

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

BALANÇO HÍDRICO EM BACIA URBANA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Ariéli Corrêa Dalla Corte

Santa Maria, RS, Brasil

2015

BALANÇO HÍDRICO EM BACIA URBANA

Ariéli Corrêa Dalla Corte

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

Orientador: Prof. Dr. João Batista Dias de Paiva
Co-Orientadora: Prof^a Dr^a. Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva

Santa Maria, RS, Brasil

2015

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil**

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

BALANÇO HÍDRICO EM BACIA URBANA

Elaborada por
Ariéli Corrêa Dalla Corte

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Civil

COMISSÃO EXAMINADORA:

João Batista Dias de Paiva, Dr.
(Presidente/Orientador)

Débora Missio Bayer, Dr^a. (UFSM)

Adilson Pinheiro, Dr (FURB)

Santa Maria, 30 de janeiro de 2015.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela oportunidade a mim concedida.

À professora Eloiza Maria Cauduro Dias de Paiva, pela acolhida e orientações dadas ao início dessa pesquisa e ao professor João Batista Dias de Paiva, pelo auxílio no prosseguimento das atividades até o fim desse trabalho, pela boa disposição em me auxiliar em minhas dificuldades.

Aos professores do Programa, que a partir dos desafios propostos e vencidos, contribuíram com meu acréscimo de conhecimento, por embasamentos que de uma forma ou outra contribuíram ao desenvolvimento dessa dissertação. Ao companheirismo e empatia dos então colegas no momento de realização de trabalhos.

Às entidades que autorizaram a instalação dos equipamentos e nosso trânsito para medição, manutenção desses.

Ao Professor Dr. Rafael Feltrin pelas orientações nas diversas etapas.

Ao funcionário Alcides Sartori e José Astério Rosa do Carmo pelo auxílio a campo. E ao Astério, também colega no curso de mestrado, pela disposição em auxiliar e pelo companheirismo.

Aos vários que contribuíram a instalação dos equipamentos, como o mestre Fábio Alex Beling e o bolsista Lucas Klein da Costa para a estação meteorológica e ao também bolsista Henrique Fracari Fonseca, que junto a mim instalou os tubos de acesso nos dois últimos pontos e também me acompanhou no início das coletas.

Incluo aqui meu agradecimento ao auxílio dos muitos que dedicaram ao menos um turno nas coletas ou manutenção de equipamentos, como o colega Luiz Fernando Schallenberger e o bolsista Matheus Viegas, que me auxiliou nos últimos dias.

Ao Sistema Irriga-UFSM, pela disponibilidade na realização das análises físico-químicas dos solos dos três pontos.

À minha tia e professora de português Elisolete Corrêa Kopstein, pela revisão de meus textos. Ao amigo Otávio Francisco Gomes Dias pelas valiosas dicas para a elaboração dessa dissertação.

Ao colega Douglas Senger de Brito, pela confecção dos tão importantes mapas constantes nessa dissertação e à colega Mariele Medeiros, que os confeccionou em época anterior, para meu projeto.

Aos órgãos CAPES, CNPq, FINEP e CTHidro pelo apoio ao projeto MAPLU 2- (Manejo de Águas Pluviais em Meios Urbanos) e bolsas concedidas.

À minha família, a todos aqueles que, de uma forma ou outra, contribuíram para que esse trabalho fosse iniciado, desenvolvido, melhorado ou ainda, que eu fosse, de uma forma ou outra, apta a segui-lo.

Agradeço!!!

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Maria

BALANÇO HÍDRICO EM BACIA URBANA

AUTOR: ARIÉLI CORRÊA DALLA CORTE

ORIENTADOR: JOÃO BATISTA DIAS DE PAIVA

Data e local da defesa: Santa Maria, 30 de janeiro de 2015.

Este trabalho tem por objetivo o estudo do comportamento das variáveis precipitação, evapotranspiração, escoamento fluvial e armazenamento de água no solo, envolvidas no balanço hídrico da bacia do arroio Cancela, em Santa Maria, RS. O monitoramento foi realizado no período de 02 de maio a 07 de novembro de 2014. A medição do conteúdo volumétrico de água no solo para o balanço hídrico foi feita prioritariamente a cada 7 dias, com sonda TDR, nas profundidades médias de 20, 40, 60 e 80 cm, instalando-se tubos de acesso de 1,0 m profundidade nos pontos CACISM (53°48'1,41" W e 29° 42' 5,5"S), Cerrito (53°47'21,9" W e 29°42'7,2" S) e DAER (53°48'9,4"W e 29°41'38,5" S). No período de 12 a 26 de junho mediu-se o conteúdo de umidade do solo diariamente, para se observar o comportamento dessa variável entre dois eventos de chuva. A precipitação foi monitorada a partir de pluviômetros instalados nos pontos Cerrito e DAER. O escoamento fluvial foi obtido com dados de linígrafo instalado no ponto CACISM a partir de curva-chave e a evapotranspiração foi calculada pelo método Penman-Monteith-FAO através de dados medidos em estação meteorológica instalada nesse ponto e outros adquiridos da rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de estações meteorológicas instaladas no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). A precipitação mensal foi maior para o mês de junho e menor para o mês de agosto. A evapotranspiração foi crescente entre os meses de junho a outubro e seu comportamento ao longo do período foi justificado pela variação dos fatores climáticos. A variação do escoamento acompanhou a variação da precipitação com correlação de 0,9519 entre as variáveis. A influência da precipitação na umidade volumétrica foi confirmada nas medições diárias na quinzena. As variações texturais características aos tipos de solo dos pontos são o fator que melhor justifica o comportamento da umidade do solo nos perfis. O balanço hídrico da bacia para o período estudado apresenta maiores variações (excesso hídrico) próximo ao início do inverno, no período entre 19 de junho a 03 de julho e próximo ao início da primavera, entre 29 de agosto a 16 de setembro. No mês de agosto ocorreu a maior deficiência hídrica.

Palavras-chave: Disponibilidade hídrica. Armazenamento de água no solo. Bacia urbana. Arroio Cancela.

ABSTRACT

M.Sc. Dissertation
Post-Graduation Program in Civil Engineering
Universidade Federal de Santa Maria

WATER BUDGET OF URBAN BASIN

AUTHOR: ARIÉLI CORRÊA DALLA CORTE

ADVISOR: JOÃO BATISTA DIAS DE PAIVA

Place and date of defense: Santa Maria, Jan 30^o, 2015.

This work aims to study the behavior of the variables precipitation, evapotranspiration, runoff and water storage in the soil, involved in water balance of the arroio Cancela basin, in Santa Maria, RS. The monitoring was conducted from 02 May to 07 november of 2014. The measurement of volumetric water content in the soil to the water balance was made priority every 7 days, with TDR probe at average depths of 20, 40, 60 and 80 cm, in access tubes installed until 1,0 m of depth in three sites on the basin: CACISM (53°48'1,41" W e 29°42'5,5"S), Cerrito (53°47'21,9" W e 29°42'7,2" S) e DAER (53°48'9,4"W e 29°41'38,5" S). In the period from 12 to 26 june was measured soil moisture content daily to observe the behavior of this variable between two rain events. Rainfall was monitored from rain gauges installed in points Cerrito and DAER. The runoff was obtained with level recorder installed at river section of CACISM site using a existing rating curve and evapotranspiration was calculated by Penman-Monteith-FAO method using data collected through data measured in meteorological station installed at this point and others purchased from the National Institute of Meteorology network (INMET), from weather stations installed on the campus of the Federal University of Santa Maria (UFSM). The monthly precipitation was higher for the month of June and lowest for the month of August. Evapotranspiration was growing between the months from june to october and its behavior over the period was justified by the change in climatic factors. The variation of the run off accompanied with the variation of rainfall 0.9519 correlation between variables. The influence of precipitation on the water content was confirmed in the daily measurements in the fortnight. Variations of textural characteristics to the soil types of the sites are the factor that best explains the soil moisture behavior in profiles. The textural variations are the factor that better explains the soil moisture behavior in profiles. The water balance of the basin for the period studied shows greater variations (excess of water) near the beginning of winter, in the period between 19 june to 03 july and near the beginning of spring, between 29 august and 16 september. In august had the highest water deficit.

Keywords: Water availability. Water storage in the soil. Urban watershed. Arroio Cancela.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Ciclo Hidrológico (TUCCI, MENDES, 2006 adaptado de IGBP,1993).....	15
Figura 2– Localização da bacia em estudo e os pontos de monitoramento.....	30
Figura 3–Mapa de solos da bacia do arroio Cancela até a sessão de monitoramento de vazões, com os pontos CACISM, Cerrito e DAER.....	31
Figura 4–Rede de drenagem do arroio Cancela até a sessão de monitoramento de vazões.....	33
Figura 5–Modelo Numérico do terreno da Bacia do arroio Cancela.....	34
Figura 6– Uso e ocupação do solo na bacia com imagens do Google Earth Pro de abril de 2014.....	34
Figuras 7 e 8 – Estação Meteorológica, em fase de pré-instalação, em sua composição completa e em funcionamento.....	35
Figura 9– Esquema do perfil do solo em medição e envio dos dados para <i>Palm PC</i> (a) e <i>display</i> do aparelho com variáveis em medição (FONTE: Imko, 2012).....	36
Figura 10– Panorâmica do local de instalação do tubo de acesso da sonda e pluviômetro nos três pontos monitorados (a) Cerrito (b) DAER e (c) CACISM.....	37
Figura 11 – Vista geral da seção de medição de vazão.....	37
Figura 12: Curvas de retenção da umidade do solo nos pontos CACISM (a), Cerrito (b) e DAER (c) nas profundidades de 20,40,60 e 80 cm.....	48
Figura 13– Precipitação mensal para os pontos Cerrito e DAER para o período de maio a novembro de 2014 e as normais climatológicas observadas entre 1961 e 1990 para o município de Santa Maria, RS (CPTEC/INPE).....	49
Figura 14–Precipitação diária nos pontos, observada no período de 15 dias de monitoramento contínuo da umidade do solo, de 12 a 26 de junho de 2014.....	50
Figura 15 – Precipitação nos pontos Cerrito e DAER e Evapotranspiração entre as coletas semanais, entre 02/05/2014 e 07/11/2014.....	52
Figura 16–Evapotranspiração diária calculada para os 15 dias de monitoramento após chuva e a precipitação nos pontos Cerrito e DAER entre 12 e 26/06/2014.....	52
Figura 17- Precipitação nos pontos Cerrito e DAER e escoamento fluvial para o ponto CACISM , entre as coletas semanais, entre 02/05/2014 e 07/11/2014.....	54
Figura 18- Análise de regressão entre a Precipitação e o Escoamento Fluvial entre coletas.....	55
Figura 19- Umidade volumétrica do solo nos pontos CACISM (a), Cerrito (b) e DAER (c) para as coletas semanais.....	58
Figura 20- Umidade volumétrica do solo para o ponto CACISM para as medições de 15 dias consecutivos.....	61
Figura 21- Umidade volumétrica do solo para o ponto Cerrito para as medições de 15 dias consecutivos.....	61
Figura 22- Umidade volumétrica do solo para o ponto DAER para as medições de 15 dias consecutivos.....	62
Figura 23- Balanço hídrico semanal para a bacia do arroio Cancela, para o período de 02/05/2014 a 07/11/2014, considerando Evapotranspiração de referência.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1–Tipos de solo de acordo presentes nos pontos monitorados de com classificação proposta por Pedron et al, (2008):	31
Tabela 2- Uso do solo na bacia do Arroio Cancela, obtido com imagens do software Google Earth Pro de abril de 2014:	35
Tabela 3– Granulometria (%) e classe textural do solo nos pontos CACISM, Cerrito e DAER	44
Tabela 4– Densidade do solo e da partícula (g/cm ³), Macroporosidade, microporosidade e porosidade (%) para os pontos CACISM, Cerrito e DAER nas profundidades de 20,40, 60 e 80 cm:	45
Tabela 5– Capacidade de Campo, Ponto de Murcha Permanente e Água disponível (%) para os pontos CACISM, Cerrito e DAER nas profundidades 20, 40,60 e 80 cm:.....	46
Tabela 6- Evapotranspiração de referência mensal calculada pelo método Penman-Monteith-FAO (1998) para a bacia do arroio Cancela, de maio a outubro de 2014.	53
Tabela 7- Precipitação medida nos pontos Cerrito e DAER, entre as datas de coletas e a precipitação média para a bacia, em mm, entre 02/05/2014 e 07/11/2014.	63
Tabela 8- Área, em Km ² , de cada solo da bacia, tipos de solo de acordo com classificação proposta por Pedron, et al. (2008) e o agrupamento em subáreas para a ponderação dos armazenamentos de água do solo medidos nos pontos CACISM, Cerrito e DAER:.....	64
Tabela 9- Armazenamento de água no solo nos três pontos, seu valor médio para bacia e a variação entre períodos, em mm.	65
Tabela 10-Variáveis mensuradas e Balanço hídrico semanal para a bacia do arroio Cancela de 02/05/2014 a 07/11/2014*	66
Tabela 11- Totais de precipitação (P), Escoamento Fluvial (ESC) e variação de armazenamento de água no solo (ΔA) usados no balanço hídrico e estimativa da evapotranspiração real:	69

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A: Umidades volumétricas medidas no ponto CACISM e horário das medições para as profundidades de 20,40,60 e 80 cm, entre 02/05/2014 e 07/11/2014	83
APÊNDICE B: Umidades volumétricas medidas no ponto Cerrito e horário das medições para as profundidades de 20,40,60 e 80 cm, entre 02/05/2014 e 07/11/2014	84
APÊNDICE C: Umidades volumétricas medidas no ponto DAER e horário das medições para as profundidades de 20,40,60 e 80 cm, entre 02/05/2014 e 07/11/2014	85
APÊNDICE D: Umidades volumétricas medidas no ponto CACISM e horário das medições para as profundidades de 20,40,60 e 80 cm, para as medições diárias entre 12/06/2014 e 26/06/2014	86
APÊNDICE E: Umidades volumétricas medidas no ponto Cerrito e horário das medições para as profundidades de 20,40,60 e 80 cm, para as medições diárias entre 12/06/2014 e 26/06/2014	87
APÊNDICE F: Umidades volumétricas medidas no ponto DAER e horário das medições para as profundidades de 20,40,60 e 80 cm, para as medições diárias entre 12/06/2014 e 26/06/2014	88

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
1 OBJETIVOS	13
1.1 Objetivo geral.....	13
1.2 Objetivos específicos.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Balanço hídrico	14
2.2 Componentes do balanço hídrico	18
2.2.1 Precipitação.....	18
2.2.2 Evapotranspiração	19
2.2.3 Infiltração e Armazenamento de água no solo	21
2.2.3.1 A técnica TDR (Reflectometria do Domínio do Tempo)	24
2.2.4 Escoamento superficial	26
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1 Área de estudo	29
3.2 Caracterização físico-hídrica da bacia.....	31
3.3 Caracterização física e uso do solo na bacia	33
3.4 Disposição dos equipamentos nos pontos monitorados.....	35
3.5 Monitoramento das variáveis hidrológicas envolvidas no estudo	38
3.5.1 Armazenamento de água no solo, precipitação e escoamento fluvial	38
3.5.2 Evapotranspiração	39
3.5.2.1 Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith-FAO (1998):	40
3.5.2.1.1 Balanço de radiação.....	41
3.5.3 Cálculo do Balanço Hídrico	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 Caracterização físico-hídrica dos solos da bacia.....	44
4.2 Análise das variáveis envolvidas no balanço hídrico	49
4.2.1 Precipitação.....	49
4.2.2 Evapotranspiração	51
4.2.3 Escoamento Fluvial	53
4.2.4 Armazenamento de água no solo.....	56
4.3 Balanço hídrico semanal da bacia	63
5 CONCLUSÕES	71
6 RECOMENDAÇÕES	72
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
APÊNDICES	82

INTRODUÇÃO

O comportamento dos processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica é influenciado por características climáticas, morfológicas e hidrográficas, que condicionam a sua disponibilidade hídrica. A presença de água em um local é bem importante na manutenção da vida como um todo e atrativo à sua ocupação. A partir daí forma-se, um novo componente do sistema: o biológico, o qual necessita da disponibilidade hídrica para seu desenvolvimento e ao mesmo tempo a influencia.

O processo de urbanização interfere em elementos de seu ciclo hidrológico, modificando o ambiente com o desmatamento, a degradação das áreas naturais e ainda trazendo outros elementos, como a poluição e o tratamento e distribuição do esgoto- relacionados ao aumento demográfico. Os impactos dessas ações sobre os recursos hídricos tem sido alvo de pesquisas com fins diferenciados, analisando as variações climáticas ou mesmo a disponibilidade hídrica.

Uma bacia hidrográfica é um sistema físico naturalmente complexo, em geral com diferentes propriedades físicas e variáveis no tempo (SANTOS et al, 2001). O conhecimento dos processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica é essencial para direcionar ações relacionadas ao uso da água e o balanço hídrico é ferramenta para planejamento, simulando os processos envolvidos no ciclo hidrológico. O balanço hídrico é obtido a partir do monitoramento de uma série de variáveis, necessárias ao conhecimento das características hidrológicas, na busca da representação do comportamento do sistema. (D' ANGIOLELLA, et al, 2003; COELHO, 2006; FACCO, 2004).

O balanço hídrico é realizado de diversas formas, de acordo com os equipamentos ou dados disponíveis e é, na parte das vezes, efetuado para estimar a evapotranspiração potencial e real. O balanço hídrico climático, método proposto por Thornthwaite e Mather (1955), é um dos mais conhecidos e bastante utilizado. O método possibilita a contabilidade das entradas e saídas em presença de vegetação, fornecendo a quantidade de água disponível às plantas, em dado momento, mas traz simplificações quanto ao com o armazenamento de água no solo, valor que é fixado no cálculo com base na textura. Essa tendência à estimativa de variáveis é reflexo da dificuldade, também, do monitoramento de algumas.

Em ambientes diferentes, prevalece a precipitação como variável acessível, assim como o conteúdo de água no solo, embora não tão habitualmente medida; por outro lado, variáveis como evapotranspiração real e o escoamento superficial são habitualmente obtidos através de estimativa. O monitoramento de mais variáveis possibilita uma melhor estimativa das demais e ainda, traz maior confiabilidade para a determinação das fases de estresse e excesso hídrico, em período desejado. O balanço hídrico, como ferramenta para previsão da disponibilidade hídrica, é, uma ferramenta de estimativa do sistema e, aproximação de um sistema complexo, tendo-se uma melhor aproximação desse com uma descrição mais detalhada dos processos que o compõe.

O banco de informações disponível através desse monitoramento possibilita, com auxílio do balanço hídrico, subsídios para um melhor planejamento do uso do solo e podem auxiliar numa questão bastante delicada em espaços urbanos: a ocupação. Há a possibilidade, também, a análise da influência antrópica no meio com a estimativa da evapotranspiração real.

O arroio Cancela, cuja bacia hidrográfica é objeto desse estudo, é localizado na cidade de Santa Maria, RS, apresenta problemas relacionados à urbanização, ao mau uso e ocupação do solo, observados também em outros cursos d'água do município. O conhecimento do comportamento dos recursos hídricos nessa bacia é importante para o planejamento do uso do solo e, sabendo-se a urbanização como processo dinâmico, também é importante para auxiliar na difícil equalização das questões ambientais e sociais.

O presente trabalho faz um estudo do balanço hídrico da bacia do arroio Cancela, no município de Santa Maria, RS, através do monitoramento de chuva, clima, vazão e o armazenamento de água no solo em três pontos.

1.OBJETIVOS

1.1 Objetivo geral

Estudar o comportamento das variáveis hidrológicas envolvidas no balanço hídrico de uma pequena bacia urbana, através de monitoramento de chuva, vazão, clima e umidade do solo com vistas a obter informações que sirvam de subsídios a um planejamento sustentável na bacia.

1.2 Objetivos específicos

Atividades necessárias para alcance do objetivo geral:

- Obter informações do clima, em ponto representativo, com uso de estação meteorológica automática instalada na bacia e de estação climatológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), operada na Universidade federal de Santa Maria (UFSM), para o cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith.
- Monitorar o conteúdo de água do solo com uso de sonda que utiliza a técnica da Reflectometria de Retorno do Tempo (TDR).
- Empregar informações de variações do nível do arroio, registradas pelo linígrafo, para obtenção da vazão por meio da curva-chave já existente.
- Elaborar o balanço hídrico da bacia, a partir de dados obtidos em estação meteorológica, pluviômetros, linígrafo e técnica TDR, por meio da aplicação da equação de continuidade de massa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Balanço hídrico

A água está presente em todos os ambientes terrestres e sua quantidade é praticamente invariável há centenas de milhões de anos. O que varia no globo é sua distribuição e o estado físico em que se apresenta. Essa variação é causada pelo “ciclo das águas” que é acionado pela energia solar, a gravidade e a rotação terrestre. A radiação solar, o tipo e a cobertura vegetal e os elementos e fatores climáticos, tais como temperatura e umidade relativa do ar, ventos e insolação são os responsáveis pelos processos de circulação da água dos oceanos para a atmosfera. (BRITO 2007; HORIKOSHI, 2007; TUCCI e MENDES, 2006).

