UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

INFLUÊNCIA DA PALHA NO BALANÇO HÍDRICO EM LISÍMETROS

NILSON TEIXEIRA DE OLIVEIRA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientadora: Nilza Maria dos Reis Castro
Co-orientador: Joel Avruch Goldenfum

Banca Examinadora

Prof. Dr. João Batista Dias de Paiva	HDS – UFSM
Prof. Dr. André Luiz Lopes da Silveira	IPH – UFRGS
Prof. Dr. José Antonio Saldanha Louzada	IPH – UFRGS

Porto Alegre, outubro de 2006

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação da Prof[a]. Nilza M. dos Reis Castro e co-orientado pelo Prof. Joel Avruch Goldenfum.

Agradecimentos

A todas as pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta para o desenvolvimento deste trabalho gostaria de deixar aqui meus sinceros agradecimentos, em especial:

Aos professores Nilza M. R. Castro e Joel Avruch Goldenfum, pelos ensinamentos, orientação e apoio ao longo da sucessão deste trabalho;

Ao agricultor Antoninho Zambra por ter cedido suas terras para instalação dos lisímetros.

Aos hidrotécnicos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH): César, Ralpp, Pedro, Douglas e "Chicão", especialmente ao Dalton que ajudaram na instalação dos lisímetros no campo, assim como também dos equipamentos de medição.

Aos bolsistas do Projeto Potiribu, Fernando e Rejane, pela contribuição deste trabalho.

A todos os colegas e amigos do IPH que compartilharam os momentos de estudo, de alegria e descontração.

Aos velhos e novos amigos da Cauduro, Eduardo, Luis Gustavo, Márcio, Christopher, Marllus, Rodrigo, Fernando, Ruberto, Adriano e Diogo, pelo companheirismo e amizade durante o mestrado.

Agradeço também aos amigos Sidnei e Karina pelo apoio, amizade e recepção na chegada a esta cidade.

Aos professores do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, em especial ao professor Roberaldo Carvalho de Souza pelo incentivo ao trabalho na área de Recursos Hídricos, ensinamentos e a formação científica e profissional conseguida ao longo do curso de Engenharia Civil.

As instituições que financiaram meus estudos e minha pesquisa. A CAPES pela bolsa de estudos concedida e ao CT-HIDRO/CNPq pelo financiamento da pesquisa.

Por fim, aos meus pais, irmãos e minha cunhada (Luciene), em especial ao amigo Dr. Josenildo pelo apoio incondicional dado ao longo dos meus estudos.

RESUMO

Este trabalho foi realizado na bacia do arroio Donato (1,1 km^2), localizada na região central do derrame basáltico sul-rio-grandense, com objetivo de avaliar as diferenças no comportamento das variáveis hidrológicas do balanço hídrico (precipitação, escoamento superficial e drenagem profunda, umidade do solo e evapotranspiração) em duas condições de manejo do solo e da temperatura do solo em duas profundidades, a 20 e a 85 cm, através de lisímetros. Foram construídos dois lisímetros do tipo volumétrico de chapas de acrílico com dimensões de 1m x 1m x 1m representando o manejo correspondente ao plantio direto, sendo um deles sem a palha. Uma das características dos lisímetros é a utilização da amostra de solo não deformada de 1 m^3 de volume. O período de monitoramento se caracterizou como um ano atípico para a região com relação à precipitação, apresentando dois períodos distintos: um período úmido, com um total precipitado maior que a média em anos anteriores e um período seco com precipitação total menor que a média. Devido a esses períodos distintos, o monitoramento das outras variáveis foi prejudicado, uma vez que a precipitação é a única variável de entrada no balanço hídrico.

No que se refere ao volume superficial e a drenagem profunda, foi constatado um comportamento semelhante nos lisímetros, entretanto no lisímetro com palha a drenagem profunda foi mais expressiva. Na análise da temperatura do solo, no lisímetro com palha a temperatura na profundidade de 20 cm foi menor que no lisímetro sem palha, já na profundidade de 85 cm não houve uma diferença significativa entre os mesmos.

Com relação à umidade do solo, a qual foi monitorada nas profundidades de 10, 30 e 70 cm, no lisímetro com palha a umidade a 10 cm foi maior que no lisímetro sem palha; já na profundidade de 30 cm a umidade foi maior no lisímetro sem palha e na profundidade de 70 cm não houve diferença. Na análise da evapotranspiração foi verificado que no lisímetro com palha a evapotranspiração foi menor que no lisímetro sem palha, sendo que não foi possível realizar uma análise comparativa mais detalhada devido a alguns problemas com os aparelhos de medição.

As observações experimentais indicam que a influência da palha reduz o escoamento superficial; aumenta a drenagem profunda; aumenta a umidade do solo; reduz a evaporação do solo, ocasionando uma redução na taxa de evapotranspiração e diminuição da temperatura máxima do solo.

ABSTRACT

This research was developed considering as the study case the Donato river basin (drainage area of 1,1 km^2), which is located at central region of basaltic outflow in the State of Rio Grande do Sul, Brazil, aiming to evaluate the differences in the behaviour of the water balance hydrologic variables (precipitation, superficial and subsurface drainage, soil moisture and evapotranspiration) under two different soil preparations and the soil temperature at two differents depths (20 and 85 cm) using lysimeters. Two volumetric lysimeters were built using acrylic plates with dimensions 1 m x 1 m x 1 m. Both lysimeters reproduced the direct plantation conditions and employed a 1-m^3 unspoiled soil sample, but just one of them using straw coverage. The monitoring period was characterized as an unusual year concerning precipitation and two different periods were identified: a wet period, with total precipitation greater than the average historical value for the same time period in previous years, and a dry period, with total precipitation lower than the average historical value. As precipitation is the main input variable to water balance, the occurrence of these two different precipitation regimes make other monitoring variables difficult.

Both lysimeters presented similar superficial and subsurface draining outputs, although it was observed a more pronounced subsurface drainage in that one with straw coverage. The 20-cm depth soil temperature was lower in the lysimeter with straw coverage, while the 85-cm depth soil temperature was practically the same on both of them.

The soil moisture was monitored in the depths of 10, 30 and 70 cm. Considering the depth of 10 cm, the soil moisture in the lysimeter with straw coverage was higher than in the other one. The opposite was observed in relation to soil moisture in the depth of 30 cm, when the lysimeter with straw coverage presented lower values, while in the depth of 70 cm both lysimeters presented similar values to soil moisture. The results showed that evapotranspiration in the lysimeter with straw coverage was lower than in the other lysimeter, however a more detailed analysis was not possible due to mechanical problems in the instruments.

The experimental observations indicate that the effect of the straw coverage over the hydrologic variables analysed are: reduction of the superficial drainage; increase of the subsurface drainage; increase of soil moisture; reduction of soil evaporation and consequently reduction of evapotranspiration; and a decrease in the maximum soil temperature.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO ..... **ii**

RESUMO ..... **iii**

ABSTRACT ..... **iv**

SUMÁRIO ..... **v**

LISTA DE SÍMBOLOS ..... **vii**

LISTA DE FIGURAS ..... **viii**

LISTA DE TABELAS ..... **x**

1. INTRODUÇÃO **1**

1.1. JUSTIFICATIVA 1
1.2. OBJETIVO 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **3**

2.1. PLANTIO DIRETO 3
2.1.1. Introdução 3
2.1.2. Fundamentos do sistema plantio direto 4
2.1.3. Erosão do solo 5
2.1.4. Influência da cobertura da palha sobre o balanço hídrico das culturas 5
2.1.4.1. Armazenamento de água no solo 6
2.1.4.2. Escoamento superficial 6
2.1.4.3. Evaporação de água no solo 7
2.1.4.4. Temperatura do solo 8
2.2. LISÍMETROS 9
2.3. BALANÇO HÍDRICO NOS LISÍMETROS 10
2.4. VARIÁVEIS DO BALANÇO HÍDRICO DE LISÍMETROS 12
2.4.1. Precipitação (P) 12
2.4.2. Escoamento superficial e drenagem profunda (ES, DP) 13
2.4.3. Armazenamento de água no solo (ΔA) 13
2.4.3.1. Método de tensiometria 14
2.4.3.2. Método de reflectometria no domínio de tempo (TDR) 16
2.4.4. Evapotranspiração 17
2.4.4.1. Definição da evapotranspiração 17
2.4.4.2. Estimativa da evapotranspiração 19
2.5. COEFICIENTE DE CULTURA (kc) 20
2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 22

3. METODOLOGIA 23
3.1. ÁREA DE ESTUDO 23
3.1.1. Clima 24
3.1.2. Solo e uso do solo 25
3.1.3. Vegetação 27
3.2. LOCALIZAÇÃO DOS LISÍMETROS NA BACIA 28
3.2.1. Confecção do lisímetro e instalação dos equipamentos 30
3.2.1.1. Construção do lisímetro 30
3.2.1.2. Instalação do lisímetro 32
3.2.1.3. Equipamentos de medição 33
3.2.2. Medições e cálculos das variáveis 35
3.2.2.1. Precipitação 36
3.2.2.2. Variação de armazenamento de água no solo 37
3.2.2.3. Volume superficial e drenagem profunda 39
3.2.2.4. Evapotranspiração 39
3.3. COEFICIENTE DE CULTURA 40
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 41
4.1. PRECIPITAÇÃO 41
4.2. ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO 43
4.2.1. Tensão de água no solo 43
4.2.2. Umidade do solo 52
4.3. VOLUMES: ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DRENAGEM PROFUNDA 63
4.4. TEMPERATURA DO SOLO E DO AR 67
4.5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO 70
4.6. COEFICIENTE DE CULTURA 75
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 77
5.1. CONCLUSÕES 77
5.2. RECOMENDAÇÕES 79
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 80
ANEXO I 89
ANEXO II 96

LISTA DE SÍMBOLOS

ΔA	variação de armazenamento
AC	ascensão capilar
A_i	armazenamento no dia
A_{i+1}	armazenamento no dia seguinte
c	velocidade da luz
DP	drenagem profunda
ES	escoamento superficial
ET	evapotranspiração
ETc	evapotranspiração de cultura
ETo	evapotranspiração de referência
I	irrigação
k_a	constante dielétrica do solo
kc	coeficiente de cultura
L	comprimento da sonda
m	massa do solo úmido
m_a	massa de água
m_s	massa do solo
P	precipitação
t	tempo de deslocamento da seqüência de pulsos
U	umidade do solo
V	volume da amostra do solo
θ	umidade volumétrica do solo
ρ_r	densidade do solo
W	fator de ponderação
Rn	saldo de radiação ou radiação líquida (efetiva)
λ	calor latente de evaporação
Ea	poder evaporante

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Balanço hídrico do solo na zona de raízes. (Fonte: adaptado de Allen *et al.*, 1998) 11

Figura 2.2. Pluviômetro tipo *Ville de Paris*.....12

Figura 2.3. Tipos mais comuns de tensiômetros: de coluna de mercúrio (A), com vacuômetro (B) e com transdutor de pressão ou tensímetro (C). (Fonte: adaptado de Resende e Albuquerque, 2002).....15

Figura 2.4. Curva do kc para culturas anuais, segundo o estádio de desenvolvimento. (Fonte: adaptado de Allen *et al*., 1998) 21

Figura 3.1. Bacia do Rio Potiribu. (Fonte: adaptado de Castro *et al*., 2000) 23

Figura 3.2. Precipitações médias na bacia do arroio Donato, entre 1990 e 2003.....24

Figura 3.3. Mapa de solos da bacia do arroio Donato. (Fonte: Adaptado de Viero, 2004).....26

Figura 3.4. Localização dos lisímetros na bacia e os equipamentos de medição (estação, pluviógrafo, pluviômetro e tensiômetro).....29

Figura 3.5. Lisímetro formado pelas caixas C-1 e C-2 31

Figura 3.6. Vistas lateral e em planta do lisímetro com suas dimensões (mm) 31

Figura 3.7. Coleta da amostra não deformada no campo 32

Figura 3.8. Montagem do lisímetro.....33

Figura 3.9. Instalação dos equipamentos de medição e de armazenamento de dados no lisímetro 35

Figura 3.10. Localização dos pluviógrafos e do pluviômetro na bacia do arroio Donato e nas proximidades. 36

Figura 3.11. Equipamento laboratorial para determinação da curva de retenção, Câmara de Richards (Fonte: adaptado de Cichota, 2003).....37

Figura 3.12. Esquema da regra do trapézio. (Fonte: adaptado de Libardi, 2000) 38

Figura 3.13. Perfil de umidade do solo nos lisímetros 38

Figura 4.1. Precipitação diária na bacia do arroio Donato - período de 30/10/03 a 17/04/2004.....41

Figura 4.2. Tensão de água no solo, período chuvoso - profundidades de 10, 30 e 70 cm 44

Figura 4.3. Tensão de água no solo, período seco - profundidades de 10, 30 e 70 cm 44

Figura 4.4. Tensão de água no solo, período chuvoso - profundidades de 10, 30 e 70 cm 45

Figura 4.5. Tensão de água no solo, período seco - profundidades de 10, 30 e 70 cm 45

Figura 4.6. Tensão de água no solo utilizada para o cálculo da umidade - período chuvoso.....46

Figura 4.7. Tensão de água no solo utilizada para o cálculo da umidade – período seco 46

Figura 4.8. Tensão de água no solo utilizada para o cálculo da umidade - período chuvoso.....47

Figura 4.9. Tensão de água no solo utilizada para o cálculo da umidade - período chuvoso.....47

Figura 4.10. Tensão de água no solo, profundidade 10 cm – período chuvoso 49

Figura 4.11. Tensão de água no solo, profundidade 10 cm – período seco.....49

Figura 4.12. Tensão de água no solo, profundidade 30 cm – período chuvoso 50

Figura 4.13. Tensão de água no solo, profundidade 30 cm, período seco.....50
Figura 4.14. Tensão de água no solo, profundidade 70 cm – período chuvoso 51
Figura 4.15. Tensão de água no solo, profundidade 70 cm – período seco.....51
Figura 4.16. Curva de retenção de água no solo 53
Figura 4.17. Umidade volumétrica do solo, período chuvoso – lisímetro com palha.....54
Figura 4.18. Umidade volumétrica do solo, período seco – lisímetro com palha 54
Figura 4.19. Umidade volumétrica do solo, período chuvoso – lisímetro sem palha 55
Figura 4.20. Umidade volumétrica do solo, período seco – lisímetro sem palha.....55
Figura 4.21. Umidade volumétrica do solo, período chuvoso – profundidade 10 cm.....57
Figura 4.22. Umidade volumétrica, período seco – profundidade 10 cm 57
Figura 4.23. Umidade volumétrica do solo, período chuvoso – profundidade 30 cm.....58
Figura 4.24. Umidade volumétrica do solo, período seco – profundidade 30 cm.....58
Figura 4.25. Umidade volumétrica do solo, período chuvoso – profundidade 70 cm.....59
Figura 4.26. Umidade volumétrica do solo, período seco – profundidade 70 cm.....59
Figura 4.27. Volume total diário – lisímetro com palha 63
Figura 4.28. Volume total diário – lisímetro sem palha.....63
Figura 4.29. Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro com palha – Evento 5.....65
Figura 4.30. Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro sem palha – Evento 5 65
Figura 4.31. Temperatura de superfície nos lisímetros e temperatura do ar 67
Figura 4.32. Temperatura de fundo nos lisímetros.....67
Figura 4.33. Evapotranspiração de cultura – período diário 70
Figura 4.34. Evapotranspiração de cultura e de referência – mm/dia 74
Figura 4.35. Comparativo dos valores calculados de kc com a curva de kc de culturas anuais elaborados pela FAO. 76

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1. Valores de kc médios da soja no Estado do Rio Grande do Sul, no período crítico da soja (R_1-R_5: início da floração até início de enchimento de grãos), nos anos de 1975 a 1999...21

Tabela 3.1. Análise granulométrica do solo na bacia do arroio Donato (Fonte: Castro, 2005) 26

Tabela 3.2. Chapas (quantidades e dimensões) utilizadas para a confecção das caixas C-1 e C-2.....30

Tabela 3.3. Intervalos de medição dos aparelhos pluviógrafos e pluviômetro utilizado no estudo 36

Tabela 4.1. Valores totais acumulados (mm) dos postos EST-13, PVG-23, PVG 34, PVG-37 nos períodos de 30/10 a 31/12 a 01/01 a 17/04 para os anos de 1999 a 2004. 42

Tabela 4.2. Valores máximos e totais acumulados do posto pluviométrico PM-61, mm 42

Tabela 4.3. Estatística dos dados de tensão no solo, mmHg – lisímetro com palha 48

Tabela 4.4. Estatística dos dados de tensão no solo, mmHg – lisímetro sem palha.....48

Tabela 4.5. Valores médios de umidade calculados pelos dados de tensão e calculados pela equação 4.1, utilizando dados de ka obtidos pelo TDR. 60

Tabela 4.6. Umidade ao final do processo de drenagem nos lisímetros.....61

Tabela 4.7. Valores dos volumes totais escoados e precipitados para cada evento, mm 64

Tabela 4.8. Volumes (esc. superficial e drenagem profunda) dos lisímetros para cada evento, mm.....65

Tabela 4.9. Valores de temperatura do ar e do solo nos lisímetros 68

Tabela 4.10. Dados de evapotranspiração de cultura – lisímetro com palha (48 eventos).....72

Tabela 4.11. Dados de evapotranspiração de cultura – lisímetro sem palha (44 eventos) 73

Tabela 4.12. Estatística dos dados evapotranspiração de cultura e de referência 74

Tabela 4.13. Coeficiente de cultura.....75

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1. JUSTIFICATIVA

Novas tecnologias de irrigação e de manejo constituem importantes ferramentas para o uso eficiente da água. Na agricultura o conhecimento da quantidade de água requerida pelas culturas constitui-se em um aspecto importante na agricultura irrigada para que haja uma adequada programação de manejo de irrigação.

De acordo com Hernandez (1994), existem várias metodologias e critérios para estabelecer programas de irrigação, que vão desde simples turnos de rega a completos esquemas de integração do sistema solo-água-planta-atmosfera, assim como também métodos que visam estimar a demanda hídrica para os diferentes estádios de desenvolvimentos das culturas, sendo que, cada um deles possui suas características próprias, quanto aos parâmetros necessários para a sua estimativa. Dentre esses métodos, o balanço hídrico realizado diretamente em condições de campo, permite o acompanhamento das relações hídricas durante as distintas fases de crescimento e desenvolvimento da cultura, tornando-o desta forma uma ferramenta importante para o manejo racional dos recursos hídricos.

O balanço hídrico no campo, além de constituir uma importante forma de ajudar no manejo da cultura, permite medir "*in situ*" os vários processos que envolvem a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera. Alguns autores (Cruz, 2003 e Tim, 2002) têm aplicado essa metodologia para estimativa do consumo de água de uma determinada cultura, para bacias hidrográficas. Segundo Reichardt *et al*. (1990), o balanço hídrico realizado em bacias apresenta como dificuldade a quantificação da capacidade de armazenamento de água que estaria disponível às plantas; em adição existe também o problema da variabilidade espacial das propriedades físicas do solo. Outra questão que pode ser destacada é que nessa condição, algumas variáveis do balanço hídrico são estimadas (como por exemplo a evapotranspiração) e não medidas, gerando assim mais incertezas nos resultados.

Um aspecto importante que deve-se levar em conta na análise do balanço hídrico é o tipo de sistema de plantio. Dependendo do tipo de sistema da região, as variáveis hidrológicas poderão sofrer algumas alterações. Dentre os tipos de plantio, o plantio direto se destaca na região do planalto basáltico no sul do Brasil por sua grande utilização, chegando a mais de 80 % da área cultivada. O plantio direto consiste em estabelecer as culturas sem preparo prévio do solo (ao contrário do plantio convencional), mantendo os resíduos vegetais (cobertura vegetal ou palha) na superfície do solo. Os efeitos da palha na superfície do solo, aliados à eliminação de revolvimento do solo, podem modificar as características físicas do mesmo, que por sua vez possa causar alterações no balanço hídrico.

Assim, visando preservar as características estruturais do solo, ter um maior controle nas variáveis hidrológicas envolvidas e analisar o efeito da palha no balanço hídrico, foram construídos dois lisímetros volumétricos utilizando uma amostra de solo não deformada de 1 m^3, sendo um representando o manejo correspondente ao plantio direto e outro representando também o manejo correspondente ao plantio direto, porém sem a palha.

O experimento foi realizado na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul na posição central do derrame basáltico sul-americano, na bacia hidrográfica do rio Potiribu (563 km^2), especificamente na sub-bacia do arroio Donato (1,1 km^2). Nesta bacia existe a disponibilidade de dados hidrológicos decorrentes do Projeto Potiribu (Castro *et al*., 2000) o qual monitora bacias embutidas do rio Potiribu desde 1989, envolvendo dois períodos de uso do solo (plantio convencional de 1989 até abril de 1994 e o plantio direto a partir de maio de 1994).

1.2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar experimentalmente a diferença no comportamento de variáveis hidrológicas através do balanço hídrico em lisímetros em duas condições de manejo do solo: com e sem cobertura da palha na superfície do solo.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PLANTIO DIRETO

2.1.1. INTRODUÇÃO

O sistema plantio direto é uma técnica baseada no não revolvimento do solo e tem como característica principal a semeadura sobre os resíduos da cultura anterior. Para isso são utilizadas máquinas especiais que abrem os sulcos no solo, efetuam o plantio e fecham esses sulcos. Também podem ser utilizadas antes do plantio, máquinas que cortam a palha da cultura anterior previamente dessecada com produtos químicos e deitam essa palha sobre o solo. Os ingleses e americanos foram os primeiros a mecanizarem o sistema plantio direto, sendo essa mecanização reconhecida como um avanço tecnológico fundamental.

Segundo Denardin e Kochhann (1993), a introdução do plantio direto no Brasil ocorreu no início da década de 70. A expansão desse sistema no Brasil foi lenta até o domínio pleno da tecnologia. Seu início deu-se nos Estados do Paraná e Rio Grande do Sul, em 1970, e só passou a ser adotado pelos agricultores a partir de 1976. Atualmente, está sendo adaptado e adotado em quase todas as regiões do Brasil.

O sistema plantio direto surgiu, inicialmente, como meio de controlar ou reduzir a erosão do solo. Através de resultados de pesquisa, bem como alguns poucos produtores pioneiros que teimavam em permanecer no sistema, o plantio direto passou de uma simples opção de controlar erosão para um sistema ordenado de práticas agrícolas interligadas e altamente dependentes entre si.

A região sul é a que apresenta maior número de opções de plantas de cobertura para a utilização deste sistema e onde as características, vantagens e desvantagens das espécies e combinações de espécies têm sido estudadas e avaliadas mais profundamente (Lopes *et al.*, 2004).

2.1.2. FUNDAMENTOS DO SISTEMA PLANTIO DIRETO

Segundo Cruz *et al*. (2000), o plantio direto é uma técnica de cultivo conservacionista na qual procura-se manter o solo sempre coberto por plantas em desenvolvimento e por resíduos vegetais. Essa cobertura tem por finalidade proteger o solo do impacto das gotas de chuva, do escoamento superficial e das erosões hídrica e eólica.

Na literatura existem diversos termos equivalentes para plantio direto, tais como: plantio direto na palha, cultivo zero, sem preparo "no-tillage", cultivo reduzido, etc. O plantio direto poderia ser considerado como um cultivo mínimo, tendo em vista que o preparo do solo limita-se ao sulco de semeadura, procedendo-se a semeadura, a adubação e, eventualmente, a aplicação de herbicida em uma única operação (Cruz *et. al.*, 2000).

Atualmente o plantio direto é entendido como um sistema com os seguintes fundamentos, que interagem (Cruz *et. al.*, 2000):

- Eliminação ou redução das operações de preparo do solo. Como resultado, evita o selamento superficial, decorrente do impacto das gotas de chuva; conseqüentemente, reduz o escoamento superficial e aumenta a infiltração, reduzindo drasticamente a erosão. Há maior manutenção da estabilidade de agregados, melhorando a estrutura do solo, evitando compactação sub-superficial. Reduz as perdas de água por evaporação, aumentando a disponibilidade de água para as plantas, a atividade biológica do solo e a manutenção da matéria orgânica do solo;
- Uso de herbicidas para o controle de plantas daninhas. O uso de herbicidas dessecantes significa substituir a energia mecânica do preparo do solo pela energia química (herbicida). É fundamental o uso de métodos integrados de controle de plantas daninhas, como o uso de culturas de cobertura, rotação de culturas e herbicidas específicos;
- Formação e manutenção da cobertura morta. Fornece proteção contra o impacto das gotas de chuva, reduzindo o escoamento superficial, o transporte de sedimentos e, conseqüentemente, a erosão. Atua ainda na proteção do solo contra o efeito dos raios solares, reduzindo a evaporação, a temperatura do solo e a amplitude térmica do solo, e contra a ação de ventos. Com a sua decomposição, incorpora matéria orgânica ao solo, necessária a uma maior e mais rica atividade microbiana, o que permite maior reciclagem de nutrientes;
- Rotação de culturas. A combinação de espécies com diferentes exigências nutricionais, velocidade de decomposição, produção de fitomassa e sistema radicular torna o sistema mais eficiente, além de facilitar o controle integrado de pragas, doenças e plantas daninhas. Nas regiões onde soja e milho são plantados normalmente, o sistema de plantio direto se beneficia dessa rotação, que é benéfica a ambas as culturas;
- Uso de semeadoras específicas.

2.1.3. EROSÃO DO SOLO

Conforme comentado no item 2.1.1, o plantio direto surgiu inicialmente como meio de reduzir a erosão do solo. Para entender melhor o aparecimento desse sistema é necessário resgatar um pouco da história do plantio convencional, que é o preparo do solo para a semeadura utilizando a aração e gradagem. Um dos benefícios do arado é o controle de plantas daninhas, onde, por possibilitar o revolvimento do solo, ele permite a eliminação de plantas que cobrem uma área e também por possibilitar a semeadura e o crescimento de uma determinada planta de interesse para o cultivo, livre de concorrência por água e nutrientes com outra planta não desejável (planta daninha).

Com a aração o solo fica livre de plantas daninhas, porém, ao mesmo tempo ele fica livre de qualquer cobertura vegetal. As regiões tropicais, onde se têm chuvas fortes e concentradas num período do ano, estão mais sujeitas a ocorrência da erosão, pois com o impacto das gotas de chuva num solo descoberto resulta num encrostamento ou selamento da superfície do solo. Essa fina crosta que se forma é suficiente para diminuir a infiltração de água no solo, ocasionando assim um aumento no escoamento superficial.

No plantio direto, o não revolvimento do solo e a cobertura da palha mantida no solo geram uma redução na erosão do solo, pois a cobertura da palha tende a atenuar os impactos das gotas de chuva.

2.1.4. INFLUÊNCIA DA COBERTURA DA PALHA SOBRE O BALANÇO HÍDRICO DAS CULTURAS

De acordo com alguns autores da literatura (Lal, 1998; Bond e Wills, 1969; Ritchie e Burnett, 1971 e Sur *et al.*, 1992), a cobertura da palha (resíduos remanescentes no solo) tem grande importância em se tratando da condição básica para o sucesso do plantio direto e também como modificador dos fluxos hídricos no sistema palha-solo-planta-atmosfera. A cobertura altera o balanço de água no solo pelo fato de contribuir para aumentar a infiltração, reduzir a evaporação direta da água do solo e o escoamento superficial.

A cobertura da palha, segundo Bussière e Cellier (1994) e Scopel *et al*. (1998), funciona como uma camada dissipadora da radiação solar e diminui as amplitudes térmicas do solo. A seguir são apresentados alguns trabalhos que destacam como a palha mantida na superfície do solo interage com os principais termos do balanço hídrico, principalmente suas relações com a precipitação, escoamento superficial e evaporação de água do solo e também a temperatura do solo.

2.1.4.1. Armazenamento de água no solo

Segundo Moreira *et al*. (1999), uma das características hídricas mais importantes do solo sob plantio direto refere-se à capacidade de armazenamento de água. Nas tensões matriciais mais baixas, a distribuição do tamanho dos poros é altamente correlacionada com o armazenamento de água no solo. Desta forma, de acordo com Vieira (1984), os sistemas de preparo que provocam maior revolvimento do solo e, portanto, aumentam o seu volume, armazenam menos água na camada revolvida, em comparação à outra camada idêntica sem revolvimento.

Bragagnolo e Mielniczuk (1990a) verificaram que na profundidade de 5 cm aplicando-se doses de 5 e 7,5 t/ha de palha, a umidade volumétrica do solo é cerca de 8 a 10 % maior que no solo descoberto. Costa *et al*. (2003) verificaram também que na camada de 0 – 10 cm a umidade volumétrica é maior no solo sob o plantio direto comparado com o solo sob plantio convencional; já na camada 10 – 20 cm, a umidade do solo não difere entre os sistemas de manejo.

De acordo com Medeiros (1995), a maior capacidade de retenção de água, aliada a menor perda de água por deflúvio e evaporação, fazem com que o plantio direto apresente maior disponibilidade de água às plantas do que o sistema convencional.

2.1.4.2. Escoamento superficial

De acordo com Silva *et al*. (2005), a retirada da vegetação e a exposição do solo à ação direta das chuvas ou irrigação causam perdas de solo e de água além de alterações em alguns de seus atributos físicos e químicos. Sur *et al*. (1992) ressaltam que a colocação de resíduos culturais (palha) sobre o solo diminui em até 43,3 % o escoamento superficial e 57,5 % as perdas de solo.

Gilley *et al*. (1986), utilizando simulador de chuva, aplicaram quantidades diferentes de resíduos de milho, 0 a 6,73 t/ha, e observaram, nessa mesma ordem, redução substancial na taxa de escoamento superficial, na velocidade do escoamento, na concentração de sedimentos e na taxa de perda de solo.

Castro *et al*. (1999), analisaram dados de escoamento superficial em parcelas de solo de $1m^2$ sob chuva natural de 22/08/1992 a 18/09/1993 com soja no verão e aveia no inverno, sob o plantio direto e convencional. Os autores constataram que no plantio convencional a perda de água foi de 16 % enquanto que para o plantio direto a perda foi de

6%. Esse trabalho foi desenvolvido em uma sub-bacia do Rio Potiribu, a bacia do Donato de 1,1 km^2.

Scopel *et al*. (1998) avaliaram o escoamento superficial em seis diferentes tratamentos nos quais foram aplicadas quantidades de resíduos de milho que variaram de 0 a 4,5 t/ha, e observaram que mesmo para uma pequena quantidade de resíduo sobre o solo, 1,5 t/ha, o escoamento superficial foi reduzido em mais de 50 % quando comparado com o plantio convencional do solo.

2.1.4.3. Evaporação de água no solo

Segundo Scopel *et al*. (2005), a cobertura da palha desempenha um efeito positivo sobre a evaporação direta do sistema solo-palha, pois apesar de interceptar a água e perdê-la em seguida para a atmosfera, a palha reduz entre 10 e 20 % a perda total de água por evaporação.

Bonds e Willis (1969) estudaram, em laboratório, o efeito de diferentes densidades e espessuras de resíduos de arroz na regulação da evaporação da água do solo, e observaram que os resíduos diminuem a evaporação e comprovaram que o dessecamento do solo acontece em três fases distintas:

(i) Ocorre quando a superfície do solo está úmida e as transferências de água das camadas mais profundas para a superfície do solo estão ligadas à forma líquida da água;

(ii) Acontece quando o fluxo de água para a superfície do solo não pode mais ser transferido na forma líquida e de maneira rápida o suficiente para receber a influência das condições atmosféricas;

(iii) Inicia-se quando o solo apresenta, mesmo que fina e delgada, uma camada seca em sua superfície.

Bonds e Willis (1969) notaram que a evaporação acumulada durante as três fases é a mesma, independente da quantidade de resíduos sobre o solo.

2.1.4.4. Temperatura do solo

De acordo com Salton (1991), o aquecimento e resfriamento do solo são fenômenos que ocorrem em sua superfície e são controlados, em termos gerais, por condições meteorológicas como temperatura do ar e radiação solar, condições de superfície e propriedades térmicas do solo. Os sistemas de plantio podem alterar esses processos de aquecimento e resfriamento do solo, por agirem na cobertura, teor de matéria orgânica, densidade e umidade do solo.

Os resíduos culturais depositados na superfície protegem o solo contra o aquecimento excessivo e a perda de água, modificando vários processos físicos, químicos e biológicos (Silva *et al*., 2006). Ainda segundo os mesmos autores, os resíduos revelam alta refletividade da radiação solar e baixa condutividade térmica.

Bragagnolo e Mielniczuk (1990b) analisando a influência da cobertura produzida por oito seqüências de cultura sobre a temperatura máxima do solo, verificaram que, na média de oito determinações, a temperatura máxima diária mais alta ocorreu em solo descoberto.

Com relação aos sistemas de plantio, Johnson e Lowery (1985) verificaram uma diferença de cerca 6 ºC a menos para o plantio direto comparado ao plantio convencional, na profundidade de 5 cm em solo siltoso no Estado de Wisconsin-USA. Também Azooz *et al*. (1995) identificaram menores temperaturas do solo no plantio direto que no plantio convencional para essa mesma região.

Vários autores da literatura (Costa *et al*., 2003; Salton, 1991; Medeiros, 1995; Silva *et al*., 2006 e Rodrigues *et al.*, 2006) têm constatado que o solo sob o plantio direto apresenta menores temperaturas assim como também menores oscilações, comparado com o solo sob o plantio convencional.

2.2. LISÍMETROS

Os lisímetros têm sido utilizados por mais de três séculos para estudos das relações entre água, solo e plantas. Inicialmente os lisímetros foram concebidos para quantificação e avaliação de qualidade da água do solo percolada em estudos hidrológicos. Posteriormente os lisímetros foram utilizados nos estudos de evapotranspiração. Thornthwaite *et al.* (1946) foram os primeiros pesquisadores a usar esses equipamentos para medidas de evapotranspiração em condições de campo (Grebet e Cuenca, 1991). Freqüentemente os lisímetros têm sido utilizados para determinar a evapotranspiração e coeficientes de culturas.

Segundo Aboukhaled *et al.* (1986), lisímetros são recipientes preenchidos com solo localizados no campo para representar o meio, com superfícies vegetadas (culturas ou grama) para a determinação da evapotranspiração das culturas em crescimento ou cultura de referência. Eles são classificados em duas categorias: os lisímetros de pesagem e os lisímetros "volumétricos".

Os lisímetros de pesagem envolvem vários princípios e dispositivos de medida. Esses dispositivos podem ser: de pesagem mecânica (com balança), de pesagem eletrônica (com células de carga indicadoras de esforços), ou ainda os sistemas de pesagem hidráulica (Medeiros, 2002).

Segundo Pereira *et al.* (2002), um lisímetro de pesagem determina diretamente a evapotranspiração, durante um intervalo de tempo, pela variação da massa de um volume de solo vegetado e confinado por paredes impermeáveis. Uma das vantagens dos lisímetros de pesagem está na capacidade de medir de forma direta a evapotranspiração em períodos menores que um dia (Howell *et al.*, 1985). Porém, embora considerado como sistema padrão, por permitir mensuração detalhada da variação da massa, as medidas com lisímetros de pesagem apresentam problemas operacionais durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento, que podem resultar em valores questionáveis de evapotranspiração (Pereira *et al.*, 2002 e Bergamaschi *et al.*, 1991).

De acordo com Fronza (2002), os lisímetros volumétricos podem ser de drenagem ou de compensação com lençol freático constante a uma determinada profundidade. O autor ressalta que nos lisímetros de drenagem, o excesso de água é coletado volumetricamente, além disso, o autor também relata que a evapotranspiração é igual à diferença entre a água aplicada e a drenada, sem levar em consideração a quantidade de água armazenada no solo. As vantagens no uso desses lisímetros estão no baixo custo, na facilidade de instalação e operação e requer pouca ou nenhuma manutenção. Entretanto, esses lisímetros têm como limitação a demora na percolação e a necessidade de irrigação freqüente para manter o solo na

capacidade de campo. Tais características exigem sua utilização para períodos maiores que uma semana (Aboukhaled *et al.*, 1986). Couto e Sans (2002) ressaltam que a capacidade de campo é a quantidade de água retida pelo solo após a drenagem ter ocorrido, ou cessado em um solo previamente saturado por chuva ou por irrigação; para fins de irrigação, essa capacidade é definida como o conteúdo volumétrico de água em equilíbrio com o componente matricial do potencial de água de 10 a 30 kPa (curva de retenção de água no solo, ver item 2.3.3.1).

