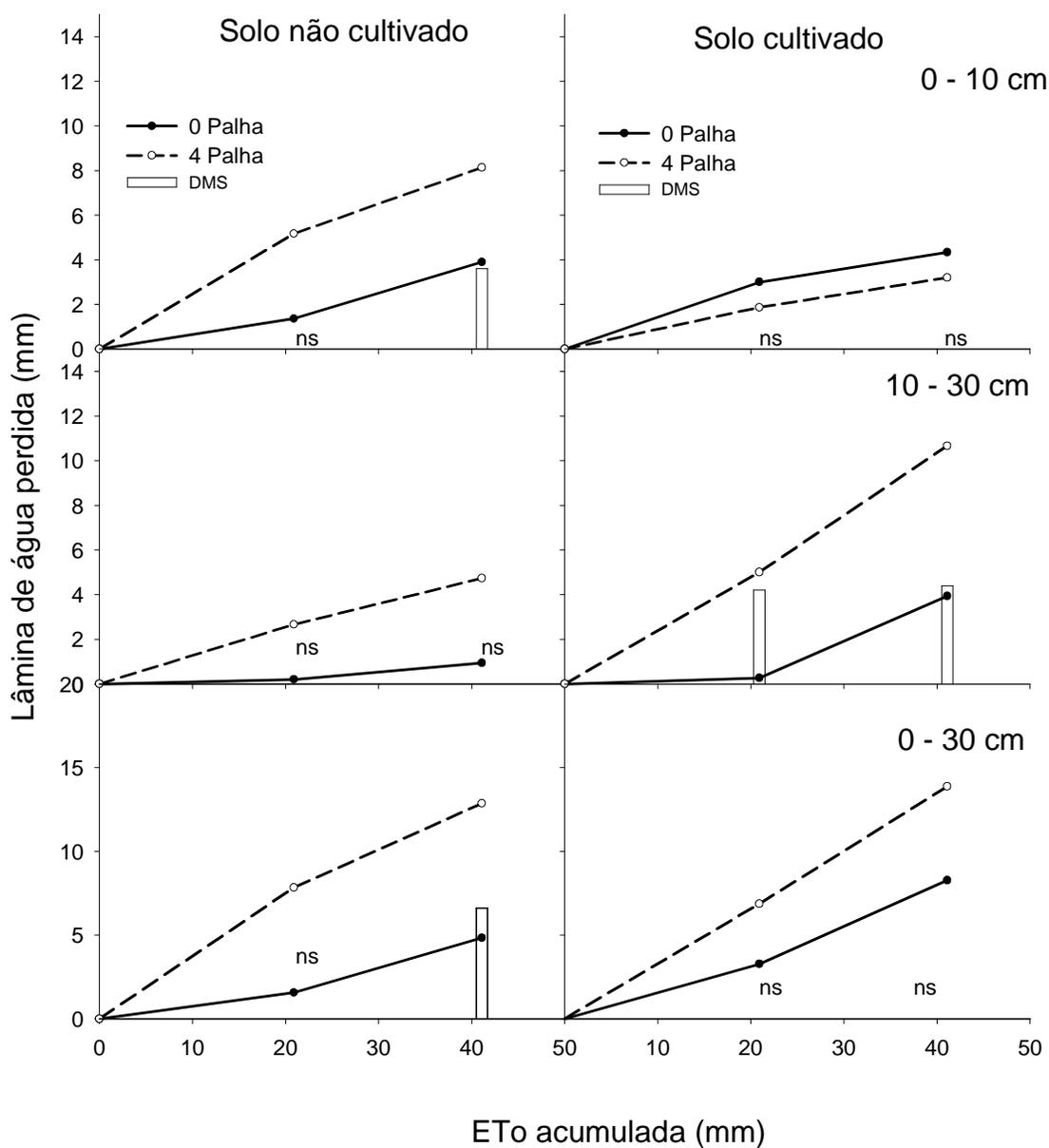


Figura 10 – Perda acumulada de água do solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, no segundo ciclo de secagem da época II - dezembro (28 aos 34 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.

Os valores de ET_c e a razão ET_c/ET_o para os períodos 0 a 10 e 0 a 40 mm de ET_{oac} , no primeiro ciclo de secagem da época II de cultivo, são apresentados na Tabela 5. Os resultados do segundo ciclo de secagem não foram incluídos pelo fato de que a primeira medição de umidade do solo foi realizada após 14 mm de ET_{oac} , o que não permitiu determinar corretamente o armazenamento de água logo após a irrigação, não sendo possível calcular adequadamente a evapotranspiração nesse período.

Tabela 5 - Evapotranspiração cultural (ET_c) e relação evapotranspiração cultural com a evapotranspiração de referência (ET_c/ET_o) para a época II de cultivo. Las Brujas, 2010.

Período ET_o (mm)	Ciclo de secagem	Não cultivado				Cultivado			
		Cobertura do solo ($Mg\ ha^{-1}$)							
		0		4		0		4	
		$ET_{c,ac}$ (mm)	$\frac{ET_{c,ac}}{ET_{o,ac}}$	$ET_{c,ac}$ (mm)	$\frac{ET_{c,ac}}{ET_{o,ac}}$	ET_c (mm)	$\frac{ET_{c,ac}}{ET_{o,ac}}$	$ET_{c,ac}$ (mm)	$\frac{ET_{c,ac}}{ET_{o,ac}}$
0 – 10	Primeiro	10,9	1,09	0,6	0,60	10,9	1,09	7,8	0,78
0 – 40	Primeiro	20,2	0,51	15,5	0,39	18,3	0,46	16,6	0,42

ET_{oac} = evapotranspiração de referência acumulada; $ET_{c,ac}$ = evapotranspiração cultural acumulada.

Maiores taxas médias de evaporação foram observadas no período compreendido entre 0 e 10 mm de ET_{oac} do que no período de 0 a 40 mm de ET_{oac} . A taxa de evaporação depende da quantidade de água presente na camada superficial do solo. Após o umedecimento, a taxa resulta alta e decresce na medida que diminui a umidade do solo. A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo resultou em menores taxas de evaporação da água. Esse efeito foi mais evidenciado nos primeiros dias após o umedecimento do solo.

4.2.3 Época III

Primeiro ciclo de secagem

O primeiro ciclo de secagem do solo na época III iniciou após uma chuva de 30 mm, no dia 3 de fevereiro (19 DAS), e encerrou no dia 12 de fevereiro (29 DAS), com uma duração de 9 dias. A ET_{oac} para o período foi de 38 mm, representando um valor médio de $4,2 \text{ mm dia}^{-1}$. A água armazenada no perfil do solo durante o primeiro ciclo de secagem para as camadas de 0 a 10 cm, 10 a 30 cm e 0 a 30 cm em função da ET_{oac} , está apresentada na Figura 11.

Os fatores cobertura e cultivo do solo não apresentaram interação no armazenamento de água no solo nem nas perdas de água acumuladas. Foi observado maior armazenamento de água nos tratamentos com cobertura na camada 0 a 10 cm de profundidade. No solo cultivado, diferenças foram observadas até 34 mm de ET_{oac} , com valores de 15 e 18 mm para o solo com e sem cobertura, respectivamente. Com 38 mm de ET_{oac} , tanto no solo com quanto sem cobertura, foram observados valores semelhantes de água armazenada.

O armazenamento de água na camada 10 a 30 cm de profundidade no solo não cultivado não apresentou diferenças entre o solo com e sem cobertura. No armazenamento na camada de 0 a 30 cm de profundidade no solo não cultivado, também não foram verificadas diferenças entre os tratamentos de cobertura.

Na camada de 10 a 30 cm de profundidade, o armazenamento de água foi maior no solo com cobertura (60 mm) do que no sem cobertura (47 mm), no solo cultivado. Este mesmo comportamento foi observado para a camada de 0 a 30 cm de profundidade durante todo o ciclo de secagem.

No solo não cultivado, a perda de água acumulada na camada 0 a 10 cm de profundidade aos 8 mm de ET_{oac} foi maior no solo sem cobertura do que naquele com cobertura, apresentando perdas de 9 e 4 mm, respectivamente (Figura 12). Ao final do ciclo de secagem (38 mm de ET_{oac}), as perdas foram semelhantes para ambos os tratamentos (APÊNDICE L). Com o rápido ressecamento da camada superficial, ocorre quebra da continuidade capilar, não sendo possível a manutenção

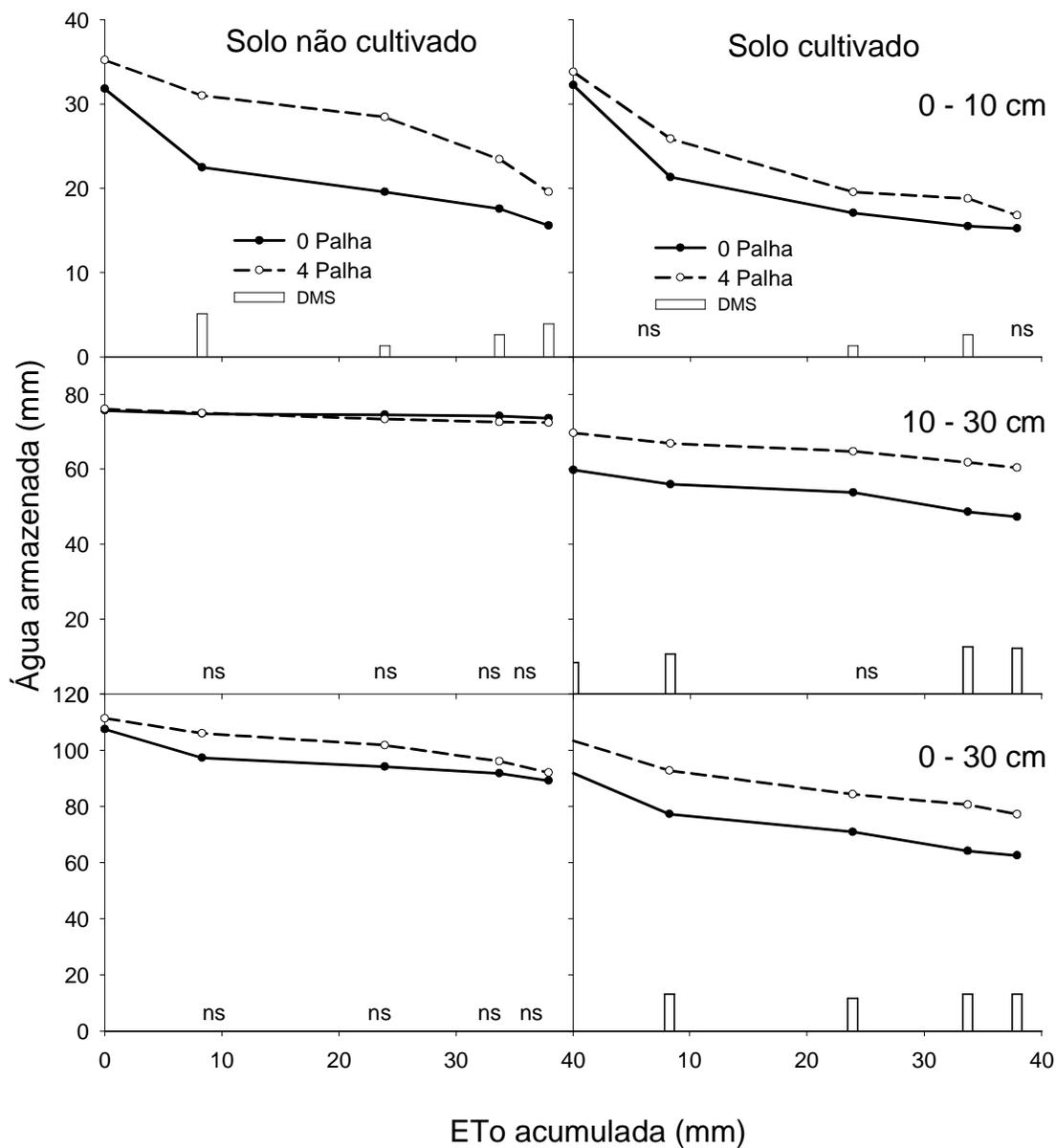


Figura 11 - Armazenamento de água no solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, durante o primeiro ciclo de secagem da época III - janeiro (21 aos 29 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.