O ciclo hidrológico utiliza-se da dinâmica da atmosfera e de grandes reservatórios de água, percorrendo caminhos a partir dos quais circula por todo sistema global através de vários processos (TUCCI e MENDES, 2006; WARD e STANLEY, 2004).

A água precipitada advém da sua evaporação de rios, lagos e oceanos, do solo e transpirada pelas plantas mediante processo de equilíbrio da temperatura corporal (evapotranspiração) ou da evaporação, após sua retenção nas copas das árvores, nos eventos de chuva (interceptação vegetal). Ao atingir o solo, essa água pode escoar pelas superfícies, o chamado escoamento superficial, por meio do qual a água pode retornar aos reservatórios (recarga subterrânea) ou se infiltrar no solo, no momento em que penetra em seus poros, em movimento descendente. A água infiltrada pode percolar, ou seja, escoar no solo, alcançando o aquífero, ou escoar de forma subsuperficial no solo, por meio de canais internos, até a superfície, ou um curso d'água, abastecendo rios temporários e intermitentes (ARCOVA, et al., 2003; HORIKOSHI, 2007; SANTOS, 2010).

Na figura 1 é apresentado o ciclo hidrológico com os diversos processos que o compõem:

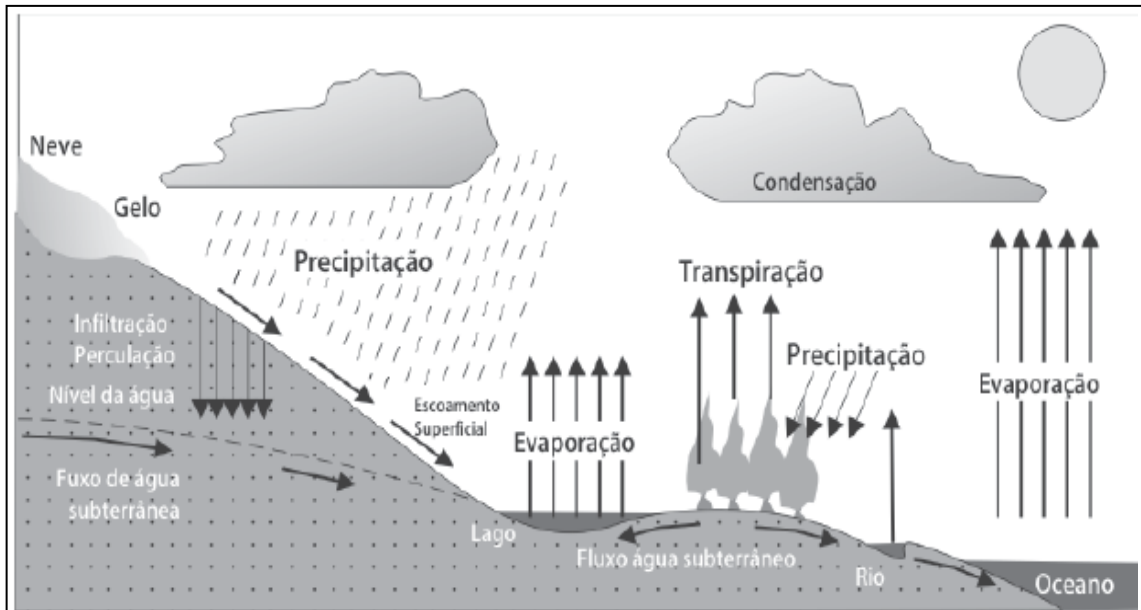


Figura 1– Ciclo Hidrológico (TUCCI, MENDES, 2006 adaptado de IGBP,1993)

A bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise do ciclo hidrológico, onde a entrada de água é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, sendo perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente. Dentro de uma bacia o volume de entrada concentrado no tempo (precipitação) é transformado em uma saída (escoamento) mais distribuída no tempo. A bacia hidrográfica é útil para o estudo da captação e distribuição da água em uma região, podendo ser determinada como “a parte terrestre do ciclo hidrológico” e é considerada a unidade espacial da hidrologia. (da SILVA, 2007; RIGHETTO, 1998; SILVEIRA, 1993).

O balanço hídrico é um sistema contábil de monitoramento de água do solo obtido a partir aplicação do princípio de conservação de massa para a água. A variação do armazenamento de água no solo, em um intervalo de tempo, é tida pelas entradas e saídas de água em um volume controle (PEREIRA, et al, 1997).

O guia metodológico para análise do balanço hídrico da América do Sul, elaborado pela UNESCO em 1982, traz as técnicas para avaliar o balanço hídrico como um dos meios para resolver problemas práticos e teóricos em relação a água, possibilitando uma avaliação quantitativa espacial e temporal dos recursos hídricos, que determina a sua variabilidade espaço temporal. Em uma bacia hidrográfica, o balanço hídrico envolve a quantificação dos dados do sistema visando o melhor

entendimento do sistema, bem como a utilização racional desses recursos (TUCCI e BELTRAME, 1993).

Rossatto (2002), relata o desenvolvimento dos modelos para a obtenção do balanço hídrico, citando Hartmann (1994), que define o modelo dito por modelo de balde (“bucket model”) como o mais simples, que se baseia no princípio do solo possuir uma capacidade fixa para armazenar água, a qual está disponível para a evapotranspiração.

Rossatto (2002) afirma que o modelo “bucket” só era hábil para determinar a evapotranspiração em camada espessa a evaporar e não para prever o ciclo diurno do processo. Um modelo simples teria sido criado por Kondo et al. (1990) incluindo novos parâmetros para a umidade do solo dos primeiros centímetros do perfil, determinando uma expressão geral de umidade disponível à superfície. Por fim o autor conclui, citando Hartmann (1994), que define que vários outros modelos hidrológicos complexos foram desenvolvidos depois do “bucket”, descrevendo as interações entre a atmosfera com a vegetação e o solo.

O mesmo autor conclui que, contudo, embora exista uma grande variedade de modelos disponíveis para a determinação do balanço hídrico, o modelo mais utilizado para fins agroclimáticos é o desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955), que consiste no cotejo entre a precipitação pluvial e a evapotranspiração, considerando-se uma determinada capacidade de armazenamento de água no solo.

O balanço hídrico climatológico, normalmente utilizado para um período anual, também foi descrito por Thornthwaite e Mather (1955) como balanço hídrico diário seqüencial. Em termos práticos, a escala diária é a menos viável, contudo permite acompanhar o armazenamento de água no momento de sua ocorrência, possibilitando o uso da escala de tempo com o adotado monitoramento e compatível a da tomada de decisões (PEREIRA, et al, 1997).

Ometto (1981) relata que a principal função do balanço hídrico é servir de base para a classificação climática. Pereira et al., (1997) destaca como mais importantes aplicações do balanço hídrico climatológico a disponibilidade hídrica regional, a caracterização de secas, o zoneamento agroclimático e a determinação das melhores épocas de semeadura.

Segundo Righetto, (1998), a equação geral do balanço hídrico pode ser fundamentada por:

$$V_e - V_s = \Delta S, \quad (1)$$

em que V_e é vazão de entrada, V_s a vazão de saída e ΔS a variação de armazenamento de água do sistema.

Coutinho (2008) apresenta o modelo de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955), com as seguintes evoluções:

- Considera apenas o fluxo vertical de água;
- Variável de entrada no sistema como precipitação (P);
- Variável de saída considerada como a evapotranspiração (ETP);
- Volumes de escoamento de entrada e saída como ESC_{on} e ESC_{off} .
- O excesso de água infiltrado no extrato do solo, que percola abaixo do sistema radicular da planta como elemento que contribui para a recarga do aquífero (R).

Com isso tem-se a equação:

$$P - ETP + (ESC_{on} - ESC_{off}) - R = \Delta S \quad . \quad (2)$$

O balanço hídrico em bacias hidrográficas é obtido de diversas formas, para atender a diferentes objetivos.

Galvício et al, (2006) efetuou o balanço hídrico na bacia hidrográfica do açude Epitáfio Pessoa, no estado da Paraíba, para analisar as variações antropogênicas no escoamento superficial, através de um modelo desenvolvido baseado na identificação e quantificação dos principais processos hidrológicos.

Moraes (2007) monitorou vazão e precipitação na bacia hidrográfica de São José do Ubá, no estado do Rio de Janeiro, em três pontos, no período entre abril de 2005 e agosto de 2006, a fim de estudar a disponibilidade hídrica e recuperação da degradação ambiental.

Da Silva e Ferreira (2011) efetuaram balanço hídrico pelo método de Thornthwaite na bacia do rio Jequitinhonha, usando dados de precipitação e evapotranspiração potencial da rede de estações meteorológicas do INMET e adotando o valor de 100 mm para a capacidade de armazenamento do solo (CAD) a fim de comparar o clima entre três cidades da região.

D'Angiolella e Vasconcellos (2003), elaboraram planilhas do Excel para estimativa da evapotranspiração potencial utilizando a metodologia proposta por

Thornthwaite e Mather (1955) através de informações meteorológicas como temperatura média, umidade relativa, velocidade e direção do vento, precipitação e insolação, além de estimar parâmetros como a radiação solar no topo da atmosfera (R_a), radiação de ondas curtas (R_{ns}) e de ondas longas (R_b) e radiação líquida (R_n).

Dentro de um balanço hídrico, a incerteza de sua estimativa está ligada a incertezas na medição de seus parâmetros. Essas incertezas são atenuadas ou compensadas por calibração do modelo e prejudicam a confiabilidade dos resultados do modelo, em escala de bacia hidrográfica (SPANK, et al, 2013).

2.2 Componentes do balanço hídrico

2.2.1 Precipitação

O termo precipitação é usado na hidrologia para designar todas as formas de água depositadas sobre a superfície terrestre derivadas do vapor atmosférico e é elemento climático essencial no estudo do regime hidrológico de uma região. Ocorre, em uma dada área, primordialmente em decorrência da umidade do ar (vapor d'água), variando também com fatores atmosféricos que interfiram na quantidade de vapor d'água como a intensidade de radiação solar, cobertura vegetal e umidade do solo (FACCO, 2008; TUCCI, 1993).

A variação espacial das chuvas é grande, sendo influenciada principalmente pela latitude, pela continentalidade, pela altitude, pela distância de fontes de umidade, pela temperatura, pela direção e intensidade dos ventos e pela cobertura do solo. (Dos SANTOS et al., 2011; VILELLA, 1975).

Thornthwaite et al, (1998) ressalta haver naturalmente variação da precipitação de um lugar a outro na terra, ao longo do ano e de um ano para outro. Essa variação das chuvas, no estado do Rio Grande do Sul, adquire, em alguns anos, um comportamento diferente, influenciado por fenômenos El Niño e La Niña, que modificam a temperatura das águas e a pressão atmosférica e geram precipitações acima ou abaixo da média climatológica (BERLATO et al, 2005; GLANTZ, 2001; PHILANDER, 1990).

2.2.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração envolve os dois processos combinados responsáveis por abastecer a atmosfera de água: a evaporação e a transpiração. Os dois processos são simultâneos e não há uma maneira fácil de distingui-los. Em uma bacia hidrográfica, na maioria das vezes, a evapotranspiração é o maior consumidor de água e a sua variação influencia a disponibilidade de água e afeta o armazenamento em um sistema hidrológico e o fluxo em um curso d'água. (ALLEN et al, 1998; LI e ZHANG, 2011; RIGHETTO, 1998).

A evaporação ocorre quando há a conversão da água a vapor d'água, sendo definida como a taxa de transformação da água para vapor em reservatórios e solos com e sem cobertura vegetal (SHUTTLEWORTH, 1993).

O processo de evaporação ocorre tanto em uma massa contínua (mar, lago, rio, poça) quanto numa superfície úmida (solo, planta). Nas plantas, o fenômeno da evaporação da água utilizada nos processos metabólicos envolvidos no seu crescimento e desenvolvimento recebe o nome de transpiração. No vegetal, o processo ocorre nos estômatos, estruturas microscópicas presentes nas folhas, que controlam o equilíbrio osmótico da planta com o ambiente, fechando durante a noite e em situações de estresse hídrico (PEREIRA et al., 1997).

A evaporação de um solo cultivado é influenciada pela disponibilidade de água no solo e principalmente pela fração da radiação solar que atinge a superfície do solo, além da própria cultura, com relação a seu do período de crescimento e sua capacidade de cobrir o solo. Os fatores que afetam a evapotranspiração são os parâmetros do clima, as características do cultivo, de manejo ou ambientais. (ALLEN et al., 1998). Medeiros (2002) traz como principais fatores climáticos: radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento, chuva e pressão de vapor. Os principais fatores culturais do processo seriam a área foliar, o estágio de desenvolvimento, arquitetura foliar, a resistência do dossel.

O termo evapotranspiração potencial (ET_p) foi introduzido por Thornthwaite, em 1944, e aperfeiçoado em seguida. A chuva passa a ser o elemento metrológico padrão, sendo observada a água utilizada em uma superfície gramada, padrão, sem restrição hídrica, para atender às necessidades da evaporação do solo e da transpiração. Penmann, em 1948, acrescenta ao conceito a exigência de que a vegetação deveria ser rasteira e com altura uniforme (MEDEIROS, 2002).

Segundo Pereira et al., (1997) o conceito de evapotranspiração de referência (ET_0) foi introduzido por Jensen, 1970, sendo definido como o limite superior ou a evapotranspiração máxima ocorrente numa cultura de alfafa (*Medicago sativa* L.), com altura de 0,3 a 0,5 m, em alto crescimento, em determinada condição climática e com aproximadamente 100 m de área tampão. O conceito dado pouco mais tarde por Doorenbos e Pruitt, em 1977, difere por utilizar a taxa evapotranspiração de referência em uma extensa superfície de 8 a 15 cm de altura, coberta com gramado verde em crescimento uniforme, densa e bem suprida de água (PEREIRA et al., 2014).

A evapotranspiração real demonstra a real quantidade de água em uma superfície vegetada, sem restrição de área, porte e umidade de solo, em quaisquer condições reais de terreno (PEREIRA et al., 1997). Para Ometto (1981) a evapotranspiração real ou atual é a perda de água que a planta está sofrendo naquele instante, independente de estágio vegetativo e das condições do ambiente, expressando realmente o débito de água que tenha ocorrido.

Os métodos para estimativa da evapotranspiração de referência podem ser empíricos, desenvolvidos especificamente para uma região climática, podendo não funcionar bem para regiões distintas daquela para a qual foi desenvolvido. Os métodos com embasamento físico trazem por vantagem representar bem o processo da evapotranspiração em qualquer região e condições climáticas (de SOUZA, 2011).

A evapotranspiração pode ser então determinada de forma direta ou indireta. Dentre os métodos diretos destacam-se os lisímetros e do balanço hídrico no solo. No caso dos métodos indiretos, destaca-se o modelo de Penman-Monteith, recomendado pela FAO (Food and Agriculture Organization) no boletim de Irrigação e Drenagem nº 56 (FAO-56), como padrão para determinação da evapotranspiração de referência (ALLEN et al., 1998).

O uso de dados climáticos de domínio público foi testado por Cai et al, (2007) podendo apresentar acurácia suficiente para estimar os parâmetros meteorológicos requeridos para a equação de Penman-Monteith-FAO usando modelos de simulação do balanço hídrico. Os autores verificaram que as estimativas podem ser utilizadas para áreas próximas, cujas previsões não estejam disponíveis, com certa cautela, não recomendando a utilização de extrapolações propostas por Allen, (1998) para regiões com comportamento climático diferente.

2.2.3 Infiltração e Armazenamento de água no solo

A umidade do solo desempenha importante papel nos processos hidrológicos devido à sua relevante participação na separação da precipitação em infiltração e escoamento superficial. Exerce, também, influência na interação solo-atmosfera, especialmente na evapotranspiração e na interferência dos processos vinculados à erosão hídrica e tem grande utilidade para extensa faixa de aplicações de conservação do solo e da água (ÁVILA et al, 2011).

A umidade do solo influencia também a sua resistência a compactação, sendo de grande importância para estudos de movimento da água, bem como para adoção de determinadas práticas de manejo culturais e irrigação (BERNARDO, 2006; ROSSATO, 2001).

O conteúdo de água no solo é resultado de um número de processos hídricos complexos no solo, que interagem mutuamente. Com esse conteúdo varia também a condutividade da água ou ar no solo, influenciando na solução do solo, que transporta os nutrientes importantes para o crescimento das plantas. Na variabilidade do conteúdo de água no solo influem vários fatores: topografia, propriedades do solo, tipo e densidade da vegetação, conteúdo de água médio, profundidade do lençol freático, precipitação, radiação solar e outros fatores meteorológicos (MEDEIROS e CLARKE, 2007; PASTUSZKA, 2014; SHAO et al, 2011).

A infiltração é o processo em que a água penetra o solo através da superfície, movimentando-se de cima para baixo, molhando as camadas mais profundas, em direção ao lençol freático e perdura enquanto houver disponibilidade de água na superfície. A taxa infiltrada não afeta somente a quantidade de água que será utilizada pela comunidade de plantas, mas também a quantidade de água que escoará pela superfície do solo e que será descarregada nos cursos de água (HILLEL, 1998; REICHARDT, 1990; REICHARDT e TIMM, 2004; VILLELA, 1975).

O termo capacidade de infiltração é definido como a taxa máxima de água que um solo é capaz de absorver. Os vários fatores influentes na infiltração incluem a cobertura do solo, a presença de vegetação e propriedades do solo como porosidade e condutividade hidráulica, além do conteúdo atual de umidade no solo. A capacidade real de infiltração do escoamento subsuperficial em bacias hidrográficas não é dada pela capacidade de absorção de água, mas pela

capacidade da cobertura de absorver água e fluir de forma descendente no perfil, em função da sua permeabilidade (CHOW et al, 1988; WISLER, 1959).

O estado hídrico do solo inicialmente foi expresso pela quantidade de umidade, mais tarde, houve a necessidade de expressar a umidade em termos de energia, passando-se a utilizar o conceito de tensão ou sucção de água no solo. O termo utilizado atualmente é o de potencial de água no solo, que tem um significado físico mais consistente e que está relacionado ao estado energético da água na planta e na atmosfera. O potencial de água no solo está relacionado à quantidade de água contida nos macro e microporos do solo, sendo composto principalmente pelo potencial matricial, resultante da adsorção e da capilaridade na matriz do solo, e o potencial gravitacional, resultante da ação do campo gravitacional da Terra (GONÇALVES, 1994; RIGHETTO, 1998; ROSSATO, 2002).

O estado de energia da água é a característica mais importante no solo depois de sua umidade. Quanto menor a sua energia, maior a sua estabilidade, atendendo a lei geral de os corpos ocuparem um estado mínimo de energia, havendo uma busca espontânea por estados mais estáveis. A água obedece a essa tendência universal e move-se no sentido de menor energia. A tendência de seu movimento pode ser determinada através da diferença entre eles (REICHARDT, 1990).

Durante o processo de infiltração, à medida que a água infiltra pela superfície formam-se zonas no perfil de um solo, as camadas superiores do solo vão se saturando de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade. A superfície é então a primeira zona a se saturar, o que ocorre, após, com todo o perfil do solo. A camada superficial, denominada zona saturada, seguida de uma camada de transferência de fluxo insaturado e com teor de umidade bastante uniforme e que a profundidades maiores, alcança o lençol freático (CHOW et al, 1988; TUCCI, 1993).

Com o término da precipitação e o suprimento de água na superfície do solo, cessa-se a infiltração. No interior do solo o movimento da água persiste e na camada superior do solo, parte da água é transferida para a atmosfera por evapotranspiração e outra parte é redistribuída, surgindo um movimento descendente em resposta aos gradientes gravitacional e de pressão, que é denominado drenagem ou redistribuição interna. A capacidade de armazenamento de água no solo é determinada pela intensidade e duração dessa redistribuição,

sendo um fenômeno temporário ditado pela dinâmica da água no solo (TUCCI, 1993).