Os lisímetros de lençol freático têm como princípio um lençol freático mantido a uma determinada profundidade. A água é translocada até a zona radicular por capilaridade, causando uma diminuição no nível, que é compensado por um mecanismo flutuador. Este tipo de lisímetro foi proposto por Thornthwaite em 1945, que denominou de evapotranspirômetro. Assim como nos lisímetros de drenagem, os lisímetros a nível freático apresentam como vantagem o baixo custo de instalação e manutenção, a possibilidade de ser construído com diversos tipos de materiais, e principalmente, o de atender a um dos pré-requisitos para a obtenção da evapotranspiração (de uma cultura), que é a ausência de estresse hídrico (Fronza, 2002).

Segundo Sediyama (1996), em medições através de lisímetros, muitas vezes, ocorre o que se chama "efeito buquê" (quando as plantas tendem a crescer mais no interior do lisímetro do que fora dele). Essa diferença no crescimento das plantas provoca uma perturbação maior no movimento horizontal do ar e aumenta o grau de turbulência do calor sensível do ar sobre a cultura, aumentando a transpiração da vegetação. Portanto, é necessário um manejo correto do lisímetro, sempre tentando manter as condições internas e externas dos lisímetros com as mesmas características, com uma área tampão adequada para evitar também o chamado efeito oásis (área úmida circundada por área seca).

2.3. BALANÇO HÍDRICO NOS LISÍMETROS

A medição da evapotranspiração utilizando a equação do balanço hídrico, de acordo com Fontana (1992) e Allen *et al.* (1998), tem sido feita através da lisimetria. Essa técnica, segundo Fontana (1992), vem sendo utilizada há vários anos ocupando um espaço crescente nas atividades de pesquisa.

O balanço hídrico para a determinação da evapotranspiração, segundo Moreira (1993), é feito a partir do armazenamento da água no solo na zona explorada pelas raízes da planta, estimando-se as quantidades de água que entram e que saem, por meio de um balanço contábil de água no solo.

De acordo por Pereira *et al.* (1997), inicialmente (conforme ilustra a Figura 2.1), a água das chuvas, precipitação (P), ou suprimento extra de água por meio da irrigação (I), penetra no solo aumentando o armazenamento de água que depende das propriedades físicas do solo e da profundidade do sistema radicular das plantas. Se as chuvas forem muito fortes ou em dias consecutivos, pode haver encharcamento do solo e grande parte da água precipitada escoa superficialmente sem penetrá-lo, causando escoamento superficial (ES). É importante ressaltar que o escoamento superficial pode ocorrer sem que haja encharcamento do solo devido à intensidade da chuva e devido também à formação do selo superficial que reduz a taxa de infiltração do solo; essa ação é causada pelo impacto das gotas de chuva na superfície do solo quando o mesmo se encontra sem cobertura (Roth *et al.*, 1991). Além do escoamento superficial, ocorre também a drenagem profunda (DP) do excesso de água para baixo das raízes. No caso do volume de controle ser muito grande (profundo), nos períodos mais secos, pode haver ascensão capilar (AC) da água do lençol freático para a zona das raízes, aumentando o suprimento de água para as plantas, sendo parte da água utilizada na evapotranspiração (ET). Portanto, num intervalo de tempo, o balanço hídrico do volume de controle é dado pela equação de balanço hídrico:

$$\Delta A = P + AC - DP - ES - ET + I \qquad \text{equação 2.1}$$

onde, ΔA é a variação no armazenamento entre o início e o fim do intervalo de tempo, AC é a ascensão capilar, DP é a drenagem profunda, ES é o escoamento superficial, ET é a evapotranspiração e I a irrigação.

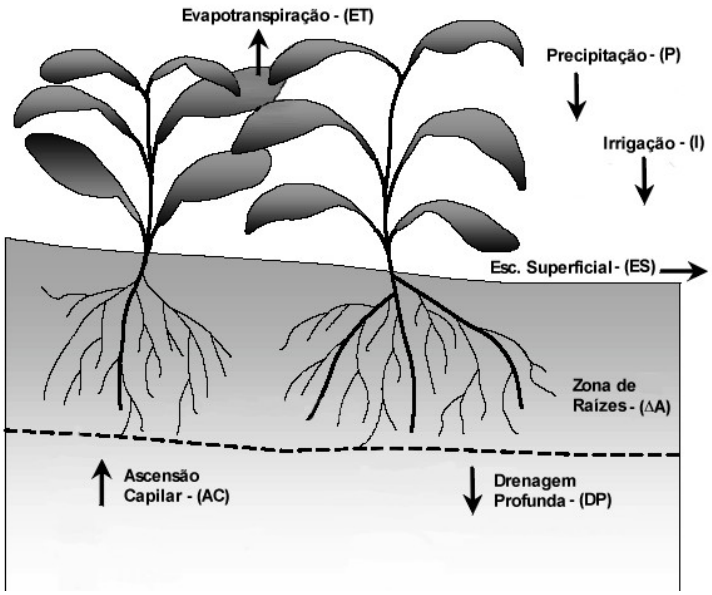

Figura 2.1. Balanço hídrico do solo na zona de raízes. (Fonte: adaptado de Allen *et al.*, 1998)

Admitindo que a área onde se localiza o lisímetro não seja irrigada (I = 0) e também que a ascensão capilar possa ser desprezada para períodos curtos (AC = 0), a equação 2.1 resulta na seguinte expressão:

$$\Delta A = P - DP - ES - ET \qquad \text{equação 2.2}$$

onde, ΔA é o armazenamento de água no solo; P é a precipitação; DP é a drenagem profunda; ES é o escoamento superficial e ET é a evapotranspiração da cultura

2.4. VARIÁVEIS DO BALANÇO HÍDRICO DE LISÍMETROS

Neste item serão abordados os métodos e os aparelhos utilizados para o monitoramento das variáveis que regem a equação do balanço hídrico para os lisímetros.

2.4.1. PRECIPITAÇÃO (P)

A medição da precipitação (P) pode ser feita através de aparelhos convencionais, como pluviômetros e pluviógrafos, instalados próximos da área de estudo.

Os pluviômetros são recipientes de volume suficiente para conter as maiores precipitações dentro do intervalo de tempo definido para a freqüência das observações (normalmente 24 horas); acima desse recipiente é colocado um funil com um anel receptor biselado que define a área de interceptação. O tipo de pluviômetro mais difundido no Brasil é o tipo "*Ville de Paris*" (Figura 2.2).

Figura 2.2. Pluviômetro tipo *Ville de Paris*

Esse tipo de pluviômetro consiste em um aro circular de captação com 400 cm^2, dotado de um cone coletor, com capacidade de acumulação cerca de 5 litros que representa 125 mm de altura da chuva captada. O corpo é construído em chapa de aço inoxidável, com 630 mm de comprimento. O aro é construído em latão, com a borda torneada em bisel.

Os pluviógrafos são aparelhos capazes de registrar continuamente a precipitação em um local; nesses aparelhos existe um mecanismo que registra graficamente a chuva acumulada contra o tempo ou automaticamente através de aparelhos datalogger. Entre os diferentes tipos de pluviógrafos, os mais utilizados são: o de bóia, o de balança e o de cubas basculantes (Reichardt, 1990, Bertoni e Tucci, 2002).

2.4.2. ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DRENAGEM PROFUNDA (ES, DP)

A medição do escoamento superficial e da drenagem profunda nos lisímetros pode ser realizada a partir da instalação de calhas e tubulações conectadas de forma simples a galões de 20 litros, por exemplo, ou conectadas de forma mais complexa a um linígrafo ou a um pluviógrafo.

No sistema de galões, o monitoramento é realizado manualmente, coletando, a cada evento de chuva, o volume total do escoamento superficial e da drenagem profunda. Já no sistema utilizando linígrafo ou pluviógrafo, o monitoramento pode ser automático através de aparelhos datalogger.

O linígrafo é um aparelho que registra continuamente as variações de nível; já o pluviógrafo é um aparelho que permite medir as variações dos volumes escoados e drenados ocorridas durante os eventos de chuva e após durante a drenagem.

2.4.3. ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO (ΔA)

A estimativa do armazenamento de água no solo é realizada através de medidas de umidade, as quais são determinadas por vários métodos tais como: método gravimétrico, método da sonda de nêutrons, tensiometria e reflectometria no domínio de tempo (TDR).

Dentre esses métodos citados, o método gravimétrico e da sonda de nêutrons são pouco usados para medição de armazenamento de água no solo em lisímetros. O método gravimétrico apesar de ser um método simples é uma técnica destrutiva, já o método da sonda de nêutrons apesar de não ser uma técnica destrutiva requer um treinamento especial para o manuseio dessas fontes e também uma licença da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear).

No presente estudo, os métodos utilizados pra a determinação do armazenamento de água no solo nos lisímetros foram o método da tensiometria e da reflectometria no domínio de tempo (TDR), conforme são descritos a seguir.

2.4.3.1. Método de tensiometria

Segundo Moreira (1993), o método de tensiometria vem sendo empregado para a avaliação do teor de umidade do solo com o emprego de tensiômetros, os quais são aparelhos medidores da tensão matricial de água no solo. Gomide (2001) ressalta que essa tensão, chamada de potencial matricial, é resultante da interação da água com a matriz do solo, devido às forças adsortivas e de capilaridade oriundas das forças coesivas e adesivas que se desenvolvem dentro do solo.

De acordo com Gomide (2001), o tensiômetro consiste de uma cápsula de cerâmica porosa conectada a um manômetro (vacuômetro) através de um tubo, geralmente de PVC ou acrílico, que deve ser preenchido com água para manter a cápsula úmida. Quando colocado no solo, a água contida na cápsula tende a entrar em equilíbrio com a tensão da água no solo ao seu redor; qualquer mudança no teor de água do solo e conseqüentemente em seu estado de energia, será transmitida à água no interior da cápsula, sendo indicada pelo dispositivo de leitura. Para obter-se a umidade volumétrica do solo deve-se fazer a curva de retenção de água no solo. Caso haja mudança no uso do solo a curva deve ser refeita.

A curva de retenção de água no solo é uma característica físico-hídrica que relaciona o conteúdo volumétrico de água (θ) e o potencial matricial (ψ_m), geralmente conhecido também como tensão. Essa curva é típica para cada solo, variando de acordo com a classe textural do solo, o conteúdo de matéria orgânica, grau de compactação, classe de solo, geometria dos poros e outras propriedades físicas. A curva de retenção do solo é determinada em laboratório e em amostras não deformadas (Couto e Sans, 2002).

Segundo Resende e Albuquerque (2002), existem diversos tipos de tensiômetros, em função do sistema de leitura ou da natureza do trabalho onde é utilizado. De acordo com os autores, os tipos mais comuns são: tensiômetro de coluna de água (com manômetro tipo vacuômetro), o tensiômetro de coluna de mercúrio e o tensiômetro com transdutor de pressão (Figura 2.3).

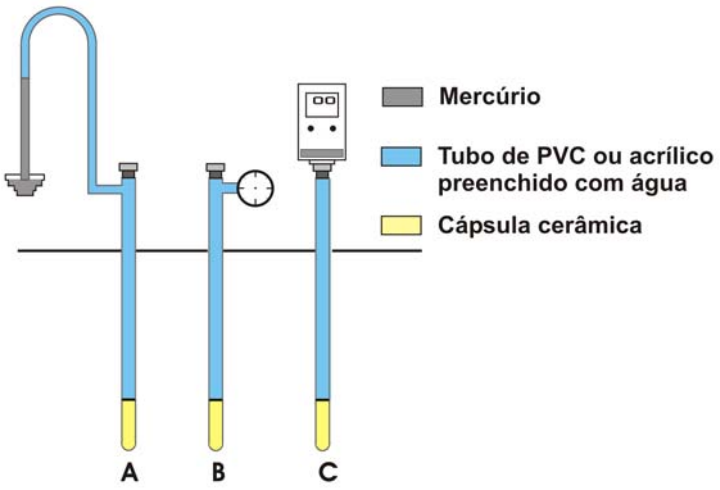

Figura 2.3. Tipos mais comuns de tensiômetros: de coluna de mercúrio (A), com vacuômetro (B) e com transdutor de pressão ou tensímetro (C). (Fonte: adaptado de Resende e Albuquerque, 2002)

Segundo Dirksen (1999), as maiores variações entre tipos diferentes de tensiômetros estão principalmente no manômetro. Os manômetros de coluna d'água são mais precisos, pois uma pequena variação no potencial gera uma grande variação na altura da coluna. Se ao invés de água for utilizado mercúrio, a sensibilidade aumenta por um fator de 12,5, porém a precisão decai na mesma razão.

Os tensiômetros de coluna de água têm como vantagens a facilidade de manuseio e baixo custo. No entanto para altas tensões é necessário uma coluna de água muito comprida.

Nos tensiômetros com coluna de mercúrio, apesar de serem mais sensíveis, possuem as seguintes limitações: problemas com a possível contaminação do solo e da água com o derramamento do mercúrio metálico; barreira física que o manômetro mercúrio representa em áreas mecanizadas e; a necessidade freqüente de manutenção.

Já os tensiômetros com transdutores de tensão são muito mais caros, necessitam calibração e manutenção; além disso, sua resposta é influenciada pela temperatura mais significativamente que os tensiômetros com manômetro de água e mercúrio.

Uma das limitações desse método é que o tensiômetro opera adequadamente para tensões baixas (até 0,8 atmosfera), pois acima dessa tensão o ar penetra no instrumento através dos poros da cápsula, a água começa a passar do estado líquido para o estado de vapor

e as medições perdem precisão (Vieira, 1986 *apud* Moreira, 1993). Outro inconveniente é que o tensiômetro deve ser sempre mantido com água, pois quando seco as leituras são inconsistentes. Porém, esse método tem a vantagem de não deformar o solo, e, além de ser um equipamento fácil e barato de ser adquirido, o tensiômetro pode ser instalado em várias profundidades, variando somente o tamanho da haste (tubo).

2.4.3.2. Método de reflectometria no domínio de tempo (TDR)

A técnica da reflectometria de microondas, denominada de TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) vem se apresentado como promissora nos trabalhos de medida de umidade do solo. Segundo Hermann (1993) *apud* Monteiro *et al.* (1998), trata-se de uma técnica não destrutiva, baseada na transmissão e recepção de sinais de microondas, através de sondas instaladas no solo.

Tommaselli e Bacchi (2001) relatam que a idéia básica da técnica é medir o tempo de deslocamento de uma seqüência de pulsos que possuem harmônicos na freqüência de microondas em uma linha de transmissão (antena), composta de duas ou três hastes de aço de comprimento conhecido, introduzidas no solo. Segundo Monteiro *et al.* (1998), o tempo de deslocamento é empregado para determinar a constante dielétrica do solo através da equação 2.3; essa constante dielétrica é função da umidade do solo, da textura, da estrutura e da salinidade. Quanto maior este tempo de deslocamento do solo, maior a constante dielétrica relativa do solo.

$$k_a = \left(\frac{c \cdot t}{2L} \right)^2 \qquad \text{equação 2.3}$$

onde, k_a é constante dielétrica do solo; c é a velocidade da luz; t é o tempo de deslocamento da seqüência de pulsos e L é o comprimento da sonda.

No solo os valores da constante dielétrica são tipicamente na faixa de 3 a 5; na água este valor está em torno de 80 e no ar é igual a 1. Dessa forma, pequenas quantidades de água são capazes de afetar extremamente o valor da medida de constante dielétrica no solo e o teor de umidade do solo.

Topp *et al*. (1980) propuseram uma relação empírica entre a umidade volumétrica (θ) e a constante dielétrica do solo (k_a), que serviria para uma ampla gama de tipos e texturas de solos, a qual ficou conhecida como equação universal, conforme é dado por:

$$\theta = -5{,}3 \cdot 10^{-2} + 2{,}92 \cdot 10^{-2} k_a - 5{,}5 \cdot 10^{-4} k_a^2 + 4{,}3 \cdot 10^{-6} k_a^3 \qquad \text{equação 2.4}$$

Os autores ainda afirmam que as características do ambiente e do solo como textura, densidade, teor de sais e temperatura, não afetam a medição da umidade com TDR, dessa forma sendo desnecessária a calibração em diferentes tipos de solos. Porém, alguns autores têm observado que a equação de Topp apresenta bom ajuste em solos de textura grossa, mas não tem bom desempenho em solos de textura fina (Roth *et al*., 1990; Ponizovshy *et al*., 1999; Jacobsen e Schjønning, 1993). Isto ocorre, segundo Roth *et al*. (1990), devido ao aumento na superfície específica do solo com o aumento do teor de argila, fazendo com que a influência da camada de água adsorvida seja significativa.

Assim como os outros métodos, a técnica da reflectometria também apresenta algumas desvantagens, tais como: a influência dos óxidos de ferro e da densidade do solo na determinação da umidade, necessidade de curva de calibração para os solos com textura fina e o custo elevado do equipamento. (Tommaselli, 2001 e Souza *et al.*, 2001).

2.4.4. EVAPOTRANSPIRAÇÃO

A evapotranspiração é o processo simultâneo de evaporação de água no solo e de transpiração das plantas. Rosenberg (1974) define a evaporação como o processo físico pelo qual um líquido ou sólido passa para o estado gasoso (vapor) e a transpiração o processo de evaporação da água que passa pela planta, entrando pelas raízes, passando pelos tecidos vasculares até as folhas ou outros órgãos e saindo para a atmosfera, pelos estômatos ou superfícies das cutículas. A adoção do termo evapotranspiração se fez porque os processos de evaporação do solo e transpiração dos vegetais são fisicamente semelhantes e ocorrem simultaneamente na natureza.

2.4.4.1. Definição da evapotranspiração

A primeira citação do termo evapotranspiração foi feita por Thornthwaite em 1948, citado por vários autores entre eles Allen *et al.* (1998), Sediyama (1996), Medeiros (2002). Segundo Thornthwaite (1948), o fenômeno chamado evapotranspiração potencial

(ETp) é considerado como a perda máxima de água em uma superfície de solo bem umedecido, completamente coberta com vegetação, em fase de desenvolvimento ativo e com dimensões suficientemente grandes, de modo a minimizar os efeitos de energia advectiva local. No mesmo ano, Penman (1948) na Inglaterra, também definiu a evapotranspiração potencial, ressaltando que a vegetação deveria ser rasteira e com altura uniforme e sem restrição de água no solo. De acordo com Pereira *et al.* (1997), de modo geral, a grama foi tomada como uma vegetação padrão, em razão da sua utilização nos postos meteorológicos. Segundo Ometto (1981), se algumas dessas condições não forem atendidas a evapotranspiração passa a ser real (ETr).

De acordo com Medeiros (2002), essa definição foi muito utilizada até que surgiu a necessidade de um conceito mais geral para o termo evapotranspiração, dada às diferenças entre culturas utilizadas, mesmo se tratando de variedades de grama, no conceito da referida variável.

Surgiu então a definição de evapotranspiração de referência (ETo), que segundo Sediyama (1996), refere-se a evapotranspiração de uma área com vegetação rasteira, na qual são feitas as medições meteorológicas, para obtenção de um conjunto consistente de dados de coeficientes de cultura, para serem utilizados na determinação da evapotranspiração de outras culturas agrícolas. Cabe também frisar a definição de ETo feita por Doorenbos e Pruitt (1975) no Boletim 24 da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a qual foi definida como "*taxa de evapotranspiração para uma extensa superfície, com cobertura gramada de altura uniforme, entre 8 e 15 cm, em crescimento ativo, com o solo completamente sombreado e sem déficit de água*". Burman e Pochop (1994) relatam que a ETo é similar a evapotranspiração potencial, com exceção de que é aplicada para uma cultura identificada, como grama ou alfafa.

Pereira *et al.* (1997) definiram a evapotranspiração real (ETr) como sendo aquela que ocorre numa superfície vegetada, independente de sua área, de seu porte e das condições de umidade do solo, portanto é aquela que ocorre em qualquer circunstância. Gangopadhyaya *et al*. (1966) definiram a evapotranspiração real como sendo a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais (existentes) de fatores atmosféricos e umidade do solo. Ainda segundo o mesmo autor, a evapotranspiração real é igual ou menor que a evapotranspiração potencial (ETr < ETp), entretanto, cabe lembrar que essa afirmação somente é válida referente a mesma cultura de ETr em estado de umidade constante e solo totalmente vegetado.

Segundo Matzenauer *et al.* (2002), a evapotranspiração máxima (ETm), é a perda de água por uma cultura qualquer, em condições ótimas de densidade de plantas e fertilidade do solo, sem limitação de água no solo e em qualquer estágio de desenvolvimento. Ela é função, basicamente, das condições meteorológicas que ocorrem durante o ciclo de desenvolvimento das plantas. Dessa forma os fatores que exercem maior influência são aqueles relacionados à demanda evaporativa da atmosfera. Matzenauer *et al.* (1998) dizem que a ETm determinada em condições específicas de um local, ano ou época de semeadura não pode ser extrapolada para outras situações em valores absolutos.

Entretanto, segundo Pereira *et al.* (1997), o termo evapotranspiração máxima tem significado bastante vago, ou seja, para Doorenbos e Kassam (1994) o termo representa a evapotranspiração da cultura, para Tanner e Judy (1976) corresponde à condição potencial e para Villa Nova e Richardt (1989) representa uma condição de oásis, sendo conveniente evitar um termo que tem diferentes significados.

Dentre as várias nomenclaturas, sobre a evapotranspiração, citadas na literatura, neste trabalho será usada apenas o termo evapotranspiração de cultura como a evapotranspiração máxima e a evapotranspiração de referência como evapotranspiração potencial.

2.4.4.2. Estimativa da evapotranspiração

Burman *et al.* (1983) *apud* Machado e Mattos (2000) revisaram vários métodos de determinação da evapotranspiração adotados em diversas partes do mundo. Segundo os autores, os métodos podem ser classificados em dois grandes grupos: o primeiro inclui os métodos onde a evapotranspiração pode ser determinada a partir de *medidas diretas* e no segundo grupo estão os métodos determinados através de dados climáticos, também chamados de métodos de estimativas ou de *métodos indiretos*, nos quais a evaporação ou a evapotranspiração são avaliadas por fórmulas empíricas e racionais e posteriormente, são correlacionadas com a evapotranspiração de cultura por meio de coeficientes de proporcionalidade.

As medidas diretas, segundo Silva *et al*. (1999), são mais precisos porém são de uso restrito da pesquisa devido ao seu maior custo e às difíceis condições de manejo. De acordo com Fontana (1992), as medidas diretas são feitas utilizando dois grupos de métodos: os métodos micrometeorológicos e os métodos baseados na equação do balanço hídrico (através de lisímetros).

Os métodos indiretos são mais empregados nas estimativas da evapotranspiração de referência, visto que estes utilizam somente dados meteorológicos facilmente disponíveis. Entretanto, Medeiros (1998) e Camargo e Sentelhas (1997) ressaltam que estes métodos foram desenvolvidos em condições climáticas específicas, existindo, portanto a necessidade de testá-los em uma determinada região, através da comparação dos valores estimados com valores medidos em equipamento padrão. Desta forma, obtêm-se os métodos mais apropriados à região, os quais podem ser utilizados em outras regiões climaticamente semelhantes.

2.5. COEFICIENTE DE CULTURA (kc)

O conceito do coeficiente kc surgiu da necessidade de se converter a evapotranspiração de referência (ETo) em evapotranspiração da cultura (ETc). As estimativas da ETo, normalmente, são desenvolvidas tomando-se como padrão uma superfície vegetada por uma planta de pequeno porte, geralmente grama, que cobre completamente a superfície do solo. Logo, tais métodos representam apenas as condições atmosféricas. Essas condições raramente representam as condições da cultura, onde o plantio é feito em linhas ou em covas, quando o terreno fica parcialmente coberto na maior parte do tempo de cultivo (Radin, 1998).

Neste trabalho, será adotada a definição feita pela FAO, a qual diz que o coeficiente de cultura (kc) é a razão entre a evapotranspiração da cultura (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo) observada num período de tempo, em relação a uma cultura qualquer.

Matzenauer (1992) analisando trabalhos realizados no estado do Rio Grande do Sul sobre o kc de várias culturas de maior importância econômica, como o milho, a soja, o feijão, o trigo e o girassol, verificou que em todas elas o kc foi baixo no início do ciclo, aumentando progressivamente com o aumento do índice de área foliar (IAF), decrescendo após a maturação.

A Figura 2.4 apresenta a curva de coeficiente de cultura (kc) para culturas anuais, de acordo com o estádio de desenvolvimento.

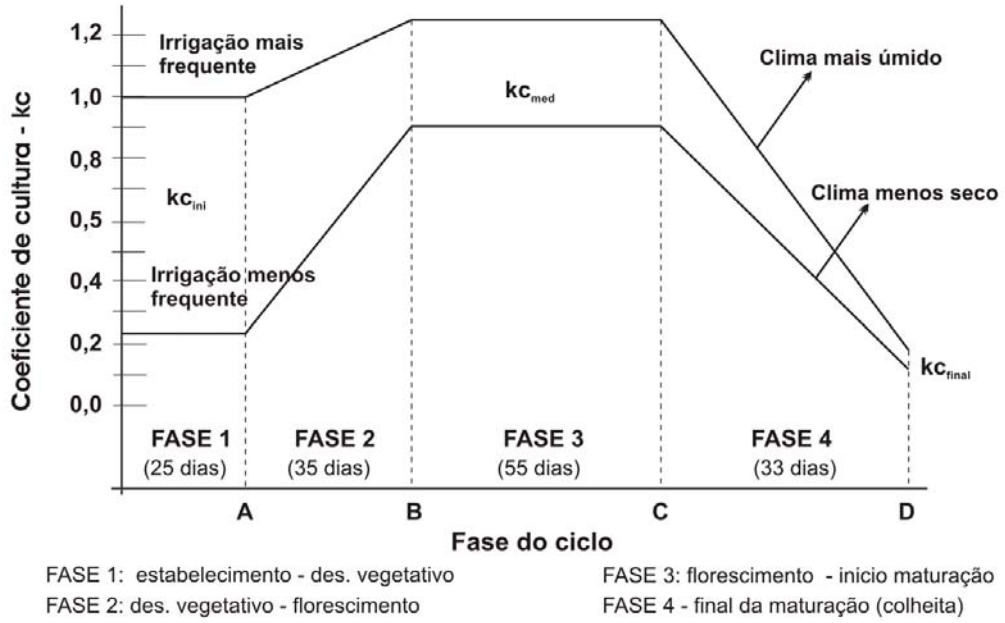

Figura 2.4. Curva do kc para culturas anuais, segundo o estádio de desenvolvimento. (Fonte: adaptado de Allen *et al*., 1998)

Na Tabela 2.1 são apresentados valores de coeficientes médios de cultura para a soja em diferentes estádios de desenvolvimento.

Tabela 2.1. Valores de kc médios da soja no Estado do Rio Grande do Sul, no período crítico da soja (R_1-R_5: início da floração até início de enchimento de grãos), nos anos de 1975 a 1999.

LOCAL	ÉPOCA DE SEMEADURA			AUTOR
	OUT	NOV	DEZ	
Cruz Alta	0,54	0,65	0,72	Matzenauer *et al*. (2002)
Júlio de Castilho	0,49	0,56	0,66	“”
Passo Fundo	0,66	0,68	0,73	“”
Santa Rosa	0,61	0,67	0,70	“”
São Borja	0,56	0,64	0,67	“”
São Gabriel	0,48	0,55	0,55	“”
Taquari	0,60	0,63	0,65	“”
Rio Grande	0,46	0,50	0,58	“”
Encruzilhada do Sul	0,51	0,62	0,68	“”
Veranópolis	0,62	0,67	0,74	“”
*Taquari	-	1,50	-	Berlato *et al*. (1986)

* valores médios de 5 anos

2.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo do balanço hídrico no solo constitui uma importante ferramenta para o manejo racional dos recursos hídricos, pois permite acompanhar os vários processos que envolvem a dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera, através das variáveis hidrológicas envolvidas (precipitação, armazenamento de água no solo, escoamento superficial e drenagem profunda e a evapotranspiração).

Para análise das variáveis hidrológicas, vários pesquisadores têm realizado o estudo do balanço hídrico através de lisímetros, os quais permitem ter um maior controle das variáveis hidrológicas envolvidas, conforme visto neste capítulo.

Neste capítulo também foram abordados os principais equipamentos e métodos para medição e determinação das variáveis do balanço hídrico do solo. Dentre os equipamentos de medição se destacam os pluviógrafos, para medição da precipitação e do escoamento superficial e drenagem profunda e, tensiômetros e aparelho TDR para medição da tensão de água no solo e da umidade respectivamente, que posteriormente foram utilizados para determinação do armazenamento de água no solo.

No capítulo seguinte é apresentado com mais detalhe a metodologia aplicada nesse trabalho, assim como a construção e instalação dos lisímetros e também a instalação dos equipamentos de medição das variáveis hidrológicas envolvidas no balanço hídrico.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi realizado na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul na posição central do derrame basáltico sul-americano, na bacia hidrográfica do Rio Potiribu (Figura 3.1), contribuinte da margem esquerda do Rio Ijuí, o qual é afluente da margem esquerda do Rio Uruguai. A bacia do Potiribu possui uma área total de 562 km^2, e é formada por várias sub-bacias embutidas as quais são monitoradas pelo Projeto Potiribu (Castro *et al*., 2000). Atualmente são monitoradas três sub-bacias: Donato, Turcato e Taboão, sendo o foco deste estudo à bacia do arroio Donato. Esta bacia tem uma área aproximadamente de 1,1 km^2 formada por dois canais principais e apresenta uma declividade média de 5 %.

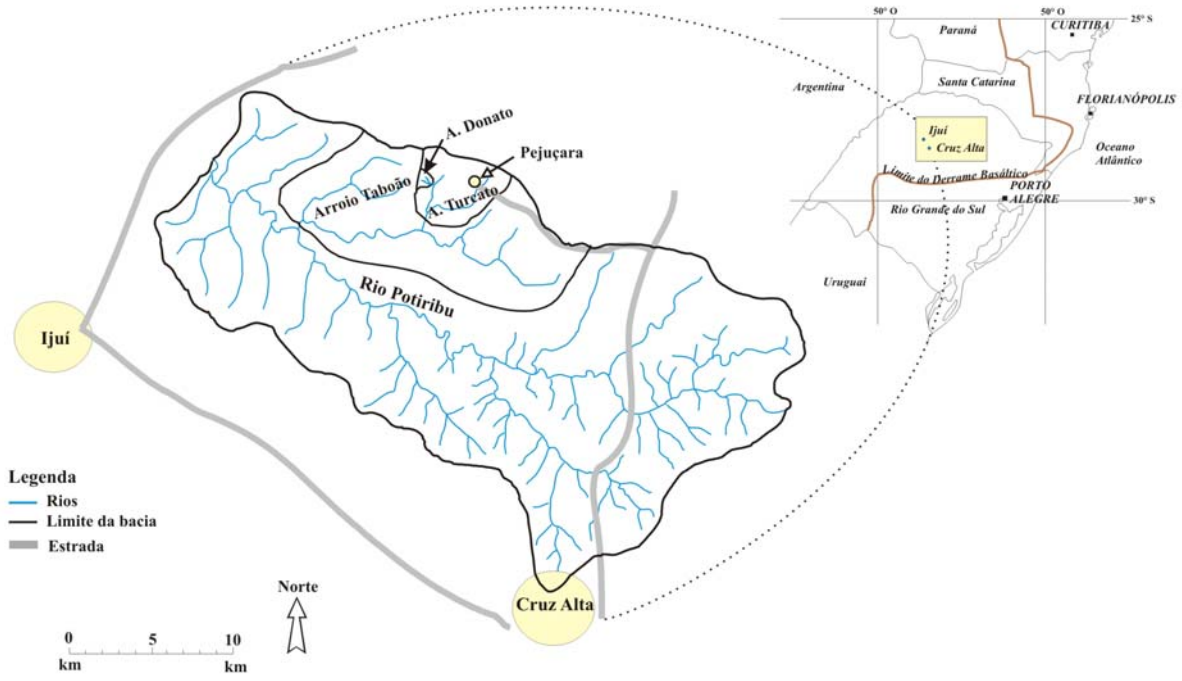

Figura 3.1. Bacia do Rio Potiribu. (Fonte: adaptado de Castro *et al*., 2000)

Essa bacia foi escolhida devido ao estudo realizado por pesquisadores do IPH/UFRGS, na década de 80, que abrangeu uma área de aproximadamente 230.000 km^2 do derrame basáltico nos Estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul (Bordas e Borges, 1990). De acordo com os mesmos autores, o estudo identificou treze zonas físico-climáticas homogêneas com base nos critérios de erosividade da chuva, erodibilidade do solo e relevo. Destas, cinco zonas foram consideradas representativas da região do derrame basáltico para estudos de produção e de controle de água e sedimentos. Três delas localizam-se na borda do derrame, onde o relevo é bastante acidentado, e as outras duas localizam-se na porção mais central do derrame, caracterizadas por um relevo mais suave. Dessa forma, a bacia do rio Potiribu foi escolhida como representativa do segundo tipo de zona, a qual é extremamente cultivada. A seguir são descritas características fisiográficas da bacia.

3.1.1. CLIMA

O clima da região é mesotérmico brando, do tipo temperado, superúmido e sem estação seca, as precipitações médias anuais giram em torno dos 1826 mm, bem distribuídas entre os meses do ano, não sendo possível identificar um período de estiagem (Castro *et al.*, 1993 e Medeiros, 2004). Observa-se na Figura 3.2 que o mês de outubro é o mês mais chuvoso (243 mm) e o de Agosto o menos (114,5mm).

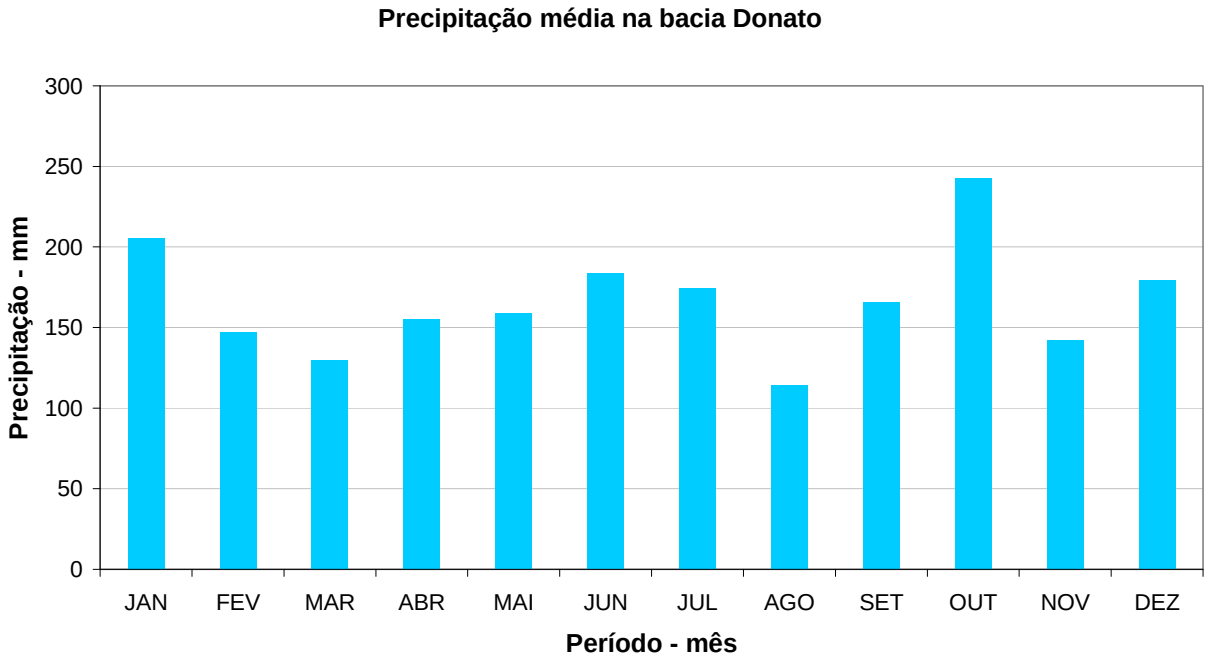

Figura 3.2. Precipitações médias na bacia do arroio Donato, entre 1990 e 2003

Com relação aos aspectos térmicos, tem-se uma temperatura média anual oscilando entre 18 e 19 ºC, sendo julho o mês mais frio (13 a 14 ºC) e janeiro o mais quente (24 ºC). Contudo, é muito grande a amplitude térmica, sendo que a média das temperaturas máximas do mês mais quente é 32 ºC e a média das temperaturas mínimas do mês mais frio estando em torno de 8 ºC (IPAGRO, 1989).

A umidade relativa média do ar desta região é de 69 %, sendo o valor mínimo de 65 % no mês de dezembro e alcança 80 % em julho. Cabe ressaltar que nesses meses, as evaporações médias diárias são da ordem de 4,2 mm e 2,3 mm, respectivamente, atingindo 1200 mm no ano (IPAGRO, 1989). Esses dados são referentes à estação meteorologia localizada no município de Ijuí.

