

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

**PROCESSOS HIDROLÓGICOS E BALANÇO HÍDRICO  
EM LISÍMETROS DE DRENAGEM EM CAMPO E  
MATA NATIVA**

**TESE DE DOUTORADO**

**Rafael Matias Feltrin**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2013**

**PPGEA/UFSM, RS**

**FELTRIN, Rafael Matias**

**Doutor**

**2013**

**PROCESSOS HIDROLÓGICOS E BALANÇO HÍDRICO EM  
LISÍMETROS DE DRENAGEM EM CAMPO E MATA  
NATIVA**

**Rafael Matias Feltrin**

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

**Orientador: Prof. Dr. João Batista Dias de Paiva**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2013**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo autor.

Feltrin, Rafael Matias

Processos hidrológicos e balanço hídrico em lisímetros de drenagem em campo e mata nativa / Rafael Matias Feltrin.- 2013.

116 f. ; 30cm

Orientador: João Batista Dias de Paiva

Coorientador: Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2013

1. Lisímetros 2. Armazenamento de água no solo 3. Tensiômetros 4. Evapotranspiração 5. Bioma mata atlântica  
I. Paiva, João Batista Dias de II. Paiva, Eloiza Maria Cauduro Dias de III. Título.

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

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

**PROCESSOS HIDROLÓGICOS E BALANÇO HÍDRICO EM  
LISÍMETROS DE DRENAGEM EM CAMPO E MATA NATIVA**

elaborado por  
**Rafael Matias Feltrin**

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

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**João Batista dias de Paiva, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Afrânio Almir Righes, Dr. (UNIFRA)**

---

**Nereu Augusto Streck, Dr. (UFSM)**

---

**Nilza Maria dos Reis Castro, Dr. (IPH/UFRGS)**

---

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

Santa Maria, 15 de outubro de 2013.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por todas as oportunidades e por ter chegado até aqui.

A meus pais, Valdir José Feltrin e Irene Catarina Feltrin pelos exemplos de vida a ser seguidos.

A minha noiva, Sabrina Fagundes Ferreira pelo seu amor, paciência, compreensão e companheirismo.

A Universidade Federal de Santa Maria por todos os ensinamentos proporcionados ao longo de minha carreira acadêmica.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola por ter me proporcionado a oportunidade de desenvolver este trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA/UFSM pelo acolhimento e incentivos financeiros.

Aos professores João Batista Dias de Paiva e Eloíza Maria Cauduro Dias de Paiva pelos ensinamentos, incentivo, amizade e confiança na realização de mais este trabalho.

Aos Colegas e funcionários do Grupo de pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – GHIDROS/UFSM, em especial ao colega Pedro Vanerci da Cunha Farias, que infelizmente nos deixou antes da hora.

Ao Sistema Irriga e Laboratório de Física do Solo pela realização das análises do solo.

Aos senhores Eriton Coelho do Amaral e Carlos Leite Maciel Filho por cederem suas propriedades para realização deste estudo.

A FINEP, CNPq e CAPES pelo auxílio financeiro através de bolsa de estudos concedida e do Projeto CLIMASUL – Estudo de Mudanças Climáticas na Região Sul do Brasil e Projeto de Cooperação Científica e Tecnológica com a Alemanha – Comparação da precisão dos diferentes tipos de lisímetros nas condições ambientais do Brasil e Alemanha, que proporcionou viagem de estudos e troca de experiências com pesquisadores internacionais.

Ao professor Ivanor Müller e a amiga Paula Kielse Vargas do Nascimento pela ajuda nas análises estatísticas.

Ao colega e professor Paulo Ivonir Gubiani pelo auxílio na interpretação das relações hídricas do solo.

*"Você me acha um homem lido, instruído?"*

*"Com certeza", respondeu Zi-gong. "Não é?"*

*"De jeito nenhum", replicou Confúcio. "Simplesmente consegui achar o fio da meada."*

*Confúcio*

## RESUMO

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

### **Processos hidrológicos e balanço hídrico em lisímetros de drenagem em campo e mata nativa**

AUTOR: RAFAEL MATIAS FELTRIN

ORIENTADOR: JOÃO BATISTA DIAS DE PAIVA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 15 de outubro de 2013.

A representação detalhada dos processos hidrológicos envolvidos no balanço hídrico do solo e o pouco conhecimento sobre a influência das florestas tropicais tem adquirido grande importância para uma gestão eficiente dos recursos hídricos e melhor compreensão do ciclo hidrológico. Para tanto, se faz necessário a utilização de técnicas que permitam o monitoramento e a representação das variáveis envolvidas, de forma mais próxima possível, ao ambiente natural. Neste contexto, este trabalho teve como objetivo, investigar a dinâmica dos processos hidrológicos do solo e a determinação da escala temporal mais adequada para a determinação do balanço hídrico, utilizando lisímetros de drenagem, contendo em seu interior solo com estrutura não deformada, instalados em área de campo nativo e em área de mata nativa, representativa do bioma mata atlântica. O monitoramento das variáveis precipitação, escoamento superficial e drenagem foi realizado por meio de pluviógrafos eletrônicos e o conteúdo de água no solo foi monitorado por tensiômetros eletrônicos instalados nas profundidades de 10, 30 e 70 cm, no interior dos lisímetros. Os resultados demonstram que devido a interceptação da radiação solar, a vegetação de mata nativa proporciona a formação de um microclima interno diferenciado em relação ao ambiente externo de campo nativo, resultando em um menor aporte de energia e exercendo influências significativas sobre os processos hidrológicos envolvidos no balanço hídrico. Esta diferença nas condições climáticas aliadas as características do solo, permite que o lisímetro instalado na mata nativa apresente maior capacidade de armazenamento de água, sendo observados maiores conteúdos de água no solo, em todas as profundidades, quando comparado a condição de campo nativo. Em consequência, o lisímetro instalado na mata nativa mantém os fluxos subterrâneos de drenagem por mais tempo que o lisímetro instalado no campo nativo, sendo o processo de drenagem influenciado pela época do ano e conteúdo antecedente de água no solo. Quanto ao escoamento superficial, observa-se que os volumes escoados, por evento, são maiores no campo nativo do que na mata nativa. O cálculo do balanço hídrico com base nos dados monitorados nos lisímetros demonstra que a evapotranspiração real média diária foi 36,93% superior no lisímetro do campo nativo quando comparado ao lisímetro instalado no interior da mata nativa, havendo diferença significativa entre os dois ambientes. Os lisímetros utilizados neste estudo bem como, as metodologias adotadas para o monitoramento das variáveis hidrológicas envolvidas no balanço hídrico, não apresentaram resultados satisfatórios para a determinação da evapotranspiração em períodos diários já que não são capazes de representar as defasagens observadas na velocidade com que os diferentes processos ocorrem no interior do perfil do solo. A escala temporal por eventos mostrou ser a mais adequada na determinação do balanço hídrico em relação ao período diário e decêndial.

**Palavras-chave:** Armazenamento de água no solo. Lisímetros. Tensiômetros. Evapotranspiração. Bioma mata atlântica.



## ABSTRACT

Doctoral Thesis  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola  
Universidade Federal de Santa Maria

### **Hydrological processes and water balance in drainage lysimeters in native field and native forest**

AUTHOR: RAFAEL MATIAS FELTRIN  
ADVISER: JOÃO BATISTA DIAS DE PAIVA  
Defense Place and Date: Santa Maria, October 15<sup>th</sup>, 2013.

The detailed representation of hydrological processes involved in soil water balance and the little knowledge about the influences of tropical forests has acquired great importance for the efficient management of water resources and a better understanding of the hydrological cycle. Therefore, is necessary to use of techniques that allow monitoring and the representation of involved variables, represent in a possible closer way the natural environment. This work aimed to investigate the dynamics of soil hydrological processes and the determination of the most adequate time scale for determining the water balance, utilizing drainage lysimeters containing undisturbed soil, installed in native grassland compared with the native forest, representative of the Atlantic Forest biome under the climatic conditions of the southern Brazil. The monitoring of the variables rainfall, runoff and drainage was performed through electronic rain gauges and the soil water content was monitored by electronic tensiometers installed at different depths of 10, 30 and 70 cm inside the lysimeters. The results showed that due to interception of solar radiation, the native forest provides the formation of an internal microclimate differentiated in relation to the external environment of native grassland, resulting in a lower input energy and exerting significant influences on the processes involved in the water balance. This difference in climatic conditions combined with soil characteristics, allows the lysimeter installed in native forest presents highest soil water storage capacity of water, being observed higher water contents in the soil, at all depths, compared the condition of native grassland. Consequently, the lysimeter installed in the native forest maintains the drainage flows for longer time than the lysimeter installed in the native field, being the drainage process influenced by the season and the antecedent soil moisture. Regarding the runoff, it is observed that the volumes per event are greater in native grassland than in native forest. The water balance calculation based on data monitored in the lysimeters shows that average daily actual evapotranspiration was 36.93% higher than in the native grassland lysimeter compared to lysimeter installed inside the native forest, having significant difference between the two environments. The lysimeters used in this study as well as the methodologies adopted for monitoring hydrological variables involved in water balance, did not show satisfactory results for the determination of evapotranspiration in daily periods since they are not able to represent the observed lags in speed that different processes occur in the interior of the soil profile. The timescale for events showed to be the most appropriate in determining the water balance in relation to the daily period and decennial period.

**Key words:** Soil water storage. Lysimeters. Tensiometers. Evapotranspiration. Atlantic Forest biome.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo e locais de instalação dos lisímetros. ... 33
- Figura 2 – Lisímetros de drenagem: a. Base inferior; b. Corpo cilíndrico que forma as paredes do lisímetro..... 34
- Figura 3 – Representação esquemática dos lisímetros utilizados e suas respectivas dimensões: a. Partes constituintes dos lisímetros; b. estrutura utilizada para corte do solo e de elevação dos lisímetros. .... 34
- Figura 4 – Etapas de instalação do lisímetro de drenagem na área de campo nativo: a. posicionamento no local escolhido; b. abertura da trincheira; c. montagem da estrutura para elevação do lisímetro; d. introdução das lâminas e corte do solo; e. elevação do lisímetro; f. instalação da base do lisímetro; g, h, i. confecção do sistema de drenagem; j. colocação do lisímetro sobre a sua base; k. lisímetro com tensiômetros eletrônicos já instalados; l. pluviógrafos utilizados para monitoramento do escoamento superficial e drenagem resultantes. .... 36
- Figura 5 – Etapas de instalação do lisímetro de drenagem na área de mata nativa: a. escolha do local de instalação; b. abertura da trincheira; c. introdução das lâminas e corte do solo; d. montagem da estrutura para elevação do lisímetro; e. lisímetro sendo suspenso; f, g, h, i. confecção do filtro; j. retirada das lamínas com macaco hidráulico; h. união das partes que compõe o lisímetro; l. lisímetro já instalado, com tensiômetros instalados e vegetação interna original inalterada. .... 38
- Figura 6 – Perfis do solo das áreas de campo nativo (a) e mata nativa (b) onde foram coletadas as amostras de solo..... 40
- Figura 7 – Pluviógrafos de báscula utilizados no monitoramento da precipitação, escoamento superficial e drenagem nos lisímetros. .... 42
- Figura 8 – Pluviógrafo de balança utilizado no monitoramento da precipitação externamente a mata nativa. .... 42
- Figura 9 – Estação meteorológica instalada na área de campo nativo, com respectivos sensores de precipitação, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar..... 44
- Figura 10 – Pluviógrafo com respectivos sensores para monitoramento da radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar no interior da mata nativa. .... 44
- Figura 11 – Distribuição mensal da precipitação pluviométrica registrada na área de campo nativo, mata nativa e normais climatológicas (1961-1990) para a região de Santa Maria/RS. .... 46
- Figura 12 – Boxplot para os valores médios mensais de precipitação pluviométrica registrada na área de campo nativo e mata nativa (teste “t” de Student ao nível de significância de 5%)...... 47
- Figura 13 – Volumes mensais da precipitação incidente acima do dossel, precipitação interna e interceptação pela vegetação para a área de mata nativa. .... 49

Figura 14 – Volumes mensais acumulados da precipitação incidente acima do dossel, precipitação interna e interceptação pela vegetação para a área de mata nativa. ...	49
Figura 15 – Radiação solar média mensal registrada no campo nativo e no interior da mata nativa.....	51
Figura 16 – Temperaturas médias mensais registradas no campo nativo e no interior da mata nativa.....	51
Figura 17 – Boxplot para os valores médios mensais de temperatura registrada no campo nativo e no interior da mata nativa (teste “t” de Student ao nível de significância de 5%).....	52
Figura 18 – Evapotranspiração potencial média mensal calculada para a área de campo nativo e no interior da mata nativa. ....	53
Figura 19 – Boxplot para os valores médios mensais de evapotranspiração potencial calculada para a área de campo nativo e no interior da mata nativa (teste “t” de Student ao nível de significância de 5%).....	53
Figura 20 – Valores médios da fração areia para o solo da área de mata nativa e campo nativo em função da profundidade. ....	54
Figura 21 – Porcentagem média de areia fina, areia grossa, silte e argila dos solos da área de mata nativa e campo nativo. ....	55
Figura 22 – Valores médios das frações argila e silte para o solo da área de mata nativa e campo nativo em função da profundidade.....	55
Figura 23 – Variação da macro e microporosidade para o solo da área de mata nativa e campo nativo em função da profundidade. ....	56
Figura 24 – Variação da porosidade total para o solo da área de mata nativa e campo nativo em função da profundidade. ....	57
Figura 25 – Curvas de retenção de água no solo para as diferentes profundidades, ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980) (Campo Nativo).....	59
Figura 26 – Curvas de retenção de água no solo para as diferentes profundidades, ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980) (Mata Nativa). ....	59
Figura 27 – Perfis de umidade do solo para os pontos teóricos de capacidade de campo adotados, para o solo de mata nativa e campo nativo.....	60
Figura 28 – Conteúdo de água disponível no solo em função dos pontos teóricos de capacidade de campo adotados, para o solo de mata nativa e campo nativo.....	60
Figura 29 – Variação diária da tensão de água no solo registrada pelos tensiômetros para as profundidades de 10, 30 e 70 cm no lisímetro instalado em área de campo nativo. ....	63
Figura 30 – Variação diária da tensão de água no solo registrada pelos tensiômetros para as profundidades de 10, 30 e 70 cm no lisímetro instalado em área de mata nativa. ....	64
Figura 31 – Variação diária do conteúdo de água no solo para as profundidades de 10, 30 e 70 cm no lisímetro instalado em campo nativo. ....	66
Figura 32 – Variação diária do conteúdo de água no solo para as profundidades de 10, 30 e 70 cm no lisímetro instalado em mata nativa. ....	67

Figura 33 – Variação diária do armazenamento total de água no solo para o volume total de solo contido nos lisímetros.....	69
Figura 34 – Variação mensal do armazenamento de água no solo para o volume total de solo contido nos lisímetros instalados no campo nativo e na mata nativa.....	70
Figura 35 – Variação mensal do armazenamento de água no solo para o volume de solo compreendido entre as profundidades de 0-20 cm, 20-50 cm e 50-100 cm no lisímetro instalado no campo nativo. ....	71
Figura 36 – Variação mensal do armazenamento de água no solo para o volume de solo compreendido entre as profundidades de 0-20 cm, 20-50 cm e 50-100 cm no lisímetro instalado na mata nativa.....	71
Figura 37 – Boxplot para os valores mensais de variação do armazenamento de água no solo (mm) entre campo nativo e mata nativa em diferentes profundidades (teste “t” de Student ao nível de significância de 5%). ....	72
Figura 38 – Escoamento superficial acumulado no lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa. ....	74
Figura 39 – Drenagem acumulada nos lisímetros instalados no campo nativo e na mata nativa. ....	77
Figura 40 – Valores médios de drenagem diária (mm) registrados no lisímetro instalado no campo nativo e mata nativa (teste “t” de Student ao nível de significância de 5%). ....	78
Figura 41 – Evapotranspiração diária obtida pela aplicação da equação do balanço hídrico para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa. ....	80
Figura 42 – Evapotranspiração diária obtida pela aplicação da equação do balanço hídrico para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa. ....	82
Figura 43 – Evapotranspiração real acumulada por eventos para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa. ....	83
Figura 44 – Boxplot para os valores médios de evapotranspiração real, por eventos, para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa (teste “t” de Student ao nível de significância de 5%). ....	84
Figura 45 – Componentes do balanço hídrico acumulados por eventos para o lisímetro instalado no campo nativo.....	85
Figura 46 – Componentes do balanço hídrico acumulados por eventos para o lisímetro instalado na mata nativa. ....	86

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Distribuição mensal da precipitação pluviométrica registrada na área de campo nativo, mata nativa e Normais Climatológicas (1961-1990) para a região de Santa Maria/RS.....	46
Tabela 2 – Distribuição mensal da precipitação pluviométrica incidente acima do dossel, precipitação interna e interceptação pela vegetação para a área de mata nativa. ..	48
Tabela 3 – Parâmetros hídricos do solo ajustados pelo modelo de Genuchten (1980), utilizando-se o software SWRC.....	58
Tabela 4 – Comparação das médias de tensão de água no solo (kPa) em diferentes profundidades para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa. ....	62
Tabela 5 – Comparação das médias do conteúdo de água no solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) em diferentes profundidades para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa. ....	65
Tabela 6 – Comparação das médias do armazenamento total de água no solo (mm) entre o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa.....	68

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Propriedades físicas do solo da mata nativa e do campo nativo, para as diferentes profundidades amostradas. ....	104
Apêndice B – Variação diária da de tensão de água no solo na profundidade de 10 cm no lisímetro em campo nativo e mata nativa. ....	104
Apêndice C – Variação diária da de tensão de água no solo na profundidade de 30 cm no lisímetro em campo nativo e mata nativa. ....	104
Apêndice D – Variação diária da de tensão de água no solo na profundidade de 70 cm no lisímetro em campo nativo e mata nativa. ....	104
Apêndice E – Variação diária do conteúdo de água no solo para a profundidade de 10 cm nos lisímetros em campo nativo e mata nativa. ....	104
Apêndice F – Variação diária do conteúdo de água no solo para a profundidade de 30 cm nos lisímetros em campo nativo e mata nativa. ....	104
Apêndice G – Variação diária do conteúdo de água no solo para a profundidade de 70 cm nos lisímetros em campo nativo e mata nativa. ....	104
Apêndice H – Escoamento superficial e drenagem observada para o lisímetro instalado no campo nativo (Evento do dia 29 de maio de 2012). ....	104
Apêndice I – Escoamento superficial e drenagem observada para o lisímetro instalado na mata nativa (Evento do dia 29 de maio de 2012). ....	104
Apêndice J – Componentes do balanço hídrico para os 27 eventos registrados no lisímetro instalado no campo nativo. ....	104
Apêndice K – Componentes do balanço hídrico para os 27 eventos registrados no lisímetro instalado na mata nativa. ....	104

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	14
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVOS</b>	16
1.1.1	Objetivo Geral	16
1.1.2	Objetivos Específicos	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b>	17
<b>2.1</b>	<b>Lisímetros de drenagem - Estado da arte e aspectos construtivos</b>	17
<b>2.2</b>	<b>O papel das florestas na manutenção do ciclo hidrológico</b>	23
<b>2.3</b>	<b>Considerações sobre a determinação dos componentes do balanço hídrico</b>	26
<b>2.4</b>	<b>Escala hidrológicas e variação espaço-temporal dos processos hidrológicos em solos</b>	28
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	32
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo</b>	32
<b>3.2</b>	<b>Construção e instalação dos lisímetros de drenagem</b>	33
3.2.1	Aspectos construtivos dos lisímetros	33
3.2.2	Instalação dos lisímetros	35
<b>3.3</b>	<b>Monitoramento das variáveis hidrológicas envolvidos no balanço hídrico do solo</b>	39
3.3.1	Monitoramento do Conteúdo de Água no Solo	39
3.3.2	Monitoramento da precipitação, drenagem e escoamento superficial	41
3.3.3	Monitoramento das variáveis meteorológicas e balanço hídrico do solo	43
<b>3.4</b>	<b>Balanço hídrico do solo</b>	43
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	45
<b>4.1</b>	<b>Variáveis meteorológicas</b>	45
4.1.1	Precipitação	45
4.1.2	Radiação solar e temperatura do ar	50
4.1.3	Evapotranspiração potencial	52
<b>4.2</b>	<b>Caracterização físico-hídrica do solo</b>	54
<b>4.3</b>	<b>Armazenamento de água no solo</b>	61
<b>4.4</b>	<b>Escoamento superficial e drenagem</b>	73
<b>4.5</b>	<b>Evapotranspiração e balanço hídrico em diferentes escalas temporais</b>	78
4.5.1	Escala diária	78
4.5.2	Escala decenal	81
4.5.3	Escala por eventos	82
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	87
<b>6</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b>	88
	<b>REFERÊNCIAS</b>	90
	<b>APÊNDICES</b>	103

# 1 INTRODUÇÃO

A escassez de água potável e a degradação dos recursos naturais é um problema que tem gerado grande preocupação e tem merecido atenção especial por parte de vários cientistas e governantes mundiais. Neste contexto, o conhecimento dos diversos mecanismos do ciclo hidrológico global e regional está emergindo como um dos temas de grande interesse da hidrologia. O Brasil, por ser um país com grandes potenciais e possibilidades de expansão agrícola, bem como detentor de ecossistemas únicos, os quais se encontram ameaçados pela ação antrópica não planejada, tem destinado cada vez mais recursos para pesquisas e para a qualificação de recursos humanos nesta área nos últimos anos.

No entanto, ainda observa-se uma grande carência de dados devido a falta de monitoramento e de instrumentos e metodologias técnica e economicamente adequadas à realidade nacional. Pereira et al. (1997) enfatizam que a obtenção de informações hidrológicas corretas, por meio de observações hidrometeorológicas de longo período, requer investimentos na instalação e operação de estações de coleta de dados, além do treinamento permanente de recursos humanos. Tucci (2002) afirma que no caso do Brasil o conhecimento do comportamento ecohidrológico dos biomas nacionais ainda é muito reduzido devido à falta de monitoramento. Conseqüentemente, a falta de dados tem atrasado a análise e a solução de muitos problemas climáticos e hidrológicos. Por tais motivos, é importante estudar e conhecer o comportamento dos fatores envolvidos no ciclo hidrológico e no balanço hídrico regional.

O conhecimento da quantidade de água armazenada no solo, disponível para as raízes das plantas, bem como o conhecimento dos processos de infiltração, drenagem, escoamento superficial e evapotranspiração constitui-se em um dos principais fatores para o estudo da resposta da vegetação em condições de estresse hídrico. Portanto, o planejamento adequado dos recursos hídricos somente é possível a partir do conhecimento dos valores quantitativos destes componentes, tendo em vista sua distribuição nas escalas temporal e espacial. Porém, é preciso que esta quantificação seja feita da forma correta. Brutsaert (2005) chama a atenção para o fato de que apesar de numerosos estudos terem sido realizados para estimar a magnitude dos componentes mais importantes das equações do balanço hídrico em escala global, a base de dados disponíveis necessários para esse fim ainda está longe de ser adequada e vários dos métodos utilizados nestas estimativas podem ser sujeitos a severas críticas.



Dentro deste contexto, a região onde este estudo foi desenvolvido apresenta grande importância local, já que compreende as nascentes do Rio Vacacaí-Mirim e áreas de captação de água para a barragem do DNOS/CORSAN, responsável por parte do abastecimento público de água tratada da cidade de Santa Maria. A região faz parte do sistema Aquífero Guarani e está incluída no bioma mata Atlântica, sendo a mata nativa o principal tipo de cobertura vegetal das áreas montanhosas. Porém, nos últimos anos, o desmatamento tem se intensificado na região, devido ao avanço da urbanização e ao aumento nas atividades agrícolas, de pecuária e silvicultura. Goldani (2006) analisou o uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do Rio Vacacaí-Mirim entre os anos de 1995 e 2003, demonstrando que neste período houve uma diminuição de 4,28% nas áreas de florestas arbóreas e de 1,3% nas áreas de florestas arbustivas. Neste período houve um aumento de 2,51% nas áreas urbanas, 1,49% nas áreas agrícolas e 0,98% nas áreas de campo nativo. Conforme o autor, graves problemas relativos a poluição dos recursos hídricos também tem sido observados devido a falta de coleta de esgoto, sendo 25% do total produzido, lançado a céu aberto.

Na região, observa-se uma expressiva quantidade de pesquisas científicas relacionadas com a produção de sedimentos e modelagem hidrológica (BRANCO, 1998; DILL, 2002; BELLINASSO, 2002; PARANHOS, 2003; DIAS, 2003; MARINS, 2004; CASAGRANDE, 2004; BELLÓ, 2004; PEREIRA, 2010, GRUTKA, 2013) e a parâmetros de qualidade da água (OPPA, 2007; BURIN, 2011; SOUZA, 2012). Mais recentemente, tem sido realizados estudos relativos a ocupação do solo e zoneamento ambiental (KONRAD, 2005; GOLDADI, 2006; NASCIMENTO, 2012), a caracterização pedológica (MIGUEL, 2010; SAMUEL-ROSA, 2012), águas subterrâneas (FARIAS, 2011) e interceptação florestal das chuvas (SARI, 2011). No entanto, estudos referentes ao monitoramento direto dos componentes do balanço hídrico são raros, havendo o relato apenas do trabalho realizado por Feltrin (2009), utilizando lisímetros de drenagem para monitoramento do balanço hídrico em área de campo nativo.

Apesar da importância da floresta para a manutenção do ambiente, existem poucos estudos sobre suas reais contribuições para o balanço hídrico. Conforme Kramer e Holscher (2009) estudos sobre a influência da biodiversidade na dinâmica da água no solo tem sido realizados principalmente em pastagens, enquanto que pouca atenção tem sido dada às florestas. Frente a escassez de água potável e a degradação dos recursos naturais pela ação antrópica não planejada, é de fundamental importância o conhecimento da influência dos diferentes ecossistemas sobre o ciclo hidrológico. No entanto, observa-se uma grande carência de dados hidrológicos referentes a dinâmica dos processos hidrológicos e balanço hídrico em

diferentes ambientes. Desta maneira, tendo em vista a tendência crescente da intensificação dos usos da água e do solo com conseqüente conversão de áreas florestadas em campo nativo ou agricultura, o presente trabalho busca suprir esta carência de dados, aplicando técnicas lisimétricas no monitoramento direto dos diversos componentes do balanço hídrico, sob condições ambientais de campo nativo e mata nativa, sob as condições climáticas do bioma mata atlântica.

Neste contexto, surge o seguinte problema a ser respondido:

Qual a escala temporal mais adequada para o monitoramento dos componentes do balanço hídrico em lisímetros de drenagem e qual a contribuição da mata nativa para a manutenção dos fluxos subterrâneos no solo e no sistema solo-planta-atmosfera?

## **1.1 Objetivos**

### 1.1.1 Objetivo Geral

Investigar a dinâmica dos processos hidrológicos do solo, por meio de lisímetros de drenagem instalados em área de campo nativo e de mata nativa, sob as condições climáticas do bioma mata atlântica.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar a variabilidade dos dados hidrológicos coletados nos lisímetros, em condições de campo nativo e mata.
- Identificar a escala temporal adequada para os estudos com lisímetros de drenagem.
- Identificar efeitos da sazonalidade sobre o comportamento dos processos hidrológicos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Lisímetros de drenagem - Estado da arte e aspectos construtivos

A utilização de lisímetros em diversos tipos de estudos é uma técnica bem difundida em países desenvolvidos. Os primeiros trabalhos utilizando lisímetros iniciaram-se por volta de 1900, principalmente na Alemanha em 1906 e nos Estados Unidos em 1923. Lanthaler (2004) realizou um levantamento sobre o número de lisímetros instalados na Europa até 2004. Neste período, 117 instituições operavam 2930 lisímetros em 18 países. Deste total, 21% estavam localizados em área de campo nativo e apenas 1% em áreas de floresta. Na Alemanha, país que domina esta tecnologia, dos 1260 lisímetros existentes, apenas 15 encontravam-se implantados no interior de florestas. Devido à sua raridade, Harsch et al. (2009) comentam que dados gerados a partir de medidas lisimétricas em florestas são particularmente valiosos.

Conforme Meissner et al. (2010), observa-se um aumento gradual de publicações utilizando lisímetros para uma variedade de aplicações hidrológicas. Segundo os autores, no ano de 2010 um total de 1747 artigos já haviam sido indexados no ISI Web of Science iniciando com apenas 32 em 1991. No entanto, no Brasil, devido aos altos custos de aquisição e instalação, poucos são os trabalhos realizados com lisímetros, sendo os primeiros relatos do uso de lisímetros da década de 1950, destacando-se o trabalho de Camargo (1962) que utilizou lisímetros de drenagem para determinação da evapotranspiração potencial do Estado de São Paulo.

Tradicionalmente, os trabalhos de maior destaque com lisímetros realizados no Brasil tem sido realizados pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), situada em Piracicaba, São Paulo, podendo-se citar inúmeros estudos como os realizados por Santiago (2001) que utilizou um lisímetro de pesagem para o estudo do desempenho do modelo de Penman-Monteith na estimativa da evapotranspiração de referência, Campeche (2002) que utilizou lisímetros de pesagem para o monitoramento do consumo de água em um pomar de lima ácida 'Tahiti' (*Citrus lalifoia* Tan.) e Silva et al. (2005) que compararam a evapotranspiração do capim Tanzânia estimada pelo método de razão de Bowen com a

medida por lisímetro de pesagem. Alguns trabalhos têm sido realizados em outros locais, considerando diferentes condições ambientais, culturas de interesse e aplicações. Carvalho et al. (2005) construíram e avaliaram a sensibilidade de um lisímetro de pesagem com célula de carga cultivado com grama-batatais, instalado em Seropédica, Rio de Janeiro, a fim de determinar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Faria et al. (2006) apresentam detalhes da construção de uma bateria de dez lisímetros de pesagem em Londrina, Paraná. Santos et al. (2008) avaliaram o desempenho de um lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo, visando à determinação direta da evapotranspiração de referência, em área no Semi-Árido nordestino. Oliveira et al. (2008) utilizaram um lisímetro de pesagem na determinação da evapotranspiração de referência na bacia experimental do riacho Gameleira, região do agreste do estado de Pernambuco. Campeche et al. (2011) e Souza et al. (2011) construíram, calibraram e determinaram a evapotranspiração e o coeficiente de cultura na fase de crescimento do coqueiro anão-verde (*Cocos nucifera* L.), utilizando um lisímetro de pesagem de grande porte, com área de 5,72 m<sup>2</sup> e massa total de 10,5 toneladas no estado de Sergipe.

Conforme Payero e Irmak (2008), de acordo com a forma como o solo é coletado, os lisímetros podem ser classificados como monolíticos, reconstituídos, ou uma combinação de ambos. Em lisímetros monolíticos, o solo do lisímetro possui estrutura não deformada enquanto que nos lisímetros reconstituídos o solo tem sua estrutura original perturbada. O autor comenta que lisímetros monolíticos, podem apresentar um custo significativamente elevado, já que exigem técnicas, mão de obra e equipamentos especializados para extração do monólito. Meissner, et al. (2004) afirmam que embora a técnica de instalação e enchimento deste tipo de lisímetro apresente maiores dificuldades, a vantagem da utilização desta metodologia é a preservação das características físicas do solo, garantindo que as condições de fluxo e transporte sejam as mais próximas possíveis das condições naturais de campo. No Brasil, ao contrário do que se verifica internacionalmente, o número de publicações encontrados na literatura indica que a maioria dos trabalhos com lisímetros utilizam amostras deformadas de solo, interferindo sobre a estrutura física original do solo. Mais recentemente, tem sido desenvolvida uma série de trabalhos no sul do Brasil, utilizando lisímetros de drenagem contendo em seu interior solo com estrutura não deformada, com o objetivo de monitorar o balanço hídrico, concentração de sedimentos e lixiviação de nutrientes, em diferentes condições de uso e manejo do solo. Oliveira et al. (2010), conduziram um estudo na bacia do arroio Donato, localizada na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, utilizando dois lisímetros de drenagem instalados em área de plantio direto cultivado com

soja, para avaliar a influência da cobertura da palha no comportamento de variáveis hidrológicas através do balanço hídrico. Pinheiro et al. (2010), utilizando o mesmo tipo de equipamento, avaliaram os fluxos de água em um lisímetro cultivado com milho, na bacia do ribeirão Concórdia, Santa Catarina. Feltrin et al. (2011) utilizaram um lisímetro de drenagem instalado em área de campo nativo para monitorar e quantificar o comportamento das variáveis hidrológicas envolvidas no balanço hídrico em uma pequena bacia hidrográfica experimental em Santa Maria, Rio Grande do Sul. Kaufmann et al. (2012), em um estudo de chuva simulada, utilizaram lisímetros de drenagem com o objetivo de quantificar os escoamentos superficiais e a drenagem de água no solo, em função do manejo agrícola do solo, para diferentes intensidades de precipitação, no município de Pejuçara, Rio Grande do Sul. Além do monitoramento do balanço hídrico, estudos com diferentes finalidades têm sido conduzidos com os referidos equipamentos. Depiné et al. (2011) e Alésio et al. (2012) utilizaram estes mesmos lisímetros para a quantificação do transporte de sedimentos em áreas agrícolas e de campo nativo. Pinheiro et al. (2013) utilizaram lisímetros de drenagem na determinação de concentrações de nitrato e de fósforo, na água de escoamento superficial e de drenagem na bacia do Ribeirão Concórdia, Santa Catarina.

Estudos com lisímetros permitem o controle das variáveis de entrada, de saída e de estado, fundamentais em estudos hidrológicos que envolvem escoamento superficial e sub-superficial, assim como o transporte e a dispersão de elementos físicos, químicos e biológicos. Meissner et al. (2010) afirmam que a utilização de lisímetros tem importância significativa em vários campos como a gestão das explorações agrícolas, incluindo a meteorologia, agronomia, agricultura, ecossistemas e ambiente, geoquímica aplicada, poluição ambiental, radioatividade do ambiente, ecologia e manejo florestal, meteorologia florestal, hidrologia, uso e manejo do solo, biologia do solo, manejo de resíduos bioquímicos e gestão da qualidade da água.

Aboukhaled et al. (1982) e Allen et al. (1991) apresentam trabalhos clássicos com extensa revisão sobre diversos tipos de lisímetros. Allen et al. (2011) destacam que a precisão das medições com lisímetros depende dos seus aspectos construtivos, como sua área, forma e seu tipo de funcionamento (pesagem ou drenagem). No caso dos lisímetros de pesagem, a determinação da evapotranspiração é feita pela variação da massa de um volume de solo vegetado e confinado por paredes impermeáveis, durante um intervalo de tempo considerado. Já os lisímetros de drenagem ou volumétricos, por serem mais baratos, possibilitam que mais locais possam ser monitorados com a mesma quantidade de recursos financeiros e humanos, mas funcionam adequadamente apenas em períodos longos de observação (7 a 10 dias). Os

lisímetros de drenagem podem ser utilizados tanto em estudos de transporte de substâncias percoladas e solutos como na determinação da evapotranspiração. Neste caso a evapotranspiração é obtida a partir da medição de todos os outros componentes do balanço hídrico do solo, incluindo entradas de água (chuva e irrigação), saídas (drenagem e escoamento) e mudanças no armazenamento de água no solo (GARCIA et al., 2004).

Os lisímetros podem possuir diferentes formas, podendo ser quadrado, circular ou retangular. Já o seu tamanho pode variar significativamente, em função da utilização pretendida e da resolução requerida ou desejada (PAYERO e IRMAK, 2008). Na literatura há relatos do uso de lisímetros com área superficial que variam desde 0,006 m<sup>2</sup>, chamados neste caso de microlisímetros ou minilísimetros (TODD et al., 2000), até lisímetros de grandes dimensões, conforme descrito no clássico trabalho de Pruitt e Angus (1960), com uma área de 28,27 m<sup>2</sup> e 6 m de diâmetro. Gangopadhyaya et al. (1966) comentam que um dos fatores mais importantes que controlam a precisão de um lisímetro é o seu tamanho e que sua precisão aumenta com o aumento da sua área superficial. Além da área superficial, a profundidade do lisímetro deve ser grande o suficiente para minimizar as restrições às raízes (CLARK e REDDELL, 1990). Boast e Robertson (1982) relataram que lisímetros com menores profundidades tendem a reter mais água do que as condições reais de campo, tendendo a superestimação da evapotranspiração. A estes fatores deve ser somado ainda as incertezas em relação a determinação dos outros componentes do balanço hídrico, como precipitação, variações na umidade do solo, escoamento superficial e drenagem (MALONE et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2011).

Abichou et al. (2004) afirmam que os parâmetros que regem o desempenho de um lisímetro na determinação da evapotranspiração também incluem propriedades hidráulicas do solo, conteúdo de água inicial, espessura da camada de solo considerada, propriedades da vegetação, distribuição do sistema radicular e condições climáticas específicas do local de instalação. A escala da precipitação, frequência e a duração da estação úmida e estação seca também influenciam os valores obtidos da taxa de percolação. Campbell e Murray (1990) e Santiago (2001) realizaram uma análise de erros de medições em lisímetros demonstrando que a determinação da evapotranspiração durante períodos de baixa ou nenhuma precipitação, apresentam um baixo componente de erro, enquanto que para períodos de precipitação elevada, estes erros são mais elevados. Steele et al. (1997) afirmam que a falta de precisão na determinação da umidade do solo, foi a mais importante fonte de variabilidade no seu estudo. Outro aspecto complicador de seu estudo foi a obtenção de valores negativos para a

evapotranspiração diária, em períodos em que lisímetros encontravam-se sobre regime de drenagem logo após a chuva. Os autores afirmam que este problema pode ser atenuado aumentando o intervalo de tempo para a estimativa da evapotranspiração, recomendando a utilização de intervalo de tempo superiores a escala diária, tais como períodos semanais, quinzenais ou mensais. Oliveira et al. (2010) e Feltrin et al. (2011) também obtiveram valores de evapotranspiração negativos ou superestimados na escala diária, e valores mais coerentes na escala decêndial.

Entre as principais fontes de erros quanto a aspectos construtivos e instalação de lisímetros, destaca-se a formação de caminhos preferenciais de escoamento junto as paredes laterais dos lisímetros, devido ao ajuste insuficiente do solo no seu interior e ainda a influência das condições de contorno sobre as taxas de drenagem (FLURY et al., 1999; MERTENS et al., 2005; KASTEEL et al., 2007; WEGEHENKEL et al., 2008). Como resultado, o fluxo vertical pode aumentar na interface entre o solo e as paredes laterais dos lisímetros, sendo a magnitude deste efeito uma função do tipo de solo e da textura e geometria das paredes laterais (GREBET e CUENCA, 1991). A instalação de equipamentos de internamente ao lisímetro, como tensiômetros ou sondas TDR, apesar de necessários para a medida do armazenamento de água no solo, também pode significar uma perturbação adicional do perfil do solo ou mesmo formar caminhos preferencias ao fluxo de água (DIESTEL et al., 2007).