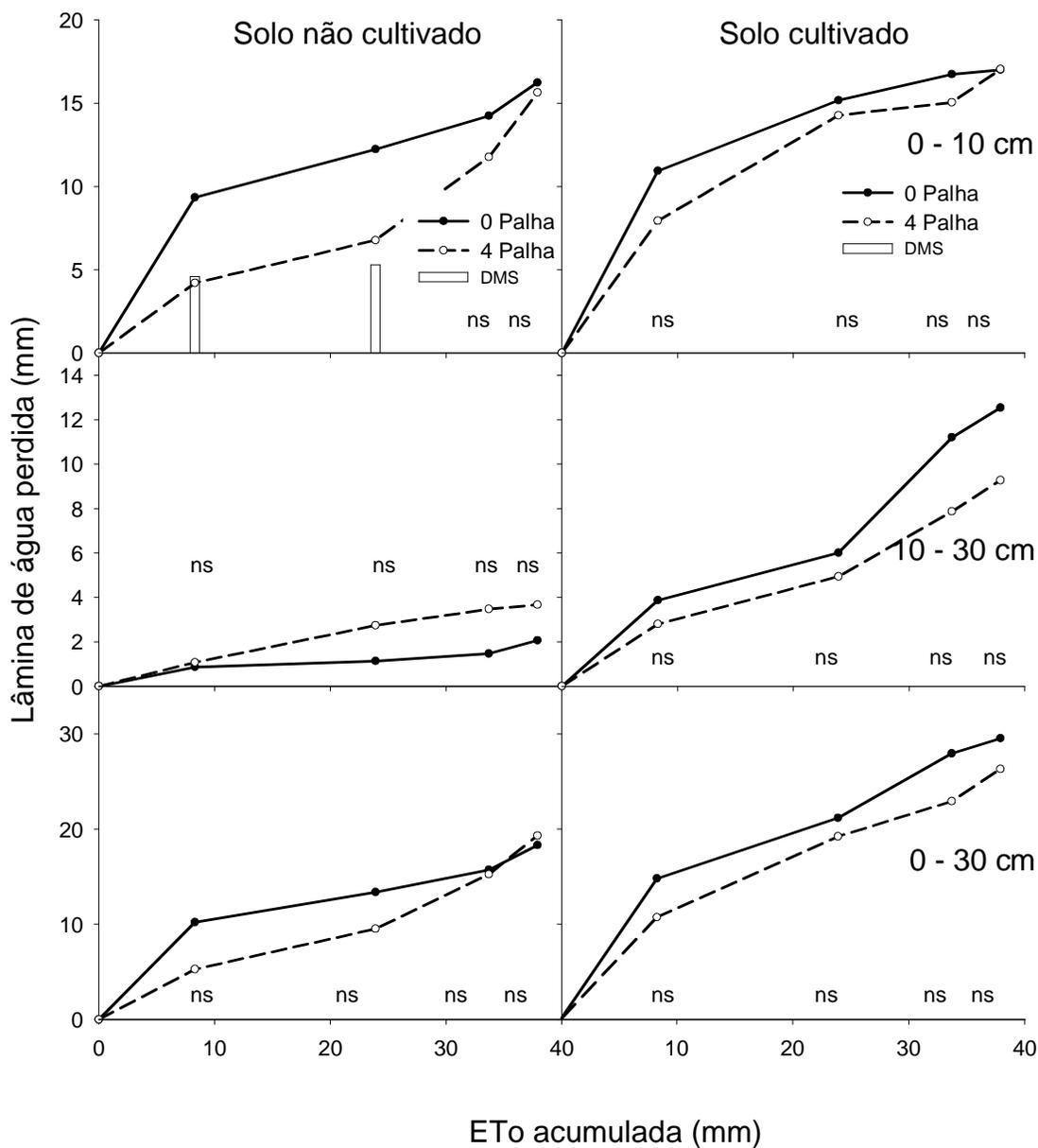


Figura 12 – Perda acumulada de água do solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, no primeiro ciclo de secagem da época III - janeiro (21 aos 29 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.

do fornecimento de água das camadas inferiores para as superficiais, para manter o processo de evaporação em sua taxa potencial. Desta forma, a secagem da camada superficial forma uma barreira ao fluxo de água para a atmosfera, reduzindo as perdas de água do solo por evaporação. Andrade (2008) observou que o efeito da cobertura do solo com resíduos vegetais na redução das perdas de água por evaporação foi mais pronunciada na camada de 0 a 10 cm de profundidade do solo. As perdas foram reduzidas por meio da cobertura da superfície com resíduos de aveia-preta, na cultura do milho.

Segundo ciclo de secagem

O segundo ciclo de secagem do solo na época III iniciou após uma irrigação de 50 mm no dia 13 de fevereiro (30 DAS) e encerrou no dia 20 de fevereiro (37 DAS), com uma duração de 6 dias. A ET_o ac para o período foi de 28 mm, representando um valor médio de $4,7 \text{ mm dia}^{-1}$. A água armazenada no perfil do solo, durante o segundo ciclo de secagem para as camadas de 0 a 10 cm, 10 a 30 cm e 0 a 30 cm em função da ET_o ac, está apresentada na Figura 13.

Nesse ciclo de secagem do solo, não houve interação entre os fatores cobertura do solo e cultivo do solo (APÊNDICE M). Foi observado efeito do cultivo na variação de armazenamento de água no solo em todas as camadas deste. No solo cultivado, o armazenamento de água na camada de 0 a 10 cm de profundidade, aos 29 mm de ET_o ac, foi maior no solo com cobertura do que no sem cobertura, apresentando armazenamento de 23 e 19 mm, respectivamente.

No solo não cultivado, a perda de água acumulada com 10 mm de ET_o ac no solo sem e com cobertura foi de 9,9 mm e de 4,4 mm, respectivamente (Figura 14). O solo cultivado apresentou maior perda de água que o sem cultivo, independentemente do efeito da presença de resíduos vegetais na superfície do solo. Entretanto, para o solo não cultivado, foi verificado efeito significativo da cobertura do solo na diminuição das perdas de água (APÊNDICE N).

Na camada de 10 a 30 cm de profundidade, o armazenamento de água foi menor no solo cultivado. Na camada de 0 a 30 cm de profundidade, não foram verificadas diferenças significativas para o fator cobertura do solo; nesse ciclo de

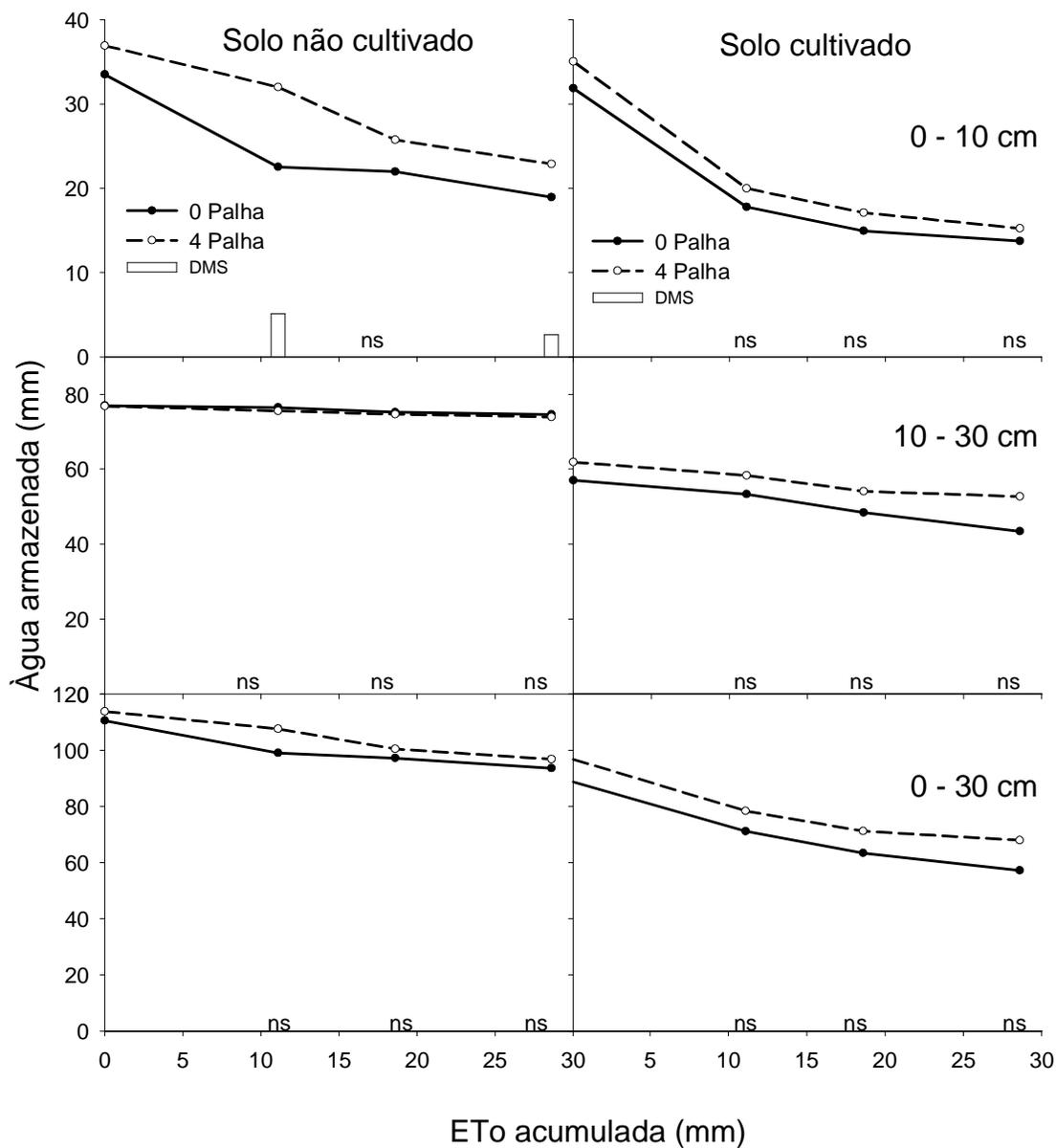


Figura 13 – Armazenamento de água no solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, durante o segundo ciclo de secagem da época III - janeiro (31 aos 37 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.