3.1.2. SOLO E USO DO SOLO

Os solos dessa região foram desenvolvidos a partir de rochas eruptivas basálticas e compreendem aproximadamente 60 % da área do planalto basáltico sulino e 7,26 % da área territorial do Estado do Rio Grande do Sul. A textura deste solo é argilosa, com 70 % de argila, 18 % de silte, 7 % de areia fina e 5 % de areia grossa, de acordo com levantamento do reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul (Lemos, 1973).

Carvalho *et al.* (1990) identificaram seis unidades de mapeamento no estudo feito sobre o levantamento de solos na região, das quais predominam o Neossolo Flúvico Tb Eutrófico (RUbe), Neossolo Litólico Eutrófico (RLe), Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf), Nitossolo Vermelho Eutroférrico (NVef) e Gleissolo Háplico (GX).

Segundo Viero (2004), na bacia do arroio Donato os solos predominante são os pertencentes à unidade de classificação de mapeamento do Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf) e do Nitossolo Vermelho Eutroférrico (NVef).

Os solos da unidade de mapeamento classificados como Latossolo Vermelho Distroférrico apresentam três subclasses na bacia do Taboão com base no tipo de relevo e na classe de declividade do terreno onde ocorrem. De acordo com Viero (2004), esses solos apresentam uma inerente resistência à erosão em estado natural devido ao alto grau de floculação das argilas, à alta porosidade, a boa permeabilidade e ao fato de ocorrerem em áreas de relevo suave.

Na bacia do arroio Donato, a subclasse que se destaca é o Latossolo Vermelho Distroférrico típico textura muito argilosa A moderado epieutrófico, relevo suave ondulado,

3-8 % de declive, meia encosta. É importante ressaltar que os lisímetros estão instalados nesta subclasse de solo, conforme se observa na Figura 3.3.

Os solos pertencentes a unidade de mapeamento Nitossolo Vermelho Eutroférrico típico textura muito argilosa A moderado fase relevo ondulado (NVef), ocupam as encostas inferiores das elevações, com declives em geral entre 8 e 15 %, próximo aos cursos de água que drenam a região. Esses solos apresentam sérios riscos de erosão, caso sejam mal manejados, em função dos declives relativamente acentuados onde ocorrem.

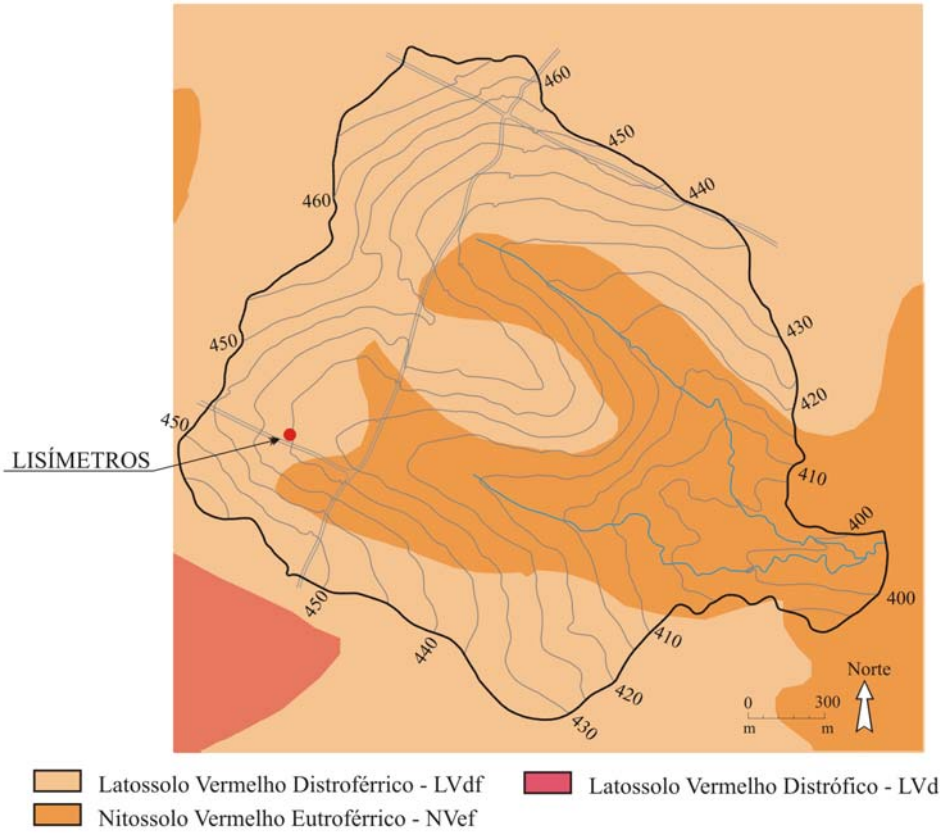

Figura 3.3. Mapa de solos da bacia do arroio Donato. (Fonte: Adaptado de Viero, 2004)

Na Tabela 3.1 é apresentada a análise granulométrica do solo de amostras retiradas próximo aos lisímetros nas profundidades 5, 10, 25 e 50 cm.

Tabela 3.1. Análise granulométrica do solo na bacia do arroio Donato (Fonte: Castro, 2005)

PROFUNDIDADE (cm)	**GRANULOMETRIA (%)**			
	ARGILA (< 0,002 mm)	**SILTE (0,002 a 0,02 mm)**	**AREIA FINA (0,02 a 0,2 mm)**	**AREIA GROSSA (0,2 a 2 mm)**
5	54	21	11	14
10	60	18	10	12
25	63	18	9	10
50	78	9	6	7

Observa-se na Tabela 3.1 que a textura do solo apresenta em sua composição mais de 50 % de argila em todas as profundidades, sendo o percentual restante distribuído em silte, areia fina e areia grossa.

Segundo Mendiondo (1995), até maio de 1994, a maioria dos agricultores utilizava o terraço e plantio convencional como técnica conservacionista. Entende-se por preparo convencional do solo, segundo Derpsch *et al.* (1991), o preparo primário com arado de discos, seguido de duas gradagens niveladoras com a grade leve, onde a aração é feita numa profundidade de 20 a 25 cm.

Atualmente, os agricultores em geral estão utilizando o manejo do solo correspondente ao plantio direto, o qual corresponde a uma técnica de colocação da semente em solo não revolvido, onde os resíduos da cultura anterior (palha) permanecem na superfície. Esse método é o único capaz de, através de uma camada de restos vegetais remanescentes, resguardar o solo contra a energia de impacto das gotas de chuva durante o ano todo e controlar a erosão eficientemente (Derpsch *et al.*, 1991).

3.1.3. VEGETAÇÃO

Carvalho *et al.* (1990) ressaltam que a vegetação primitiva era florestal do tipo intermediário tropical-subtropical. A maior parte da floresta original foi removida para dar origem a lavouras. Castro (1992) relata que há aproximadamente 30 anos, a exploração vem sendo intensificada com o plantio da soja, chegando nos tempos atuais com uma agricultura totalmente mecanizada e o uso de pesticidas e fertilizantes.

As principais culturas da região são a soja e o milho como culturas de verão e o trigo e a aveia como culturas de inverno, sendo que em uma pequena parcela da região a pecuária é desenvolvida. Em geral, na maior parte da bacia, os solos permanecem cobertos o ano inteiro com lavoura e pastagem. O solo fica descoberto na época da colheita de uma safra e quase imediatamente após já é plantada a próxima cultura, ficando pouco tempo sem cobertura. Segundo Castro (1992), o plantio de verão (soja e milho) ocorre geralmente em novembro e sua colheita em abril e as culturas de inverno (trigo e aveia), geralmente são plantadas em maio e colhidas em outubro. Vale ressaltar que na bacia do arroio Donato a agricultura ocupa a totalidade da bacia, com exceção da pouca mata localizada em volta do arroio Donato, de uma pequena área próxima a única residência da bacia e outra pequena parte próxima a estrada.

3.2. LOCALIZAÇÃO DOS LISÍMETROS NA BACIA

Para esse estudo foram construídos dois lisímetros, um representando o manejo correspondente ao plantio direto, mantendo-se a superfície do solo coberta com a palha da cultura anteriormente colhida (o qual será tratado como lisímetro com palha), e o outro representando o manejo também correspondente ao plantio direto, porém sem a palha (lisímetro sem palha). A Figura 3.4 apresenta a localização dos lisímetros na bacia e também dos aparelhos (tensiômetros, pluviógrafos, estação meteorológica) instalados na bacia.

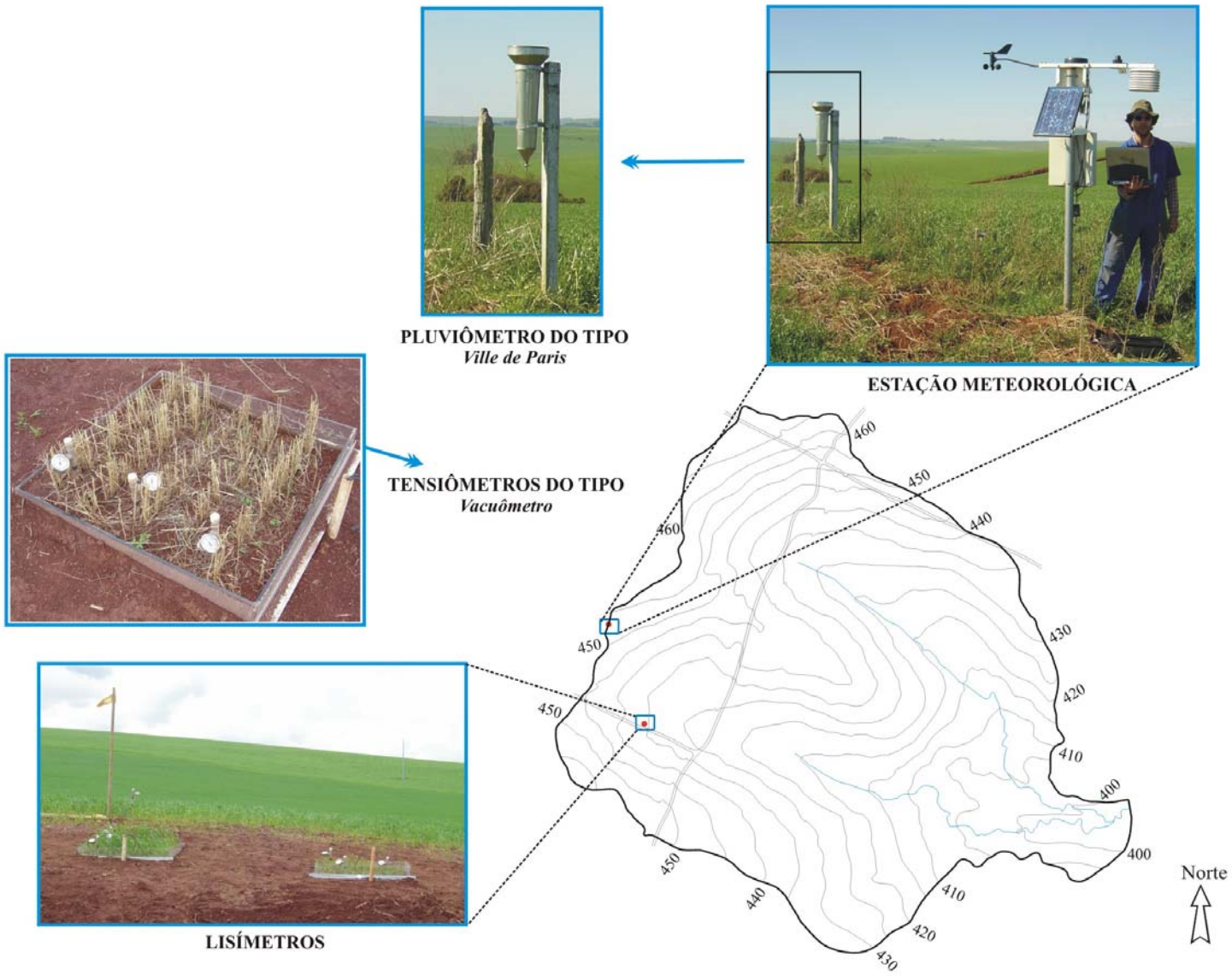

Figura 3.4. Localização dos lisímetros na bacia e os equipamentos de medição (estação, pluviógrafo, pluviômetro e tensiômetro)

3.2.1. CONFECÇÃO DO LISÍMETRO E INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

A seguir são apresentados a construção, instalação e operação dos lisímetros.

3.2.1.1. Construção do lisímetro

O lisímetro utilizado no trabalho foi o lisímetro volumétrico usando uma amostra de 1 m^3 de solo não deformada. Apesar de tornar a coleta de solo difícil, a opção de utilizar amostra não deformada possibilita preservar as características estruturais do solo. Para confecção do mesmo construíram-se duas caixas (Figura 3.5), a primeira (vazada, chamada de C-1) sendo utilizada para a coleta da amostra do solo e a segunda (chamada de C-2) para a confecção da base do lisímetro. Para a construção das caixas utilizaram-se chapas de acrílico por ser um material inerte e permitir o estudo de contaminação de herbicidas na água e no solo, em pesquisas futuras.

Para a construção de C-1, foram utilizadas quatro chapas de acrílico ½" de espessura, cujas dimensões são apresentadas na Tabela 3.2; as chapas foram coladas, parafusadas e reforçadas com 4 cintas de barra de alumínio de perfil cantoneira, com dimensão de 1124 mm x 5 mm para cada barra, como mostra a Figura 3.5a, totalizando um volume interno de 1 m^3.

Para a confecção da C-2 utilizaram-se 5 chapas de acrílico também de ½" de espessura, cujas dimensões são mostradas na Tabela 3.2, analogamente a confecção de C-1, as chapas foram coladas e parafusadas (Figura 3.5b), possuindo um volume interno de 0,10 m^3. Observa-se na Figura 3.5b que utilizou-se mais uma cinta com as mesmas características das outras para ligação de C-1 com a C-2. A Figura 3.6 apresenta as vistas lateral e do topo do lisímetro com suas dimensões em mm.

Tabela 3.2. Chapas (quantidades e dimensões) utilizadas para a confecção das caixas C-1 e C-2

Caixa	Quantidade	Dimensões – mm
C-1	2	1000 x 1024
	2	1000 x 1000
C-2	1	1024 x 1024
	2	100 x 1024
	2	100 x 1000

A base do lisímetro foi feita, como comentado anteriormente, utilizando a caixa C-2 de 10 cm de altura, cobrindo as paredes internas da caixa por uma manta sintética que

atua como filtro (tipo geotextil, marca bidim para não causar entupimento do sistema de drenagem) e preenchida por brita nº 0 (diâmetro variando entre 6 e 11 mm).

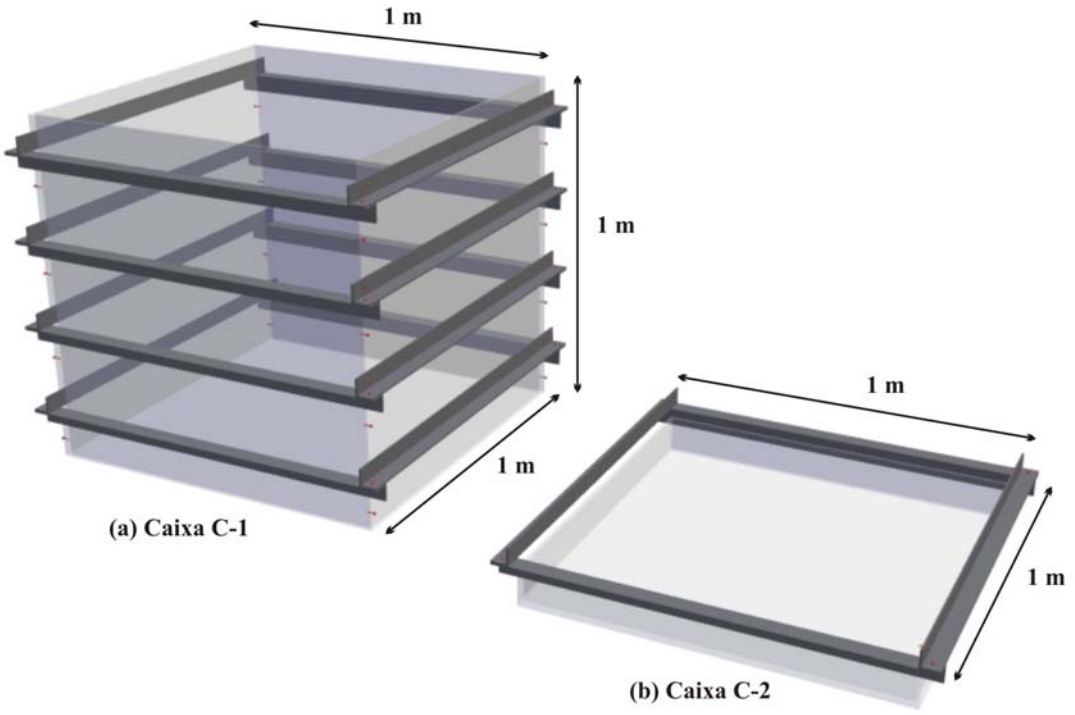

Figura 3.5. Lisímetro formado pelas caixas C-1 e C-2

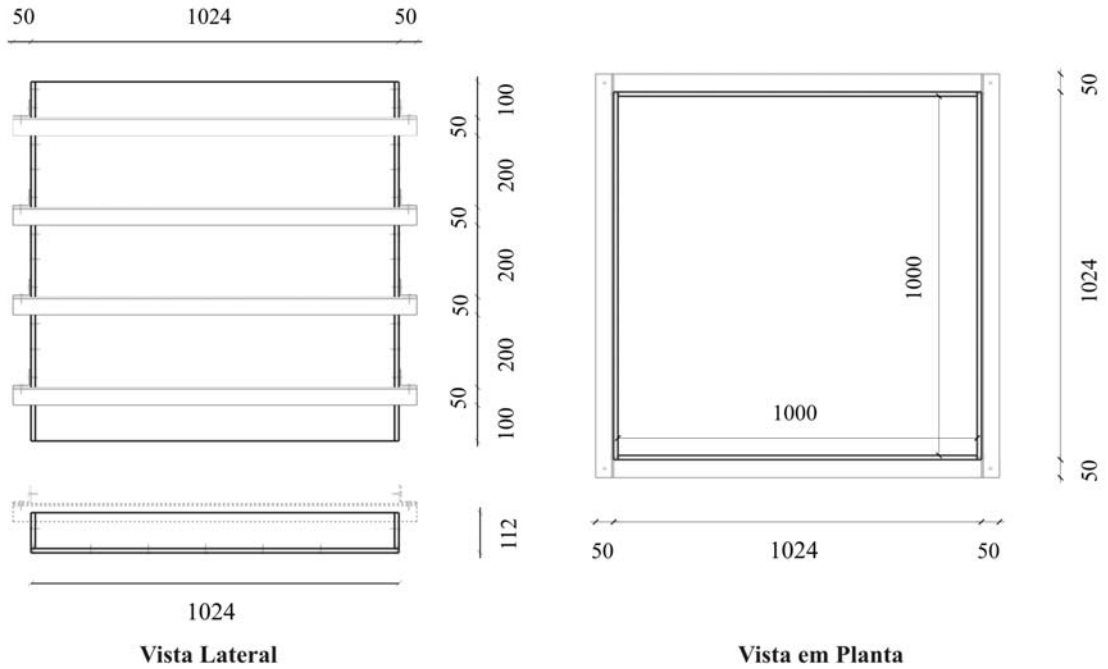

Figura 3.6. Vistas lateral e em planta do lisímetro com suas dimensões (mm)

3.2.1.2. Instalação do lisímetro

A instalação do lisímetro ocorreu entre os dias 20 e 31 de agosto de 2003 e consistiu em duas etapas: coleta da amostra de solo não deformada ($1m^3$) e a montagem do lisímetro. A primeira etapa foi feita manualmente. Para sua realização foi preciso adaptar um quadro de ferro na parte inferior da caixa C-1 (Figura 3.7a), depois disso posicionou C-1 no local de coleta e na parte superior de C-1, sobre um apoio, colocou-se uma caixa d'água de 1000 litros (para facilitar a penetração de C-1 no solo, Figura 3.7b). Depois em sua volta abriram-se três trincheiras, utilizando uma retro escavadeira (Figura 3.7b), a penetração da caixa C-1 no solo foi feita com auxílio de marreta, pá e enxada, batendo com a marreta nas bordas do quadro de ferro e retirando o excesso de solo, em volta de C-1, com ajuda da pá e da enxada (Figura 3.7c e Figura 3.7d). Quando a caixa com a amostra de solo, atingiu uma profundidade de aproximadamente 1 m, cortou-se a amostra usando um cabo de aço puxado por uma caminhonete. A Figura 3.7 apresenta a coleta da amostra do solo não deformada de 1 m^3.

Figura 3.7. Coleta da amostra não deformada no campo

Após a coleta da amostra, iniciou-se a segunda etapa, montagem do lisímetro, sendo realizada da seguinte forma: primeiramente colocou-se um encaixe de ferro na parte

inferior da caixa C-1 (Figura 3.8a) com o objetivo de erguer a amostra, posteriormente, em volta do local onde foi coletada a amostra instalou-se um tripé metálico com uma talha no centro (com uma capacidade de 3 toneladas); utilizando-se correntes ergueu-se C-1 (Figura 3.8b), com a amostra do solo coletada. Em seguida em baixo da amostra erguida colocou-se a base do lisímetro feita com a caixa C-2 sobre um leito de areia e na seqüência baixando manualmente com cuidado C-1 sobre a base já preparada com brita e manta sintética (Figura 3.8c). Depois de encaixada C-1 e C-2, fez-se a junção entre as duas caixas utilizando silicone para vedação e colocou-se a barra de alumínio em volta (Figura 3.8d).

Figura 3.8. Montagem do lisímetro

3.2.1.3. Equipamentos de medição

Após a coleta do solo foram feitos dois furos de 30 mm no lisímetro, localizados na parte mais baixa da superfície e do fundo (Figura 3.9a em destaque), para instalação das tubulações de coleta do escoamento superficial e da drenagem profunda utilizando-se serra-copo e gerador de energia a gasolina, assim como para instalação de três sensores de umidade e de dois sensores de temperatura. As profundidades dos sensores de umidade foram 20, 45 e 85 cm da superfície do lisímetro a uma distância de 30 cm do centro da amostra. Os dois sensores de temperatura foram colocados nos mesmos furos dos sensores de umidade,

instalados nas profundidades de 20 e 85 cm e a uma distância horizontal de 15 cm do centro da amostra.

Os fios dos sensores para medida de temperatura foram protegidos com uma mangueira, com o intuito de não danificá-los o que poderia ocasionar erros na leitura da temperatura. Esses fios foram conectados com datalogger.

Depois de instalados os equipamentos no lisímetro, os furos foram vedados com silicone.

Para as tubulações, utilizadas para coleta do escoamento superficial e da drenagem profunda, foram utilizados tubos de pvc de diâmetro de 25 mm (Figura 3.9c).

Os pluviógrafos (utilizados para medição dos escoamentos) e os datalogger (utilizados para armazenamento dos dados de escoamentos e de temperatura) foram instalados próximos aos lisímetros e alimentados por baterias e painel solar, protegidos por uma caixa metálica (Figura 3.9d e Figura 3.9e).

Cabe ressaltar que os sensores pluviométricos utilizados são do tipo cuba basculante Global Water®, modelo RG200, com medições de 0,2 mm de precipitação e precisão do mecanismo de 3 % para intensidades de até 100 mh^{-1}.

Instalados todos os equipamentos de medição nos lisímetros, colocou-se solo em volta dos mesmos de modo que todas as paredes do lisímetro ficassem totalmente em contato com o solo e que a superfície do solo dentro do lisímetro ficasse no mesmo nível do terreno.

Todo esse trabalho (instalação e montagem dos lisímetros assim como também a instalação dos equipamentos de medição) foi feito com as trincheiras abertas e com ajuda de quatro hidrotécnicos. No período da coleta e instalação dos lisímetros, o solo estava coberto com trigo e foi mantida a cobertura dentro dos lisímetros, sendo que em um deles manteve-se a palha da cultura anterior e em outro retirou-se completamente a palha.

Figura 3.9. Instalação dos equipamentos de medição e de armazenamento de dados no lisímetro

3.2.2. MEDIÇÕES E CÁLCULOS DAS VARIÁVEIS

Neste item é apresentado como foram medidas e estimadas as principais variáveis da equação do balanço hídrico aplicado nos lisímetros, como a precipitação, a variação de armazenamento de água no solo, os volumes superficial e drenagem profunda e a evapotranspiração da cultura.

3.2.2.1. Precipitação

Para determinação da precipitação foram utilizados dados da estação meteorológica digital instalada na bacia do arroio Donato distando aproximadamente 200 m dos lisímetros. Além do pluviógrafo da estação (EST-13), utilizaram-se mais três pluviógrafos (PVG-23, PVG-34 e PVG-37) e um pluviômetro (PM-61) para a análise da chuva na região. No período onde houve falha ou dados de precipitação menores que aqueles registrados nos pluviógrafos próximos a bacia, utilizaram-se os dados do pluviógrafo mais próximo, ou seja, o PVG-23 localizado a 3.525 m dos lisímetros. Na Tabela 3.3 são apresentados os intervalos de medição de cada aparelho e, na Figura 3.10 é apresentada a localização desses aparelhos na bacia do arroio Donato e nas suas proximidades.

Tabela 3.3. Intervalos de medição dos aparelhos pluviógrafos e pluviômetro utilizado no estudo

APARELHOS	INTERVALO DE MEDIÇÃO
Pluviógrafo EST-13	Em intervalos de tempo programado de uma em uma hora
Pluviógrafo PVG-23	“” “” “” “” de 10 em 10 minutos
Pluviógrafo PVG-34	“” “” “” “” “” “” “”
Pluviógrafo PVG-37	“” “” “” “” “” “” “”
Pluviômetro PM-61	Intervalos diários

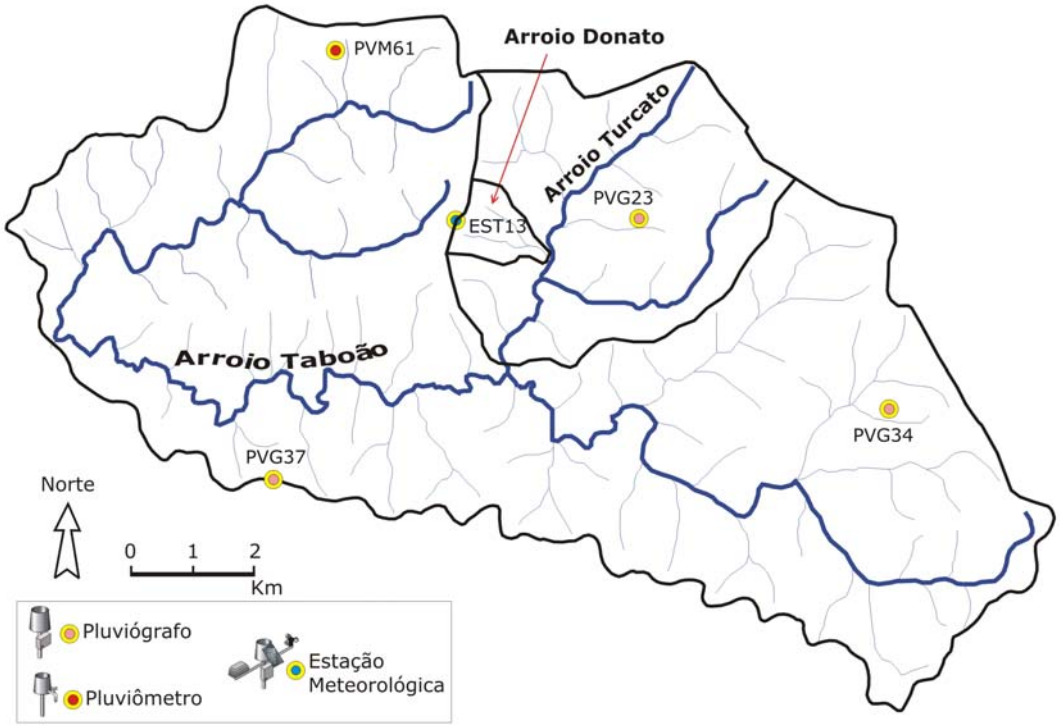

Figura 3.10. Localização dos pluviógrafos e do pluviômetro na bacia do arroio Donato e nas proximidades.

3.2.2.2. Variação de armazenamento de água no solo

Inicialmente foram realizadas medidas de tensão de água no solo para determinação da umidade; que posteriormente foi utilizada para o cálculo da variação de armazenamento de água no solo.

Para isso, foram instalados verticalmente três tensiômetros nas profundidades de 10, 30 e 70 cm (Figura 3.9b), espaçados entre uma fileira e outra da cultura. Em cada profundidade foram coletadas três amostras não deformadas de solo, com o objetivo de construir a curva de retenção do solo e conseqüentemente determinar a umidade de água no solo correspondente a cada valor de tensão do solo, lido nos tensiômetros. Essa curva foi feita no laboratório de água e solo do IPH pelo método de câmara de pressão com placa porosa, também conhecido como câmara de pressão de Richards. Esse método consiste, basicamente, de uma câmara construída para suportar alta pressão, com uma placa de cerâmica porosa no seu interior (Figura 3.11).

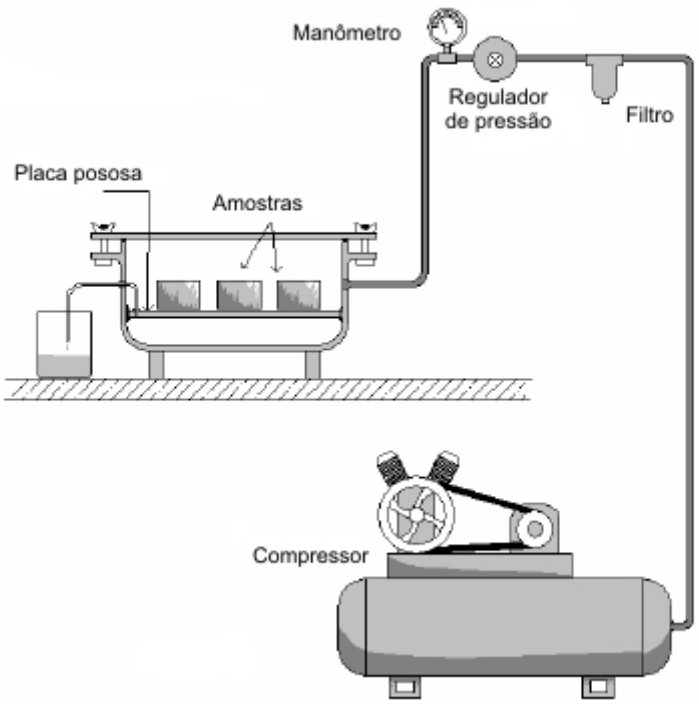

Figura 3.11. Equipamento laboratorial para determinação da curva de retenção, Câmara de Richards (Fonte: adaptado de Cichota, 2003)

Além dos tensiômetros, a umidade foi medida através de sensores de umidade do TDR. As leituras dos tensiômetros foram feitas por um observador, o qual realizava as mesmas diariamente, enquanto que as leituras do TDR foram realizadas mensalmente, durante a coleta dos dados.

Para a determinação da variação de armazenamento de água no solo, inicialmente calculou-se o armazenamento de água utilizando a regra do trapézio, a qual assume que, entre dois pontos consecutivos de medida, a umidade varia linearmente com a profundidade do solo, conforme mostra o esquema na Figura 3.12.

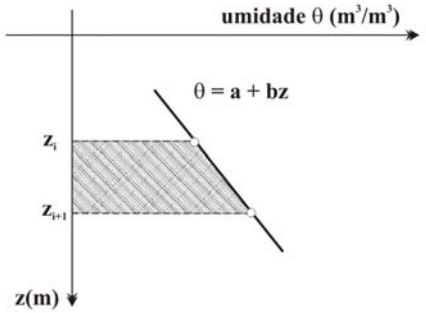

Figura 3.12. Esquema da regra do trapézio. (Fonte: adaptado de Libardi, 2000)

O cálculo do armazenamento de água no solo foi feito utilizando três pontos de umidade, conforme mostra na Figura 3.13; como não foram feitas medidas na superfície e no fundo considerou que a umidade na superfície fosse igual a umidade na profundidade z_1 e no fundo fosse igual a umidade na profundidade z_3. No perfil de umidade do solo nos lisímetros, as profundidades z_1, z_2, z_3 e z_n correspondem a 10, 30, 70 e 90 cm. A área hachurada apresentada na Figura 3.13 corresponde ao armazenamento de água no solo no ponto z_2.

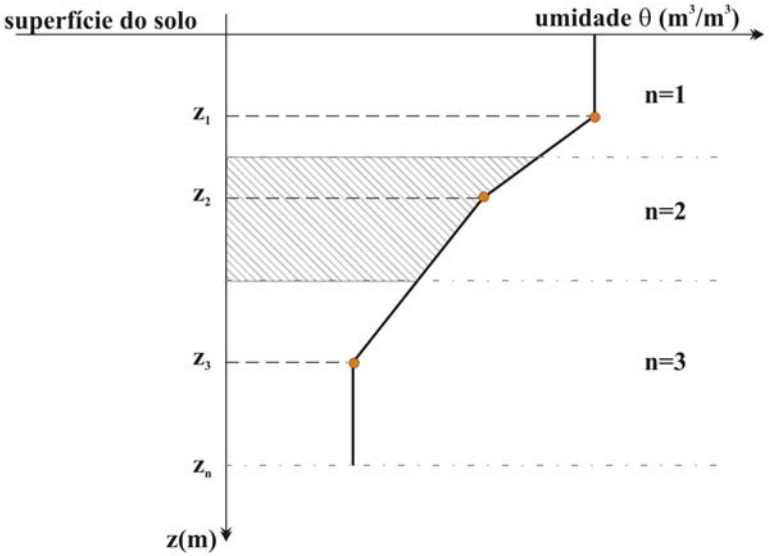

Figura 3.13. Perfil de umidade do solo nos lisímetros

De posse dos dados de armazenamento de água no solo, a variação de armazenamento é dado pela seguinte expressão:

$$\Delta A = A_{i+1} - A_i \qquad \text{equação 3.1}$$

onde, ΔA é a variação de armazenamento; A_i corresponde ao armazenamento no dia e o A_{i+1} correspondente ao armazenamento no dia seguinte.

3.2.2.3. Volume superficial e drenagem profunda

Os volumes superficial e da drenagem profunda foram medidos por aparelhos pluviógrafos digitais com datalogger e sensor tipo caçamba com precisão de 0,2 mm, os quais totalizam quatro pluviógrafos (dois para cada lisímetro).

Cabe ressaltar que para o cálculo dos volumes superficial e da drenagem profunda numa área de 1 m^2 (correspondente à área de captação nos lisímetros) multiplicou-se por 0,031 m^2 (a qual corresponde a área de captação do pluviógrafo) a lâmina d'água medida no pluviógrafo.

3.2.2.4. Evapotranspiração

A medida da evapotranspiração no lisímetro foi feita utilizando a expressão do balanço hídrico descrita no capítulo 2 (equação 2.2); isolando a variável ET dessa equação obtém-se a seguinte expressão:

$$ET = P - DP - ES \pm \Delta A \qquad \text{equação 3.2}$$

onde, ET é a evapotranspiração; P é a precipitação; DP é a drenagem profunda; ES é o escoamento superficial e ΔA é o armazenamento de água no solo.

Cabe ressaltar que as análises dos dados de evapotranspiração foram feitas em períodos diários.

3.3. COEFICIENTE DE CULTURA

O coeficiente de cultura foi obtido pela razão entre a evapotranspiração da cultura medida no lisímetro e a evapotranspiração de referência (registrada pela estação meteorológica, o qual estima a mesma através do método de Penman). Logo, a expressão para determinação do coeficiente de cultura é dada por:

$$kc = \frac{ETc}{ETo} \qquad \text{equação 3.3}$$

onde, kc é o coeficiente de cultura; ETc é a evapotranspiração da cultura e ETo é a evapotranspiração de referência.

A equação de Penman utilizada para estimativa da evapotranspiração de referência, a qual é registrada pela estação meteorológica é dada pela seguinte expressão:

$$ETo = \frac{W \cdot Rn + (1 - W) \cdot \lambda \cdot Ea}{\lambda} \qquad \text{equação 3.4}$$

onde, ETo é a evapotranspiração de referência; W é o fator de ponderação dependente da temperatura do bulbo molhado e do coeficiente psicrométrico; Rn é o saldo de radiação ou radiação líquida (efetiva); λ é o calor latente de evaporação e Ea é o poder evaporante.

A metodologia para determinação dos parâmetros da equação 3.4 é descrita em Pereira *et al*. (1997).