A disponibilidade de água às plantas, por sua vez, é regulada por fenômenos de adsorção e capilaridade, entre eventos de precipitação, observando-se o aumento da retenção de água à medida que o solo seca e dificultando sua extração pelos vegetais (ROSSATO, 2002).

O processo de dessaturação do solo só será significativo quando a pressão do ar e da água for suficiente para retirar a água dos poros maiores, mostrando, inicialmente, a influência da textura do solo no processo. Em pressões maiores de sucção, há também influência da adsorção das partículas e, portanto, da estrutura do solo (HILLEL, 1998; TUCCI, 1993).

Os conceitos de capacidade de campo (CC) e do ponto de murcha permanente (PMP) foram inicialmente introduzidos por Veihmeyer e Hendrikson (1927), a partir de pesquisas realizadas no período de 1950-1980, em que objetivavam correlacionar a distribuição do tamanho de partículas, a densidade do solo e o teor de matéria orgânica com o conteúdo de água na CC (sucção de 33 kPa), PMP (sucção de 1500 kPa) e conteúdo de água disponível (AD) (da COSTA, 2012).

Para Reichardt (1990) a redistribuição da água no solo cessa do ponto de vista prático, no ponto denominado capacidade de campo (CC). Ottoni, 2005, relata que entre os primeiros conceitos para a CC o principal foi o de Veihmeyer e Hendrickson (1931, 1949):

Quantidade de água retida pelo solo depois que o excesso tenha drenado e a taxa de movimento descendente tenha decrescido acentuadamente, o que geralmente ocorre dois a três dias após de uma chuva ou irrigação em solos permeáveis de textura e estrutura uniforme.

O processo de perda de água pelo solo, por sua vez, ocorre através de um processo contínuo de absorção de água pelas raízes das plantas e evaporação direta. Com a continuidade do processo, o solo tende a umidades muito baixas, exigindo sucções altas e reduzindo o fluxo de água para as raízes. Para as plantas, como a disponibilidade de água é inferior a necessária a demanda evaporativa plena ou potencial, a planta murcha. A umidade do solo no qual a planta não reestabelece a turgidez, mesmo quando colocada em atmosfera saturada por 12h é dita ponto de

murcha permanente (PMP), sendo comumente correspondida a um potencial de -15 atm (BERNARDO, 1995; VEIHMEYER e HENDRICKSON, 1948).

No solo a ação das forças de retenção da solução no solo é descrita pelo potencial mátrico associando-as com as interfaces líquido-ar e sólido-líquido. A relação entre a magnitude de sucção ao longo de uma camada de solo e sua umidade volumétrica é dada pela curva de retenção de água no solo. Essa curva é característica de solos não saturados e sua forma depende de características do solo como a composição mineralógica, a distribuição granulométrica, a textura, a estrutura e o índice de vazios. (DIAS, 2012; GUIZELINI, 2011; LIBARDI, 1995; TUCCI, 1993).

A curva de retenção de umidade do solo constitui-se, também, de um método de determinação indireta da umidade do solo. A medição da umidade em um solo pode ser feita através de métodos diretos ou indiretos. O método gravimétrico é considerado padrão para calibração e consiste na determinação do peso de água perdido pelo solo depois de sua secagem a 105°C. Nos métodos indiretos, a umidade do solo é obtida através da medição de outra propriedade influenciada ou relacionada a uma função ao conteúdo de água no solo. (McGARRY, 2006; WALKER et al, 2004; WISLER, 1959). Para Hillel, 1998, os métodos mais usuais são: blocos de resistência elétrica e as sondas de nêutrons, as que utilizam o princípio da absorção de raios gama e as que usam a técnica da reflectometria de retorno do tempo (TDR).

Considerando os métodos indiretos de medição, o ideal seria o que utilizasse uma propriedade física do solo ou uma característica altamente correlacionada ao seu teor de água. A técnica de reflectometria de retorno do tempo nesse traz a possibilidade de medição dessa propriedade de forma confiável e direta no campo (da SILVA e GERVÁSIO, 1999). Por apresentar as vantagens citadas e em razão de sua disponibilidade, utilizou-se essa técnica, nesse trabalho.

2.2.3.1 A técnica TDR (Reflectometria do Domínio do Tempo)

As primeiras pesquisas usando o método no Brasil foram de Herrman Junior (1993) e o de Tommaselli & Bacchi (1995). A determinação da umidade em tempo real por esta técnica é não destrutiva, permitindo a continuidade e automação na coleta dos dados. Há também a facilidade de se poder levantar e armazenar os

dados de umidade do solo em diferentes profundidades e intervalos de tempo. A técnica traz por desvantagens a dependência dos atributos físicos e químicos do solo, a calibração trabalhosa e o elevado custo do equipamento. (COELHO et al, 2005; dos SANTOS, 2012; TOMMASELLI e BACCHI, 2001).

Hillel (1998) define o método como relativamente novo e baseado nos habituais valores altos apresentados pela constante dielétrica da água. Uma substância dielétrica em geral não conduz eletricidade, mas quando colocada entre duas substâncias carregadas (os capacitores), permite-se o seu deslocamento. A velocidade de propagação deste pulso no meio é função da constante dielétrica. No solo, a constante dielétrica da água é muito superior a de outros constituintes, como ar e partículas minerais e sua velocidade de deslocamento é controlada pelo conteúdo de água no solo, permitindo o seu cálculo. (de LACERDA, et al, 2005; HILLEL, 1998; MEDEIROS et al, 2007; TOMMASELLI e BACCHI, 2001).

A relação entre a umidade volumétrica e a constante dielétrica da água foi, primeiramente determinada por Topp et al., (1980):

$$\theta = -5,31 \times 10^{-2} + 2,92 \times 10^{-2} K_a - 5,51 \times 10^{-4} K_a^2 + 4,31 \times 10^{-6} K_a^3, \quad (3)$$

em que: θ é a umidade volumétrica do solo ($m^3.m^{-3}$) e K_a é a constante dielétrica aparente (adimensional) em meio poroso.

O modelo proposto por Topp et al, (1980) baseia-se apenas na hipótese de que o conteúdo de água no solo dependa apenas de sua constante dielétrica, tratando-se, portanto, de um modelo empírico (TOMMASELLI e BACCHI, 2001). Or e Wraith (1997) afirmam que os baixos valores da constante dielétrica do ar e da matriz sólida, tornam o método pouco sensível à textura e estrutura do solo. Topp et al, (1980) foram de encontro a isso, embora tenham encontrado limites em que a constante dielétrica aparente do solo não foi fortemente sensível para algumas propriedades do solo.

Segundo Cichotta (2004) a calibração tem se mostrado como ponto crítico no uso do TDR, pois as proposições são várias e nenhuma é passível de uso sem uma verificação específica para cada solo ou situação de uso. Interferem na variabilidade desde variações do tipo de solo como densidade, granulometria e mineralogia, como

a variação das hastes e do modo como são instaladas, entre outros fatores ou, ainda, de sua combinação.

Ponivski et al, (1999) relataram que a equação se ajustou bem para alguns solos e em outros trabalhos com solos orgânicos e de textura fina a relação entre a constante dielétrica e o conteúdo volumétrico de água diferiram do dado pela equação universal de Topp et al., (1980). Os autores justificaram essa diferença pelo aumento de uma película de água no entorno das partículas desses solos com constante dielétrica diferente da água livre. Para os autores Milani, et al, (1998) o modelo polinomial cúbico foi mais eficiente para latossolo e para Tommaselli e Bacchi, (1997) para Areia Quartzosa, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Escuro, Podzólico Vermelho-Amarelo, Terra Roxa Estruturada.

Em contrapartida, a calibração denominada universal e proposta por Topp et al., (1980) tem sido confirmada por vários autores. Todorodoff e Langellier, (1998) afirmam, após a análise da eficiência de sua calibração, que a equação universal é útil para análise rápida da maioria dos solos, havendo, para os solos estudados, apenas uma ligeira perda de precisão em relação a modelos de calibração experimentais. Ponizovsky et al., (1999) analisaram a calibração de solos de diferentes texturas, a partir de modelos publicados e concluíram que os mesmos não possuem parâmetros suficientes de ajuste para algumas das texturas estudadas, embora tenham sido eficientes para outras. Patterson e Smith, (1981) obtiveram a mesma conclusão, em solos siltosos e argilosos, em presença constante de neve.

Isto vem de encontro ao trabalho de Topp et al.,(1980) que afirmam que características do solo como textura, densidade, estrutura, teor de sais e temperatura, não interferem na medição do conteúdo de água com o TDR, sugerindo ser desnecessária a calibração em diferentes tipos de solos.

2.2.4 Escoamento superficial

O escoamento superficial inicia quando a taxa precipitada excede a capacidade de infiltração, percorrendo as depressões do terreno e suprimindo as demandas iniciais de armazenamento superficial dessa no solo. Em fase seguinte, há a formação de canais subterrâneos, por onde a água percorre, estabilizando-se no seu encontro com cursos d'água (WISLER, 1959). O escoamento pode ser dividido em superficial, que representa o fluxo sobre a superfície do solo e pelos seus

múltiplos canais; subsuperficial, que é definido por alguns autores como o fluxo que se dá junto às raízes dos vegetais, nas camadas superficiais do terreno e; subterrâneo, que é o fluxo devido à contribuição ao aquífero (TUCCI, 1993).

O fluxo superficial da água é influenciado por dois conjuntos inteiramente diferentes de fatores, dependentes do clima e da fisiografia da bacia. Os fatores climáticos incluem a intensidade e duração da chuva. Quanto mais intenso o evento de chuva, mais rápido o solo atingirá a sua capacidade de infiltração e quanto mais tempo persistir, mais oportunidade haverá para o escoamento. Outro ponto a ser destacado é a ocorrência de precipitação antecedente, o que favorece o escoamento. Os fatores relacionados à fisiografia da bacia mais importantes são a área, a forma, a permeabilidade, a capacidade de infiltração e a topografia da bacia. A área relacionada à quantidade de água captada, enquanto a permeabilidade do solo limita o escoamento, pois quanto mais água for absorvida, um menor volume será escoado. (VILLELA, 1977; WISLER, 1959).

As condições de superfície do solo, constituição geológica e interferência humana são também fatores de influência sobre o escoamento na bacia. Nas bacias rurais a infiltração do solo é influenciada pela presença da vegetação, já nas bacias urbanas a impermeabilização do terreno e a presença de esgotos pluviais são elementos modificadores do escoamento superficial (MANTOVANI et al., 2013; TUCCI, 1993).

A análise da chuva e escoamento superficial é realizada primeiramente para determinar o formato da curva de capacidade de infiltração e a relação entre o armazenamento superficial e a taxa de escoamento. As informações obtidas a partir dessa análise podem ser usadas para sintetizar o hidrograma, um gráfico que representa as flutuações do fluxo de um curso d'água em determinado tempo. Essa representação é o resultado do processo de *runoff*, que inclui, além do escoamento superficial: a água precipitada na bacia que compõe o curso d'água e a advinda de seus tributários, do fluxo subterrâneo e a infiltrada que percorreu ou percorrerá caminhos até chegar nesse (TUCCI, 1993; WISLER, 1959).

O monitoramento deste fluxo, ou seja, a medição da vazão, normalmente envolve um registro contínuo do nível da água ou a sua variação acima de um nível. A partir desses registros é estabelecida uma relação entre nível da água e a vazão (curva-chave) e, por último, a transformação desse registro de nível em vazão (MOSLEY e MCKERCHAR, 1993).

O linígrafo registra os dados de nível automaticamente, gravando ao longo do tempo as suas variações permitindo registrar eventos significativos de curta duração que ocorrem especialmente em bacias de pequenas áreas (TUCCI, 1993).

Nesse trabalho, o termo utilizado para a vazão será escoamento fluvial, comportando as contribuições de outros escoamentos, além do superficial.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

Este estudo foi desenvolvido na bacia do Arroio Cancela, afluente do arroio Cadena, localizada entre as coordenadas “53°47’1,71” e 53°48’32,44” de longitude oeste e 29°41’20,41” e 29°42’16,41” de latitude sul, perfazendo uma área de 2,7 km², em região urbana de Santa Maria, RS.

O município de Santa Maria, RS, possuía 260.031 habitantes em 2010, segundo o Censo Demográfico do IBGE. O clima é classificado por Köppen como Cfa, subtropical úmido com verões quentes e sem estação seca definida, a temperatura média anual é de 19,2°C, os ventos predominantes são dos quadrantes E (Leste) e de ESSE (Leste-Sudeste). A precipitação média anual é de 17124 mm (HELDWEIN, et al., 2009). A vegetação é composta, basicamente por campos limpos e a floresta estacional decidual que cobre as escarpas da Serra Geral e vários morros situados na Depressão Central (LONGHI et al, 2000).

A bacia do Arroio Cancela foi monitorada em 3 estações, descritas a seguir, com suas coordenadas geográficas de longitude e latitude, respectivamente:

- CACISM : 53°48’1,41” W e 29°42’5,5”S;
- CERRITO: 53°42’7,2” W e 29°47’21,9”S;
- DAER: 53°48’ 9,4” W e 29°41’38,5” S;

A altitude dos pontos é de 96 m no ponto CACISM, 166 m no ponto Cerrito e 145 m no ponto DAER. A figura 2 traz a localização da bacia do Cancela com os pontos de monitoramento e equipamentos utilizados:

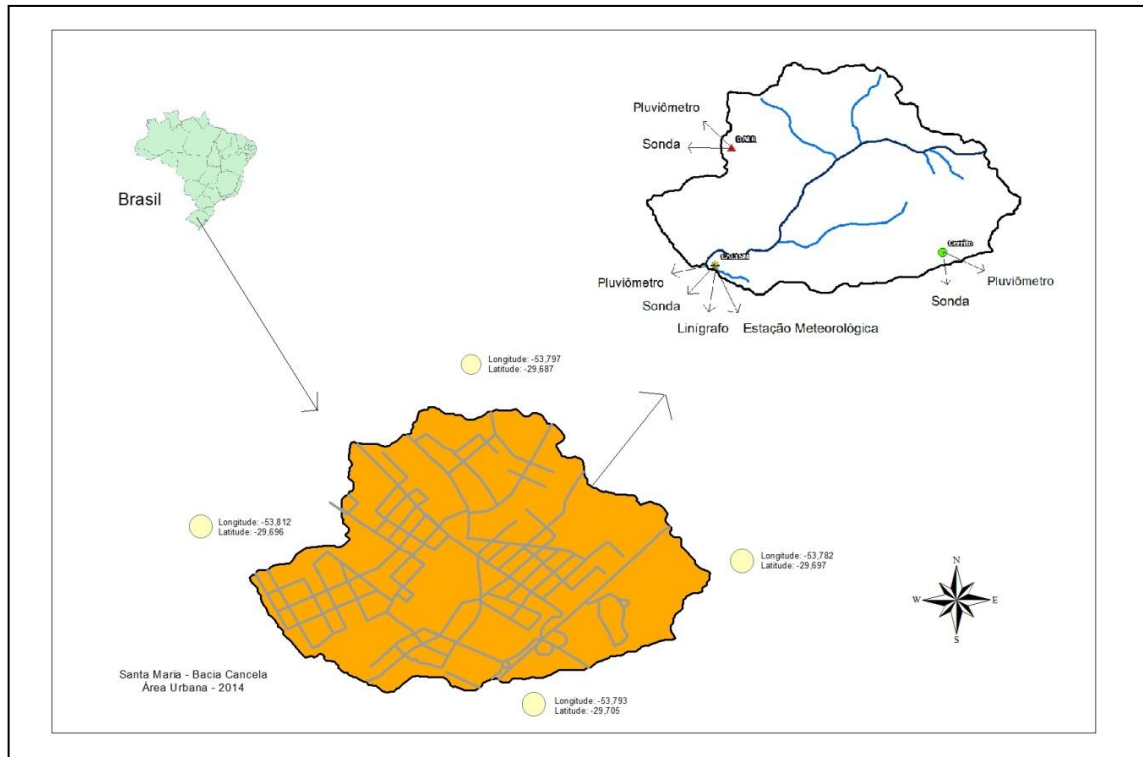


Figura 2– Localização da bacia em estudo e os pontos de monitoramento

Os pontos CACISM, Cerrito e DAER, são representativos dos tipos de solo predominantes da bacia e escolhidos de acordo com o mapa de solos da bacia (figura 3). O mapa foi confeccionado a partir da compilação da classificação dos solos de Levantamento de solos do município realizado por PEDRON et al, (2008) usando o Sistema Brasileiro de Classificação de solos proposto pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em 2006. A figura 3 detalha os solos presentes na bacia e destaca os tipos de solos presentes nos pontos monitorados.

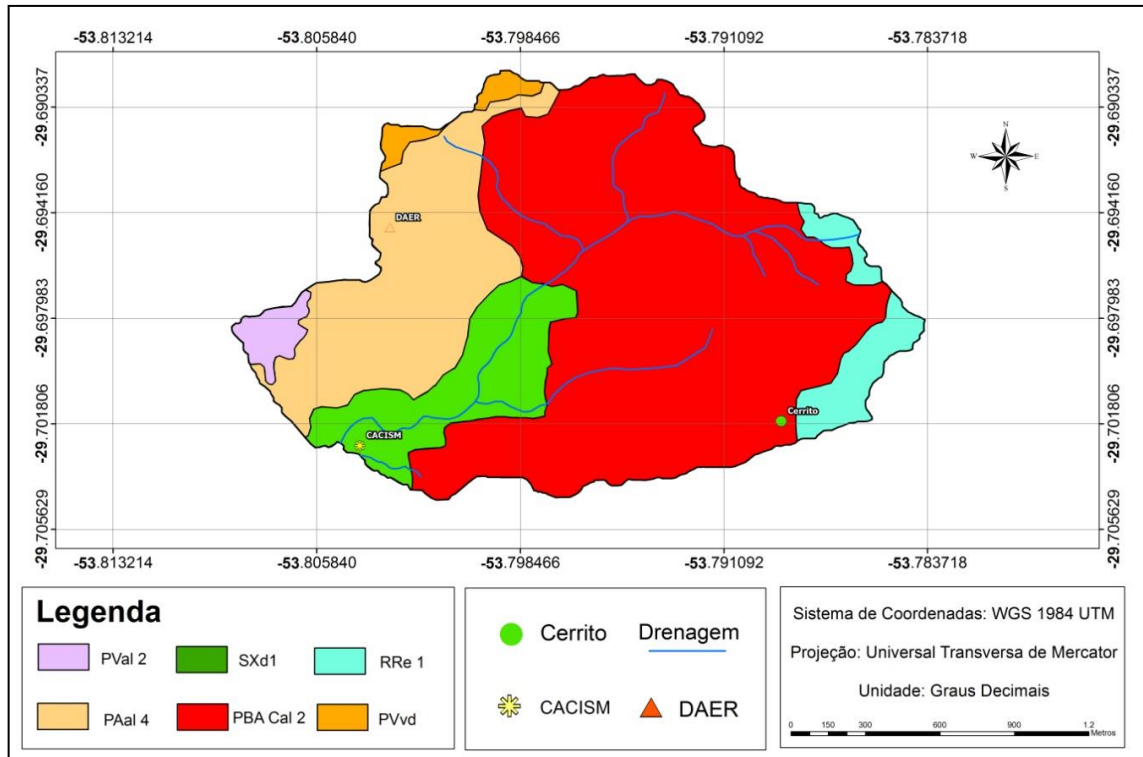


Figura 3—Mapa de solos da bacia do arroio Cancela até a sessão de monitoramento de vazões, com os pontos CACISM, Cerrito e DAER.

A tabela 1 discrimina os solos presentes nos três pontos monitorados de acordo com a classificação proposta pela Embrapa, em 2006:

Tabela 1—Tipos de solo de acordo presentes nos pontos monitorados de com classificação proposta por Pedron et al, (2008):

	Símbolo	Classe de solo
CACISM	SXd 1	Planossolo Háplico Distrófico gleissólico
Cerrito	PBA Cal 2	Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico abrupto
DAER	PAal 4	Argissolo Amarelo Alítico típico

3.2 Caracterização físico-hídrica da bacia

Para a caracterização físico-hídrica dos solos, foram coletadas amostras não deformadas nas proximidades dos pontos de medição de umidade de solo, nas profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm e as amostras enviadas ao Sistema Irriga,

vinculado a Universidade Federal de Santa Maria, para realização de análises de densidade do solo, densidade de partículas, porosidade do solo e dados para a obtenção das curvas de retenção de umidade do solo. Para a coleta foram utilizados anéis com dimensões médias de 5 e 3 cm de diâmetro e altura, respectivamente. As determinações analíticas foram realizadas seguindo recomendações da EMBRAPA, 1997. A análise granulométrica foi feita para as mesmas profundidades, no Laboratório de Física do solo, também vinculado a instituição de ensino, utilizando a metodologia contida no boletim nº 7 do Ministério da Agricultura (VETTORI, 1969). A classe textural foi determinada seguindo a metodologia proposta pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

As curvas de retenção de umidade do solo, para as mesmas profundidades, em cada um dos pontos, foram determinadas pela técnica da mesa de tensão, sobre a qual, foram primeiramente saturadas e, ajustando-se colunas de água de 10 e 60 cm abaixo da mesa, obtendo-se as tensões de 1 e 6 KPa se provocou a drenagem da água retida nos poros do solo, através de sucção provocada pelo vácuo formado (EMBRAPA, 1997).