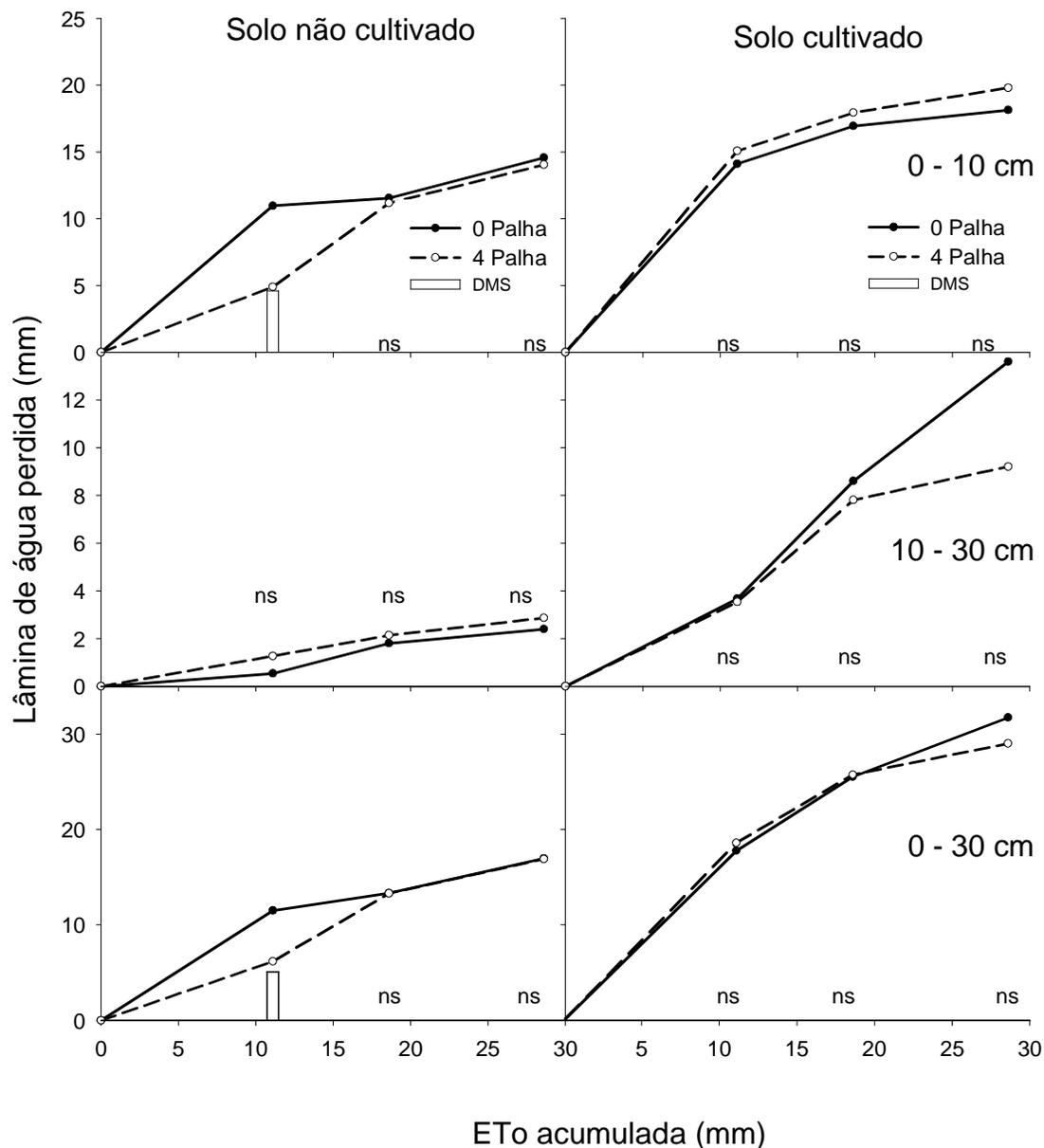


Figura 14 – Perda acumulada de água do solo sob dois níveis de cobertura (0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha de aveia) com e sem o cultivo da soja, nas camadas 0 - 10 cm, 10 - 30 cm e 0 - 30 cm, no segundo ciclo de secagem da época III - janeiro (31 aos 37 DAS). As barras verticais indicam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, ns: não significativo (P<0,05). Las Brujas, 2010.

secagem as plantas apresentavam um IAF maior, provocando sombreamento nas entrelinhas de cultivo. Com o fechamento das entrelinhas de cultivo pelas folhas das plantas, aumenta-se a interceptação da radiação solar (BERGAMASCHI et al., 2004), desfavorecendo o processo de evaporação da água do solo. Nesse momento, a fração transpiração das plantas é incrementada no consumo de água do cultivo.

Os resultados de ET_c e a razão ET_c/ET_o para a época III de cultivo, nos períodos 0 a 10 mm e 0 a 30 mm de ET_{oac} , são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - ET_c e relação ET_c/ET_o para a época III de cultivo. Santa Maria, 2010.

Período ET_o (mm)	Ciclo de secagem	Não cultivado				Cultivado			
		Cobertura do solo ($Mg\ ha^{-1}$)							
		0		4		0		4	
		$ET_{c,ac}$ (mm)	$\frac{ET_{c,ac}}{ET_{o,ac}}$	$ET_{c,ac}$ (mm)	$\frac{ET_{c,ac}}{ET_{o,ac}}$	ET_c (mm)	$\frac{ET_{c,ac}}{ET_{o,ac}}$	$ET_{c,ac}$ (mm)	$\frac{ET_{c,ac}}{ET_{o,ac}}$
0 – 10	Primeiro	9,8	0,98	4,7	0,47	11,5	1,15	8,7	0,87
	Segundo	9,9	0,99	4,4	0,44	12,7	1,27	14,1	1,41
0 - 30	Primeiro	13,7	0,46	10,0	0,33	16,3	0,54	14,7	0,49
	Segundo	14,5	0,48	14,0	0,47	18,1	0,60	19,9	0,66

ET_o = evapotranspiração de referência; ET_c = evapotranspiração da cultura.

As taxas de evaporação observadas no solo sem cultivo foram semelhantes em ambos os ciclos de secagem. No entanto, no solo cultivado as taxas de evaporação foram maiores no segundo ciclo de secagem. Isso ocorreu devido ao fato de que as plantas apresentavam maior transpiração, por causa do maior IAF. Um maior IAF no segundo ciclo de secagem resultou em maior ET_c . O aumento do IAF resulta na diminuição das perdas de água por evaporação direta do solo, e aumenta o consumo de água por transpiração da cultura.

4.5 Temperatura do solo

Os resultados de temperatura do solo, observados durante o período experimental, medidos a 5 cm de profundidade, são apresentados na Figura 15 e na profundidade de 10 cm, na Figura 16. Os resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura máxima e mínima medida a 5 cm e 10 cm de profundidade, durante o período experimental, são apresentados na Tabela 7.

Diferenças significativas nas temperaturas máximas e mínimas do solo foram observadas para o fator cobertura do solo com resíduos vegetais. A temperatura máxima do solo durante o período experimental medida na profundidade de 5 cm foi de 38,5 °C, sem cobertura, e de 32,1 °C, com cobertura (Tabela 8). Na profundidade de 10 cm, os tratamentos sem cobertura apresentaram maior temperatura máxima (35,2 °C) que no solo mantido com cobertura (28,8 °C).

Resultados de temperatura mínima mais baixa foram verificados no solo sem cobertura, tanto aos 5 cm como aos 10 cm de profundidade. A amplitude térmica observada na profundidade de 5 cm foi de 25,2 °C, no solo sem cobertura e de 16,5 °C, no solo com cobertura. A presença de cobertura ocasionou menor aquecimento do solo durante o dia e um menor resfriamento durante a noite. Na profundidade de 10 cm, a amplitude térmica foi menor que a 5 cm de profundidade, registrando valores de 20,2 °C no solo sem cobertura e de 12,5 °C no solo com cobertura. A amplitude térmica foi menor no solo com cobertura pela diminuição da temperatura máxima e pelo aumento da temperatura mínima.

Estudando a temperatura do solo, Silva et al. (2006a) observaram que em solo descoberto ocorreu maior aquecimento durante o dia e maior resfriamento durante a noite, comparado com o solo coberto por resíduos vegetais. Salton e Mielniczuk (1995) verificaram que o sistema de cultivo com cobertura do solo proporcionou menor temperatura máxima e menor amplitude térmica no solo do que os sistemas de plantio sem cobertura.

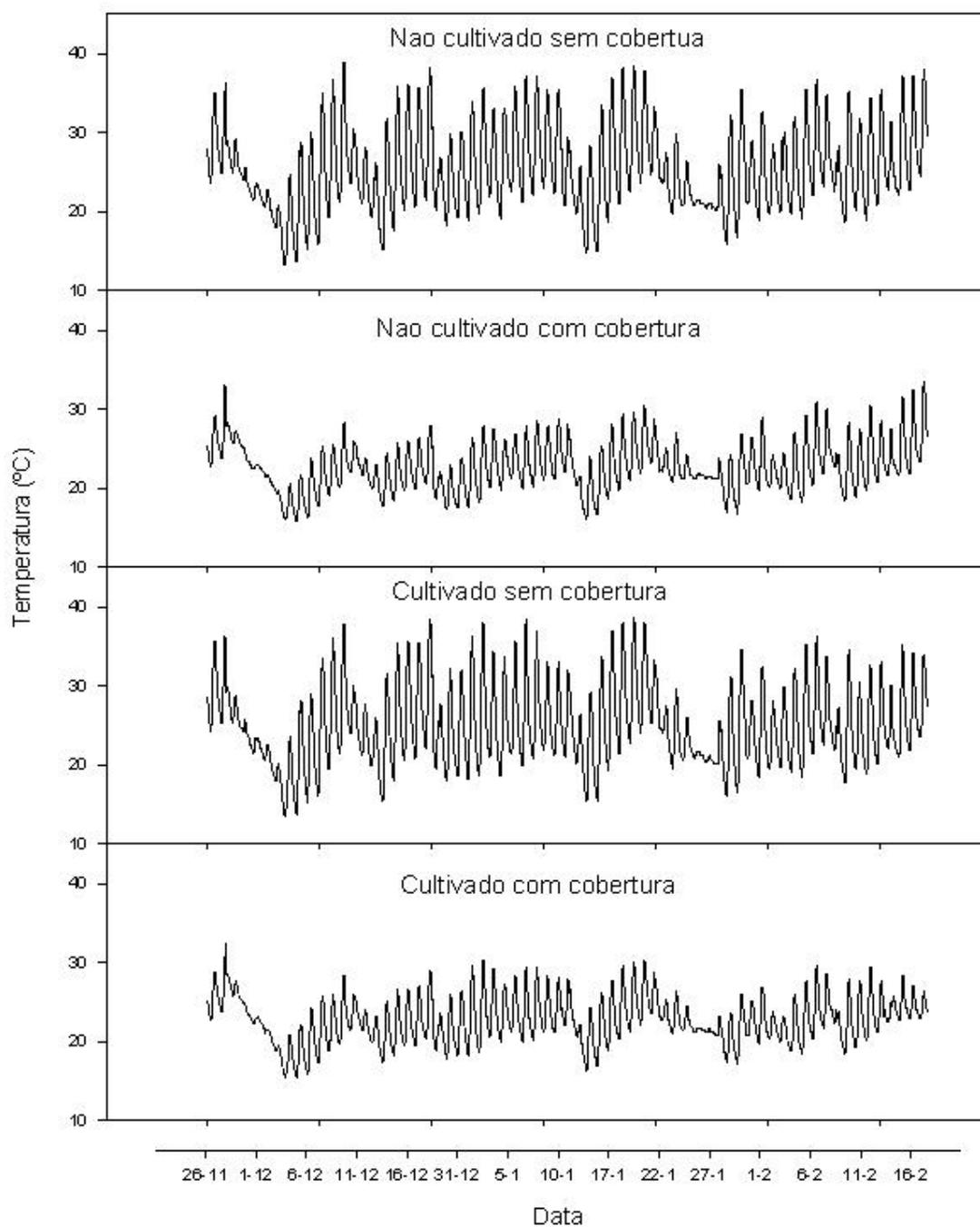


Figura 15 – Temperatura do solo aos 5 cm de profundidade, durante o período Novembro 2008 – Fevereiro 2009, em resposta à presença de cobertura na superfície do solo e cultivo. Las Brujas, 2010.

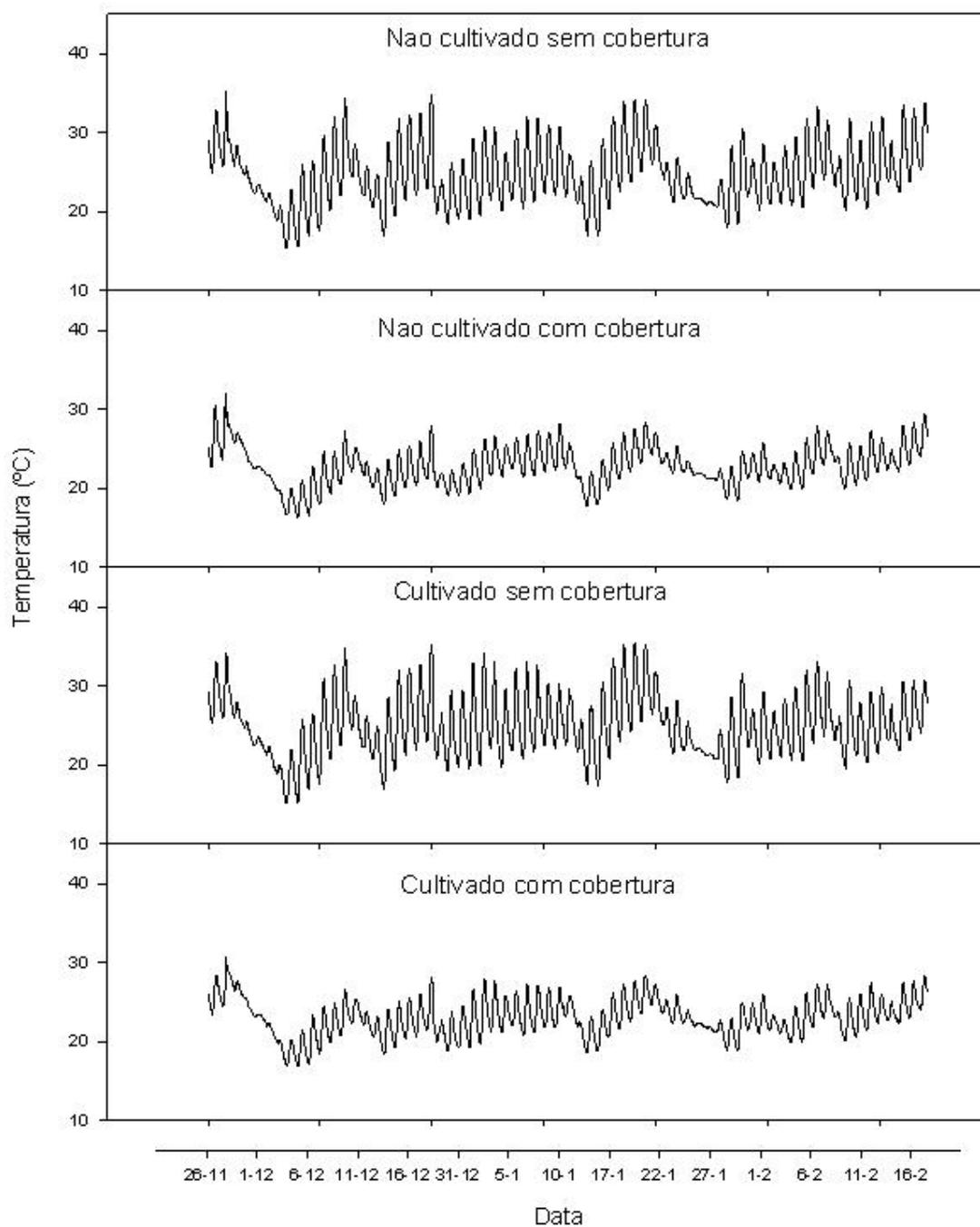


Figura 16 – Temperatura do solo aos 10 cm de profundidade durante o período Novembro 2008 – Fevereiro 2009, em resposta à presença de cobertura na superfície do solo e cultivo. Las Brujas, 2010.