Cabe ressaltar que a determinação dos valores de kc foi realizada para duas condições de manejo do solo, a primeira correspondente ao plantio direto e a segunda ao plantio direto sem considerar a palha.

É importante também frisar que os valores de kc são determinados para valores de ETc em condições de ótima disponibilidade de água no solo, ou seja, a umidade próxima da capacidade de campo. No presente trabalho, os valores de ETc foram determinados nas condições normais de campo, sem nenhum controle de irrigação, por isso determinou-se os kc nos dias chuvosos em que o solo se encontrava em umidade próxima a capacidade de campo

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são discutidos os dados de precipitação, tensão de água no solo, umidade do solo, volumes superficial e drenagem profunda dos lisímetros e também os resultados de temperatura do solo e evapotranspiração dos lisímetros com e sem palha.

O período de monitoramento dos lisímetros foi de 30/10/2003 a 17/04/2004. Até o dia 10 de novembro de 2003 a cultura na lavoura e nos lisímetros era o trigo. O monitoramento acompanhou o ciclo completo da soja que foi plantada no dia 17 de novembro de 2003 e foi colhida no dia 10 de abril de 2004.

4.1. PRECIPITAÇÃO

Na Figura 4.1 são apresentados os dados de precipitação diária da estação meteorológica e do pluviógrafo PVG-23 para o período de monitoramento.

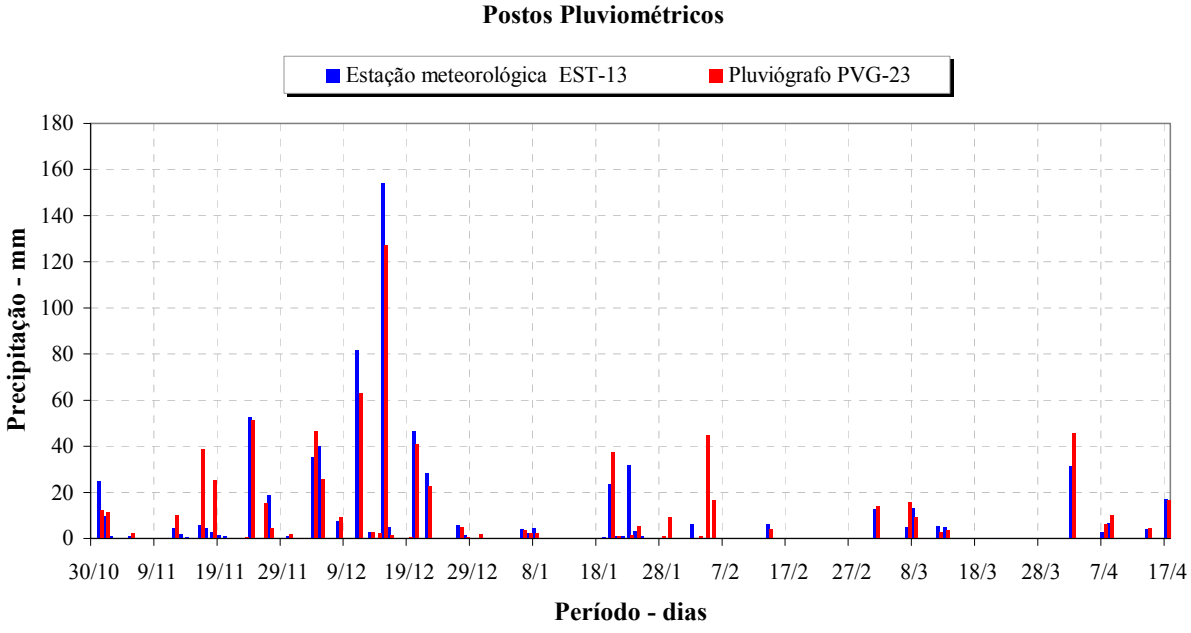

Figura 4.1. Precipitação diária na bacia do arroio Donato - período de 30/10/03 a 17/04/2004

Nota-se na Figura 4.1 que ocorreu um período chuvoso entre os dias 30/10 e 31/12/2003 e um período seco entre 01/01 e 17/04/2004. Outra característica que observa-se é a ocorrência de um pico de chuva igual a 154,0 mm registrado no dia 15/12/2003 (EST-13).

Na Tabela 4.1 são apresentados os valores totais acumulados de precipitação desses dois postos pluviométricos no período chuvoso (30/10 a 31/12/2003) e no seco (01/01 a 17/04/2004) que estão sombreados, além dos valores totais acumulados de precipitação para os pluviógrafos PVG-23, PVG-34 e PVG-37 para os anos 1999 a 2003 nos períodos de 30/10 a 31/12 e de 01/01 a 17/04.

Tabela 4.1. Valores totais acumulados (mm) dos postos EST-13, PVG-23, PVG 34, PVG-37 nos períodos de 30/10 a 31/12 a 01/01 a 17/04 para os anos de 1999 a 2004.

ANO	EST-13		PVG-23		PVG-34		PVG-37	
	30/10 a 31/12	**01/01 a 17/04**	**30/10 a 31/12**	**01/01 a 17/04**	**30/10 a 31/12**	**01/01 a 17/04**	**30/10 a 31/12**	**01/01 a 17/04**
1999	110,8	-	146,8		143,8	-	109,0	-
2000	174,2	-	-	475,0	-	459,4	-	415,8
2001	147,2	303,0	136,0	**445,6**	102,2	**179,6**	206,8	319,4
2002	-	522,0	497,0	196,6	493,2	**468,6**	473,6	**393,4**
2003	541,8	-	525,6	458,2	560,2	423,2	566,4	452,0
2004	-	190,6	-	240,0		312,6		229,2
MÉDIA	243,5	338,5	326,4	363,1	324,9	368,7	339,0	362,0
DESVIO	200,6	168,5	213,9	133,5	235,3	122,6	216,2	88,6

Em todos os pontos a precipitação total acumulada no período de 01/01 a 17/04/2004, apesar de referir-se a 3 meses e meio de dados, é bem inferior ao período de 30/10 a 31/12/2003 (Tabela 4.1 – células sombreadas) cujos dados referem-se a apenas 2 meses. Porém, ao comparar com dados de anos anteriores dos mesmos postos pluviográficos e de outros postos localizados dentro da bacia não ocorre essa nítida maior precipitação nesse período de 01/01 a 17/04. Como a amostra de anos analisados desses pluviógrafos é pequena, resolveu-se utilizar o PM-61 que tem dados desde 1990. Na Tabela 4.2 são apresentados esses dados para os períodos analisados.

Tabela 4.2. Valores máximos e totais acumulados do posto pluviométrico PM-61, mm

ANO	PM-61 30/10 a 31/12	PM-61 01/01 a 14/04
1990	451,9	626,2
1991	295,2	191,1
1992	131,0	573,0
1993	**596,8**	**649,3**
1994	279,0	627,0
1995	156,0	444,0
1996	284,6	749,4
1997	602,0	241,0

ANO	PM-61 30/10 a 31/12	PM-61 01/01 a 14/04
1998	179,0	832,6
1999	194,9	496,0
2000	288,2	549,3
2001	175,0	643,7
2002	483,7	450,1
2003	638,2	529,2
MÉDIA	339,7	543,0
DESVIO	179,7	173,2

No período onde ocorreu falha, o total acumulado é destacado em negrito, conforme pode ser observado nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Nota-se na Tabela 4.2 que para o PM-61 dos 14 anos de dados, 4 anos apresentaram um período chuvoso (1990, 1993, 1997 e 2002) referente ao período de 30/10 a 31/12, enquanto que apenas 2 anos apresentaram um período seco (1991 e 1997 conforme células sombreadas na tabela acima) referente ao período de 01/01 a 17/04. Isto indica que nos períodos em que os lisímetros foram analisados, de 30 de outubro a 31 de dezembro de 2003 choveu mais que a média (541,8 mm EST-13 contra 339,6 mm PM-61) e no período de 01 de janeiro a 17 de abril de 2004 choveu bem abaixo da média (190,6 mm EST-13 contra 543,0 mm PM-61). Trata-se, portanto de um ano atípico com dois períodos distintos bem definidos, o período úmido de 30/10 a 31/12/2003 e o período seco de 01/01 a 19/04/2004.

Devido a esses períodos distintos o monitoramento das outras variáveis foi prejudicado, uma vez que a precipitação é a única variável de entrada no balanço hídrico dos lisímetros. As conseqüências geradas são refletidas tanto nos volumes superficial e da drenagem profunda quanto no armazenamento de água, conforme são mostradas nos itens seguintes.

4.2. ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO

Neste item são apresentados os dados de tensão de água no solo e também de umidade (calculados através da curva de retenção e dos dados de tensão medidos nos tensiômetros e também dados de umidade medidos através do TDR, que posteriormente foram utilizados para o cálculo de armazenamento de água no solo).

4.2.1. TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO

Como comentado no capítulo 3, a tensão de água no solo foi medida através de tensiômetros do tipo vacuômetro, sendo os registros feitos diariamente por um observador. A

primeira análise feita foi descartar os valores de tensão "duvidosos", ou seja, durante e após os eventos de chuva é normal ocorrer uma queda de tensão de água no solo, porém em alguns períodos ocorria essa queda sem ocorrer evento de chuva, nesse caso descartaram-se esses dados de tensão. Isto pode ter acontecido devido à falta de água nos tensiômetros, porém após a queda de tensão ocorria um aumento já no próximo registro. Um aumento de tensão é de se esperar, pois não ocorreu evento de chuva, entretanto esse aumento brusco nos leva a crer que nesses casos a leitura da tensão foi realizada imediatamente após a reposição de água nos tensiômetros sem dar tempo de ocorrer uma estabilização do tensiômetro. Conseqüentemente, por não representarem as condições reais, esses dados de tensão foram descartados.

Nas Figuras 4.2 a 4.5 são apresentados os dados de tensão de água no solo e de precipitação para os lisímetros com palha e sem palha, para os períodos chuvoso e seco. Os dados destacados por círculos representam os dados duvidosos.

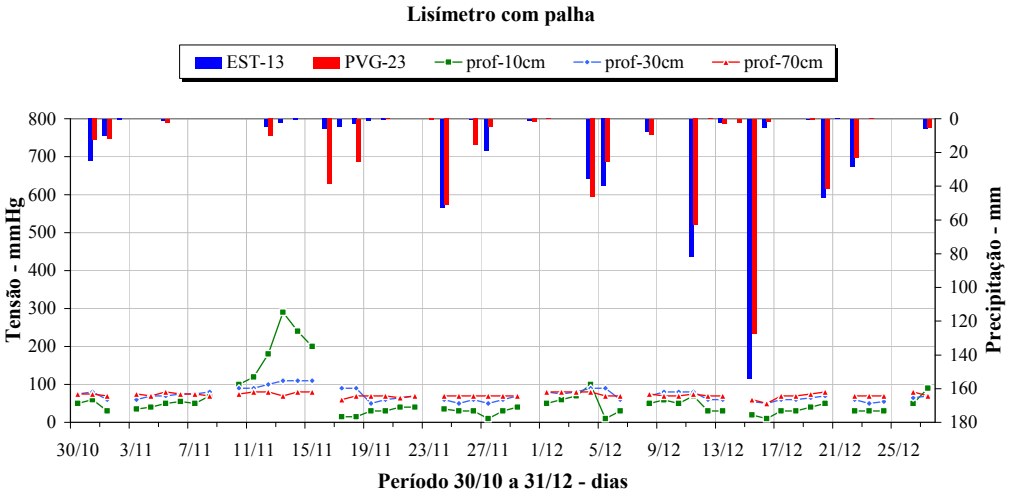

Figura 4.2. Tensão de água no solo, período chuvoso - profundidades de 10, 30 e 70 cm

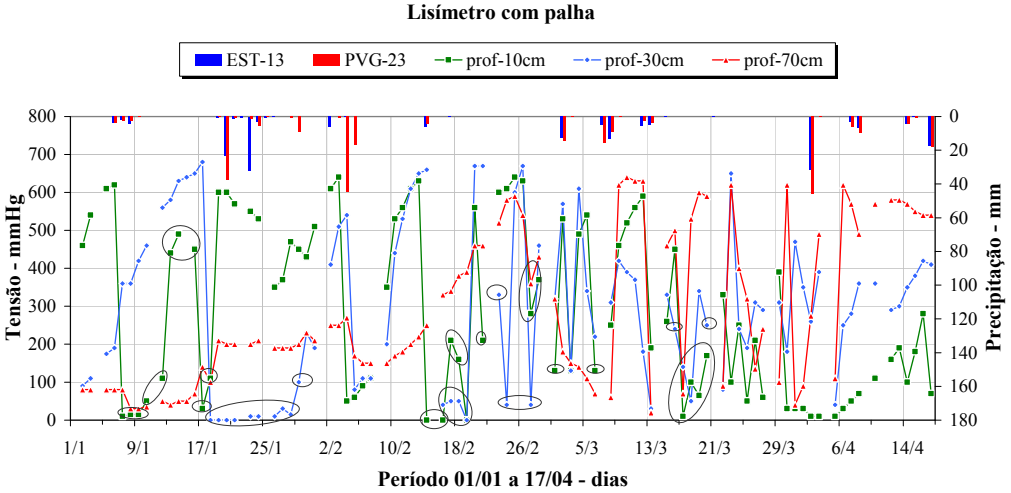

Figura 4.3. Tensão de água no solo, período seco - profundidades de 10, 30 e 70 cm

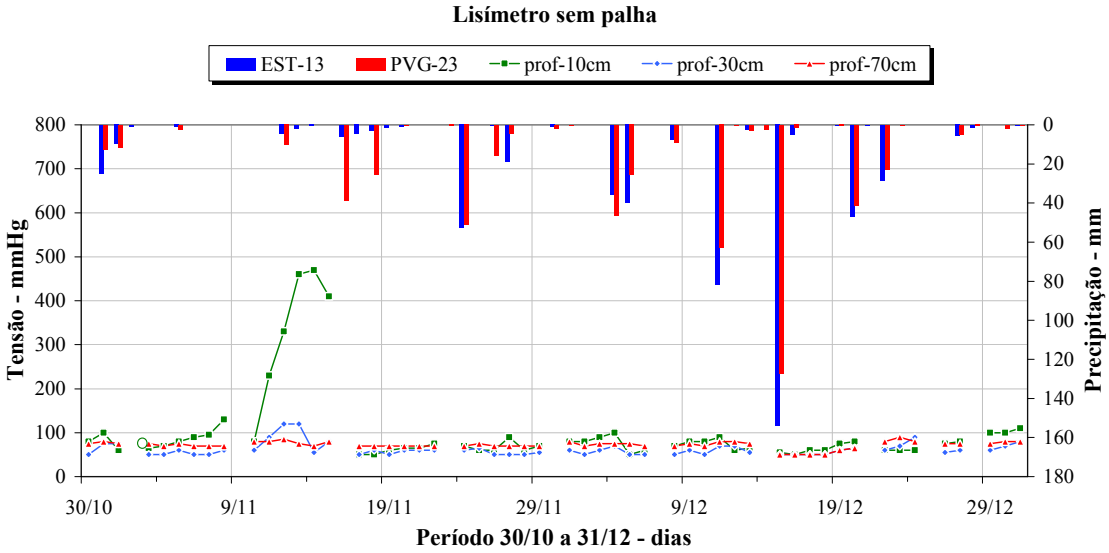

Figura 4.4. Tensão de água no solo, período chuvoso - profundidades de 10, 30 e 70 cm

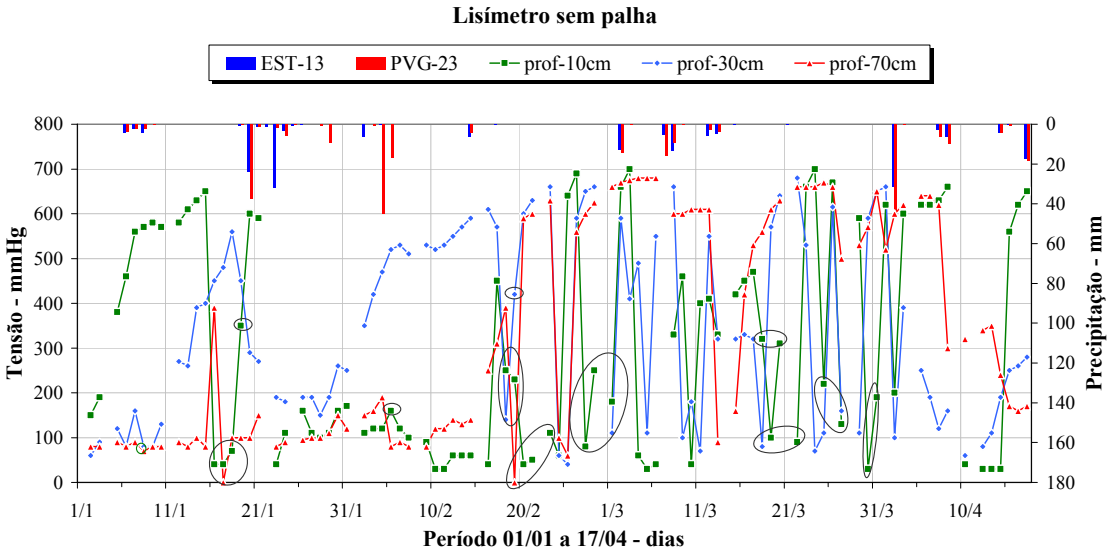

Figura 4.5. Tensão de água no solo, período seco - profundidades de 10, 30 e 70 cm

Nas Figuras 4.6 a 4.9 são apresentados os dados de tensão para os lisímetros com palha e sem palhas utilizados (desconsiderando os dados duvidosos) para o cálculo da umidade no solo, nas profundidades de 10, 30 e 70 cm. A linha tracejada representa o período com lacunas dos dados de tensão.

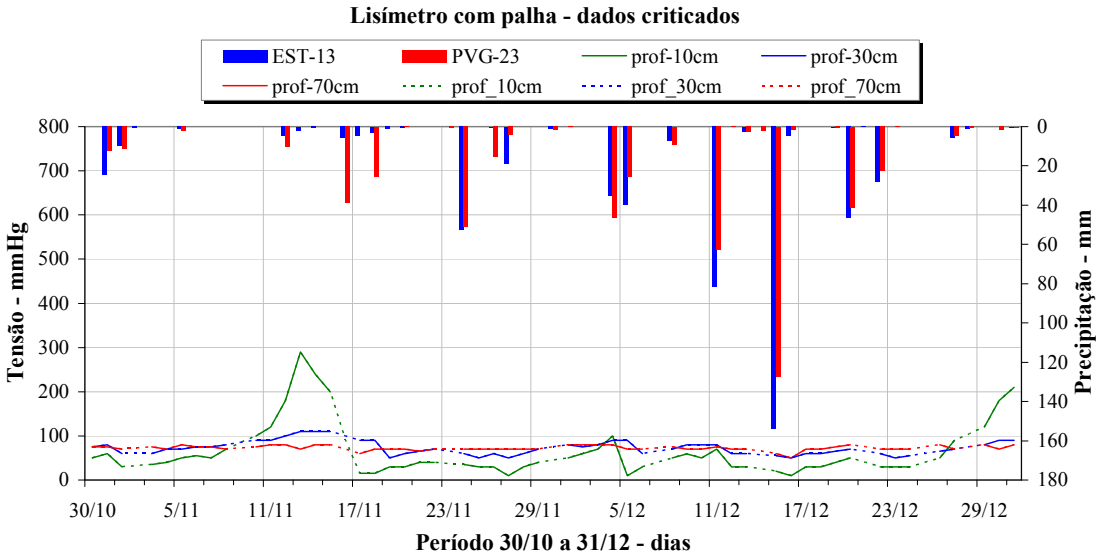

Figura 4.6. Tensão de água no solo utilizada para o cálculo da umidade - período chuvoso

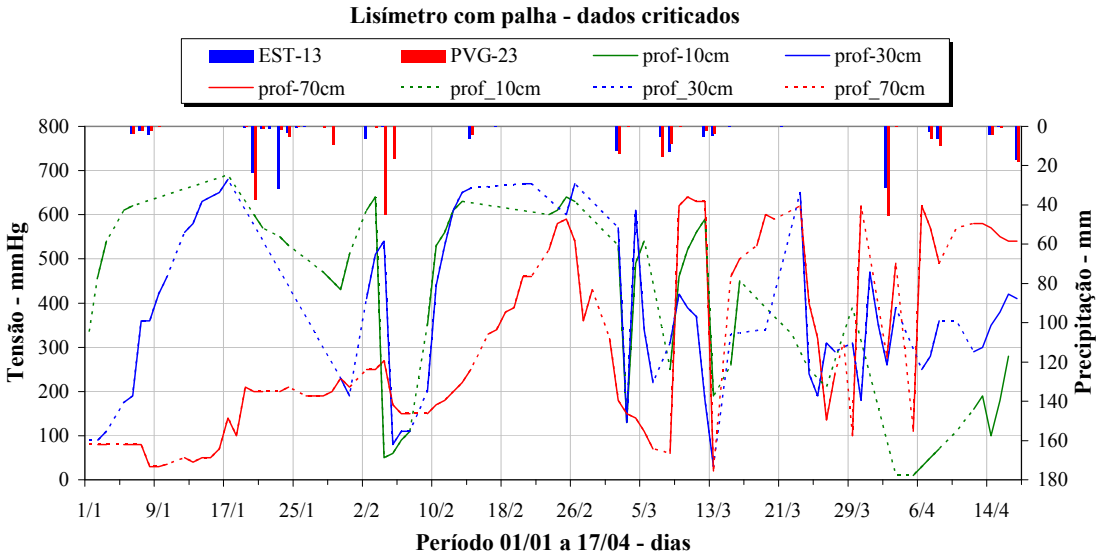

Figura 4.7. Tensão de água no solo utilizada para o cálculo da umidade – período seco

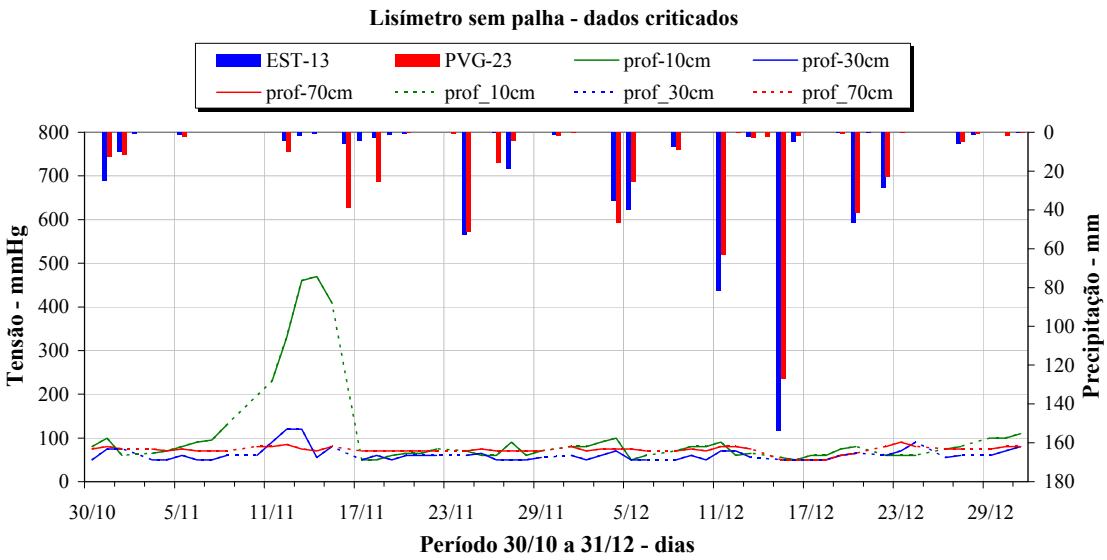

Figura 4.8. Tensão de água no solo utilizada para o cálculo da umidade - período chuvoso

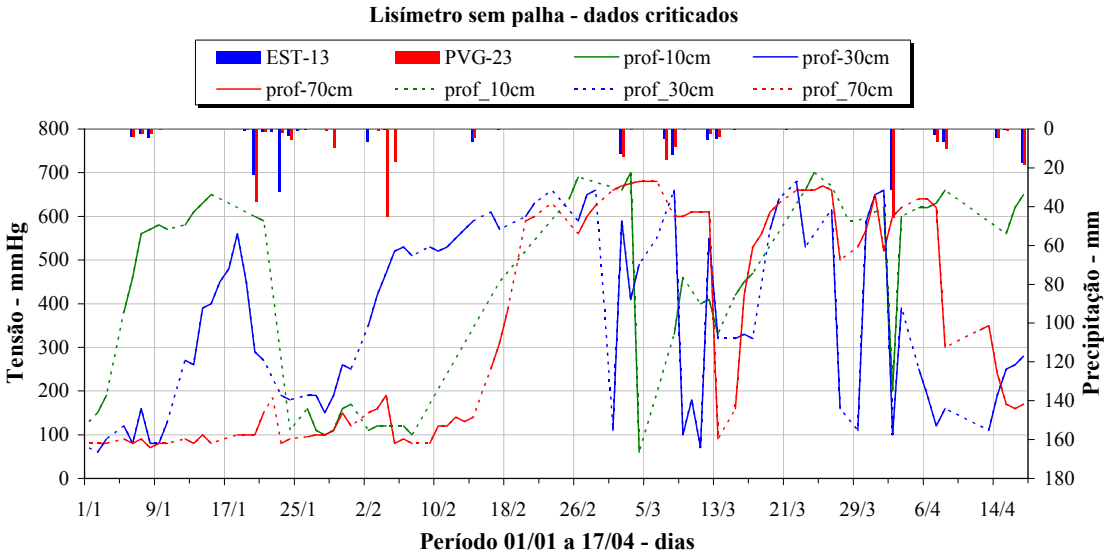

Figura 4.9. Tensão de água no solo utilizada para o cálculo da umidade - período chuvoso

Nas tabelas 4.3 e 4.4 é apresentada a estatística dos dados de tensão de água no solo para o lisímetro com palha e sem palha respectivamente.

Observa-se nas Figuras 4.6 e 4.7 que no período chuvoso a tensão média no solo variou entre 65 e 73 mmHg enquanto que no período seco a tensão média foi maior, variando entre 301 e 380 mmHg como era de se esperar.

Tabela 4.3. Estatística dos dados de tensão no solo, mmHg – lisímetro com palha

PERÍODO	LISÍMETRO COM PALHA		
	10-cm	**30-cm**	**70-cm**
Período chuvoso – 30/10/2003 a 31/12/2003			
MÉDIA	65	73	72
MÍNIMA	10	50	50
MÁXIMO	290	110	80
DESVIO PADRÃO	61	16	6
NÚMERO DE MEDIÇÕES	53	53	53
Período seco – 01/01/2004 a 17/04/2004			
MÉDIA	378	380	301
MÍNIMA	10	30	20
MÁXIMO	640	680	640
DESVIO PADRÃO	214	181	202
NÚMERO DE MEDIÇÕES	54	66	87

A tensão média de água no solo para o lisímetro sem palha (Figura 4.8 e Tabela 4.3) variou entre 62 e 103 mmHg para o período chuvoso e no período seco variou entre 345 e 435 mmHg. Isto indica que os maiores valores de tensão de água no solo ocorrem no lisímetro sem palha. Esse fato demonstra que no lisímetro sem palha o solo ficou mais seco, indicando que a palha é responsável pela maior umidade retida no solo.

Tabela 4.4. Estatística dos dados de tensão no solo, mmHg – lisímetro sem palha

PERÍODO	LISÍMETRO SEM PALHA		
	10-cm	**30-cm**	**70-cm**
Período chuvoso – 30/10/2003 a 31/10/2003			
MÉDIA	103	62	72
MÍNIMA	50	50	50
MÁXIMO	470	120	90
DESVIO PADRÃO	97	16	8
NÚMERO DE MEDIÇÕES	52	53	53
Período seco – 01/01/2004 a 17/04/2004			
MÉDIA	435	368	345
MÍNIMA	60	60	70
MÁXIMO	700	680	680
DESVIO PADRÃO	219	200	244
NÚMERO DE MEDIÇÕES	54	81	86

Outra análise feita foi a comparação entre a tensão de água no solo entre os lisímetros para a mesma profundidade, conforme apresentado nas Figuras 4.10 a 4.15. Cabe ressaltar que a linha pontilhada nas figuras representa o período com lacunas.