A seguir as amostras foram submetidas à técnica da panela de pressão de Richards, sistema constituído de panela de pressão, placa cerâmica porosa e equipamentos de produção e controle de pressão, dentro das quais se utilizou as tensões de 10, 33 e 100 KPa. (RICHARDS, 1965).

Para a determinação da curva de retenção de umidade do solo na faixa de 500 a 1500 KPa foi utilizado o psicrômetro de termopar, denominado WP4 (dewpoint potentiometer da Decagon). O sistema é composto por uma gaveta que conduz uma amostra de solo úmido para dentro de uma câmara dentro da qual a umidade se equilibra com o potencial da água no solo e é medida através de sensores de temperatura do tipo termopar (COLLARES, et al, 2002).

Para a obtenção do peso as amostras foram secas em estufa a 105°C por 24 horas (EMBRAPA, 1997).

Após a obtenção das curvas foram ajustadas usando a equação a seguir, proposta por van Genuchten,(1980):

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\Psi_h|)^n]^b}, \quad (4)$$

Em que θ é o conteúdo volumétrico de água (cm^3/cm^3); θ_s é o conteúdo de água no ponto de saturação do solo (cm^3/cm^3); θ_r o conteúdo de água residual (cm^3/cm^3); ψ é o potencial matricial (kPa); α , n e m são os parâmetros empíricos da equação.

A água disponível no solo foi obtida através da equação 5 :

$$AD (\%) = (\theta_{CC} - \theta_{pmp}) \times 100 , \quad (5)$$

Em que: AD é água disponível (%); θ_{CC} a umidade na capacidade de campo (CC) a uma tensão de 10 Kpa e θ_{pmp} o valor da umidade no ponto de murcha permanente (PMP) medido a tensão de 1500 Kpa, ambos em %.

3.3 Caracterização física e uso do solo na bacia

Os mapas de rede de drenagem, de relevo e de uso do solo na bacia foram feitos utilizando-se imagens do software Google Earth Pro de abril de 2014, processadas com o software ArcGis 10.1. As figuras 4,5 e 6 trazem os mapas da rede de drenagem, do modelo numérico do terreno e do uso e ocupação da terra na bacia.

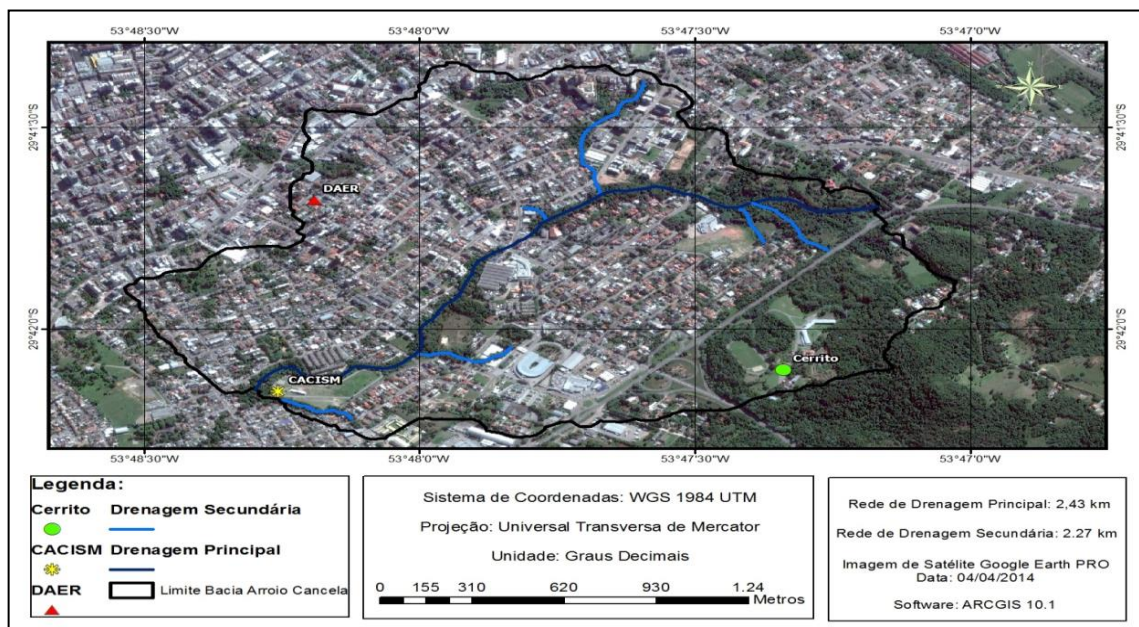


Figura 4 – Rede de drenagem do arroio Cancela até a sessão de monitoramento de vazões

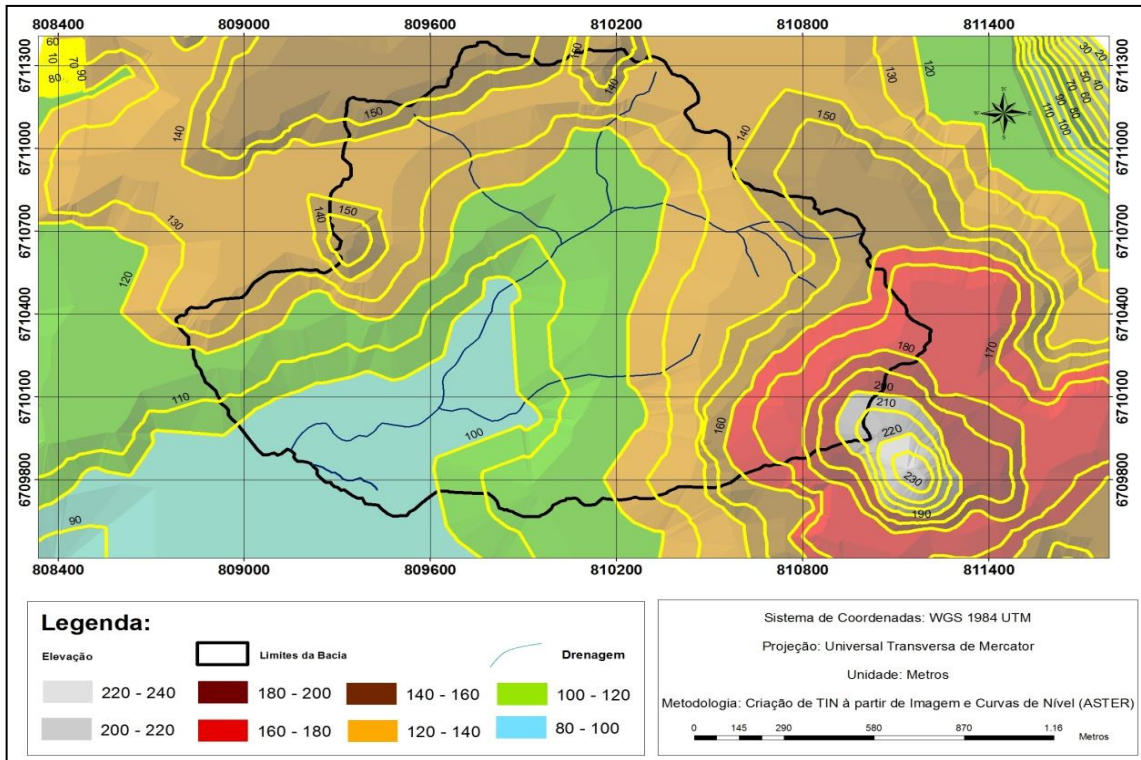


Figura 5–Modelo Numérico do terreno da Bacia do arroio Canceira

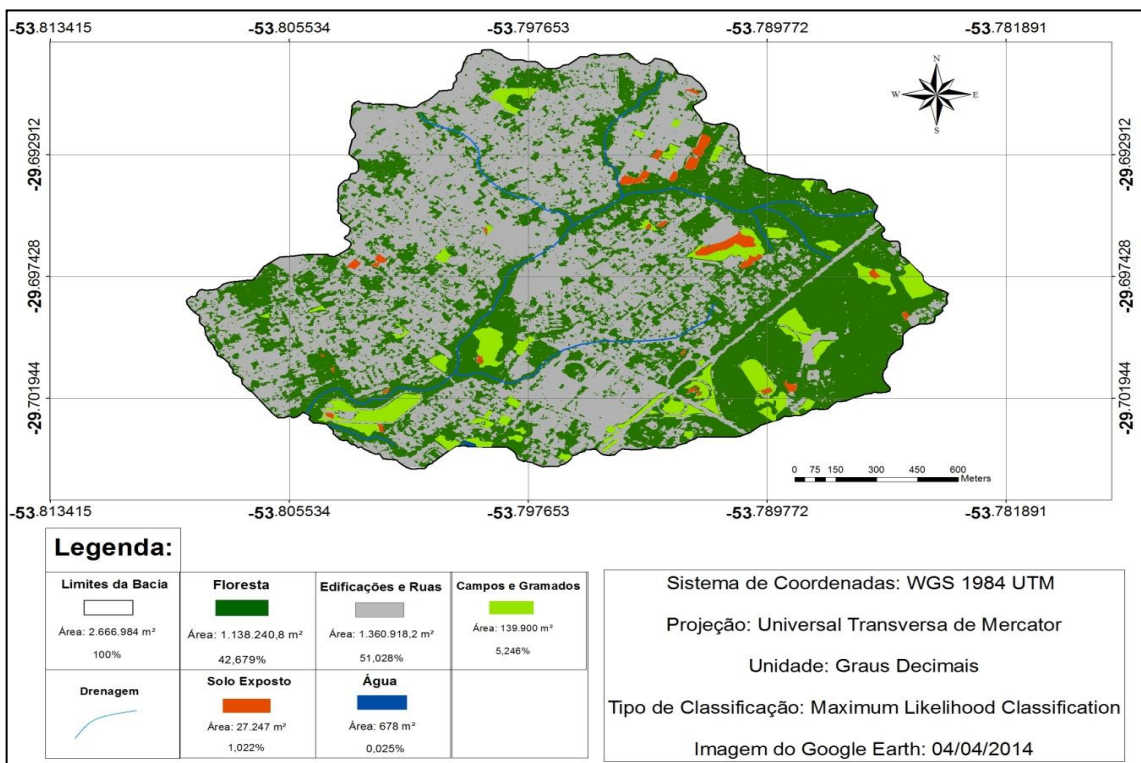


Figura 6– Uso e ocupação do solo na bacia com imagens do Google Earth Pro de abril de 2014.

A tabela a seguir discrimina as áreas e a percentagem de cada tipologia de uso do solo para a bacia do Arroio Cancela.

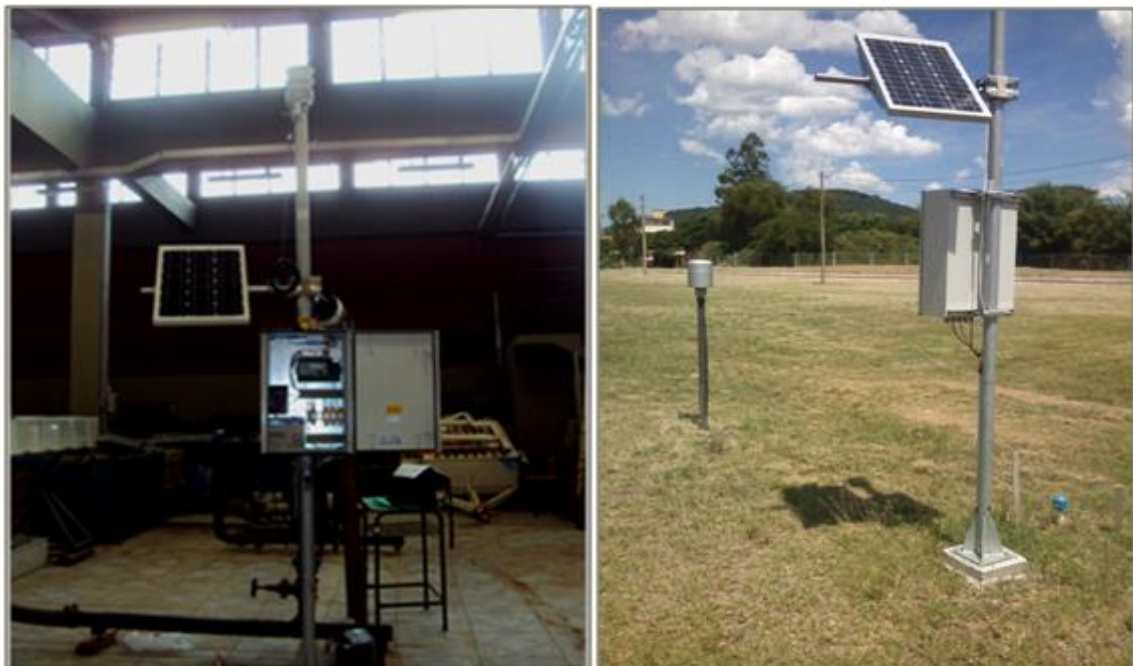
Tabela 2- Uso do solo na bacia do Arroio Cancela, obtido com imagens do software Google Earth Pro de abril de 2014:

Classes de uso do solo	Área (ha)	Percentual (%)
Edificações e ruas	136,092	51,028
Solo exposto	0,068	0,025
Água	2,725	1,022
Floresta	113,824	42,679
Campos e gramados	13,99	5,246

3.4 Disposição dos equipamentos nos pontos monitorados

Para a aquisição de dados climáticos referentes à evapotranspiração instalou-se, no ponto CACISM uma estação meteorológica que realiza a medição de direção e velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar a cada 10 minutos.

As figuras 7 e 8 mostram a estação meteorológica em fase anterior a instalação e em funcionamento, respectivamente.



Figuras 7 e 8 – Estação Meteorológica, em fase de pré-instalação, em sua composição completa e em funcionamento

Para a obtenção dos dados de conteúdo volumétrico de água no solo foram instalados tubos de acesso de 1,0 m de profundidade. A sonda TDR disponibilizava a umidade volumétrica utilizando a equação universal de Topp et al (1980).

A sonda TDR utilizada, da marca Imko, modelo PICO-IPH-T3 está ilustrada na figura 9 que traz um esquema da simulação da medição dos dados e seu envio via Bluetooth para um computador de mão *Palm PC* e o *display* do aparelho com as variáveis em medição:

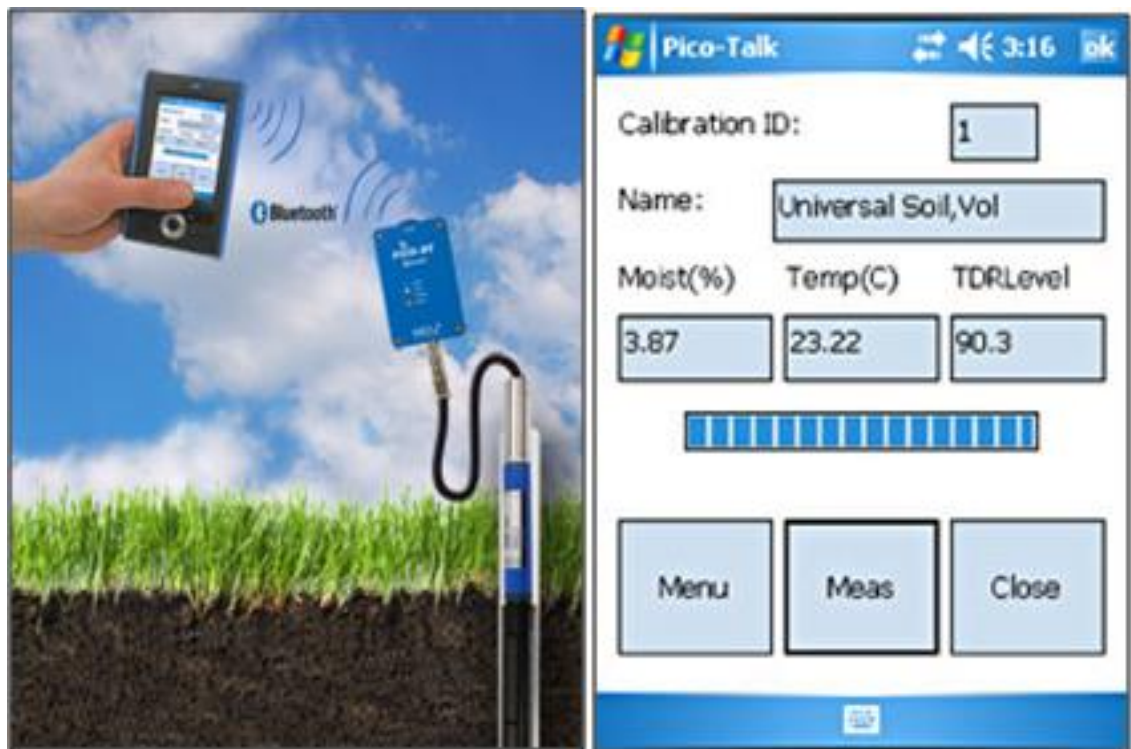


Figura 9– Esquema do perfil do solo em medição e envio dos dados para *Palm PC* (a) e *display* do aparelho com variáveis em medição (FONTE: Imko, 2012)

Nas adjacências do tubo de acesso foram instalados pluviômetros. No ponto de monitoramento Cerrito foi instalado um pluviômetro de peso, nos pontos CACISM e DAER foram instalados pluviômetros de báscula. No ponto CACISM o pluviômetro compunha o conjunto da estação meteorológica. A figura 10 mostra a panorâmica dos pontos Cerrito e DAER e o local de instalação do tubo de acesso em CACISM.



Figura 10– Panorâmica do local de instalação do tubo de acesso da sonda e pluviômetro nos três pontos monitorados (a) Cerrito (b) DAER e (c) CACISM

No ponto CACISM já havia instalado um linígrafo eletrônico, de bóia, com data-logger, programado para registro de nível a cada minuto, sempre que o nível de água sofrer variação de 5 mm. A figura 11 mostra a seção do arroio em que o linígrafo estava instalado:



Figura 11 – Vista geral da seção de medição de vazão

3.5 Monitoramento das variáveis hidrológicas envolvidas no estudo

3.5.1 Armazenamento de água no solo, precipitação e escoamento fluvial

O monitoramento das variáveis para o balanço hídrico foi realizado no período de 02 de maio a 07 de novembro de 2014.

A umidade do solo, obtida a partir da equação universal de Topp et al, 1980, foi medida nas profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm, prioritariamente a cada 7 dias. Outros intervalos entre as coletas foram determinados pela ocorrência de chuvas ou outros impedimentos.

No período de 12 a 26 de junho de 2014 foram realizadas coletas diárias da umidade do solo a fim de monitorar a variável entre dois eventos de chuva.

O armazenamento de água no solo foi obtido pelas médias entre a profundidade seguinte e a anterior, dentro do perfil. A variação do armazenamento de água no solo (ΔA) foi obtida a partir da equação 6, proposta por Libardi (2000):

$$\Delta A = (\theta_f - \theta_i)L, \quad (6)$$

Em que L representa a camada de solo ou intervalo de profundidade entre as médias, θ_f o conteúdo de água no solo à base de volume médio no instante final ($m^{-3}.m^{-3}$) e θ_i o conteúdo de água no solo à base de volume médio no instante inicial ($m^{-3}.m^{-3}$).

A precipitação foi obtida a partir dos pluviômetros instalados nos pontos Cerrito e DAER. A série medida no ponto CACISM não foi utilizada por não apresentar consistência em relação à série "Planalto", monitorada pelo grupo de pesquisa também na bacia do arroio Cancela e a série do INMET, localizada no município de Santa Maria, RS, para o período.