Um problema fundamental na utilização de lisímetros está relacionado a saturação na sua parte inferior que é implícita ao seu projeto (BEN-GAL e SHANI, 2002). Van Bavel (1961) recomenda que lisímetros devem permitir uma drenagem suficiente para imitar condições hídricas do solo, sem proibições aos fluxos naturais. Abdou e Flury (2004) comentam que em lisímetros de drenagem, o limite inferior do lisímetro está exposto a pressão atmosférica. Em consequência, o gradiente hidráulico é interrompido, afetando o fluxo descendente e uma zona saturada precisa ser formada na parte inferior da lisímetro antes que a água possa ser drenada. Khire et al. (1997) afirmam que a maioria dos lisímetros possuem uma camada de drenagem formada por areia ou brita ou utilizam materiais geossintéticos no seu limite inferior e que neste caso, os poros maiores podem induzir a uma quebra de capilaridade na base do perfil, que não existe em condições naturais. Como resultado, pode ocorrer um aumento artificial na capacidade de armazenamento do perfil em relação às condições naturais, bem como uma possível redução na taxa de percolação. A base do lisímetro também forma uma fronteira artificial, que não existe no ambiente de campo real,

impedindo fluxos ascendentes e descendentes de líquido e de vapor e fluxos de calor através da base do lisímetro. Consequentemente, toda a água que sai para fora do sistema nunca poderá se mover para cima em resposta a gradientes naturais induzidos pela evapotranspiração. Este problema pode ser contornado utilizando sistemas de drenagem com sucção controlada, instalados na parte inferior do lisímetro. Von Unold e Fank (2008) descrevem uma técnica de controle automático do fluxo de água, formada por cápsulas de sucção que atuam como ventosas. Morari (2006) descreve um sistema parecido, mas que utiliza placas de sucção cerâmicas ao invés de cápsulas. Em ambos os casos, as tensões de água no solo são medidas por um tensiômetro instalado internamente ao lisímetro e comparadas com tensões medidas por um tensiômetro instalado externamente ao lisímetro. Uma bomba de vácuo de atuação bidirecional controla a entrada e saída de água do lisímetro, mantendo um equilíbrio nos valores de tensão água do solo interna e externamente ao lisímetro. Assim, se o interior do lisímetro estiver mais úmido, a água é sugada para o seu exterior. Já se o solo do lisímetro estiver mais seco que o ambiente externo, a água é injetada para o seu interior, mantendo a tensão interna igual a tensão externa ao lisímetro.

Apesar destas limitações, Meissner et al. (2010) afirmam que a técnica da lisimetria é considerada o método direto mais importante para medida da drenagem de água no solo. Medidas lisimétricas constituem-se na metodologia mais precisa para a determinação das necessidades hídricas das plantas (Johnson et al., 2005) e coeficientes de cultura (Bryla et al., 2010). De acordo com Goss e Ehlers (2009) os lisímetros são uma importante ferramenta que possibilita maior compreensão dos componentes do balanço hídrico do solo, permitindo uma análise qualitativa e quantitativa bastante detalhada dos processos envolvidos. Segundo os autores, a capacidade de integrar informações obtidas em diferentes níveis de investigação, tanto em termos de escala e de intensidade, resulta em uma compreensão mais holística da dinâmica da água do solo. Conforme Meissner e Seyfarth (2004) a combinação de estudos em lisímetros com experimentos de campo em diferentes escalas abre novas possibilidades para modelagem e gestão de bacias hidrográficas. Lanthaler (2004) afirma que os dados medidos pontualmente por meio de lisímetros, podem contribuir para a calibração de modelos numéricos de movimento da água no solo e de transporte de nutrientes, podendo os resultados serem transferidos para unidades geográficas maiores, como bacias hidrográficas por exemplo.

De acordo com Abdou e Flury (2004) a principal vantagem da lisimetria é a capacidade de controlar e medir os componentes do balanço hídrico, bem como balanços



químicos e fluxos de água no solo. Segundo os autores, o fluxo de água e o transporte de solutos em solos naturais são influenciados significativamente pela ocorrência de fluxos preferenciais e pela variação espacial das propriedades do solo. Portanto, estudos em lisímetros que utilizam solo com estrutura não deformada, representam melhor as condições de campo do que experimentos com colunas de solo em laboratório. Boesten (2007) comentam um aspecto prático do uso de lisímetros em que, na União Europeia, os estudos com lisímetros tem desempenhado um papel importante na avaliação dos riscos de contaminação por pesticidas em águas subterrâneas, sendo as concentrações presentes nos volumes drenados dos lisímetros normalmente utilizados para a tomada de decisões.

## **2.2 O papel das florestas na manutenção do ciclo hidrológico**

Tucci (2002) define o ciclo hidrológico como sendo o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado principalmente pela radiação solar associada à gravidade e a rotação terrestre, constituindo-se em um processo contínuo de transporte de massas de água entre a superfície terrestre e a atmosfera. Para o autor os principais efeitos da variabilidade hidrológica estão relacionados com a alteração dos sistemas hídricos, com a variabilidade natural dos processos climáticos, com o impacto da modificação climática e com o tipo de uso do solo.

Conforme Arcova et al. (2003) e Cicco (2009) a cobertura vegetal possui uma estreita relação com o ciclo hidrológico, interferindo no movimento e na distribuição da água em vários compartimentos do sistema, inclusive nas saídas para a atmosfera e para os rios e no abastecimento de aquíferos. Fujieda et al. (1997) comentam que a manutenção do fluxo que sustenta os córregos e rios é uma das características hidrológicas mais importantes das florestas, reforçando o papel conservacionista da cobertura vegetal na recarga dos cursos de água.

Santiago (2005) demonstra em seu trabalho a influência da floresta na captação, manutenção e ciclo da água no sistema solo-planta-atmosfera, ressaltando que a floresta contribui significativamente para o equilíbrio no balanço hídrico de uma região. Victoria (2004), baseado em dados de precipitação e vazão de bacias hidrográficas, detectou influência do desmatamento no ciclo hidrológico, confirmando que bacias mais desmatadas apresentam

maior vazão em relação à precipitação. O autor concluiu ainda que a substituição da floresta por áreas de pastagem reduz a capacidade de armazenamento de água, aumentando o déficit hídrico da bacia e prolongando o período de déficit, além de resultar no aumento do excedente hídrico no início das chuvas por consequência da descarga e a redução da evapotranspiração real da bacia.

De acordo com Schumacher e Hoppe, (1998) e Mosca (2003), a importância das florestas no balanço hídrico não está ligada ao aumento da água no solo, ou aumento da precipitação, mas ao efeito regulador que as florestas exercem sobre esse balanço. Tucci (2002) afirma que com a retirada da floresta, os fluxos de entrada e saída envolvidos no ciclo hidrológico são alterados, ocorrendo a redução da interceptação vegetal e conseqüentemente, diminuindo o volume evaporado. No entanto, ainda existem muitas dúvidas quanto ao papel das florestas na produção de água para os rios em quantidade e qualidade. Conforme Ávila (2011), tradicionalmente, a floresta é vista como eficaz para estabilizar e manter o regime hídrico de uma região, melhorando a estrutura do solo e favorecendo os processos de infiltração, percolação e armazenamento de água, além de atenuar o escoamento superficial direto. Por tal motivo, a revegetação é uma prática repetidamente sugerida na recuperação e revitalização de áreas degradadas. Contudo, Bacellar (2005) comenta que esta função hidrológica é questionável e desprovida do devido embasamento técnico e científico, já que a vegetação de maior porte possui maior capacidade de evapotranspiração que a vegetação de menor porte, como gramíneas, arbustos e grande parte das culturas agrícolas. Assim, apesar das florestas favorecerem a infiltração, parte considerável da água infiltrada pode retornar a atmosfera via transpiração, aproveitando-se de seu sistema radicular mais desenvolvido.

Tucci e Clarke (1997) afirmam que o efeito do desmatamento sobre as vazões é bastante variável, sendo possível encontrar experimentos que mostram aumento ou diminuição da vazão mínima depois do desmatamento. Tucci e Mendes (2006) apresentam uma série de dados que comprovam tal afirmação, concluindo que os resultados são, em geral, fortemente dependentes da forma de manejo do solo na atividade que substitui a floresta. Conforme os autores, quando o manejo do solo é inadequado, tanto em lavouras como em pastagens, ou mesmo em reflorestamentos, a capacidade de infiltração se reduz muito e menos água é armazenada para escoamento subterrâneo. Outro fator importante é que as florestas retiram água de profundidades maiores do que a vegetação do campo e culturas anuais, já que as raízes das árvores chegam a profundidades maiores. Esta diferença na capacidade de armazenamento é importante em períodos de estiagem. Enquanto o volume de água

disponível para a vegetação de campo ou lavoura já está esgotado, a vegetação da floresta continua a transpirar a uma taxa normal. Principalmente em regiões secas a diferença de capacidade de armazenamento é fundamental na análise das consequências hidrológicas da mudança de uso do solo (COLLISCHONN, 2001). Camargo (2005) reforça que para culturas florestais com sistemas radiculares profundos, que alcançam várias dezenas de metros de profundidade, é preciso considerar que a capacidade de armazenamento de água disponível no solo é muito maior que para culturas agrícolas que possuem sistema radicular raso.

Com relação a recarga de aquíferos, a capacidade da vegetação para regular o fluxo subsuperficial indica que as mudanças na vegetação, naturais ou antrópicas, tendem a ter um impacto sobre a recarga das águas subterrâneas. Conforme Scanlon et al. (2005) as mudanças na vegetação natural, como a substituição de arbustos nativos perenes por gramíneas anuais, podem resultar num aumento de recarga. Estas alterações na recarga seriam resultado de uma profundidade de enraizamento mais superficial das gramíneas quando comparada a arbustos. Alterações antrópicas na vegetação relacionadas com a agricultura aumentam inadvertidamente as taxas de recarga subterrânea. Assim, a compreensão detalhada dos processos hidrológicos que controlam o ciclo da água é necessária para prever o impacto das mudanças nos ecossistemas sobre a recarga.

A vegetação de floresta também incorpora grande quantidade de matéria orgânica ao solo, favorecendo a estrutura física no solo pela formação de micro e macroporos e em consequência, aumentando a infiltração (BACELLAR, 2005). Desta forma, os solos sob florestas se caracterizam por expressiva camada de resíduos vegetais (serrapilheira) e por um horizonte A rico em matéria orgânica, a qual é comprovadamente eficiente para manter os agregados do solo, preservando sua porosidade (BERTONI e LOMBARDI NETTO, 1993). Após o desmatamento, as condições de infiltração ficam deterioradas devido a compactação do solo pela energia das gotas da chuva e a capacidade de infiltração pode ficar reduzida, aumentando o escoamento superficial (TUCCI, 2002).

Conforme Almeida e Soares (2003) os processos hidrológicos do solo são bastante influenciados pela densidade de plantas, pelo tipo de solo, pelo comportamento fisiológico da planta e pela estrutura e arquitetura do dossel. Os autores afirmam que o índice de área foliar tem relação com os processos de evapotranspiração, fluxos de CO<sub>2</sub>, interceptação de luz e chuva, sendo influenciado diretamente por mudanças sazonais ao longo do ano, e seus valores decrescem com a perda das folhas pela vegetação. Pezzopane et al. (2005) e Pinheiro (2007) afirmam que a estrutura do dossel afeta a estratificação vertical do microclima da floresta,

particularmente, com relação a incidência de luz em seu interior, tendo influência direta na variação da temperatura e umidade do ar, temperatura do solo e saldo de radiação dentro da floresta em relação a áreas abertas.

Uma das principais influências da floresta ocorre no recebimento das chuvas pelas copas das árvores, quando se dá o primeiro fracionamento da água, onde uma parte é temporariamente interceptada pelo dossel e em seguida evaporada e outra parte da chuva alcança a superfície do solo na forma de gotas (precipitação interna) ou através do escoamento pelo tronco das árvores. Em áreas com floresta e vegetação fechada, as precipitações de baixa intensidade normalmente não atingem a superfície do solo abaixo da copa das árvores, devido a interceptação vegetal. Após um período chuvoso de maior intensidade e maior volume, quando a capacidade de interceptação é atingida, a água penetra no interior da floresta, contribuindo assim para os fluxos no solo. No entanto, Cicco (2009) comenta que a maior dificuldade nos estudos de interceptação é a determinação da precipitação interna, não sendo incomum obter resultados que ultrapassam o valor da precipitação total, causando desta forma interceptação negativa. Sari (2011) estudou a interceptação das chuvas em áreas de mata nativa e eucalipto na bacia hidrográfica do Arroio Vacacaí Mirim obtendo valores negativos em vários pontos de monitoramento. A autora afirma que isto se deveu a provável existência de caminhos preferências ou pontos de gotejamento que condicionaram o escoamento da água coletada para determinados pontos de captação.

### **2.3 Considerações sobre a determinação dos componentes do balanço hídrico**

Sentelhas (1998) afirma que o balanço hídrico climatológico tem sua principal função estabelecida na caracterização regional quanto à disponibilidade hídrica, possibilitando estimar, além da evapotranspiração potencial, a evapotranspiração real, a deficiência hídrica e as fases de reposição e retirada de água no solo. Assim, o balanço hídrico tem sido utilizado para estimar parâmetros climáticos e a partir deles, estabelecer comparações entre as condições predominantes em diferentes locais. Mosca (2003) comenta ainda que o balanço hídrico permite fornecer informações importantes para o planejamento de atividades florestais e demais atividades relacionadas ao consumo de água mais propensas a um uso conflitivo.

Carvalho e Stipp (2004) demonstram que, mais recentemente, uma das aplicações do balanço hídrico tem sido no diagnóstico do estado de conservação de recursos naturais em bacias hidrográficas.

Sob o ponto de vista agrícola, Aguilar et al. (1986) afirmam que os resultados do balanço hídrico podem ser utilizados para o zoneamento agroclimático regional, demanda potencial de água das culturas irrigadas, definição de prioridades no planejamento de pesquisas ou, ainda, no conhecimento do regime hídrico. Desta forma, os estudos de balanço hídrico tornam-se úteis para caracterizar o clima de uma região ou área e tornam-se fundamentais na etapa de planejamento e definição de prioridades agrícolas e na formulação de projetos de pesquisa (SMITH et al., 1991).

Reichardt (1985) afirma que o balanço hídrico pode ser entendido como sendo o próprio ciclo hidrológico, cujo resultado nos fornecerá a água disponível no sistema. Conforme exposto pelo autor, os vários processos que envolvem fluxos de água, isto é, infiltração, redistribuição, evaporação e absorção de água pelas plantas, são processos interdependentes e, na maioria das vezes, ocorrem simultaneamente. Assim, para estudar o ciclo da água, faz-se necessário considerar o balanço hídrico (REICHARDT e TIMM, 2004, TOMASELLA e ROSSATO, 2005).

Medidas feitas com o objetivo de estabelecer o balanço hídrico em uma determinada área vegetada, em um dado intervalo de tempo, normalmente exigem o emprego de equipamentos sofisticados e de mão-de-obra bastante especializada, o que torna tais medidas normalmente inacessíveis ao agricultor. Rossato (2002) ressalta que na prática, efetuar diretamente a contabilidade hídrica de uma parcela de solo com vegetação não é uma atividade simples e dependendo das condições do local, nem sempre é possível efetuar-la. Assim, estudos do balanço hídrico a partir de variáveis meteorológicas ficam restritos a pequenas áreas e tem o objetivo apenas de verificar a eficiência de modelos matemáticos desenvolvidos para simular o balanço hídrico.

No caso de florestas, Kramer e Holscher (2009) afirmam que dependendo da escala espacial e temporal e da complexidade, vários métodos para medida dos componentes do balanço hídrico em área florestada tornam-se necessários. As investigações incluem medidas de precipitação interna e escoamento pelo tronco, e investigações dos processos de evaporação e transpiração, bem como da dinâmica da água do solo. O autor afirma ainda que uma vez que as condições meteorológicas variam consideravelmente entre os anos, é

necessário observar os componentes do ciclo hidrológico da floresta ao longo de vários anos, para que uma quantificação confiável seja alcançada.

#### **2.4 Escalas hidrológicas e variação espaço-temporal dos processos hidrológicos em solos**

O balanço hídrico pode ser realizado para diversos períodos de tempo, variando de minutos a anos, sendo as escalas de tempo mais utilizadas a diária e a anual. Segundo Reichardt e Timm (2004) intervalos de tempo de medidas em períodos de um dia ou menos não são viáveis, visto que a dinâmica da água é relativamente lenta. Os autores ressaltam que a escolha de uma ou outra escala temporal depende especialmente da finalidade da contabilidade hídrica. Pereira et al. (1997) ressaltam que para fins agrícolas, por exemplo, a escolha do período de estudo é determinada pela sensibilidade da cultura ao estresse hídrico e pela disponibilidade de dados climáticos em escala igual ou mais detalhada que a do balanço hídrico. Assim quanto menor for o período de estudo, maior será a interferência das variações do tempo meteorológico.

Mendiondo e Tucci (1997) apresentam uma extensa revisão sobre escalas hidrológicas, ressaltando que até a década de 30, a Hidrologia era uma ciência mais qualitativa do que quantitativa, onde os processos eram descritos na sua essência, mas não se conhecia a magnitude de sua importância em cada sistema hídrico. Com o passar do tempo a necessidade de quantificar os processos hidrológicos fez com que fossem importadas diferentes técnicas matemáticas e estatísticas para a hidrologia, sem a correspondente relação dos processos envolvidos. No entanto, a maioria dos estudos passou a ser realizada de forma compartimentalizada, onde cada processo é estudado independente dos demais dentro de uma escala muito reduzida. Neste sentido, os autores comentam que um dos principais desafios nos estudos hidrológicos é a representatividade dos processos hidrológicos em diferentes escalas espaciais e temporais.

Blöschl e Sivapalan (1995) afirmam que os processos hidrológicos ocorrem em uma ampla variedade de escalas que podem envolver desde o fluxo não saturado em um perfil de solo de 1 metro até cheias em bacias hidrográficas de um milhão de quilômetros quadrados. Já com relação ao tempo, os processos hidrológicos podem variar desde eventos de enchentes

com duração de alguns minutos até o caso de fluxos em aquíferos que ocorrem ao longo de centenas de anos. A precipitação, por exemplo, principal força motriz do ciclo hidrológico, pode variar desde células em escalas de 1 km e com tempo de duração de alguns minutos, até sistemas frontais com escalas de 1000 km e mais de um dia de duração.

De acordo com Mendiondo e Tucci (1997) os processos hidrológicos apresentam comportamentos distintos de acordo com a escala do sistema. Os processos hidrológicos constituem-se em fenômenos tridimensionais e dinâmicos, que variam continuamente no espaço e no tempo, apresentando comportamentos não lineares. Blöschl e Sivapalan (1995) apresentam uma revisão sobre problemas em escalas hidrológicas, demonstrando que muitos processos hidrológicos operam em resposta à precipitação, em escalas com comprimentos semelhantes, mas que podem estar atrasadas em relação ao tempo de ocorrência. Conforme os autores, este atraso de tempo aumenta à medida que a água se move através do subsolo e depende dos mecanismos de escoamento dominantes. Assim, a resposta do escoamento superficial pode ser muito mais rápida em condições de clima árido e precipitações com volumes e intensidades elevadas, enquanto que em climas úmidos e solos de textura mais fina este processo é tipicamente mais lento devido a formação de uma camada saturada que atrasa a resposta do escoamento. Já o processo de drenagem é significativamente mais lento que o escoamento superficial, com tempos de resposta de um dia ou mais, enquanto que os fluxos de águas subterrâneas podem estar associados com escalas de tempo de meses até centenas de anos.

Ávila et al. (2010) afirmam que a descrição de processos hidrológicos é relativamente complexa, principalmente da variação do conteúdo de água no solo, devido à influência de fatores edáficos, topográficos, climáticos e de vegetação. Conforme os autores, o monitoramento hidrológico tem se intensificado em diversos países, buscando-se a caracterização de vários processos, destacando-se o estudo da dinâmica da água no solo. Porém, é relativamente complexo estimar o valor representativo de variáveis relacionadas a esses processos naturais devido à sua heterogeneidade, a qual é dependente da ação de diversos fatores extrínsecos e intrínsecos do solo, caracterizando sua variabilidade espacial e temporal.

Klemes (1983) explica que existe uma relação intrínseca entre as escalas de tempo e espaço. No entanto, muitas vezes isto é ignorado na pesquisa científica, sendo os níveis destas escalas escolhidos independentemente, tornando a compreensão do estudo de um fenômeno natural mais difícil. Blöschl e Sivapalan (1995) afirmam que existe certa relação entre escala

espacial e escalas de tempo para um dado processo. Escalas espaciais pequenas tendem a ser associadas com pequenas escalas de tempo, enquanto grandes escalas espaciais estão associadas a escalas temporais maiores. Conforme os autores também é preciso diferenciar a escala do processo, que corresponde a escala em que os fenômenos naturais ocorrem e que está além do nosso controle, da escala de observação, que é definida pelo pesquisador dentro das suas limitações de técnicas de medição e logística.

De acordo com Dapiné et al. (2011), as interações no sistema hidrológico podem ser estudadas em diferentes escalas espaciais e temporais, havendo variações nas medidas e nos métodos de acordo com os processos considerados. Os autores comentam ainda que a análise espacial e temporal dos processos é complexa, resultando muitas vezes na adoção de simplificações, que envolvem, entre outras coisas, a discretização espacial e temporal dos fenômenos estudados. Tarquis et al. (2011) comentam que nem todos os processos ocorrem em todas as escalas e por isso, nem sempre é possível observar a dinâmica de um determinado processo apenas através do monitoramento de uma escala particular isolada. Blöschl e Sivapalan (1995) ressaltam que, idealmente, os processos devem ser observados na escala em que ocorrem. No entanto, isso nem sempre é possível. Muitas vezes, o interesse reside em processos de grande escala enquanto que apenas amostras pontuais, em pequena escala, estão disponíveis.

Os processos mais difíceis de monitorar são aqueles que ocorrem dentro da matriz do solo. Assim, um fator relevante é quanto a metodologia adotada no monitoramento de cada variável. Com relação ao monitoramento do armazenamento de água no solo, por exemplo, Lourenço et al. (2009), afirmam que o tempo de resposta de tensiômetros pode variar entre 8 e 160 minutos, havendo grandes variações nestas diferenças de tempo para um mesmo local, devido à variabilidade de condições de água na interface do tensiômetro com solo no momento da medição. Coelho e Teixeira (2004) comentam que o tempo de resposta do equipamento tende a aumentar à medida que o potencial matricial diminui e que também podem ocorrer erros nas leituras decorrentes das flutuações diurnas de temperatura, tendendo a ser mais evidentes à medida que o potencial matricial diminui, isto é, que o solo seca.

López-Moreno et al. (2013) afirmam que antes da água ser drenada, grande parte da precipitação é armazenada em vários subsistemas hídricos que respondem às condições climáticas em diferentes escalas de tempo. Assim, a avaliação do processo de drenagem é complexo devido à não linearidade das características de permeabilidade do solo e variações nas condições de umidade iniciais (YANG et al., 2006). Struthers et al. (2003) afirmam que



uma vez que a condutividade hidráulica não saturada diminui com a diminuição da umidade do solo, a magnitude das defasagens entre processos também irá variar. Segundo Western et al. (2002), a medida que o solo seca, ocorre uma diminuição da velocidade dos fluxos no solo. Assim, a escala em que os processos de fluxo de água no solo ocorrem é muito menor para solos secos do que para solos úmidos. Entin et al. (2000) verificaram ainda que a escala temporal de variação de umidade no solo pode aumentar com a latitude e sazonalidade climática, sendo tais efeitos atribuídos as mudanças na evapotranspiração.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

Este estudo foi realizado no município de Santa Maria, região da Depressão Central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (latitude 29°37'49.7"S e 53°48'39.8"W, em local com 205 m de altitude em relação ao nível do mar). A área de estudo está inserida nas cabeceiras da Bacia do Arroio Vacacaí Mirim, região a montante do reservatório do DNOS/CORSAN, responsável por 40% do abastecimento público de água na cidade de Santa Maria (Figura 1). Os solos de ambos os lisímetros podem ser classificados como Neossolos Litólicos (EMBRAPA, 2006) e fazem parte da formação geológica Botucatu (Maciel Filho, 1990). O clima da região, conforme o sistema de classificação de Köppen é do tipo subtropical Cfa, caracterizado pela ocorrência de precipitações durante todos os meses do ano, sem grande diferença quantitativa entre o mês mais chuvoso e o mês mais seco. De acordo com as normais climatológicas, obtidas com dados do período de 1961-1990, provenientes da estação meteorológica do INMET, distante 20 km da região de estudo, a precipitação média anual é igual a 1616,8 mm, com chuvas bem distribuídas durante o ano, com uma frequência de 96 dias. A temperatura média anual situa-se em torno de 18,8 °C, com médias mensais variando de 24,2 °C em janeiro a 13,9 °C em junho. A umidade relativa do ar média anual é de 76,5 % e a insolação total anual igual a 2161,8 horas.

Os locais de instalação dos lisímetros foram escolhidos levando em consideração fatores pedológicos e topográficos favoráveis, localização de estruturas de monitoramento já existentes na região, facilidade de acesso e segurança dos equipamentos. A vegetação presente no interior do lisímetro instalado na área de campo nativo é composta basicamente por gramíneas nativas do gênero *Paspalum notatum*. Já a vegetação contida no interior do lisímetro instalado na área de mata nativa é composta por duas árvores nativas com porte aproximado de 1,50 m de altura, da espécie *Cupania vernalis* Cambess, família Sapindaceae, conhecida popularmente como Camboatá-vermelho. A superfície do solo é coberta por pequenas pteridófitas da espécie *Adiantum raddianum* C. Presl. conhecida popularmente como avenca. Em ambos os lisímetros, as plantas já estavam presentes no local e foram coletadas juntamente com o bloco de solo.

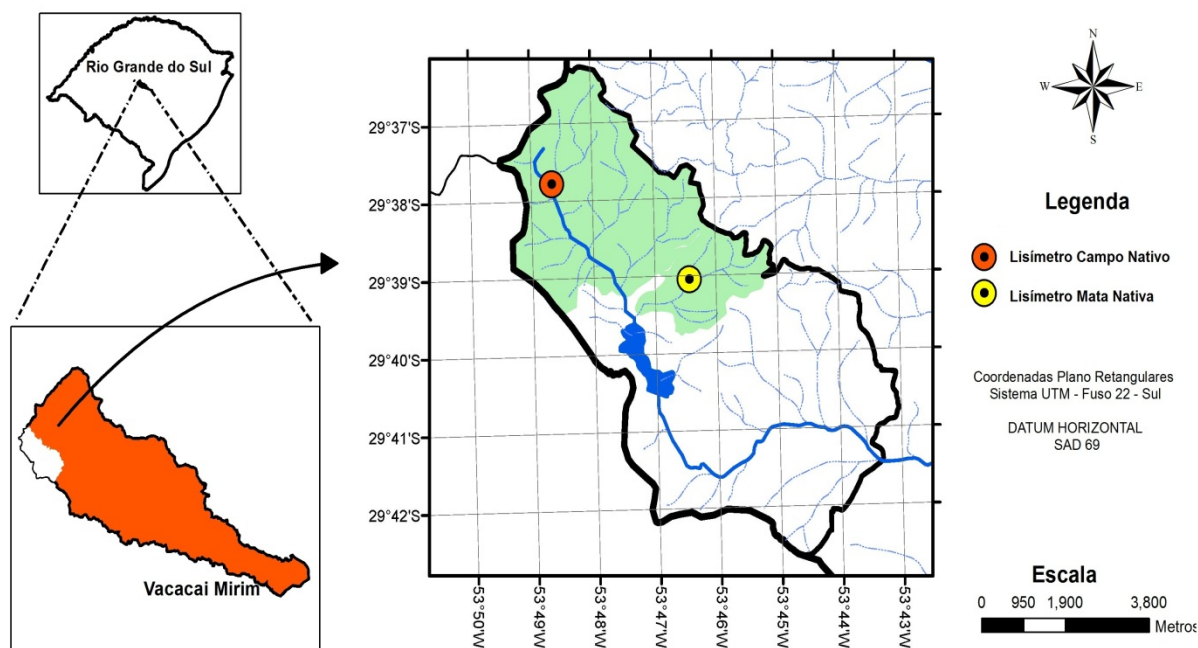


Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo e locais de instalação dos lisímetros.

### 3.2 Construção e instalação dos lisímetros de drenagem

#### 3.2.1 Aspectos construtivos dos lisímetros

Os lisímetros foram construídos em chapas de aço carbono 1020 com espessura de 4,75 mm (3/16") e tratados com pintura epóxi anticorrosiva (Figura 2). Os equipamentos possuem formato cilíndrico com diâmetro interno de 113 cm e altura de 110 cm, contendo em seu interior uma amostra representativa de solo não deformado, com volume igual a 1,0 m<sup>3</sup> e área superficial equivalente a 1,0 m<sup>2</sup>. Na parede lateral do cilindro que constitui o lisímetro, existe um orifício de 5 cm de diâmetro localizado a 25 cm da borda superior, por onde é conduzido o escoamento superficial resultante. A base inferior possui formato cilíndrico com dimensões iguais a 114 cm de diâmetro e 30 cm de altura. O fundo desta base possui formato cônico com uma inclinação de 10 cm no sentido das laterais para o centro terminando em um tubo de drenagem com diâmetro de 5 cm. A junção de ambas as partes constituintes do lisímetro, isto é, cilindro que forma o corpo e a base, é feita por flanges parafusados. Para o corte do perfil do solo e coleta da amostra com estrutura não deformada, confeccionou-se uma

base desmontável composta por duas lâminas construídas em chapas de aço carbono 1045 com espessura igual a 6,35 mm (1/4"), dispostas em forma de guilhotina (Figura 3).

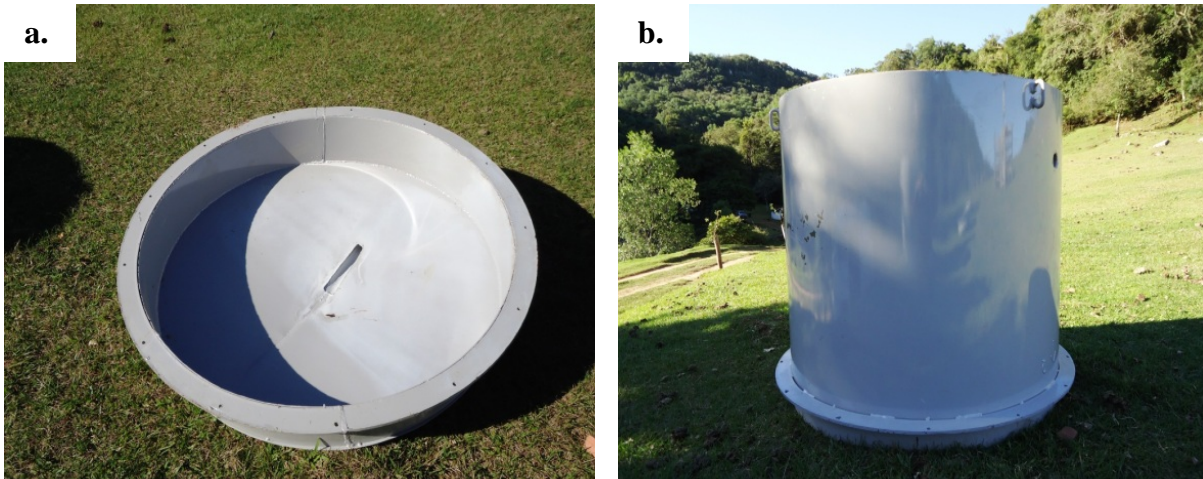


Figura 2 – Lisímetros de drenagem: a. Base inferior; b. Corpo cilíndrico que forma as paredes do lisímetro.

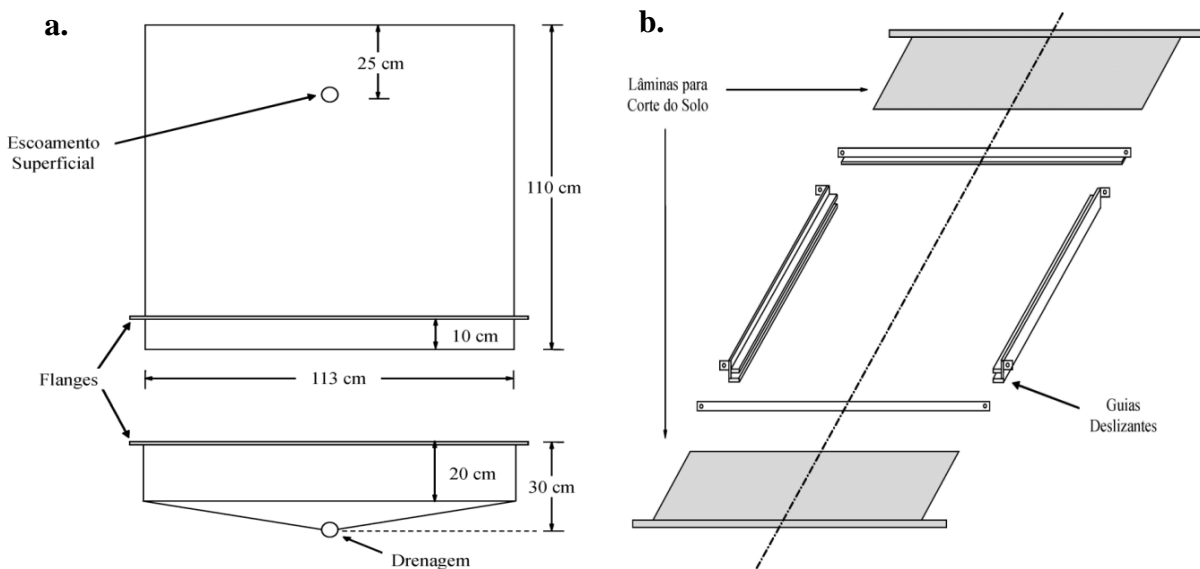


Figura 3 – Representação esquemática dos lisímetros utilizados e suas respectivas dimensões: a. Partes constituintes dos lisímetros; b. estrutura utilizada para corte do solo e de elevação dos lisímetros.

### 3.2.2 Instalação dos lisímetros

No campo nativo, a instalação ocorreu entre os dias 28 e 30 de junho de 2011, iniciando pela demarcação do local com a retirada do solo do entorno do corpo cilíndrico de forma a propiciar o nivelamento do lisímetro (Figura 4a). Após, procedeu-se a escavação manual de uma trincheira no entorno do lisímetro ao mesmo tempo em que foram introduzidos pesos sobre este, facilitando a sua penetração no solo (Figura 4b). Ao atingir a profundidade de 1 m, foi montada a estrutura formada por cantoneiras, que serve de guia para as lâminas de corte do solo (Figura 4c). Em seguida, foram encaixadas as lâminas deslizantes nesta estrutura promovendo o corte do solo sob a base do corpo cilíndrico do lisímetro e formando uma plataforma de sustentação para o solo contido no interior do mesmo (Figura 4d). Após o corte, o bloco de solo foi elevado utilizando-se o guindaste de um caminhão munck (Figura 4e). Foi retirada uma camada de 30 cm de solo, abaixo do local do corte para a colocação da base inferior do lisímetro, contendo em seu interior uma grade metálica para aumentar a área de captação (Figuras 4f e 4g). Após a colocação da base do lisímetro, foi confeccionado o sistema de drenagem em seu interior, constituído de um filtro formado por uma camada de 10 cm de espessura de brita numero 1 envelopada em manta geotêxtil (Bidim), coberta por uma camada de 10 cm de espessura de areia (Figuras 4h e 4i). Em seguida, introduziu-se novamente o corpo cilíndrico contendo em seu interior a amostra de solo não deformado, sobre a base com o filtro (Figura 4j), retirando-se as lâminas utilizadas para o corte e sustentação do solo. Após encaixar as duas partes constituintes do lisímetro, o corpo cilíndrico que envolve o bloco de solo foi pressionado com auxílio do guindaste até os flanges se encontrarem e feita a vedação das junções entre as duas partes constituintes do lisímetro, com silicone e uma pequena camada de concreto envolvendo os flanges em todo o seu entorno. Finalmente, a trincheira aberta para a instalação do lisímetro foi novamente preenchida com o solo original e a superfície do terreno foi nivelada à sua topografia original. Em seguida, procedeu-se a instalação dos tensiômetros utilizados para o monitoramento do conteúdo de água no solo e das tubulações responsáveis pela condução da drenagem e do escoamento superficial do interior do lisímetro até os pluviógrafos instalados para coleta e registro dos escoamentos (Figuras 4k e 4l).



Figura 4 – Etapas de instalação do lisímetro de drenagem na área de campo nativo: a. posicionamento no local escolhido; b. abertura da trincheira; c. montagem da estrutura para elevação do lisímetro; d. introdução das lâminas e corte do solo; e. elevação do lisímetro; f. instalação da base do lisímetro; g, h, i. confecção do sistema de drenagem; j. colocação do lisímetro sobre a sua base; k. lisímetro com tensiômetros eletrônicos já instalados; l. pluviógrafos utilizados para monitoramento do escoamento superficial e drenagem resultantes.

A instalação do lisímetro na área de mata nativa ocorreu entre os dias 15 e 28 de agosto de 2011 e seguiu os mesmos passos da operação de instalação no campo nativo. Os procedimentos de preparo e confecção do filtro que forma o sistema de drenagem do lisímetro também foram exatamente iguais aos utilizados no lisímetro instalado no campo nativo. A diferença da instalação no campo nativo é que nesta etapa, devido a não possibilidade de acesso de um caminhão guincho até o local, utilizou-se uma talha com catraca instalada sob uma estrutura de madeira que serviu de apoio para a elevação do bloco de solo contido no lisímetro. Outra diferença foi no processo de retirada das lâminas de corte do solo. Ao invés de utilizarem-se marretas, como anteriormente, utilizou-se um macaco hidráulico para auxiliar a abertura e retirada das lâminas, facilitando o encaixe entre as duas partes constituintes do lisímetro. Finalizando a instalação do lisímetro, foi feita a vedação das junções entre os flanges com silicone e concreto conforme descrito anteriormente, seguida pela instalação das tubulações para o escoamento superficial e drenagem, dos pluviógrafos e dos tensiômetros.

É importante ressaltar que, como no caso do campo nativo, o solo coletado no lisímetro da mata nativa teve sua estrutura original preservada e as mudas de árvores contida em seu interior já estavam presentes no local. Mudanças de árvores da mesma mata e com tamanhos variados, foram transplantadas na área de escavação em volta do lisímetro buscando restabelecer as características originais de vegetação.

Na Figura 5 são apresentadas as fases de instalação do lisímetro de drenagem na área de mata nativa, iniciando pela escolha do local de instalação (Figura 5a), abertura da trincheira (Figura 5b), introdução das lâminas e corte do solo (Figura 5c), montagem da estrutura para elevação do lisímetro (Figura 5d), o bloco de solo já coletado no interior do lisímetro sendo suspenso (Figura 5e), a etapa de confecção do filtro (Figura 5f, 5g, 5h e 5i), a retirada das lâminas com macaco hidráulico e junção entre franges (Figuras 5j e 5k) e por fim o lisímetro já instalado, com vegetação interna original, respectivos tensiômetros e pluviógrafo para monitoramento da precipitação interna à mata (Figura 5l).