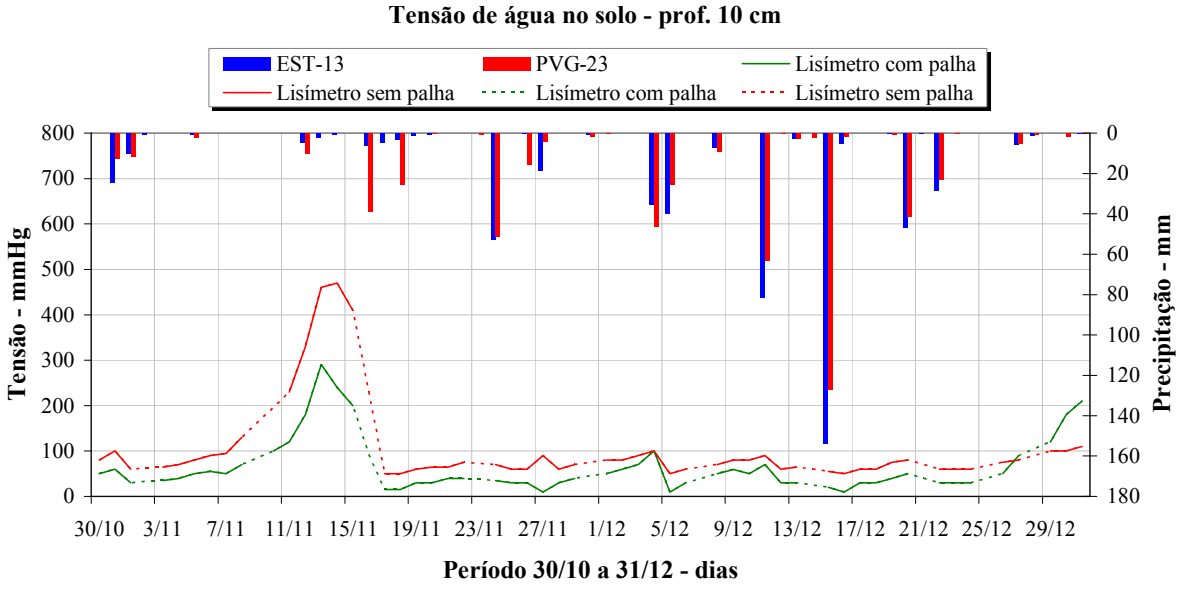

Figura 4.10. Tensão de água no solo, profundidade 10 cm – período chuvoso

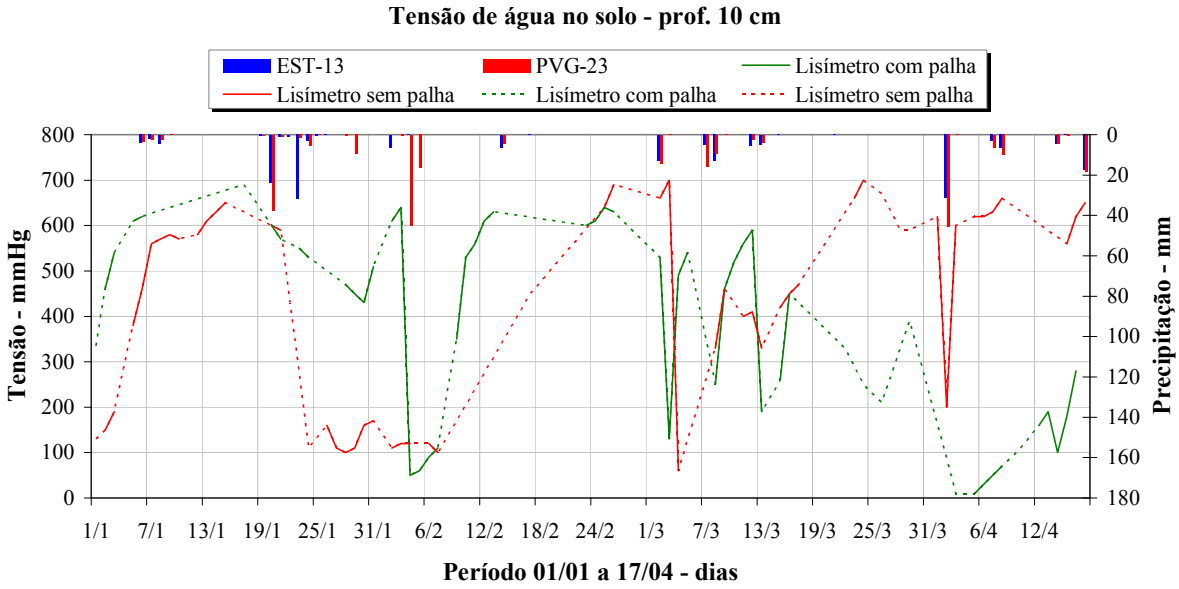

Figura 4.11. Tensão de água no solo, profundidade 10 cm – período seco

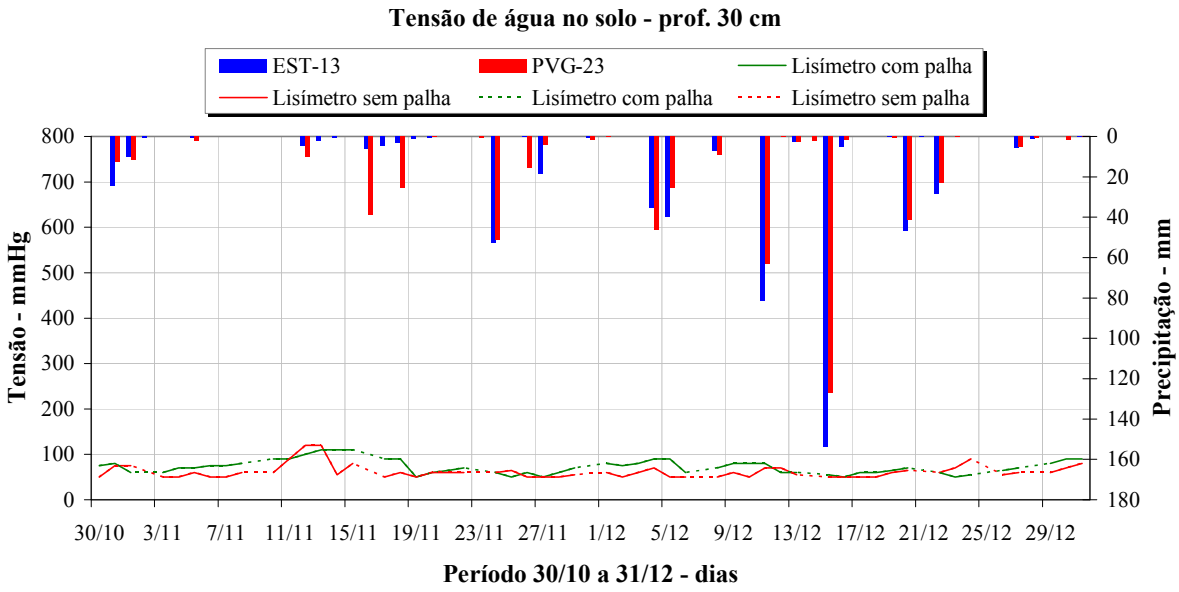

Figura 4.12. Tensão de água no solo, profundidade 30 cm – período chuvoso

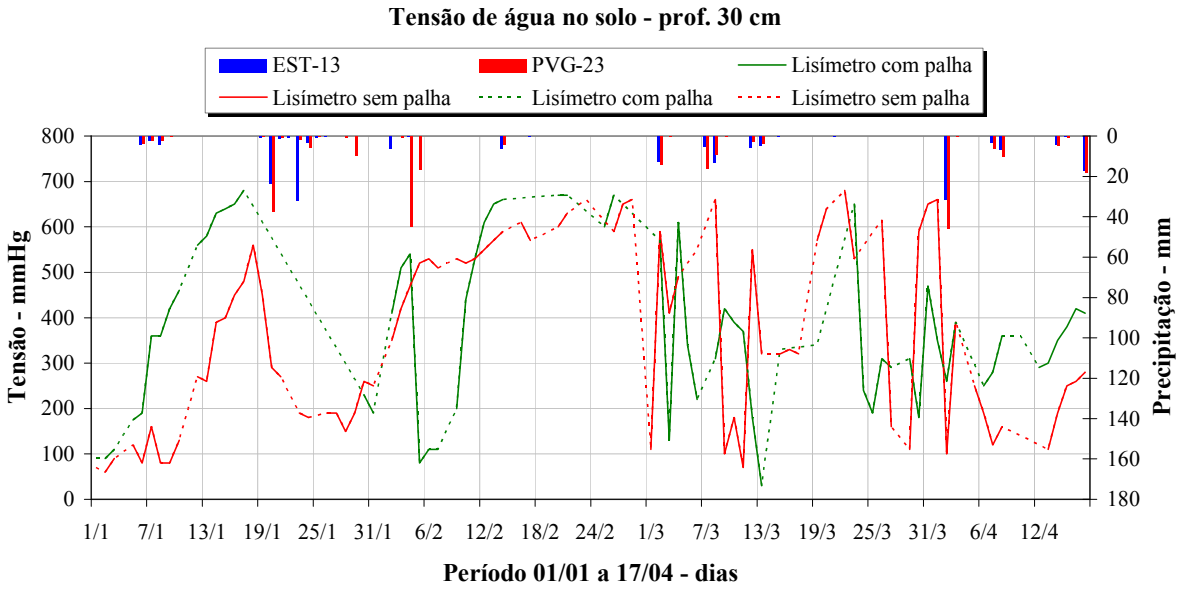

Figura 4.13. Tensão de água no solo, profundidade 30 cm, período seco

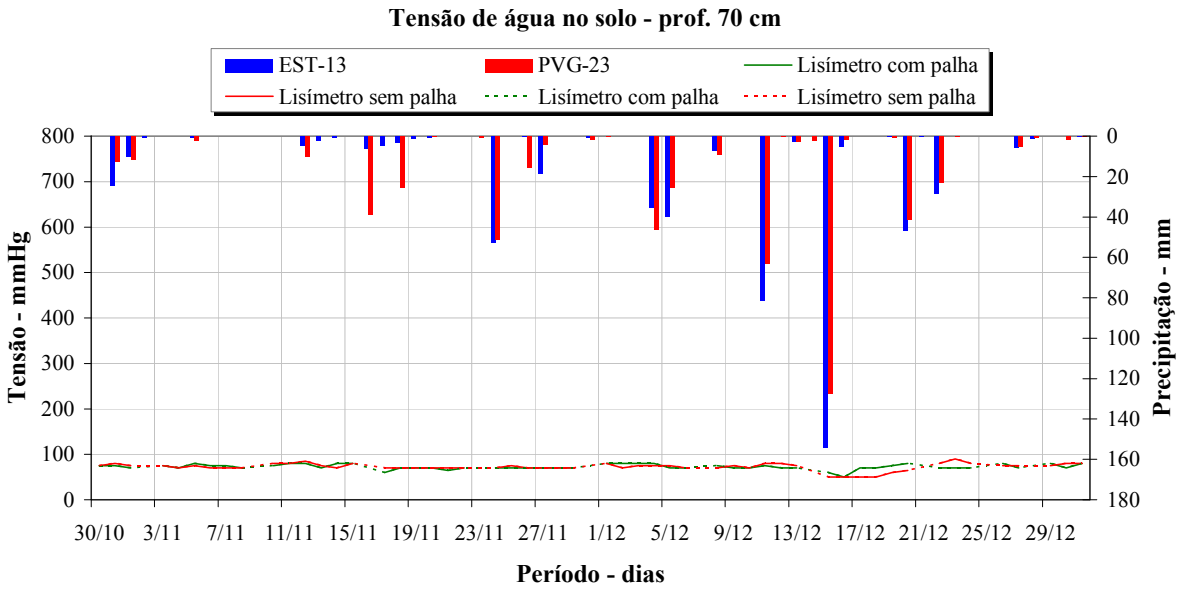

Figura 4.14. Tensão de água no solo, profundidade 70 cm – período chuvoso

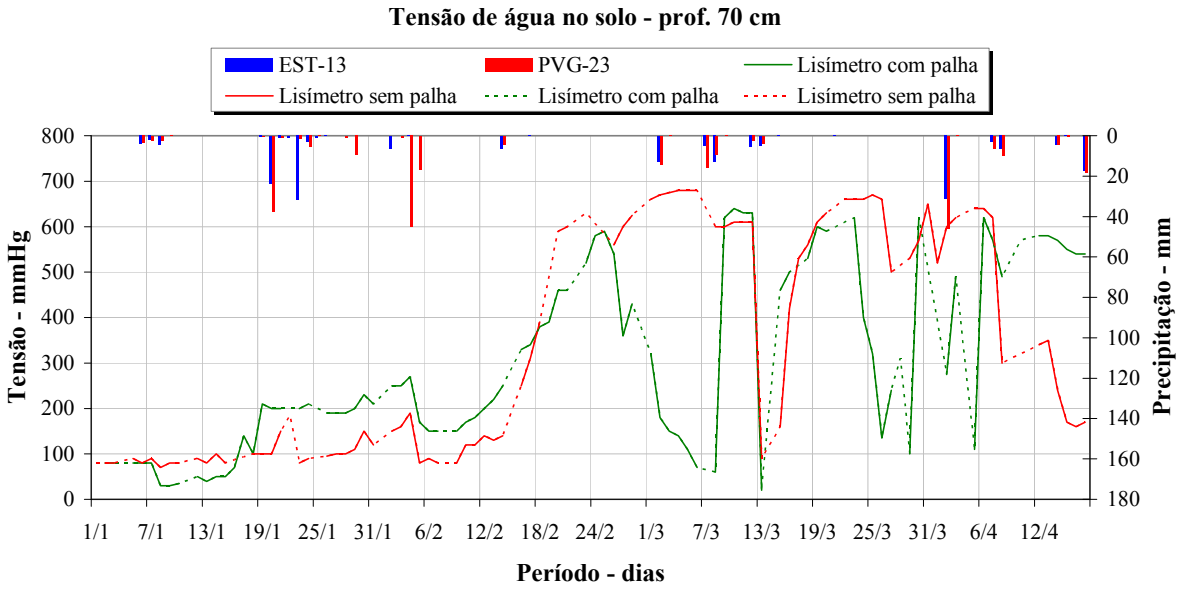

Figura 4.15. Tensão de água no solo, profundidade 70 cm – período seco

Observa-se nas Figuras 4.10 e 4.11 que, para a profundidade de 10 cm, as tensões nos lisímetros apresentam um comportamento semelhante. Nota-se também que, durante o período chuvoso, a tensão no lisímetro sem palha é maior que a tensão no lisímetro com palha indicando que o solo no lisímetro sem palha é mais seco, entretanto no período seco em alguns eventos a tensão no lisímetro sem palha é menor. Isto ocorre porque no período úmido a palha tende a reter água no solo, deixando o mesmo mais úmido. Já no período seco essa influência da palha não é tão visível, ora estando o lisímetro sem palha com maior tensão que no com palha, ora estando com menor tensão. Esse comportamento é devido à ocorrência de

alguns eventos de chuva durante esse período, ocasionando queda de tensão tanto no lisímetro com palha quanto no lisímetro sem palha.

Na profundidade de 30 cm (Figuras 4.12 e 4.13) a tensão de água no solo também apresenta um comportamento semelhante nos lisímetros, porém no período chuvoso os valores de tensão são bem próximos sendo o lisímetro com palha com uma tensão ligeiramente superior comparado com o lisímetro sem palha, enquanto que no período seco a tensão é bastante variável.

A tensão de água no solo nos lisímetros, para a profundidade de 70 cm, apresenta valores muito próximos no período chuvoso, chegando a ser, em alguns dias, nula a diferença entre a tensão no lisímetro com palha e sem palha. No período seco o comportamento tanto para a tensão no lisímetro com palha quanto para no lisímetro sem palha é bastante variável, conforme se observa nas Figuras 4.14 e 4.15. Isto indica que no período chuvoso as camadas superficiais do solo tendem a reter mais água fazendo com que a mesma se infiltre para as camadas mais profundas, já no período seco esse comportamento não ocorre, pois, durante os eventos de chuva, a água que se infiltra nas camadas mais profundas fica retida por bem menos tempo ocasionando assim um movimento da água para as camadas mais secas.

Conclusão parcial

Diante dos dados de tensão aqui apresentados, pode-se dizer que a tensão de água no solo no lisímetro com palha é menor durante os eventos de chuva, conforme era de se esperar. O mesmo comportamento ocorre no lisímetro sem palha, porém apresenta valores maiores. No período seco a tensão varia bastante tanto no lisímetro com palha quanto no lisímetro sem palha.

Quanto às profundidades analisadas, no período chuvoso, as tensões apresentaram pouca diferença nos dois lisímetros, sendo que a maior diferença foi para a profundidade de 10 cm, em seguida na profundidade de 30 cm e quase nenhuma diferença na profundidade de 70 cm. Já no período seco as tensões foram muito variadas; esse comportamento é devido a alguns eventos de chuva que ocorrem nesse período, ocasionando quedas bruscas de tensão.

4.2.2. UMIDADE DO SOLO

A umidade do solo nos lisímetros foi monitorada através de aparelhos tensiômetros e também através de leituras de umidade utilizando sensores de umidade do TDR; as leituras dos aparelhos tensiômetros foram feitas diariamente enquanto que no TDR

as leituras foram realizadas mensalmente. Utilizando os dados de tensão de água no solo apresentados nas Figuras 4.4 e 4.5 e a curva de retenção de água no solo (Figura 4.16), calculou-se a umidade volumétrica do solo nas profundidades de 10, 30 e 70 cm, conforme apresentado no item 3.2.2.2.

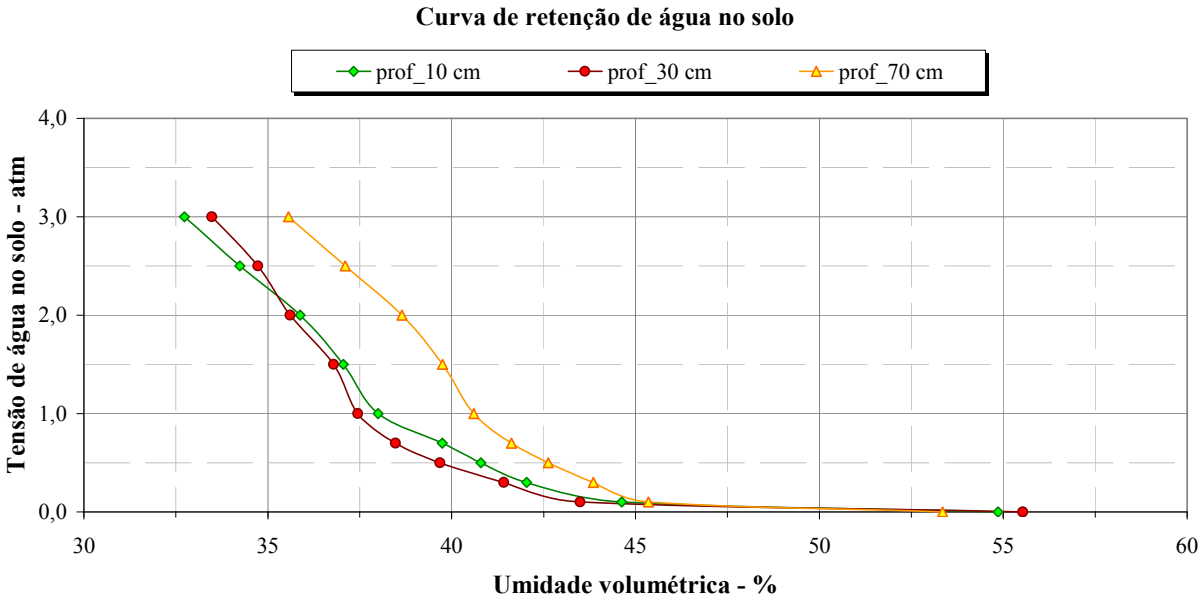

Figura 4.16. Curva de retenção de água no solo

Nas Figuras 4.17 a 4.20 são apresentados os resultados da umidade nos lisímetros nas profundidades 10, 30 e 70 cm.

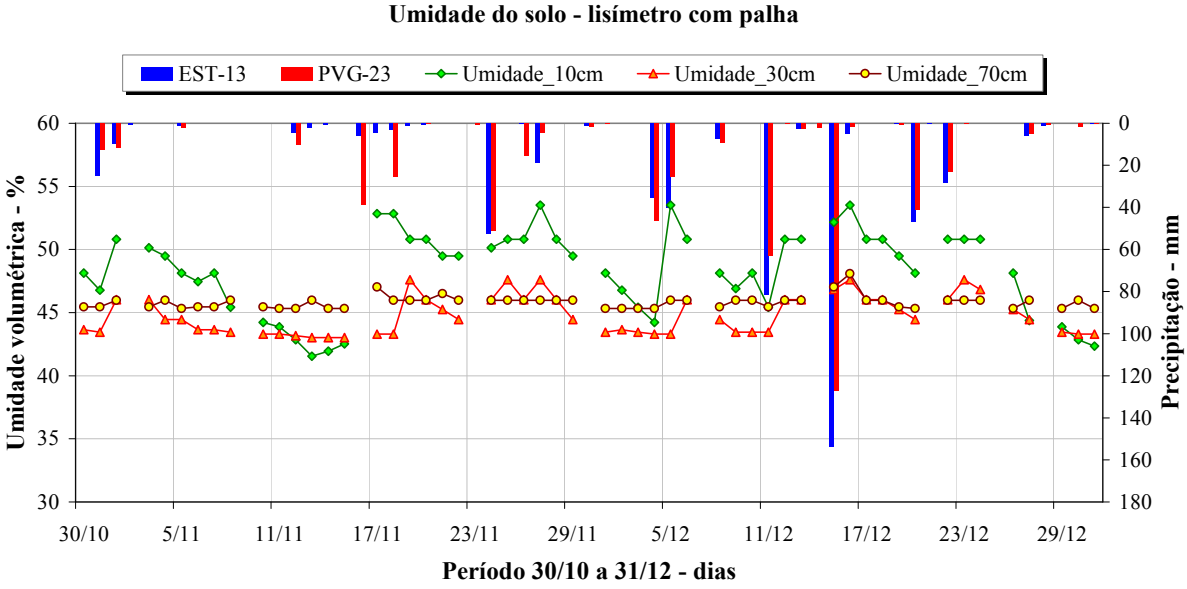

Figura 4.17. Umidade volumétrica do solo, período chuvoso – lisímetro com palha

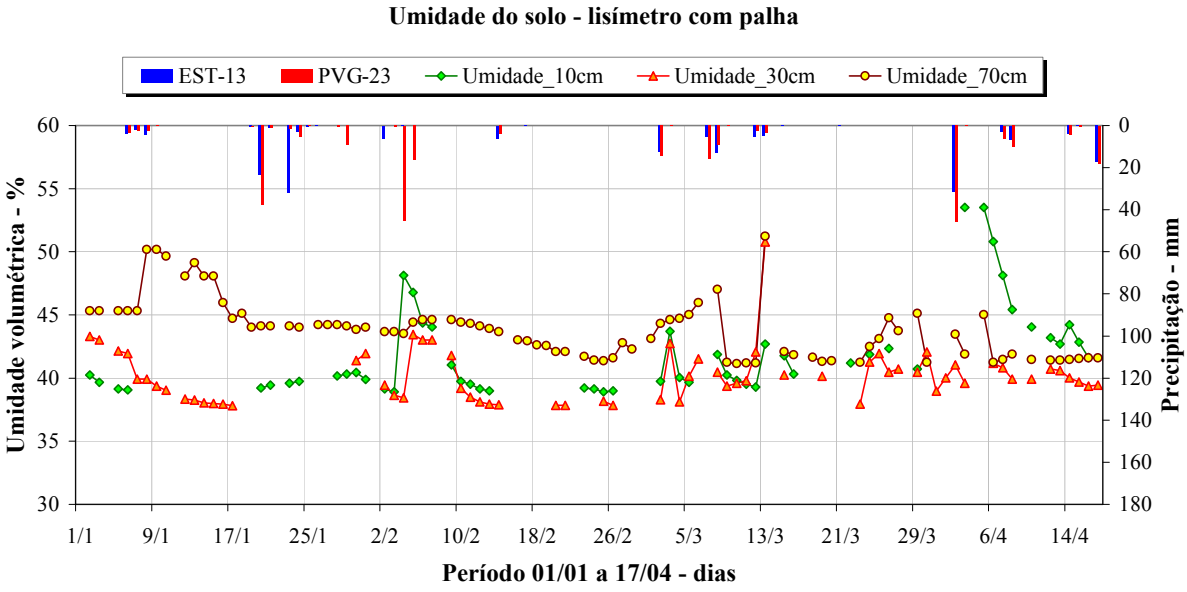

Figura 4.18. Umidade volumétrica do solo, período seco – lisímetro com palha

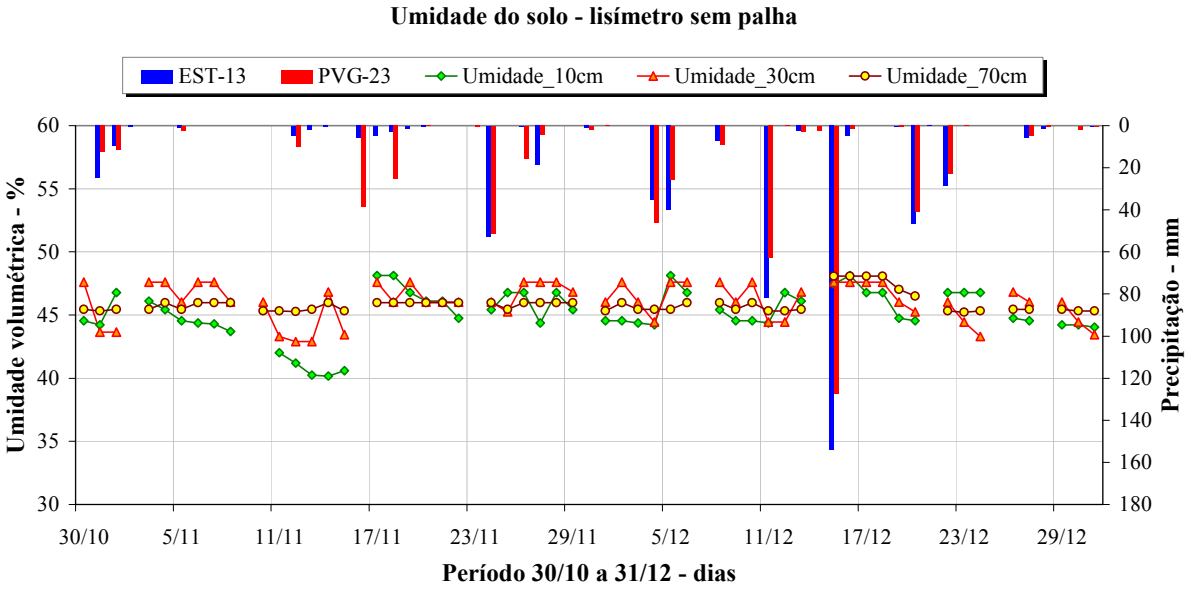

Figura 4.19. Umidade volumétrica do solo, período chuvoso – lisímetro sem palha

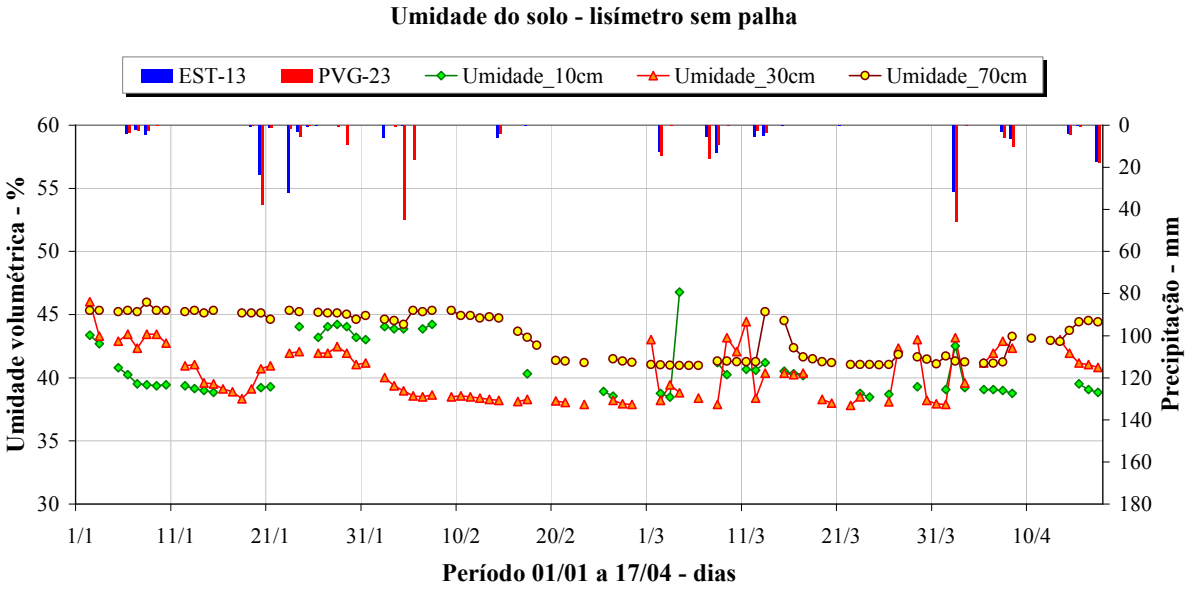

Figura 4.20. Umidade volumétrica do solo, período seco – lisímetro sem palha

Observa-se nas Figuras 4.17 e 4.18 que nos eventos chuvosos a umidade na profundidade de 10 cm tem uma resposta muita rápida. Na profundidade de 30 cm apesar da resposta não ser tão rápida, a umidade apresenta um comportamento semelhante. Nesse período chuvoso a umidade do solo é maior, já no período sem ocorrência de chuva ocorre o contrário, como era de se esperar. Nota-se também que a umidade a 10 cm é maior que na profundidade de 30 cm. Isto provavelmente ocorre devido a cobertura da palha reter a água da chuva nessa profundidade do solo, liberando aos poucos para as camadas adjacentes.

No lisímetro sem palha (Figuras 4.19 e 4.20) a umidade a 10 cm apresenta pouca variação durante os eventos chuvosos. Isto ocorre porque no lisímetro sem palha a evaporação do solo é maior diminuindo assim a disponibilidade de água nessa profundidade. Outra observação feita foi que a umidade na profundidade de 30 cm é em geral ligeiramente superior às outras profundidades.

Na profundidade de 70 cm, os valores de umidade apresentam pouca variação durante os eventos conforme apresentado nas Figuras 4.17 a 4.20. Esse comportamento também foi constatado no trabalho de Medeiros (2004) - sobre a variabilidade espacial do conteúdo de água no solo na bacia do arroio Donato-RS, cujo período de monitoramento foi de junho de 2002 a junho de 2003 - onde os valores médios do conteúdo de água no solo, na superfície mostraram uma clara influência das estações, com valores mais baixos no período de verão. Nas profundidades de 30 e 60 cm, o conteúdo médio de água no solo não variou significativamente durante todo o período de monitoramento.

Outra análise realizada foi a comparação da umidade do solo entre os lisímetros para a mesma profundidade, conforme é apresentado nas Figuras 4.21 a 4.26.

Nas Figuras 4.21 e 4.22 nota-se que a umidade na profundidade de 10 cm no lisímetro com palha é maior que a umidade no lisímetro sem palha durante o período chuvoso, isto ocorre porque no lisímetro com palha a disponibilidade de água no solo é maior.

Fazendo agora um comparativo da umidade volumétrica (lisímetro com palha) nos períodos chuvoso e seco têm-se os seguintes resultados: a umidade média variou de 48,33 para 41,81 %, a máxima se manteve constante igual a 53,51 % e a mínima variou de 41,53 para 38,91 %.

Da mesma forma, fazendo a análise para o lisímetro sem palha, têm-se os seguintes valores: a umidade média variou de 45,17 para 41,25 %, a máxima variou de 48,12 para 46,78 % e a mínima de 40,17 para 38,46 %, semelhante ao comportamento do lisímetro com palha, a umidade tende a diminuir do período chuvoso para o seco.

Nessa profundidade, tanto no lisímetro com palha quanto no lisímetro sem palha, a umidade volumétrica se comportou de forma semelhante nos dois períodos analisados, sendo maior no período úmido e menor no período seco. Porém, nota-se que a umidade volumétrica no lisímetro com palha é maior que no lisímetro sem palha, com era de se esperar, uma vez que nessa camada o efeito da palha é mais expressivo.

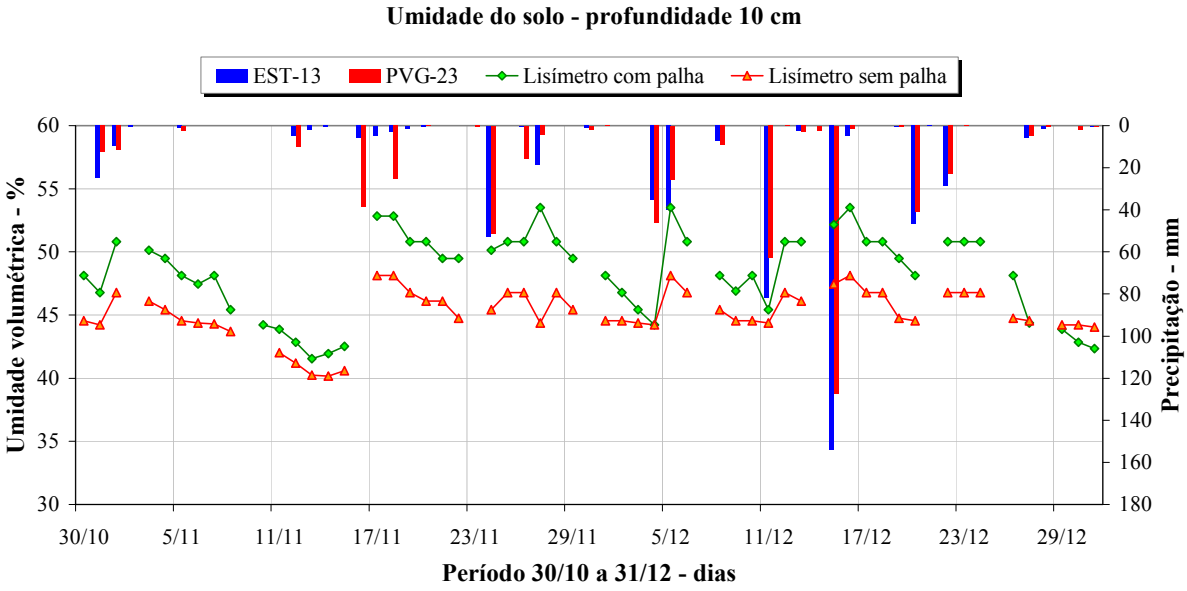

Figura 4.21. Umidade volumétrica do solo, período chuvoso – profundidade 10 cm

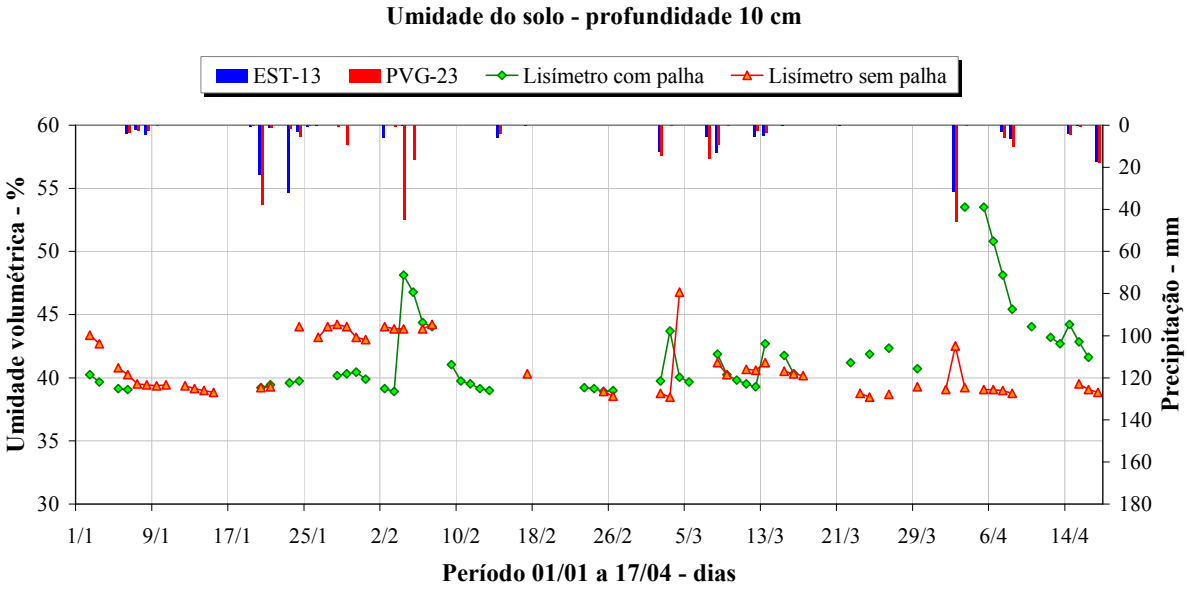

Figura 4.22. Umidade volumétrica, período seco – profundidade 10 cm

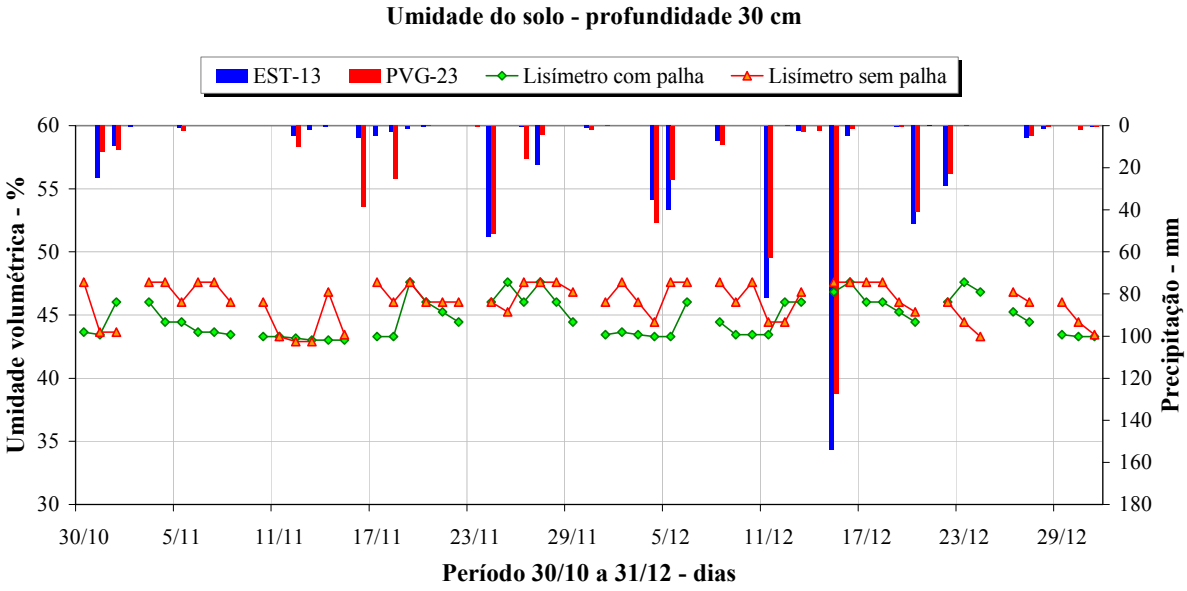

Figura 4.23. Umidade volumétrica do solo, período chuvoso – profundidade 30 cm

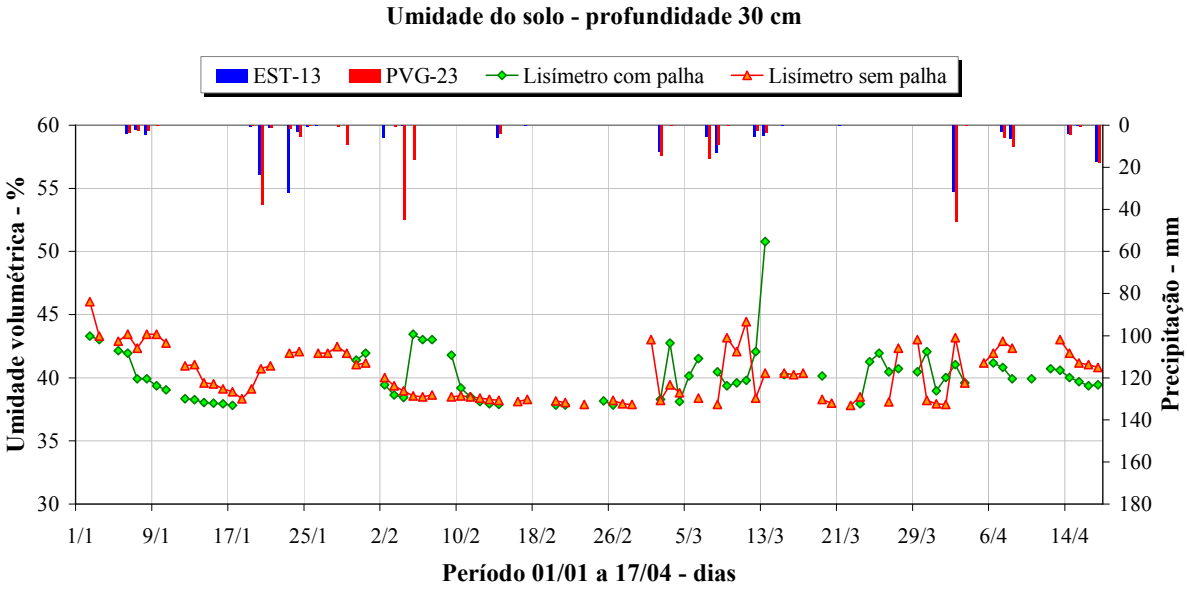

Figura 4.24. Umidade volumétrica do solo, período seco – profundidade 30 cm

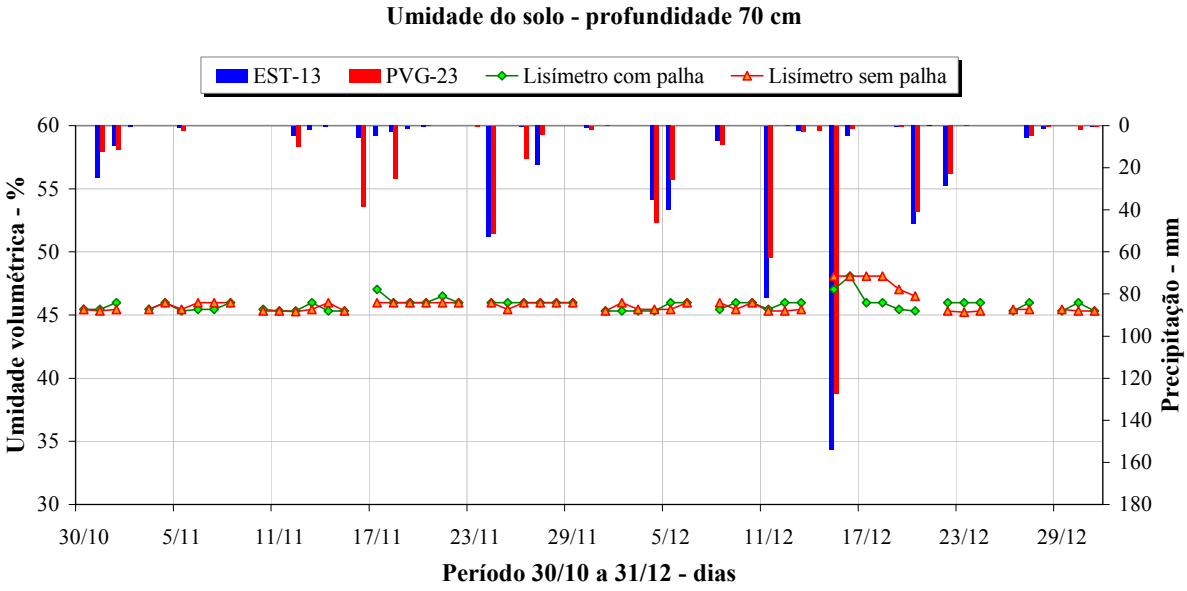

Figura 4.25. Umidade volumétrica do solo, período chuvoso – profundidade 70 cm

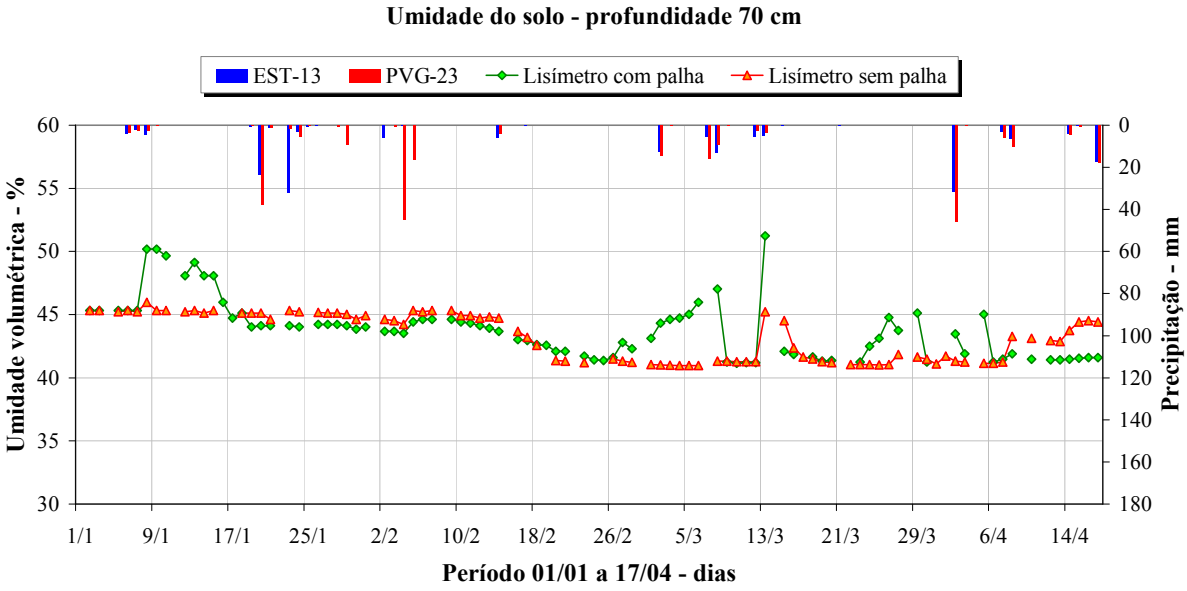

Figura 4.26. Umidade volumétrica do solo, período seco – profundidade 70 cm

Para a profundidade de 30 cm (Figuras 4.23 e 4.24), a umidade volumétrica no lisímetro sem palha apresenta um comportamento semelhante comparado com o lisímetro com palha, porém a diferença de umidade não é tão significativa comparada com a profundidade de 10 cm, sendo os valores ligeiramente maiores para o lisímetro sem palha durante quase todo o período de monitoramento. Isto indica que nessa profundidade a disponibilidade de água no lisímetro sem palha é um pouco maior que no lisímetro com palha.