Tabela 7 – Resultados do quadrado médio da análise da variância para a temperatura máxima e mínima do solo a 5 cm e 10 cm de profundidade, durante o período experimental. Las Brujas, 2010.

Variável	Cobertura	Cultivo	Interação	Q M Erro	C V (%)
Temp. máx. 5 cm	121,6*	2,253 ns	0,053 ns	0,453	1,91
Temp. máx. 10 cm	126,7*	0,083 ns	0,083 ns	0,666	2,53
Temp. mín. 5 cm	16,33*	0,001 ns	3,333 ns	0,104	2,23
Temp. mín. 10 cm	5,333*	0,083 ns	0,333 ns	0,333	3,63

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

Tabela 8 - Temperatura máxima, temperatura mínima e amplitude térmica do solo, durante o período experimental, nas profundidades de 5 e 10 cm, em resposta à presença de cobertura do solo. Las Brujas, 2010.

Profundidade (cm)	Cobertura do solo (Mg ha ⁻¹)	Temp. máxima	Temp. mínima	Amplitude térmica
		-----°C-----		
5	0	38,5 a	13,3 b	25,2
	4	32,1 b	15,7 a	16,5
	CV (%)	1,91	2,23	
10	0	35,2 a	15,3 b	20,2
	4	28,8 b	16,3 a	12,5
	CV (%)	2,53	3,63	

*Médias seguidas pela mesma letra na vertical, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5 % de probabilidade de erro.

De Moura et al (2009), avaliando a temperatura do solo sob diferentes coberturas e fases fenológicas da cultura do melão, observaram que os tipos de cobertura vegetal (palha de capim, bagaço de coco e de cana) proporcionaram menores valores de temperatura máxima nas profundidades de 5 e 10 cm, principalmente nas horas de maior disponibilidade de energia e menores valores de amplitude térmica.

Na Tabela 9, são apresentados os valores de insolação, radiação solar, temperatura do ar e velocidade do vento observados nos dias 04 de fevereiro de 2009 e 12 de fevereiro de 2009.

Tabela 9 – Variáveis climáticas dos dias 04 e 12 de fevereiro de 2009. Las Brujas, 2010.

Variável	04 de fevereiro de 2009	12 de fevereiro de 2009
Climáticas		
Insolação (h)	10	11
Radiação solar (Watt m ⁻² dia ⁻¹)	549	596
Temp. max. do ar (°C)	29,7	26
Temp. Min. do ar (°C)	16,3	13,7
Temp. Média do ar (°C)	22,3	20
Velocidade do vento (m s ⁻¹)	2,2	2,0
ET _o (mm)	4,7	4,8
De solo e cultivo		
Dias após a semeadura	21	29
IAF	0,32	0,66
Dias após a chuva	2	10
ET _o acumulada (mm)	0	38
Umidade na camada 0-10 cm (m ³ m ⁻³)	0,33	0,17

IAF= índice de área foliar

O efeito dos tratamentos na temperatura do solo ao longo do dia estão apresentados para o dia 04 de fevereiro de 2009 na Figura 17, e para o dia 12 de fevereiro de 2009 na Figura 18. Esses dias foram escolhidos porque apresentaram características semelhantes em termos de horas de insolação, radiação solar, temperatura do ar e vento. Os resultados de umidade do solo apresentavam valores médios elevados (0,33 cm³ cm⁻³) no dia 04 de fevereiro de 2009, dois dias após uma chuva de 30 mm, e valores menores (0,17 cm³ cm⁻³) no dia 12 de fevereiro de 2009, 10 dias após a chuva.

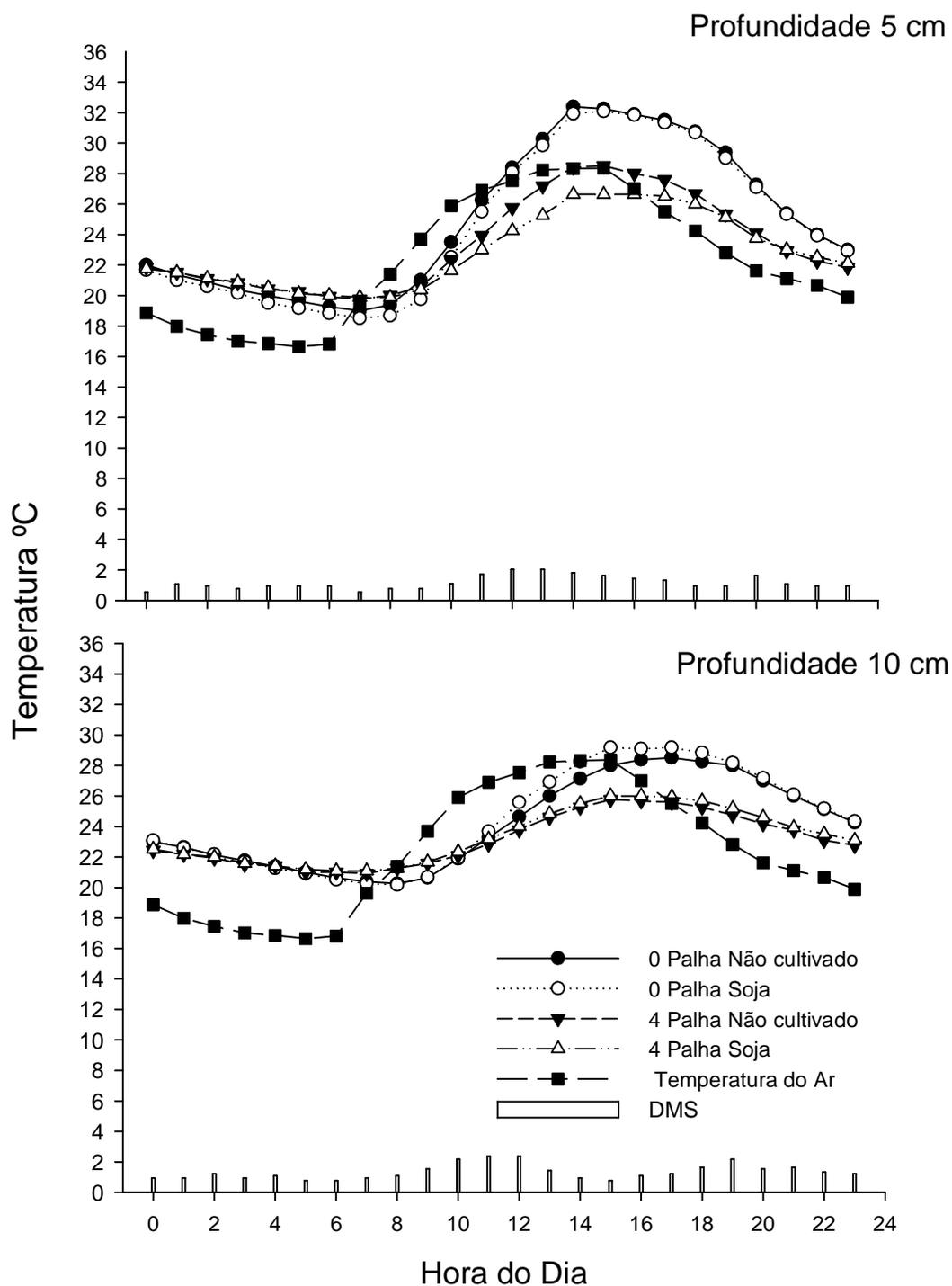


Figura 17 - Temperatura do solo durante o dia 4 de fevereiro nos tratamentos Não cultivado 0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha na superfície e solo cultivado 0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, nas profundidades de 5 e 10 cm. As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos. Las Brujas, 2010.

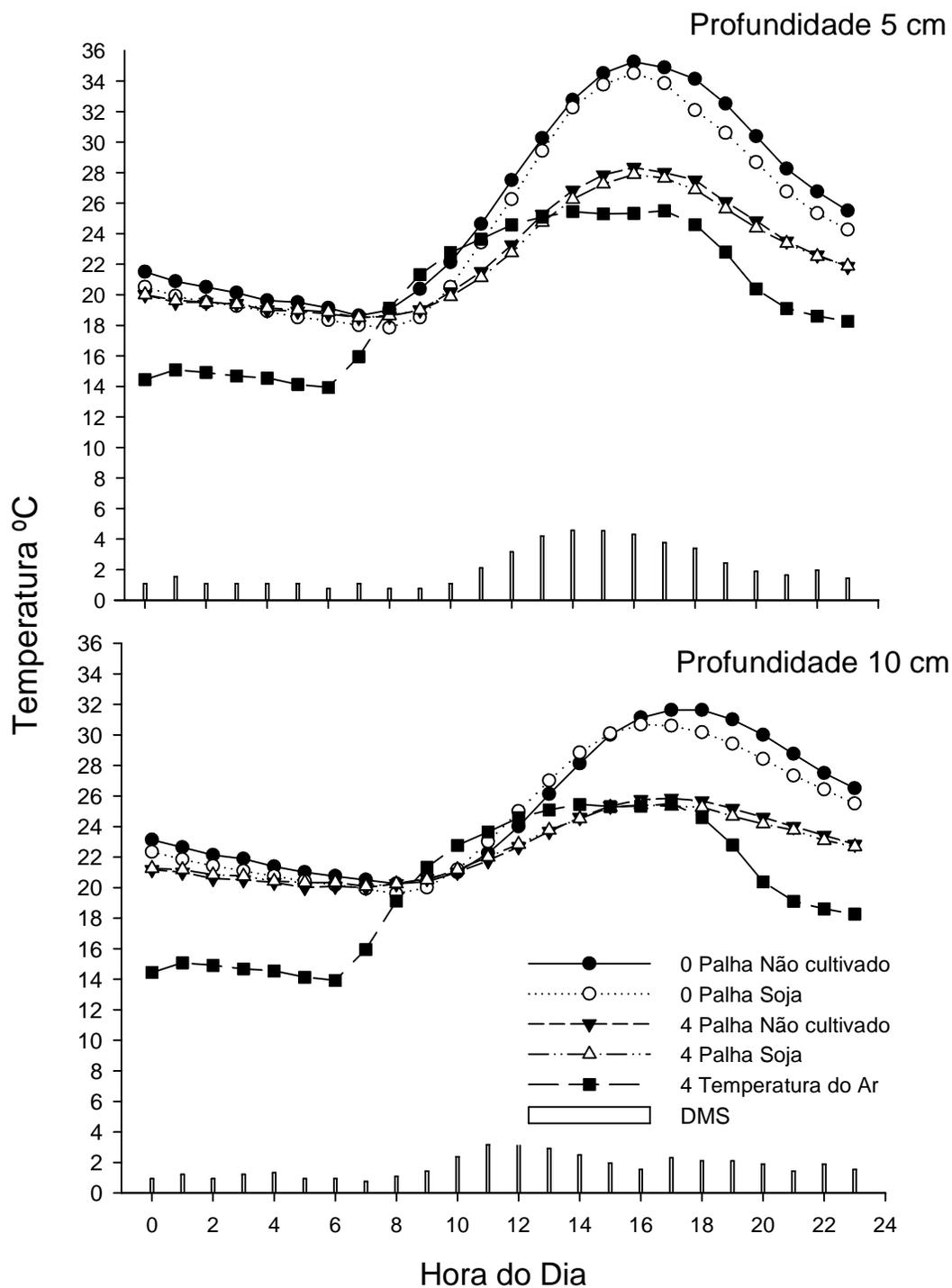


Figura 18 – Temperatura do solo durante o dia 12 de fevereiro nos tratamentos Não cultivado 0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha na superfície e solo cultivado 0 e 4 Mg ha⁻¹ de palha na superfície, nas profundidades de 5 e 10 cm. As barras verticais representam a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos. Santa Maria, 2010.