Figura 5 – Etapas de instalação do lisímetro de drenagem na área de mata nativa: a. escolha do local de instalação; b. abertura da trincheira; c. introdução das lâminas e corte do solo; d. montagem da estrutura para elevação do lisímetro; e. lisímetro sendo suspenso; f, g, h, i. confecção do filtro; j. retirada das laminas com macaco hidráulico; h. união das partes que compõe o lisímetro; l. lisímetro já instalado, com tensiômetros instalados e vegetação interna inalterada.



### 3.3 Monitoramento das variáveis hidrológicas envolvidos no balanço hídrico do solo

O monitoramento das variáveis envolvidas no balanço hídrico do solo foi realizado entre os meses de janeiro de 2012 e março de 2013, de forma automatizada e contínua, sendo os valores registrados em intervalos de tempo de 10 minutos e armazenados em dataloggers. Estes dados foram coletados semanalmente com auxílio de um computador portátil e transferidos para planilha Excel e para um banco de dados, utilizando o software de gestão de dados hidrológicos BDGHidros (Beling et al., 2009), desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – GHIDROS – UFSM. O software apresenta uma interface gráfica que permite plotar dados de precipitação e demais variáveis consideradas em um mesmo gráfico, tornando mais prática a tarefa de isolar eventos ou períodos de interesse. Posteriormente, estes dados foram discretizados em diferentes escalas temporais, objetivando encontrar aquelas que melhor representassem cada um dos componentes dos processos hidrológicos isoladamente, partindo desde períodos horários até períodos diários, decendiais, mensais e por eventos. Para fins de cálculo, definiu-se que um dia experimental se inicia as 7:00 horas da manhã e termina as 7:00 horas da manhã do dia seguinte. Já para a escala por eventos, definiu-se a duração de cada evento como sendo o período de tempo compreendido entre o início da ocorrência de precipitação capaz de provocar aumento do volume de água no interior do lisímetro, até o início de novo evento capaz de provocar novo acréscimo no conteúdo de água no solo.

#### 3.3.1 Monitoramento do Conteúdo de Água no Solo

A escala espacial considerada neste estudo corresponde a um bloco de solo com  $1,0 \text{ m}^3$  de volume e formato cilíndrico, compreendido entre 0 e 100 cm de profundidade, confinado no interior do lisímetro e sem a ocorrência de fluxos laterais e ascendentes. Por ocasião da instalação dos lisímetros, amostras de solo com estrutura não deformada foram coletadas nas profundidades de 10, 20, 30, 50, 70 e 90 cm, para a realização das análises físicas em laboratório e determinações para o traçado das curvas de retenção de água no solo. Foram coletadas três amostras por profundidade e os valores finais obtidos a partir da média dos resultados destas amostras. A Figura 6 apresenta cortes do perfil do solo das áreas de campo

nativo e mata nativa onde foram instalados os lisímetros e de onde foram extraídas as amostras para a análise do solo.

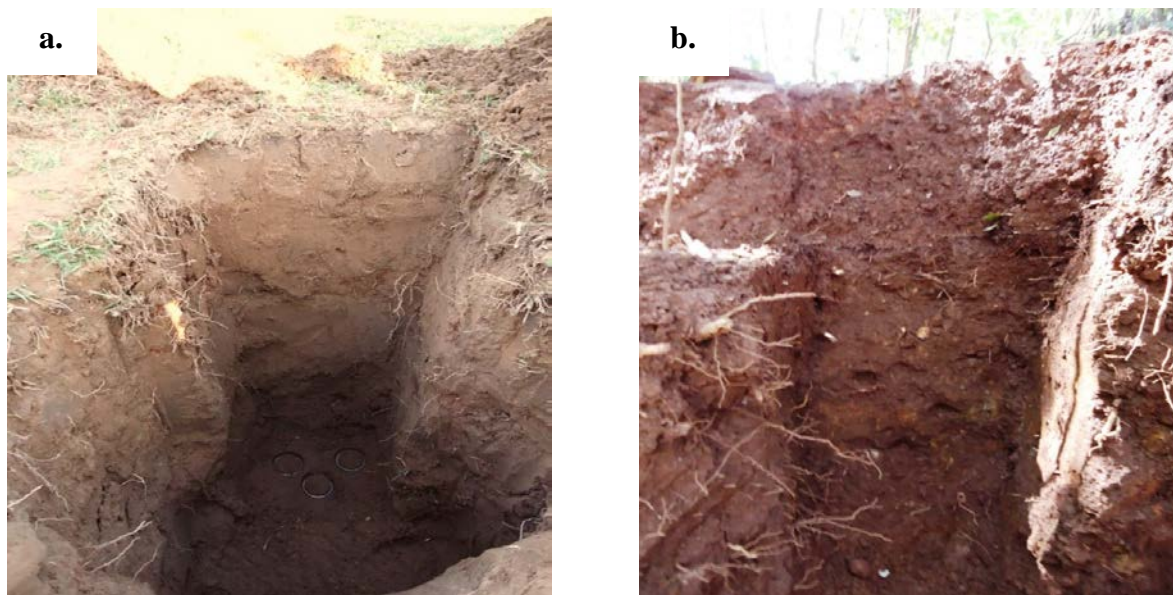


Figura 6 – Perfis do solo das áreas de campo nativo (a) e mata nativa (b) onde foram coletadas as amostras de solo.

O monitoramento da tensão de água no solo foi realizado por meio de tensiômetros eletrônicos com transdutor de tensão. Os tensiômetros foram inseridos no interior dos lisímetros a partir da superfície do solo, em um ângulo entre 30° e 45°, nas profundidades de 10, 30 e 70 cm. Devido a influência da temperatura durante o dia, adotaram-se os valores médios de tensão registrados entre as 7:00 e 8:00 horas da manhã de cada dia. A fluxagem dos tensiômetros foi realizada semanalmente utilizando seringa e bomba de vácuo manual e a água dos tensiômetros substituída por água deionizada e degaseificada, mensalmente ou toda vez que a coluna de água era rompida.

Os valores de tensão registrados pelos tensiômetros foram transformados em conteúdo volumétrico de água no solo com base nas curvas de retenção de água no solo para cada profundidade amostrada, seguindo o modelo de Van Genuchten (1980), (equação 1). O ajuste das curvas de retenção de água no solo e estimativa dos parâmetros hidráulicos do solo ( $\alpha$ ,  $m$  e  $n$ ) foram obtidos por meio do software Soil Water Retention Curve - SWRC versão 3.0 beta (DOURADO NETO et al., 2001). Para o cálculo do armazenamento de água no solo, o perfil foi dividido em camadas compreendidas entre 0-20 cm, 20-50 cm e 50-100 cm, em função das profundidades de instalação dos tensiômetros. O armazenamento total de água no solo foi

determinado pela soma dos armazenamentos em cada camada de solo considerada, integrando os valores de conteúdo de água no solo com a respectiva espessura da camada de solo (equação 2). Desta forma, assumiu-se que o solo compreendido dentro de cada camada considerada seja homogêneo e isotrópico. A variação do armazenamento de água do solo foi determinada pela diferença entre os valores do conteúdo de água do solo obtidos no tempo final e inicial de cada período considerado (equação 3).

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha\Psi_m)^n]^m} \quad (1)$$

$$A = \int_0^L \theta dz \cong \sum \theta \Delta z = \theta L \quad (2)$$

$$\Delta A = A_{(f)} - A_{(i)}, \quad (3)$$

sendo:

$\theta$  = conteúdo volumétrico de água no solo ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )

$\theta_r$  = conteúdo volumétrico de água residual do solo ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )

$\theta_s$  = conteúdo volumétrico de água na saturação do solo ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )

$\Psi_m$  = potencial matricial ou tensão de água no solo (kPa).

$\alpha$ ,  $m$  e  $n$  = parâmetros de ajuste ou coeficientes empíricos sendo que ( $m=1 - (1/n)$ ).

$A$  = armazenamento (mm)

$L$  = profundidade do solo considerada (mm).

$\Delta A$  = variação no armazenamento de água do solo (mm)

$A_{(f)}$  = armazenamento final de água no solo (mm)

$A_{(i)}$  = armazenamento inicial de água no solo (mm).

### 3.3.2 Monitoramento da precipitação, drenagem e escoamento superficial

As variáveis precipitação pluviométrica, drenagem e escoamento superficial foram medidas por meio de pluviógrafos de báscula (Figura 7). Tais equipamentos possuem uma área de coleta de  $324,3 \text{ cm}^2$  e estão equipados com um microprocessador que corrige automaticamente erros causados pela sensibilidade do mecanismo de báscula em relação às variações nas taxas de precipitação. Para o monitoramento da precipitação pluviométrica, foi instalado um pluviógrafo ao lado de cada lisímetro, inclusive no interior da mata nativa. A

150 m do lisímetro localizado no interior da mata, foi instalado um pluviógrafo de balança para o monitoramento da precipitação externa (Figura 8). Para a medida do escoamento superficial e da drenagem os pluviógrafos foram instalados em abrigos subterrâneos, conectados aos lisímetros por meio de tubulações de PVC por onde a água foi conduzida. Os volumes correspondentes ao escoamento superficial e a drenagem obtidos nos lisímetros (área de captação igual a  $1 \text{ m}^2$ ), foram corrigidos multiplicando-se a lâmina de água medida no pluviógrafo por  $0,0324 \text{ m}^2$ , que equivale a área de captação do pluviógrafo.



Figura 7 – Pluviógrafos de balança utilizados no monitoramento da precipitação, escoamento superficial e drenagem nos lisímetros.



Figura 8 – Pluviógrafo de balança utilizado no monitoramento da precipitação externamente a mata nativa.

### 3.3.3 Monitoramento das variáveis meteorológicas e balanço hídrico do solo

Os dados meteorológicos utilizados neste estudo foram obtidos da estação meteorológica automática (EMA) instalada a 15 m do lisímetro situado na área de campo nativo (Figura 9). As variáveis medidas foram precipitação pluviométrica, pressão atmosférica, temperatura do ar, velocidade e direção do vento a 2 m de altura, umidade relativa do ar e radiação solar incidente e refletida. No interior da mata nativa, foram instalados sensores para monitoramento da radiação solar incidente, temperatura e umidade relativa do ar (Figura 10). As normais climatológicas para a região de Santa Maria foram obtidas no site do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, a partir de dados medidos entre o período de 1961 e 1990 na estação meteorológica localizada no campus da Universidade Federal de Santa Maria, distante 20 km da região de estudo.

## 3.4 Balanço hídrico do solo

O cálculo do balanço hídrico para o volume de solo contido no interior de cada lisímetro foi realizado utilizando-se a equação de continuidade de massa (equação 5), sendo a evapotranspiração real obtida pela diferença entre as entradas e as saídas de água do lisímetro, desconsiderando fluxos laterais e ascendentes. Posteriormente, os valores obtidos em escala diária foram acumulados em escalas decendiais e por eventos.

$$ETr = P - (ES + D \pm \Delta A), \quad (5)$$

sendo:

ETr = evapotranspiração real (mm)

P = precipitação pluviométrica (mm)

ES = escoamento superficial (mm)

D = drenagem profunda (mm)

$\Delta A$  = variação do armazenamento (mm)



Figura 9 – Estação meteorológica instalada na área de campo nativo, com respectivos sensores de precipitação, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar.



Figura 10 – Pluviógrafo com respectivos sensores para monitoramento da radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar no interior da mata nativa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Variáveis meteorológicas

#### 4.1.1 Precipitação

A Tabela 1 e Figura 11 apresentam os índices pluviométricos mensais registrados por meio de pluviógrafos instalados nas duas áreas onde encontram-se os lisímetros e as normais climatológicas para o período de 1961-1990, para a região de Santa Maria. Os maiores índices pluviométricos foram verificados nos meses de dezembro, outubro e fevereiro de 2012, respectivamente. Observa-se a ocorrência de dois períodos com condições de precipitação diferentes, compreendidos dentro do intervalo de estudo. Entre os meses de janeiro e agosto de 2012, com exceção dos meses de fevereiro e maio, os índices pluviométricos mantiveram-se abaixo da média histórica. Apesar da proximidade entre os dois locais de monitoramento, percebe-se que neste período, com exceção do mês de fevereiro, a precipitação pluviométrica foi superior na área de mata nativa. Já na segunda metade do período estudado, compreendido entre setembro de 2012 e março de 2013, a precipitação pluviométrica manteve-se acima da média, exceto para os meses de novembro de 2012 e janeiro de 2013. Neste período observa-se uma situação contrária, onde os maiores volumes precipitados ocorreram na área de campo nativo, exceto para os meses mais chuvosos (outubro e dezembro de 2012). Entre janeiro e agosto de 2012 choveu 8,17 % a mais na área de mata nativa enquanto que entre os meses de setembro de 2012 e março de 2013 a precipitação pluviométrica foi 7,13 % superior na área de campo nativo. Apesar destas diferenças, o teste de médias “t” de Student demonstrou que não existe diferença significativa entre os volumes precipitados nas duas áreas de estudo ao nível de significância de 5% (Figura 12). Os maiores volumes diários precipitados ocorreram no dia 29 de maio de 2012 quando foram registrados 161,143 mm/dia e 163,49 mm/dia na área de campo nativo e mata nativa, respectivamente. Neste mesmo dia foram registrados os maiores volumes pluviométricos horários do período, que chegaram a 46,7 mm/hora e 51,45 mm/hora para a área de campo nativo e mata nativa, respectivamente.

Tabela 1 – Distribuição mensal da precipitação pluviométrica registrada na área de campo nativo, mata nativa e Normais Climatológicas (1961-1990) para a região de Santa Maria/RS.

Período	Precipitação	Precipitação	Normais
	Campo Nativo	Mata Nativa	Climatológicas (1961-1990)
	----- (mm) -----		
Janeiro/2012	55,62	58,50	145,10
Fevereiro/2012	299,86	285,41	130,20
Março/2012	82,25	92,54	151,70
Abril/2012	111,22	113,81	134,70
Maió/2012	191,65	199,08	129,10
Junho/2012	35,40	40,61	144,00
Julho/2012	101,21	113,92	148,60
Agosto/2012	50,60	53,64	137,40
Setembro/2012	202,24	198,22	153,60
Outubro/2012	306,27	331,43	145,90
Novembro/2012	74,44	64,77	132,20
Dezembro/2012	352,80	357,90	133,50
Janeiro/2013	92,77	84,58	145,10
Fevereiro/2013	157,03	143,79	130,20
Março/2013	201,81	194,86	151,70
<b>TOTAL</b>	<b>2315,16</b>	<b>2333,07</b>	<b>2113,00</b>

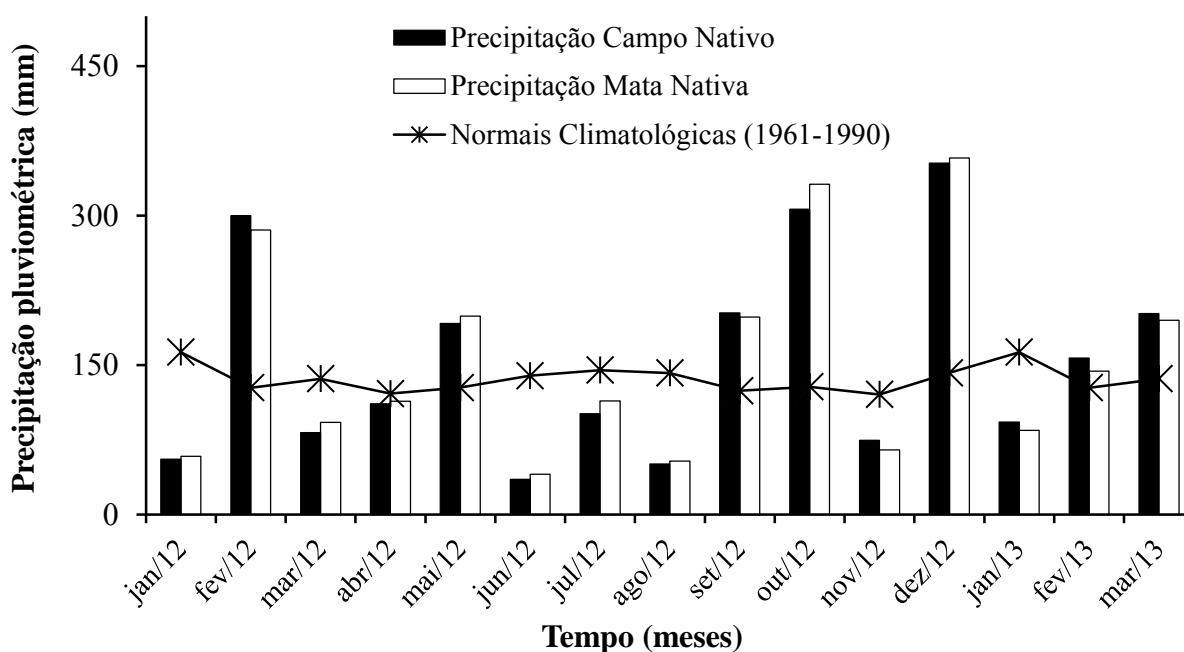


Figura 11 – Distribuição mensal da precipitação pluviométrica registrada na área de campo nativo, mata nativa e normais climatológicas (1961-1990) para a região de Santa Maria/RS.



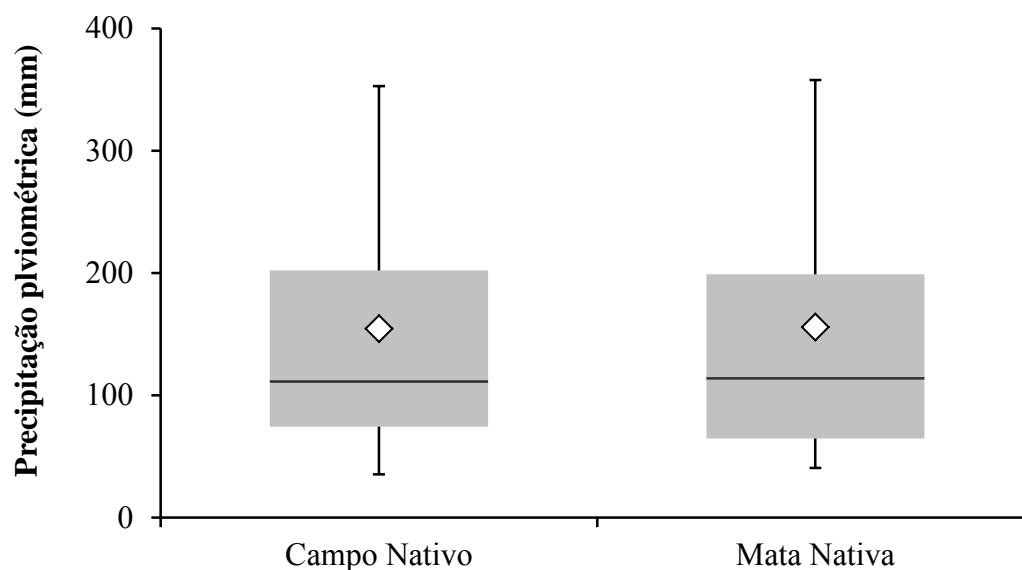


Figura 12 – Boxplot para os valores médios mensais de precipitação pluviométrica registrada na área de campo nativo e mata nativa (teste “t” de Student ao nível de significância de 5%).

Apesar dos dados de precipitação interna e interceptação apresentados na Tabela 2, tais variáveis não foram utilizadas no cálculo do balanço hídrico do solo, conforme será discutido no decorrer deste trabalho. As Figuras 13 e 14 apresentam os volumes de precipitação incidente externamente a mata nativa, precipitação interna e interceptação pela vegetação e volumes acumulados mensalmente durante todo o período analisado. Observa-se que 58 % do volume total precipitado atingiram o interior da floresta e 42 % foram interceptados pela vegetação. Durante o período de estudo, os volumes acumulados da precipitação ocorrida externamente a mata e da precipitação interna à área de mata nativa foram iguais a 2333 mm e 1353 mm, respectivamente, enquanto que o volume interceptado pela vegetação foi igual a 980 mm. No entanto, devido ao monitoramento da precipitação interna e da interceptação terem sido realizadas de maneira pontual, utilizando-se apenas um pluviógrafo instalado em ponto fixo no interior da floresta, não é possível fazer análise que assegure a representativa dos valores monitorados. Sari (2011) estudou a interceptação em área com vegetação semelhante e muito próxima aos pontos de monitoramento, estabelecendo a necessidade da manutenção de um número mínimo de instrumentos, que varia de acordo com o tipo de vegetação, necessário para garantir que o erro no monitoramento da precipitação interna fique dentro de valores aceitáveis. A autora sugere que estudos de interceptação devem considerar um número inicial de 20 instrumentos para condições de mata nativa quando a vegetação apresenta um padrão uniforme e a utilização de um número mais

elevado de instrumentos (40 aparelhos) para condições de vegetação densa e com padrão variável. Como a vegetação da mata nativa que predomina no entorno do lisímetro é composta por árvores com padrão variado de altura, diâmetro do caule e área da copa, o monitoramento da precipitação interna torna-se complexo. No entorno do lisímetro existem árvores de grande porte, com galhos pendentes que podem conduzir a precipitação interceptada para pontos específicos, de forma a aumentar a contribuição nestes pontos. Sari (2011) obteve valores de precipitação interna superiores a precipitação externa, concluindo que existem caminhos preferências e pontos de gotejamento capazes de condicionar o escoamento da água coletada para determinados pontos de captação, que podem levar a conclusões tendenciosas mascarando os resultados. No interior do lisímetro existem duas pequenas árvores com aproximadamente 1,5 m de altura e 0,5 m de diâmetro de copa. Assim, a precipitação que ultrapassa a copa das árvores maiores e chega a copa destas árvores localizadas no interior do lisímetro, pode ser conduzida pelo tronco até o solo, sendo impossível contabilizar estes volumes, nas condições em que este estudo foi conduzido. Desta forma optou-se pela adoção da precipitação externa a floresta para a quantificação do balanço hídrico.

Tabela 2 – Distribuição mensal da precipitação pluviométrica incidente acima do dossel, precipitação interna e interceptação pela vegetação para a área de mata nativa.

Período	Precipitação Incidente	Precipitação Interna	Interceptação
	----- (mm) -----		
Janeiro/2012	58,50	33,20	25,30
Fevereiro/2012	285,41	152,20	133,21
Março/2012	92,54	53,41	39,13
Abril/2012	113,81	74,95	38,86
Maio/2012	199,08	68,00	131,08
Junho/2012	40,61	13,00	27,61
Julho/2012	113,92	79,60	34,32
Agosto/2012	53,64	31,40	22,24
Setembro/2012	198,22	125,57	72,65
Outubro/2012	331,43	236,16	95,27
Novembro/2012	64,77	44,10	20,67
Dezembro/2012	357,90	207,48	150,43
Janeiro/2013	84,58	51,75	32,83
Fevereiro/2013	143,79	75,18	68,62
Março/2013	194,86	107,33	87,54
<b>TOTAL (mm)</b>	<b>2333</b>	<b>1353</b>	<b>980</b>

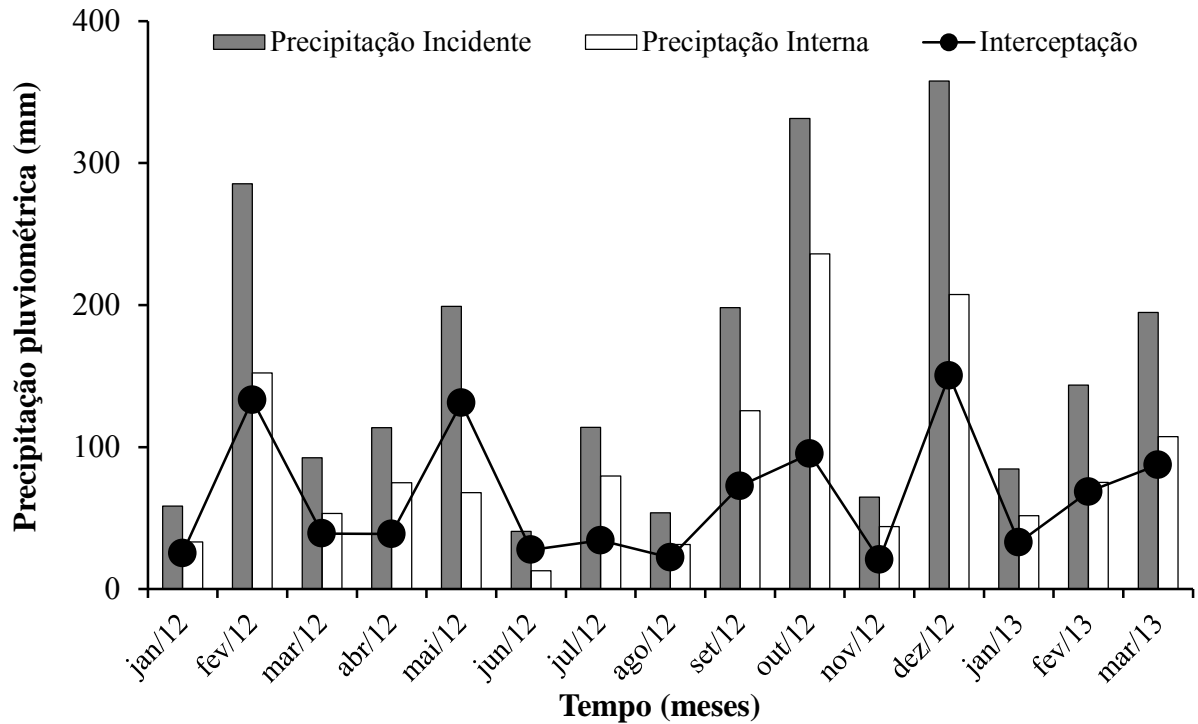


Figura 13 – Volumes mensais da precipitação incidente acima do dossel, precipitação interna e interceptação pela vegetação para a área de mata nativa.

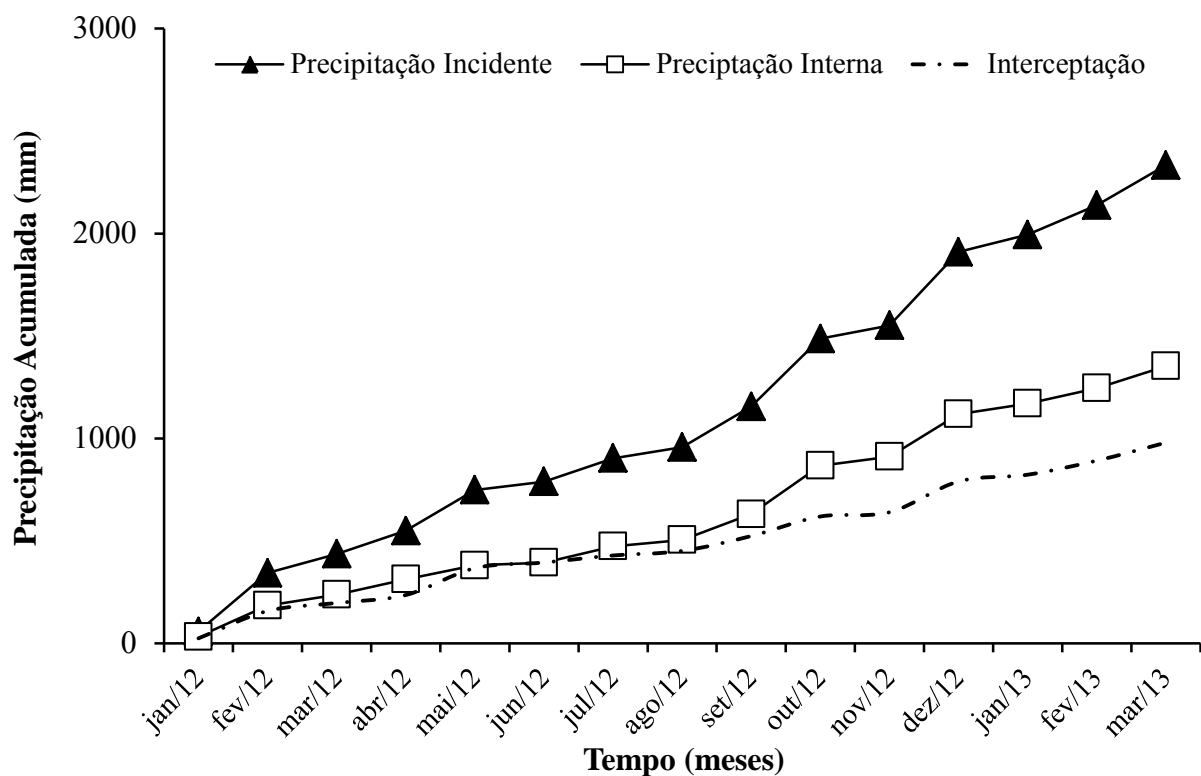


Figura 14 – Volumes mensais acumulados da precipitação incidente acima do dossel, precipitação interna e interceptação pela vegetação para a área de mata nativa.

#### 4.1.2 Radiação solar e temperatura do ar

A radiação solar foi a variável meteorológica que mais diferiu entre os dois ambientes e que certamente teve maior influência sobre a evapotranspiração (Figura 15). Para o campo nativo a radiação solar média mensal variou entre  $8,92 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  no mês de junho de 2012 e  $25,45 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  no mês de novembro de 2012. Já no interior da mata nativa, a radiação solar média mensal variou entre  $0,09$  e  $6,91 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , valores estes registrados nos meses de junho de 2012 e março de 2013, respectivamente. A radiação solar média mensal para todo o período considerado, foi igual a  $17,48 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  na área de campo nativo e apenas  $1,63 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  no interior da mata nativa. Observa-se que a radiação solar global transmitida para o interior da mata representou 9,3 % da radiação solar medida no ambiente de campo nativo, sofrendo variações durante o ano. Hernandez et al. (2004), em observações realizadas no estado de São Paulo, obtiveram valores de  $19,3 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para o ambiente externo e  $1,1 \text{ MJm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  no interior de um fragmento de mata semidecídua. Tais valores são muito próximos aos encontrados neste estudo. Percebe-se ainda que a radiação solar incidente no interior da floresta permaneceu próxima a zero na maior parte do tempo (de março a outubro de 2012), aumentando apenas a partir do mês de novembro de 2012.

A Figura 16 apresenta a diferença média entre as temperaturas mensais registradas no campo nativo e no interior da mata nativa. A temperatura média mensal, registrada durante todo o período de estudo, foi igual a  $20,7 \text{ }^\circ\text{C}$  para a área de campo nativo e  $19,0 \text{ }^\circ\text{C}$  no interior da mata nativa. Apesar desta diferença de  $1,7 \text{ }^\circ\text{C}$  o teste de médias “t” de Student não indicou diferença significativa entre os dois ambientes ao nível de significância de 5 % (Figura 17). As maiores temperaturas médias mensais foram observadas no mês de fevereiro de 2012, quando foram registrados  $25,8 \text{ }^\circ\text{C}$  no campo nativo e  $24,5 \text{ }^\circ\text{C}$  no interior da mata. Já as menores temperaturas ocorreram durante o mês de julho de 2012 quando foram registrados valores médios de  $13,4 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $10,5 \text{ }^\circ\text{C}$  para o campo nativo e mata nativa, respectivamente. A menor temperatura obtida no interior da mata nativa pode ser atribuída ao sombreamento causado pela copa das árvores que impediu a incidência direta de radiação neste ambiente e como consequência, menor aporte de energia neste ambiente.

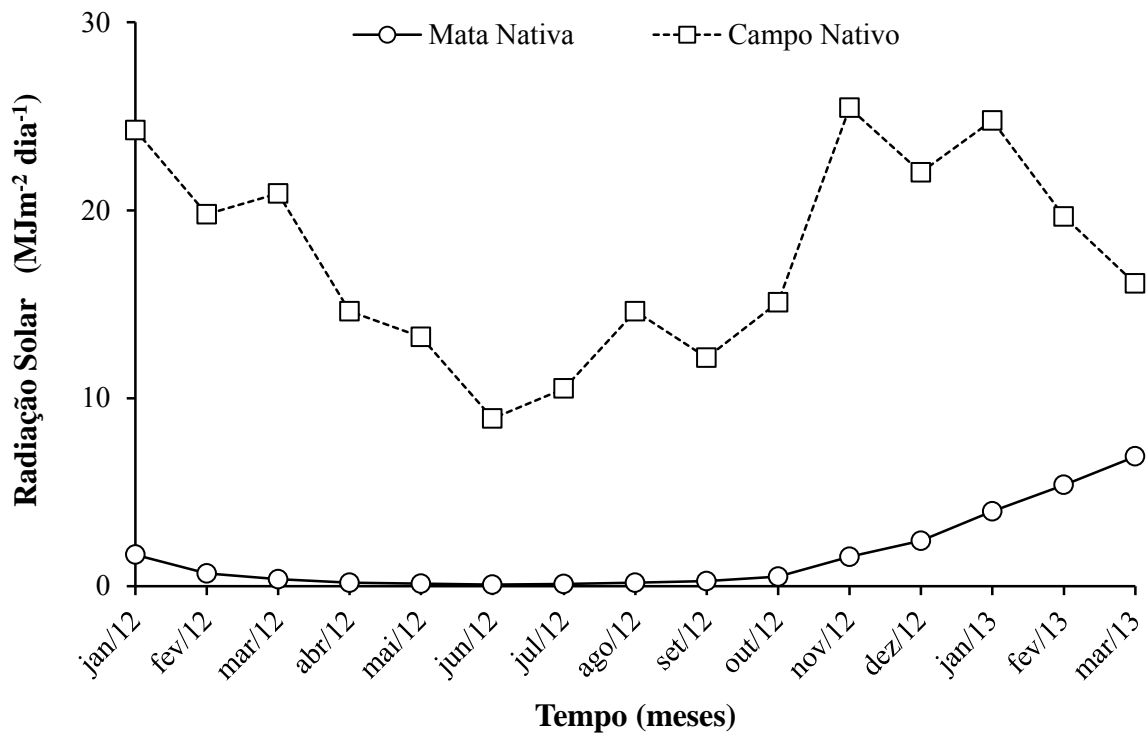


Figura 15 – Radiação solar média mensal registrada no campo nativo e no interior da mata nativa.

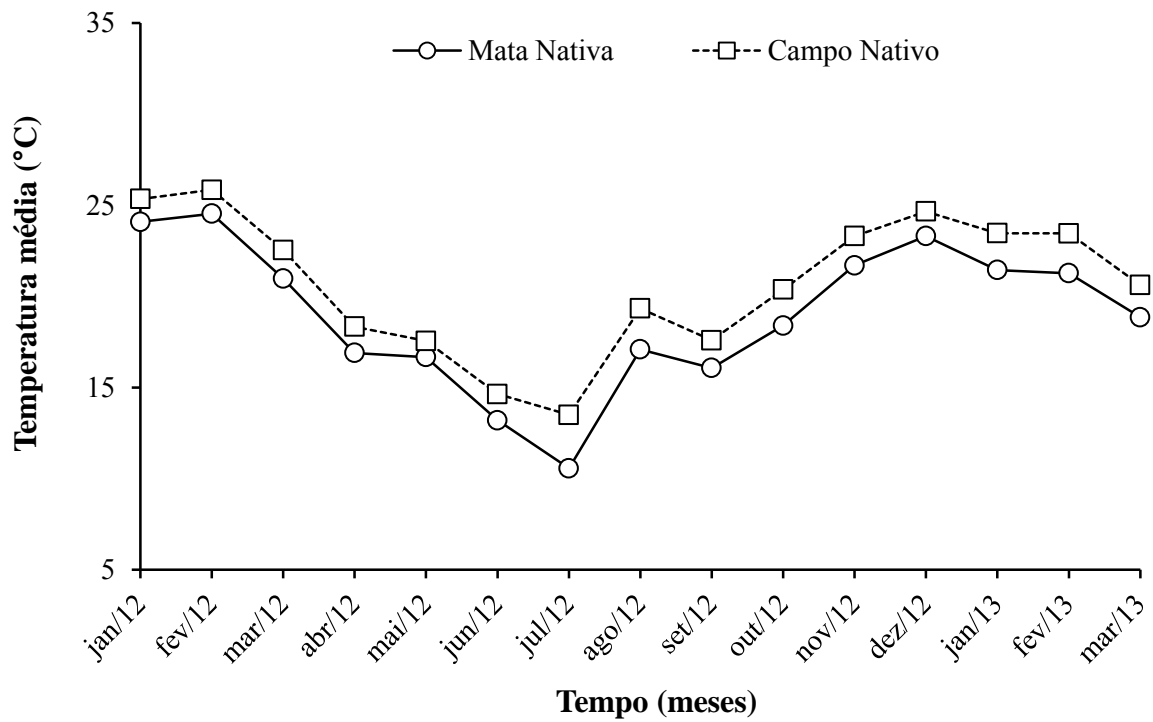


Figura 16 – Temperaturas médias mensais registradas no campo nativo e no interior da mata nativa.

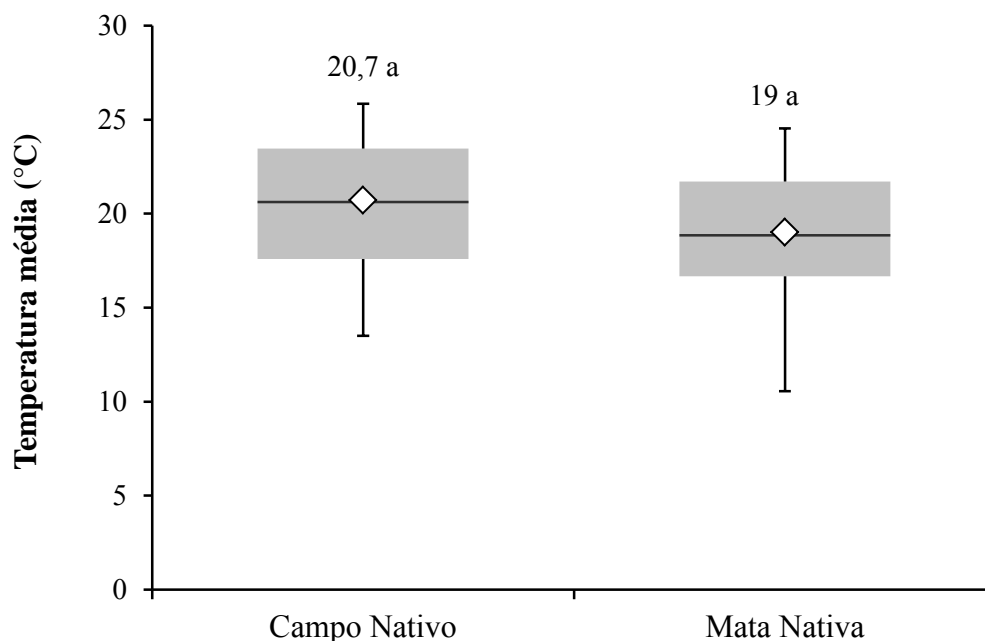


Figura 17 – Boxplot para os valores médios mensais de temperatura registrada no campo nativo e no interior da mata nativa (teste “t” de Student ao nível de significância de 5%).