No lisímetro com palha a umidade média foi igual a 42,21 % enquanto que no lisímetro sem palha a umidade foi igual a 42,58 %, a máxima foi maior no lisímetro com

palha igual a 50,78 enquanto que no lisímetro sem palha foi igual a 47,61 %, e a umidade mínima se manteve constante igual a 37,80 % nos dois lisímetros. Isso indica que para essa profundidade de 30 cm a palha já não interfere muito no armazenamento de água no solo.

Observa-se nas Figuras 4.25 e 4.26 que, para a profundidade de 70 cm, a umidade volumétrica apresenta um comportamento constante durante quase todo o período de monitoramento tanto no lisímetro com palha quanto no sem palha. A umidade média no lisímetro com palha foi igual a 44,59 % e no sem palha foi igual a 44,24 %, a umidade máxima foi igual a 51,25 % no lisímetro com palha e 48,09 % no lisímetro sem palha, e a umidade mínima foi de 41,14 % e 40,96 % no lisímetro com e sem palha respectivamente.

Utilizando dados de constante dielétrica do solo (ka) obtida através do aparelho TDR, foi possível calcular a umidade volumétrica do solo, utilizando a equação universal, a qual estabelece uma relação empírica entre a umidade volumétrica e a constante dielétrica do solo, proposta por Topp *et* al. (1980) conforme comentado do item 2.3.3.

A umidade obtida através desta equação apresentou valores abaixo daqueles calculados utilizando os tensiômetros, isto indica que a equação Universal não se ajusta bem ao tipo de solo da bacia do arroio Donato, conforme foi constatado no trabalho de Medeiros (2004).

Medeiros *et al.* (2006) ajustaram uma equação, com um conjunto de dados obtidos em laboratório, para a bacia do arroio Donato, obtendo a seguinte expressão:

$$\theta = 3{,}8 \cdot 10^{-5} k_a^{\,3} - 2{,}3 \cdot 10^{-3} k_a^{\,2} + 5{,}6 \cdot 10^{-2} k_a - 9{,}4 \cdot 10^{-2} \qquad \text{equação 4.1}$$

onde, θ é a umidade volumétrica, m^3/m^3 e k é a constante dielétrica do solo

Utilizando essa nova equação, os valores de umidade do solo foram bem próximos dos valores de umidade obtidos através dos tensiômetros, conforme pode-se observar na Tabela 4.5. Cabe ressaltar que os dados apresentados nessa tabela referem-se a média dos valores medidos no período em que foi feito a medição da umidade através do TDR.

Tabela 4.5. Valores médios de umidade calculados pelos dados de tensão e calculados pela equação 4.1, utilizando dados de ka obtidos pelo TDR.

Umidade (Tensiômetros)						
DATA	**LIS C/ PALHA**			**LIS S/ PALHA**		
	10cm	**30cm**	**70cm**	**10cm**	**30cm**	**70cm**
DEZ	50,8	46,0	46,0	46,1	46,8	45,5
JAN	39,3	-	44,1	39,3	40,3	45,0
FEV	39,1	38,0	41,5	38,7	38,1	41,3

MAR	41,5	40,4	42,3	38,6	38,1	41,0
Umidade (TDR-equação 4.1)						
DATA	**LIS C/ PALHA**			**LIS S/ PALHA**		
	20cm	**45cm**	**85cm**	**20cm**	**45cm**	**85cm**
DEZ	48,4	63,2	45,5	39,5	54,4	47,7
JAN	41,3	44,0	46,1	33,7	40,7	44,6
FEV	40,3	41,4	41,3	33,2	42,4	32,3
MAR	39,5	39,5	38,6	32,0	41,1	28,6

Como as profundidades de medição de umidade através dos tensiômetros são diferentes das profundidades de medição de umidade através do TDR, não foi possível fazer uma análise comparativa dos dados.

Alguns autores constataram que a umidade volumétrica do solo é maior no sistema de plantio direto que no plantio convencional para várias culturas anuais; isto ocorre devido às diminuições das perdas por evaporação em função da cobertura do solo (Salton, 1991, Derpsch *et al*.,1991; Bragagnolo e Mielniczuk, 1990a).

Outra análise feita foi a verificação da umidade ao final do processo de drenagem nos lisímetros para as profundidades 10, 30 e 70 cm. Para determinação dessa umidade foram selecionados 6 eventos durante o período chuvoso, cuja faixa de variação da umidade nesses eventos é apresentada na Tabela 4.6.

Tabela 4.6. Umidade ao final do processo de drenagem nos lisímetros

PROFUNDIDADE (cm)	**LISÍMETRO COM PALHA**	**LISÍMETRO SEM PALHA**
	θ (%)	**θ (%)**
10	41,53 a 49,47	40,24 a 46,78
30	43,03 a 45,24	42,89 a 45,24
70	45,31 a 45,98	45,31 a 45,46

Observa-se na Tabela 4.6 que a umidade volumétrica no lisímetro com palha apresenta valores maiores que no lisímetro sem palha, isto indica que a disponibilidade de água no solo, neste lisímetro, é maior que no lisímetro sem palha. Outra observação feita é que a umidade volumétrica, em alguns eventos, esteve bem próximo da capacidade de campo, tanto no lisímetro com palha quanto no lisímetro sem palha.

É importante ressaltar que esse valor apesar de não ser utilizado no estudo do balanço hídrico, é extremamente importante para o entendimento do ciclo hidrológico desta bacia. Pois quando o solo atinge essa umidade, correspondente a capacidade de campo, começará a haver escoamento podendo a água migrar para profundidades maiores no solo, visto que esse solo tem mais de 8 m de profundidade em algumas cabeceiras de vertente. Essa

água pode atingir a base do derrame basáltico e seguir seu caminho lateralmente até os rios e voçorocas com fluxo sub-superficial.

A determinação da capacidade de campo só foi possível ser realizado graça ao experimento do lisímetro e ao acompanhamento dos eventos, sendo considerado bastante confiável por tratar-se de um lisímetro com 1 m^3 de solo indeformado.

Conclusão parcial

Segundo os dados apresentados, observa-se que no lisímetro com palha a umidade na profundidade de 10 e 30 cm é bastante variável e, apresenta um comportamento semelhante entre as mesmas, sendo maior na profundidade de 10 cm. Já no lisímetro com palha a umidade nas profundidades de 10 e 30 cm apresenta pouca variação, sendo, em alguns casos, ligeiramente maior na profundidade de 30 cm. Na profundidade de 70 cm a umidade apresentou um comportamento com pouca variação, tanto no lisímetro com palha quanto no sem palha.

Na comparação entre os lisímetros, nota-se que a umidade, na profundidade de 10 cm, é maior no lisímetro com palha, sendo mais expressiva no período chuvoso; isto indica que a palha exerce uma influência maior nessa profundidade. Na profundidade de 30 cm, a umidade apresentou um comportamento semelhante entre os lisímetros, porém no lisímetro sem palha a umidade foi um pouco maior, isto demonstra que, ao contrário do comportamento na profundidade de 10 cm, a influência da palha é menos expressiva; além disso, no lisímetro sem palha, a disponibilidade de água no solo é maior comparado com o lisímetro com palha. Já na profundidade de 70 cm, a umidade apresentou um comportamento constante nos dois lisímetros, conforme foi constatado também por Medeiros (2004) nesta mesma bacia, onde os valores médios de umidade do solo não tiveram uma variação significativa.

4.3. VOLUMES: ESCOAMENTO SUPERFICIAL E DRENAGEM PROFUNDA

Neste item são apresentados o volume superficial e drenagem profunda medidos nos lisímetros. Nas Figuras 4.15 e 4.16 são apresentados os volumes totais nos lisímetros com palha e sem palha respectivamente; esse volume total é obtido pela soma entre o escoamento superficial e a drenagem profunda; e na Tabela 4.7 são apresentados os volumes totais escoados (lisímetros) e precipitados (pluviógrafos) para cada evento. O período dos eventos foi definido da seguinte forma: o início corresponde ao início da chuva e o fim corresponde ao final do volume total escoado.

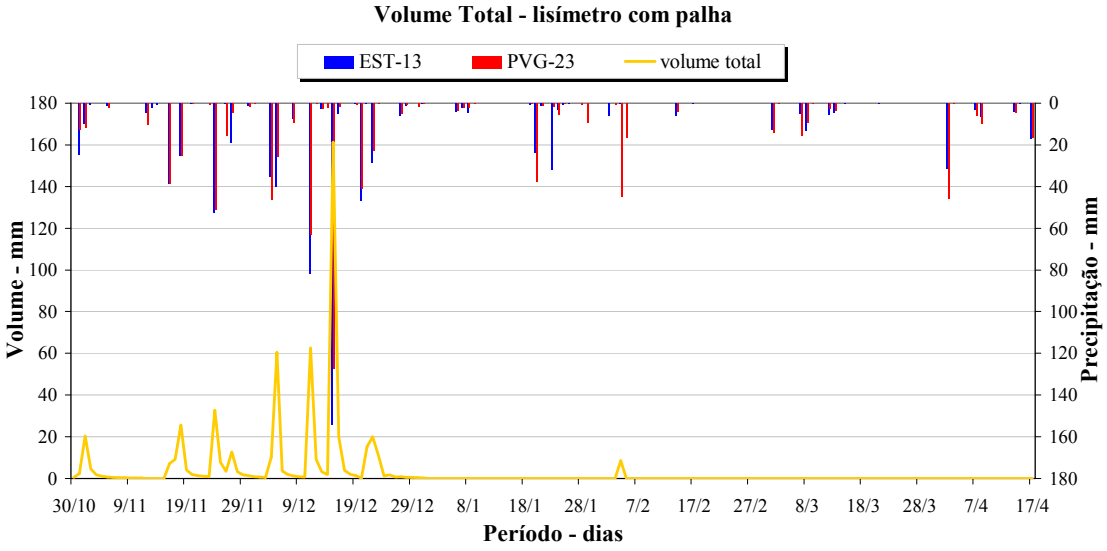

Figura 4.27. Volume total diário – lisímetro com palha

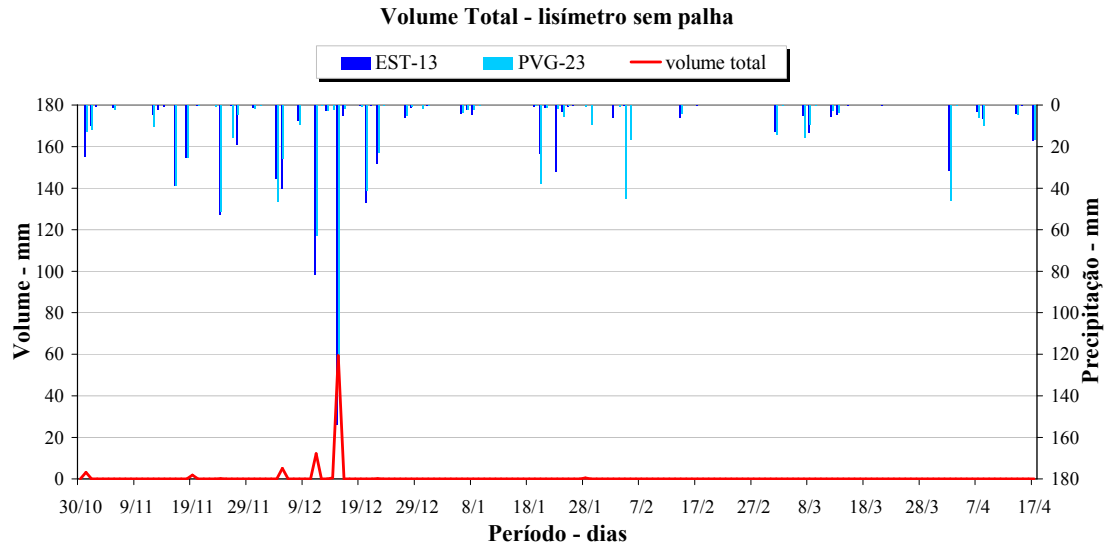

Figura 4.28. Volume total diário – lisímetro sem palha

Comparando a resposta do escoamento com relação a cada evento de chuva, nota-se que no lisímetro com palha ocorre mais escoamento que no lisímetro sem palha. Isto provavelmente aconteceu devido ao erro na leitura do escoamento superficial no lisímetro sem palha, pois durante os primeiros eventos ocorria entupimento do pluviógrafo, já que não havia a palha para proteger o solo. Após constatado esse problema, para contorná-lo foi colocada uma tela de metal protegida por uma manta sintética (mesmo material utilizado na base dos lisímetros) nos pluviógrafos, mas infelizmente após isso ocorreu o período seco, sendo assim poucos registros de escoamento total do lisímetro sem palha foram confiáveis. Esses registros são apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7. Valores dos volumes totais escoados e precipitados para cada evento, mm

EVENTO	INÍCIO	FIM	LIS c/ palha SUP+SUB	LIS s/ palha SUP+SUB	EST-13	PVG-23	PVG-34	PVG-37
1	25/10/2003 13:00	13/11/2003 20:00	32,94	3,42	99,2	93,4	79,6	111,6
2	16/11/2003 07:00	22/11/2003 08:00	49,42	1,83	15,8	64,4	63,6	60,6
3	24/11/2003 01:00	01/12/2003 13:00	63,45	0,20	73,0	73,8	75,0	90,4
4	04/12/2003 22:00	09/12/2003 00:00	77,25	5,11	82,8	81,2	86,8	87,0
5	11/12/2003 10:00	21/12/2003 17:00	281,62	71,69	290,6	238,8	269,8	218,0
6	22/12/2003 06:00	31/12/2003 23:00	37,00	0,18	36,0	23,0	27,0	29,6

Observa-se na Tabela 4.7 que o pluviógrafo da estação (EST-13) nos eventos 2 e 6 registrou precipitação menor que o volume total no lisímetro com palha (valores destacados por círculos), entretanto no evento 2, percebe-se que a chuva acumulada nos outros pluviógrafos foi maior que 60 mm, isto comprova que nesse evento ocorreu erro na leitura do pluviógrafo da estação. Já no evento 6 isto não ocorre, pois a chuva acumulada nos outros pluviógrafos também é menor que o volume total. Uma explicação para isso é que talvez o escoamento da lavoura possa ter entrado no lisímetro fazendo com que esse registro ficasse superestimado. Verifica-se também na Tabela 4.7 o que já havia sido constatado pela análise das Figuras 4.15 e 4.16 que em todos os eventos o escoamento no lisímetro com palha é muito maior que no lisímetro sem palha.

Analisando os escoamentos superficial e da drenagem profunda separadamente (Tabela 4.8), observa-se que no lisímetro com palha o escoamento superficial é quase nulo na maioria dos eventos, com exceção do evento IV, o contrário ocorre no lisímetro sem palha, com exceção dos eventos IV e V. Isto demonstra que no lisímetro com palha, a cobertura da palha tende a atenuar o impacto das gotas de chuva fazendo com que ocorra uma maior infiltração e conseqüentemente um maior escoamento da drenagem profunda, enquanto que, para o lisímetro sem palha, o impacto sucessivo das gotas de chuva gera formação de uma

fina camada adensada na superfície do solo dificultando a infiltração de água no solo e conseqüentemente um aumento no volume do escoamento superficial.

Tabela 4.8. Volumes (esc. superficial e drenagem profunda) dos lisímetros para cada evento, mm

EVENTO	EST-13	LIS c/ palha		LIS s/ palha	
		SUP	SUB	SUP	SUB
I	99,2	0,01	32,94	3,42	0,00
II	15,8	0,00	49,42	1,83	0,00
III	73,0	0,00	63,45	0,20	0,00
IV	82,8	0,77	76,47	0,02	5,10
V	290,6	0,04	281,57	0,01	71,68
VI	36,0	0,00	37,00	0,00	0,18

Nas Figuras 4.17 e 4.18 é apresentado o evento V dos lisímetros com e sem palha respectivamente.

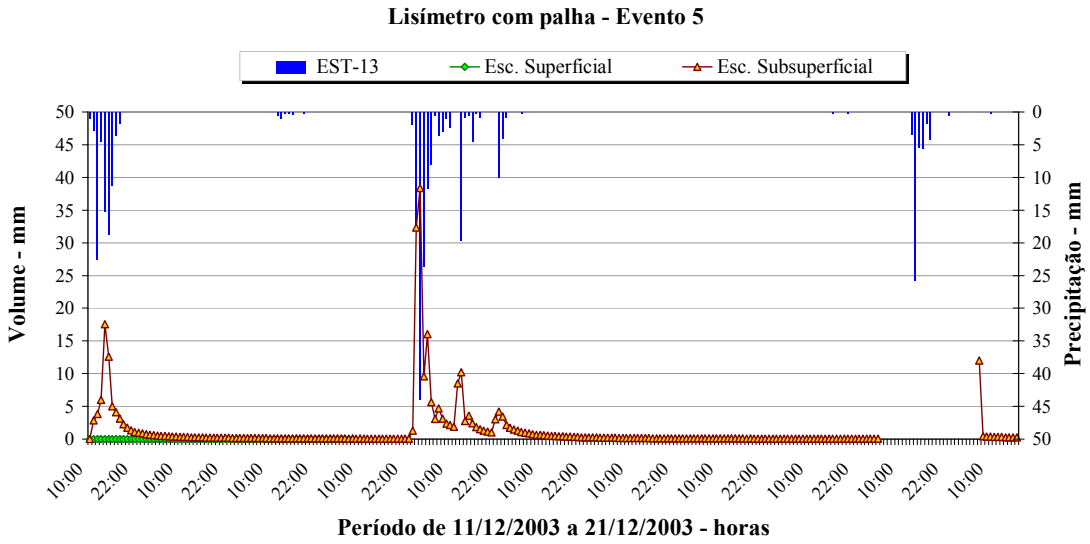

Figura 4.29. Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro com palha – Evento 5

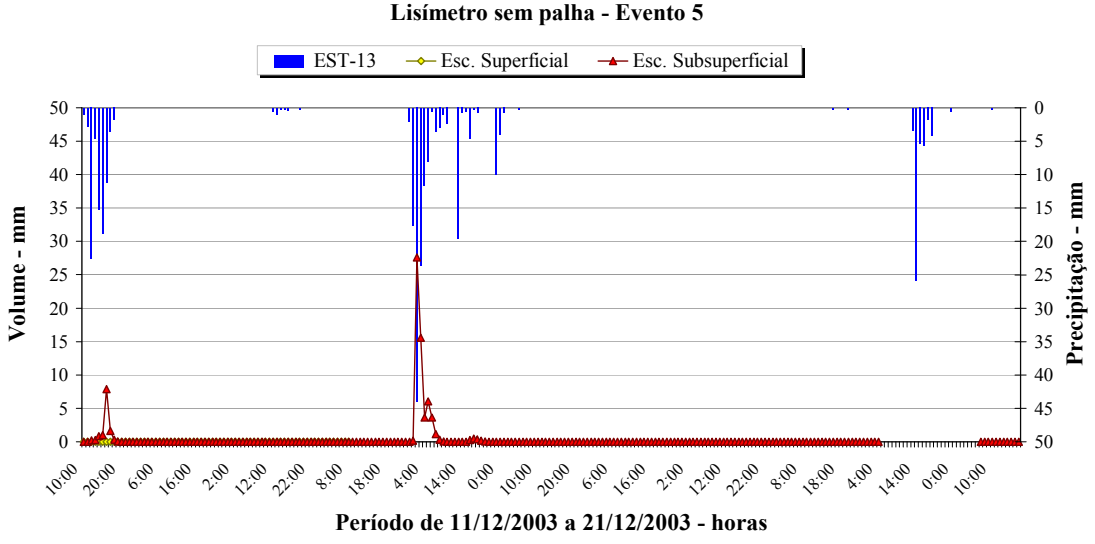

Figura 4.30. Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro sem palha – Evento 5

Observa-se nas Figuras 4.17 e 4.18 o que já havia sido comentado, que o escoamento superficial nos dois lisímetros é quase nulo. Nota-se também que ocorrem três picos de chuva durante esse evento, sendo que os escoamentos acompanham esses três picos, porém no lisímetro com palha o escoamento é maior e mais expressivo comparado com o lisímetro sem palha.

Conclusão parcial

De acordo com os dados apresentados pode se dizer que, pelo fato de não haver uma diferença significativa nos dados de tensão nos lisímetros indicando não haver diferença significativa de umidade, essa diferença de volume entre os escoamentos do lisímetro sem palha e com palha ocorreu provavelmente devido ao erro no registro no lisímetro sem palha, subestimando os dados. Para evitar esse tipo de erro, sugere-se que se tenha um acompanhamento de campo com maior freqüência, principalmente nos eventos de chuva.

Outros eventos são apresentados no Anexo I, onde nota-se que o comportamento dos escoamentos superficial e drenagem profunda seguem padrões semelhantes.

4.4. TEMPERATURA DO SOLO E DO AR

A temperatura do solo nos lisímetros foi monitorada em duas profundidades, a 20 cm (temperatura de superfície) e a 85 cm (temperatura de fundo). Durante o período de monitoramento ocorreram alguns problemas nos aparelhos dataloggers, ocasionando assim períodos com falhas. Os problemas encontrados foram registros de temperatura muito baixos e registros nulos. Nas Figuras 4.19 e 4.20 são apresentados os dados de temperatura de superfície e de fundo nos lisímetros e também os dados de temperatura do ar.

A partir do dia 20 de dezembro os dataloggers registraram valores nulos de temperatura, com isso o período utilizado na análise foi de 30 de outubro a 19 de dezembro de 2003.

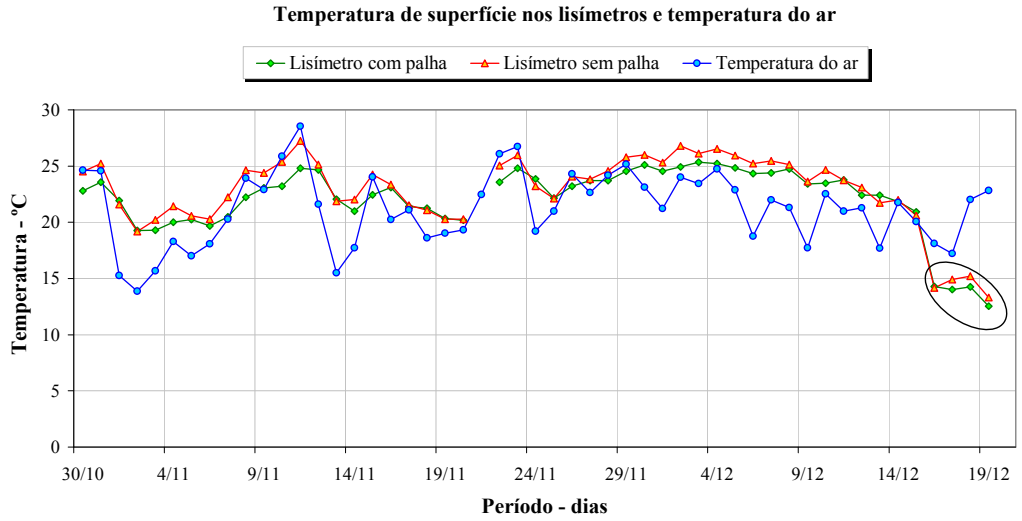

Figura 4.31. Temperatura de superfície nos lisímetros e temperatura do ar

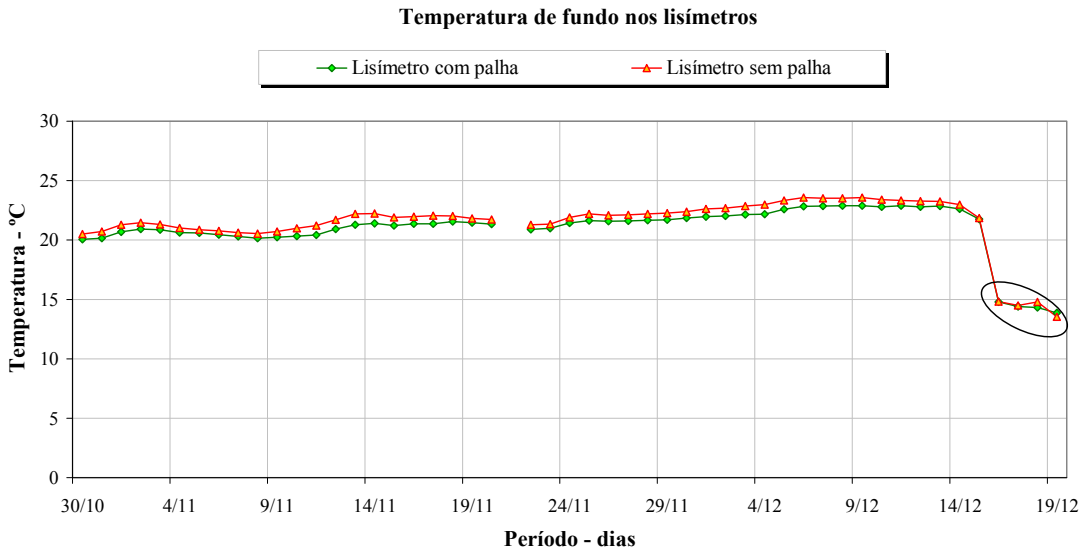

Figura 4.32. Temperatura de fundo nos lisímetros

Observa-se na Figura 4.31 que ocorreram várias elevações e quedas bruscas de temperatura do ar o que acarretou em mudanças na temperatura do solo na superfície (20 cm) destacando-se os períodos de 12 a 14 de novembro e 24 a 25 do mesmo mês. Além disso, a temperatura no lisímetro sem palha é sempre maior que a do lisímetro com palha. Já na Figura 4.32 a temperatura do solo no fundo se manteve constante durante o período de monitoramento, sendo um pouco maior no lisímetro sem palha.

Na Tabela 4.9 são apresentadas as temperaturas média, mínima e máxima do solo nos lisímetros para as duas profundidades e também a temperatura do ar registrada na estação meteorológica.

Tabela 4.9. Valores de temperatura do ar e do solo nos lisímetros

TEMPERATURA	LISÍMETRO COM PALHA		LISÍMETRO SEM PALHA		DO AR
	SUPERFÍCIE	FUNDO	SUPERFÍCIE	FUNDO	
MÉDIA	22	21	23	21	21
MÍNIMA	13	14	13	14	14
MÁXIMA	25	23	27	24	29

De acordo com a Tabela 4.9, a temperatura média de superfície nos lisímetros foi quase constante, sendo 22 ºC no lisímetro com palha e 23 ºC no lisímetro sem palha. Com relação à temperatura máxima, no lisímetro sem palha (27 ºC) foi maior que no lisímetro com palha (25 ºC), como era de se esperar. Já a temperatura mínima se manteve constante nos dois lisímetros (13 ºC). No que se refere à temperatura de fundo nos lisímetros, os valores de temperatura média e mínima se mantiveram constante igual a 21 e 14 ºC respectivamente; já a temperatura máxima, no lisímetro sem palha teve um leve aumento (1 ºC).

Alguns autores da literatura verificaram que a temperatura máxima do solo, em culturas cultivadas em sistemas tipo plantio direto, é menor comparado com outros tipos de plantio; dentre esses autores, pode-se citar Bragagnolo (1986), em seu estudo sobre o efeito da cobertura do solo por resíduos de culturas sobre a temperatura e umidade do solo, verificou que a temperatura máxima do solo a 5 cm de profundidade foi de 37,1 ºC no solo descoberto e 28,6 ºC no solo com cobertura da palha. Isto indica que a cobertura do solo com a palha reduz a evaporação, mantém mais a umidade no solo, conseqüentemente, reduz a temperatura máxima do solo. Esse experimento foi realizado na estação experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no município de Guaíba, nos meses de setembro, outubro e novembro de 1985, sendo realizado o plantio da soja com a cobertura da palha de trigo, semelhante ao experimento em estudo. Salton (1991) também verificou esse mesmo

comportamento da temperatura do solo para a cultura do milho, no período de setembro de 1990 a janeiro de 1991, para essa mesma profundidade.

Com relação à temperatura do ar, durante o período analisado a temperatura foi menor que a da superfície do solo, tendo como média igual a 21 ºC, por outro lado às temperaturas máxima e mínima foram maiores que as temperaturas de superfície do solo, com valores iguais a 29 e 14 ºC respectivamente.

Conclusão parcial

Comparando os dados de temperatura nos lisímetros, observa-se na Figura 4.31 que a temperatura de superfície apresenta um comportamento semelhante ou seja, alternando valores mais altos e mais baixos em função da temperatura do ar; porém no lisímetro sem palha a temperatura é entorno de 1 °C maior que a do lisímetro com palha, como era de se esperar já que a cobertura da palha tende a manter o solo a uma temperatura menor. A temperatura do ar também apresenta um comportamento semelhante comparada com a temperatura de superfície nos lisímetros. Já a temperatura no fundo do lisímetro (Figura 4.32) apresentou um comportamento constante, sendo um pouco maior no lisímetro sem palha.

Esses valores de temperatura do solo indicam que quanto maior a temperatura maior será a evaporação do solo, ocasionando assim menor umidade do solo e maior evapotranspiração da cultura. A seguir são discutidos com mais detalhes os valores destas duas variáveis (umidade e evapotranspiração).

4.5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Neste item são apresentados os dados de evapotranspiração de cultura calculados a partir do balanço hídrico nos lisímetros (com e sem palha).

Na Figura 4.33 é apresentada a evapotranspiração para o lisímetro com e sem palha para o período diário, onde se observa valores altos de evapotranspiração e também valores negativos. Esses altos valores e valores negativos ocorreram devido a problemas no registro de algumas variáveis do balanço hídrico, conforme são comentados com mais detalhes a seguir.

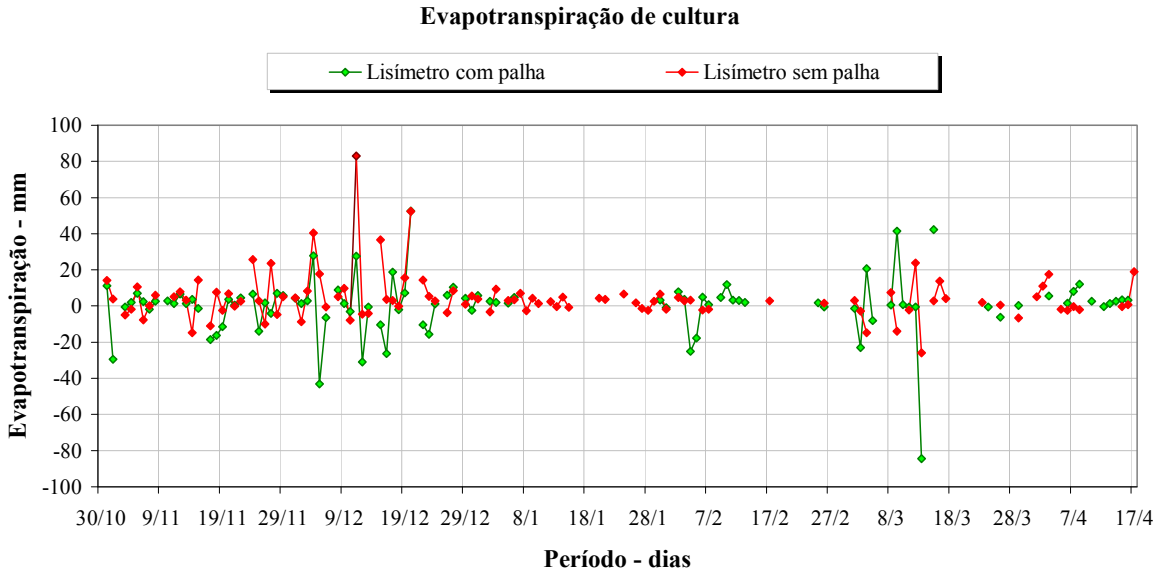

Figura 4.33. Evapotranspiração de cultura – período diário

Uma das principais falhas no registro foi na medição dos escoamentos, pois em alguns casos ou não foram registrados ou foram registrados valores muito abaixo ou muito acima daqueles esperados.

No caso dos registros abaixo dos valores esperados, provavelmente tenham ocorrido devido a entupimento da canalização do escoamento e da entrada do pluviógrafo. No caso de registro muito acima do esperado pode-se pensar que, apesar da construção do lisímetro ter sido planejada para que não haja interferência do escoamento da lavoura, provavelmente tenha ocorrido esse problema e o escoamento registrado pelos pluviógrafos não corresponde ao escoamento do lisímetro e sim da lavoura. Outra hipótese é que tenha ocorrido eventual entrada de escoamento na caixa onde os pluviógrafos estavam instalados. Em ambos os casos, na equação do balanço hídrico como escoa mais do que chove, ocorre evapotranspiração negativa. Quando ocorre o entupimento dos canos e do pluviógrafo

subestimando o registro de escoamento ocorre evapotranspiração muito alta, como ilustração segue abaixo dois eventos onde ocorreram esses problemas no lisímetro com palha.

1) Exemplo: evapotranspiração superestimada (provavelmente ocorreu devido ao entupimento dos canos e dos pluviógrafos)

Evento ocorrido no dia 04/12/2003,

P = 35,4 mm ES = 0,35 mm DP = 10,05 mm ΔA = -2,8 mm

Utilizando a equação do balanço hídrico, tem-se:

$$ET = P - ES - DP - \Delta A$$
$$ET = 35{,}4 - 0{,}35 - 10{,}05 - (-2{,}8)$$
$$ET = 27{,}8\,\text{mm}$$

2) Exemplo: evapotranspiração subestimada (provavelmente ocorreu devido a entrada de água da lavoura no lisímetro ou diretamente no pluviógrafo)

Evento ocorrido no dia 01/11/2003

P = 9,8 mm ES = 0 mm DP = 10,05 mm ΔA = -2,8 mm

de forma semelhante ao exemplo (1), tem-se:

$$ET = P - ES - DP - \Delta A$$
$$ET = 9{,}8 - 0 - 20{,}31 - 19{,}0$$
$$ET = -29{,}5\,\text{mm}$$

onde, P é a precipitação; ES é o escoamento superficial; DP é a drenagem profunda; ΔA é a variação de armazenamento e ET é a evapotranspiração.

Para se trabalhar com os dados de evapotranspiração, foram descartados os valores de evapotranspiração negativa e foi considerado um limite máximo correspondente a evapotranspiração máxima de referência registrada na estação meteorológica (calculada pelo método de Penman), ou seja, 7,7 mm/dia. Portanto, foram utilizados para análise dos dados, 48 eventos para o lisímetro com palha e 44 para o lisímetro sem palha, conforme são apresentados nas tabelas 4.10 e 4.11.