No dia 04 de fevereiro de 2009, a temperatura máxima medida a 5 cm de profundidade do solo foi de 32 °C, no solo sem cobertura, e 27,5 °C, no solo com cobertura, uma diferença significativa de 4,5 °C. A temperatura máxima no solo ocorreu às 14 horas em todos os tratamentos. Nesse dia, a temperatura máxima a 10 cm de profundidade para o solo sem cobertura foi de 28,5 °C e, no solo com cobertura, de 26 °C entre as 15 e 17 horas, diferença de 2,5 °C. Bortoluzzi e Eltz (2000), estudando o efeito da cobertura do solo com palha em sistema plantio direto no Sul do Brasil, observaram que a presença de palha na superfície do solo retardou a ocorrência da temperatura máxima do solo, em relação ao manejo sem cobertura.

No dia 12 de fevereiro de 2009, o solo tinha menor umidade, observando-se a temperatura máxima maior (35 °C) no solo sem cobertura, na profundidade 5 cm. A temperatura máxima no solo com cobertura foi de 26 °C e ocorreu às 16 horas, diferença de 9 °C. A temperatura máxima aos 10 cm de profundidade foi 31 °C no solo mantido com cobertura e 25 °C no solo sem cobertura, diferença de 6 °C. As diferenças na temperatura máxima entre solo com cobertura e sem cobertura foram maiores no dia 12 de fevereiro do que no dia 04 de fevereiro de 2009, nas profundidades de 5 e 10 cm. No solo mais seco, menor quantidade da energia proveniente da radiação solar foi utilizada para evaporar água, ocorrendo um aumento na temperatura do solo. Também diminui a condutividade do calor para camadas profundas do perfil do solo, o que resulta em maior aquecimento da camada superficial. Silva et al. (2006b) compararam dois dias típicos de verão, com 12 h de sol e temperatura do ar em torno de 37 °C, e observaram que o solo sob plantio direto manteve temperaturas mais baixas do que sistemas de manejo convencional, tanto a 2,5 cm como a 10 cm de profundidade

4.6 Estimativa da água disponível no solo usando o modelo Simdualkc

Os valores de água disponível no solo medidos foram comparados com os valores estimados, utilizando a metodologia de Kc duas para calcular as necessidades hídricas das plantas. Os valores e simulados para os tratamentos sem cobertura de solo nas três épocas de semeadura são apresentados na Figura 19 e, para os tratamentos com cobertura do solo, na Figura 20.

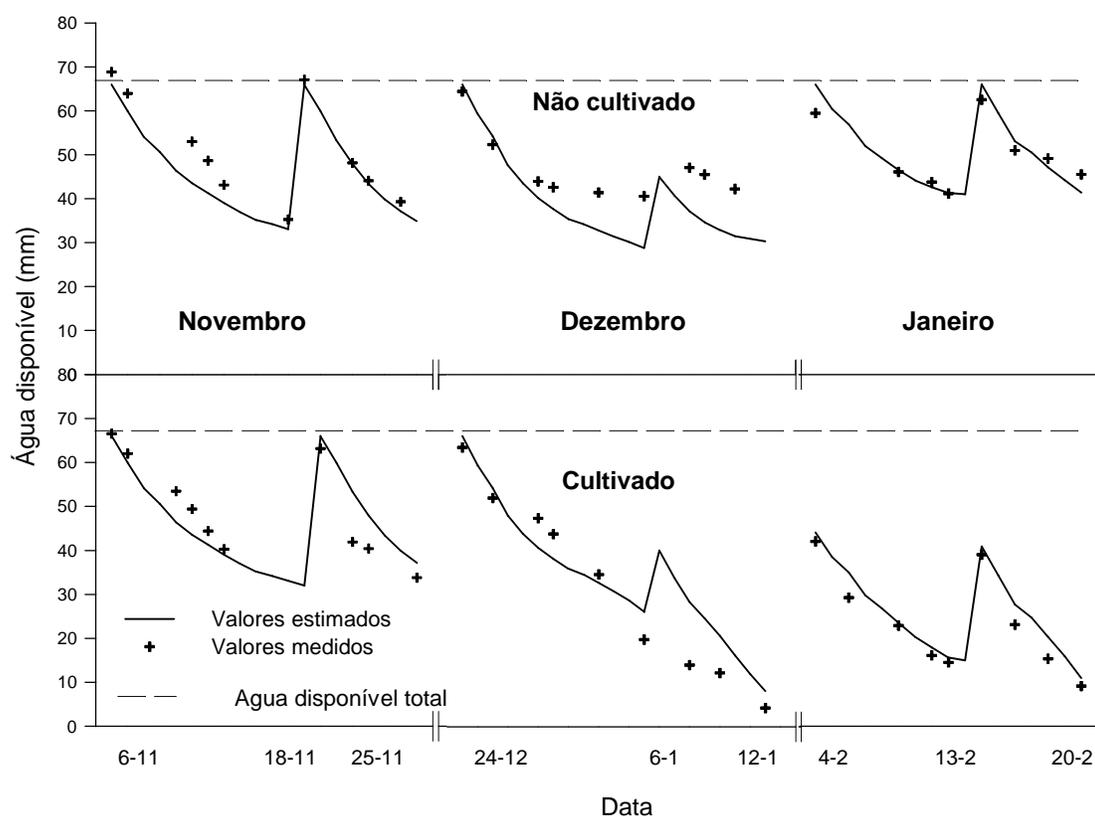


Figura 19 – Valores estimados e medidos de água disponível nos tratamentos sem cobertura do solo, apresentando-se as curvas dos valores estimados de água disponível no solo e os pontos das observações feitas (+); a linha a traços representa a água disponível total. Las Brujas, 2010.

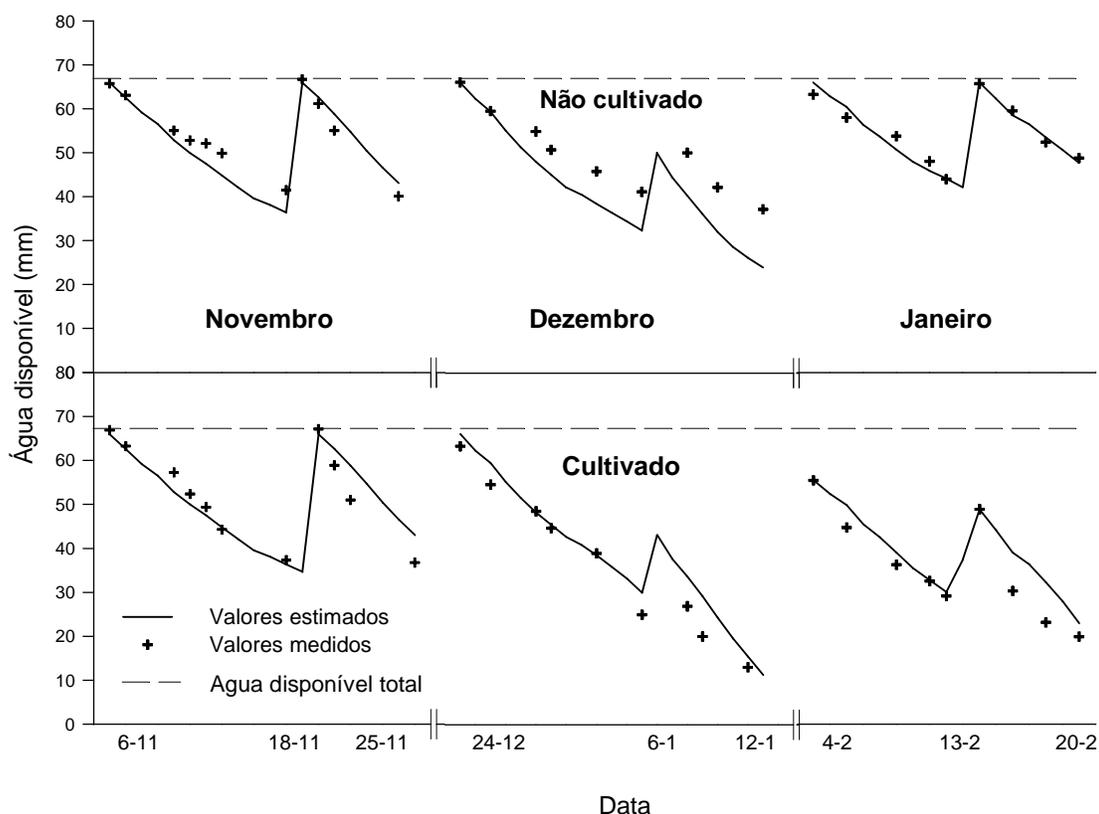


Figura 20 – Valores estimados e medidos de água disponível nos tratamentos com cobertura do solo, apresentando-se as curvas dos valores estimados de água disponível no solo e os pontos das observações feitas (+); a linha a traços representa a água disponível total. Las Brujas, 2010.

Observa-se uma boa associação entre os valores medidos e os estimados. Os valores de água disponível no solo se encontraram em uma faixa entre 5 e 66 mm, apresentando uma boa concordância com os valores simulados.

A comparação dos valores medidos e simulados de água disponível com a relação 1:1 é apresentada para os tratamentos sem cobertura de solo na Figura 21 e, para os tratamentos com cobertura, na Figura 22. Em cada figura, são incluídos os valores de ME, RMSE e o coeficiente de determinação (R^2).

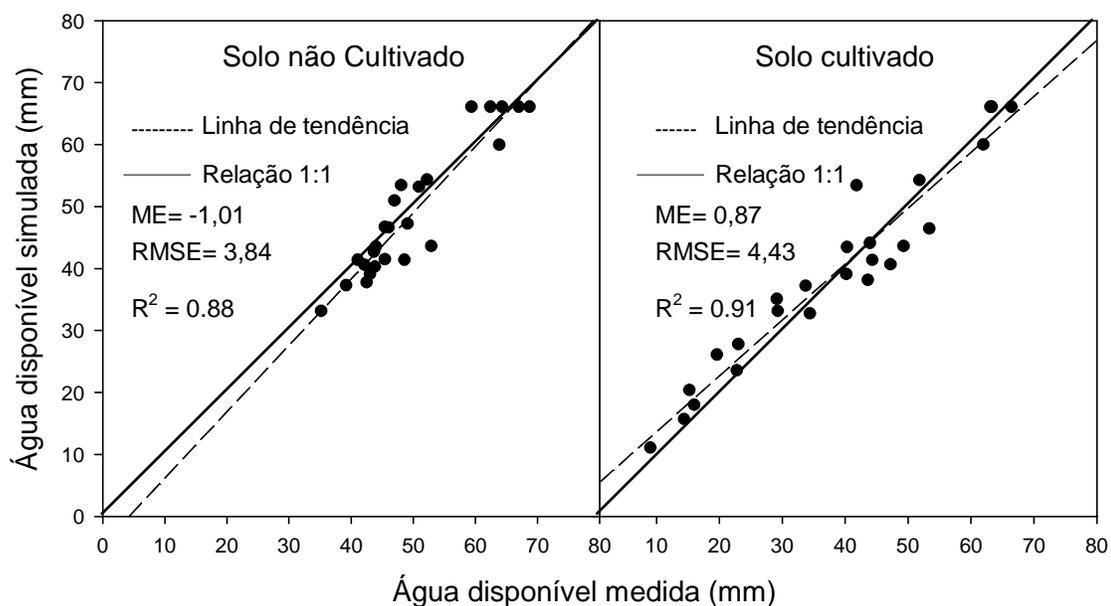


Figura 21 - Comparação entre os valores estimados e medidos de água disponível no solo nas parcelas sem cobertura do solo. Las Brujas, 2010.