#### 4.1.3 Evapotranspiração potencial

Durante a maior parte do período estudado, a evapotranspiração potencial calculada foi maior no ambiente de campo nativo quando comparado ao ambiente de mata nativa. No campo nativo os valores médios mensais de evapotranspiração potencial variaram entre 1,61 e 6,12 mm dia<sup>-1</sup>, registrados nos meses de junho e janeiro de 2012, respectivamente. Já no interior da mata estes valores variaram entre 1,10 e 4,92, sendo registrados no mês de julho de 2012 e fevereiro de 2013, respectivamente (Figura 18). Conforme Figura 19, os valores médios de evapotranspiração potencial calculados para o período de estudo foram iguais a 3,86 mm, enquanto que no interior da mata nativa tais valores foram iguais a 2,64 mm, apresentando diferença significativa entre os dois ambientes. O maior valor da evapotranspiração no campo nativo foi influenciado pela maior energia disponível para os processos evapotranpirativos neste ambiente. Tal resultado demonstra a formação de microclimas diferenciados no entorno de cada lisímetro. Isto se deve principalmente a menor penetração da luz abaixo do dossel da mata, tendo influência sobre as variáveis

meteorológicas internas a mata e consequentemente, diminuindo o aporte de energia para o processo evapotranspirativo.

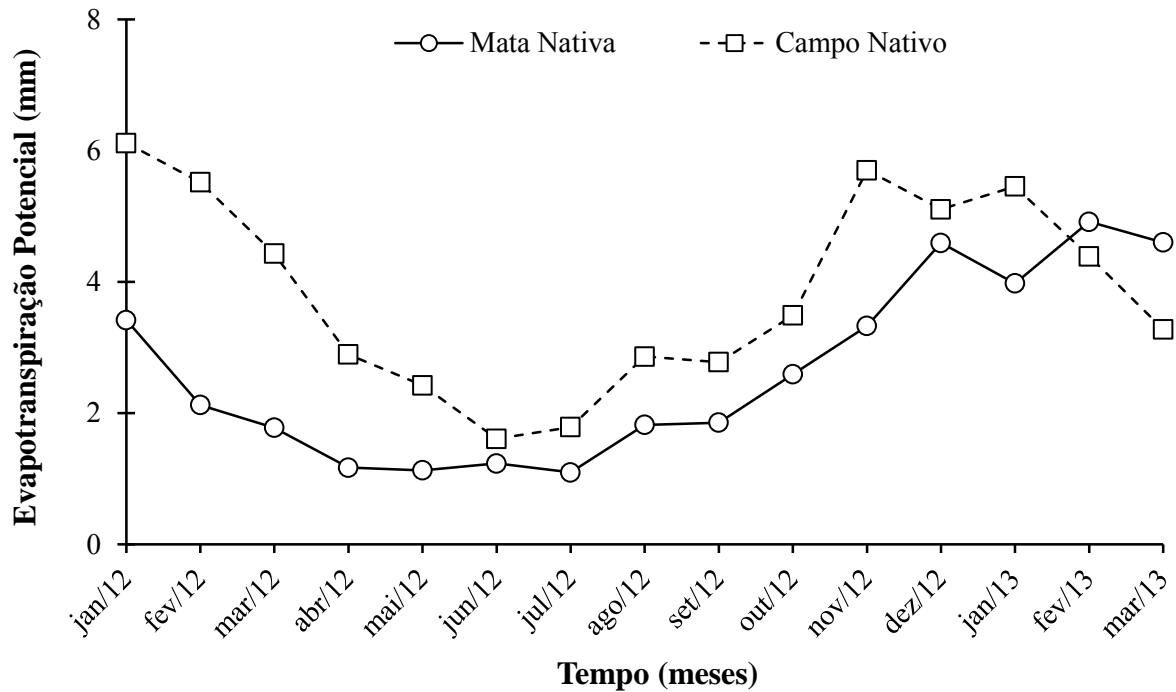


Figura 18 – Evapotranspiração potencial média mensal calculada para a área de campo nativo e no interior da mata nativa.

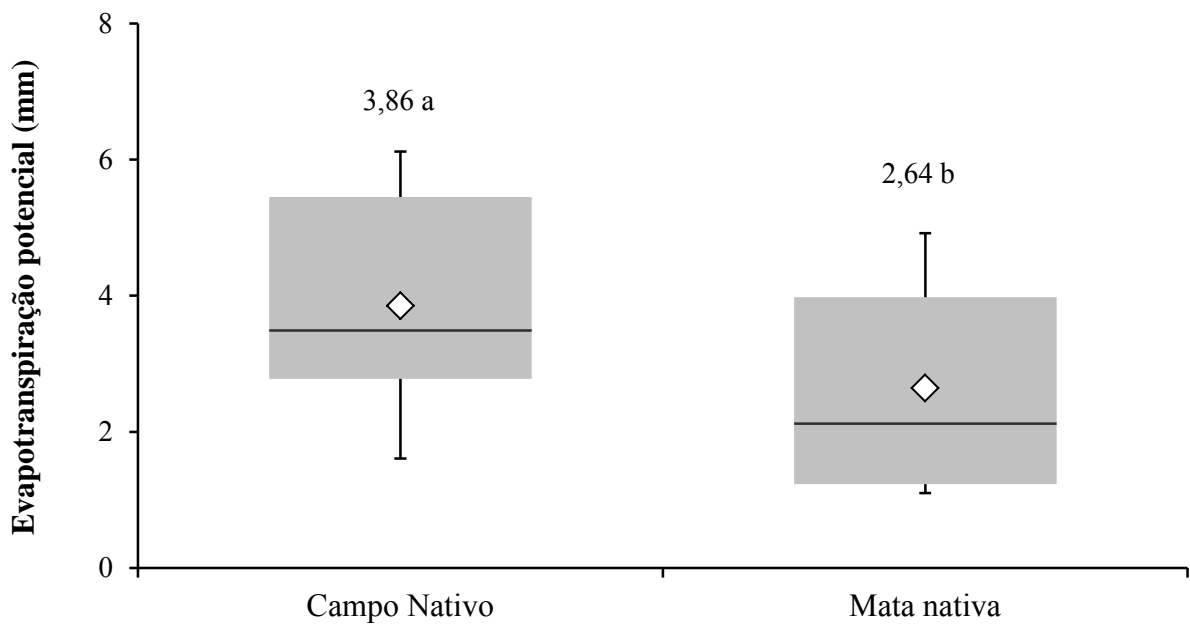


Figura 19 – Boxplot para os valores médios mensais de evapotranspiração potencial calculada para a área de campo nativo e no interior da mata nativa (teste “t” de Student ao nível de significância de 5%).

## 4.2 Caracterização físico-hídrica do solo

Conforme Figura 20, observa-se que as porcentagens de areia são menores na área de mata nativa quando comparadas a área de campo nativo, havendo pequena variação da porcentagem de areia com o aumento da profundidade. Para a área de mata nativa a fração areia varia entre 45,10 e 47,80 %, apresentando valor médio igual a 46,43 %. Já na área de campo nativo a porcentagem de areia varia entre 88,50 e 92,30 %, apresentando valor médio de 89,73 %. Existe uma distribuição proporcional entre as frações areia fina e areia grossa para o solo da mata nativa, com valores médios iguais a 25,30 e 21,13 %, respectivamente (Figura 21). Já para o solo do campo nativo observa-se uma maior proporção de areia fina (75,08 %) em relação a areia grossa (14,65 %). No solo de mata nativa os teores médios de silte e argila são iguais a 38,54 e 15,03 %, respectivamente, enquanto que para o campo nativo estes valores diminuem para 6,15 e 4,12 %, respectivamente. A Figura 22 apresenta a variação dos teores de argila e silte em função da profundidade, para as condições de campo e mata nativa. Percebe-se uma pequena diminuição da fração argila e aumento da fração silte, na profundidade de 30 cm, para o solo do campo nativo. Já para o solo da área de mata nativa, esta mesma variação nos teores de argila e silte são observadas na profundidade de 20 cm.

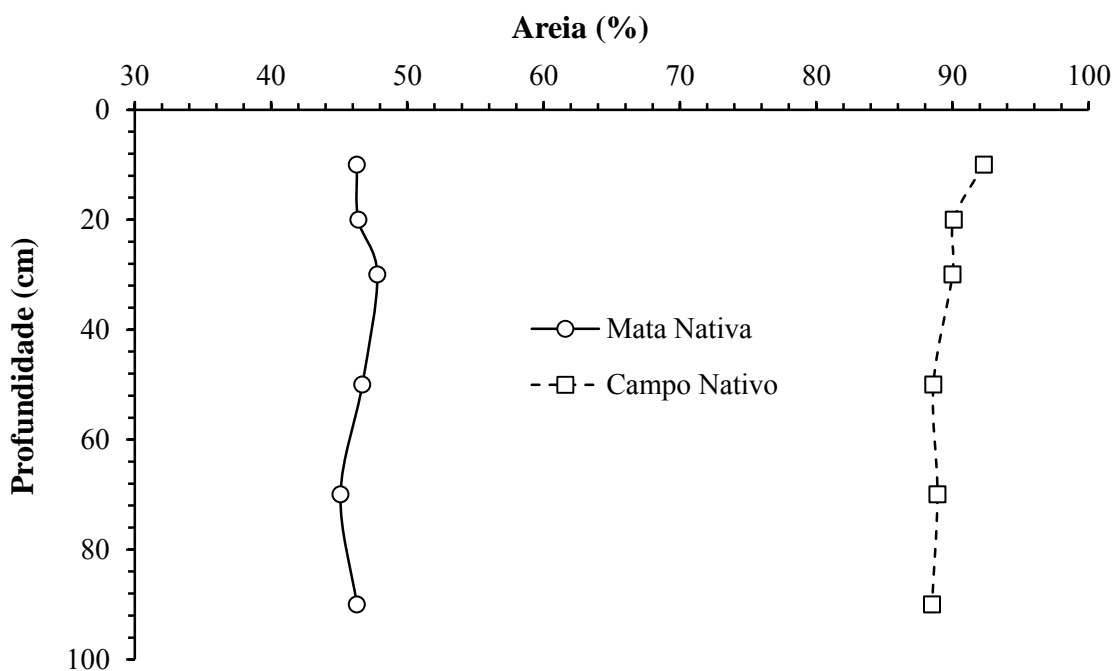


Figura 20 – Valores médios da fração areia para o solo da área de mata nativa e campo nativo em função da profundidade.



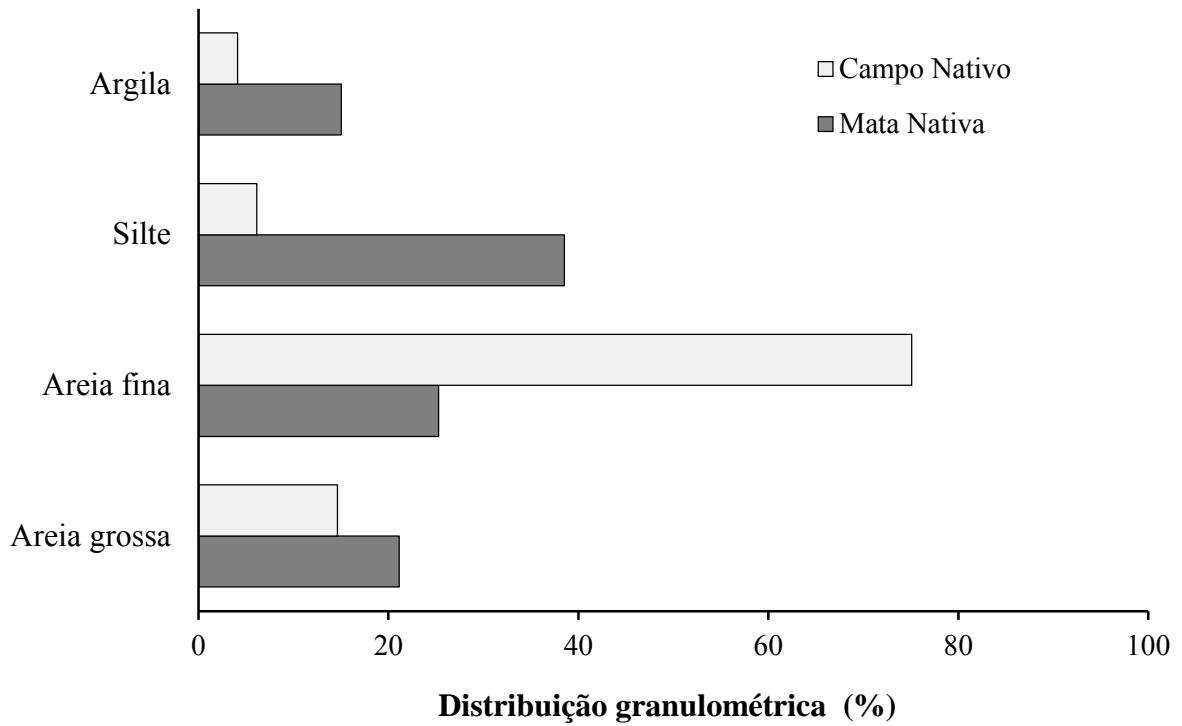


Figura 21 – Porcentagem média de areia fina, areia grossa, silte e argila dos solos da área de mata nativa e campo nativo.

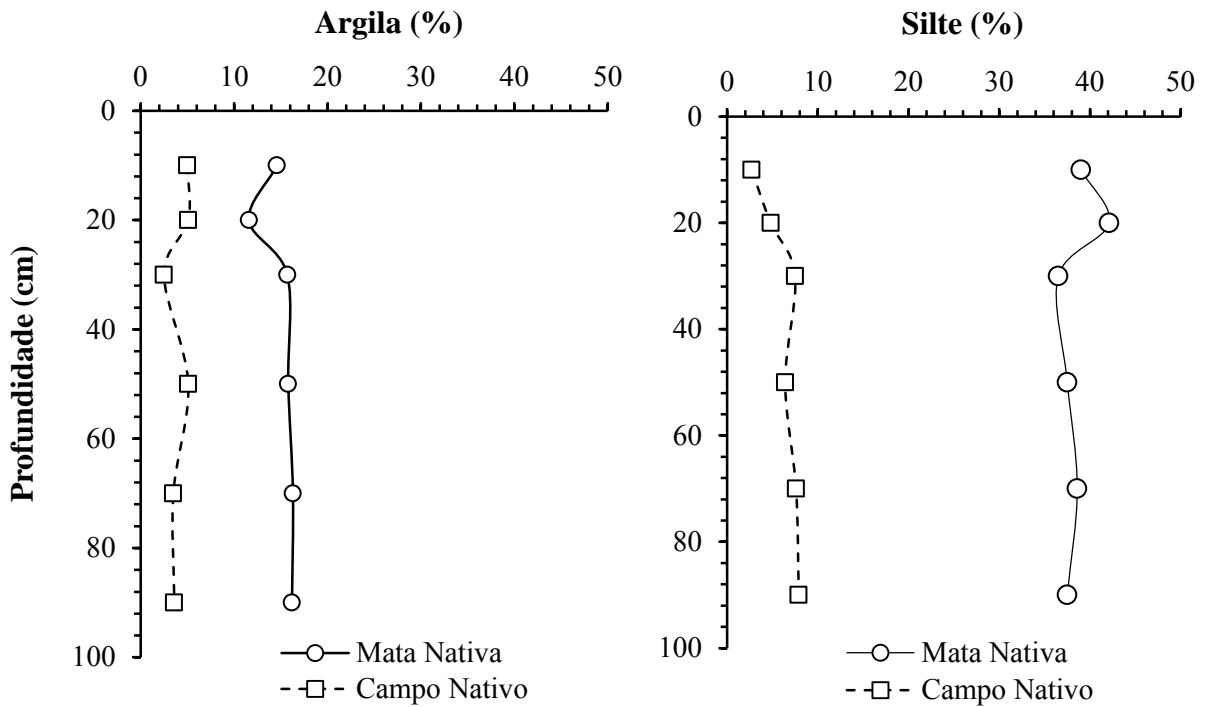


Figura 22 – Valores médios das frações argila e silte para o solo da área de mata nativa e campo nativo em função da profundidade.

Com relação a porosidade do solo, observa-se que a macroporosidade é maior no solo do campo nativo quando comparado ao solo da mata nativa, devido aos maiores teores de areia (Figura 23). Já o solo de mata nativa apresenta maior microporosidade em virtude dos maiores teores de argila e silte. Percebe-se que a macroporosidade é bastante variável entre as diferentes profundidades analisadas enquanto que a microporosidade se mantém mais constante ao longo do perfil. Chama-se a atenção para a camada de solo compreendida entre as profundidades de 20 e 30 cm. No campo nativo, percebe-se que ocorre um aumento na macroporosidade e consequente diminuição da microporosidade na profundidade de 30 cm. No solo de mata nativa observa-se que a profundidade de 20 cm apresenta um aumento na microporosidade e menor macroporosidade. Conforme Figura 24, observa-se um aumento na porosidade total entre as profundidades de 10 e 30 cm para ambos os solos analisados, em relação a superfície. A partir da profundidade de 30 cm ocorrem situações diferenciadas. No solo do campo nativo, a porosidade total se mantém constante até a profundidade de 70 cm, passando a diminuir na profundidade de 90 cm. Na mata nativa a porosidade total diminui até a profundidade de 70 cm, aumentando na profundidade de 90 cm. Tais variações nas proporções de macroporos e microporos do solo refletem condições diferenciadas de armazenamento e fluxos de água ao longo do perfil do solo, as quais serão comentadas ao longo deste trabalho.

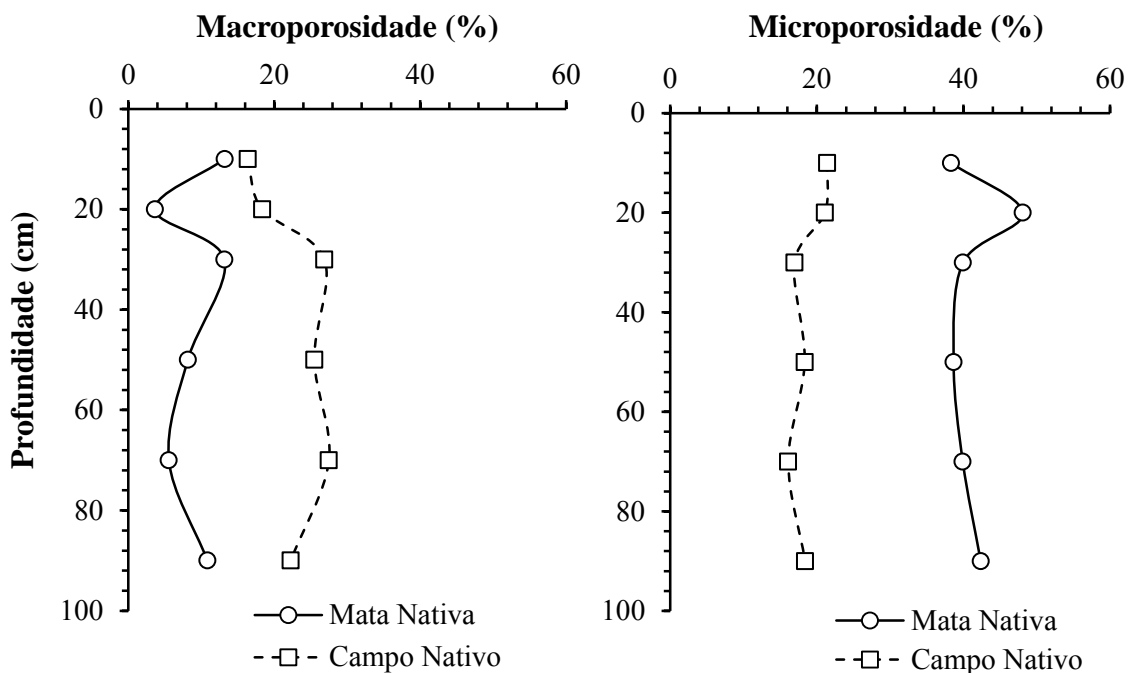


Figura 23 – Variação da macro e microporosidade para o solo da área de mata nativa e campo nativo em função da profundidade.

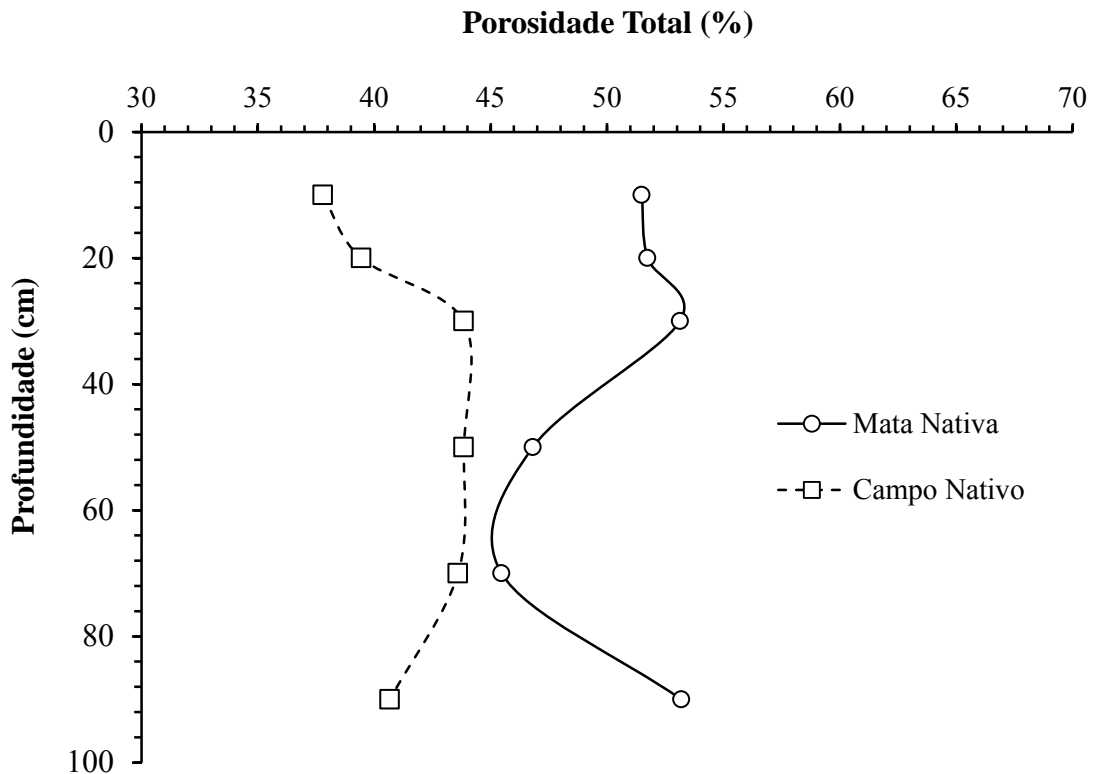


Figura 24 – Variação da porosidade total para o solo da área de mata nativa e campo nativo em função da profundidade.

Nas Figuras 25 e 26 são apresentadas as curvas de retenção de água no solo obtidas para o solo da área de campo nativo e mata nativa, respectivamente. Pela análise da Tabela 3 e da Figura 27 é possível constatar que o solo da mata nativa tem maior capacidade de armazenamento de água que o solo do campo nativo. Assumindo-se a tensão de -10 kPa como ponto teórico da capacidade campo, é possível traçar perfis de umidade para os solos dos dois ambientes considerados. O conteúdo médio de água no solo para o campo nativo e a mata nativa é igual a 0,165 e 0,425  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , respectivamente. Em ambos os solos observa-se que o conteúdo de água no solo, na situação de capacidade de campo, aumenta na profundidade de 20 cm, seguido de uma diminuição na profundidade de 30 cm. No solo da mata nativa, a partir de 30 cm de profundidade, a capacidade de campo e o conteúdo de água no solo tendem a aumentar com o aumento da profundidade. Já no campo nativo, a partir de 30 cm de profundidade, observa-se uma tendência da diminuição do conteúdo de água no solo com o aumento da profundidade. Este comportamento deve-se as diferenças observadas nas características físicas dos solos considerados, estando relacionado a proporção de macroporos e classes texturais.

Considerando o conceito de que o conteúdo de água disponível para as plantas esta compreendido entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, na Figura 28 são apresentados os perfis de água disponível tomando como referência a capacidade de campo correspondente as tensões de -10 kPa e o ponto de murcha permanente igual a -1500 kPa. O valor médio do conteúdo de água disponível no solo do campo nativo é igual a 0,112 e  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ , enquanto que para o solo da mata nativa o valor médio do conteúdo de água disponível no solo é igual a 0,236  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ . É possível ainda fazer uma análise mais detalhada da disponibilidade de água no solo ao longo do perfil. Conforme citado anteriormente, para ambos os solos, o conteúdo de água aumenta na profundidade de 20 cm, diminuindo na profundidade de 30 cm e volta a aumentar na profundidade de 50 cm. No campo nativo, o conteúdo de água disponível no solo tende a diminuir com o aumento da profundidade enquanto que para a mata nativa há uma pequena diminuição na profundidade de 70 cm seguida por um aumento na profundidade de 90 cm. O Apêndice A apresenta um resumo das principais características físicas dos solos dos dois ambientes, obtidos a partir de análises laboratoriais.

Tabela 3 – Parâmetros hídricos do solo ajustados pelo modelo de Genuchten (1980), utilizando-se o software SWRC.

	Prof. (cm)	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	m	n
		--- ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) ---				
Campo Nativo	10	0,05	0,431	1,2766	0,0414	9,403
	20	0,07	0,433	1,4319	0,0407	8,695
	30	0,06	0,491	1,2121	0,0539	11,957
	50	0,02	0,490	1,2837	0,0389	11,718
	70	0,03	0,439	1,277	0,0489	10,538
	90	0,09	0,422	0,1497	2,0160	1,284
Mata Nativa	10	0,14	0,584	0,0018	3,0633	0,4366
	20	0,20	0,612	0,0004	4,575	0,4708
	30	0,21	0,578	1,1614	0,1632	1,8607
	50	0,18	0,557	0,0218	1,4097	0,4689
	70	0,21	0,55	0,0028	2,5795	0,4272
	90	0,19	0,602	0,0003	5,1923	0,4056

$\theta_r$  = conteúdo volumétrico de água residual no solo;  $\theta_s$  = conteúdo volumétrico de água na saturação do solo;  $\alpha$ , m e n = coeficientes empíricos da equação de Van Genuchten.

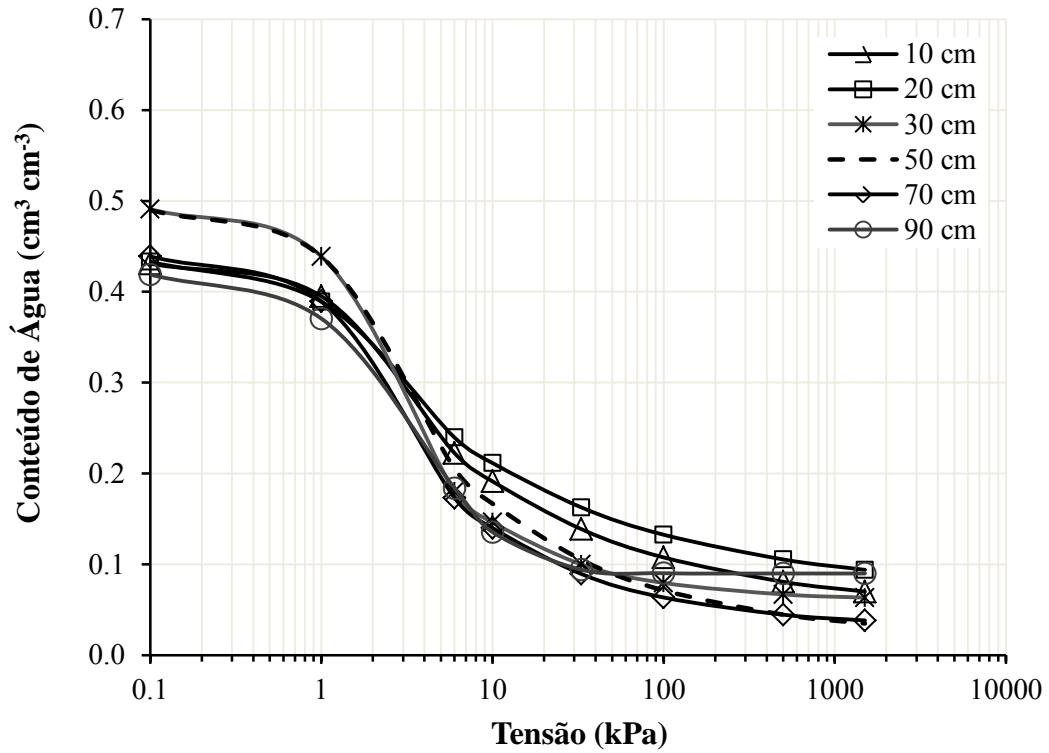


Figura 25 – Curvas de retenção de água no solo para as diferentes profundidades, ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980) (Campo Nativo).

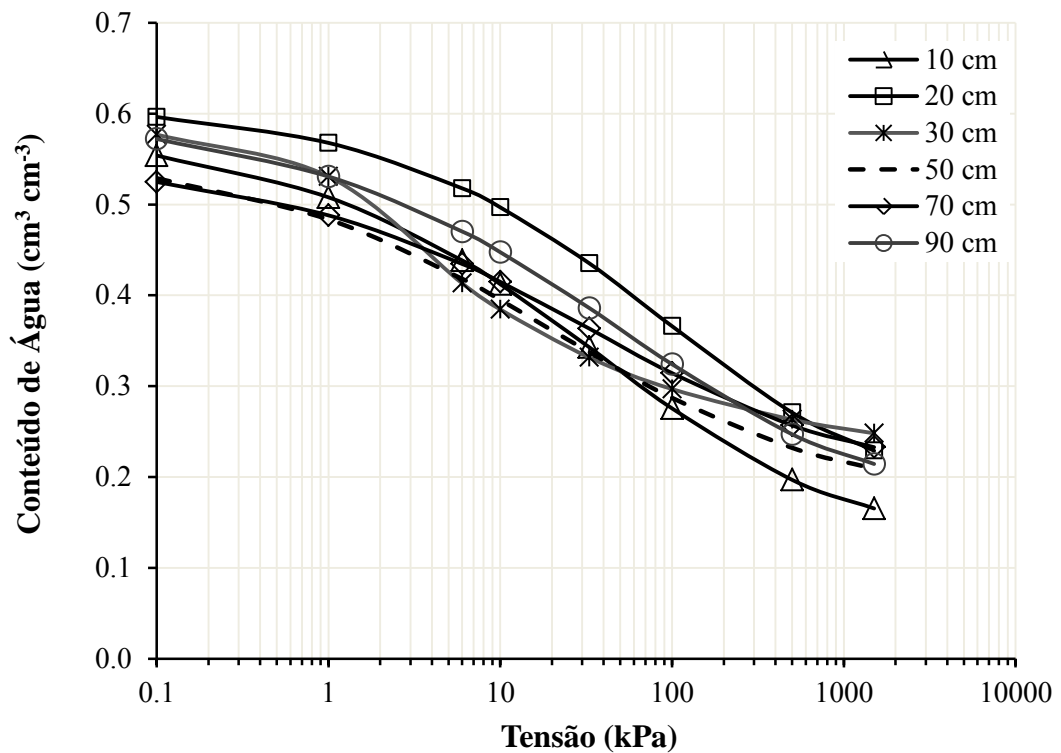


Figura 26 – Curvas de retenção de água no solo para as diferentes profundidades, ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980) (Mata Nativa).

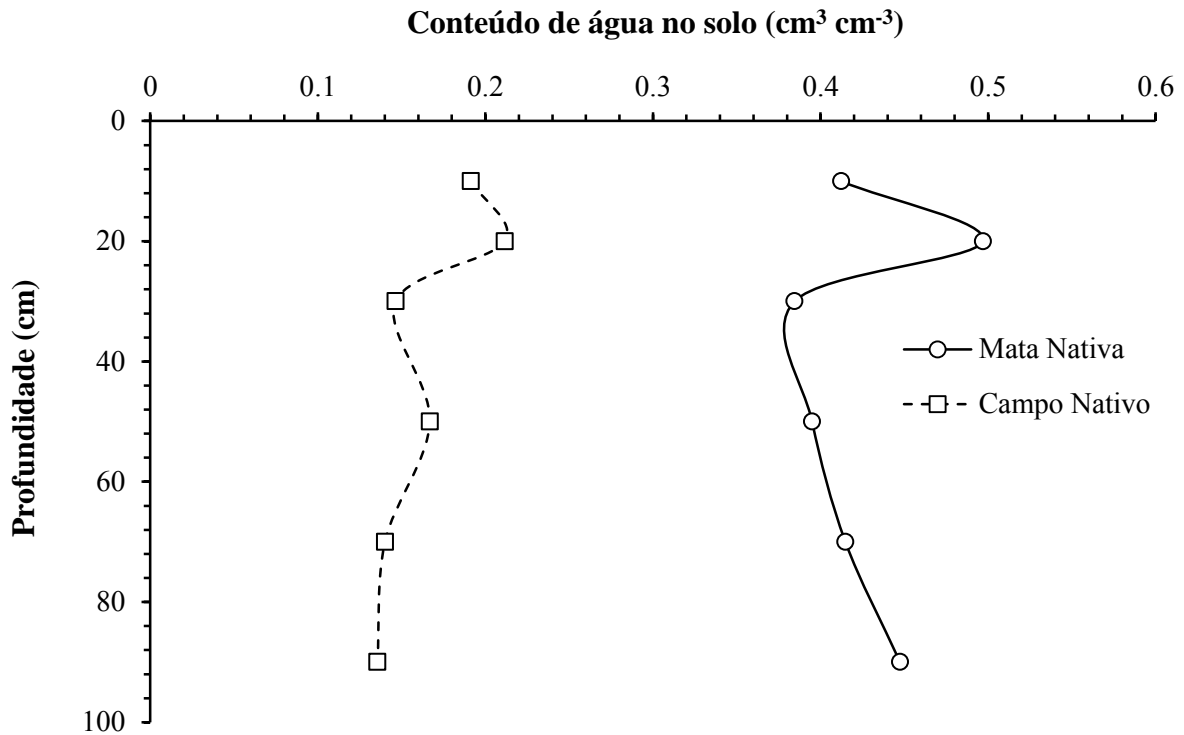


Figura 27 – Perfis de umidade do solo para os pontos teóricos de capacidade de campo adotados, para o solo de mata nativa e campo nativo.

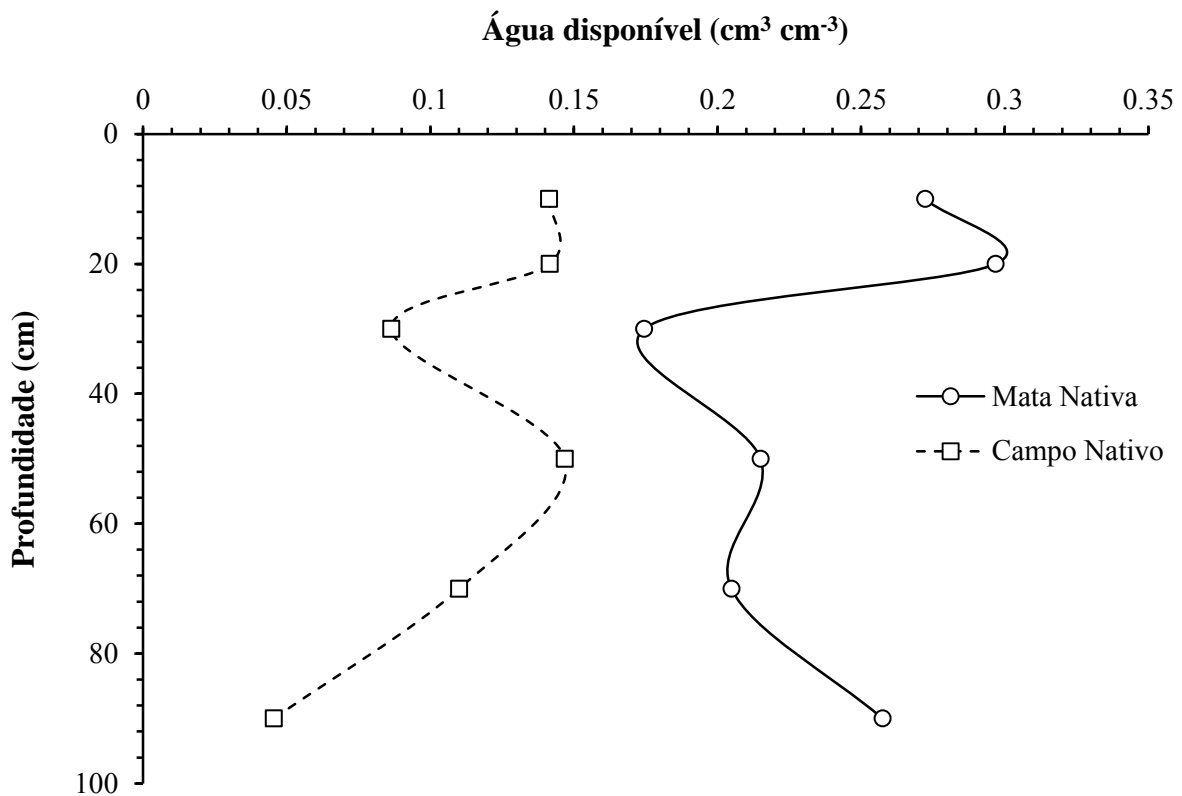


Figura 28 – Conteúdo de água disponível no solo em função dos pontos teóricos de capacidade de campo adotados, para o solo de mata nativa e campo nativo.

### 4.3 Armazenamento de água no solo

O monitoramento da tensão de água no solo só pôde ser iniciado a partir de fevereiro de 2012, já que o período anterior foi caracterizado por uma época seca e que já vinha acumulando déficits hídricos desde os meses anteriores. Neste período, para o campo nativo, os valores de tensão ultrapassaram os limites máximos de operação dos tensiômetros, inviabilizando o monitoramento desta variável. Já no lisímetro instalado no interior da mata nativa, apenas a profundidade 10 cm sofreu grandes alterações, atingindo o valor máximo de tensão de 73,3 kPa. No entanto, estes valores mantiveram-se dentro dos limites de operação dos tensiômetros evidenciando menores perdas de água do solo na condição de mata nativa.

Analisando os dados registrados pelos tensiômetros instalados nas profundidades de 10, 30 e 70 cm observa-se que no campo nativo, os maiores valores e as maiores variações da tensão de água no solo ocorreram nas profundidades de 30 e 10 cm, respectivamente, enquanto que na profundidade de 70 cm os valores de tensão mantiveram-se mais estáveis (Figura 29). Já no lisímetro instalado na área de mata nativa, as maiores oscilações na tensão de água no solo ocorrem na profundidade de 10 cm, enquanto que nas profundidades de 30 e 70 cm estes valores mantiveram-se mais estáveis (Figura 30). Esta diferença de comportamento entre os dois ambientes está intimamente relacionado à ação dos fatores ambientais no entorno dos lisímetros e às diferenças nas características físicas do solo em cada profundidade. O fato de no campo nativo, a profundidade de 30 cm apresentar as maiores variações de tensão, pode ser atribuído às propriedades físicas do solo nesta profundidade, devido ao aumento na macroporosidade e diminuição da microporosidade, refletindo menor capacidade de armazenamento de água no solo.