O ponto DAER apresentou falha na série entre 15/05/2014 e 23/07/2014, que foi preenchida através do uso de equação de regressão obtida entre o restante da série e a do ponto Cerrito. O período total preenchido estendeu-se para 02/05/2014 a 05/08/2014, por se observar que os períodos anterior e posterior a ausência de dados não representavam a precipitação no ponto. A equação 7 traz a equação utilizada, que apresentou 94,78% de coeficiente de determinação (r^2):

$$y = 0,9777x - 0,1943 \quad (7).$$

O escoamento superficial e subterrâneo foi obtido, para cada período, através da média dos dados obtidos com o linígrafo eletrônico, aliadas as curvas-chave. A curva-chave utilizada foi proposta por dos SANTOS (2014) para cotas entre 0,10 e 1,5 m:

$$Q = 3,3404 (H + 0,02)^{2,0649} \quad (8)$$

Em que H representa o nível medido, em m e Q a vazão, m³/s, posteriormente convertida para mm para o balanço hídrico.

3.5.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração de referência foi calculada pelo método de Penman-Monteith-FAO, publicada no Boletim 56 (1998), que requer dados climáticos diários.

As variáveis umidade relativa, temperatura e pressão atmosférica do ar usadas foram medidas na estação meteorológica do ponto CACISM. A radiação solar incidente para todo período e dados de velocidade do vento a partir de setembro foram adquiridos, com precisão horária, da estação meteorológica automática A803, pertencente à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no *campus* da Universidade Federal de Santa Maria.

Os dados de velocidade do vento e insolação foram obtidos da Estação Climatológica Principal de Santa Maria (estação convencional), também do INMET. Os dados de velocidade do vento para todo período e de insolação entre 23/09/2014 e 16/10/2014 (falha na série de dados da estação automática) foram medidos nos horários das 00 h, 12 h e 18 h de Greenwich (Universal Time Coordinated – UTC). Para a obtenção da radiação solar incidente a partir da insolação usou-se as equações a seguir, propostas por Buriol et al, (2012) para setembro e outubro, respectivamente:

$$R_s = R_a (0,189 + 0,592 \frac{n}{N}), \quad (9)$$

$$R_s = R_a (0,176 + 0,632 \frac{n}{N}), \quad (10)$$

Em que R_s é a radiação solar incidente ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$), R_a é a radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) e N é o comprimento do dia, em horas. A equação a seguir, proposta por Ometto (1981) foi usada para a obtenção do comprimento do dia (N):

$$N = \frac{2}{15} \text{arc cos} -(tg\phi \cdot tg\delta) \quad . \quad (11)$$

Sendo ϕ a latitude do local e δ a declinação solar.

Os cálculos pertinentes à declinação solar e à radiação solar no topo da atmosfera serão discriminados a seguir, pois compõe as etapas necessárias para a obtenção da evapotranspiração (saldo de radiação diário).

3.5.2.1 Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência por Penman-Monteith-FAO (1998):

A circular técnica nº 65, 2006, da Embrapa Uva e Vinho, traz o roteiro de cálculo discriminado a seguir.

A estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) foi feita através da equação 12, descrita por Allen et al, (1998) :

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T_{med} + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)} \quad , \quad (12)$$

Em que:

- “ ET_o ” é a Evapotranspiração de referência (mm/dia);
- “ Δ ” é a declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura ($\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$),
- “ R_n ” é a radiação líquida a superfície do solo ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$);
- “ G ” é o fluxo total diário de calor no solo ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$);
- “ γ ” é o coeficiente psicrométrico ($\text{kPa}^\circ\text{C}^{-1}$);
- “ T_{med} ” é a temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$);
- “ e_s ” é a pressão de saturação de vapor (KPa);

- “ e_a ” é a pressão atual de vapor (KPa);
- “ U_2 ” é a velocidade do vento a 2m da superfície ($m.s^{-2}$).

O termo “ Δ ” foi obtido pela equação a seguir:

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,6108 \exp\left(\frac{17,27T_{med}}{T+237,3}\right) \right]}{(T_{med}+237,3)^2} \quad (13)$$

O termo “ G ”, o fluxo total diário de calor no solo ($MJ.m^{-2}dia^{-1}$) não foi utilizado, o que é justificável para Allen et al, (1998) já que habitualmente encontram-se baixos valores em escala diária.

O coeficiente psicrométrico “ γ ” foi obtido pela equação 14 utilizando-se da pressão atmosférica local (KPa), medida na estação meteorológica da CACISM:

$$\gamma = 0,665 \times 10^{-3} P_{atm} \quad (14)$$

A expressão “ $e_s - e_a$ ” é denominada déficit de saturação e seus valores foram obtidos pelas equações:

$$e_s = 0,6108 \exp \left[\frac{17,27T_{med}}{T_{med}+237,3} \right], \quad (15)$$

$$e_a = \frac{e_s UR}{100}, \quad (16)$$

Em que UR é a umidade relativa do ar (%).

3.5.2.1.1 Balanço de radiação

Balanço de radiação de ondas curtas

O termo “ R_n ”, radiação líquida a superfície do solo ($MJm^{-2}dia^{-1}$), é a diferença entre radiação solar global de e a radiação solar global ondas curtas (R_{ns}) e de ondas longas (R_{nl}) (equação 17):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (17)$$

O valor de R_{ns} foi obtido com a equação:

$$R_{ns} = (1-\alpha) R_s, \quad (18)$$

em que α é o albedo, para o qual se adotou o valor de 0,23 (com a grama para cultura de referência) e R_s é a radiação solar incidente ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$).

Balço de radiação de ondas longas

A equação a seguir foi usada para a obtenção do saldo de radiação de ondas longas (R_{nl}):

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{(T_{m\acute{a}x} + 273,16)^4 + (T_{m\acute{i}n} + 273,16)^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35\right), \quad (19)$$

em que:

- O termo “ σ ” refere-se a constante de Stefan-Boltzmann, com o valor de $4,903 \times 10^{-9} \text{ MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$;
- “ $T_{m\acute{a}x}$ ” e “ $T_{m\acute{i}n}$ ” referem-se as temperaturas máxima e mínima do dia, respectivamente, em $^{\circ}\text{C}$;
- “ R_{so} ” é radiação solar incidente na ausência de nuvens ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$).

A radiação solar incidente foi estimada pela equação:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \times 10^{-5} z) R_a \quad (20)$$

Com z referente à altitude de 103 m (estação automática) e R_a à radiação solar no topo da atmosfera ($\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$) que foi estimada a partir da equação 21:

$$R_a = \frac{118,08}{\pi} d_r [\omega_s \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \text{sen}(\omega_s)] \quad (21)$$

O item “ φ ” representa a latitude em radianos, “ δ ” a declinação solar , “ ω_s ” o ângulo horário ao nascer do sol e d_r a distância inversa relativa entre a terra e o sol, em radianos.

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) , \quad (22)$$

Em que “J” é o dia Juliano.

A equação 23 foi usada para cálculo da declinação solar:

$$\delta = 0,409 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,39\right) . \quad (23)$$

O ângulo horário ao nascer do sol foi calculado pela equação 24:

$$\omega_s = \frac{\pi}{2} - \arctan\left\{\frac{[\tan(\varphi)]^2 [\tan(\delta)]^2}{X^{0,5}}\right\} . \quad (24)$$

O termo $X^{0,5}$ foi calculado pela equação:

$$X^{0,5} = 1 - \{[\tan(\varphi)]^2 [\tan(\delta)]^2\} . \quad (25)$$

3.5.3 Cálculo do Balanço Hídrico

O balanço hídrico foi realizado em escala semanal para a bacia hidrográfica. A precipitação média na bacia foi calculada pela média entre as medidas nos pontos Cerrito e DAER e o armazenamento médio foi obtido pela ponderação dos valores obtidos nos três pontos pela área representada por esses na bacia. O escoamento fluvial e a evapotranspiração foram obtidos através de parâmetros mensurados no ponto CACISM e tidos como representativos à área total.

A equação utilizada para o balanço hídrico foi a Eq. 26, apresentada seguir:

$$P - ETP - ESC = \Delta A, \quad (26)$$

Em que P é a precipitação, ETP a evapotranspiração de referência, ESC o escoamento fluvial e ΔA a variação de armazenamento de água no solo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização físico-hídrica dos solos da bacia

A tabela 3 apresenta a granulometria e classe textural, enquanto que a tabela 4, a densidade do solo e da partícula, a macro, micro e porosidade total dos solos presentes nos pontos CACISM, Cerrito e DAER.

Tabela 3– Granulometria (%) e classe textural do solo nos pontos CACISM, Cerrito e DAER.

CACISM					
Profundidades	Granulometria (%)				Classe Textural
	Areia Grossa (2-0,2mm)	Areia Fina (0,2-0,05mm)	Silte (0,05-0,002 mm)	Argila (<0,002mm)	
20 cm	2,84	37,07	46,03	14,06	Franco
40 cm	1,4	38,77	48,75	11,08	Franco
60 cm	0,41	52,66	38,35	8,58	Franco Arenoso
80 cm	4,06	43,24	41,78	10,92	Franco
Cerrito					
Profundidades	Granulometria (%)				Classe Textural
	Areia Grossa (2-0,2mm)	Areia Fina (0,2-0,05mm)	Silte (0,05-0,002 mm)	Argila (<0,002mm)	
20 cm	12,45	61,71	14,93	10,90	Franco Arenoso
40 cm	7,91	70,11	13,87	8,11	Franco Arenoso
60 cm	10,31	51,88	19,37	18,44	Franco Arenoso
80 cm	12,31	49,56	15,55	22,58	Franco Argilo Arenoso
DAER					
Profundidades	Granulometria (%)				Classe Textural
	Areia Grossa (2-0,2mm)	Areia Fina (0,2-0,05mm)	Silte (0,05-0,002 mm)	Argila (<0,002mm)	
20 cm	11,88	20,34	52,51	15,27	Franco siltoso
40 cm	2,06	6,23	79,72	12,00	Franco siltoso
60 cm	2,37	10,15	76,57	10,92	Franco siltoso
80 cm	1,81	9,60	79,30	9,29	Franco siltoso

Tabela 4– Densidade do solo e da partícula (g/cm³), Macroporosidade, microporosidade e porosidade (%) para os pontos CACISM, Cerrito e DAER nas profundidades de 20,40, 60 e 80 cm:

CACISM					
Profundidades	Densidade (g/cm³)		Porosidade (%)		
	Solo	Partícula	Macro	Micro	Total
20 cm	1,17	1,81	12,66	42,02	54,68
40 cm	1,46	2,13	10,88	35,33	46,20
60 cm	1,36	2,01	12,27	35,17	47,44
80 cm	1,44	2,04	9,23	32,55	41,78
Cerrito					
Profundidades	Densidade (g/cm³)		Porosidade (%)		
	Solo	Partícula	Macro	Micro	Total
20 cm	1,46	2,18	16,34	32,28	48,62
40 cm	1,61	2,21	9,98	27,47	37,45
60 cm	1,53	2,24	11,76	34,97	46,73
80 cm	1,56	2,20	13,13	28,32	41,45
DAER					
Profundidades	Densidade (g/cm³)		Porosidade (%)		
	Solo	Partícula	Macro	Micro	Total
20 cm	1,35	2,02	15,92	33,70	49,63
40 cm	1,34	2,02	18,23	32,75	50,98
60 cm	1,32	1,95	17,28	30,81	48,09
80 cm	1,43	2,14	10,53	38,83	49,36

Para os três pontos amostrados, em ambientes diferenciados, com ou sem presença de antropização (modificação das condições iniciais do tipo de solo), foram observadas diferentes classes texturais, predominando solo franco para a CACISM, Franco Arenoso para o ponto Cerrito e Franco siltoso para o ponto DAER. As variações da granulometria no perfil (tabela 3) serão analisadas e discutidas no item 4.2.4 para as medições de umidade do solo prioritariamente semanais.

A densidade do solo e da partícula observada no perfil, no ponto CACISM, são inferiores nas profundidades de 20 e 60 cm e maiores nas de 40 e 80 cm, comportamento apresentado também para a porosidade. No ponto Cerrito, a densidade do solo foi menor a 20 cm, seguida de 60, 80 e 40 cm; os valores de macroporosidade foram maiores a 20 cm e crescentes entre as profundidades de 40 e 80 cm; a microporosidade apresentou valores percentuais menores para 40 e 80 cm e maiores para 20 e 60 cm. No ponto DAER a densidade do solo foi maior a 80 cm e variou pouco para as outras profundidades; a macroporosidade apresenta

valores menores a 80 e 20 cm, respectivamente, e crescentes entre 60 e 40 cm; a microporosidade foi menor a 60 cm, seguida por 40, 20 e 80 cm.

A tabela 5 apresenta a umidade volumétrica para a capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível para as profundidades especificadas:

Tabela 5– Capacidade de Campo, Ponto de Murcha Permanente e Água disponível (%) para os pontos CACISM, Cerrito e DAER nas profundidades 20, 40,60 e 80 cm:

CACISM			
Profundidades	CC (%)	PMP (%)	AD (%)
20 cm	39,64	13,57	26,07
40 cm	33,39	16,93	16,47
60 cm	33,09	12,66	20,43
80 cm	30,79	13,12	17,68
Cerrito			
Profundidades	CC (%)	PMP (%)	AD (%)
20 cm	21,19	7,03	14,16
40 cm	21,78	5,47	16,31
60 cm	30,16	13,46	16,70
80 cm	22,91	7,47	15,44
DAER			
Profundidades	CC (%)	PMP (%)	AD (%)
20 cm	29,82	7,03	22,79
40 cm	29,19	5,47	23,71
60 cm	26,83	13,46	13,38
80 cm	37,31	7,47	29,84

A umidade volumétrica na capacidade de campo no ponto CACISM é maior na profundidade de 20 cm (39,64%), decrescendo gradativamente até 80 cm no perfil; para o ponto Cerrito foi maior na profundidade de 60 cm (30,16%), sendo seguida de 80, 40 e 20 cm; no ponto DAER apresentou valores semelhantes entre 20 e 60 cm e maiores a 80 cm (37,31%). Os valores de ponto de murcha permanente foram maiores nas profundidades de 40 cm para o ponto CACISM (16,93%) e 60 cm, apresentando, nesses pontos, o valor de 13,46%. Os maiores valores de água disponível foram observados a 20 cm no ponto CACISM (23,07 %), 60 cm no ponto Cerrito (16,70 %) e 80 cm no ponto DAER (29,84%).

A evolução da umidade volumétrica no processo de dessaturação do solo nos pontos, nas profundidades especificadas, é melhor observada nas curvas de retenção de umidade do solo, apresentadas a seguir, na figura 12.

Analisando as curvas de retenção de umidade do solo nos três pontos, verifica-se que para o ponto CACISM, a evolução do processo de dessaturação foi mais uniforme no perfil, distinguindo-se no perfil na profundidade de 20 cm, com maior macroporosidade, de 12,66 %, o que favorece a infiltração de água no solo, havendo mais água disponível no solo e, assim, mais facilmente extraída a tensões menores. Nos pontos Cerrito e DAER a maior percentagem encontrada para a microporosidade justificou o comportamento diferenciado das profundidades de 60 e 80 cm, respectivamente, (34,97 e 38,83 %) dificultando a perda de água a tensões maiores.

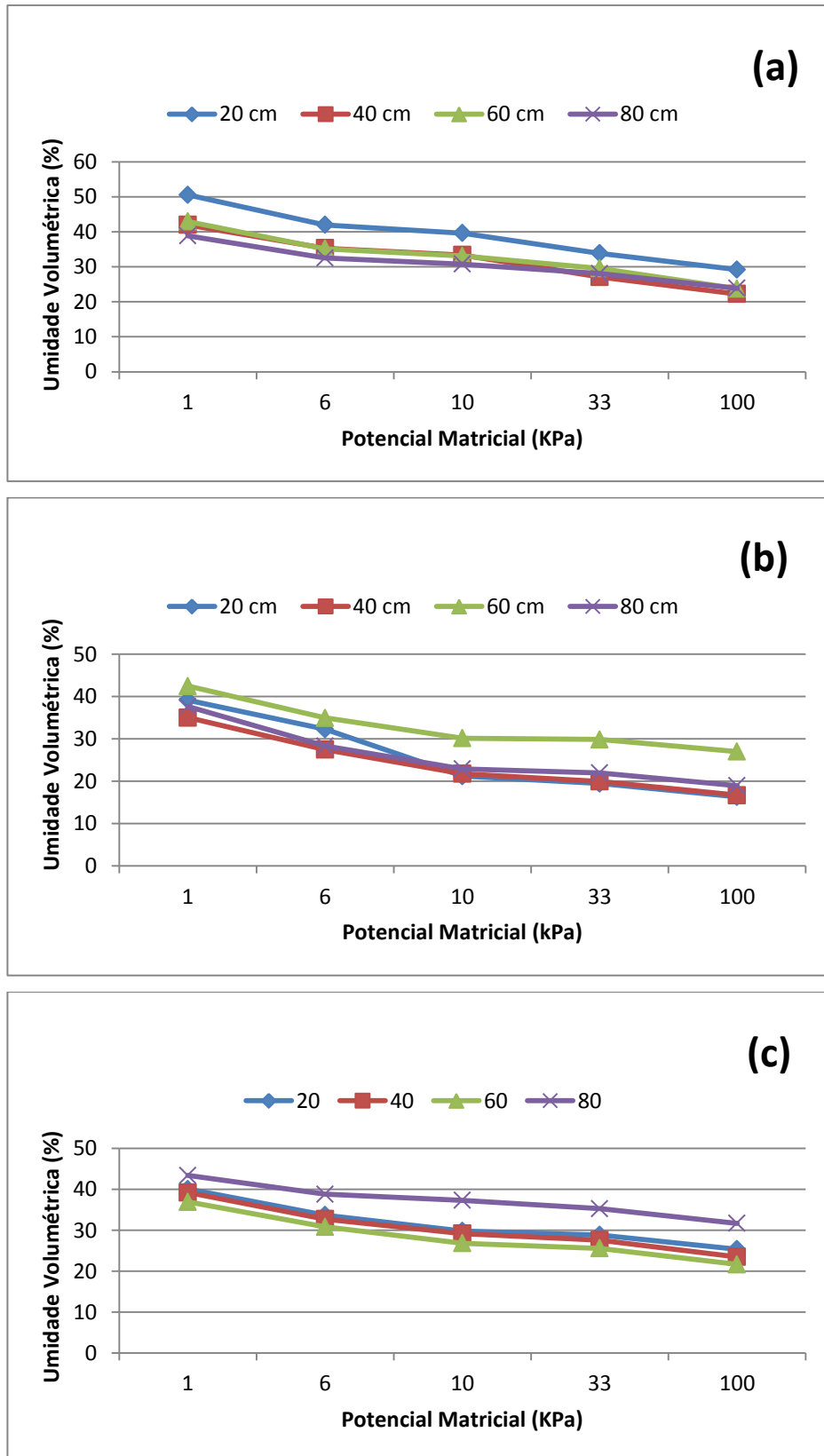


Figura 12: Curvas de retenção da umidade do solo nos pontos CACISM (a), Cerrito (b) e DAER (c) nas profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm.

4.2 Análise das variáveis envolvidas no balanço hídrico

4.2.1 Precipitação

A figura 13 apresenta as precipitações mensais observadas nos pontos Cerrito e DAER para o período de maio a novembro de 2014 relacionadas às normais climatológicas para o período de 1961-1990 para o município de Santa Maria, RS (CPTEC/INPE).