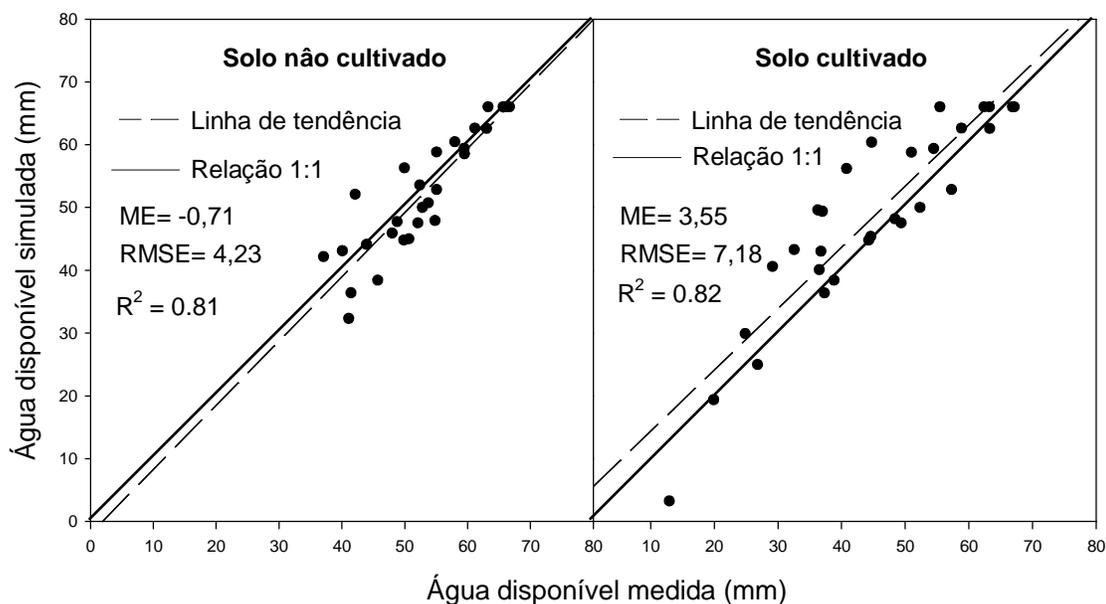


Figura 22 - Comparação entre os valores estimados e medidos de água disponível no solo nas parcelas com cobertura do solo. Las Brujas, 2010.

5 CONCLUSÕES

A cobertura de um solo Typic Argiudoll no Sul de Uruguai, com 4 Mg ha⁻¹ de resíduos de aveia, resultou em maior armazenamento de água no solo, nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura da soja.

A taxa de evaporação diária da água de um solo Typic Argiudoll na camada superficial, nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura da soja, foi 50% menor no solo mantido com cobertura de 4 Mg ha⁻¹ de resíduos de aveia.

A presença de 4 Mg ha⁻¹ de resíduos vegetais de aveia na superfície de um solo Typic Argiudoll resultou em temperatura máxima 6 °C menor, temperatura mínima 2 °C maior e amplitude térmica 40% menor, nas profundidades de 5 cm e 10 cm do solo.

O uso da metodologia dos coeficientes culturais duais, proposta por FAO-56, apresentou boa precisão para estimar as perdas de água por evaporação do solo no Sul de Uruguai.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. **J. Hydrology** 229: 27-41, 2000.

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

ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., SMITH, M., RAES, D., & WRIGTH, J. L. FAO-56 dual crop coefficient procedure for predicting evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE.**, v. 131: 2-13, 2005a.

ALLEN, R.G.; CLEMMENS, A.J.; BURT, C.M.; SOLOMON, K. e O'HALLORAN, T. Prediction Accuracy for Projectwide Evapotranspiration Using Crop Coefficients and Reference Evapotranspiration **Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE.** 131: 24-36, 2005b

ALMEIDA, R. E. de, et al. Efeito da manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo no armazenamento e evaporação da água de solos de diferentes texturas. In: **Workshop internacional**. Procisur-Red Riegos CYTED. Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. 2008 CD-ROM.

ALTAMIRANO, A. et al. **Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay** - Tomo I: Clasificación de suelos. Ministerio de Agricultura y Pesca, Dirección de Suelos y Fertilizantes. Montevideo.1976 83 p.

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

ANDRADE, J. G. **Perdas de água por evaporação de um solo cultivado com milho nos sistemas de plantio direto e convencional**. 2008. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

ARAYA, A., STROOSNIJDER, L. Effects of tied ridges and mulch on barley (*Hordeum vulgare*) rainwater use efficiency and production in Northern Ethiopia. **Agric. Water Manage.**, doi:10.1016/j.agwat.2010.01.012, 2010

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

BOND, J., WILLIS, W. Soil water evaporation: surface residue rate and placement effects. **Soil Sci. Soc. Amer Proc.** 33: 445-449, 1969.

BORTOLUZZI, E. C.; ELTZ, F. L. F. Efeito do manejo mecânico da palhada de aveia preta sobre a cobertura, temperatura, teor de água no solo e emergência da soja em sistema plantio direto **R. Bras. Ci. Solo**, 24:449-457, 2000

CASANOVA, S. **Morfofisiologia da cultura de batata submetida a diferentes regimes hídricos**. 2008. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

COSTA, F.S.; et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.527-535, 2003.

DALMAGO, G. A. et al. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, 13, 855-864, 2009

DE MOURA, M. et al. Temperatura do solo cultivado com meloeiro sobre diferentes coberturas do solo no submédio São Francisco. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia 22 a 25 de setembro de 2009 – Belo Horizonte – MG 2009

DURAN, A.; GARCÍA-PRÉCHAC, F. **Suelos del Uruguay**: Origen, clasificación, manejo y conservación. Hemisferio Sur. Montevideo. 2007

ER-RAKI, S., CHEHBOUNI, A., GUEMOURIA, N., DUCHEMIN, B., EZZAHAR, J. e HADRIA, R. Combining FAO-56 model and ground-based remote sensing to estimate water consumptions of wheat crops in a semi-arid region. **Agric. Water Manage.** 87: 41–54, 2007.

FABRIZZI, K.P.; et al. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina **Soil & Tillage Research** 81: 57–69, 2005

FLERCHINGER, G.N., PIERSON, F.B. Modeling plant canopy effects on variability of soil temperature and water. **Agric. For. Meteorol.** 56: 227– 246 1991

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** 116: 217–233, 2003

GARCÍA-PRECHAC, F. et al. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. **Soil and tillage research**, 77: 1-13, 2004

GARDNER, W. R. e HILLEL D. I. The relation of external evaporative conditions to the drying of soils. **J. Geophys. Research**, 64: 469-475. 1962.

GIRÁLDEZ, J. V.; VANDERLINDEN, K. ; TEN BERGE, H. F. M. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo. Eds. R. Muñoz-Carpena, A. Ritter, C. Tascón. ICIA: Tenerife. **La evaporación del agua del suelo bajo control atmosférico** ISBN 84-699-1258-5 181. 1999

GOODWIN, I., WHITFIELD, D.M., CONNOR, D.J. Effects of tree size on water use of peach (*Prunus persica* L. Batsch), **Irrig. Sci.** 24: 59–68, 2006.

HOWELL, T. A., EVETT, R., TOLK, J. A., SCHNEIDER, A. D. Evapotranspiration of full-, deficit-irrigated, and dryland cotton on the Northern Texas High Plains, **J Irrig. Drain. Engng.**, 130: 277-285, 2004.

LIU,C.; PEREIRA, L.S. Validation of FAO methods for estimating crop coefficients. **Transactions of the CSAE**, 16 (5): 26-30, 2000.

LIU, C. et al. Determination of daily evaporation and evapotranspiration of winter wheat and maize by large-scale weighing lysimeter and micro-lysimeter. **Agricultural and Forest Meteorology** 111: 109–120, 2002.

LIU, Y.; LUO, Y. A consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. **Agricultural Water Management.** 97: 31–40, 2010

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

PAÇO, T.A., FERREIRA, M.I., CONCEIÇÃO, N. Peach orchard evapotranspiration in a sandy soil: Comparison between eddy covariance measurements and estimates by the FAO 56 approach, **Agric. Water Manage.** 85: 305–313, 2006.

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

PEREIRA, L. S. Necessidades de água em regadio. Taller e Mini-Curso sobre **Técnicas de Riego y Fertirriego**. Herramientas Computacionales para Diseño y Manejo, CYTED y Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 24-27 de Julho de 2007.

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. “Evaluating irrigation needs for southeastern U.S.A.” **Proc., Irrig. and Drainage Speciality Conf.**, ASCE, New York, 262–273, 1974

RITCHIE, J. T., GODWIN, D. C., SINGH, U. “**Soil and weather inputs for the IBSNAT crop models.**” Proc., IBSNAT Symp.: Decision Support System for Agrotechnology Transfer: Part I., IBSNAT, Dept. of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, 31–45. 1989

RITCHIE, J. T., JOHNSON, B. S.. “**Soil and plant factors affecting evaporation.**” *Irrigation of agricultural crops*, B. A. Stewart and D. R. Nielsen, eds., Chap. 13, Ser. 30, American Society of Agronomy, Madison, Wis., 363–390, 1990

RITCHIE, J. T., BASSO, B., Water use efficiency is not constant when crop water supply is adequate or fixed: The role of agronomic management. **Europ. J. Agronomy.** 28 273–281, 2008

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

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho Escuro de Eldorado do Sul (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.313-319, 1995.

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**. 92 79–86, 2007

SARKAR, S., PARAMANICK, M., GOSWAMI, S .B. Soil temperature, water use and yield of yellow sarson (*Brassica napus* L. var. glauca) in relation to tillage intensity and mulch management under rainfed lowland ecosystem in eastern India. **Soil & Tillage Research**. 93 94–101 2007

SILVA, F. A. M. da, et al. Dinâmica da água nas palhadas de milho, milheto e soja. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.5, p.717-724, 2006a

SILVA, V. R. da; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 391-399, maio/jun., 2006b

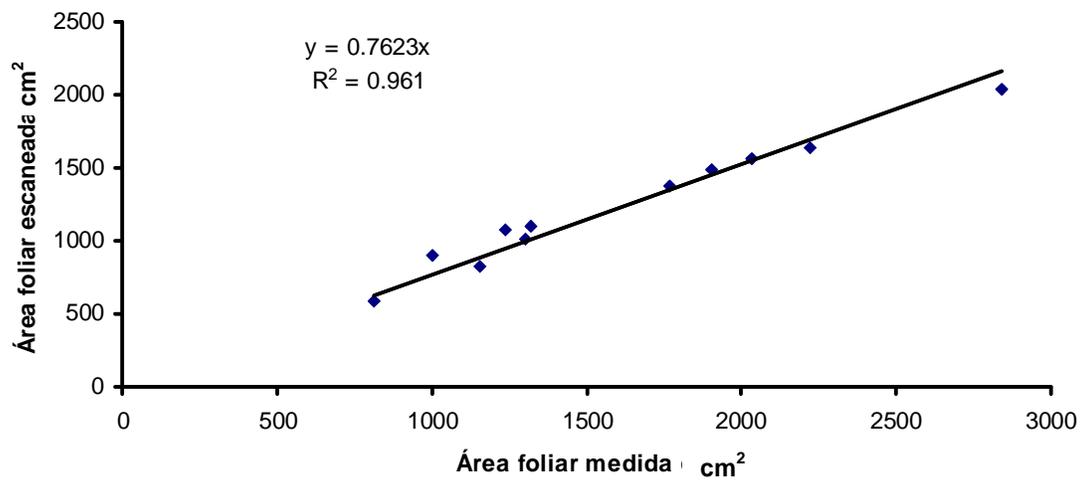
SOIL CONSERVATION SERVICE. **Soil Survey Investigations**. Washington: USDA, (Report n.1), 1972, 63p.

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

ZHAI, R., KACHANOSKI, R.G., VORONEY, R.P. Tillage effects on the spatial and temporal variation of soil water. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 54, 186–192. 1990.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Equação de ajuste da área foliar das plantas de soja. Las Brujas, 2010.



APENDICE B - Quadrado medio do análise da variância para o índice de área foliar da soja. Las Brujas, 2010.