Independente da profundidade analisada percebe-se a ocorrência de maiores flutuações e maiores valores de tensão de água no solo nas condições de campo nativo quando comparado a condição de mata nativa. Para a condição de campo nativo, os valores de tensão variaram entre 0,11 e 46,26 kPa para a profundidade de 10 cm, entre 1,25 e 64,07 kPa para a profundidade de 30 cm e 3,65 e 8,87 kPa para a profundidade de 70 cm. Já para a mata nativa, observaram-se variações de tensão entre 0,98 e 25,27 kPa; 1,02 e 8,35 kPa; e 1,51 e 5,21 kPa para as profundidades de 10, 30 e 70 cm, respectivamente. Tal comportamento pode ser explicado pelas diferenças de microclima no entorno dos lisímetros, já que no campo nativo há uma maior exposição à radiação solar e à maiores temperaturas, ocasionando maiores

demandas evapotranspirativas e a diminuição do conteúdo de água no solo. Na mata nativa, o lisímetro encontra-se sombreado pela copa das árvores, impedindo a incidência direta da radiação solar sobre a superfície do solo e propiciando a formação de um microclima com temperaturas mais amenas, reduzindo as perdas de água do solo e em consequência mantendo a tensão mais estável. Outro fator importante está relacionado às diferenças nas características físicas dos solos das duas áreas, principalmente a maior macroporosidade observada na área de campo nativo, devido às maiores proporções de areia, reduzindo a tensão com que a água é retida pelos poros do solo, em relação ao solo da mata nativa. Isto explica o fato dos valores de tensão de água no solo manterem-se dentro dos limites de operação dos tensiômetros, no lisímetro instalado no interior da mata nativa, mesmo em um período de seca prolongada, enquanto que no lisímetro da área de campo nativo, o secamento excessivo do solo fez com que a tensão excedesse os limites de operação dos tensiômetros até mesmo para as maiores profundidades. Com relação as influências das épocas do ano sobre a tensão de água no solo é possível observar que durante o período de verão, ocorreram as maiores amplitudes de variação, sendo seus efeitos mais perceptíveis nas condições de campo nativo e nas menores profundidades. Durante o período de inverno, entre os meses de abril e outubro, observa-se clara tendência à diminuição das variações e valores de tensão de água no solo, tendendo a uma maior estabilidade. Para a condição de mata nativa, estas diferenças foram mais amenas, sendo observadas mudanças nos padrões de tensão apenas para a profundidade de 10 cm.

A Tabela 4 apresenta as médias de tensão de água no solo em função das diferentes profundidades para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa. Pelo teste de médias é possível observar que, em ambos os ambientes considerados, existem diferenças significativas nos valores de tensão de água no solo em função das profundidades analisadas. Os Apêndices B, C e D apresentam os valores diários de tensão de água no solo, para cada profundidade separadamente.

Tabela 4 – Comparação das médias de tensão de água no solo (kPa) em diferentes profundidades para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa.

Profundidades	CAMPO NATIVO	MATA NATIVA
10 cm	8,9714 a	4,6662 a
30 cm	10,5379 b	4,0059 b
70 cm	6,4498 c	3,2533 c

Letras iguais na vertical não diferem significativamente entre si pelo teste “t” de Student ao nível de significância de 5%.



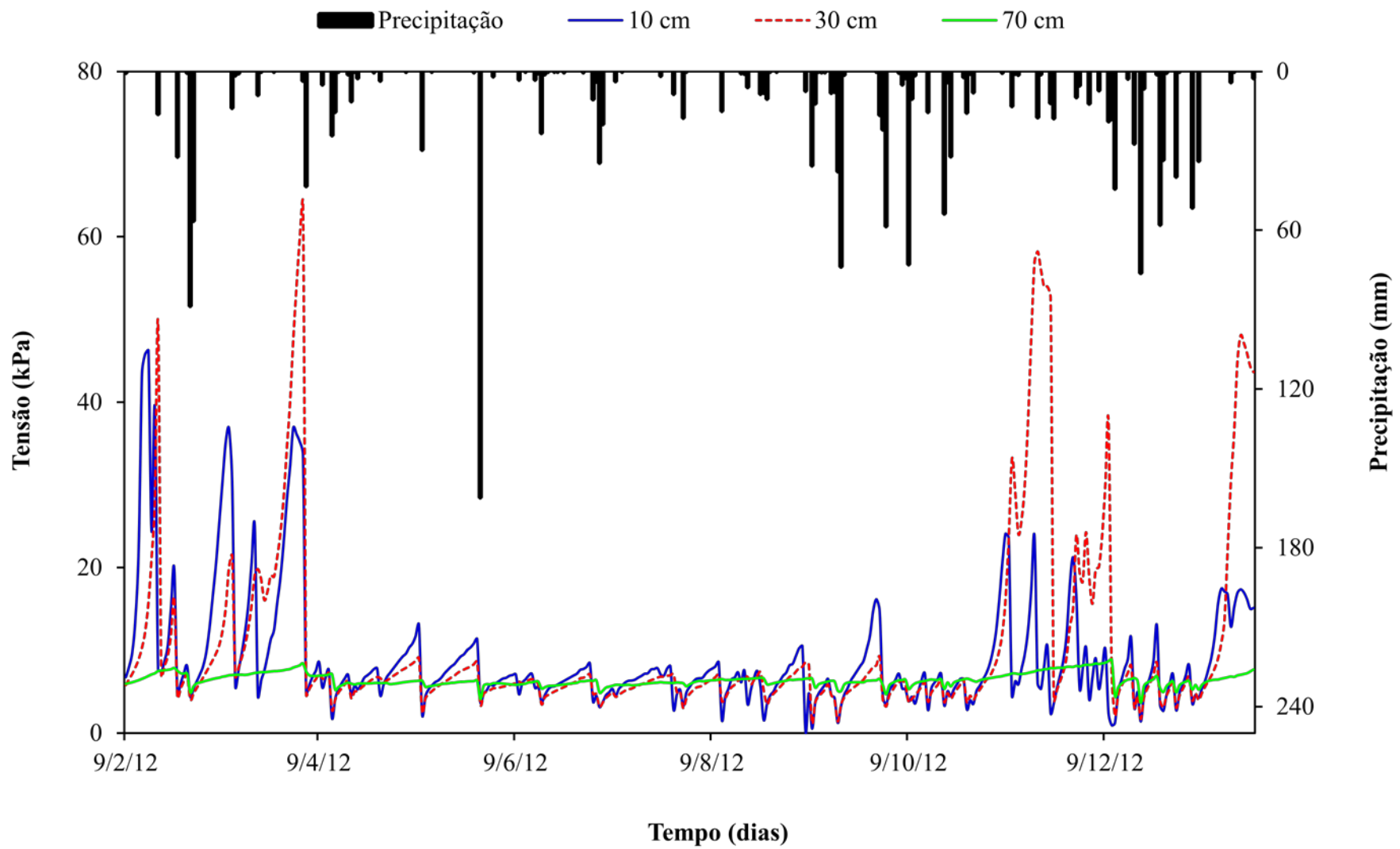


Figura 29 – Variação diária da tensão de água no solo registrada pelos tensiômetros para as profundidades de 10, 30 e 70 cm no lisímetro instalado em área de campo nativo.

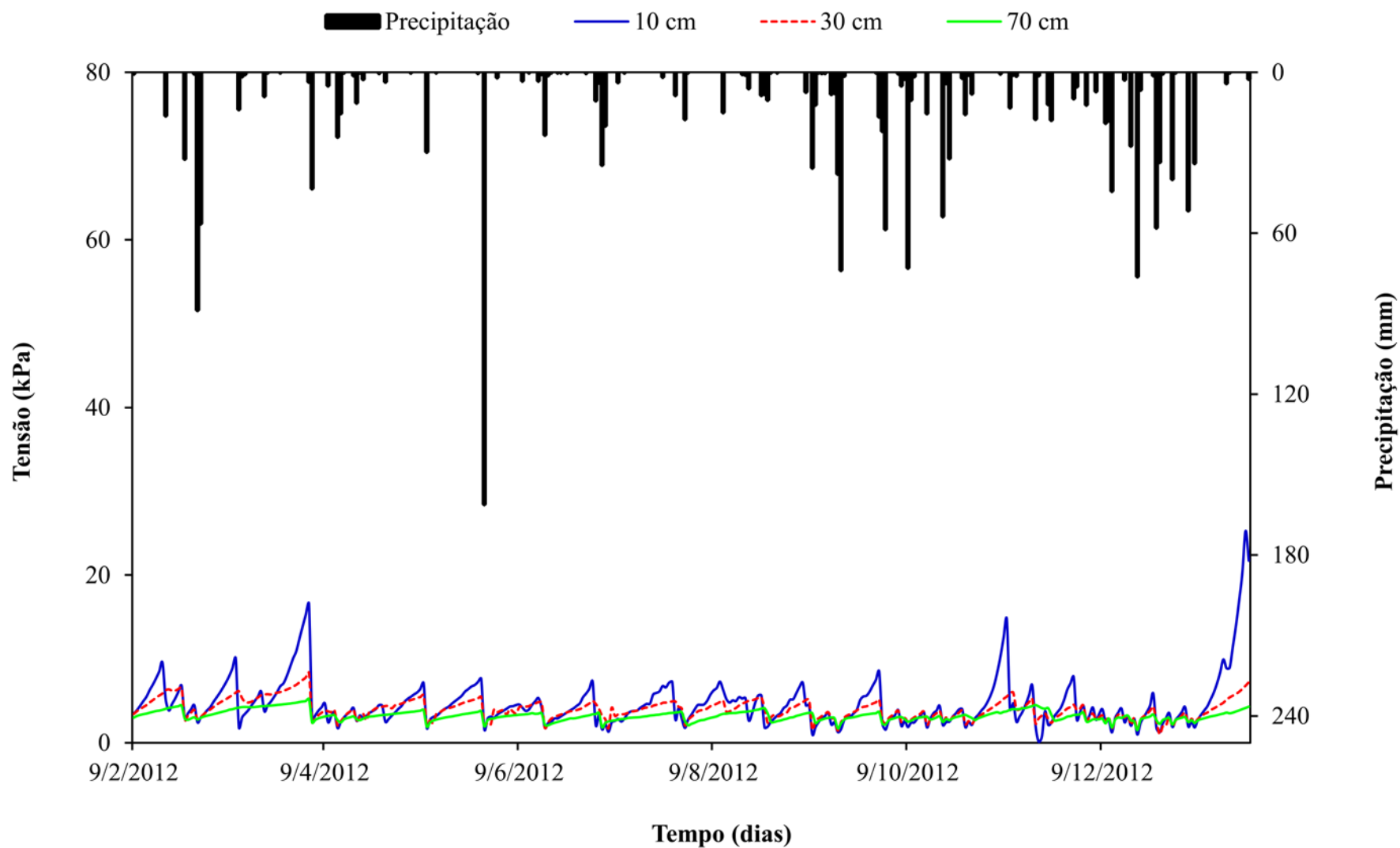


Figura 30 – Variação diária da tensão de água no solo registrada pelos tensiômetros para as profundidades de 10, 30 e 70 cm no lisímetro instalado em área de mata nativa.

A Figura 31 apresenta os valores diários de conteúdo de água no solo para o campo nativo, podendo identificar-se duas situações distintas ao longo do período analisado. Durante o inverno, o conteúdo de água no solo nas profundidades de 10 e 30 cm, manteve-se acima dos valores registrados na profundidade de 70 cm. Nos meses de verão ocorre a diminuição do conteúdo de água no solo nas profundidades de 10 e 30 cm, enquanto que a profundidade de 70 cm não sofre perdas tão acentuadas, passando a apresentar valores intermediários ou mesmo superiores as demais profundidades. Para a mata nativa, a faixa de variação do conteúdo de água no solo é menor que no campo nativo, assumindo uma mesma tendência durante todo o ano (Figura 32). Neste caso, logo após a ocorrência da precipitação, os maiores conteúdos de água no solo são observados nas profundidades de 10 e 30 cm, respectivamente. Após cessar a entrada de água no sistema, o conteúdo de água cai rapidamente nestas profundidades, enquanto que a profundidade 70 cm se mantém mais úmida.

A Tabela 5 apresenta as médias do conteúdo de água no solo para as diferentes profundidades para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa. No campo nativo há diferença significativa do conteúdo de água no solo entre a profundidade de 10 cm e as demais profundidades. No entanto, apesar das diferenças nas amplitudes de variações, não houve diferença significativa nos valores médios de conteúdo de água no solo entre as profundidades de 30 cm e 70 cm. Na mata nativa não existe diferença significativa entre as profundidades de 10 cm e 70 cm, enquanto que a profundidade de 30 cm, devido as suas características físicas, apresenta diferenças significativas em relação as demais profundidades. Conforme Apêndices E, F e G, em todas as profundidades o conteúdo de água no solo é maior na condição de mata nativa quando comparada a condição de campo nativo. As diferenças são de 53,11% para a profundidade de 10 cm; 60,09 % para a profundidade de 30 cm e 62,40% para a profundidade de 70 cm. Percebe-se que esta diferença aumenta com o aumento da profundidade.

Tabela 5 – Comparação das médias do conteúdo de água no solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) em diferentes profundidades para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa.

Profundidades	CAMPO NATIVO	MATA NATIVA
10 cm	0,2149 a	0,4551 a
30 cm	0,1717 b	0,4422 b
70 cm	0,1687 b	0,4560 a

Letras iguais na vertical não diferem significativamente entre si pelo teste “t” de Student ao nível de significância de 5%.

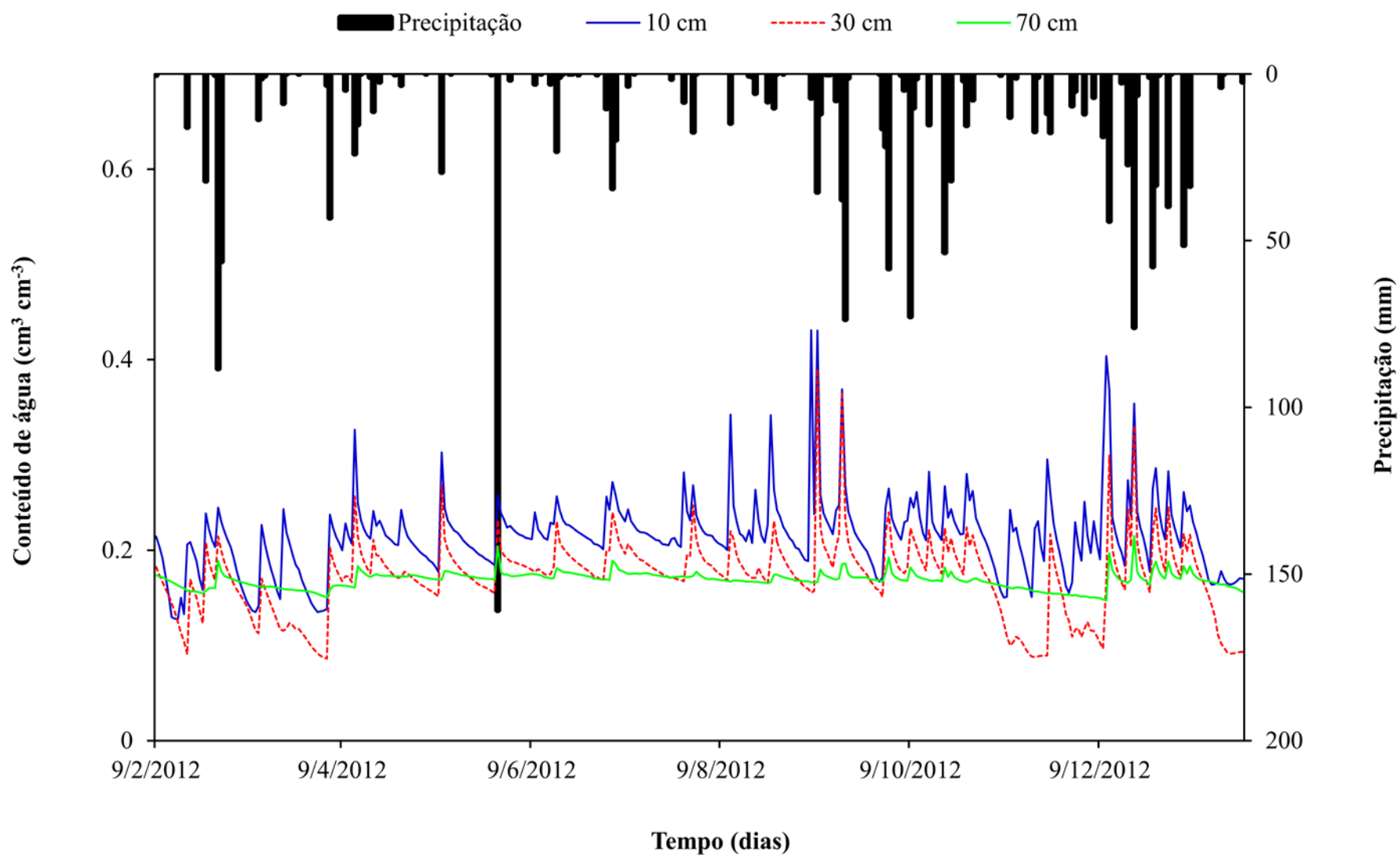


Figura 31 – Variação diária do conteúdo de água no solo para as profundidades de 10, 30 e 70 cm no lisímetro instalado em campo nativo.

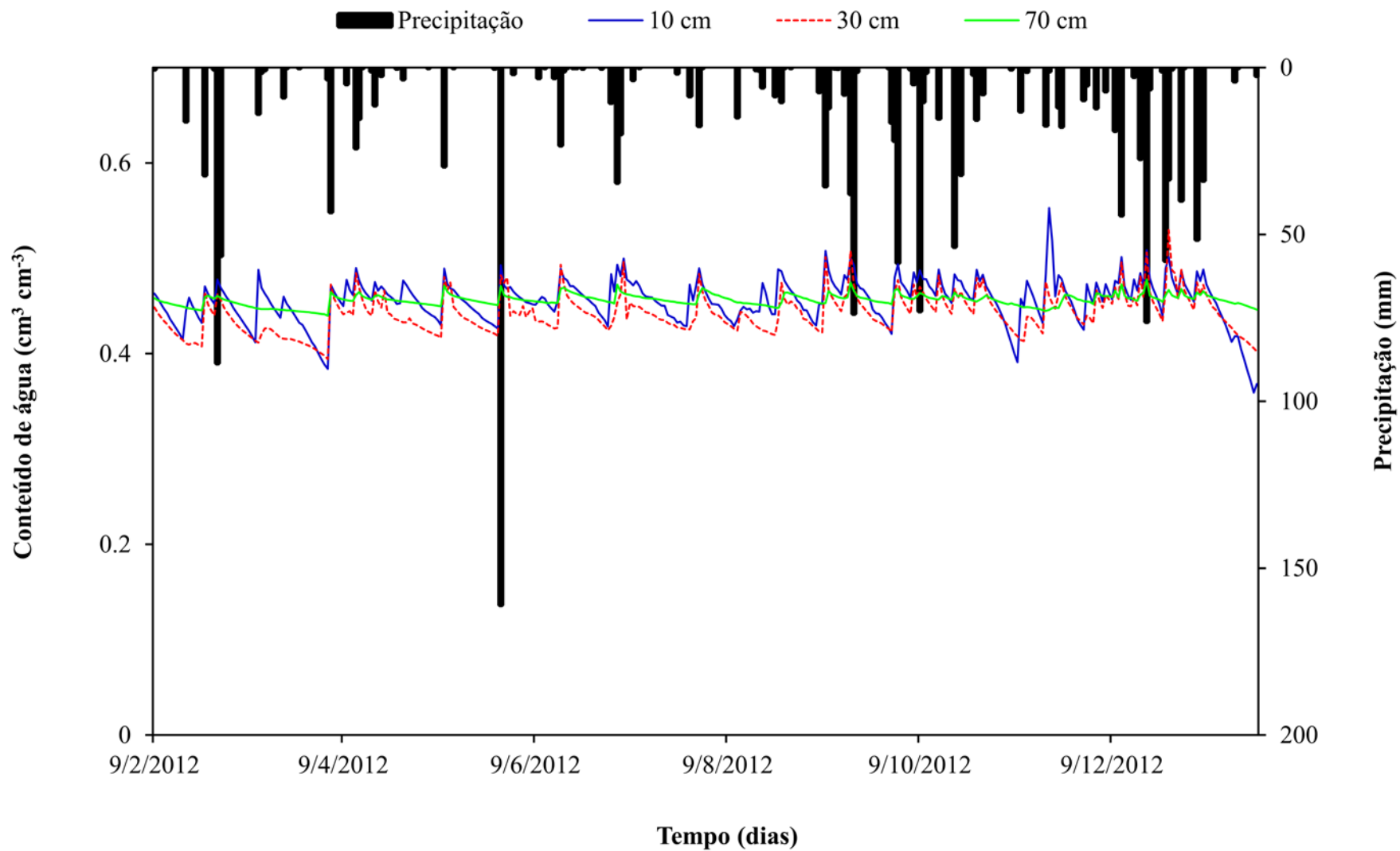


Figura 32 – Variação diária do conteúdo de água no solo para as profundidades de 10, 30 e 70 cm no lisímetro instalado em mata nativa.

Na Figura 33 são apresentados os valores diários de armazenamento total de água no solo obtidos pela integração entre valores de conteúdo de água obtidos em cada profundidade e as respectivas espessuras das camadas de solo consideradas. Para a condição de campo nativo, o armazenamento de água no solo, entre a profundidade de 0 e 100 cm, variou entre 128,59 e 286,34 mm, apresentando valor médio igual 178,88 mm. Na condição de mata nativa, tais valores variaram entre 414,88 e 492,60 mm, apresentando valor médio de 451,69 mm. Considerando os valores médios de armazenamento obtidos nas duas condições de estudo, observa-se uma diferença de 60,40 % no armazenamento de água no solo entre o campo nativo e a mata nativa. O teste de médias apresentado na Tabela 6 confirma a existência de uma diferença significativa de armazenamento de água no solo entre os dois ambientes.

Tabela 6 – Comparação das médias do armazenamento total de água no solo (mm) entre o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa.

<b>Lisímetro</b>	<b>Médias</b>
Campo Nativo	178,88 a
Mata Nativa	451,69 b

Letras iguais não diferem significativamente entre si pelo teste “t” de Student ao nível de significância de 5%.

Na Figura 34 é apresentado um comparativo das variações mensais de armazenamento de água no solo para o volume total de solo, compreendido entre 0 e 100 cm de profundidade, contidos nos dois lisímetros. As Figuras 35 e 36 apresentam a variação mensal do armazenamento de água no solo para as camadas de solo compreendidas entre 0-20 cm, 20 e 50 cm e 50-100 cm, para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa, respectivamente. É possível observar uma alternância de meses com reposição e perdas de água pelo perfil do solo, sendo as perdas mais intensas verificadas durante os períodos de verão. Aparentemente o lisímetro do campo nativo apresentou maiores amplitudes de variação no armazenamento de água no solo quando comparado ao lisímetro instalado na mata nativa. No entanto, conforme pode ser observado na Figura 37, o teste de médias “t” de Student não demonstrou diferenças significativas para a variação de armazenamento de água solo entre as diferentes profundidades analisadas e nem entre os diferentes ambientes considerados.

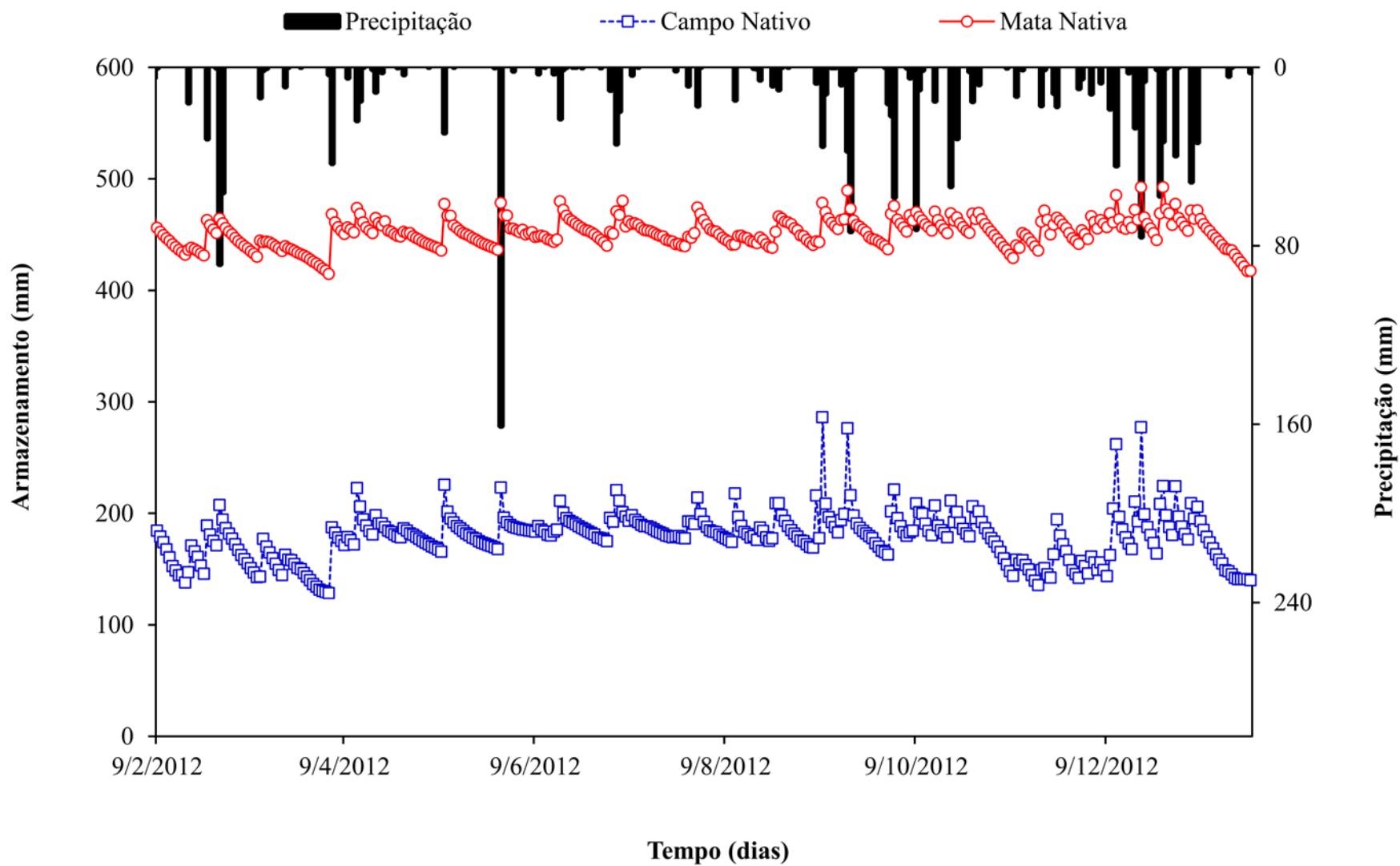


Figura 33 – Variação diária do armazenamento total de água no solo para o volume total de solo contido nos lisímetros.

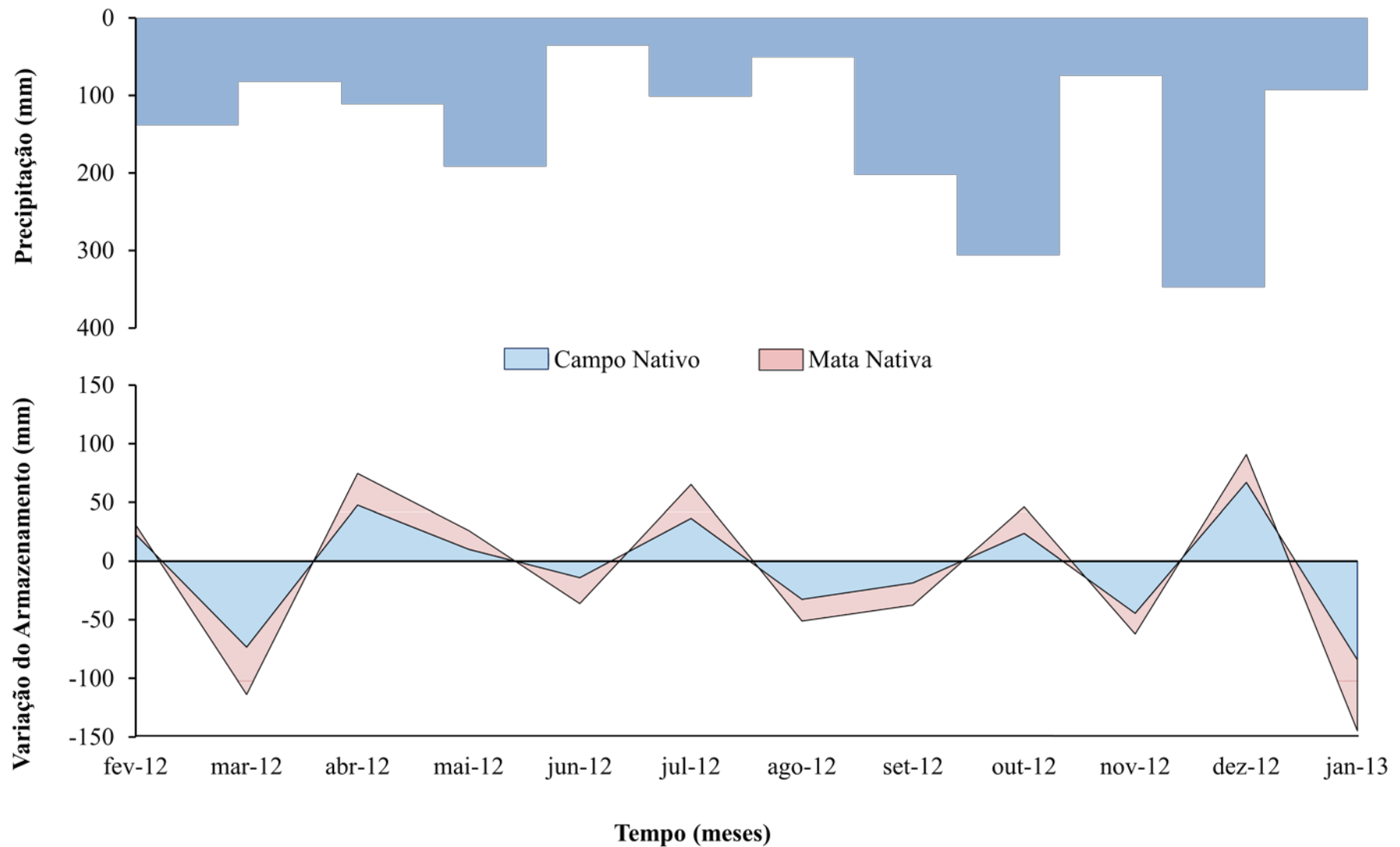


Figura 34 – Variação mensal do armazenamento de água no solo para o volume total de solo contido nos lisímetros instalados no campo nativo e na mata nativa.



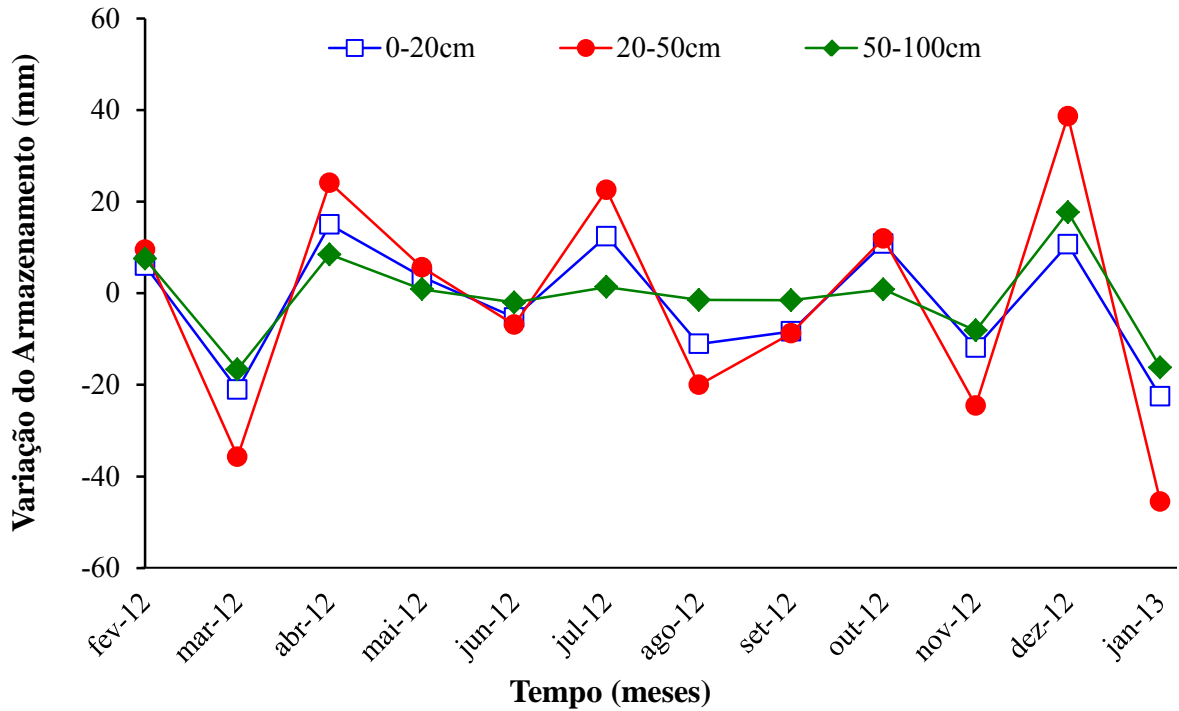


Figura 35 – Variação mensal do armazenamento de água no solo para o volume de solo compreendido entre as profundidades de 0-20 cm, 20-50 cm e 50-100 cm no lisímetro instalado no campo nativo.

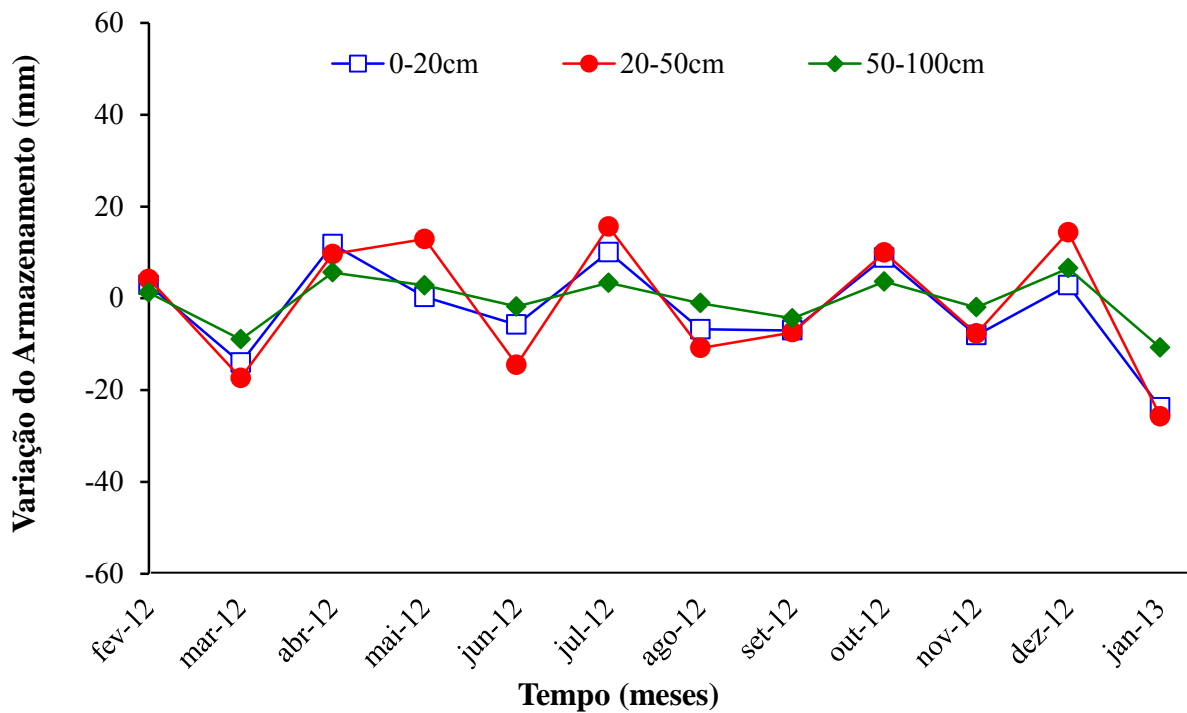


Figura 36 – Variação mensal do armazenamento de água no solo para o volume de solo compreendido entre as profundidades de 0-20 cm, 20-50 cm e 50-100 cm no lisímetro instalado na mata nativa.