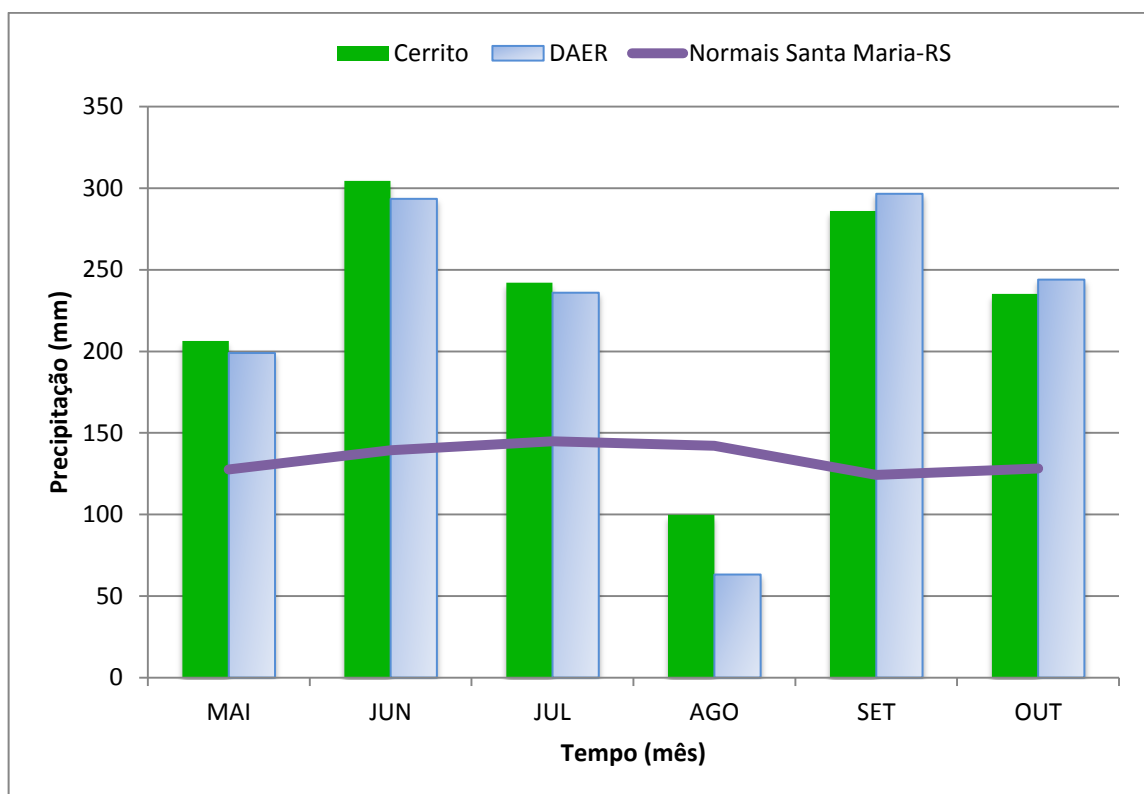


Figura 13– Precipitação mensal para os pontos Cerrito e DAER para o período de maio a novembro de 2014 e as normais climatológicas observadas entre 1961 e 1990 para o município de Santa Maria, RS (CPTEC/INPE).

O valor máximo mensal de precipitação foi observado no ponto Cerrito, no mês de junho, com 304,4 mm, que apresentou também maior volume de precipitação para os meses monitorados, com 1373,9 mm.

A precipitação medida foi maior que as normais climatológicas observadas pelo INPE nos dois pontos para todo o período, com exceção do mês de agosto, com 99,8 mm para o ponto Cerrito e 63,2 mm para o ponto DAER.

O padrão mostrado na precipitação mensal na bacia do arroio Cancela é, segundo Buriol, et al (2009), típico da região do estado na qual está localizada, a depressão central. Os autores observaram diferença entre as médias dos totais anuais de precipitação pluviométrica de estações da bacia do Vacacaí (dentro da qual a bacia estudada está inserida), com valores menores que as ocorrentes em estações localizadas próximas ao Rebordo do Planalto e no Planalto, justificando-a aos movimentos convectivos do ar condicionados pelo relevo do local.

A figura 14 apresenta a precipitação para os pontos Cerrito e DAER, para o período de 15 dias em que se monitorou a umidade do solo após um evento de chuva, durante os dias de 12 a 26 de junho de 2014.

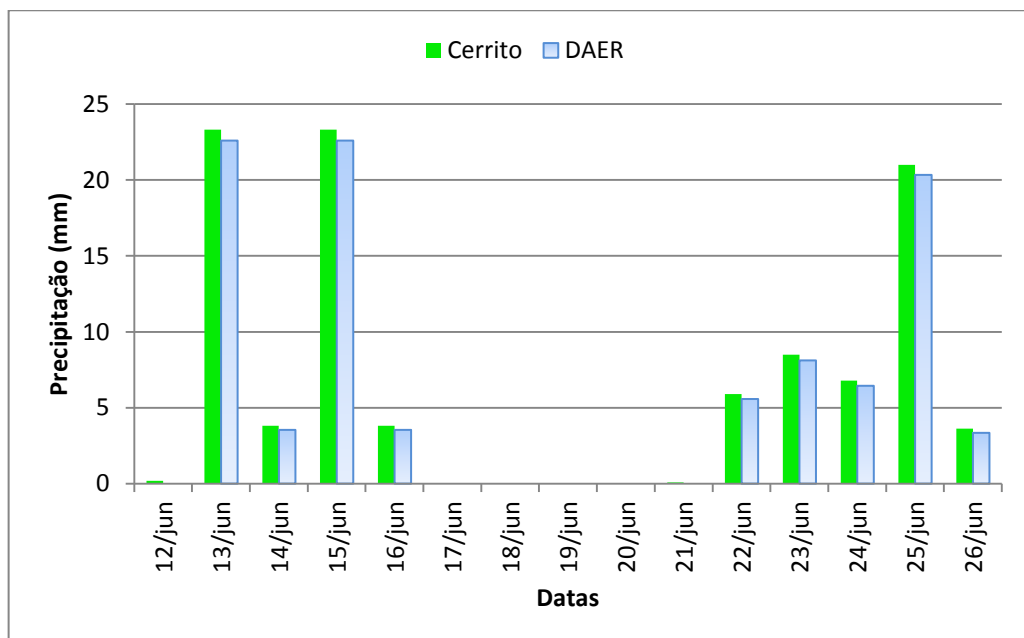


Figura 14-Precipitação diária nos pontos, observada no período de 15 dias de monitoramento contínuo da umidade do solo, de 12 a 26 de junho de 2014.

O evento de chuva monitorado, em 13 de junho, apresentou a altura pluviométrica de 23,3 para o ponto Cerrito. Em razão da existência de falha na estação pluviométrica, a precipitação do ponto DAER foi estimada a partir do ponto Cerrito, para o período de 15 dias. Com tal estimativa encontrou-se o valor precipitado de 22,6 mm para o ponto DAER.

A precipitação para o dia 24 de junho para o ponto Cerrito e DAER foi de 6,8 e 6,4 mm. Nos dias 15 e 25 de junho as precipitações nos pontos DAER e Cerrito foram de 23,3 e 22,6 mm e 21 e 20,3 mm, respectivamente.

A quinzena monitorada apresentou padrões diários de precipitação semelhantes às relatadas por da Silva et al, (2007) para cidade de Santa Maria para o inverno, com eventos mais frequentes e em menor quantidade, para os meses de junho, julho e agosto mais que 50% das chuvas ocorridas têm altura menor que 5 mm.

4.2.2 Evapotranspiração

A evapotranspiração diária foi calculada através do método Penman-Monteith-FAO (1998) através de dados de estações meteorológicas presentes na CACISM e no *Campus* da UFSM (INMET). Os valores diários obtidos entre coletas para os três pontos estão dispostos na figura 15, sendo relacionadas à precipitação nos pontos.

Os maiores valores de precipitação ocorreram entre 26/06/2014 e 03/07/2014 com 200,7 mm e 194,3 mm para os pontos Cerrito e DAER, respectivamente. Entre 16/09/2014 e 22/09/2014, foi registrado valor mínimo de chuva entre coletas para o ponto Cerrito, com 0,4 mm e entre 06/06/2014 e 12/06/2014 0,3 mm, para o ponto DAER.

Para o período de 26/06/2014 a 03/07/2014 observou-se o menor valor acumulado de evapotranspiração entre datas de coletas de umidade volumétrica do solo, com 5,2 mm e o maior valor acumulado para evapotranspiração foi encontrado no período de 23/10/2014 a 07/11/2014 (59,2 mm) (figura 15). Considerando os valores mensais de evapotranspiração de referência, constantes na tabela 6 a seguir, o menor valor encontrado, de 31,5 mm, para o mês de junho, está de acordo com os menores valores encontrados, segundo da Mota (1966), para algumas regiões do planalto e a depressão central do Rio Grande do Sul, que superam os 20 mm no mês de junho.

O valor de 108,5 mm encontrado para o mês de outubro, é bastante alto e superior aos 74 mm estimados para evapotranspiração de referência por Buriol et al, (2014) a partir de imagens SRTM e equações de regressão para a bacia do Vacacaí, mas semelhantes aos medidos em estação convencional da INMET na cidade de Santa Maria (96,4 mm). Para esse período, ainda primavera no hemisfério sul, os valores da irradiância solar no topo da atmosfera já são mais altos, o que faz com que uma porção da atmosfera receba mais energia por área e tempo (SYPERREK, 2006).

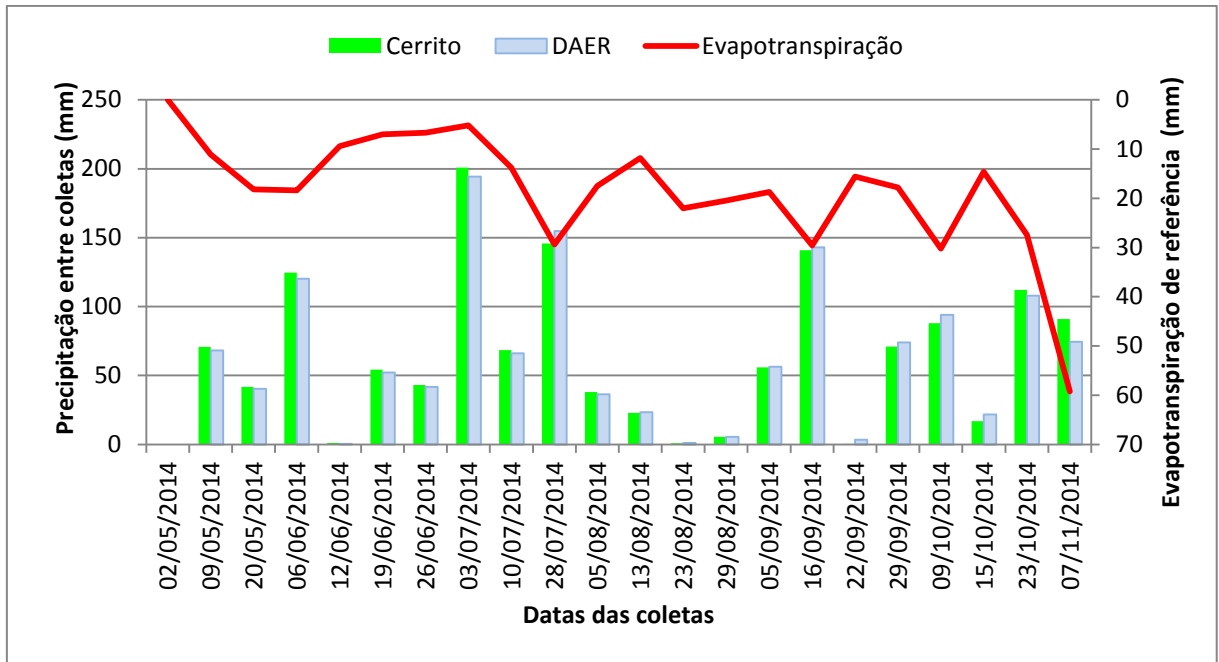


Figura 15 – Precipitação nos pontos Cerrito e DAER e Evapotranspiração entre as coletas semanais, entre 02/05/2014 e 07/11/2014

A evapotranspiração diária para o período de 15 dias de monitoramento da umidade do solo após chuva está comparada a precipitação nos dois pontos para o período, na figura 16:

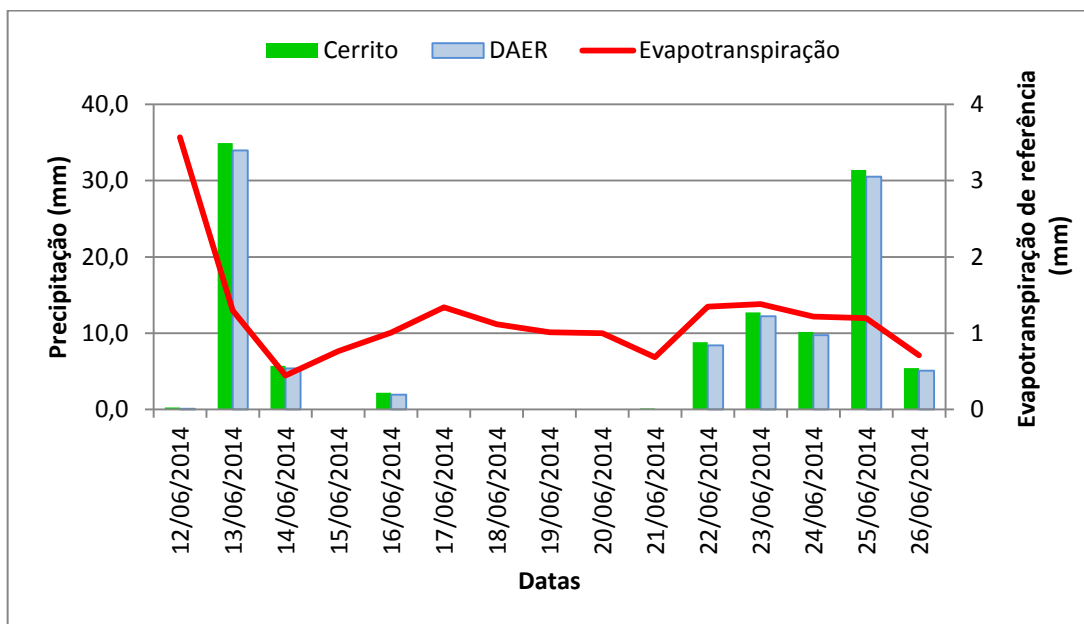


Figura 16 – Evapotranspiração diária calculada para os 15 dias de monitoramento após chuva e a precipitação nos pontos Cerrito e DAER entre 12 e 26/06/2014. ET_0

A taxa de evapotranspiração de referência diminuiu após a primeira chuva, de em 13/06/2014, aumentando de 0,2 a 1,4 mm do dia 14/06/2014 até o dia 17/06/2014, dia posterior a uma chuva de baixa intensidade, de 3,5 mm, nos dois pontos. Os valores tornam a decrescer até o dia 21/06/2014, com 0,5 mm, aumentando para 1,3 mm até 23/06/2014, com a ocorrência de chuvas de baixa intensidade, de 5,9 e 8,5 mm para o ponto Cerrito e 5,6 e 8,1 mm para o ponto DAER para 22 e 23/06/2014, respectivamente. Entre 24 e 26/06/2014 a evapotranspiração é menor, havendo também, aumento do volume precipitado em relação ao período anterior.

A tabela 6 traz a evapotranspiração de referência mensal do período, entre os meses de maio e outubro:

Tabela 6- Evapotranspiração de referência mensal calculada pelo método Penman-Monteith-FAO (1998) para a bacia do arroio Cancela, de maio a outubro de 2014.

	ETP referência (mm)
Maio	41,1
Junho	31,5
Julho	50,7
Agosto	73,4
Setembro	76,7
Outubro	108,5

Lemos Filho (2007) observou que, para o estado de Minas Gerais, os valores mensais da evapotranspiração de referência foram decrescentes entre os meses de janeiro a junho e crescentes de junho a dezembro, o que está de acordo com a evapotranspiração de referência calculada para a bacia estudada (tabela 6). Os autores Buriol et al, (2014) justificaram essa evolução ser consequência da variação da temperatura, do comprimento do dia, da inclinação dos raios solares e da demanda hídrica da atmosférica durante os meses do ano.

4.2.3 Escoamento Fluvial

A figura 17 relaciona a precipitação entre coletas para os pontos Cerrito e DAER e o escoamento fluvial para o ponto CACISM, entre 02/05/2014 e 07/11/2014.

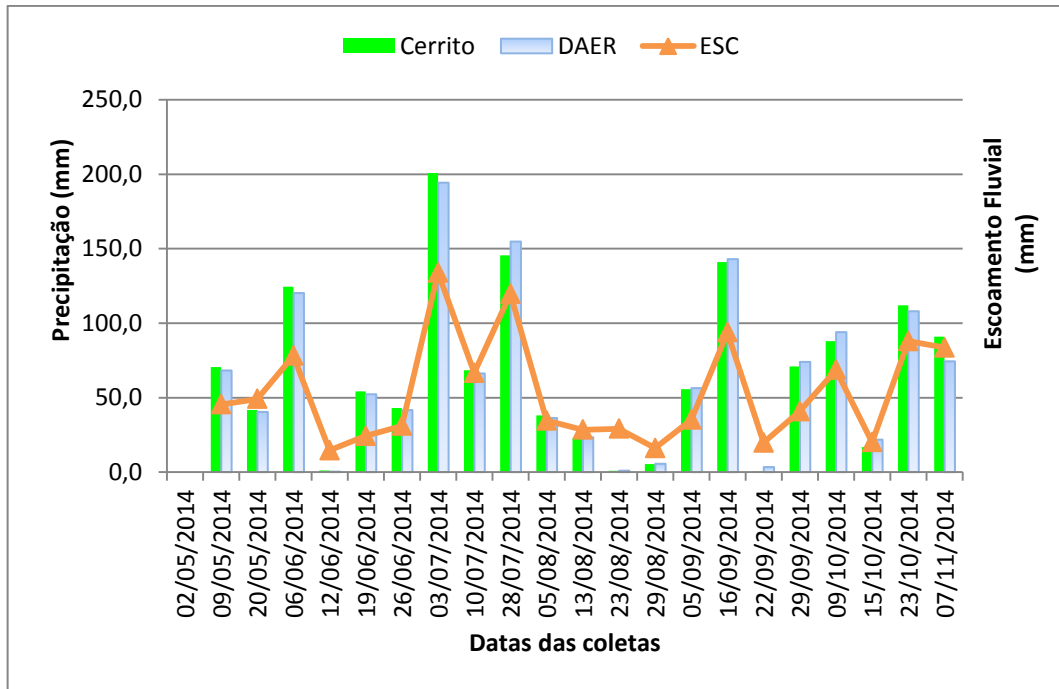


Figura 17- Precipitação nos pontos Cerrito e DAER e escoamento fluvial para o ponto CACISM , entre as coletas semanais, entre 02/05/2014 e 07/11/2014.

O valor mínimo de escoamento no ponto CACISM foi encontrado para o período de 06 a 12/06/2014, coincidindo com precipitação de 1,1 e 0,3 mm nos pontos Cerrito e DAER, respectivamente.

Os maiores valores de escoamento foram registrados entre 26/06/2014 e 03/07/2014 e entre 10/07/2014 e 28/07/2014, apresentando 133,9 e 119,8 mm. O primeiro período, com valor máximo de escoamento, ocorreu também os maiores alturas de precipitação acumulada, com 200,7 e 194,3 mm para os pontos Cerrito e DAER. Nesse período ocorre a mínima taxa de evapotranspiração de referência acumulada, com 5,2 mm. No segundo período, as precipitações acumuladas foram semelhantes, com 145,7 e 154,8 mm nos pontos Cerrito e DAER, respectivamente. A variação do escoamento acompanhou a variação na precipitação e no mês de agosto, os menores valores de precipitação acompanharam os menores valores de escoamento para o período.

Para os meses de setembro e outubro as taxas de escoamento foram menores que para o mês de julho, o maior valor foi encontrado para o início do mês, entre 05/09/2014 e 16/09/2014, de 93,8 mm, acompanhando a variação da precipitação acumulada de 141 e 143 mm nos pontos Cerrito e DAER. Em setembro,

período de menor escoamento ocorreu entre 16/09/2014 e 22/09/2014, com 19,8 mm, acompanhando uma precipitação pequena nos pontos, de 0,4 e 3,4 mm. Em outubro entre 09/10/2014 e 15/10/2014, também houve uma queda no escoamento, variando de 68,7 mm (período anterior) para 20,1 mm; variação também ocorrida na precipitação, que variou, respectivamente, nos pontos Cerrito e DAER, de 87,9 e 94 mm, em período anterior a 09/10 para 16,8 e 21,8 mm, respectivamente nos mesmos pontos, dessa data até 15/10/2014.

Conforme traz a figura 18, a relação entre o escoamento fluvial e a precipitação entre períodos foi confirmada observando-se um coeficiente de determinação de 90,51% e coeficiente de correlação de 0,9514, em análise de regressão. Utilizando mesma análise, Vestena e Lange Filho (2008) observaram coeficiente de determinação de 54,59% e correlação de 0,76, com correlação considerada satisfatória, em sua pesquisa sobre obalanzo hídrico no rio Ernesto, pertencente à sub-bacia do rio Ivaí. Os autores concluíram que o escoamento total anual seguia de perto a tendência da precipitação, comprovando a pequena capacidade regularizadora da bacia, justificando o comportamento pela ausência de grandes lagos, áreas alagadiças e/ou aquíferos.