Data	Tratamento	Q M Erro	C V (%)
30/12/2008	0,0001 ns	0,0014	9,89
05/01/2009	0,0242 ns	0,0351	20,61
12/01/2009	0,0045 ns	0,1289	14,19
28/01/2009	0,0000 ns	0,0000	0,00
06/02/2009	0,0002 ns	0,0002	5,14
12/02/2009	0,0060 ns	0,0029	7,40
18/02/2009	0,1800 ns	0,0374	10,59

ns = não significativo; CV = coeficiente de variação

APÊNDICE C - Resultados do quadrado medio da análise da variância para água armazenada no solo sob dois níveis de cobertura do solo e presença ou ausência de cultivo no primeiro ciclo de secagem na época I. Las Brujas, 2010.

Data	Cobertura	Cultivo	Interação	Q M Erro	C V (%)
0 – 10 cm de profundidade					
06/11	0,083 ns	0,083 ns	0,750 ns	1,250	2,94
07/11	0,333 ns	0,333 ns	5,333*	0,583	2,08
10/11	18,75*	0,083 ns	2,083 ns	1,000	3,12
11/11	24,08*	2,083 ns	10,08*	0,583	2,64
12/11	102,0*	14,08*	24,08*	1,750	5,04
13/11	140,0*	30,08*	60,75*	2,750	7,40
17/11	114,0*	30,08*	30,08*	2,000	8,44
10 – 30 cm					
06/11	4,083 ns	0,750 ns	10,08 ns	23,75	6,34
07/11	0,333 ns	1,333 ns	21,33 ns	17,75	5,66
10/11	4,083 ns	2,083 ns	44,08 ns	32,58	7,99
11/11	6,750 ns	4,083 ns	36,75 ns	33,66	8,18
12/11	8,333 ns	3,000 ns	40,33 ns	34,66	8,35
13/11	5,333 ns	5,333 ns	27,00 ns	34,75	8,44
17/11	4,083 ns	10,08 ns	60,75 ns	43,25	9,80
0 – 30 cm					
06/11	4,083 ns	0,750 ns	6,750 ns	21,66	4,04
07/11	0,001 ns	3,000 ns	3,000 ns	15,50	3,55
10/11	2,083 ns	0,750 ns	24,08 ns	36,16	5,80
11/11	6,750 ns	10,08 ns	6,750 ns	32,66	5,71
12/11	52,08 ns	36,75 ns	2,083 ns	29,50	5,62
13/11	90,75 ns	52,08 ns	6,750 ns	27,16	5,64
17/11	147,0 ns	75,00 ns	3,000 ns	39,08	7,46

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

APÊNDICE D - Resultados do quadrado medio da análise da variância para evapotranspiração acumulada sob dois níveis de cobertura do solo e presença ou ausência de cultivo no primeiro ciclo de secagem da época I. Las Brujas, 2010.

Data	Cobertura	Cultivo	Interação	Q M Erro	C V (%)
0 – 10 cm de profundidade					
07/11	2,083 ns	0,750 ns	10,08*	1,750	83,55
10/11	16,33*	0,001 ns	3,000 ns	2,083	24,06
11/11	33,33*	1,333 ns	8,333 ns	1,833	14,77
12/11	102,1*	14,08 ns	18,75 *	2,750	13,92
13/11	126,7*	30,08*	60,75*	4,333	13,22
17/11	108,0*	33,33*	33,33*	2,250	7,03
10 – 30 cm					
07/11	1,333 ns	0,333 ns	3,000 ns	4,500	90,91
10/11	0,083 ns	0,083 ns	14,08 ns	5,333	42,64
11/11	0,750 ns	2,083 ns	6,750 ns	5,666	39,13
12/11	0,333 ns	1,333 ns	8,333 ns	4,833	34,71
13/11	0,083 ns	0,750 ns	6,750 ns	3,166	25,73
17/11	16,33 ns	5,333 ns	21,33 ns	5,583	24,03
0 – 30 cm					
07/11	10,08 ns	0,083 ns	0,083 ns	4,333	58,09
10/11	24,08 ns	2,083 ns	10,08 ns	12,08	31,36
11/11	40,33 ns	1,333 ns	1,333 ns	9,083	20,32
12/11	114,1*	14,08 ns	0,083 ns	8,333	16,11
13/11	184,1*	30,08*	14,08 ns	5,500	10,54
17/11	270,7*	36,75 ns	0,083 ns	11,08	10,83

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

APÊNDICE E - Resultados do quadrado medio da análise da variância para água armazenada no solo sob dois níveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no segundo ciclo de secagem da época I. Las Brujas, 2010.

Data	Cobertura	Cultivo	Interação	Q M Erro	C V (%)
0 – 10 cm de profundidade					
19/11	2,083*	0,750 ns	0,750 ns	0,333	1,51
20/11	432,0*	5,333 ns	1,333 ns	9,916	11,66
21/11	216,7*	2,083 ns	14,08 ns	4,500	9,26
25/11	0,001 ns	3,000 ns	0,333 ns	3,166	10,89
10 -30 cm					
19/11	3,000 ns	12,00 ns	21,33 ns	6,166	3,27
20/11	30,08 ns	24,08 ns	6,750 ns	5,916	3,30
21/11	21,33 ns	33,33*	12,00 ns	5,916	3,33
25/11	12,00 ns	75,00 ns	1,333 ns	17,91	6,12
0 -30 cm					
19/11	8,333 ns	8,333 ns	12,00 ns	5,916	2,13
20/11	675,0*	56,33*	12,00 ns	9,666	3,09
21/11	352,0*	52,08*	0,083 ns	8,833	3,11
25/11	8,333 ns	56,33 ns	3,000 ns	11,41	3,95

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

APÊNDICE F - Resultados do quadrado medio da análise da variância para evapotranspiração acumulada sob dois níveis de cobertura do solo e presença ou ausência de cultivo no segundo ciclo de secagem da época I. Las Brujas, 2010.

Data	Cobertura	Cultivo	Interação	Q M Erro	C V (%)
0 – 10 cm de profundidade					
20/11	363,0*	12,00 ns	1,333 ns	9,666	27,84
21/11	161,3*	3,000 ns	5,333 ns	6,166	16,02
25/11	1,333 ns	0,333 ns	1,333 ns	2,583	7,36
10 – 30 cm					
20/11	12,00*	3,000 ns	5,333 ns	1,416	54,93
21/11	4,083 ns	2,083 ns	4,083 ns	1,333	39,59
25/11	3,000 ns	27,00 ns	12,00 ns	5,833	36,23
0 – 30 cm					
20/11	507,0*	21,33 ns	0,333 ns	14,75	28,10
21/11	243,0*	16,33 ns	16,33 ns	10,16	17,24
25/11	0,083 ns	24,08*	4,083 ns	2,333	5,34

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

APÊNDICE G - Resultados do quadrado medio da análise da variância para água armazenada no solo sob dois níveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no primeiro ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.

Data	Cobertura	Cultivo	Interação	Q M Erro	C V (%)
0 – 10 cm de profundidade					
24/12	0,333 ns	0,001 ns	1,333 ns	0,500	1,92
26/12	48,00*	3,000 ns	8,333*	1,333	4,12
29/12	96,33*	5,33 ns	40,33*	1,750	5,75
30/12	33,33*	1,333 ns	21,33*	1,333	5,68
02/01	2,083*	0,083 ns	4,083*	0,333	3,28
05/01	2,083*	36,75*	0,08 ns	0,250	3,59
10 – 30 cm					
24/12	5,333 ns	16,33 ns	0,001 ns	6,250	3,33
26/12	24,08 ns	36,75 ns	2,083 ns	8,500	3,94
29/12	30,08 ns	90,75*	4,083 ns	14,16	5,21
30/12	36,75 ns	90,75*	10,083 ns	11,83	4,79
02/01	234,0*	444,0*	140,0 ns	39,08	9,20
05/01	168,7 ns	1102*	126,7 ns	35,91	9,43
0 – 30 cm					
24/12	8,333 ns	21,33*	0,001 ns	4,000	1,78
26/12	126,7*	60,75*	2,083 ns	8,333	2,84
29/12	216,7*	44,08 ns	14,08 ns	12,75	3,74
30/12	147,0*	75,00*	3,000 ns	11,83	3,73
02/01	270,7*	468,7*	90,75 ns	39,58	7,37
05/01	147,0 ns	1496*	120,3 ns	29,91	7,06

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

APÊNDICE H - Resultados do quadrado medio da análise da variância para evapotranspiração acumulada sob dois níveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no primeiro ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.

Data	Cobertura	Cultivo	Interação	Q M Erro	C V (%)
0 – 10 cm de profundidade					
26/12	47,20*	2,430 ns	2,430 ns	0,479	7,76
29/12	93,52*	6,307*	28,52*	0,771	6,42
30/12	41,44*	1,840 ns	14,30*	0,810	5,49
02/01	6,020*	0,020 ns	1,687 ns	0,857	4,78
05/01	0,440 ns	37,80*	0,607 ns	0,704	3,66
10 – 30 cm					
26/12	4,083 ns	2,430 ns	0,750 ns	0,956	74,29
29/12	6,453 ns	24,65*	2,253 ns	3,123	61,65
30/12	11,60 ns	32,67*	6,163 ns	4,226	59,59
02/01	149,8*	288,1*	128,1*	21,67	64,36
05/01	104,4 ns	816,7*	114,1 ns	21,57	40,57
0 – 30 cm					
26/12	79,05*	9,720*	0,480 ns	1,239	10,88
29/12	149,1*	6,020 ns	14,74 ns	3,910	11,95
30/12	96,90*	19,00 ns	1,687 ns	3,642	9,62
02/01	215,9*	293,0*	100,3 ns	24,82	18,74
05/01	91,30 ns	1206*	131,3*	21,74	13,55

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

APÊNDICE J - Resultados do quadrado medio da análise da variância para água armazenada no solo sob dois níveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no segundo ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.

Data	Cobertura	Cultivo	Interação	Q M Erro	C V (%)
0 – 10 cm de profundidade					
08/01	21,06 ns	49,20*	16,10 ns	4,234	10,20
09/01	5,200 ns	31,04*	0,067 ns	4,475	12,20
12/01	3,630 ns	9,720 ns	0,403 ns	2,370	10,10
10 -30 cm					
08/01	136,0 ns	1966*	232,3*	28,02	8,61
09/01	29,45 ns	2154*	176,3 ns	42,34	10,94
12/01	6,453 ns	2712*	161,3*	26,79	9,17
0 – 30 cm					
08/01	264,1*	2637*	126,1 ns	22,66	5,83
09/01	59,40 ns	2703*	183,3 ns	46,19	8,85
12/01	19,76 ns	3046*	177,8*	21,31	6,44

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

APÊNDICE K - Resultados do quadrado medio da análise da variância para evapotranspiração acumulada sob dois níveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no segundo ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.

Data	Cobertura	Cultivo	Interação	Q M Erro	C V (%)
0 – 10 cm de profundidade					
09/01	5,333 ns	2,083 ns	18,25 ns	6,152	87,03
12/01	7,207 ns	15,18 ns	21,60*	3,669	39,16
10 – 30 cm					
09/01	38,88*	4,320 ns	3,853 ns	5,066	110,70
12/01	83,21*	59,85*	6,453 ns	5,583	46,64
0 – 30 cm					
09/01	73,01 ns	0,403 ns	5,333 ns	18,77	88,73
12/01	139,4*	14,74 ns	4,440 ns	12,30	35,23

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

APÊNDICE L - Resultados do quadrado medio da análise da variância para água armazenada no solo sob dois níveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no primeiro ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.

Data	Cobertura	Cultivo	Interação	Q M Erro	C V (%)
0 – 10 cm de profundidade					
04/02	18,50 ns	0,700 ns	2,520 ns	10,54	9,76
06/02	128,7*	29,76 ns	11,80 ns	7,561	10,90
09/02	96,33*	97,47*	30,72*	0,508	3,37
11/02	63,94*	35,02*	4,680 ns	1,930	7,39
12/02	22,14 ns	6,900 ns	4,940 ns	4,315	12,36
10 – 30 cm					
04/02	79,05 ns	371,8*	67,21 ns	19,95	6,35
06/02	92,96 ns	546,7*	86,40 ns	31,64	8,25
09/02	71,05 ns	645,3*	110,4 ns	35,36	8,93
11/02	100,9 ns	993,7*	164,2 ns	44,91	10,40
12/02	106,8 ns	1102*	154,1 ns	42,25	10,25
0 – 30 cm					
04/02	174,1 ns	404,8*	43,70 ns	43,16	6,34
06/02	440,4*	831,6*	34,34 ns	49,39	7,53
09/02	332,8*	1244*	24,65 ns	37,80	7,01
11/02	325,5*	1401*	113,4 ns	48,97	8,42
12/02	226,2 ns	1283*	103,8 ns	49,32	8,75

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

APÊNDICE M - Resultados do quadrado medio da análise da variância para evapotranspiração acumulada sob dois níveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no primeiro ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.