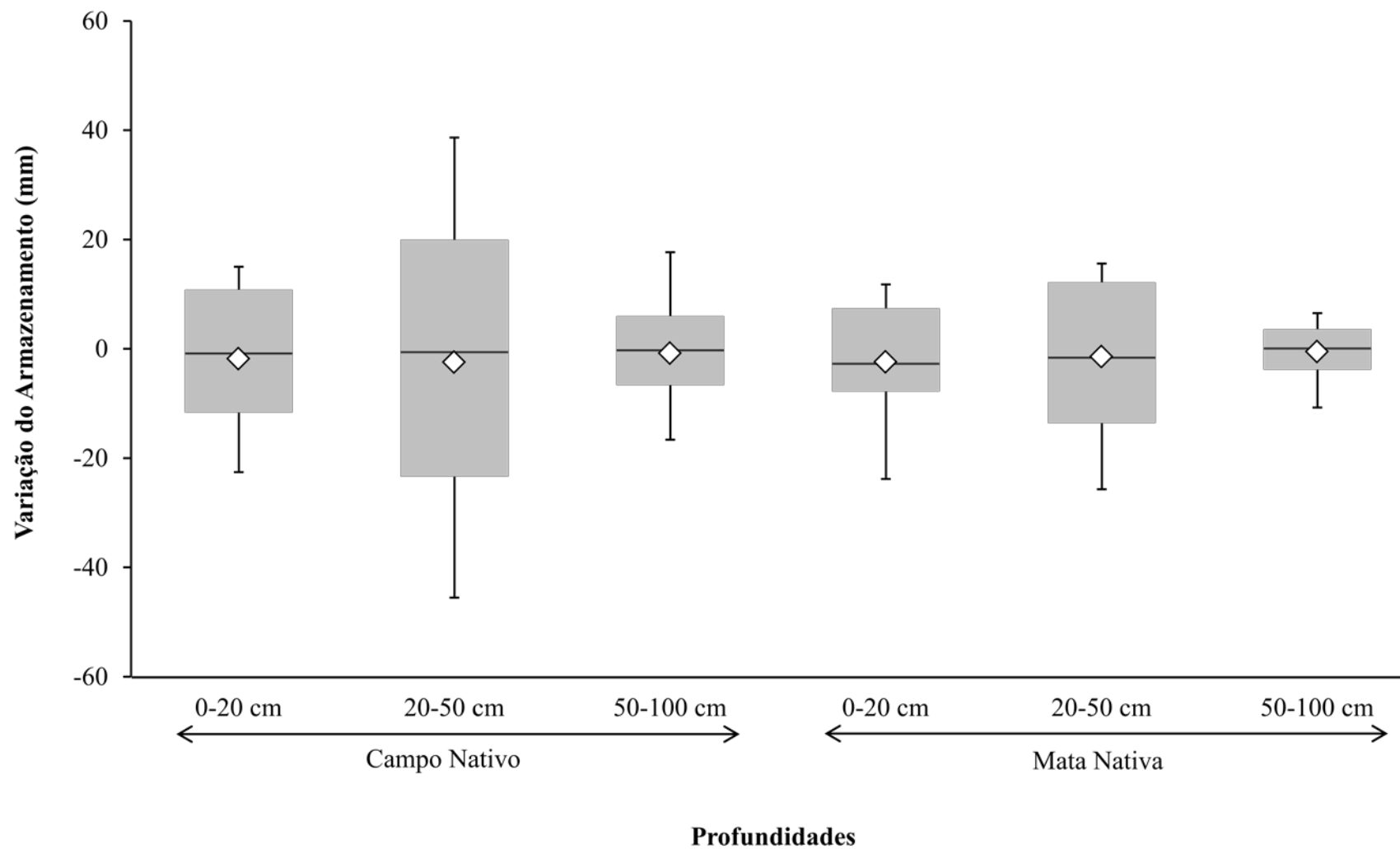


Figura 37 – Boxplot para os valores mensais de variação do armazenamento de água no solo (mm) entre campo nativo e mata nativa em diferentes profundidades (teste “t” de Student ao nível de significância de 5%).

#### 4.4 Escoamento superficial e drenagem

Para as variáveis escoamento superficial e drenagem, foi considerado um período de monitoramento igual a 420 dias compreendidos entre 9 de fevereiro de 2012 e 3 de abril de 2013. Neste período foram contabilizados 58 eventos de precipitação, sendo o escoamento total registrado nos lisímetros instalados nas áreas de campo nativo e mata nativa igual a 7,16 mm e 8,17 mm, respectivamente (Figura 38). Observou-se que no campo nativo, apenas 18 eventos geraram escoamento superficial enquanto que na mata nativa 47 eventos produziram escoamento superficial. Os valores mais significativos ocorreram no dia 29 de maio de 2012, quando a precipitação acumulada neste dia ultrapassou 160 mm, sendo registrados volumes totais de escoamento superficial iguais a 3,5 mm para o lisímetro do campo nativo e 2,56 mm no lisímetro da mata nativa (Apêndices H e I). Apesar dos volumes escoados serem muito pequenos, é possível perceber que no campo nativo o escoamento superficial ocorre em um número bem menor de eventos. Porém, os volumes escoados por evento foram maiores que na mata nativa. Um fato que pode explicar a ocorrência de menos eventos com escoamento superficial no campo nativo está relacionado as características do solo. As maiores porcentagens de areia do solo do campo nativo facilitam a infiltração da água que atinge a superfície do solo através da precipitação, proporcionando que esta água penetre no perfil do solo mais facilmente. A condição de solo mais seco no campo nativo, devido a incidência direta da radiação solar, proporciona maiores taxas de infiltração, diminuindo o escoamento superficial. Já na mata nativa, as maiores porcentagens de argila e silte aliado as condições meteorológicas, fazem com que a água da chuva escoe mais facilmente pela superfície. A mata nativa também possui maior armazenamento de água no solo devido a menor incidência de radiação solar, diminuindo as perdas de água por evapotranspiração. Logo este solo é saturado mais rapidamente dando início ao processo de escoamento superficial.

Conforme discutido anteriormente, devido a dificuldade em quantificar a precipitação interna a mata nativa, foram adotados valores de precipitação externos à mata nativa. Isto pode ter influenciado nos resultados, já que os volumes de água que realmente chegaram na superfície do lisímetro podem ter sido subestimados devido a interceptação pela copa das árvores ou superestimados pelo escoamento pelo tronco ou galhos pendentes que podem ter direcionado o fluxo para o lisímetro.

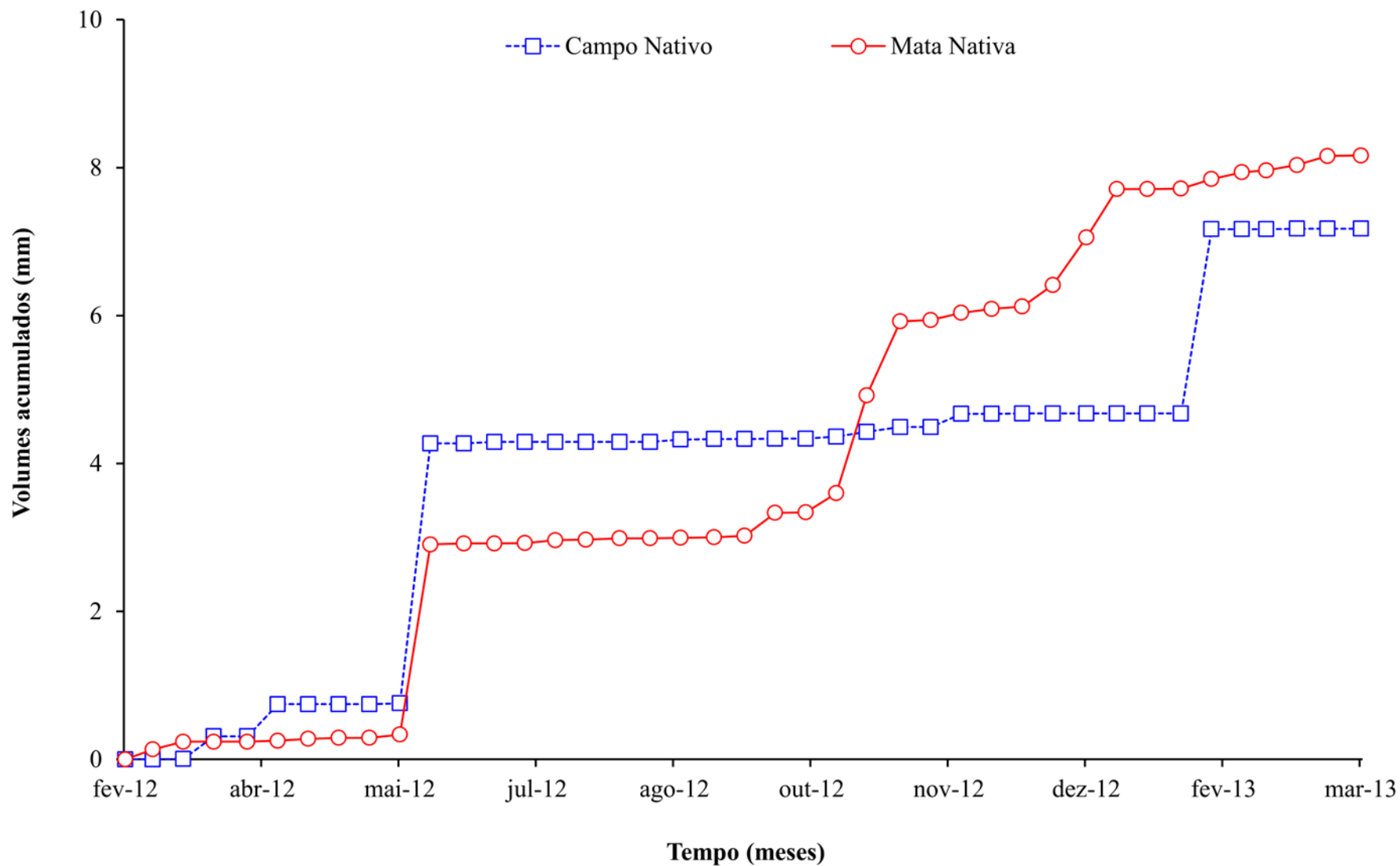


Figura 38 – Escoamento superficial acumulado no lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa.

Dentre todas as variáveis analisadas, a drenagem foi a de mais difícil monitoramento devido a problemas operacionais dos equipamentos, que provocaram falhas de dados inviabilizando o cálculo do balanço hídrico em alguns períodos. Dentre os motivos de falhas destacam-se a falta de energia nos dataloggers armazenadores de dados, entupimento de pluviógrafos e panes nos processadores que registram o número de basculadas dos pluviógrafos. As panes nos processadores dos pluviógrafos foram a principal causa de falhas e não chegou-se a uma conclusão do por que da ocorrência deste problema que afetou os dois lisímetros. Vários pluviógrafos foram substituídos, mas no entanto os novos equipamentos voltaram a apresentar os mesmos problemas após algum tempo de funcionamento. Acredita-se que uma das prováveis causas seja o número elevado de basculadas registradas após ocorrência de alguns eventos de precipitação, que excederiam a capacidade operacional do registrador. Isto se deve a diferença na área de captação entre o lisímetro e do pluviógrafo. Como a área de captação do lisímetro é muito maior que a área de captação do pluviógrafo, ocorre um número muito maior de basculadas do que aquele para o qual o equipamento foi desenvolvido, ultrapassando os volumes de calibração e ocasionando danos na memória do microprocessador. Porém, não foi possível relacionar este problema a intensidade de precipitação, já que estas paradas nem sempre coincidiram com eventos extremos. Estes problemas foram observados de forma concentrada entre os meses de agosto e outubro de 2012, em ambos os lisímetros. Assim, para fins de comparação da drenagem registrada entre os dois ambientes, desconsiderou-se este período, utilizando-se apenas períodos de monitoramento com dados disponíveis para ambos os lisímetros.

A Figura 39 apresenta os valores acumulados de drenagem para o lisímetro instalado na área de campo nativo e mata nativa. A precipitação total acumulada nestes 284 dias considerados válidos para o monitoramento desta variável foi igual a 1393,11 mm no campo nativo e 1365,67 mm na mata nativa, verificando-se uma diferença de 27,43 mm nos volumes registrados entre os dois ambientes. Já a drenagem acumulada foi igual a 640,95 mm para o lisímetro instalado no campo nativo e 528,89 mm para o lisímetro da mata nativa. Estes valores correspondem a 46,01 % e 38,73 % dos totais precipitados na área de campo nativo e mata nativa, respectivamente. No entanto, o teste de médias para os valores diários de drenagem não demonstrou diferença estatística significativa entre os volumes drenados nos dois lisímetros (Figura 40). Harsch et al. (2009), analisaram dados de um período de 40 anos, obtidos a partir de medidas de lisímetros instalados sobre condição de campo nativo e floresta

decidual na Alemanha, obtendo resultados bastante parecidos a estes. Apesar das diferenças climáticas, de solos e espécies florestais envolvidas, segundo o autor, no campo nativo a drenagem representou 53% dos totais precipitados enquanto que na floresta os volumes drenados corresponderam a 37 % da precipitação.

Observa-se que até meados do mês de dezembro de 2012 a drenagem acumulada no lisímetro instalado na área de mata nativa foi superior a registrada no campo nativo. Porém, a partir deste período, os volumes drenados passam a ser maiores no lisímetro instalado no campo nativo. Isto se deve ao aumento da interceptação da precipitação interna a mata nativa pelas folhas das árvores, fazendo com que menos água atingisse a superfície do lisímetro. Apesar da variável interceptação não ter sido quantificada, observa-se visualmente que durante o inverno, grande parte da vegetação circundante ao lisímetro perde suas folhas enquanto que durante o período do verão a cobertura vegetal torna-se visivelmente mais densa pela brotação das árvores. Estudo realizado por Müller e Bolte (2010) utilizando lisímetros de drenagem de grande porte instalados no interior de florestas, mostrou que a estrutura de dossel influencia consideravelmente na distribuição da precipitação, afetando a disponibilidade de água no solo e o volume drenado. Porém, este fato somente poderá ser comprovado quando um maior período de monitoramento estiver disponível e com a adoção de um maior número de pontos de monitoramento da precipitação interna.

Outro fator que chama a atenção é o fato de que, durante períodos em que o conteúdo antecedente de água no solo encontra-se alto, a drenagem apresenta um comportamento quase que diretamente conectado a precipitação, acompanhando seus padrões de variação quase que instantaneamente. Já em eventos ocorridos após períodos secos, observa-se uma defasagem no início da ocorrência da drenagem até atingir seu pico máximo, quando comparado a variação da precipitação. Observa-se ainda em períodos secos, o fluxo de drenagem manteve-se por mais tempo no lisímetro instalado na mata nativa quando comparado ao lisímetro instalado no campo nativo. Durante todo o período monitorado houve quatro períodos em que o fluxo de drenagem cessou totalmente no lisímetro instalado no campo nativo, enquanto que no lisímetro da mata nativa, este fluxo manteve-se, mesmo que muito reduzido. Chama-se a atenção para os meses em que ocorreram estas diminuições nos volumes drenados, os quais correspondem aos períodos de verão, quando as demandas evapotranspirativas são maiores. Os dois primeiros períodos ocorreram entre fevereiro de 2012 e abril de 2012 e os dois últimos períodos entre novembro de 2012 e fevereiro de 2013.

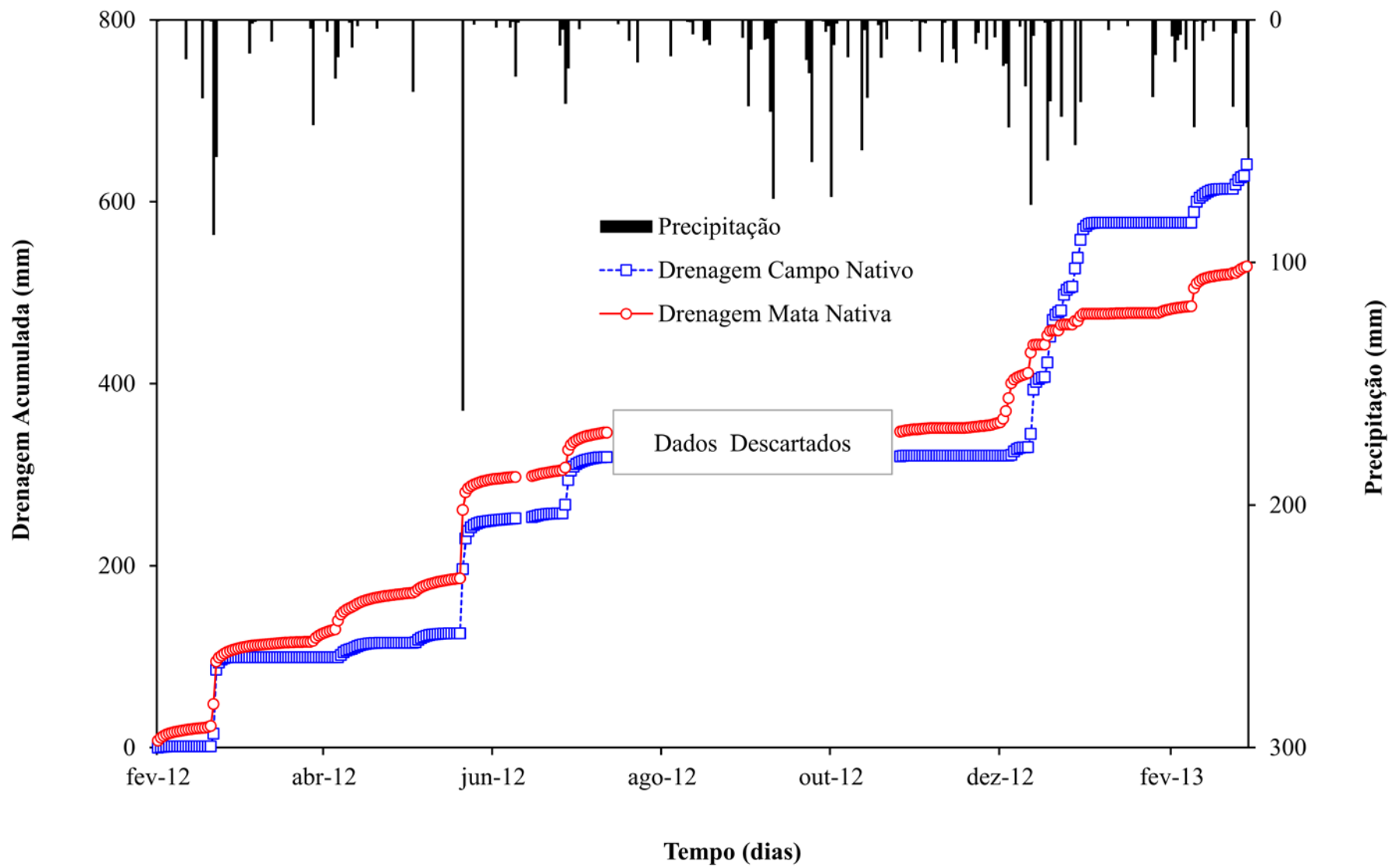


Figura 39 – Drenagem acumulada nos lisímetros instalados no campo nativo e na mata nativa.

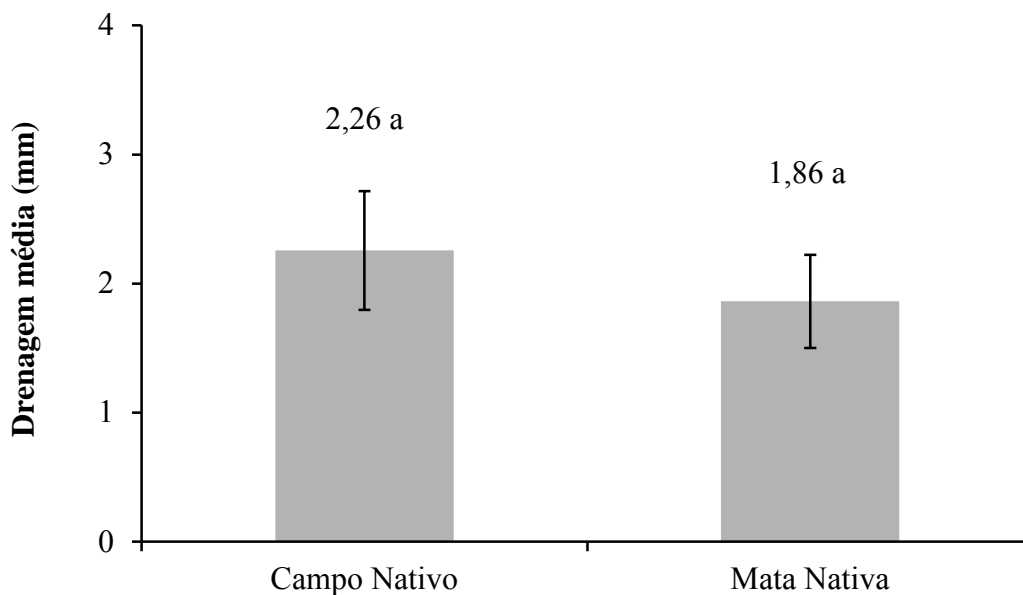


Figura 40 – Valores médios de drenagem diária (mm) registrados no lisímetro instalado no campo nativo e mata nativa (teste “t” de Student ao nível de significância de 5%).

## 4.5 Evapotranspiração e balanço hídrico em diferentes escalas temporais

### 4.5.1 Escala Diária

Para períodos diários, os resultados obtidos a partir da aplicação da equação do balanço hídrico, após a ocorrência de eventos de precipitação mais significativos, apresentaram uma alternância de valores demasiadamente elevados com valores negativos, em ambos os lisímetros, demonstrando que a metodologia empregada neste estudo não é satisfatória para tal escala de tempo (Figura 41). Observa-se que este efeito foi mais pronunciado no lisímetro instalado na condição de campo nativo quando comparado a mata nativa. Para o lisímetro instalado no campo nativo constatou-se variações nos valores calculados de evapotranspiração de -72,69 a 73,87 mm/dia, enquanto que para a mata nativa tais valores variaram entre -18,59 e 43,66 mm/dia. As características físicas do solo do lisímetro instalado no interior da mata nativa aliadas ao sombreamento da superfície, proporcionam uma maior retenção de água nestas condições. Assim, o solo mais úmido no interior da mata nativa permite uma melhor redistribuição de água no perfil, fazendo com que a defasagem nos fluxos de entrada e saída seja atenuada. Já nos dias posteriores ao fim da



precipitação, a liberação dos volumes drenados do lisímetro instalado na mata se dá de forma mais lenta que no campo nativo, diminuindo assim a subestimação da evapotranspiração.

Steele et al. (1997), baseados em um estudo de 11 anos de dados coletados a partir de quatro lisímetros de drenagem cultivados com milho, em Dakota do Norte, Estados Unidos, obtiveram valores negativos para os valores calculados de evapotranspiração diária em períodos em que os lisímetros encontravam-se sobre regime de drenagem logo após a chuva. Os autores afirmam que a falta de precisão na determinação da umidade do solo, foi a mais importante fonte de variabilidade no seu estudo e recomendam que este problema pode ser evitado aumentando o intervalo de tempo para a estimativa da evapotranspiração para períodos semanais, quinzenais ou mensais. Oliveira et al. (2010) trabalhando com dois lisímetros de drenagem instalados em área cultivada com soja, na bacia do arroio Donato, região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, também obtiveram resultados negativos para a evapotranspiração, como resultado da aplicação da equação do balanço hídrico em escala diária. Os autores comentam que isto provavelmente tenha ocorrido devido ao fato dos equipamentos utilizados na determinação do armazenamento de água no solo não terem acompanhado a velocidade dos processos hidrológicos, já que a leitura dos tensiômetros era realizada apenas uma vez ao dia.

Os menores fluxos de saída de água por evapotranspiração no lisímetro instalado no interior da mata nativa podem ser atribuídos as características ecológicas circundantes ao lisímetro. O fato da evapotranspiração registrada no interior da mata ser menor que no campo nativo pode ter ocorrido devido ao sombreamento pela copa das árvores propiciando um microclima menos favorável à evapotranspiração da vegetação e evaporação do solo. Conforme já discutido, a vegetação interna ao lisímetro instalado no interior da mata é composta apenas por duas árvores em fase de crescimento, cujo dossel não recebe incidência direta de radiação solar, diminuindo assim a transpiração. A maior parte do solo no interior deste lisímetro encontra-se sem presença de vegetação, mas protegida por uma camada de serapilheira o que também contribui para amenizar as perdas de água por evaporação. Isto está de acordo com a afirmação de Emborg (1998) de que devido ao regime de pouca luz em estandes fechados, a evaporação do solo de mata assume menor importância. Müller e Bolte (2009), trabalhando com lisímetros instalados no interior de florestas no nordeste da Alemanha, concluiu que após o desmatamento, a evapotranspiração da vegetação do solo aumenta significativamente devido à abertura do dossel.

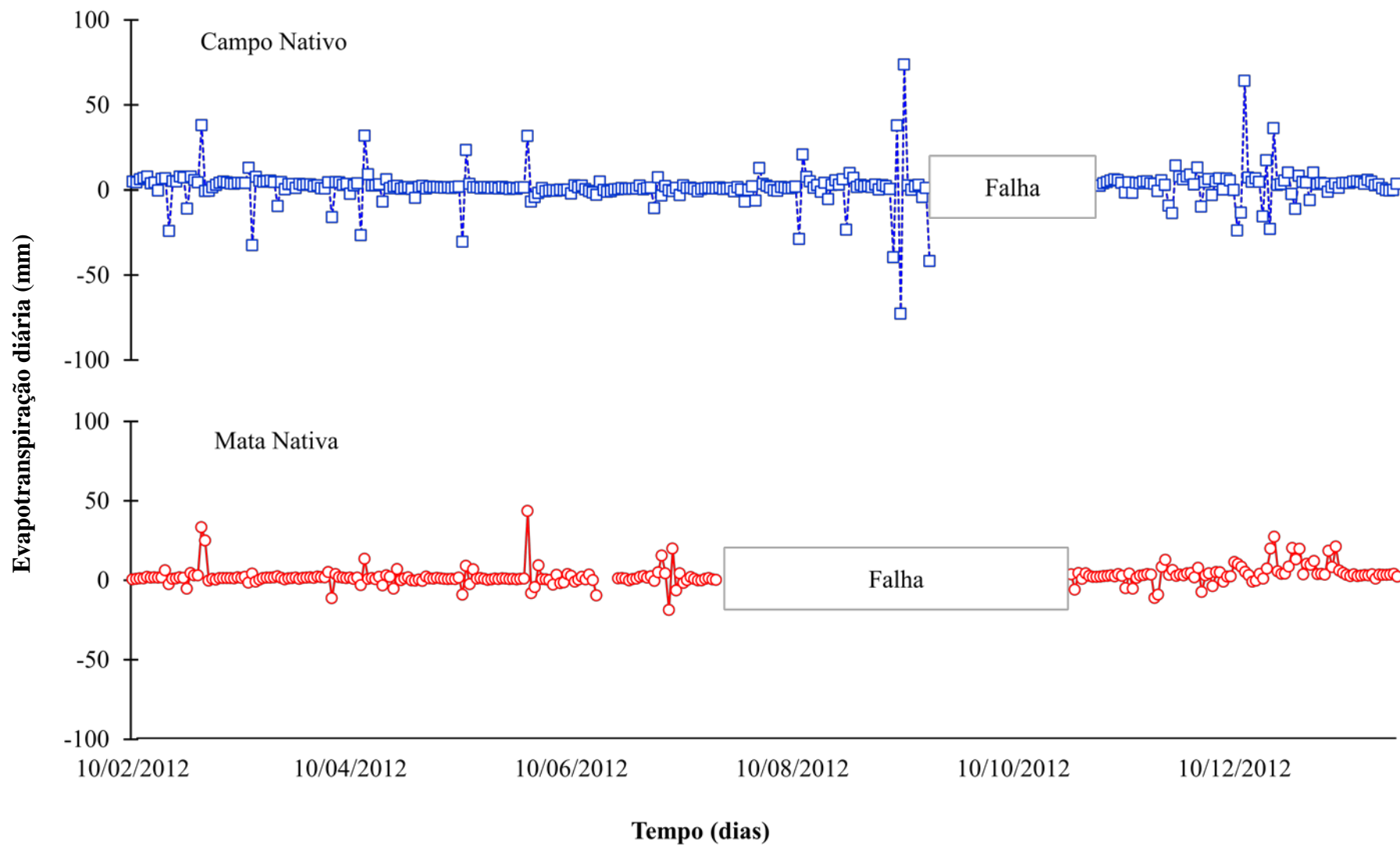


Figura 41 – Evapotranspiração diária obtida pela aplicação da equação do balanço hídrico para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa.

#### 4.5.2 Escala Decendial

A Figura 42 apresenta dados de evapotranspiração calculada pela equação do balanço hídrico para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa, em períodos de 10 dias. Percebe-se que mesmo em escala decendial, o cálculo da evapotranspiração resultou em valores negativos para o lisímetro instalado no campo nativo, evidenciando que em alguns casos, maiores períodos podem ser necessários. Este mesmo problema foi relatado por Steele et al. (1997), que também encontraram resultados negativos para alguns períodos decendias. Os valores negativos encontrados neste estudo foram registrados no primeiro decêndio de junho (-7,32 mm) e primeiro e terceiro decêndios de julho (-3,72 e -4,71 mm, respectivamente). A explicação para tais resultados é que no último decêndio de maio choveu 161,54 mm, volume este concentrado em um evento ocorrido nos últimos dias do decêndio. Consequentemente parte da drenagem resultante deste evento, só foi contabilizada no primeiro decêndio de Junho. Como neste período foi registrada uma precipitação de apenas 5,2 mm e a drenagem foi igual a 20,26 mm, as saídas de água do sistema acabaram sendo maiores que as entradas, gerando valores negativos. Já nos outros dois decêndios citados, os valores negativos obtidos podem ser atribuídos a inconsistência no registro dos dados pelos tensiômetros. Percebe-se que em ambos os casos, não ocorreu precipitação nos decêndios antecedentes, fazendo com que ocorresse o secamento do perfil do solo. Assim, após a ocorrência dos eventos de precipitação nos decêndios consecutivos, o tempo de resposta dos tensiômetros sofreu uma defasagem e consequentemente não representou corretamente as variações no conteúdo de água no solo. Neste caso, pode-se dizer que a limitação está mais relacionada à metodologia adotada para o monitoramento da variação do conteúdo de água no solo do que à técnica da lisimetria em si.

Quando se analisa os valores médios diários de evapotranspiração obtidos pelo cálculo do balanço hídrico decendial, para o período compreendido entre fevereiro e julho de 2012, observam-se valores iguais a 2,17 mm para o campo nativo e 1,97 mm na mata nativa. Já para o período compreendido entre novembro de 2012 e janeiro de 2013, obtiveram-se valores de evapotranspiração média igual a 3,71 mm no campo nativo e 5,25 mm na mata nativa, evidenciando que a superestimativa dos dados de evapotranspiração no interior da mata nativa, pode ter sido resultado da maior interceptação da precipitação no período final de observação.

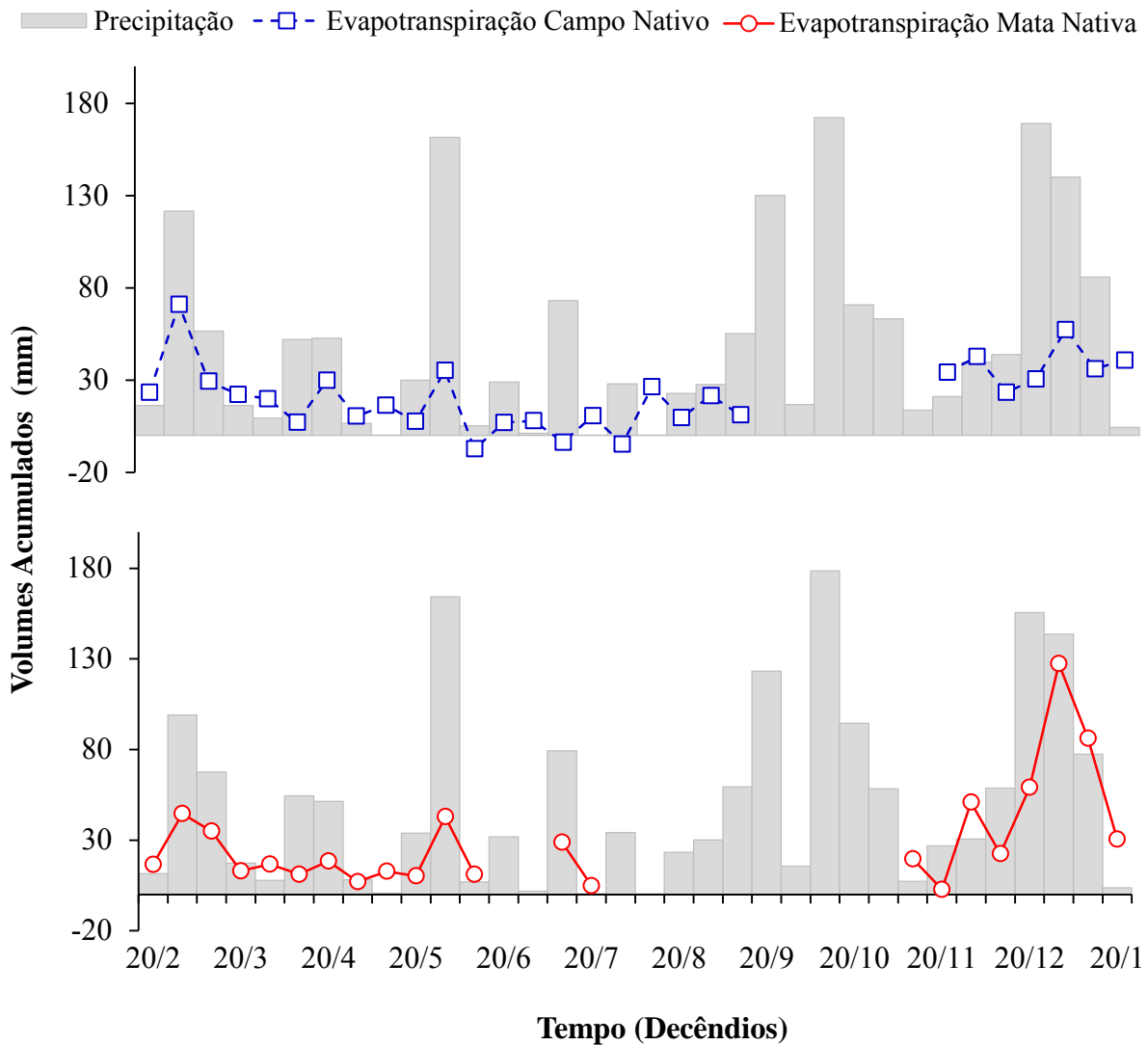


Figura 42 – Evapotranspiração diária obtida pela aplicação da equação do balanço hídrico para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa.

#### 4.5.3 Escala por eventos

Por fim estabeleceu-se o cálculo da evapotranspiração por eventos. Para tanto foram escolhidos 27 eventos com dados disponíveis em ambos os lisímetros, compreendidos entre fevereiro de 2012 e janeiro de 2013. O tempo de duração de cada evento variou desde 36 horas até 18 dias. Observa-se que nesta escala os dados negativos deixam de ocorrer, já que as escalas de tempo são capazes de englobar praticamente todas as defasagens nos processos hidrológicos envolvidos (Figura 43). Apesar dos valores médios dos 27 eventos serem

aparentemente diferentes, os resultados dos testes estatísticos demonstram que não existe diferença significativa entre a evapotranspiração real calculada pela aplicação do balanço hídrico, para o lisímetro instalado no campo nativo e o lisímetro instalado na mata nativa (Figura 44). Para o lisímetro instalado no interior da mata nativa observa-se a ocorrência de valores discrepantes que evidenciam dados elevados de evapotranspiração em três eventos. Tais eventos ocorreram entre a segunda quinzena de dezembro de 2012 e início de janeiro de 2013 (eventos 22, 23 e 26) e contribuíram para a obtenção de um maior valor médio de evapotranspiração.

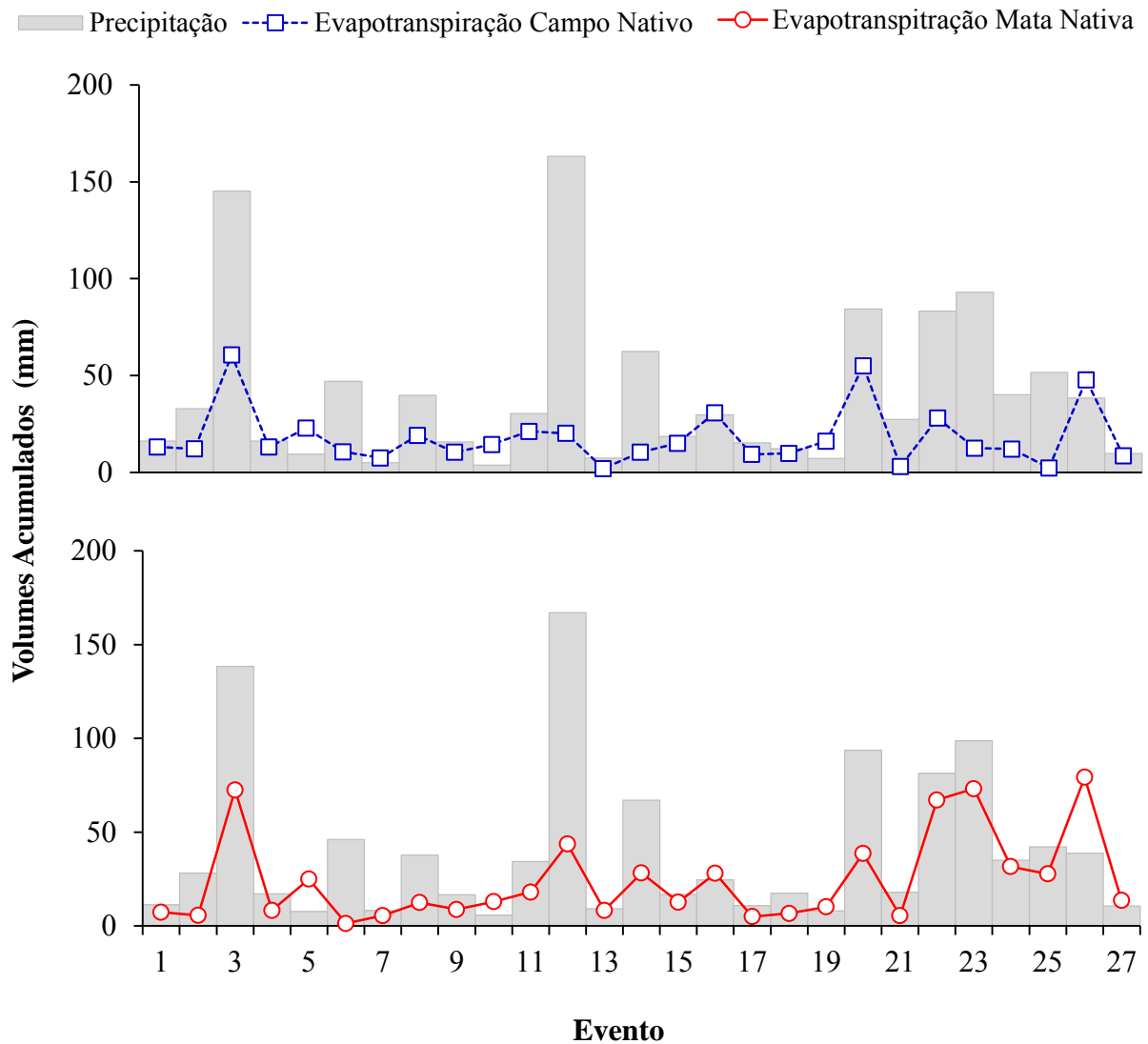


Figura 43 – Evapotranspiração real acumulada por eventos para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa.