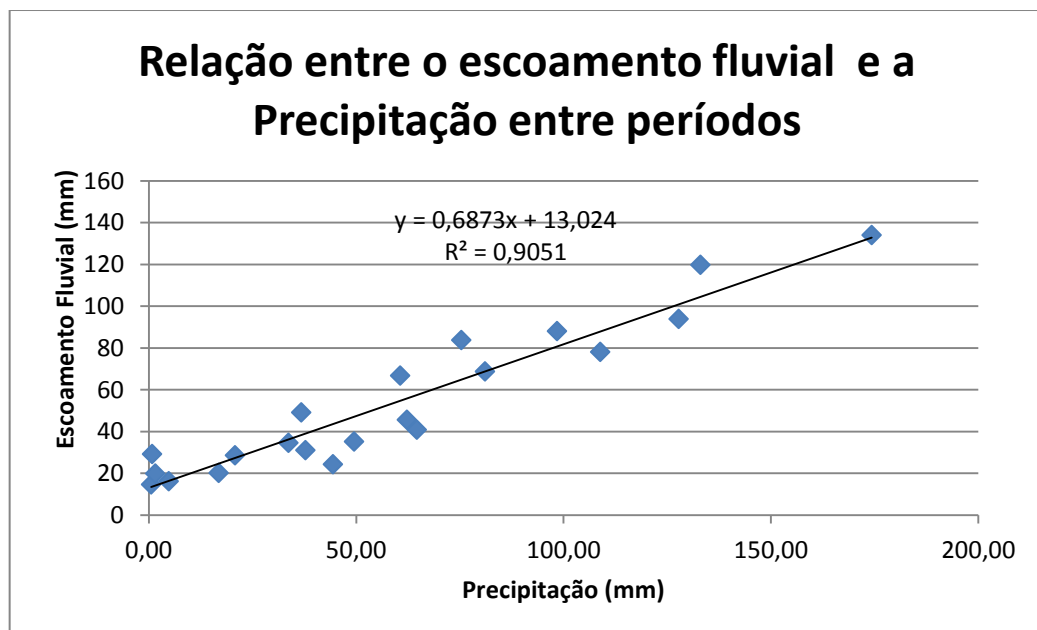


Figura 18- Análise de regressão entre a Precipitação e o Escoamento Fluvial entre coletas

Evidenciando a relação do escoamento a outras variáveis hidrológicas e à características geomorfológicas e sua cobertura vegetal, Bateira et al, (2007) estudando 62 episódios de precipitação na bacia hidrográfica da Carriça, norte de Portugal, verificou que sempre que houve precipitação se desenvolveu escoamento superficial e ainda que nos episódios de curtas duração e intensidade muito fraca a intensidade do escoamento também é muito fraca, enquanto que episódios de precipitação de curta duração e intensidade muito baixa desenvolveram situações de intensidade igualmente muito baixa. Os autores também relacionam o escoamento com a capacidade de infiltração dos solos na bacia, observando que à medida que aumentava a capacidade de infiltração de água no solo, as intensidades do escoamento diminuía.

4.2.4 Armazenamento de água no solo

A variação espacial dos solos na bacia do arroio Cancela confirma tendência semelhante à descrita por Streck et al, (2008), que utiliza a classificação proposta pela Embrapa, em 2006, em que os Argissolos Vermelhos Distróficos ocupam, na depressão central, as cotas mais altas, os Argissolos Bruno-Acinzentados as áreas de coxilhas e cotas intermediárias e os Planossolos Háplicos nas áreas planas de várzeas.

Conforme pode ser observado na figura 5, que mostrou o Modelo Numérico do Terreno, os pontos Cerrito e DAER, situam-se em cotas maiores que o ponto CACISM, mas não se encontram sob a mesma topossequência no terreno. Conforme já descrito em item anterior, a altitude desses pontos, determinada com uso de GPS, foi de 96 m para o ponto CACISM, 160 m para o ponto Cerrito e 145m para o ponto DAER.

O princípio proposto por Grayson et al, (1997) de que em bacias nas quais a precipitação excede continuamente a evapotranspiração de referência, o teor de umidade do solo seria controlado, geralmente, pela captação de água da bacia, não se aplica bem à bacia estudada, já que as médias de umidade do solo encontradas para o ponto DAER foram maiores que para o ponto CACISM e tornam-se mais evidentes na camada mais superficial do perfil. Para Hérbrard, et al (2006) essa variação demonstra que a resposta hidrológica da umidade do solo na bacia em estudo não é diretamente condicionada à topografia, valorizando outros

componentes que interferem no fluxo de água no solo: evapotranspiração, infiltração e escoamento fluvial.

O ponto DAER apresenta os maiores valores de umidade volumétrica para a profundidade de 20 cm, seguido em parte pelo ponto CACISM. Para o ponto Cerrito maiores valores de umidade são encontrados para a profundidade de 80 cm.

Os solos das classes Argissolo (Cerrito e DAER) variam de bem a imperfeitamente drenados, enquanto que os Planossolos (CACISM) são imperfeitamente a mal drenados (STRECK, et al, 2008).

O solo do ponto CACISM, classificado como Planossolo Háplico Distrófico gleissólico, possui, assim como observado por Ferreira (2011) uma camada com acúmulo de argila, o horizonte Bt, típico desse tipo de solo, e que dificulta a drenagem do solo, o que pode justificar o comportamento diferenciado da drenagem da água nas profundidades 40 e 60 cm do perfil. O comportamento observado entre a camada mais superficial e mais profunda pode ser dado pela formação de um horizonte E com características semelhantes ao A (maior teor de areia).

Observando a tabela 3, para as profundidades de 20 e 40 cm, a fração granulométrica com maior participação foi a silte, com 46,03 e 48,75%, respectivamente; para 60 cm, ocorre variação textural e o solo apresenta 52,66% de areia fina, finalmente, a 80 cm, a textura é franca e não há fração granulométrica predominante. Com relação à argila, a camada 20 cm possui o maior valor, com 14,06 %, havendo diminuição até a camada de 60 cm e um aumento em 80 cm, apresentando o valor de 10,92%. Com relação à fração areia grossa, os maiores valores são observados para 20 e 80 cm, com 2,84 e 4,06%, respectivamente.

A figura 19, apresentada a seguir, mostra a variação da umidade volumétrica do solo, entre maio e novembro de 2014, obtidos com medições prioritariamente semanais, para os três pontos monitorados. Diferenças entre as datas de medições entre os três pontos são justificadas por problemas de umidade na base do perfil no ponto CACISM ou outros inconvenientes.

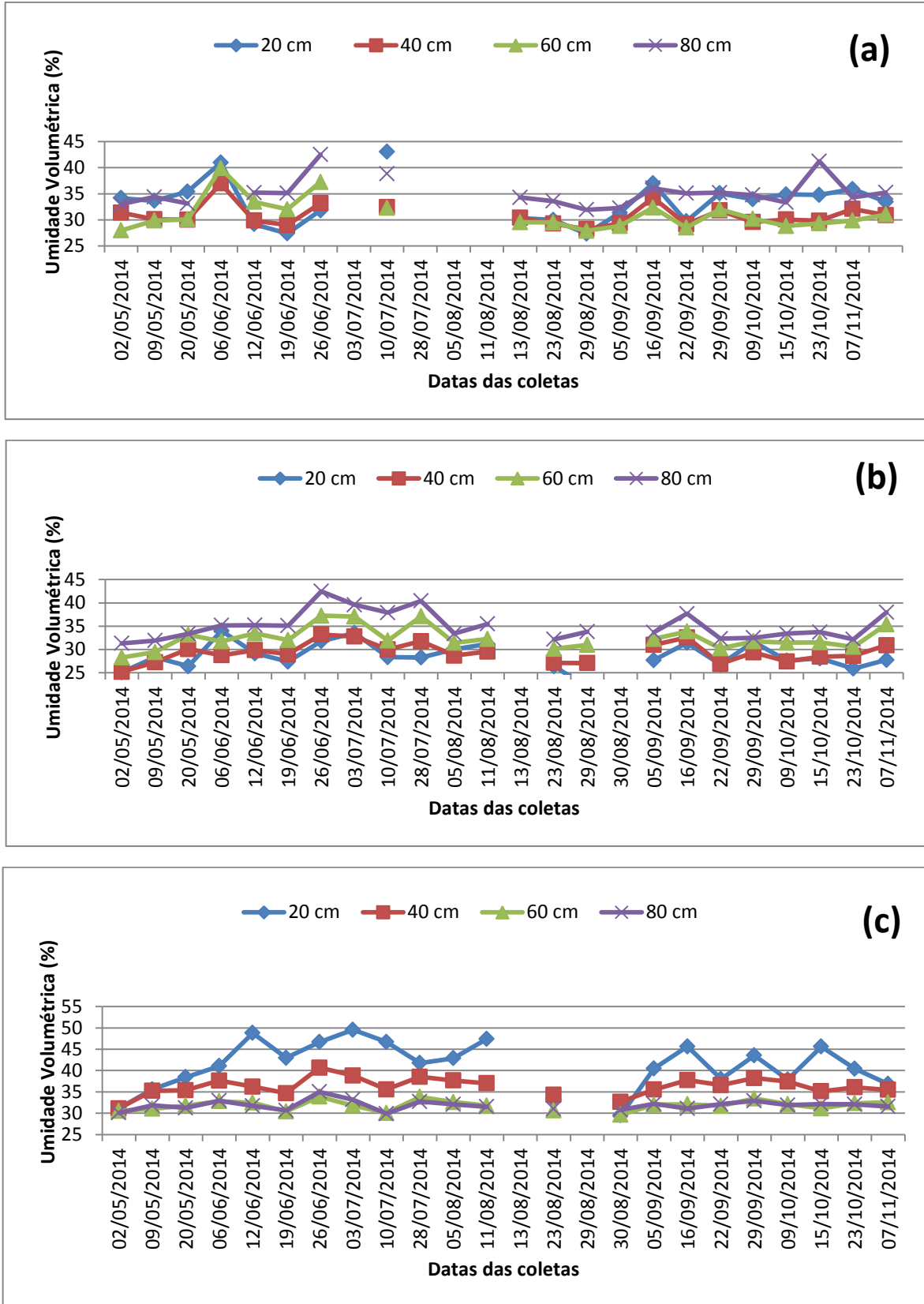


Figura 19- Umidade volumétrica do solo nos pontos CACISM (a), Cerrito (b) e DAER (c) para as coletas semanais.

Em geral, no ponto CACISM, as camadas que apresentam maior umidade volumétrica são as de 20 e 80 cm, com exceção dos períodos entre 12/06 e 26/06/2014, em que se observa maior umidade para 80 e 60 cm, respectivamente. O comportamento diferenciado no período anterior a 12/06/2014 (entre 20/05 e 06/06/2014) pode ser justificado por um acumulado de chuva de 122,4 mm na bacia, não observado no segundo período. O aumento do conteúdo de argila pode haver dificuldade da drenagem da água, acumulando-a também na camada anterior.

O solo do ponto Cerrito, classificado como Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico abrupto, e conforme caracterização dada por Cardoso (2005) comum à áreas de paisagem nativa, com raízes abundantes no horizonte "A", em profundidade de até 40 cm, o que foi confirmado na ocasião da coleta físico-química na área. O solo, que se encontra em posição mais alta do relevo, apresenta drenagem diferenciada e os valores da umidade volumétrica em geral, aumentam com o aumento da profundidade do perfil. O valor do coeficiente de variação (CV) foi menor com relação ao ponto DAER (de 11,69% para 13,90%).

O solo do ponto Cerrito é classificado como Franco Arenoso, com exceção da camada 80 cm, denominada Franco Argilo Arenosa com relação à sua textura. A análise textural mostrou que o maior valor no perfil para a areia fina foi a 40 cm e para a argila os maiores são observados nas profundidades de 60 e 80 cm, com 18,44 e 22,58%, camadas que apresentaram maior umidade.

No ponto DAER, classificado como Argissolo Amarelo Alítico típico, a variação encontrada entre as profundidades mais superficiais (20 e 40 cm) e as inferiores pode ser explicada por uma mudança textural abrupta no perfil, variando de arenosa a argilosa. O conteúdo de argila decresce no perfil, variando de 15,27% a 20 cm e a 9,29%, o valor de silte é menor a 20 cm, camada que apresenta proporcionalmente mais areia fina, com 11,88 %. As profundidades 20 e 40 cm apresentaram maior umidade volumétrica e maior de argila. O comportamento se deve à uma desorganização da sequência natural do perfil, em decorrência da modificação antrópica do terreno.

As evoluções temporais da umidade volumétrica foram diferentes para os três pontos monitorados.

A umidade do solo no ponto do CACISM apresentou aumento entre 20/05/2014 e 06/06/2014 e queda entre 06/06/2014 e 19/06/2014, não acompanhado da profundidade de 20 cm. No mês de agosto observam-se valores

menores para a variável. Entre 29/08/2014 e 16/09/2014, ocorre novo aumento e a partir dessa data a profundidade de 80 cm apresenta comportamento diferenciado das demais. Entre 22/09/2014 e 29/09/2014, observa-se novo aumento para as profundidades de 20, 40 e 60 cm. A variação observada entre 15/10/2014 e 23/10/2014 foi maior na profundidade de 80 cm, acompanhando o escoamento fluvial, até a data final, 07/11/2014.

Para o ponto Cerrito, entre 20/05/2014 e 06/06/2014, observa-se aumento da umidade volumétrica do solo na profundidade de 20 cm. Entre 19/06/2014 e 26/06/2014, ocorre novo aumento, em todas profundidades, com queda até 10/07/2014. Em relação a todo perfil, observa-se aumento entre 05/09/2014 e 16/09/2014, com pequenas flutuações até o fim do período de coletas (07/11/2014).

No ponto DAER, entre 06/06/2014 e 12/06/2014 observa-se aumento da umidade do solo, com queda a 19/06/2014, sendo mais pronunciado a 20 cm. Entre 19/06/2014 e 26/06/2014 o aumento foi maior nas profundidades de 20 e 40 cm, com declínio até 10/07/2014. Ocorre aumento entre 28/07/2014 e 11/08/2014, com declínio até 30/08/2014. Nos períodos entre 05/09/2014 a 16/09/2014; 22/09/2014 a 29/09/2014 e 09/10/2014 a 15/10/2014 observam-se aumentos bem pronunciados na profundidade de 20 cm.

O evento monitorado foi o de 13/06/2014, apresentando, 23,31 mm para o ponto Cerrito e 22,6 mm para o ponto DAER. As coletas iniciaram-se no dia 12/06/2014 (dia anterior a chuva) e prosseguiram até o dia 26/06/2014; as falhas se deram nos dias em que inconvenientes impediram as medições. Conforme padrão ao inverno no estado, durante o decorrer das coletas, ocorreram outros eventos pluviométricos, de diferentes intensidades, as umidades volumétricas diárias para a quinzena, estão ilustradas nas figuras 20, 21 e 22.

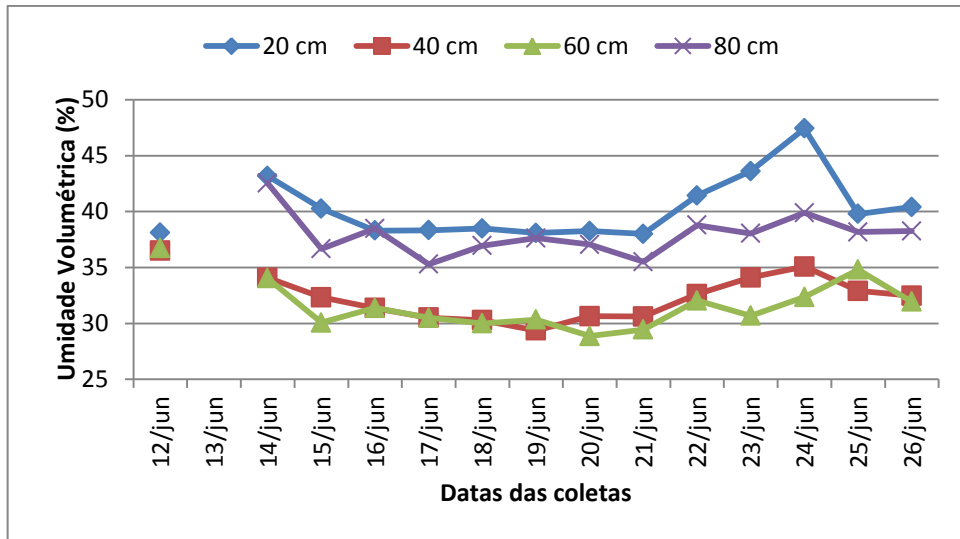


Figura 20- Umidade volumétrica do solo para o ponto CACISM para as medições de 15 dias consecutivos

No ponto CACISM observa-se um aumento da umidade do solo após as chuvas de maior e menor intensidade iniciais dos dias 15 a 18/06/2014, ocorrendo pequenas flutuações até 21/06/2014, a partir do qual se observa um aumento gradativo até 24/06/2014, com precipitação de 12,7 e 12,2 mm nos pontos Cerrito e DAER, para a data anterior. Observa-se, após, uma diminuição até a nova precipitação, em 25/06/2014, variação não observada na profundidade de 60 cm, em que a umidade segue aumentando entre 23 e 26/06/2014. A profundidade de 80 cm apresenta maiores valores de umidade volumétrica, em relação às demais, seguida das de 60, 40 e 20 cm.

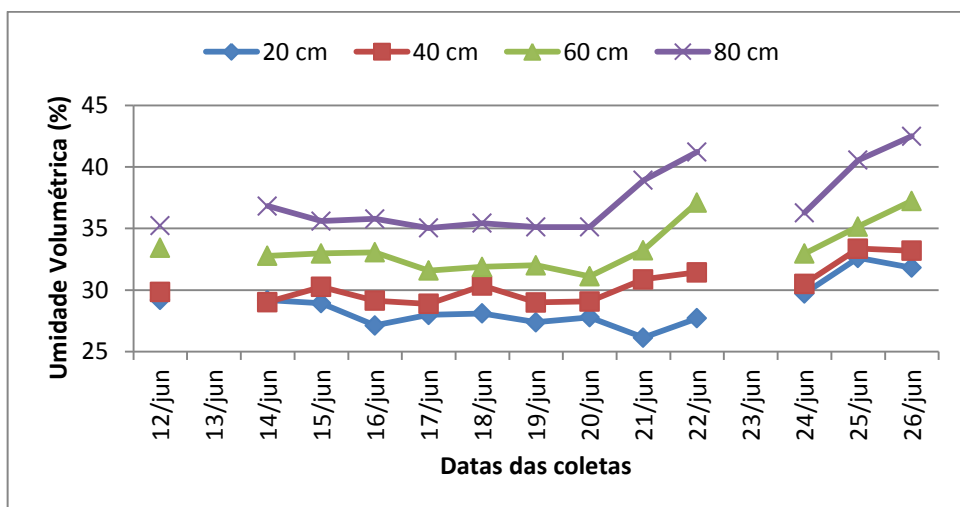


Figura 21- Umidade volumétrica do solo para o ponto Cerrito para as medições de 15 dias consecutivos

Conforme apresentado na figura 21, para o ponto Cerrito, entre 12 e 14/06/2014 ocorreu uma diminuição da umidade do solo, após a chuva que se propôs monitorar, com 23,3 mm. No dia seguinte, a precipitação de 3,82 mm acarretou um aumento da umidade do solo, para os dias 15 e 16/06/2014 os volumes precipitados foram os mesmos e a umidade do solo comportou-se da mesma forma. O incremento no armazenamento de água no solo continuou até 19/06/2014, data em que, mesmo sem chuva, observou-se ligeiro aumento da umidade nesse solo. A partir desse dia, com nova incidência de precipitações de baixa intensidade, ocorre outro incremento na umidade do solo, interrompido pela chuva de 21 mm, em 25/06/2014. As alterações na umidade foram progressivas com o aumento da profundidade do perfil.