Tabela 4.10. Dados de evapotranspiração de cultura – lisímetro com palha (48 eventos)

EVENTO	DATA	PVG	ES	DP	DA	ET
1	4/11/2003	0	0	1,05	-2,9	1,9
2	5/11/2003	1	0	0,70	-6,7	7,0
3	6/11/2003	0	0	0,52	-2,9	2,3
4	8/11/2003	0	0	0,26	-2,9	2,6
5	10/11/2003	0	0	0,17	-6,0	2,8
6	11/11/2003	0	0	0,11	-1,5	1,4
7	12/11/2003	4,6	0	0,07	-2,1	6,6
8	13/11/2003	2	0	0,03	0,6	1,4
9	14/11/2003	0,6	0	0	-3,2	3,8
10	20/11/2003	0,8	0	1,85	-4,8	3,7
11	21/11/2003	0	0	1,30	-1,9	0,6
12	22/11/2003	0	0	0,99	-5,5	4,5
13	24/11/2003	26,4	0	16,75	3,0	6,6
14	26/11/2003	0,4	0	3,47	-4,8	1,7
15	28/11/2003	0	0	3,20	-10,1	6,9
16	29/11/2003	0	0	1,75	-7,4	5,7
17	1/12/2003	0,5	0	1,10	4,9	4,3
18	2/12/2003	0	0	0,64	-2,1	1,4
19	3/12/2003	0	0	0,50	-3,3	2,8
20	9/12/2003	0	0,01	0,82	-2,3	1,5
21	19/12/2003	0,4		1,41	-8,2	7,2
22	24/12/2003	0		1,21	-2,4	1,2
23	26/12/2003	0		1,17	-7,1	5,9
24	29/12/2003	0,7	0	0,51	-4,2	4,4
25	31/12/2003	0,4	0,01	0,18	-5,5	5,7
26	2/1/2004	0	0	0,01	-5,3	2,6
27	3/1/2004	0	0	0	-2,0	2,0
28	5/1/2004	0	0	0	-1,7	1,7
29	6/1/2004	4	0	0	-0,7	4,7
30	30/1/2004	2,9	0	0	-0,3	3,2
31	3/2/2004	0	0	0	-3,8	3,8
32	6/2/2004	0	0	0	-4,8	4,8
33	7/2/2004	0	0	0	-0,7	0,7
34	9/2/2004	0	0	0	-9,4	4,7
35	11/2/2004	0	0	0	-3,2	3,2
36	12/2/2004	0	0	0	-3,0	3,0
37	13/2/2004	0	0	0	-2,0	2,0
38	25/2/2004	0,5	0	0	-1,2	1,8
39	8/3/2004	6,1	0	0	5,5	0,6
40	10/3/2004	0	0	0	-0,7	0,7
41	29/3/2004	0	0	0	-0,4	0,4
42	3/4/2004	6,3	0	0	0,7	5,5
43	6/4/2004	0	0	0	-1,6	1,6
44	10/4/2004	0	0	0	-2,7	2,7
45	13/4/2004	0	0	0	-1,4	1,4
46	14/4/2004	4,2	0	0	1,6	2,6
47	15/4/2004	0,2	0	0	-3,2	3,4
48	16/4/2004	0	0	0	-3,2	3,2

Tabela 4.11. Dados de evapotranspiração de cultura – lisímetro sem palha (44 eventos)

EVENTO	DATA	PVG	ES	DP	DA	ET
1	1/11/2003	9,8	0,02	0,00	6,0	3,8
2	7/11/2003	0,0	0,01	0,00	-0,2	0,2
3	8/11/2003	0,0	0,01	0,00	-5,9	5,9
4	11/11/2003	0,0	0,02	0,00	-5,2	5,2
5	13/11/2003	2,0	0,01	0,00	-1,2	3,2
6	20/11/2003	0,8	0,00	0,00	-6,1	6,9
7	22/11/2003	0,0	0,00	0,00	-2,7	2,7
8	25/11/2003	0,0	0,01	0,00	-2,8	2,8
9	29/11/2003	0,0	0,00	0,00	-5,1	5,1
10	1/12/2003	0,5	0,01	0,00	-4,1	4,6
11	8/12/2003	3,7	0,01	0,00	-1,4	5,0
12	16/12/2003	5,0		0,00	1,3	3,7
13	17/12/2003	0,0		0,00	-3,0	3,0
14	23/12/2003	0,0		0,02	-5,3	5,3
15	24/12/2003	0,0		0,01	-2,8	2,8
16	29/12/2003	0,7		0,00	-0,3	1,0
17	30/12/2003	0,0		0,00	-5,5	5,5
18	31/12/2003	0,4		0,00	-3,5	3,9
19	5/1/2004	0,0		0,00	-3,1	3,1
20	6/1/2004	4,0		0,00	0,5	3,5
21	7/1/2004	2,2		0,00	-4,9	7,1
22	9/1/2004	0,0		0,00	-4,4	4,4
23	10/1/2004	0,0		0,00	-1,3	1,3
24	12/1/2004	0,0		0,00	-2,5	2,5
25	14/1/2004	0,0		0,00	-4,9	4,9
26	20/1/2004	4,8		0,00	0,4	4,4
27	21/1/2004	1,2		0,00	-2,4	3,6
28	24/1/2004	12,1		0,00	5,5	6,6
29	26/1/2004	0,5		0,00	-1,2	1,7
30	29/1/2004	0,0	0,00	0,00	-2,6	2,6
31	30/1/2004	0,0	0,01	0,00	-6,7	6,7
32	2/2/2004	3,1		0,00	-1,6	4,7
33	3/2/2004	0,0		0,00	-2,9	2,9
34	4/2/2004	0,2		0,00	-3,0	3,2
35	17/2/2004	0,6		0,00	-2,2	2,8
36	26/2/2004	0,0	0,00	0,00	-1,6	1,6
37	2/3/2004	2,6	0,00	0,00	-0,5	3,1
38	8/3/2004	4,6	0,00	0,00	-2,9	7,5
39	15/3/2004	0,1	0,00	0,00	-2,8	2,9
40	17/3/2004	0,0	0,00	0,00	-4,0	4,0
41	23/3/2004	0,1		0,00	2,0	2,1
42	26/3/2004	0,0		0,00	-0,4	0,4
43	1/4/2004	0,0		0,00	-5,2	5,2
44	16/4/2004	0,0		0,00	-0,8	0,8

Nos eventos de evapotranspiração que apresentaram problemas, observou-se que os eventos não são os mesmos para os dois lisímetros, ou seja, há eventos que apresentaram problemas apenas em um dos lisímetros. Por se tratar de eventos diferentes, não foi possível

realizar uma análise estatística comparativa entre os lisímetros, pode-se apenas analisar os resultados para cada lisímetro de maneira individual. Na Tabela 4.12 é apresentada a estatística dos dados de evapotranspiração de cultura e de referência.

Tabela 4.12. Estatística dos dados evapotranspiração de cultura e de referência

ESTATÍSTICA	ETc - (mm/dia)		ETo - (mm/dia)
	LISÍMETRO COM PALHA	LISÍMETRO SEM PALHA	
MÉDIA	3,2	3,7	5,1
MÁXIMA	7,2	7,5	7,7
Nº DE DADOS	48	44	134

ETc = evapotranspiração de cultura
ETo = evapotranspiração de referência

Observa-se na Tabela 4.12 que a evapotranspiração média do lisímetro com palha foi igual a 3,2 mm/dia e a máxima 7,2 mm/dia. Já no lisímetro sem palha a evapotranspiração média foi igual a 3,7 mm/dia e a máxima 7,2 mm/dia. É de se esperar que no lisímetro com a palha a evapotranspiração seja menor que no lisímetro sem palha, porém por se tratar de eventos distintos, não seria correto fazer uma estatística comparativa desses dados. Com relação aos dados de evapotranspiração de referência, a média foi igual a 5,1 mm/dia e a máxima 7,7 mm/dia, apresentando valores maiores que nos lisímetros, como era de se esperar.

Na Figura 4.34 são apresentados os valores de evapotranspiração de cultura nos lisímetros e também a evapotranspiração de referência.

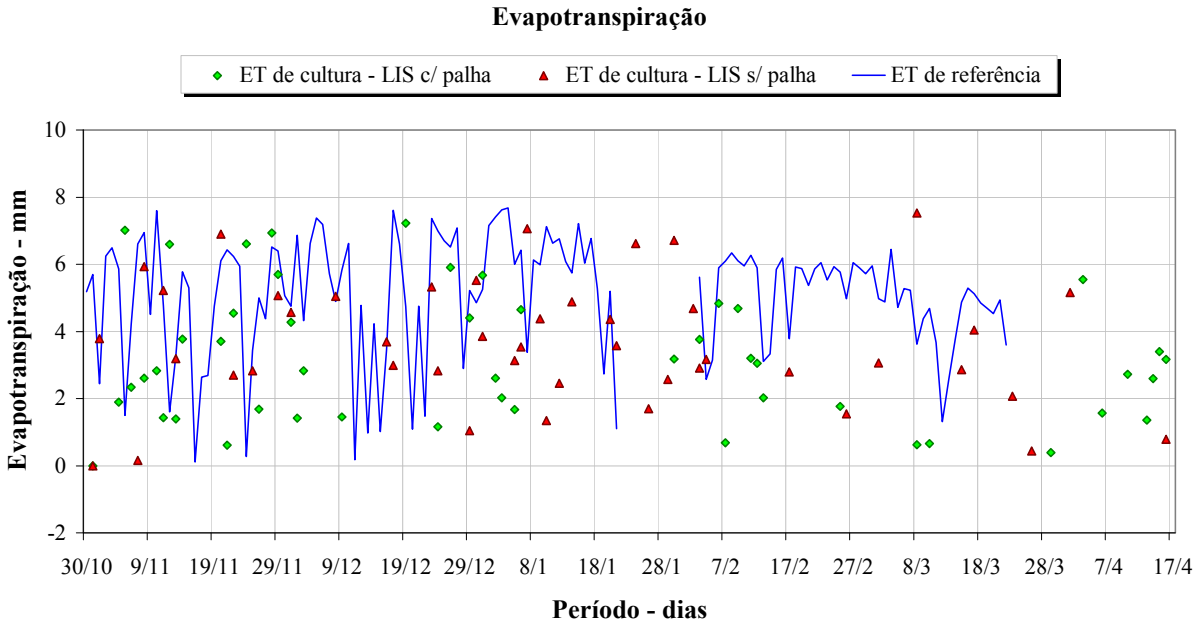

Figura 4.34. Evapotranspiração de cultura e de referência – mm/dia

Nota-se na Figura 4.34 que a evapotranspiração de referência apresenta um comportamento bastante variável, com uma leve tendência decrescente ao longo do período de monitoramento, já a evapotranspiração de cultura, devido a número pequeno de dados, não foi possível identificar seu comportamento, tanto para o lisímetro com palha quanto para o sem palha.

4.6. COEFICIENTE DE CULTURA

Conforme comentado no item 3.3, o coeficiente de cultura (kc) foi calculado utilizando valores de evapotranspiração no período em que o solo apresentava umidade próxima a capacidade de campo do solo. Devido ao pequeno número de dados de evapotranspiração nesse período foi possível calcular apenas 6 dados de kc para o lisímetro com palha e 5 para o lisímetro sem palha, conforme apresentado na Tabela 4.13.

Tabela 4.13. Coeficiente de cultura

DATA	kc	
	LISÍMETRO COM PALHA	LISÍMETRO SEM PALHA
01/11/2003	-	1,55
13/11/2003	0,42	0,97
14/11/2003	0,65	-
20/11/2003	0,61	1,13
26/11/2003	0,34	-
08/12/2003	-	1,03
19/12/2003	1,52	-
31/12/2003	1,08	0,73

Observa-se na Tabela 4.13 que, para o lisímetro com palha, o coeficiente de cultura variou de 0,34 a 1,52 e para o lisímetro sem palha o kc variou de 0,73 a 1,55. Comparando esses valores com os encontrados na literatura, nota-se que tanto no lisímetro com palha quanto no lisímetro sem palha os valores máximos foram bem próximos do kc encontrado por Berlato *et al*. (1986), ou seja, 1,50.

Outra análise realizada foi a comparação dos valores calculados de kc com a curva de coeficiente de culturas anuais, elaborada pela FAO, conforme é apresentada na Figura 4.35. Para isso, utilizou somente os valores de kc correspondente ao ciclo da soja (período de 17 de novembro a 10 de abril).

Devido aos poucos valores de kc, só foi possível comparar os valores nas duas primeiras fases do ciclo, sendo dois eventos de kc na primeira fase para os dois lisímetros e na segunda fase dois eventos pra o lisímetro com palha e um evento para o lisímetro sem palha.

Observa-se na Figura 4.35 que, na primeira fase, os valores de kc pra o lisímetro com palha ficaram entre as curvas de clima menos seco e mais úmido enquanto que para o lisímetro sem palha os valores de kc foram maiores que a curva de clima mais úmido; é de se esperar que nessa primeira fase os valores de kc não sejam muito diferentes, pois a cultura nessa fase não apresenta diferença tanto pra o lisímetro com palha quanto pra o lisímetro sem palha. Isto pode ter acontecido devido aos valores de evapotranspiração de cultura serem maiores que os valores de evapotranspiração de referência nessa etapa. Já na segunda fase, o valor de kc para o lisímetro sem palha ficou próximo da curva clima mais seco, enquanto que pra o lisímetro com palha, um valor de kc foi bem próximo da curva de clima mais úmido e outro bem afastado da curva, esse comportamento era de se esperar (com exceção de um dos eventos, que se justifica pelo fato da ETc ser maior que ETo).

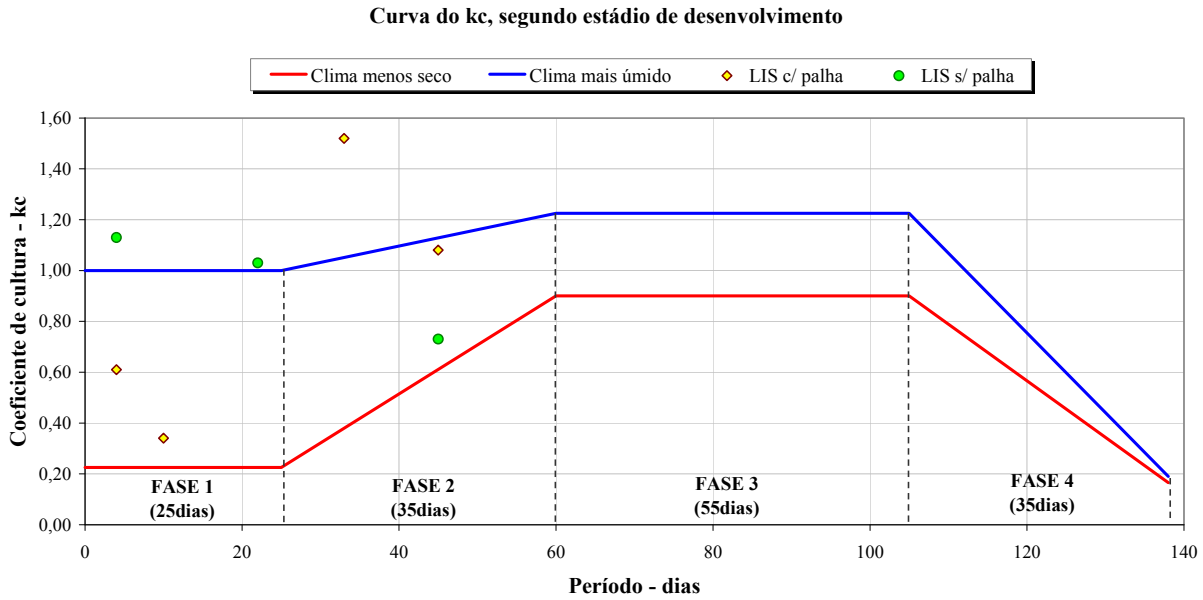

Figura 4.35. Comparativo dos valores calculados de kc com a curva de kc de culturas anuais elaborados pela FAO.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. CONCLUSÕES

Neste trabalho se estudou o comportamento das variáveis do balanço hídrico em duas condições de manejo de solo numa bacia rural localizada na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, um representando o manejo correspondente ao plantio direto, mantendo-se a superfície do solo coberta com a palha da cultura anteriormente colhida, e o outro representando o manejo também correspondente ao plantio direto, porém sem a palha. Para isto foram construídos dois lisímetros volumétricos usando uma amostra não deformada de 1 m^3 de solo, no período de 30/10/2003 a 17/04/2004 correspondendo ao final do ciclo da cultura do trigo e o ciclo completo da cultura da soja. As principais variáveis do balanço hídrico na análise foram: a precipitação, o volume superficial e a drenagem profunda, umidade do solo e evapotranspiração de cultura; além dessas variáveis também foi realizado o monitoramento da temperatura do solo nas profundidades de 20 e 85 cm.

Com relação à precipitação, o período de monitoramento se caracterizou em um ano atípico com dois períodos distintos bem definidos: o período úmido de 30 de novembro a 31 de dezembro, cuja total precipitado foi maior que a média (541,8 mm); e o período seco de 01 de janeiro a 19 de abril, onde o total precipitado foi bem abaixo da média (190,6 mm).

Devido a esses períodos distintos, o monitoramento dos volumes superficial e drenagem profunda foi prejudicado, principalmente no período seco, cujo volume total acumulado foi igual a 8,5 mm no lisímetro com palha e 0,44 mm no lisímetro sem palha. Durante o período úmido foi constatado que o escoamento superficial e drenagem profunda apresentaram um mesmo comportamento, entretanto no lisímetro com palha drenagem profunda foi mais expressivo comparado com o lisímetro sem palha. Já o escoamento superficial, na maioria dos eventos, foi maior no lisímetro sem palha. Isto demonstra que no lisímetro com palha, a cobertura da palha tende a atenuar o impacto das gotas de chuva

fazendo com que ocorra uma maior infiltração e conseqüentemente uma maior drenagem profunda, enquanto que, para o lisímetro sem palha, o impacto sucessivo das gotas de chuva gera a formação de uma fina camada adensada na superfície dificultando a infiltração de água no solo e conseqüentemente um aumento no volume do escoamento superficial.

Na análise da temperatura do solo realizada apenas no período úmido devido a problemas com os aparelhos dataloggers, verificou-se que a temperatura na profundidade 20 cm é levemente maior no lisímetro sem palha, com uma variação de 19 a 27 °C, comparado com o lisímetro com palha, cuja variação foi de 19 a 25° C. Na profundidade de 85 cm, a temperatura apresentou comportamento semelhante nos lisímetros, com uma média de 22 °C. Isto mostra que a cobertura da palha no lisímetro tende a diminuir a temperatura na superfície do solo.

No que se refere à umidade do solo, a análise comparativa da umidade nos lisímetros demonstrou que na profundidade de 10 cm a umidade apresenta um comportamento semelhante, porém no lisímetro com palha a umidade é maior. Na profundidade de 30 cm também ocorre um comportamento semelhante nos lisímetros, porém ao contrário que na profundidade de 10 cm, a umidade é maior no lisímetro sem palha. Já na profundidade de 70 cm a umidade apresenta um comportamento semelhante com valores constantes. Isto indica que a cobertura da palha, além de manter o solo a uma temperatura menor, tende a reter mais água na primeira camada de solo aumentando assim a umidade, enquanto que no lisímetro sem palha a evaporação do solo é maior, retendo menos água na primeira camada. Dessa forma a água que se infiltra, no lisímetro sem palha, tende a ficar armazenada nas camadas mais profundas.

A medida da evapotranspiração nos lisímetros foi feita através do balanço hídrico diário. Na avaliação foi constatado que no lisímetro com palha a evapotranspiração foi menor que no lisímetro sem palha. Em virtude de alguns problemas com aparelhos de medição, ocasionando períodos com falhas, não foi possível realizar uma análise comparativa mais detalhada desta variável, pois o período de falha não foi coincidente.

Estes resultados indicam que a influência da palha:

- Reduz o escoamento superficial, promovendo um aumento da infiltração de água no solo e, conseqüentemente um aumento na drenagem profunda;
- Retém maior quantidade de água no solo, ou seja, aumenta a umidade do solo, nas profundidades de 10 a 20 cm;
- Reduz a evaporação do solo, ocasionando assim uma redução na taxa de evapotranspiração na camada superficial do solo;
- Diminui a temperatura máxima e média do solo na camada superficial do solo.

5.2. RECOMENDAÇÕES

Para contornar alguns problemas no monitoramento dos equipamentos e aparelhos de medição no campo, recomenda-se:

- Ter um acompanhamento de campo com maior freqüência, principalmente nos eventos de chuva; com o intuito de diminuir e/ou resolver os problemas com os equipamentos, tais como: entupimento nos pluviógrafos (utilizados na medição do escoamento superficial), falhas no funcionamento nos aparelhos dataloggers, etc;
- Realizar o monitoramento da tensão de água no solo de forma automática, com o objetivo de diminuir o número de dados inconsistentes de tensão de água no solo;

Com um número maior de dados, recomenda-se para futuras pesquisas:

- Uma análise mais detalhada da evapotranspiração de cultura, com relação à influência da palha em solos com manejo tipo plantio direto;
- Investigar o efeito de escala da evapotranspiração entre os dados medidos no lisímetro e os dados obtidos no campo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aboukhaled, A.; Alfaro, J. F.; e Smith, M. (1986). **Los lisímetros**. Estudos da FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Riego y Drenaje paper 39, Roma, 60 p.

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; e Smith, M. (1998). **Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements**. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Irrigation and drainage paper 56, Rome, 300 p.

Azooz, R. H.; Lowery, B. e Daniel, T. C. (1995). Tillage and residue management influence on corn growth. **Soil & Tillage Research**, v. 33, p. 215-227.

Bergamaschi, H.; Santos, M. L. V.; Medeiros, S. L. P.; e Cunha, G. R. (1991). Instalação e uso de um lisímetro de balança no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **In: Resumos: VII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 176-177.

Berlato, M. A.; Matzenauer, R.; Bergamaschi, H. (1986). **Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação do tanque "classe A" e radiação solar global**. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, v. 22, n. 2, p. 251-259.

Bertoni, J. C. Tucci, C. E. M. (2002). Precipitação. **In: TUCCI, C.E.M. (org.) Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH: EDUSP. cap. 5, p. 177-231.

Bond, J. e Wills, W. (1969). Soil water evaporation: surface residue rate and placement effects. **Soil Science Society of America Journal**, v. 33, p. 445-448.

Bordas, M. P.; e Borges, A. L. O. (1990). Escolha de bacias representativas e experimentais para estudo da erosão e do seu controle. **In: VIII Congresso Brasileiro e Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo**. Londrina.

Bragagnolo, N. (1986). **Efeito da cobertura do solo por resíduos de culturas sobre a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento do milho**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 119 p.

Bragagnolo, N. e Mielniczuc, J. (1990a). Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 369-374.

Bragagnolo, N. e Mielniczuc, J. (1990b). Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, p. 91-98.

Burman, R.; e Pochop, L. O. (1994). **Evaporation, evapotranspiration and climatic data**. Amsterdam: Elsevier, 278 p.

Bussière, F. e Cellier, P. (1994). Modification of the soil temperature and water content regimes by a crop residue mulch: experiment and modeling. **Agricultura and Forest Meteorology**, v. 68, p. 1-28.

Camargo, A. P.; e Sentelhas, P. C. (1997). Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97.

Carvalho, A. P.; Abrão, P. U. R.; Fasolo, P. J.; e Potter, R. J. (1990). **Levantamento semi-detalhado dos solos da bacia do arroio Taboão (Pejuçara/Ijuí RS)**. Multigr. Mapa 1:25.000, Porto Alegre, 41 p.

Castro, N. M. dos R. (1992). **Formação das cargas sólidas em suspensão em pequenas bacias rurais do derrame basáltico sulriograndense**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 140 p.

Castro, N. M. dos R.; Chevallier, P.; e Silveira, A. L. L. da (1993). Agriculture on the Brazilian basaltic plateau. Cultivations practices and soil conservation: first results of the Potiribu Project. **Farm Land Erosion: in temperate plains environment and hills**, p. 403-414.

Castro, N. M. dos R.; Auzet, A. V.; Chevallier, P. e Leprun, J. C. (1999). Land use change effects on runoff and erosion from plot to catchment scale on the basaltic plateau of Southern Brazil. **Hydrological Process**, v. 13, p. 1621-1628.

Castro, N. M. R.; Chevallier, P.; Goldenfum, J. A. (2000). **Projeto Potiribu, atualização 1989 – 1998: dados básicos de fluviometria e pluviometria**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. (Recursos Hídricos. Publicação n. 35).

Castro, A. S. (2005). **Avaliação Pontual da Degradação e Transporte do Herbicida Glifosato no Solo da Bacia do Arroio Donato – Pejuçara, RS**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 87 p.

Cichota, R. (2003). **Avaliação no campo de um TDR segmentado para determinação da umidade do solo**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, São Paulo, 100 p.

Costa, F. S; Albuquerque, J. A.; Bayer, C.; Fontoura, S. M. V. e Wobeto, C. (2003). Propriedades físicas de um latossolo bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 527-535.

Couto, L.; e Sans, L. M. A. (2002). Requerimento de água das culturas. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, **Circular Técnica 20**, Minas Gerais, 10 p.

Cruz, A. C. R. (2003). **Consumo de água por cultura de citros cultivada em latossolo vermelho amarelo**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, São Paulo, 92 p.

Cruz, J. C.; Alvarenga, R. C.; Pereira Filho, J. A.; Santana, D. P.; Pereira, F. T. E. e Hernani, L. C. (2000). Manejo de solos: Sistema Plantio Direto. **Embrapa Milho e Sorgo**, Brasília, v. 1, 6 p.

Denardin, J. E e Kochhann, R. A. (1993). Requisitos para implantação e a manutenção do sistema plantio direto. **In: Plantio direto no Brasil**, Passo Fundo: Aldeia Norte, p. 19-27.

Derpesch, R.; Roth, C. H.; Sidiras, N.; e Köpke, U. (1991). **Controle da erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo**. Tradução Popper, I., Fundação Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), Paraná, 272 p.

Dirksen, C. (1999). **Soil physics measurements**. Reiskirchen: Catena-Verlag, 154 p.

Doorenbos, J.; e Kassam, A. H. (1994). **Efeito da água no rendimento das culturas**. (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33), Tradução Gheyi, H. R. e outros, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, FAO, 306 p.

Doorenbos, J.; e Pruitt, W. O. (1975). **Crop water requirements**. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), Irrigation and drainage paper 24, Rome, 179 p.

Fontana, D. C. (1992). Determinação da evapotranspiração. **In: Bergamaschi, H. (coord.), (ed.) Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Editora da UFRGS, Porto Alegre, cap. 4, p. 48-61.

Fronza, D. (2002). **Consumo de água da estévia (Stevia rebaudiana (Bert.) Bertoni) estimado por microlisímetro automático**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, São Paulo, 109 p.

Gangopadhyaya, M.; Uryvaev, V. A.; Omar, M. H.; Nordenson, T. J.; e Harbeck, G. E. (1966). Measurement and estimation of evapotranspiration. **World Meteorological Organization (WOM)**. Geneva, Technical, Notes 83.

Gilley, J. E.; Finkner, S. C.; Spomer, R. G. e Mielke, L. N. (1986). Runoff and erosion as affected by corn residue: II rill end interrill components. **Transactions of the American Society or Agricultural Engineers**, v. 29, n. 1, p. 157-160.

Gomide, R. L. (2001). Importância da automação nos sistemas agrícolas irrigados, visando a irrigação inteligente e a agricultura de precisão. **In: Matsura, E. E. et al. (ed.) Aplicação da técnica de TDR na agricultura**. UNICAMP/FEAGRI, Campinas, São Paulo, p. 1-36.

Grebet, P. e Cuenca, R. (1991). History of lysimeter design of environmental disturbances. **In: Allen, R. G.; Howell, T. A.; Pruitt, W. O. et al. (ed.) Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements**. American Society of Civil Engineers, New York, p. 416-422.

Hernandez, F. B. T. (1994). Manejo da irrigação por pivô central na cultura do milho. **In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 24, Anais**, Viçosa – MG: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 13 p.

Howell, T. A.; McCormick, R. L.; e Phene, C. J. (1985). Design and Installation of Large Weighing Lysimeters. **TRANSACTIONS of the ASAE**, n. 83, p. 106-117.

IPAGRO (1989). **Atlas agroclimáticas**. Rede Meteorológica. Estado do Rio Grande do Sul, 3, mapa n. 232.

Jacobsen, O. H.; e Schjønning, P. (1993). A laboratory calibration of time domain reflectometry for soil water measurement including effects of bulk density and texture. **Journal of Hydrology**. v. 151, p. 147-157.

Johnson, M. D. e Lowery, B. (1985). Effect of three conservation tillage practices on soil temperature and thermal properties. **Soil Science Society of America Journal**, v. 49, p. 1547-1552.

Lal, R. (1998). Mulching effects on runoff, soil erosion and crop response on alfisols in western Nigéria. **Journal of Sustainable Agriculture**, v. 11, p. 135-154.

Lemos, R. C. (1973). **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Ministério da Agricultura, EMBRAPA, Boletim Técnico 30 (Mapas), Recife, 431 p.

Libardi, P. L. (2000). **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, São Paulo, 509 p.

Lopes, A. S.; Pavani, L. C.; Cora, J. E.; Zanini, J. R. e Miranda, H. A. (2004). Manejo da Irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 89-100.

Machado, R. E. e Mattos, A. (2000). Avaliação do desempenho de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 8, n. 2, p. 193-197.

Matzenauer, R. (1992). Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficiente de cultura. **In: Bergamaschi, H. (coord.), Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Editora da UFRGS, Porto Alegre, cap. 3, p. 33-47.

Matzenauer, R.; Bergamaschi, H.; e Berlato, M. A. (1998). Evapotranspiração da cultura do Milho. II – relação com a evaporação do tanque classe "A", com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar global, em três épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 15-21.

Matzenauer, R.; Bergamaschi, H.; Berlato, M. A.; Maluf, J. R. T.; Barni, N. A.; Bueno, A. C.; Didoné, I. A.; Anjos, C. S.; Machado, F. A.; e Sampaio, M. R. (2002). **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja no Rio Grande do Sul**. Boletim FEPAGRO (Boletim Técnico da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária). Porto Alegre, 105 p.

Medeiros, B. G. (1995). Evolução e estado da arte do cultivo mínimo na agricultura. **Anais do 1º Seminário sobre Cultivo Mínimo do Solo em Florestas**, Curitiba, p. 8-15.

Medeiros, S. L. P. (1998). Avaliação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região mesoclimática de Santa Maria/RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 105-109.

Medeiros, A. T. (2002). **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, em medidas lisimétrica e de equações empíricas, em Paraipaba, CE**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, São Paulo, 103 p.

Medeiros, J. D. F. (2004). **Variabilidade espacial do conteúdo de água no solo na bacia do Arroio Donato-RS**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 139 p.

Medeiros, J. D. F.; Castro, N. M. R.; Goldenfum, J. A.; e Clarke, R. T. (2006). **Calibração de sondas do TDR num Latossolo**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos (não publicado) 7 p.

Mendiondo, E. M. (1995). **Integração das Escalas Hidrológicas nas Sub-Bacias Embutidas do Rio Potiribu, RS**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 248 p.

Monteiro, V. E. D.; Jucá, J. F. T.; Conciani, W.; e Crestana, S. (1998). **Monitoramento da umidade em cortinas de argila de aterros sanitários com TDR**. In: XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental, Lima, Peru, 6 p.

Moreira, H. J. C. (1993). **S.A.A.C.I. – Sistema Agroclimatológico para o Acompanhamento das Culturas Irrigadas: manual prático para o manejo da irrigação**. Secretária Nacional de Irrigação, Brasília, 90 p.

Moreira, J. A. A.; Stone, L. F.; Silva, S. C. e Silveira, P. M. (1999). Irrigação do feijoeiro no sistema plantio direto. **Embrapa Arroz e Feijão** (Circular Técnica 33), Santo Antônio de Goiás, 31 p.

Ometto, J. C. (1981). **Bioclimatologia vegetal**. Editora Agronômica Ceres, São Paulo, 425 p.

Penman, H. L. (1948). Evaporation: an introductory survey. Netherland **Journal of Agriculture Science**, Wageningen, v. 4, p. 9-29.

Pereira, A. R., Villa Nova, N. A.; e Sediyama, G. C. (1997). **Evapo(transpiração)**. FEALQ (Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, Piracicaba), São Paulo, 183 p.

Pereira, A. R.; Santiago, A. V.; Maggiotto, S. M.; e Folegatti, M. V. (2002). Problemas operacionais com lisímetro de pesagem durante a estação chuvosa e em dias secos com rajadas de vento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 51-56.

Ponizovshy, A. A., Chudinova, S. M.; e Pachepsky, Y. A. (1999). Performance of TDR calibration models as affected by soil texture. **Journal of Hydrology**, v. 218, p. 35-43.

Radin, B. (1998). **Evapotranspiração máxima do milho medida em lisímetro e estimada pelo modelo de Penman-Monteith modificado**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 96 p.

Reichardt, K. (1990). **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo, SP, 188 p.

Reichardt, K.; Libardi, P. L.; Moraes, S. O.; Bacchi, O. O. S.; Turatti, A. L. e Villagra, M. M. (1990). Soil spatial variability and its implications on the establishment of water balances. **In: Congresso Internacional de Ciência do Solo, 14, Anais,** Kyoto: Sociedade Internacional de Ciência do Solo, v. 1, p. 41-46.

Resende, M.; e Albuquerque, P. E. P. (2002). Métodos e Estratégicas de Manejo de Irrigação. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, **Circular Técnica 19**, Minas Gerais, 10 p.

Ritchie, J. T. e Burnett, E. (1971). Dryland evaporative flux in a subhumid climate: II plante influences. **Agronomy Journal**, v. 63, p. 56-62.

Rodrigues, D. J.; Doering, G.; Canani, R.; Scheller, M. e Monzani, R. M. (2006). Respostas do milho em sistema de plantio direto e convencional no município de Agrolândia-SC, safra 2005-06. **Mostra de Iniciação Científica & Tecnologia Interdisciplinar (MICTI)**, UFSC, Camboriú, 45 p.

Rosenberg, N. J. (1974). **Microclimate: the biological environment**. New York: J. Wiley, 315 p.

Roth, K.; Schulin, R.; Fluhler, H. e Attinger, W. (1990). Calibration of time domain reflectometry for water content measurement using a composite dielectric approach. **Water Resources Research**, v. 26, n. 10, p. 2267-2273.

Roth, C. H,; Castro, F. C. de; e Medeiros, G. B. de. (1991). Análise de fatores físicos e químicos relacionados com a agregação de um latossolo Roxo distrófico. Campinas, p. 241-248.

Salton, J. C. (1991). **Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade do solo**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 92 p.

Scopel, E.; Douzet, J. M.; Silva, F. A. M.; Cardoso, A.; Findeling, A. e Bernoux, M. (2005). Impactos do sistema de plantio direto com cobertura vegetal (SPDCV) sobre a dinâmica

da água, do nitrogênio mineral e do carbono do solo do Cerrado brasileiro. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 169-183.

Scopel, E.; Muller, B.; Arreola-Tostado, J. M.; Chávez-Guerra, E. e Maraux, F. (1998). Quantifying and modeling the effects of a light crop residue mulch on the water balance: na application to rainfed maize in western México. **In: World Congress of Soil Science**, v. 16, CD-ROM.

Sediyama, G. C. (1996). Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. i-xii.

Silva, V. R.; Reichert, J. M. e Reinert, D. J. (2006). 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.

Silva, F. C.; Folegatti, M. V.; Pereira, A. R.; e Villa Nova, N. A. (1999). Uso de dispositivos lisimétricos para medida da evapotranspiração de referência. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 19-23.

Silva, C. G. da; Sobrinho, T. A.; Vitorino, A. C. T. e Carvalho, D. F. de (2005). Atributos físicos, químicos e erosão entressulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 144-153.

Souza, C. F.; Matsura, E. E. e Testezlaf, R. (2001). Experiência do laboratório de hidráulica, irrigação e drenagem da faculdade de engenharia agrícola / UNICAMP no uso da técnica de TDR. **In: Matsura E. E. et al. (Ed.) Aplicações da Técnica de TDR na agricultura**. Campinas, SP. Unicamp/Feagri, 178 p.

Sur, H. S.; Mastana, P. S. e Hadda, M. S. (1992). Effects of rates and modes of mulch application on runoff, sediment and nitrogen loss on cropped and uncropped fields. **Tropical Agriculture**, v. 1, p. 319-322.

Tanner, C. B.; e Judy, W. A. (1976). Estimating evaporation and transpiration from a row crop during incomplete cover. **Agronomy Journal**, v. 68, p. 239-242.

Thorthwaite, C. W. (1948). **An approach toward a rational classification of climate**. Geographical Review, 38:55, 94 p.

Thornthwaite, C. W.; Wilm, H. G.; Mather, J. R. et al. (1946). Report of the committee on evaporation and transpiration . **Transactions of the American Geological Institute**, v. 27, n. 5, p. 721-723.