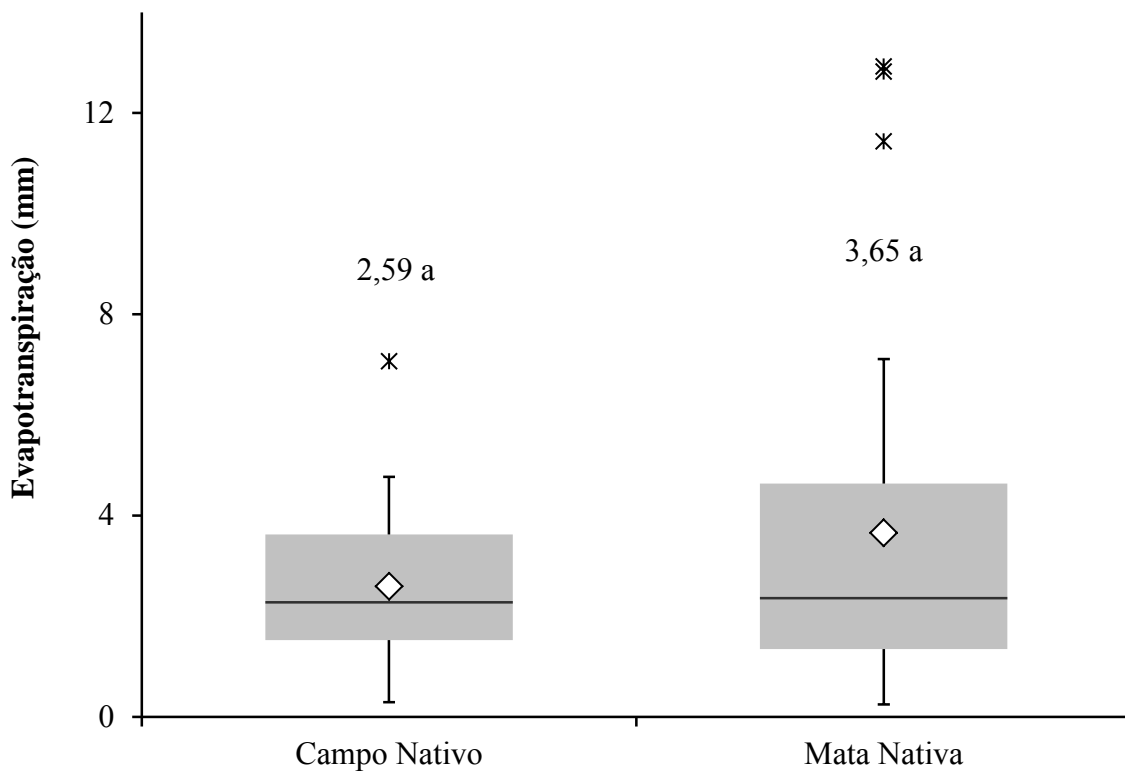


Figura 44 – Boxplot para os valores médios de evapotranspiração real, por eventos, para o lisímetro instalado no campo nativo e na mata nativa (teste “t” de Student ao nível de significância de 5%).

As Figuras 45 e 46 e os Apêndices J e K apresentam os componentes do balanço hídrico obtidos nos lisímetros instalados no campo nativo e na mata nativa, respectivamente, demonstrando a contribuição de cada um destes no balanço hídrico do solo. Observa-se que a partir do evento 22, a drenagem registrada no lisímetro instalado no interior da mata nativa tem seu volume bastante reduzido em relação aos volumes observados no campo nativo. Este fato foi o principal contribuinte para a elevação dos valores de evapotranspiração calculada no lisímetro instalado na mata nativa, a partir do mês de dezembro de 2012. Isto só vem a reforçar a hipótese levantada anteriormente de que devido ao aumento da área foliar da vegetação durante o período de verão, ocorre um aumento na parcela da precipitação que é interceptada pela vegetação e em consequência menos água chega até a superfície do solo contido no lisímetro. Neste caso, como foi considerada a precipitação externa à mata nativa para o cálculo do balanço hídrico, estes menores volumes drenados se refletem em maiores volumes evapotranspirados neste período.

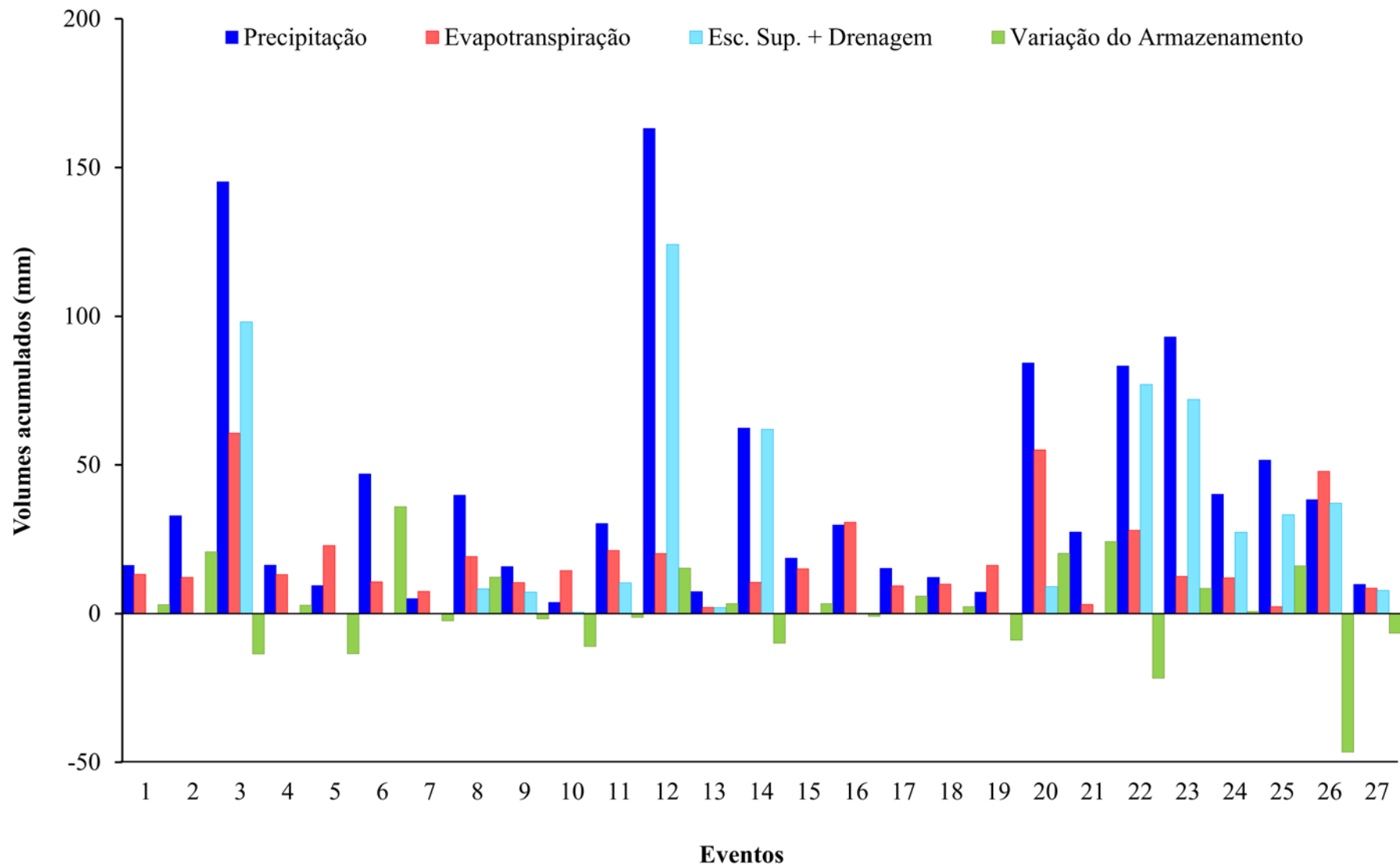


Figura 45 – Componentes do balanço hídrico acumulados por eventos para o lisímetro instalado no campo nativo.

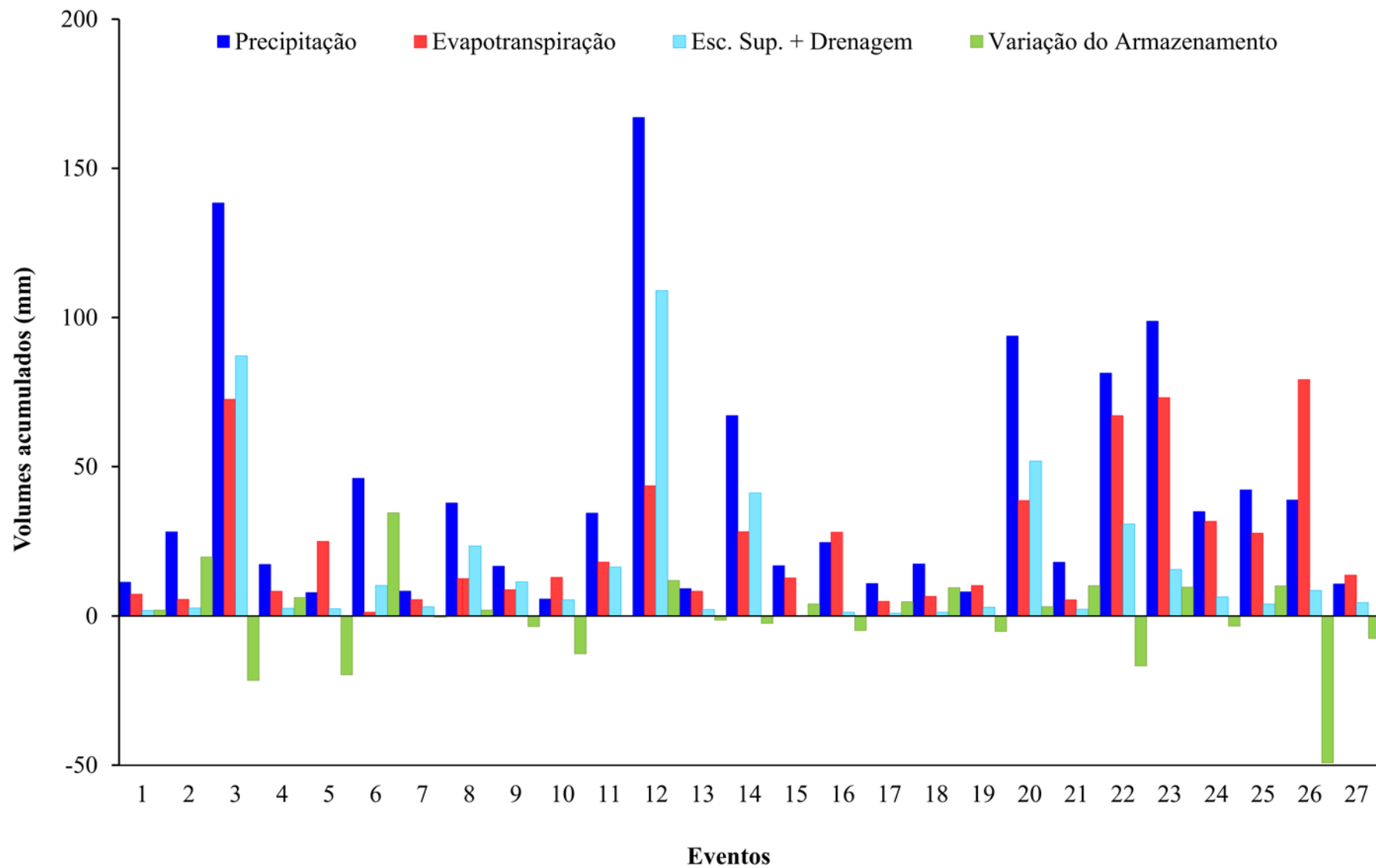


Figura 46 – Componentes do balanço hídrico acumulados por eventos para o lisímetro instalado na mata nativa.



## 5 CONCLUSÕES

Para as condições ambientais em que este estudo foi desenvolvido, com base nos resultados encontrados, é possível concluir que:

- O solo da mata nativa apresenta maior capacidade de armazenamento de água que o solo do campo nativo.
- Em todas as profundidades o conteúdo de água no solo é maior na condição de mata nativa quando comparada a condição de campo nativo, sendo esta diferença maior com o aumento da profundidade.
- A mata nativa proporciona menores flutuações e ameniza a influência das épocas do ano sobre a variação da tensão e do conteúdo de água no solo.
- Os volumes escoados por evento são maiores no campo nativo que na mata nativa.
- O processo de drenagem é influenciado pela época do ano e conteúdo antecedente de água no solo.
- O lisímetro instalado na mata nativa manteve os fluxos subterrâneos de drenagem por mais tempo que o lisímetro instalado no campo nativo.
- A evapotranspiração real média diária observada no campo nativo foi 36,93% superior aos valores observados no interior da mata nativa, havendo diferença significativa entre os dois lisímetros.
- Os lisímetros utilizados neste estudo bem como, as metodologias adotadas para o monitoramento das variáveis hidrológicas envolvidas no balanço hídrico, não apresentam resultados satisfatórios para a determinação da evapotranspiração em períodos diários já que não foram capazes de representar as defasagens observadas na velocidade com que os diferentes processos ocorrem no interior do perfil do solo.
- O balanço hídrico na escala por eventos é a escala temporal que apresenta melhores resultados em relação ao período diário e decêndial.
- O lisímetro instalado no interior da mata nativa não representa a evapotranspiração real da mata nativa, mas sim a evapotranspiração observada internamente à mata nativa.

## 6 RECOMENDAÇÕES

A seguir serão apresentados os principais problemas observados e recomendações que servem de base para a melhoria de estudos futuros:

Como a evapotranspiração é calculada pela aplicação da equação do balanço hídrico, considerando a diferença entre entradas e saídas de água do sistema, falhas no monitoramento de qualquer uma destas variáveis, reflete em falhas nos resultados. As variáveis mais sujeitas a falhas no monitoramento são a drenagem e o conteúdo de água no solo. No caso da drenagem, as falhas mais comuns foram entupimento de pluviógrafos e problemas com datalogger. Já com relação ao monitoramento do conteúdo de água no solo, o problema está relacionado à metodologia adotada. Tensiômetros são mais baratos, porém apresentam limitações quanto a faixa de aplicação que pode levar a falhas de dados principalmente em períodos úmidos, bem como a sua precisão e tempo de resposta. Como os tensiômetros medem a tensão de água no solo, uma série de imprecisões podem estar relacionadas à transformação desta variável em conteúdo de água no solo. Por isto, para aumentar a precisão e objetivando determinar a evapotranspiração em períodos mais curtos, seria fundamental a utilização de métodos diretos de medida do conteúdo de água no solo, como a técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR). Sugere-se ainda uma maior espacialização para esta variável, com a utilização de mais profundidades analisadas, bem como, repetições, diminuindo assim a espessura das camadas consideradas e detalhando melhor a dinâmica da água ao longo do perfil do solo. Como os locais de monitoramento são distantes e dificultam o acesso diário, uma solução a perda de dados, seria a utilização da transmissão dos dados em tempo real, permitindo acompanhar o funcionamento dos equipamentos e identificar falhas e proceder as correções imediatamente após sua ocorrência.

No decorrer deste estudo percebeu-se a necessidade da determinação do processo de interceptação interna à mata nativa. Apenas um pluviógrafo não representa a variabilidade espacial da precipitação no interior da mata, já que podem haver obstáculos em determinados locais, mascarando assim os dados obtidos. Assim, é fundamental a instalação de interceptômetros no interior da mata de forma a tentar compreender melhor este processo e determinar com mais exatidão qual a parcela da precipitação que realmente chega a superfície do lisímetro. Os resultados deste estudo demonstraram a diminuição dos volumes drenados em períodos coincidentes com a época de crescimento vegetativo das árvores. Por isto,

estudos mais detalhados da dinâmica do dossel e mudanças nos índices de área foliar ao longo do ano são de extrema importância e devem ser levados em conta em estudos futuros. Portanto, além do monitoramento da interceptação, recomenda-se que sejam tiradas fotos do dossel acima do lisímetro periodicamente, em diferentes épocas do ano, visando determinar a variação sazonal nos índices de área folhar.

Por fim, recomenda-se a utilização de mais repetições, com a construção e instalação de mais lisímetros e a comparação de diferentes técnicas utilizadas para o monitoramento das variáveis envolvidas no balanço hídrico. Apesar das limitações físicas e das dificuldades em encontrar locais adequados à instalação dos lisímetros, recomenda-se que os locais de estudo sejam o mais próximo possível, permitindo assim que sejam mantidas as mesmas condições de solo bem como condições climáticas externas a floresta, semelhantes. Isto permitiria estudar mais detalhadamente a influência da vegetação sobre o balanço hídrico, desconsiderando as diferenças relacionadas ao solo.

## REFERÊNCIAS

ABDOU, H. M.; FLURY, M. Simulation of water flow and solute transport in free-drainage lysimeters and field soils with heterogeneous structures. **European Journal of Soil Science** v.55, n.2, p.229-241.2004.

ABICHOU, T.; LIU, X.; TAWFIQ, K. **Design of Cost Effective Lysimeters for Alternative Landfill Cover Demonstrations Projects**. Florida State University, College of Engineering. 2004. 88p.

ABOUKHALED, A.; ALFARO, A.; SMITH, M. **Lysimeters**. Rome: FAO, 1982. 73p. (Irrigation and Drainage Paper 39).

AGUILAR, D. J.; KRUKER, J. M.; CALHEIROS, R. O.; SILVA, C. A. S. **Determinação da evapotranspiração potencial e balanço hídrico climático da região da Grande Dourados, MS**. Dourados: EMBRAPA-UEPAE. Dourados, 1986. 150p.

ALÉSIO, M.; PAIVA, E. M. C. D.; PAIVA, J. B. D. Produção de sedimentos em diferentes escalas espaço-temporais de duas pequenas bacias e um lisímetro no Bioma Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.17, p.1-10. 2012.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; HOWELL, T. A.; JENSEN, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v.98, n.6, p. 899-920, 2011.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 297p. (Irrigation and Drainage Paper 56).

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O. ; JENSEN, M. E. Environmental requirements of lysimeters. In: ALLEN, R. G.; HOWELL, T. A.; PRUITT, W. O.; WALTER, I. A.; JENSEN, M. E. (Ed.) **Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements**. **American Society of Civil Engineers-ASCE**, 1991. p. 170-181.

ALMEIDA, A. C.; SOARES, J. V. Comparação entre o uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (mata atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, v.27, n.2, p.159-170, 2003.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - SP. **Revista Árvore**, v.27, n.2, p.257-262, 2003.

ÁVILA, L. F. **Balço hídrico em um remanescente de Mata Atlântica da Serra da Mantiqueira, MG**. 2011. 179f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Estabilidade temporal do conteúdo de água em três condições de uso do solo, em uma bacia hidrográfica da região da serra da Mantiqueira, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.6, p.2001-2009, 2010.

BACELLAR, L. A. P. **O papel das florestas no regime hidrológico de bacias hidrográficas**. Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto – MG. 39p. 2005. Disponível em: <<http://www.degeo.ufop.br/geobr>>. Acesso em: 20 mar. 2011.

BELING, F. A.; DOMINGUES, R.; PAIVA, J. B. D. BDGHidros: Software de gestão de dados hidrológicos. **Anais... XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Campo Grande, Nov. 2009.

BELLINASSO, T. B. **Monitoramento hidrossedimentométrico e avaliação da produção de sedimentos em eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica urbana de encosta, RS**. 2002. 192f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

BELLÓ, S. L. **Avaliação do impacto da ocupação urbana sobre as características hidrossedimentométricas de uma pequena bacia hidrográfica de encosta**. 2004, 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

BEN-GAL, A.; SHANI, U. A highly conductive drainage extension to control the lower boundary condition of lysimeters. **Plant and Soil**, v.239, n.1, p.9-17, 2002.

BERTONI, J.; LOMBARDI, NETO F. **Conservação do solo**. 3ed. Ícone: São Paulo, 1993. 355p.

BIEMELT, D.; VESTE, M. Soil moisture. In: Schaaf, W.; Biemelt, D.; Hüttl, R.F. (eds) **Initial development of the artificial catchment 'Chicken Creek' - monitoring program and survey 2005 - 2008**. Ecosystem Development, 2010. p. 57-70.

BLÖSCHL, G.; SIVAPALAN, M. Scale issues in hydrological modeling - a review. **Hydrological Processes**, v.9, p.251-290, 1995.

BOAST, C. W.; ROBERTSON, T. M. A micro-lysimeter method for determining evaporation from bare soil: description and laboratory evaluation. **Soil Science Society of America Journal**, v.46, p.689-696, 1982.

BOESTEN, J. J. T. I. Simulation of pesticide leaching in the field and in zero-tension lysimeters. **Vadose Zone Journal**, v.6, n.4, p.793-804. 2007.

BRANCO, N. **Avaliação da produção de sedimentos de eventos chuvosos em uma pequena bacia hidrográfica rural de encosta**. 1998, 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1998.

BRUTSAERT W. **Hydrology - An Introduction**. Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2005. 605p.

BRYLA, D.; TROUT, T.; AYARS, J. Weighing lysimeters for developing crop coefficients and efficient irrigation practices for vegetable crops. **HortScience**, v.45, n.11, p.1597-1604. 2010.

BURIN, R. **Variabilidade da qualidade da água e do estado trófico do reservatório do Vacacaí Mirim**. 2011. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

CAMARGO, A.P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Bragantina**, Campinas, v.21, p.163-203. 1962.

CAMARGO, A.P. A água no solo para a agricultura. **O Agrônomo**, Campinas, v.57, n.1, p.1-2, 2005.

CAMPBELL, D. I.; MURRAY, D. L. Water balance of snow tussock grassland in New Zealand. **Journal of Hydrology**, v.118, p.229-245. 1990.

CAMPECHE, L. F. S. M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida ‘Tahiti’ (*Citrus latifolia* Tan.)**. 2002. 67f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CAMPECHE, L. F. M. S.; NETTO, A. O. A.; SOUSA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. P. R., AZEVEDO, P. V. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.519-525. 2011.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J. G. M.; CRUZ, F. A.; SOUZA, A. P. Instalação, calibração e funcionamento de um lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.2, p.363-372. 2007.

CARVALHO, S. M.; STIPP, N. A. F. Contribuição ao estudo do balanço hídrico no estado do Paraná - Uma proposta de classificação qualitativa. **Geografia**, Londrina, v.13, n.1. 2004.

CASAGRANDE, L. **Avaliação do parâmetro de propagação de sedimentos do modelo de Williams (1975) na Bacia do rio Vacacaí-Mirim com o auxílio de técnicas de geoprocessamento**. 2004, 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

CICCO, V. **Determinação da evapotranspiração pelos métodos dos balanços hídrico e de cloreto e a quantificação da interceptação das chuvas na Mata Atlântica: São Paulo, SP e Cunha, SP**. 2009. 138f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CLARK, G. A.; REDDELL, D. L. Construction details and microclimate modifications of a permanent rain sheltered lysimeter system. **Transactions of ASAE**, v.33, n.6, p1813-1822. 1990.

COELHO, S. L.; TEIXEIRA, A. S. Avaliação do tensiômetro eletrônico no monitoramento do potencial matricial de água no solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.3, p.536-545. 2004.

COLLISCHONN, W. (2001). **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. 2001. 194f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DEPINÉ, H.; PINHEIRO, A.; KAUFMANN, K.; SILVA, M. R. Transporte de Sedimentos em Suspensão em Áreas Agrícolas em Diferentes Escalas Espaciais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.16, n.1, p.97-104. 2011.

DIAS, J. R. **Aplicação do modelo hidrológico AGNPS2001 utilizando dados observados na Bacia do Arroio Vacacaí Mirim**. 2003, 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

DIESTEL, H.; ZENKER, T.; SCHWARTENGRÄEBER, R.; SCHMIDT, M. The lysimeter station at Berlin-Dahlem. In KERSEBAUM, K. C.; HECKER, J. M.; MIRSCHEL, W.; WEGEHENKEL, M. (eds.): **Modelling water and nutrient dynamics in soil crop systems**. Springer, Heidelberg, p.259-267. 2007.

DILL, P. R. J. **Assoreamento do reservatório do Vacacaí-Mirim e sua relação com a deterioração da bacia hidrográfica contribuinte**. 2002, 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; LOPES, P. P. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo, modelo Van Genuchten. Soil Water Retention Curve, SWRC (version 3.00 beta). Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, Brasil, 2001.

EMBORG, J. Understorey light conditions and regeneration with respect to the structural dynamics of a near-natural deciduous forest in Denmark. **Forest Ecology and Management**, v.106, p.83-95. 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. 2 ed., Brasília, 2006. 306 p.

FARIA, R. T.; CAMPECHE, F. S. M.; CHIBANA, E. Y. Construção e calibração de lisímetros de alta precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.10, n.1, p.237-242. 2006.

FELTRIN, R. M. **Comportamento das variáveis hidrológicas do balanço hídrico do solo em lisímetros de drenagem**. 2009. 94f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2009.

FELTRIN, R. M.; PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D.; BELING, F. A. Lysimeter soil water balance evaluation for an experiment developed in the Southern Brazilian Atlantic Forest region. **Hydrological Processes**. V.25, n.15, p.2321-2328. 2011.

FLURY, M.; YATES, M. V.; JURY, W. A. Numerical analysis of the effect of the lower boundary condition on solute transport in lysimeters. **Soil Science Society of America Journal**, V.63, p.149-1499. 1999.



FUJIEDA, F.; KUDOH, T.; CICCIO, V.; CARVALHO, J.L. Hydrological processes at two subtropical forest catchments: the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. **Journal of hydrology**, v.196, p.26-46.1997.

GANGOPADHYAYA, M.; HARBECK, G. E.; NORDENSON, T. J.; OMAR, M. H.; URYVAEV, V. A. **Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration**. Geneva: World Meteorological Organization, 1966. 121p.

GARCIA, M.; RAES, D.; ALLEN, R.G.; HERBAS, C. Dynamics of reference evapotranspiration in the Bolivian highlands (Altiplano). **Agricultural and Forest Meteorology**, v.125, p.67-82. 2004.

GOLDANI, J. Z. **Ocupação antrópica e sócio-ambiental na área de captação do DNOS, Santa Maria – RS**. 2006, 104f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

GOSS, M. J.; EHLERS, W. The role of lysimeters in the development of our understanding of soil water and nutrient dynamics in ecosystems. **Soil Use and Management**, v.25, p.213–223. 2009.

GREBET, P.; CUENCA, R. H. **History of Lysimeter Design and Effects of Environmental Disturbances**. Lysimeters for Evapotranspiration and Environmental Measurements, American Society of Civil Engineers Irrigation and Drainage Division, Honolulu, Hawaii. p. 10-18. 1991.

GRUTKA, L. **Estudo das relações entre descargas sólidas e líquidas obtidas por meio de diferentes métodos de medição**. 2013, 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

HARSCH, N.; BRANDENBURG, M.; KLEMM, O. Large-scale lysimeter site St. Arnold, Germany: analysis of 40 years of precipitation, leachate and evapotranspiration. **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, v.13, p.305-317. 2009.

HERNANDES, J. L.; PEDRO JUNIOR, M. J.; BARDIN, L. Variação estacional da radiação solar em ambiente externo e no interior de floresta semidecídua. **Revista Árvore**, v.28, n.2, p.167-172. 2004.

JOHNSON, R.S.; WILLIAMS, L.E.; AYARS, J.E.; TROUT, T.J. Weighing lysimeters for studying tree and vine water relations. **California Agriculture**, v.59, n.2, p.133-136. 2005.

KASTEEL, R.; PÜTZ, T.; VEREECKEN, H. (An experimental and numerical study on flow and transport in a field soil using zerotension lysimeters and suction plates. **European Journal of Soil Science**, v.58, p.632-645. 2007.

KAUFMANN, V.; CASTRO, N. M. R.; PINHEIRO, A. Escoamentos superficiais e drenagem em solo com diferentes manejos e intensidades de chuvas simuladas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.17, n.4, p.273-285. 2012.

KHIRE, M.; BENSON, C.; BOSSCHER, P. Water Balance Modeling of Earthen Landfill Covers. **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering – ASAE**, v.123, n.8, p.744-754. 1997.

KLEMES V. Conceptualization and scale in hydrology. **Journal of Hydrology**, v.65, p.1-23. 1983.

KONRAD, C. G. **Zoneamento ambiental da microbacia hidrográfica do reservatório do DNOS de Santa Maria – RS**. 2005, 98f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

KRAMER, I.; HOLSCHER, D. Rainfall partitioning along a tree diversity gradient in a deciduous old-growth forest in Central Germany. **Ecohydrology**, v.2, p.102-114. 2009.

LANTHALER, C. **Lysimeter stations and soil hydrology measuring sites in Europe - Purpose, equipment, research results, future developments**. 2004. 145f. Diploma thesis (School of Natural Sciences)-School of Natural Sciences at the Karl-Franzens-University Graz, Graz, 2004. Disponível em: Disponível em: <<http://www.lysimeter.at>>. Acesso em: 13 set. 2010.

LÓPEZ-MORENO, J. I.; VICENTE-SERRANO, S. M.; ZABALZA, J.; BEGUERÍA, S.; LORENZO-LACRUZ, J.; AZORIN-MOLINA, C.; MORÁN-TEJEDA, E. Hydrological response to climate variability at different time scales: A study in the Ebro basin. **Journal of Hydrology**, v.477, p.175-188. 2013.

LOURENÇO, S. D. N.; GALLIPOLI, D.; TOLL, D. G.; EVANS, F. D. On the Measurement of Water Pressure in Soils with High Suction Tensiometers. **Geotechnical Testing Journal**, v.32, p.565-57. 2009.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria: Imprensa Universitária – UFSM, 1990. 21 p.

MALONE, R. W.; BONTA, J. V.; STEWARDSON, D. J.; NELSEN, T. Error analysis and quality improvement of the Coshocton weighing lysimeters. **Transactions of the ASABE**, v.43, n.2, p.271-280. 2000.

MANTOVANI, D.; VESTE, M.; BADORRECK, A.; FREESE, D. Evaluation of fast growing tree water use under different soil moisture regimes using wick lysimeters. **Journal of Biogeosciences and Forestry**, v.6, p.190-200. 2013.

MARINS, A.P. **Simulação hidrológica do reservatório do Vacacaí-Mirim/Santa Maria-RS utilizando o sistema IPHS1**. 2004. 161f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

MEISSNER, R.; PRASAD, M. N. V.; DU LAING, G.; RINKLEBE, J. Lysimeters application for measuring the water and solute fluxes with high precision. **Current Science**, v.99, n.5, p.601-607. 2010.

MEISSNER, R.; SEYFARTH, M. **Measuring water and solute balance with new Lysimeter techniques**. In Proceedings of the 3rd Australian and New Zealand Soils Conference, Sydney, Australia, 2004. p.151–158.

MENDIONDO, E. M.; TUCCI, C. E. M. Escalas hidrológicas: I conceitos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.2, n.1, p.21-44. 1997.

MERTENS, J.; BARKLE, G. F.; STENGER, R. Numerical analysis to investigate the effects of the design and installation of equilibrium tension plate lysimeters on leachate volume. **Vadose Zone Journal**, V.4, p.488-499. 2005.

MIGUEL, P. **Caracterização pedológica, uso da terra e modelagem da perda de solo em áreas de encosta do rebordo do planalto do RS**. 2010. 112f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MORARI, F. Drainage flux measurement and errors associated with automatic tension-controlled suction plates. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, n.6, p.1860-1871. 2006.

MOSCA, A. A. O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental do manejo de florestas plantadas**. 2003. 88f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

MÜLLER, J.; BOLTE, A. **Forest hydrology research with lysimeter in the northeast German lowlands special methods and results for the forest management.** Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science: Soil solutions for a changing world, Brisbane, Australia, 2010. p. 28-31.

MÜLLER, J.; BOLTE, A. The use of lysimeters in forest hydrology research in north-east Germany. **Agriculture and Forestry Research**, v.59, p.1-10. 2009.

NASCIMENTO, D. B. **Área de proteção ambiental do Vacacaí-Mirim/RS: uma proposta para sua delimitação espacial.** 2012, 91f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

OLIVEIRA, A. S.; VELLAME, L. M.; SANTOS JUNIOR, J. L. C.; VELLAME, J. M. Design and uncertainty analysis of a weighing system for continuous measurement of crop evapotranspiration. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.5, n.3, p.202-213. 2011.

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; AZEVEDO, J. R. G.; SANTOS, F. X. Evapotranspiração de referência na bacia experimental do riacho Gameleira, PE, utilizando-se lisímetro e métodos indiretos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.3, n.1, p.58-67. 2008.

OLIVEIRA, N. T.; CASTRO, N. M. R.; GOLDENFUM, J. A. Influência da palha no balanço hídrico em lisímetros. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.15, p.93-103, 2010.

OPPA, L. F. **Utilização de modelo matemático de qualidade da água para análise de alternativas de enquadramento do Rio Vacacaí-Mirim.** 2007. 130f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

PARANHOS, R. M. **Avaliação de metodologia para a estimativa de produção de sedimentos em uma pequena bacia rural de encosta.** 2004, 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

PAYERO J. O.; IRMAK, S. Construction, installation, and performance of two repacked weighing lysimeters. **Irrigation Science**, v.26, p.191-202. 2008.

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

PEREIRA, M. A.F. **Processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaço temporais no bioma Mata Atlântica**. 2010. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2010.

PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, G. G. dos; REIS, M. G. F.; COSTA, J. M. N. Caracterização da radiação solar em fragmento de Mata Atlântica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v.13, n.1, p.11-19. 2005.

PINHEIRO. M.P. **Variação sazonal no microclima do sub-bosque e seus efeitos no estabelecimento de mudas de *Caesalpinia echinata* Lam. e de *Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze em floresta de encosta e cabruca no sul da Bahia, Brasil**. 2007. 65f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2007.

PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; SCHNEIDERS, D.; OLIVEIRA, D. A.; & ALBANO, R. M. R. Concentrações e cargas de nitrato e fosfato na Bacia do Ribeirão Concórdia, Lontras, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.1, p.86-93. 2013.

PINHEIRO, A.; KAUFMANN, V.; ZUCCO, E.; DEPINÉ, H.; CASTRO, N. M. R.; SOARES, P. A.; PERAZZOLI, M. Avaliação das variáveis hidrológicas do balanço hídrico em área agrícola com cultivo de milho (*Zea mays*) através de uso de lisímetro. **Revista de estudos ambientais (Online)**, v.12, n.1, p.73-81. 2010.

PRUITT, W. O.; ANGUS, D. E. Large weighing lysimeter for measuring evapotranspiration. **Transactions of the ASAE**, v.3, p.13–15. 1960.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 466p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, Planta e atmosfera: Conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2004. 478p.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. 2002. 145f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

SAMUEL-ROSA, A. **Funções de predição espacial de propriedades do solo**. 2012. 195f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SAMUEL-ROSA, A.; MIGUEL, P.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A. Uso da terra no Rebordo do Planalto do Rio Grande do Sul. **Ciência e Natura**, v.33, p.161-173, 2011.

SANTIAGO, A. V. **Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman-Monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decendial**. 2001. 72f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

SANTIAGO, A. V. **Simulação dos efeitos da cobertura vegetal no balanço hídrico da bacia do rio Ji-Paraná, RO**. 2005. 69f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

SANTOS, F. X.; RODRIGUES, J. J. V.; MONTENEGRO, A. A. A.; MOURA, R. F. Desempenho de lisímetro de pesagem hidráulica de baixo custo no semi-árido nordestino. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.1, p.115-124, 2008.

SARI, V. **Interceptação da chuva em diferentes formações florestais na região de Santa Maria - RS**. 2012. 211f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SCANLON, B. R.; LEVITT, D. G.; REEDY, R. C.; KEESE, K. E.; SULLY, M. J. Ecological controls on water-cycle response to climate variability in deserts. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.102, p.6033-6038. 2005.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. **A floresta e a água**. Porto Alegre: Pallotti, 1998. 70p.

SENTELHAS, P. C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática**. 1998. 97f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

SILVA, L. D. B.; FOLEGATTI, M. V.; VILLA NOVA, N. A. Evapotranspiração do capim Tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.3, p.705-712. 2005.

SMITH, M.; SEGEREN, A.; SANTOS PEREIRA, L.; PERRIER, A.; ALLEN, R. **Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements**. Rome: FAO, 1991. 45p.

SOUSA, I. F.; NETTO, A. O. A.; CAMPECHE, L. F. M. S.; BARROS, A. C.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V. Lisímetro de pesagem de grande porte. parte II: consumo hídrico do coqueiro anão verde irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.526-532. 2011.

SOUZA, M. M. **Carga de poluição difusa em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos**. 2012. 182f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

STEELE, D. D.; SAJID, A. H.; PRUNTY, L. D. New corn evapotranspiration crop curves for southeastern North Dakota. **Transactions of the ASAE**, v.39, n.2, p.931-936. 1996.

STRUTHERS, I.; HINZ, C.; SIVAPALAN, M.; DEUTSCHMANN, G.; BEESE, F.; MEISSNER, R. Modelling the water balance of a free-draining lysimeter using the downward approach. **Hydrological Processes**, v.17, p.2151-2169. 2003.

TARQUIS, A. M.; LIMA, J. L. M. P.; KRAJEWSKI, W. F.; CHENG, Q.; GAONACH'H, H. Preface "Nonlinear and scaling processes in Hydrology and Soil Science". **Nonlinear Processes in Geophysics**, v.18, p.899-902. 2011.

TODD, R. W.; EVETT, S. R.; HOWELL, T. A.; KLOCKE, N. L. Soil temperature and water evaporation of small steel and plastic lysimeters replaced daily. **Soil Science**. V.165, p.890-895. 2000.

TOMASELLA, J.T.G.; ROSSATO, L. **Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas – Balanço Hídrico**. INPE, São José dos Campos, 2005. Disponível em: <[http://mtem15.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris401915/2005/11.08.13.25/doc/09\\_Balanco\\_hidrico.pdf](http://mtem15.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris401915/2005/11.08.13.25/doc/09_Balanco_hidrico.pdf)> Acesso em 06/05/2012.

TUCCI, C.E.M. **Impactos da variabilidade climática sobre os recursos hídricos do Brasil**. Brasília, ANA. 2002. 70 p.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças de cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.2, n.1, p.135-152. 1997.

TUCCI, C.E.M.; MENDES, C.A.B. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacias Hidrográficas**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília – DF. 2006. 362p.

VAN BAVEL, C. H. M. Lysimetric measurements of evapotranspiration rates in the eastern United States. **Soil Science Society of America Journal**, v.25 n.2, p.138-141. 1961.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, n.5, p.892-898. 1980.

VICTORIA, D. C. **Estimativa da evapotranspiração da bacia do Ji-Paraná (RO) através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. 2004. 88p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

VON UNOLD, G.; FANK, J. Modular design of field lysimeters for specific application needs. **Water Air Soil Pollution Focus**, v.8, p.233-242. 2008.

WEGEHENKEL, M.; ZHANG, Y.; ZENKER, T.; DIESTEL, H. The use of lysimeter data for the test of two soil–water balance models: A case study. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v.171, p.762-776. 2008.

WESTERN, A. W.; GRAYSON, R. B.; BLÖSCHL, G. Scaling of soil moisture: A hydrologic perspective. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v.30, p.149-180. 2002.

YANG, H.; RAHARDJO, H.; LEONG, E. C. Behavior of unsaturated layered soil columns during infiltration. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.11, n.4, p.329-337. 2006.