Data	Cobertura	Cultivo	Interação	Q M Erro	C V (%)
0 – 10 cm de profundidade					
06/02	49,61*	21,33 ns	3,413 ns	6,017	30,28
09/02	30,40 ns	81,64*	15,64 ns	7,840	23,13
11/02	13,02 ns	24,94 ns	0,440 ns	7,653	19,16
12/02	0,240 ns	3,520 ns	0,300 ns	9,220	18,43
10 – 30 cm					
06/02	0,563 ns	16,80*	1,203 ns	3,060	81,36
09/02	0,213 ns	37,45*	5,333 ns	5,980	66,09
11/2	1,333 ns	149,8*	21,33 ns	11,83	57,32
12/2	2,083 ns	193,6*	17,76 ns	8,813	43,13
0 – 30 cm					
06/02	60,75*	76,00*	0,563 ns	8,934	29,16
09/02	25,52 ns	229,6*	2,707 ns	11,81	21,75
11/02	22,68 ns	297,0*	15,64 ns	16,96	20,15
12/02	3,740 ns	249,3 ns	13,44 ns	16,52	17,40

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

APÊNDICE N - Resultados do quadrado medio da análise da variância para água armazenada no solo sob dois níveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no segundo ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.

Data	Cobertura	Cultivo	Interação	Q M Erro	C V (%)
0 – 10 cm de profundidade					
14/02	32,34*	9,187 ns	0,040 ns	4,036	5,85
16/02	102,1*	211,6*	39,60*	7,437	11,80
18/02	26,40*	184,0*	1,920 ns	4,277	10,40
20/02	22,14*	123,5*	4,440 ns	1,975	7,95
10 – 30 cm					
14/02	16,33 ns	915,2*	19,25 ns	94,29	14,30
16/02	12,40 ns	1220*	26,40 ns	73,94	13,10
18/02	19,76 ns	1685*	28,83 ns	69,55	13,20
20/02	55,47 ns	2064*	74,00 ns	66,76	13,36
0 – 30 cm					
14/02	94,64 ns	1107*	17,52 ns	109,1	10,20
16/02	185,6 ns	2448*	1,333 ns	75,24	9,75
18/02	91,85 ns	2983*	15,87 ns	72,39	10,30
20/02	147,7 ns	3198*	42,18 ns	69,02	10,50

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

APÊNDICE O - Resultados do quadrado medio da análise da variância para evapotranspiração acumulada sob dois níveis de cobertura e presença ou ausência de cultivo no segundo ciclo de secagem da época II. Las Brujas, 2010.

Data	Cobertura	Cultivo	Interação	Q M Erro	C V (%)
0 – 10 cm de profundidade					
16/02	19,50 ns	132,66*	37,10*	6,076	21,90
18/02	0,300 ns	111,0*	1,400 ns	3,288	12,60
20/02	0,963 ns	65,33*	3,630 ns	4,915	13,33
10 – 30 cm					
16/02	0,270 ns	21,87*	0,563 ns	2,033	63,68
18/02	0,163 ns	116,5*	0,963 ns	7,443	53,67
20/02	11,60 ns	230,5*	17,76 ns	28,85	76,55
0 – 30 cm					
16/02	15,18 ns	262,2*	28,52 ns	7,391	20,13
18/02	0,020 ns	455,1*	0,040 ns	10,60	16,72
20/02	5,880 ns	541,3*	5,333 ns	43,27	27,81

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

APÊNDICE P – Resultados do quadrado medio do analise da variância para temperatura do solo aos 0,05 cm de profundidade sob dois niveis de cobertura e presença ou ausencia de cultivo no dia 04 de fevereiro de 2009. Las Brujas, 2010.

Hora	Cobertura	Cultivo	Interação	QM Erro	CV
0	0,083 ns	0,083 ns	0,083 ns	0,083	1,32
1	0,033 ns	0,001 ns	0,001 ns	0,333	2,69
2	0,750 ns	0,083 ns	0,083 ns	0,250	2,37
3	1,333 *	0,001 ns	0,001 ns	0,166	1,98
4	1,333 *	0,001 ns	0,333 ns	0,250	2,48
5	1,333 *	0,333 ns	0,333 ns	0,250	2,50
6	4,083 *	0,083 ns	0,083 ns	0,250	2,53
7	4,083 *	0,083 ns	0,083 ns	0,083	1,49
8	3,000 *	0,333 ns	0,001 ns	0,160	2,08
9	0,001 ns	3,000 *	0,333 ns	0,160	1,98
10	3,000 *	3,000 *	0,333 ns	0,333	2,57
11	16,33 *	1,333 ns	0,333 ns	0,833	3,70
12	33,33 *	3,000 ns	3,000 ns	1,166	4,05
13	48,00 *	5,333 ns	3,000 ns	1,166	3,83
14	56,33 *	3,000 ns	1,333 ns	0,920	3,19
15	60,75 *	4,083 *	2,083 ns	0,750	2,89
16	65,33 *	1,333 ns	1,333 ns	0,580	2,57
17	65,33 *	1,333 ns	0,333 ns	0,500	2,40
18	60,75 *	0,750 ns	0,750 ns	0,250	1,74
19	52,08 *	0,083 ns	0,083 ns	0,250	1,83
20	36,75 *	0,083 ns	0,083 ns	0,750	3,39
21	56,25 *	0,750 ns	0,083 ns	0,333	2,38
22	4,083 *	0,083 ns	0,083 ns	0,250	2,15
23	2,083 *	0,083 ns	0,750 ns	0,250	2,23

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

APÊNDICE Q – Resultados do quadrado medio do analise da variância para temperatura do solo aos 0,10 cm de profundidade sob dois niveis de cobertura e presença ou ausencia de cultivo no dia 04 de fevereiro de 2009. Las Brujas, 2010.

Hora	Cobertura	Cultivo	Interação	QM Erro	CV
0	0,750 ns	0,083 ns	0,083 ns	0,250	2,18
1	0,750 ns	0,083 ns	0,083 ns	0,250	2,21
2	0,001 ns	0,333 ns	0,001 ns	0,410	2,91
3	0,083 ns	0,083 ns	0,083 ns	0,250	2,30
4	0,083 ns	0,083 ns	0,083 ns	0,333	2,70
5	0,333 ns	0,001 ns	0,001 ns	0,166	1,93
6	0,333 ns	0,001 ns	0,333 ns	0,166	1,94
7	2,083 *	0,083 ns	0,083 ns	0,250	2,41
8	3,000 *	0,001 ns	0,001 ns	0,333	2,77
9	1,333 ns	0,001 ns	0,001 ns	0,666	3,83
10	0,083 ns	0,083 ns	0,083 ns	1,333	5,23
11	1,333 ns	0,333 ns	0,333 ns	1,580	5,39
12	5,333 ns	1,333 ns	1,333 ns	1,580	5,10
13	8,333 *	1,333 ns	0,333 ns	0,580	2,98
14	14,08 *	2,083 *	0,750 ns	0,250	1,88
15	18,75 *	2,083 *	0,750 ns	0,166	1,49
16	24,08 *	2,083 *	0,083 ns	0,333	2,11
17	33,33 *	0,333 ns	0,001 ns	0,410	2,35
18	30,08 *	0,750 ns	0,083 ns	0,750	3,20
19	24,08 *	0,083 ns	0,083 ns	1,333	4,34
20	28,12 *	0,083 ns	0,083 ns	0,666	3,17
21	12,00 *	0,001 ns	0,001 ns	0,750	3,46
22	10,08 *	0,083 ns	0,083 ns	0,500	2,92
23	4,083 *	0,750 ns	0,083 ns	0,410	2,72

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

APÊNDICE R – Resultados do quadrado medio do analise da variância para temperatura do solo aos 0,05 cm de profundidade sob dois niveis de cobertura e presença ou ausencia de cultivo no dia 12 de fevereiro de 2009. Las Brujas, 2010.

Hora	Cobertura	Cultivo	Interação	QM Erro	CV
0	1,333 ns	1,333 ns	1,333 ns	0,333	2,79
1	2,083 ns	0,750 ns	0,750 ns	0,666	4,07
2	0,750 ns	0,750 ns	0,750 ns	0,333	2,90
3	0,750 ns	0,750 ns	0,750 ns	0,333	2,95
4	0,083 ns	0,083 ns	0,083 ns	0,333	2,97
5	0,083 ns	0,750 ns	0,750 ns	0,333	3,00
6	0,083 ns	0,750 ns	0,750 ns	0,166	2,16
7	0,083 ns	0,083 ns	0,083 ns	0,333	3,11
8	0,083 ns	0,750 ns	0,750 ns	0,166	2,20
9	0,750 ns	2,083 *	2,083 *	0,166	2,12
10	5,333 *	1,333 ns	1,333 ns	0,333	2,79
11	21,33 *	3,000 ns	0,333 ns	1,250	4,93
12	48,00 *	3,000 ns	0,333 ns	2,830	6,73
13	65,33 *	0,333 ns	0,001 ns	5,160	8,27
14	114,0 *	0,750 ns	0,083 ns	5,910	8,18
15	133,3 *	1,333 ns	0,333 ns	5,830	7,83
16	133,3 *	1,333 ns	0,001 ns	5,250	7,24
17	126,7 *	0,750 ns	0,750 ns	4,000	6,40
18	108,0 *	5,333 ns	1,333 ns	3,250	5,94
19	96,33 *	5,333 ns	3,000 ns	1,666	4,45
20	80,08 *	2,083 ns	0,750 ns	1,000	3,69
21	56,33 *	1,333 ns	1,333 ns	0,750	3,40
22	30,08 *	2,083 ns	2,083 ns	1,080	4,23
23	24,08 *	2,083 ns	2,083 ns	0,580	3,26

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

APÊNDICE S – Resultados do quadrado medio do analise da variância para temperatura do solo aos 0,10 cm de profundidade sob dois niveis de cobertura e presença ou ausencia de cultivo no dia 12 de fevereiro de 2009. Las Brujas, 2010.

Hora	Cobertura	Cultivo	Interação	QM Erro	CV
0	5,333 *	0,333 ns	0,333 ns	0,250	2,27
1	4,083 *	0,750 ns	0,750 ns	0,410	2,95
2	1,333 *	0,001 ns	1,333 ns	0,250	2,34
3	2,083 ns	0,083 ns	0,750 ns	0,410	3,04
4	2,083 ns	0,083 ns	0,083 ns	0,500	3,41
5	0,333 ns	0,333 ns	0,333 ns	0,250	2,44
6	0,333 ns	0,333 ns	0,333 ns	0,250	2,44
7	0,750 ns	0,083 ns	0,750 ns	0,166	2,00
8	0,750 ns	0,083 ns	0,750 ns	0,333	2,85
9	0,333 ns	0,001 ns	0,001 ns	0,580	3,73
10	0,083 ns	0,083 ns	0,083 ns	1,580	5,97
11	1,333 ns	0,333 ns	0,333 ns	2,830	7,54
12	10,08 ns	0,750 ns	0,083 ns	3,160	7,49
13	24,08 *	0,750 ns	0,083 ns	2,410	6,16
14	48,00 *	0,333 ns	0,333 ns	1,750	4,96
15	75,00 *	0,001 ns	0,001 ns	1,080	3,74
16	90,75 *	0,083 ns	0,083 ns	0,750	3,05
17	90,75 *	2,083 ns	0,083 ns	1,500	4,31
18	80,08 *	2,083 ns	2,083 ns	1,250	3,96
19	68,26 *	3,000 ns	0,333 ns	1,250	4,04
20	70,08 *	2,083 ns	0,750 ns	1,000	3,72
21 b	56,33 *	1,333 ns	1,333 ns	0,580	2,92
22	40,33 *	3,000 ns	0,333 ns	1,000	3,97
23	27,00 *	1,333 ns	1,333 ns	0,666	3,33

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