Tim, L. C. (2002). **Efeito do manejo da palha da cana-de-açúcar nas propriedades físico-hídricas de um solo**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, São Paulo, 115 p.

Tommaselli, J. T. G. (2001). Critérios para calibração de sondas de TDR. **In: Matsura, E. E. et al. (Ed.) Aplicações da Técnica de TDR na agricultura**. Unicamp/FEAGRI, Campinas, São Paulo, 178 p.

Tommaselli, J. T. G.; e Bacchi, O. O. S. (2001). Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solos. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 9, p. 1145-1154.

Topp, G. C., Davis, J. L.; e Annan, A. P. (1980). Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines. **Water Resour. Res.** v. 16, p. 574-582.

Vieira, M. J.(1984). O preparo do solo e o comportamento da planta. **Plantio Direto**, Ponta Grossa, v. 1, n. 5, p. 4-5.

Viero, A. C. (2004). **Análise da geologia, geomorfologia e solos no processo de erosão por voçorocas: bacia do Taboão/RS**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 119 p.

Villa Nova, N. A.; e Reichardt, K. (1989). Evaporação e Evapotranspiração. **In: Ramos, F. et al. Engenharia Hidrológica**. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, cap. 3, p. 144-197.

ANEXO I

Escoamentos superficial e drenagem profunda – Eventos Selecionados

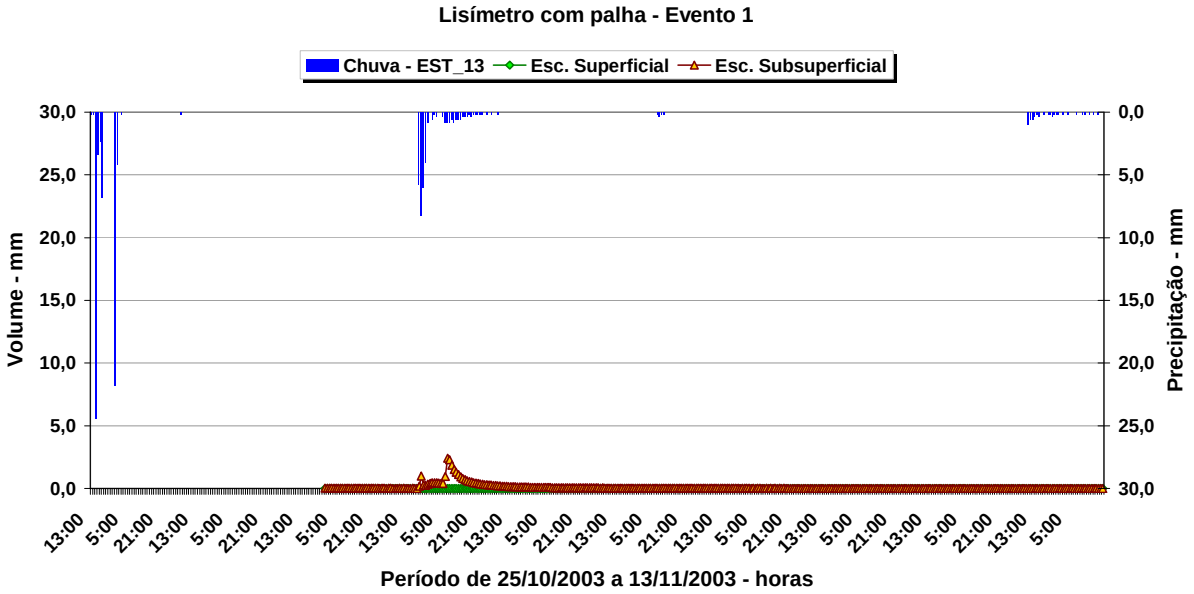

Figura A1- Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro com palha – Evento 1

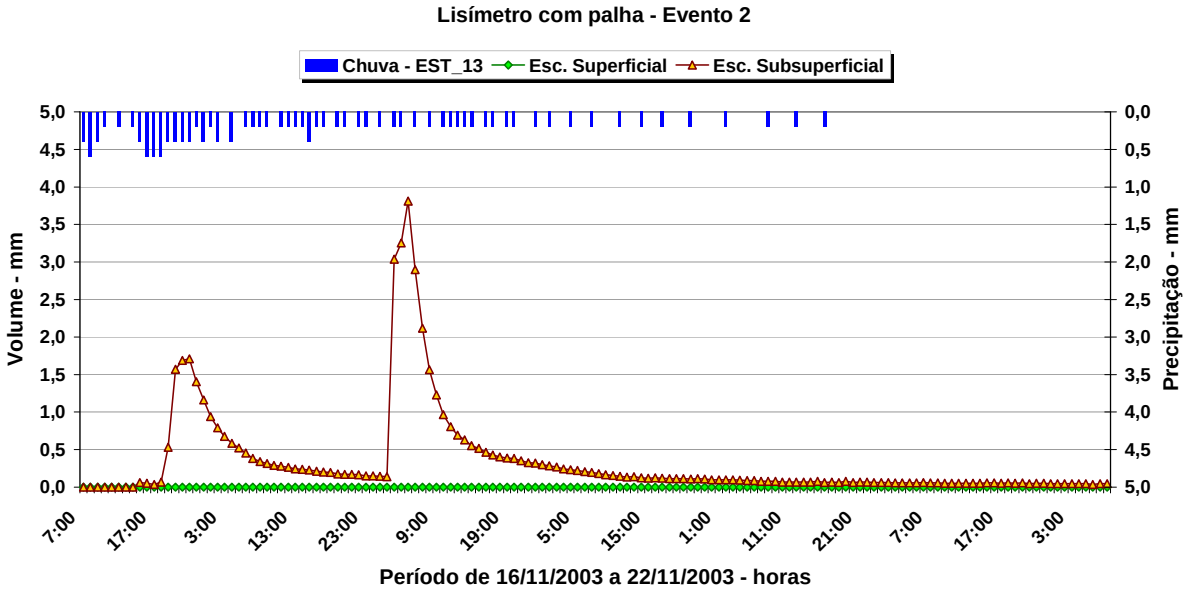

Figura A2- Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro com palha – Evento 2

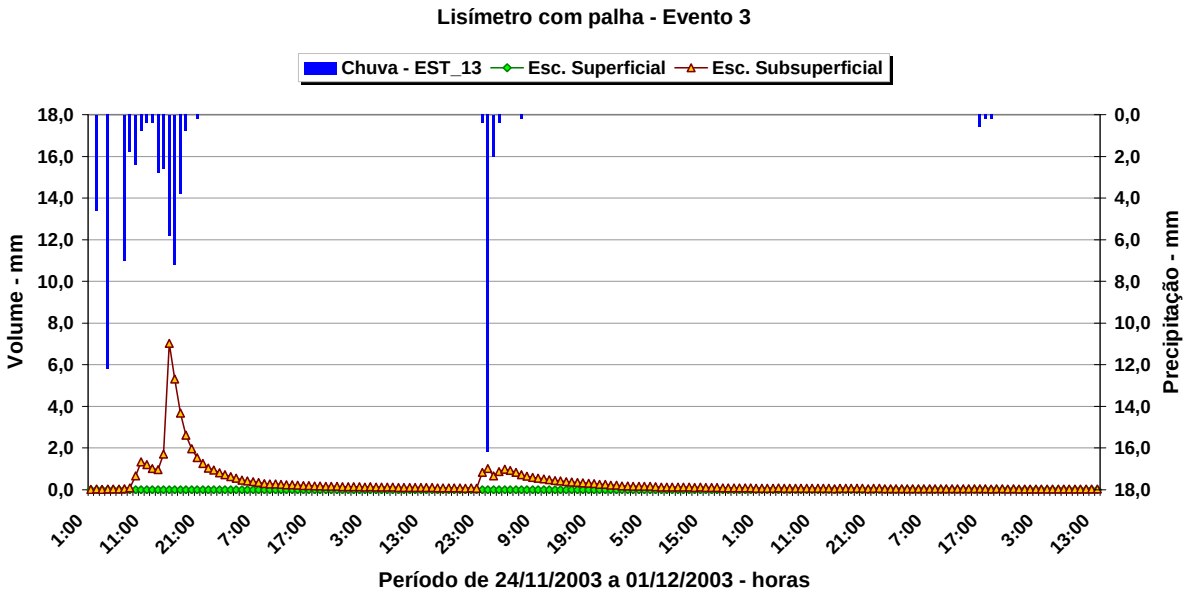

Figura A3- Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro com palha – Evento 3

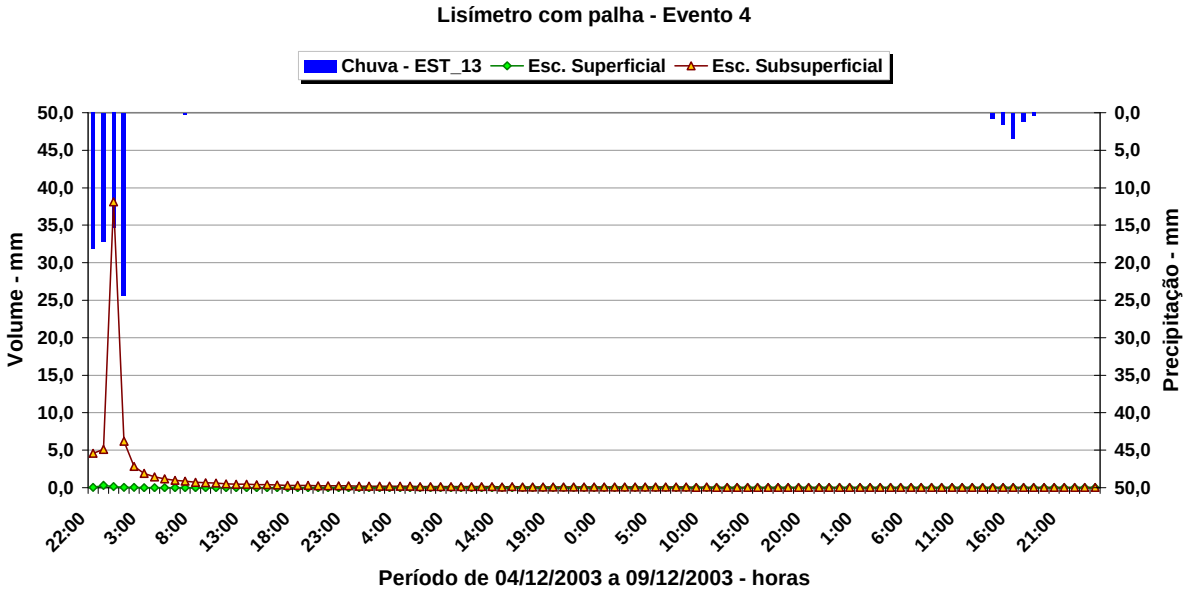

Figura A4- Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro com palha – Evento 4

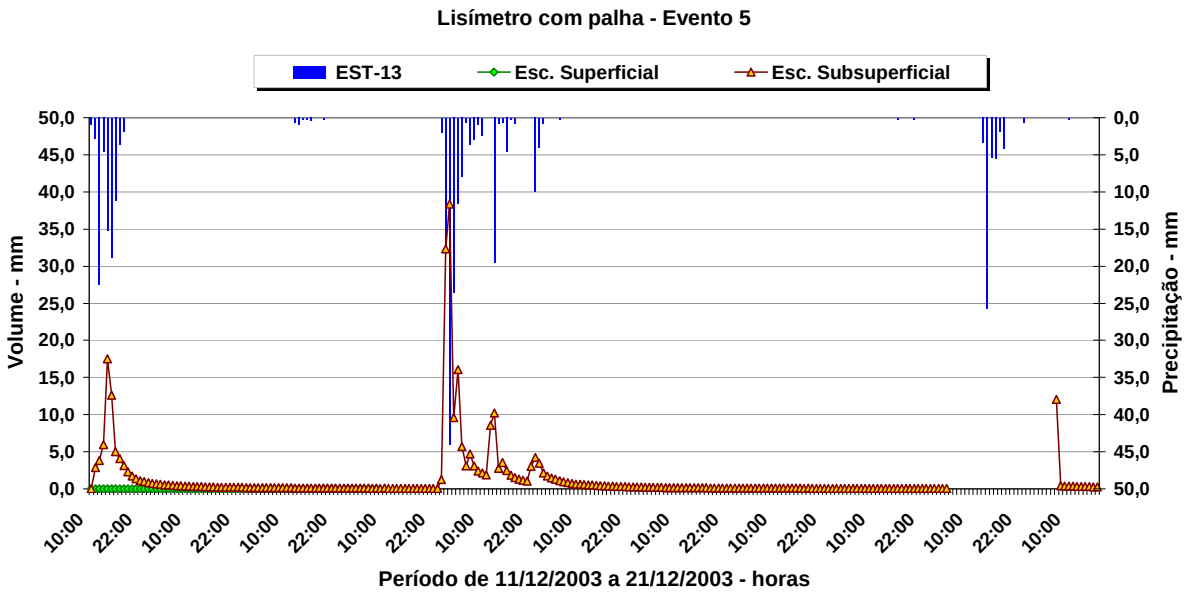

Figura A5- Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro com palha – Evento 5

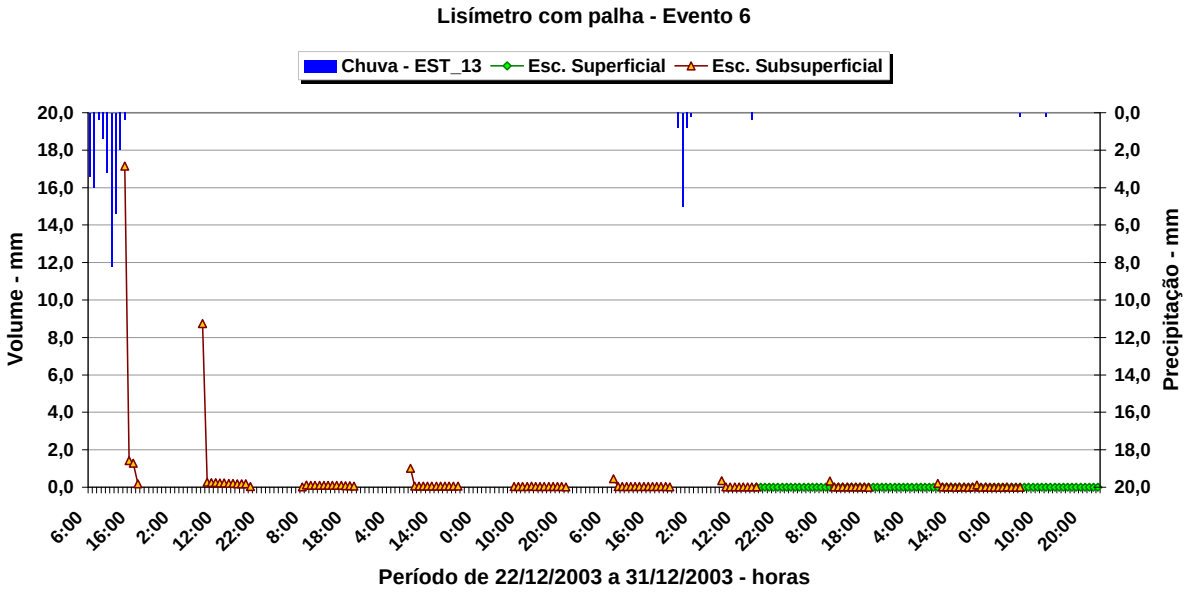

Figura A6- Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro com palha – Evento 6

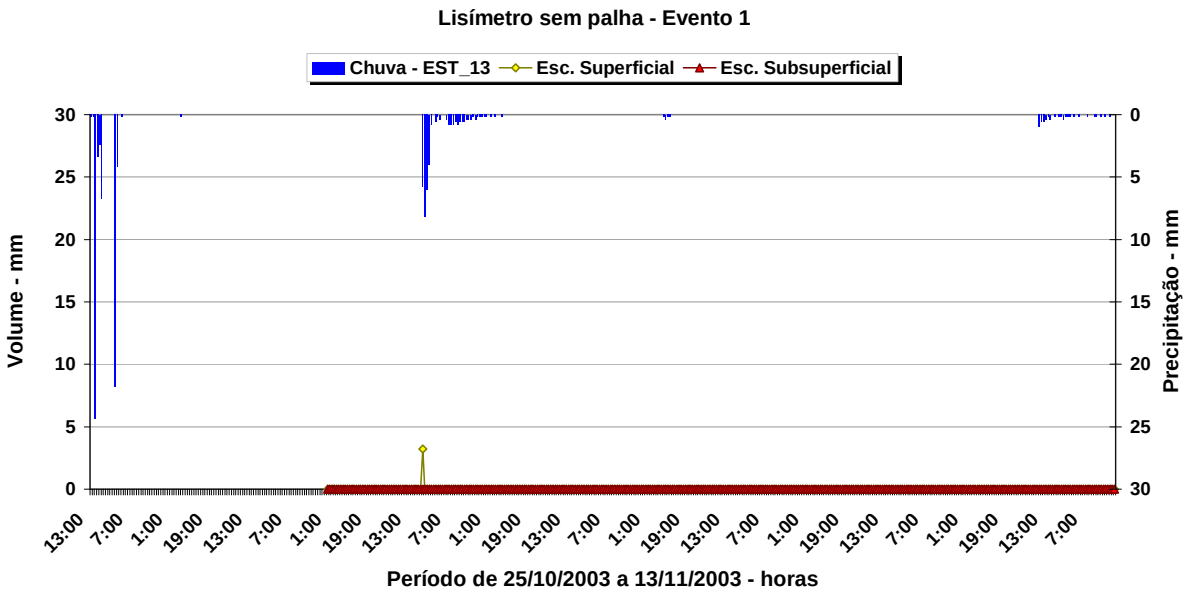

Figura A7- Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro sem palha – Evento 1

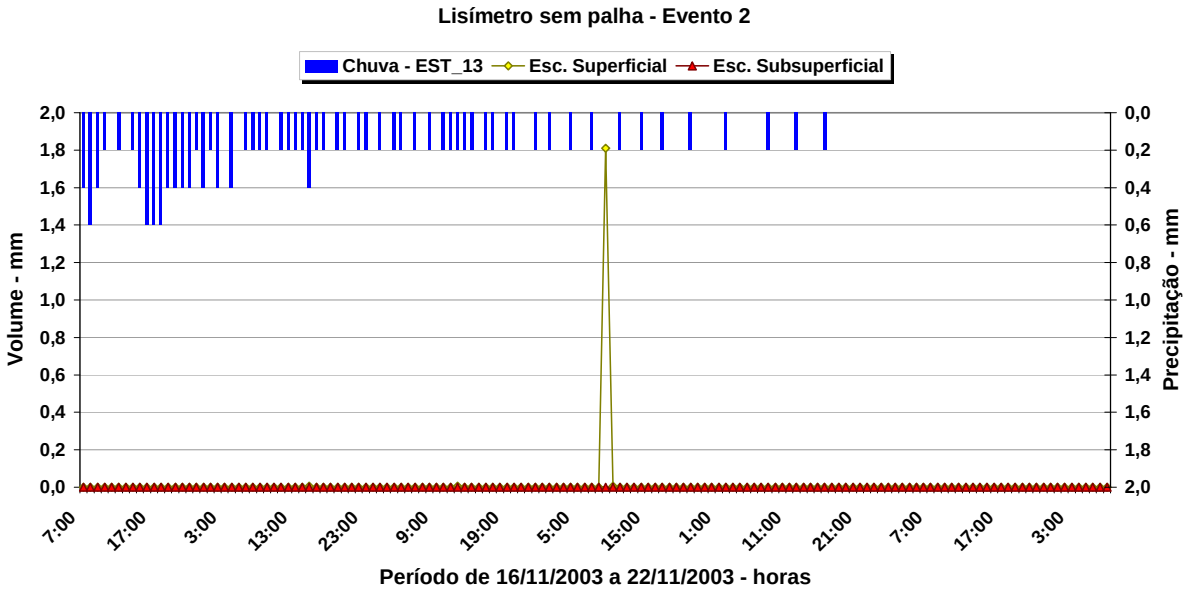

Figura A8- Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro sem palha – Evento 2

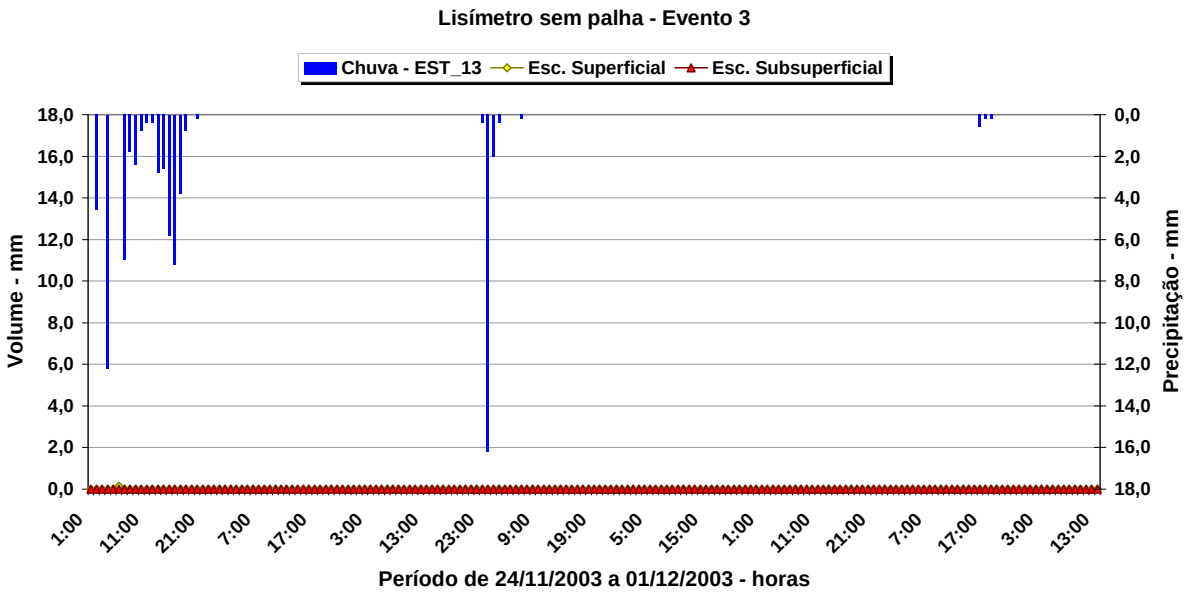

Figura A9- Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro sem palha – Evento 3

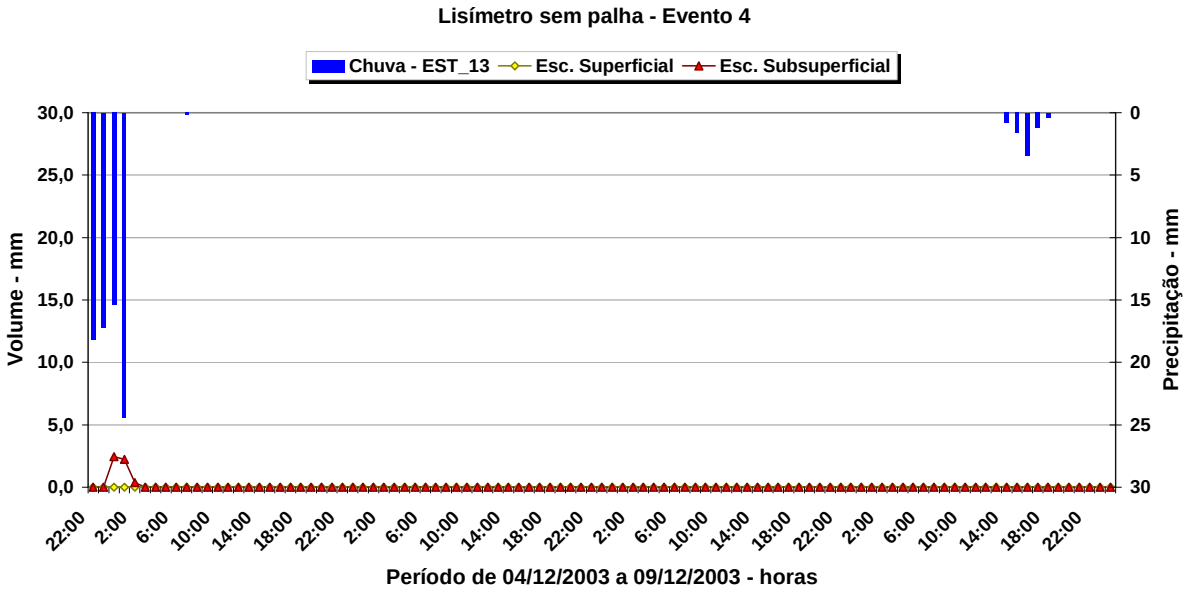

Figura A10- Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro sem palha – Evento 4

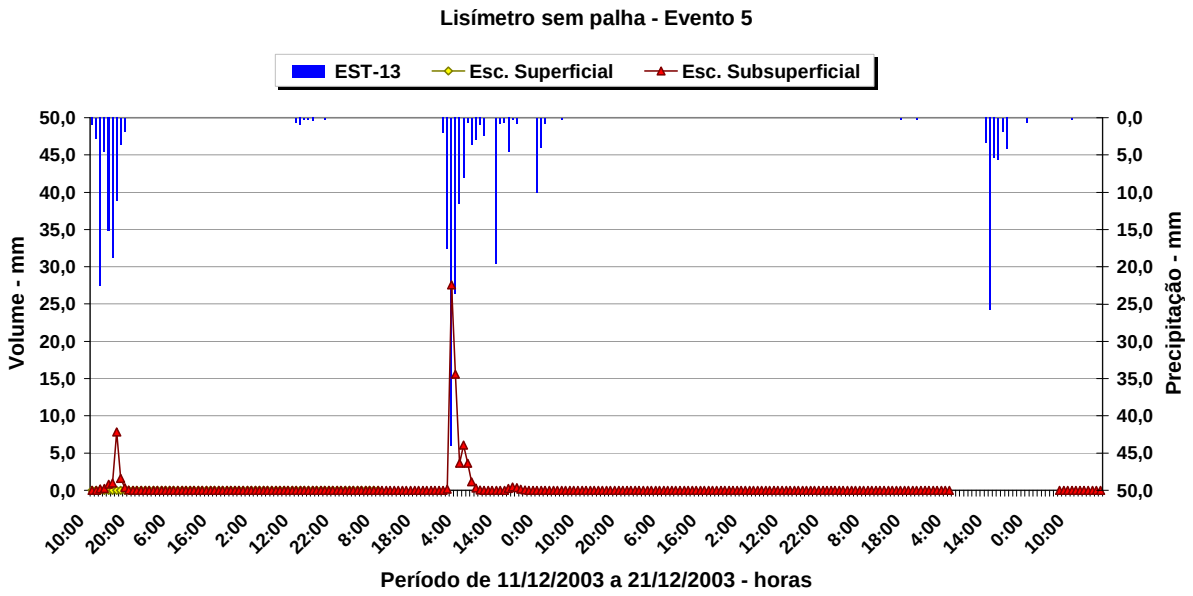

Figura A11- Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro sem palha – Evento 5

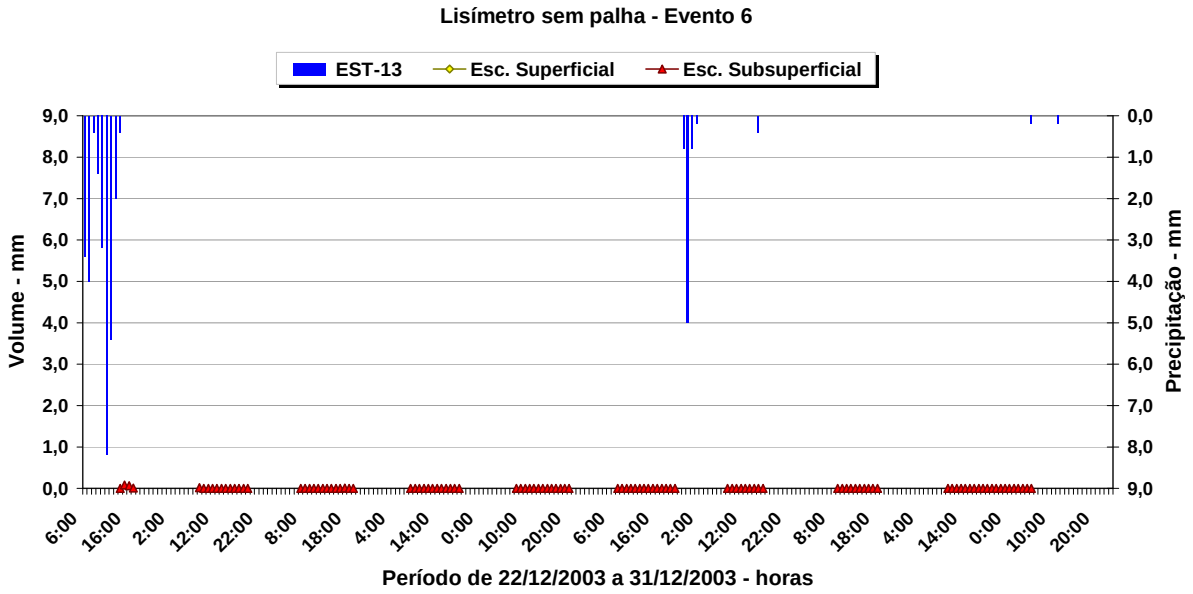

Figura A12- Escoamentos superficial e drenagem profunda, lisímetro sem palha – Evento 6

ANEXO II

Dados de evapotranspiração de cultura dos lisímetros, onde ocorreram valores de evapotranspiração negativas e acima da evapotranspiração máxima considerada.

Tabela A.1. Valores das variáveis do balanço hídrico onde ocorreram valores negativos de evapotranspiração de cultura para o lisímetro com palha, mm/dia

EVENTO	DATA	PVG	ES	DP	DA	ET
1	1/11/2003	9,8	0	20,31	19,0	-29,5
2	3/11/2003	0	0	1,75	-4,5	-0,5
3	7/11/2003	0	0	0,37	1,3	-1,7
4	15/11/2003	0	0	0	1,4	-1,4
5	17/11/2003	0	0	9,15	31,5	-4,5
6	19/11/2003	0	0	4,03	8,9	-12,9
7	25/11/2003	0	0	7,80	6,1	-13,9
8	27/11/2003	18,8	0	12,74	10,1	-4,1
9	5/12/2003	40	0,35	60,16	22,6	-43,1
10	6/12/2003	0	0,03	3,59	2,8	-6,4
11	10/12/2003	0	0,02	0,62	2,4	-3,1
12	12/12/2003	0	0,01	9,14	21,7	-30,9
13	13/12/2003	2,6	0,02	3,20	0	-0,6
14	15/12/2003	154		161,40	11,4	-10,3
15	16/12/2003	5		20,04	11,4	-26,4
16	18/12/2003	0		2,05	0	-2,1
17	22/12/2003	28,4		20,06	14,2	-10,5
18	23/12/2003	0		10,96	4,8	-15,7
19	30/12/2003	0	0	0,30	2,0	-2,3
20	31/1/2004	0	0	0	1,0	-1,0
21	4/2/2004	0,2	8,43	0	16,8	-25,0
22	5/2/2004	0	0	0	17,8	-17,8
23	26/2/2004	0	0	0	0,6	-0,6
24	2/3/2004	12,8	0	0	19,3	-1,3
25	3/3/2004	0	0	0	23,1	-23,1
26	5/3/2004	0	0	0	8,1	-8,1
27	11/3/2004	0	0	0	0,5	-0,5
28	12/3/2004	5,6	0	0	6,2	-0,6
29	13/3/2004	4,8	0	0	89,3	-84,5
30	24/3/2004	0	0	0	5,6	-0,6
31	26/3/2004	0	0	0	12,2	-6,1
32	12/4/2004	0	0	0	0,4	-0,2

Tabela A.2. Valores das variáveis do balanço hídrico onde ocorreram valores negativos de evapotranspiração de cultura para o lisímetro sem palha, mm/dia

EVENTO	DATA	PVG	ES	DP	DA	ET
1	3/11/2003	0	0,01	0	10,5	-4,9
2	4/11/2003	0	0,01	0	1,8	-1,8
3	6/11/2003	0	0,01	0	7,6	-7,6
4	14/11/2003	0,6	0	0	15,5	-14,9
5	19/11/2003	0	1,82	0	2,1	-3,9
6	26/11/2003	0,4	0	0	10,3	-9,9
7	28/11/2003	0	0,01	0	4,8	-4,8
8	2/12/2003	0	0,01	0	8,8	-8,8
9	6/12/2003	0	0,01	0,01	0,5	-0,5
10	10/12/2003	0	0	0	7,9	-7,9
11	12/12/2003	0	0,01	0	4,6	-4,6
12	13/12/2003	2,6	0	0	6,6	-4,0
13	26/12/2003	0		0	7,4	-3,7
14	2/1/2004	0		0	6,4	-3,2
15	8/1/2004	4,4		0	7,1	-2,7
16	13/1/2004	0		0	0,3	-0,3
17	15/1/2004	0		0	0,7	-0,7
18	27/1/2004	0		0	1,4	-1,4
19	28/1/2004	0	0,43	0	2,0	-2,4
20	31/1/2004	0	0	0	1,8	-1,8
21	6/2/2004	0		0	4,5	-2,2
22	7/2/2004	0		0	1,7	-1,7
23	3/3/2004	0	0	0	2,8	-2,8
24	4/3/2004	0	0	0	14,7	-14,7
25	9/3/2004	0	0	0	13,9	-13,9
26	11/3/2004	0	0	0	4,4	-2,2
27	13/3/2004	4,8	0	0	30,8	-26,0
28	29/3/2004	0		0	19,6	-6,5
29	5/4/2004	0		0	3,6	-1,8
30	6/4/2004	0		0	2,3	-2,3
31	7/4/2004	3		0	3,3	-0,3
32	8/4/2004	6,6		0	8,6	-2,0
33	15/4/2004	0,2		0	6,5	-0,3

Tabela A.3. Valores das variáveis do balanço hídrico onde ocorreram valores altos (acima de 7,7 mm/dia) de evapotranspiração de cultura para o lisímetro com palha, mm/dia

EVENTO	DATA	PVG	ES	DP	DA	ET
1	31/10/2003	24,8	0	2,32	-3,3	11,2
2	4/12/2003	35,4	0,35	10,05	-2,8	27,8
3	8/12/2003	7,4	0,02	1,17	-13,3	8,8
4	11/12/2003	81,6	0,01	62,62	-8,5	27,5
5	17/12/2003	0		3,92	-22,8	18,8
6	20/12/2003	46,8		0,23	-5,9	52,5
7	27/12/2003	5,8		0,93	-5,5	10,3
8	2/2/2004	6,2	0	0	-9,7	8,0
9	10/2/2004	0	0	0	-11,9	11,9
10	4/3/2004	0	0	0	-20,7	20,7
11	9/3/2004	0	0	0	-41,4	41,4
12	15/3/2004	0,2	0	0	-84,3	42,3
13	7/4/2004	3	0	0	-5,1	8,1
14	8/4/2004	6,6	0	0	-5,5	12,1

Tabela A.4. Valores das variáveis do balanço hídrico onde ocorreram valores altos (acima de 7,7 mm/dia) de evapotranspiração de cultura para o lisímetro sem palha, mm/dia

EVENTO	DATA	PVG	ES	DP	DA	ET
1	31/10/2003	24,8	3,26	0	-13,4	14,1
2	5/11/2003	1	0,01	0	-9,7	10,6
3	12/11/2003	4,6	0,01	0	-3,3	7,9
4	15/11/2003	0	0,01	0	-14,3	14,3
5	18/11/2003	25,4	0,01	0	-4,8	30,1
6	24/11/2003	52,8	0,16	0	1,3	25,6
7	27/11/2003	18,8	0,01	0	-4,8	23,6
8	3/12/2003	0	0,01	0	-8,2	8,2
9	4/12/2003	35,4	0	0	-5,0	40,4
10	5/12/2003	40	0,01	5,09	17,2	17,7
11	9/12/2003	0	0,01	0	-9,7	9,7
12	11/12/2003	81,6	0,01	12,22	-13,7	83,1
13	15/12/2003	154		59,46	20,9	36,6
14	19/12/2003	0,4		0	-15,2	15,6
15	20/12/2003	46,8		0	-5,6	52,4
16	22/12/2003	28,4		0,16	-0,3	14,4
17	27/12/2003	5,8		0	-2,8	8,6
18	3/1/2004	0		0	-9,3	9,3
19	12/3/2004	5,6	0	0	-18,3	23,9
20	16/3/2004	0	0	0	-13,7	13,7
21	2/4/2004	31,4		0	20,4	11,0
22	3/4/2004	0		0	-17,6	17,6
23	17/4/2004	17,2		0	-1,7	18,9