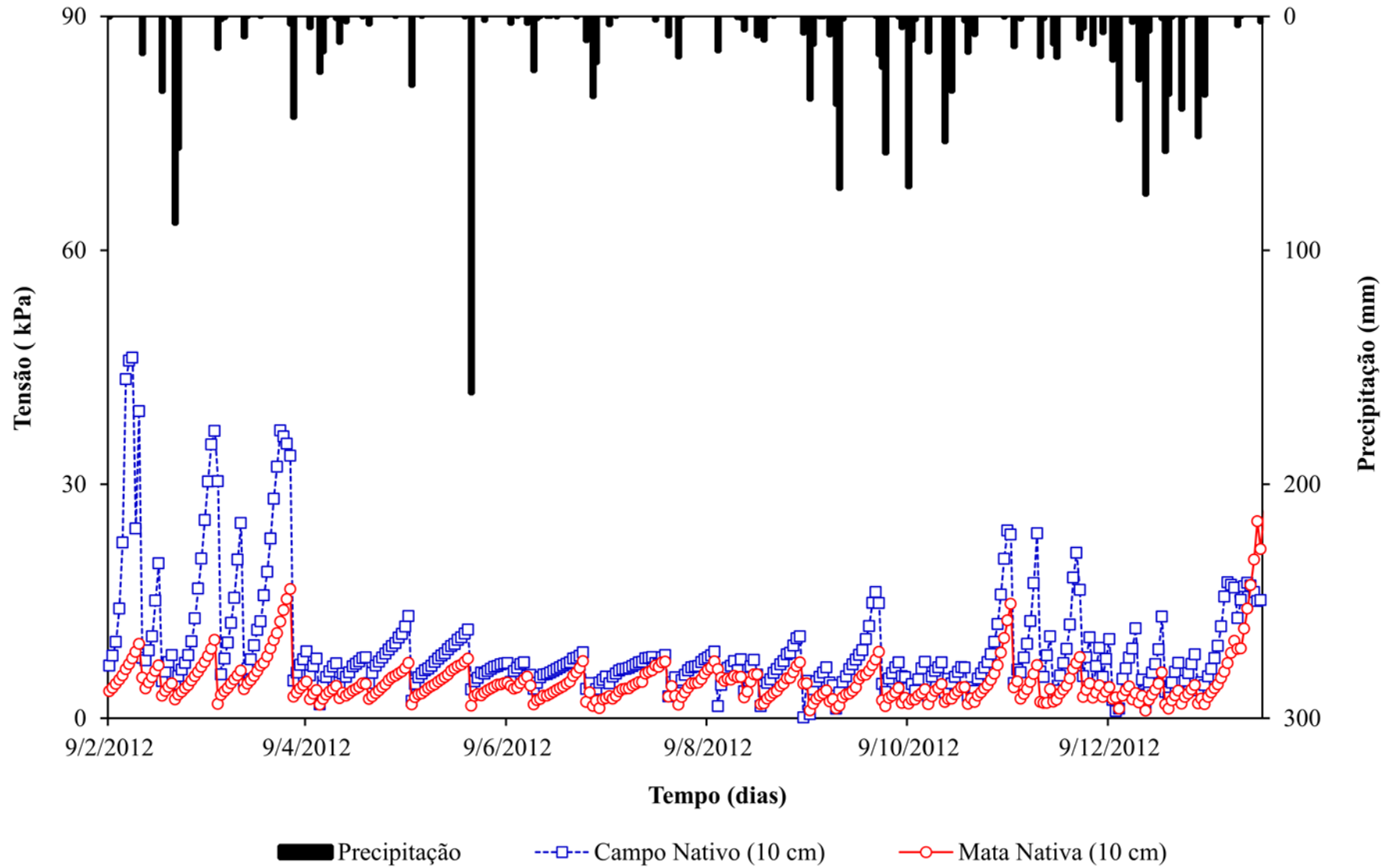
## **APÊNDICES**

---

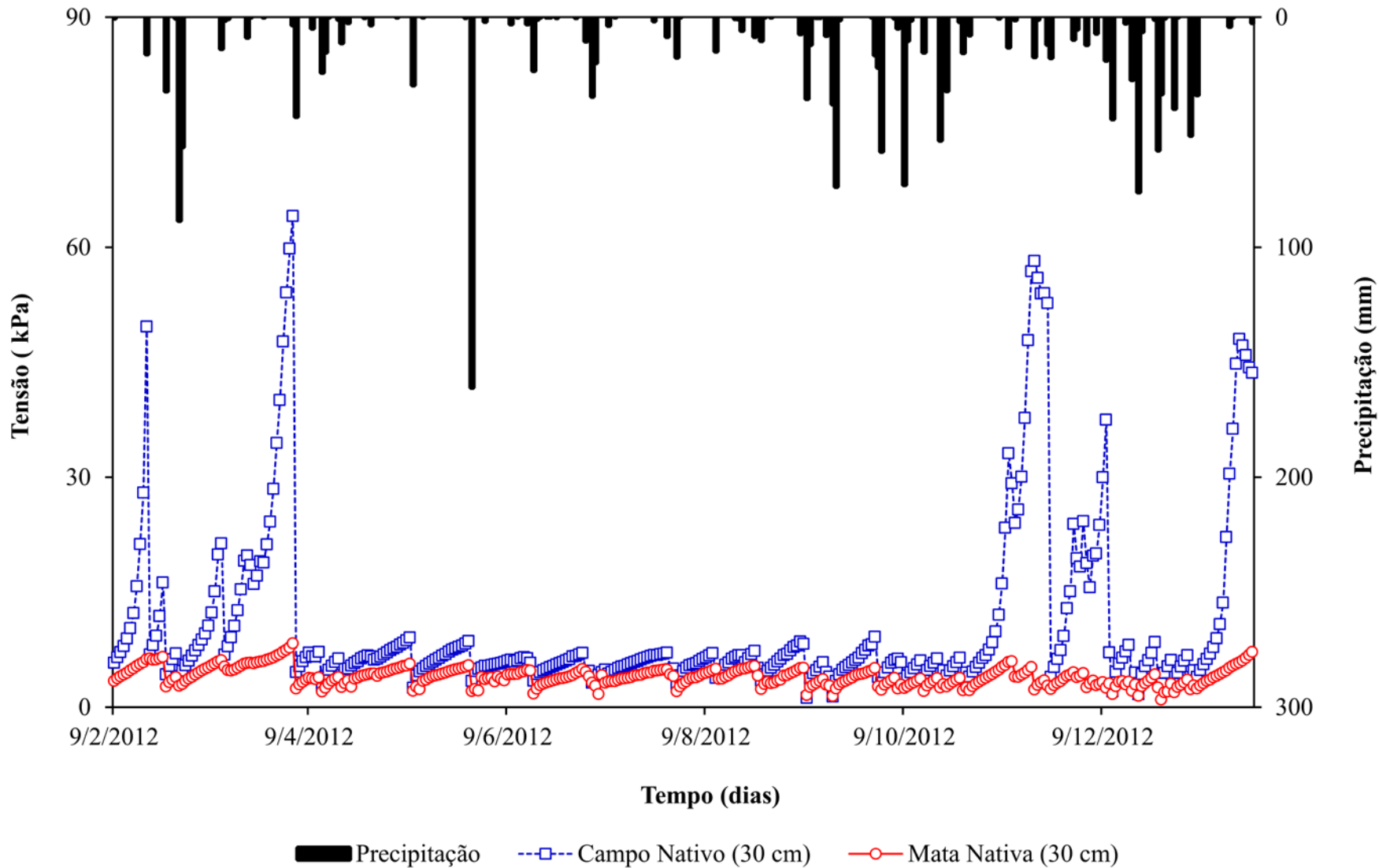
**Apêndice A – Propriedades físicas do solo da mata nativa e do campo nativo, para as diferentes profundidades amostradas.**

Lisímetro	Prof.	Densidade		Porosidade			Distribuição do tamanho de Partículas				Classe textural
		Solo	Partíc.	Macro	Micro	Total	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
	(cm)	--- (g cm <sup>-3</sup> ) ---		----- (% volume) -----			----- (%) -----				
Mata Nativa	10	1,24	2,56	13,2	38,3	51,49	22,2	24,1	39	14,6	Franco
	20	1,3	2,69	3,63	48,1	51,74	20,1	26,3	42,1	11,6	Franco
	30	1,27	2,71	13,18	39,95	53,13	20	27,8	36,5	15,7	Franco
	50	1,37	2,57	8,15	38,66	46,81	20,9	25,8	37,5	15,8	Franco
	70	1,4	2,56	5,56	39,91	45,47	19,6	25,5	38,6	16,3	Franco
	90	1,21	2,58	10,84	42,36	53,19	24	22,3	37,5	16,2	Franco
Campo Nativo	10	1,53	2,45	16,36	21,43	37,79	15,9	76,4	2,7	5	Areia
	20	1,51	2,49	18,34	21,1	39,44	15,8	74,3	4,8	5,1	Areia
	30	1,41	2,5	26,88	16,96	43,84	15,2	74,8	7,5	2,5	Areia
	50	1,39	2,48	25,49	18,35	43,85	13,8	74,8	6,4	5,1	Areia
	70	1,41	2,51	27,5	16,11	43,6	13,6	75,3	7,6	3,5	Areia
	90	1,48	2,49	22,25	18,41	40,67	13,6	74,9	7,9	3,6	Areia

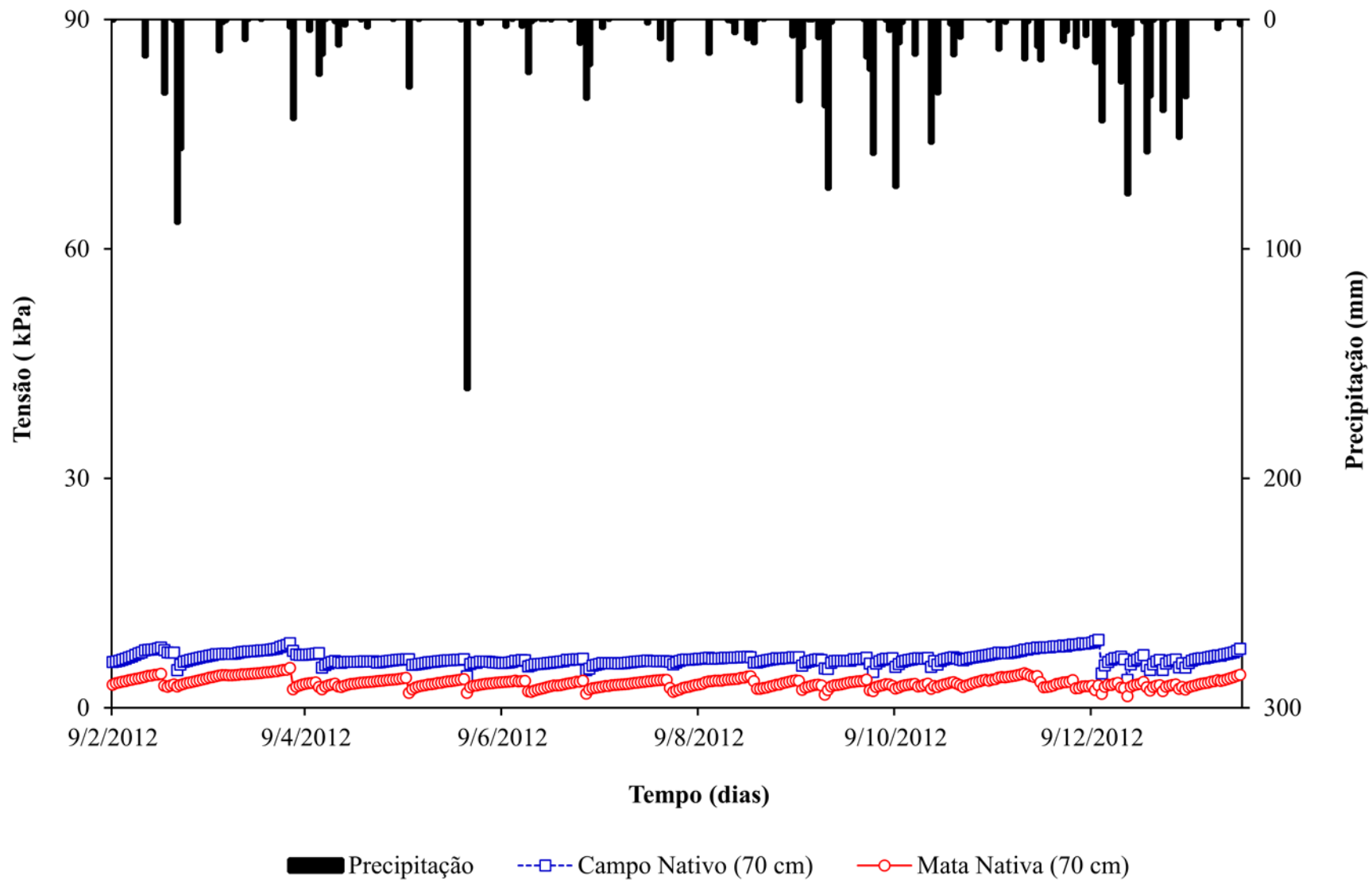
Apêndice B – Variação diária da de tensão de água no solo na profundidade de 10 cm no lisímetro em campo nativo e mata nativa.



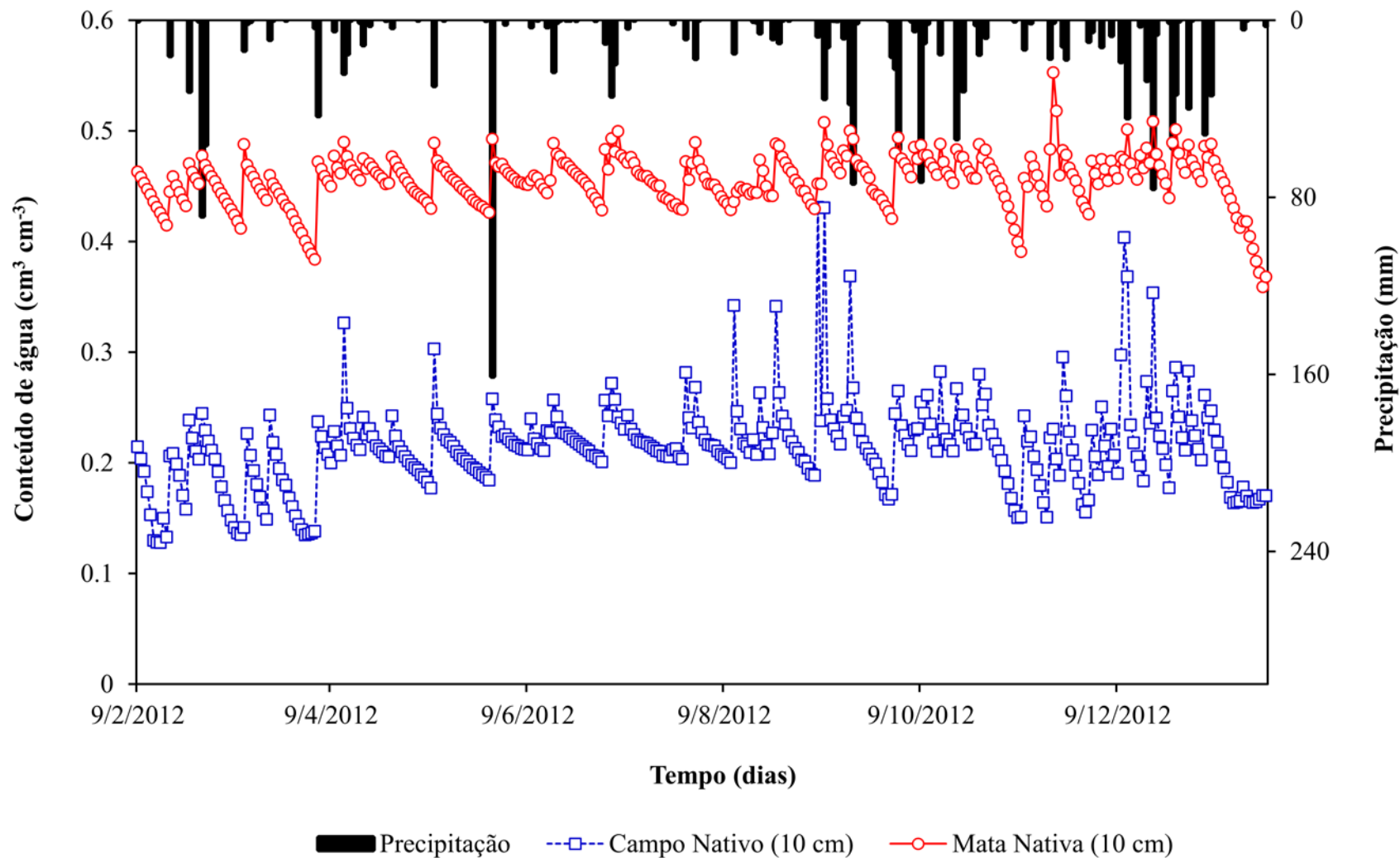
Apêndice C – Variação diária da de tensão de água no solo na profundidade de 30 cm no lisímetro em campo nativo e mata nativa.



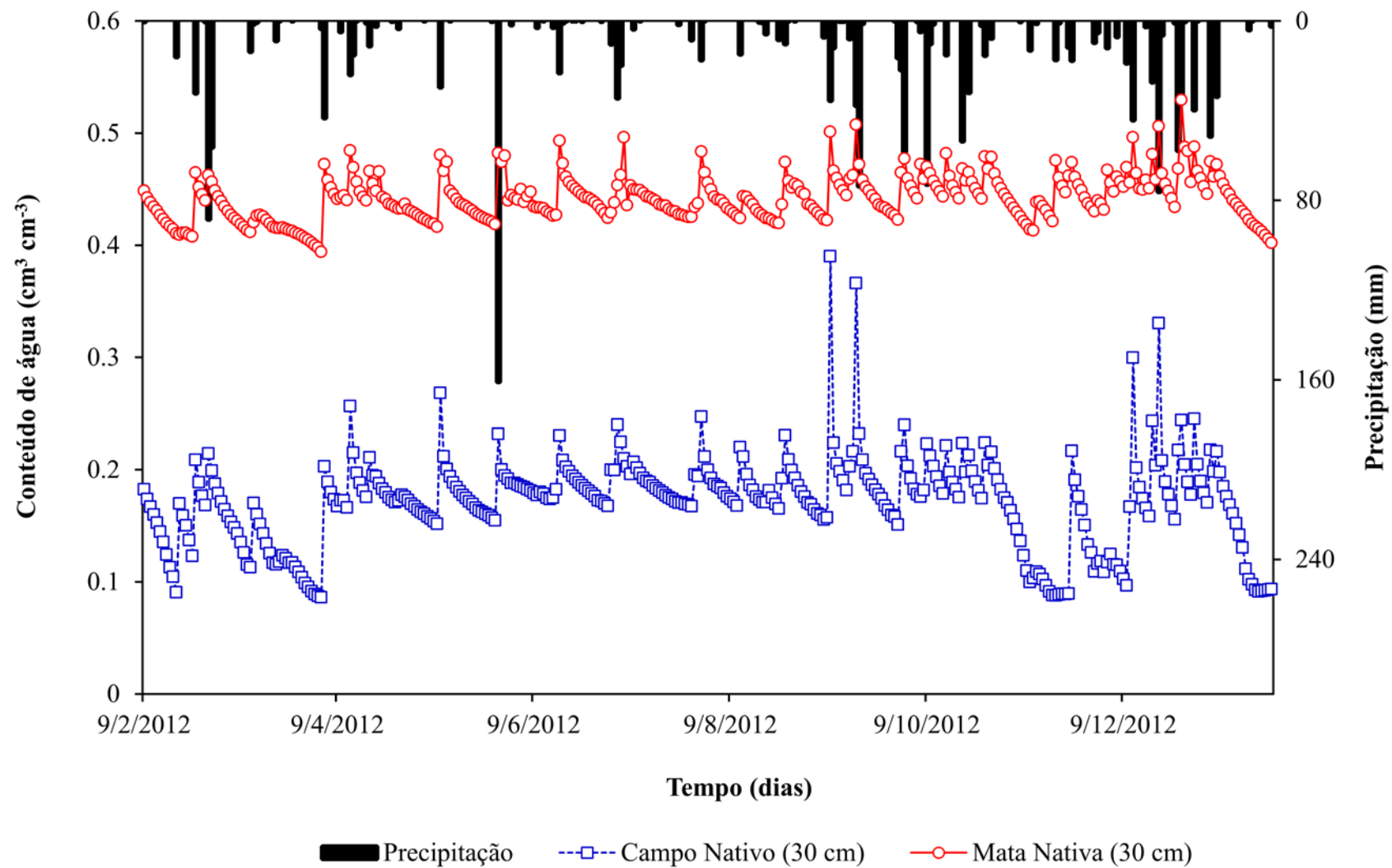
Apêndice D – Variação diária da de tensão de água no solo na profundidade de 70 cm no lisímetro em campo nativo e mata nativa.



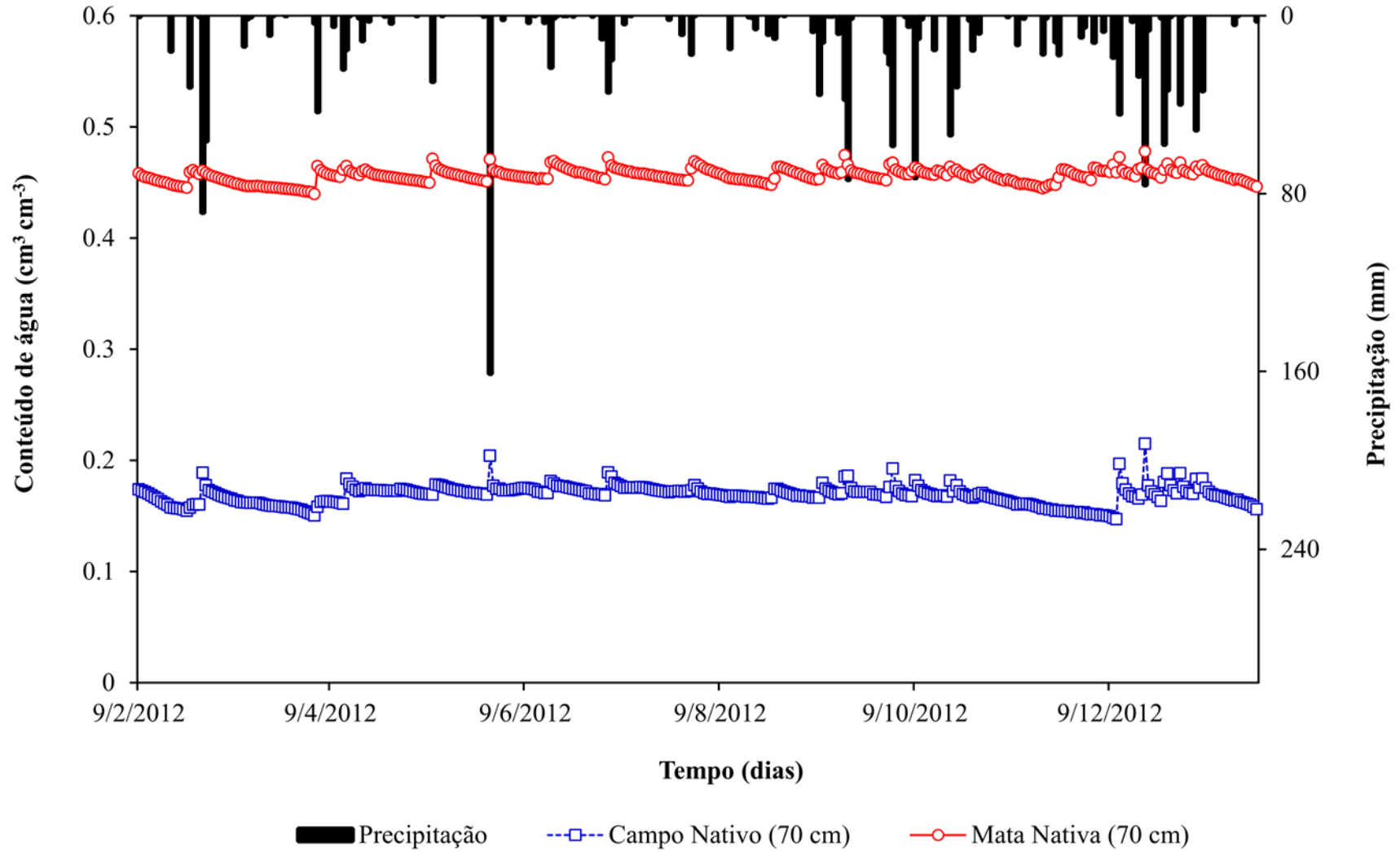
Apêndice E – Variação diária do conteúdo de água no solo para a profundidade de 10 cm nos lisímetros em campo nativo e mata nativa.



Apêndice F – Variação diária do conteúdo de água no solo para a profundidade de 30 cm nos lisímetros em campo nativo e mata nativa.

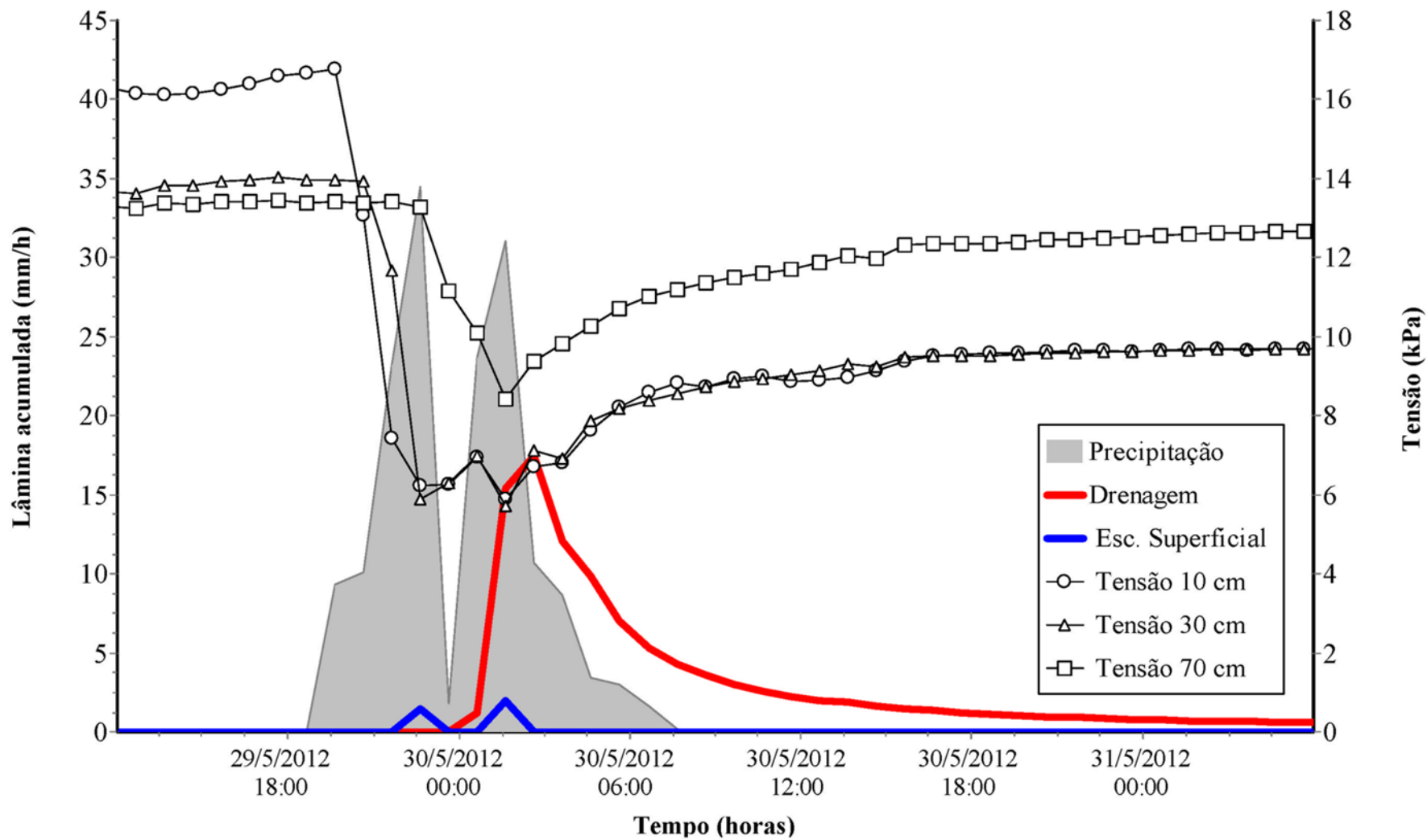


Apêndice G – Variação diária do conteúdo de água no solo para a profundidade de 70 cm nos lisímetros em campo nativo e mata nativa.

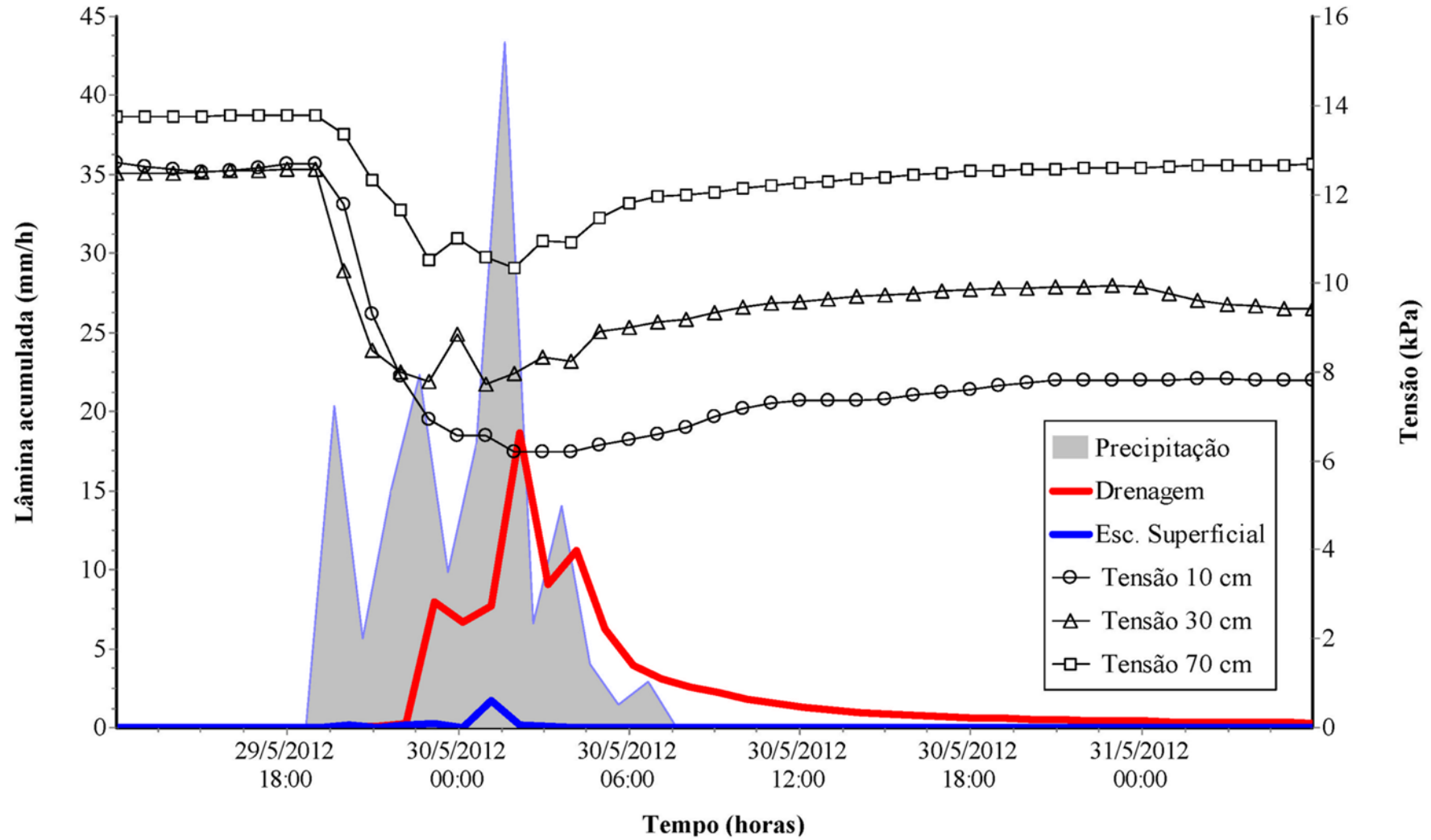




**Apêndice H – Escoamento superficial e drenagem observada para o lisímetro instalado no campo nativo (Evento do dia 29 de maio de 2012).**



Apêndice I – Escoamento superficial e drenagem observada para o lisímetro instalado na mata nativa (Evento do dia 29 de maio de 2012).



**Apêndice J – Componentes do balanço hídrico para os 27 eventos registrados no lisímetro instalado no campo nativo.**

Evento	Início	Final	$\Delta t$	P	ES	D	$\Delta A$	ETr	
			--- (horas) ---	----- (mm) -----					
1	20/02/2012 04:00	25/02/2012 08:00	125	16,20	0,000	0,00	3,02	13,18	
2	25/02/2012 09:00	29/02/2012 12:00	100	32,95	0,000	0,00	20,76	12,19	
3	29/02/2012 13:00	13/03/2012 14:00	314	145,24	0,006	98,12	-13,59	60,70	
4	13/03/2012 15:00	21/03/2012 05:00	183	16,28	0,307	0,00	2,87	13,10	
5	21/03/2012 06:00	05/04/2012 05:00	359	9,40	0,000	0,00	-13,49	22,89	
6	05/04/2012 06:00	10/04/2012 15:00	130	47,00	0,433	0,00	35,91	10,66	
7	10/04/2012 16:00	13/04/2012 22:00	79	5,00	0,000	0,00	-2,50	7,50	
8	13/04/2012 23:00	19/04/2012 05:00	127	39,81	0,000	8,33	12,29	19,19	
9	19/04/2012 06:00	28/04/2012 11:00	222	15,81	0,000	7,18	-1,81	10,44	
10	28/04/2012 12:00	11/05/2012 12:00	313	3,80	0,000	0,46	-11,10	14,44	
11	11/05/2012 13:00	29/05/2012 18:00	438	30,31	0,013	10,33	-1,27	21,23	
12	29/05/2012 19:00	10/06/2012 13:00	283	163,14	3,513	124,15	15,30	20,18	
13	10/06/2012 14:00	17/06/2012 11:00	166	7,40	0,013	1,98	3,37	2,04	
14	05/07/2012 05:00	20/07/2012 17:00	373	62,40	0,000	61,93	-9,99	10,46	
15	19/11/2012 01:00	22/11/2012 21:00	93	18,64	0,179	0,00	3,37	15,09	
16	22/11/2012 22:00	01/12/2012 05:00	200	29,80	0,000	0,00	-0,95	30,76	
17	01/12/2012 06:00	04/12/2012 08:00	75	15,20	0,000	0,00	5,86	9,34	
18	04/12/2012 09:00	07/12/2012 08:00	72	12,20	0,006	0,00	2,32	9,87	
19	07/12/2012 09:00	11/12/2012 00:00	88	7,21	0,000	0,00	-8,98	16,19	
20	11/12/2012 01:00	18/12/2012 19:00	187	84,32	0,000	9,07	20,23	55,03	
21	18/12/2012 20:00	20/12/2012 09:00	38	27,44	0,000	0,13	24,23	3,08	
22	20/12/2012 10:00	26/12/2012 06:00	141	83,28	0,000	77,01	-21,77	28,04	
23	26/12/2012 07:00	31/12/2012 22:00	136	93,02	0,000	71,99	8,51	12,52	
24	31/12/2012 23:00	05/01/2013 09:00	107	40,13	0,000	27,36	0,74	12,04	
25	05/01/2013 10:00	07/01/2013 13:00	52	51,64	0,000	33,27	16,03	2,35	
26	07/01/2013 14:00	24/01/2013 15:00	410	38,33	0,000	37,14	-46,59	47,79	
27	20/02/2013 13:00	25/02/2013 01:00	109	9,80	0,000	7,84	-6,57	8,53	

$\Delta t$  = intervalo de tempo; P = precipitação; ES = escoamento superficial; D = drenagem;  $\Delta A$  = variação do armazenamento; ETr = evapotranspiração real.

**Apêndice K – Componentes do balanço hídrico para os 27 eventos registrados no lisímetro instalado na mata nativa.**

Evento	Início	Final	$\Delta t$	P	ES	D	$\Delta A$	ETr
			--- (horas) ---	----- (mm) -----				
1	20/02/2012 04:00	25/02/2012 08:00	125	11,25	0,000	1,87	2,00	7,37
2	25/02/2012 09:00	29/02/2012 12:00	100	28,14	0,032	2,77	19,72	5,61
3	29/02/2012 13:00	13/03/2012 14:00	314	138,40	0,207	87,21	-21,60	72,59
4	13/03/2012 15:00	21/03/2012 05:00	183	17,22	0,000	2,68	6,22	8,32
5	21/03/2012 06:00	05/04/2012 05:00	359	7,79	0,000	2,46	-19,68	25,01
6	05/04/2012 06:00	10/04/2012 15:00	130	46,13	0,013	10,19	34,57	1,36
7	10/04/2012 16:00	13/04/2012 22:00	79	8,27	0,000	3,13	-0,42	5,56
8	13/04/2012 23:00	19/04/2012 05:00	127	37,87	0,026	23,40	1,97	12,48
9	19/04/2012 06:00	28/04/2012 11:00	222	16,66	0,006	11,40	-3,54	8,79
10	28/04/2012 12:00	11/05/2012 12:00	313	5,72	0,006	5,46	-12,68	12,93
11	11/05/2012 13:00	29/05/2012 18:00	438	34,45	0,045	16,36	-0,04	18,08
12	29/05/2012 19:00	10/06/2012 13:00	283	167,03	2,582	108,95	11,82	43,68
13	10/06/2012 14:00	17/06/2012 11:00	166	9,13	0,000	2,24	-1,41	8,30
14	05/07/2012 05:00	20/07/2012 17:00	373	67,13	0,045	41,26	-2,45	28,27
15	19/11/2012 01:00	22/11/2012 21:00	93	16,85	0,039	0,02	4,05	12,75
16	22/11/2012 22:00	01/12/2012 05:00	200	24,57	0,052	1,31	-4,90	28,11
17	01/12/2012 06:00	04/12/2012 08:00	75	10,81	0,013	0,98	4,83	4,99
18	04/12/2012 09:00	07/12/2012 08:00	72	17,40	0,013	1,31	9,41	6,66
19	07/12/2012 09:00	11/12/2012 00:00	88	8,01	0,000	2,99	-5,20	10,21
20	11/12/2012 01:00	18/12/2012 19:00	187	93,79	0,039	51,96	3,16	38,63
21	18/12/2012 20:00	20/12/2012 09:00	38	17,98	0,104	2,29	10,12	5,46
22	20/12/2012 10:00	26/12/2012 06:00	141	81,43	0,181	30,84	-16,76	67,16
23	26/12/2012 07:00	31/12/2012 22:00	136	98,76	0,395	15,57	9,57	73,23
24	31/12/2012 23:00	05/01/2013 09:00	107	34,98	0,253	6,47	-3,43	31,70
25	05/01/2013 10:00	07/01/2013 13:00	52	42,20	0,356	4,04	10,03	27,77
26	07/01/2013 14:00	24/01/2013 15:00	410	38,81	0,266	8,53	-49,25	79,27
27	20/02/2013 13:00	25/02/2013 01:00	109	10,68	0,006	4,54	-7,51	13,64

$\Delta t$  = intervalo de tempo; P = precipitação; ES = escoamento superficial; D = drenagem;  $\Delta A$  = variação do armazenamento; ETr = evapotranspiração real.