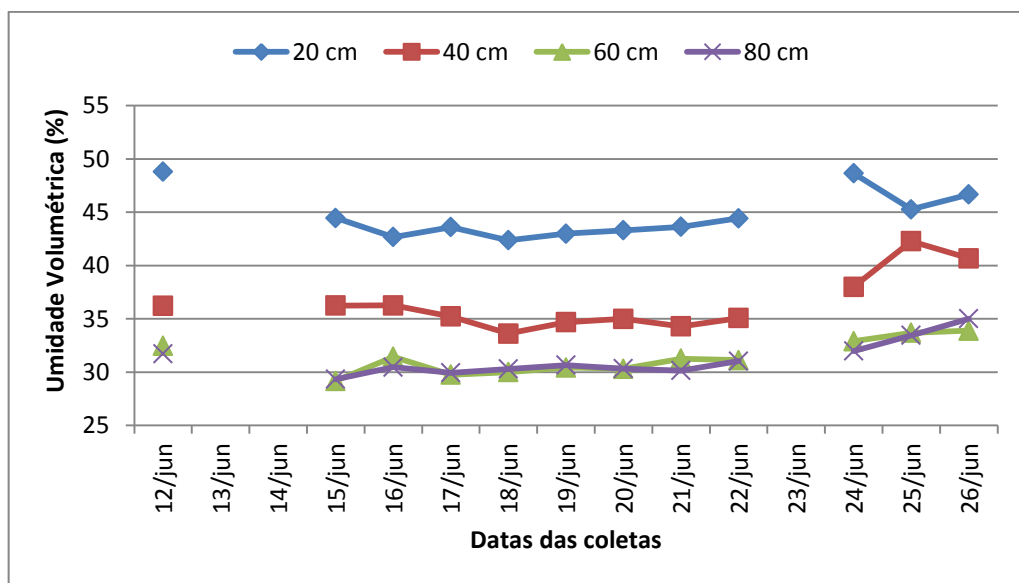


Figura 22- Umidade volumétrica do solo para o ponto DAER para as medições de 15 dias consecutivos

Para o ponto DAER, considerando a repetição de eventos chuva com maior e menor intensidade dos dias 13 e 14/06/2014 nos dias 15 e 16/06/2014 e da ausência de medições da umidade após a primeira sequência, se analisará a evolução do armazenamento da água no solo a partir da repetição dos eventos. A umidade do solo foi menor após a chuva de maior intensidade e sofreu um aumento no dia seguinte, observando-se um aumento progressivo até a chuva de maior intensidade, ocorrida em 25/06/2014, decrescendo novamente após essa data. As profundidades

20 e 40 cm observam-se os maiores valores para umidade, seguidas de 60 e 80 cm, com valores menores e mais próximos entre si.

4.3 Balanço hídrico semanal da bacia

A precipitação média para o balanço hídrico da bacia foi obtido pela média das precipitações entre coletas dos pontos Cerrito e DAER e os valores estão discriminados na tabela 7.

Tabela 7- Precipitação medida nos pontos Cerrito e DAER, entre as datas de coletas e a precipitação média para a bacia, em mm, entre 02/05/2014 e 07/11/2014.

Data	Cerrito	DAER	Bacia
02/05/2014			
09/05/2014	70,67	68,24	69,5
20/05/2014	41,68	40,39	41,0
06/06/2014	124,56	120,23	122,4
12/06/2014	1,13	0,33	0,7
19/06/2014	54,26	52,27	53,3
26/06/2014	43,08	41,65	42,4
03/07/2014	200,73	194,32	197,5
10/07/2014	68,34	66,23	67,3
28/07/2014	145,67	154,78	150,2
05/08/2014	38,05	36,32	37,2
13/08/2014	22,85	23,4	23,1
23/08/2014	0,98	1,0	1,0
29/08/2014	5,55	5,6	5,6
05/09/2014	55,8	56,4	56,1
16/09/2014	141	143	142,0
22/09/2014	0,42	3,4	1,9
29/09/2014	71,1	74	72,6
09/10/2014	87,93	94	91,0
15/10/2014	16,84	21,8	19,3
23/10/2014	112	108	110,0
07/11/2014	91,05	74,4	82,7

Os três tipos de solo presentes nos pontos monitorados ocupam 91,56% da área total da bacia, para a estimativa da área de cada um desses, agrupou-se os 8,44% dos solos restantes por tipo ou proximidade dos pontos. A disposição dos diferentes tipos de solos na bacia pode ser vista no mapa de solos, constante na figura 3, em seção anterior desse texto. A tabela 8 traz a área, em km², ocupada em cada um dos solos e o agrupamento dos mesmos em subáreas, para a obtenção do armazenamento médio da bacia para cada medição. A tabela 9 mostra os armazenamentos de água no solo para cada ponto.

As umidades volumétricas medidas em cada profundidade, em cada coleta semanal, constam nos apêndices A, B e C.

Tabela 8- Área, em Km², de cada solo da bacia, tipos de solo de acordo com classificação proposta por Pedron, et al. (2008) e o agrupamento em subáreas para a ponderação dos armazenamentos de água do solo medidos nos pontos CACISM, Cerrito e DAER:

Subárea 1- CACISM		0,306 Km²
SXd1	Planossolo Háptico Distrófico gleissólico	0,306 Km ²
Subárea 2- Cerrito		1,791 Km²
PBA Cal 2	Argissolo Bruno-Acinzentado Alítico abrupto	1,605 Km ²
Pval 2	Argissolo Vermelho Alítico típico	0,049 Km ²
RRe1	Neossolo Regolítico Eutrófico léptico	0,137 Km ²
Subárea 3-DAER		0,570 Km²
PAal 4	Argissolo Amarelo Alítico típico	0,531 Km ²
PVvd	Argissolo Vermelho Ta Distrófico abrupto	0,039 Km ²

Tabela 9- Armazenamento de água no solo nos três pontos, seu valor médio para bacia e a variação entre períodos, em mm.

Armazenamento água no solo (mm)					
Data	CACISM	Cerrito	DAER	Bacia	ΔA
02/05/2014	257,48	213,51	253,71	249,90	
09/05/2014	255,13	230,29	271,12	263,01	13,11
20/05/2014	259,61	239,07	280,93	271,56	8,55
06/06/2014	276,58	258,31	297,02	288,20	16,64
12/06/2014	249,36	249,36	315,50	293,76	5,56
19/06/2014	239,26	239,26	289,80	273,19	-20,57
26/06/2014	278,81	278,81	324,13	309,23	36,04
03/07/2014	312,69	279,82	323,07	315,88	6,65
10/07/2014	297,38	246,79	301,26	294,17	-21,71
28/07/2015	286,65	262,97	302,80	294,77	0,60
05/08/2015	288,11	243,78	301,25	291,83	-2,94
13/08/2014	245,14	248,23	302,88	284,26	-7,58
23/08/2014	241,09	225,95	260,62	252,46	-31,79
29/08/2014	226,13	221,06	241,43	235,82	-16,65
05/09/2014	242,59	243,32	288,76	273,67	37,85
16/09/2014	280,27	264,80	307,71	296,92	23,25
22/09/2014	239,58	226,98	282,70	267,08	-29,84
29/09/2014	268,05	249,65	306,88	292,00	24,92
09/10/2014	256,21	233,95	284,64	272,74	-19,27
15/10/2014	255,72	237,90	301,51	284,41	11,68
23/10/2014	263,84	228,25	290,21	277,45	-6,96
07/11/2014	265,85	253,92	278,12	272,71	-4,74

A tabela 10, por fim, expressa os valores das variáveis climáticas da bacia hidrográfica, em mm, utilizados para o balanço hídrico, no período de 02/05/2014 a 07/11/2014.

Tabela 10-Variáveis mensuradas e Balanço hídrico semanal para a bacia do arroio Cancela de 02/05/2014 a 07/11/2014*

Data	P bacia		ESC		ETP	ARM Bacia	ΔA bacia	P-ETP-ESC
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				
02/05/2014						249,9		
09/05/2014	69,5	45,5	11,1	263,0	13,1	12,8		
20/05/2014	41,0	49,2	18,2	271,6	8,6	-26,3		
06/06/2014	122,4	78,1	18,4	288,2	16,6	25,9		
12/06/2014	0,7	14,6	9,4	293,8	5,6	-23,2		
19/06/2014	53,3	24,3	7,0	273,2	-20,6	21,9		
26/06/2014	42,4	31,1	6,7	309,2	36,0	4,6		
03/07/2014	197,5	133,9	5,2	315,9	6,6	58,4		
10/07/2014	67,3	66,7	13,8	294,2	-21,7	-13,2		
28/07/2014	150,2	119,8	29,4	294,8	0,6	1,0		
05/08/2014	37,2	34,6	17,5	291,8	-2,9	-14,9		
13/08/2014	23,1	28,5	11,8	284,3	-7,6	-17,1		
23/08/2014	1,0	29,1	22,0	252,5	-31,8	-50,2		
29/08/2014	5,6	16,2	20,5	235,8	-16,6	-31,1		
05/09/2014	56,1	35,1	18,7	273,7	37,8	2,3		
16/09/2014	142,0	93,8	29,6	296,9	23,2	18,5		
22/09/2014	1,9	19,8	15,6	267,1	-29,8	-33,5		
29/09/2014	72,6	40,9	17,8	292,0	24,9	13,9		
09/10/2014	91,0	68,7	30,2	272,7	-19,3	-7,9		
15/10/2014	19,3	20,1	14,6	284,4	11,7	-15,4		
23/10/2014	110,0	88,0	27,4	277,5	-7,0	-5,4		
07/11/2014	82,7	83,7	59,2	272,7	-4,7	-60,1		

*P bacia: Precipitação média das medidas nos pontos Cerrito e DAER, ETP: Evapotranspiração, ESC: Escoamento fluvial, ARM BACIA: Umidade volumétrica ponderada das medidas nos três pontos, ΔA variação do armazenamento de água no solo

A figura 23 traz o balanço hídrico da bacia do arroio Cancela para o período de monitoramento prioritariamente semanal, entre 02/05/2014 e 07/11/2014.

A variação encontrada para as variáveis: precipitação, evapotranspiração, escoamento fluvial, bem como a variação do conteúdo de armazenamento de água no perfil, encontram-se em apêndice.

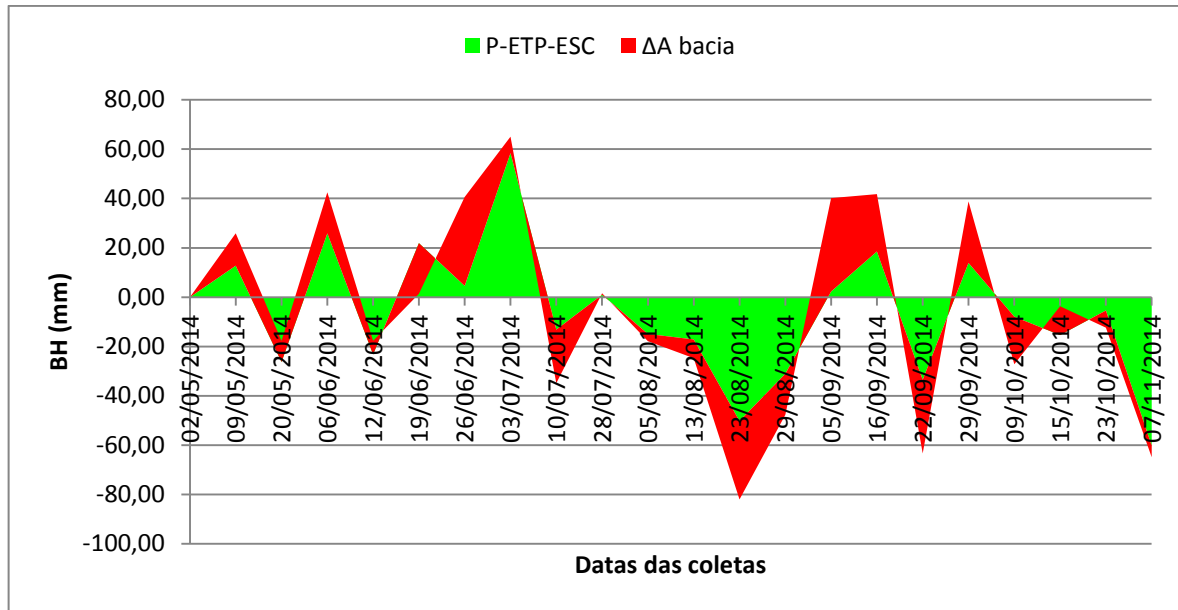


Figura 23- Balanço hídrico semanal para a bacia do arroio Cancela, para o período de 02/05/2014 a 07/11/2014, considerando Evapotranspiração de referência.

O maior valor para a variação de armazenamento de água no solo na bacia foi observado para o período de 29/08/2014 a 05/09/2014, com 37,8 mm, sendo acompanhado por um aumento da precipitação e do escoamento fluvial de 5,6 para 56,1 e 16,2 para 35,1 mm, respectivamente. O menor valor foi observado entre 13-23/08/2014 com perda de 31,8 mm, acompanhado de uma variação na precipitação de 23,1 para 1,0 mm e na evapotranspiração de 11,8 para 22 mm com relação a data da coleta anterior.

O período entre 02/05/2014 e 12/06/2014 é marcado por ganhos no armazenamento de água no solo, seguidos de perdas até 19/06/2014, com uma variação no escoamento de 14,6 para 24,3 mm. Entre 26/06/2014 e 03/07/2014 observa-se aumento e posterior queda, sendo concomitante com o aumento da precipitação de 42,4 para 197,5 mm e de 31,1 para 133,9 mm para o escoamento. Os períodos entre os meses de julho e agosto pontuam perdas hídricas no solo. Após as perdas no armazenamento do período entre 03/07/2014 e 10/07/2014 observa-se uma elevação na precipitação de 67,3 a 150,2 mm para o período seguinte. Uma diminuição na precipitação, escoamento fluvial e evapotranspiração (os dois últimos até 13/08/2014) pontuam as perdas hídricas no solo de 28/07/2014 a 23/08/2014. Até 05/09/2014 ocorre diminuição das perdas até novamente haver aumento da umidade no perfil, diminuindo com o aumento da precipitação de 56

para 142 mm para o período seguinte (de 05 a 16/09/2014) que acompanha aumentos na evapotranspiração e escoamento fluvial. Nos períodos de 16 a 22/09/2014 e de 22 a 29/09/2014 ocorrem perdas e ganhos hídricos, respectivamente, acompanhando diminuições e aumentos das outras três variáveis monitoradas. Entre 29/09/2014 e 09/10/2014 as perdas hídricas pontuam aumentos no escoamento e evapotranspiração. O aumento dessa variável pontua as perdas no armazenamento observadas no período final (23/10/2014 a 07/11/2014).

Para a diferença entre precipitação e as variáveis escoamento e evapotranspiração, o maior valor foi de 58,4 mm para o período de 26/06/2014 a 03/07/2014, acompanhando as variações de 42,4 a 197,5 mm para precipitação e 31,1 a 133,9 mm para o escoamento fluvial em relação ao período anterior. O menor para a mesma diferença foi obtida para o período de 23/10/2014 e 07/11/2014, com -60,1 mm, observando-se uma variação da evapotranspiração de 27,4 a 59,2 mm em relação ao período anterior.

No período de 02/05/2014 a 12/06/2014 a diferença entre precipitação e as variáveis escoamento e evapotranspiração apresentou perdas não observadas para o armazenamento de água no solo, assim como entre os períodos de 09 a 20/05/2014 e entre 06 e 12/06/2014. Comportamento diferenciado também foi observado entre 12 e 19/06/2014, com aumento do escoamento fluvial e diminuição da evapotranspiração; entre 26/06/2014 e 10/07/2014 as demais variáveis se equilibram em relação ao armazenamento de água no solo, que apresenta ganhos. Entre 10/07/2014 e 09/10/2014 o comportamento do armazenamento de água no solo acompanha as variações entre a precipitação entre variáveis de entrada e saída medidas, embora se observe diferença entre as duas. Para o último período (23/10/2014 a 07/11/2014) com aumento na evapotranspiração ocorrem menores perdas no solo em relação à diferença entre variáveis mencionada.

Da Mota, 1970, traça um comportamento do balanço hídrico com relação à região da bacia, a depressão central do Rio Grande do Sul, relatando, primeiramente, a existência de uma estação em que as chuvas não atendem às necessidades de água que são supridas pela água acumulada no solo proveniente de chuvas da estação anterior. Essa estação estaria entre o fim da primavera e o início do verão. Outra estação inicia com um período breve de reposição da água do solo até se completar capacidade de campo, fato que ocorre, habitualmente, no fim do verão e sucedendo um excesso que vai até a primavera. Ocorre não só na região

central, mas em todo estado, dois máximos durante a estação úmida: em maio-junho e outro agosto-setembro.

A partir dos totais das variáveis envolvidas no balanço hídrico precipitação, escoamento fluvial e armazenamento de água no solo calculou-se a evapotranspiração real. Os totais obtidos para as variáveis a partir do monitoramento da bacia e a estimativa da evapotranspiração real, constam na tabela 11:

Tabela 11- Totais de precipitação (P), Escoamento Fluvial (ESC) e variação de armazenamento de água no solo (ΔA) usados no balanço hídrico e estimativa da evapotranspiração real:

Variáveis do Balanço Hídrico da bacia	Totais (mm)
Precipitação	1386,7
Escoamento Fluvial	1121,7
Varição Armazenamento do solo (ΔA)	22,8
Evapotranspiração real estimada	(P-ESC-ΔA)
	242,2

A evapotranspiração total de referência para o período de 189 dias monitoramento foi de 403,9 mm, enquanto a evapotranspiração real, constante na tabela 10, foi de 242,2 mm.

A bacia do arroio Cancela é considerada uma bacia urbana, possuindo 52,075% de áreas impermeabilizadas, com solo exposto e água e apresenta-se 47,925% coberta por floresta, campos e gramados.

A variação observada entre a evapotranspiração de referência, calculada a partir de parâmetros climáticos em sua maior parte medidos no ponto CACISM e a real obtida pela diferença entre a precipitação e as demais variáveis (escoamento fluvial e variação de armazenamento de água no solo, em cada ponto) parece ser justificada pela urbanização das áreas da bacia. A variação foi observada por Silveira (2000), a partir de monitoramento da bacia urbana do arroio Dilúvio, em Porto Alegre, RS, Silveira (2000) com dados de 1978 a 1982, observou haver uma alteração significativa do balanço hídrico nas bacias urbanizadas e que à medida que a urbanização avança ocorre diminuição na evapotranspiração e aumento no escoamento (parcela que passa a circular na rede pluvial e nos arroios), com

diminuição da recarga dos aquíferos e do escoamento de base. Com evolução de 10 para 60% coeficiente de escoamento global médio com a urbanização, as perdas (basicamente por evapotranspiração) reduzem-se em cerca de 55 %.

5 CONCLUSÕES

A precipitação medida na bacia tem valores próximos para os pontos Cerrito e DAER, o mês mais chuvoso foi junho, com 304,4 mm no ponto Cerrito e o mais seco foi o de agosto, com 63,2 mm para o ponto DAER.

A Evapotranspiração de referência variou durante o período, entre 31,54 mm em junho e 108,41 mm em outubro, demonstrando a importância de fatores como a temperatura, o comprimento do dia, a inclinação dos raios solares e a demanda hídrica da atmosférica durante os meses do ano.

As variações da umidade do solo entre pontos e dentro do perfil são melhor justificadas pelo tipo de solo e pela variação textural do que pela sua posição no relevo da bacia.

O escoamento fluvial varia fortemente com a precipitação, apresentando excesso hídrico entre o fim de junho e começo de agosto, com início do inverno. O balanço hídrico da bacia, acompanha os mesmo períodos, com maior deficiência no mês de agosto.

As variáveis que compõe o ciclo hidrológico, aliadas a fatores do clima e geomorfologia atuam conjuntamente nos processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica, não sendo simples a delimitação da sua participação num balanço hídrico.

6 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se cuidado especial, quando da instalação dos tubos de acesso para a sonda TDR, de forma a assegurar a sua perfeita vedação e proteção para evitar a entrada e o acúmulo de água em seu interior, impossibilitando a amostragem sob essas condições.

Realização do balanço hídrico da bacia estudada em maior período de tempo.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

ÁVILA, L. F., et al. Padrão espaço-temporal da umidade volumétrica do solo em uma bacia hidrográfica com predominância de latossolos. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, n.5, p.1801-1810. 2011.

BATEIRA, C. et al. Relação entre episódios de precipitação e escoamento na Bacia hidrográfica da Carriça (Bacia do Douro- Baião). **Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos**, Lisboa, v.5, p. 93-105. 2007.

BDMEP-**Banco de dados Meteorológicos para o ensino e Pesquisa**- Disponível em:< <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>

BERLATO, M. A.; HOMERO, F.; FONTANA, D. C. Associação entre El Niño Oscilação Sul e a produtividade do milho no Estado do Rio Grande do Sul. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p. 423-432, mai. 2005.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. Viçosa: Ed. da UFV, 1995. 657 p.

BERNARDO, S.; **Manual de irrigação** 8 ed. Viçosa: Ed. da UFV, 2006. 625p.

BRITO G. L. M. **Estimativa da taxa de recarga da bacia sedimentar do rio Peixe (PB) pelo método Balanço Hídrico**, 2007. 143fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

BURIOL, G. A. et al. Espacialização da Evapotranspiração Potencial mensal e anual na bacia hidrográfica do rio Vacacaí- RS, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v 14, jan-jul/2014.

BURIOL, G. A., et al. Estimativa da radiação solar a partir de dados de insolação para Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.9, jul, 2012.

BURIOL, G. A. et al. Homogeneidade espacial da precipitação pluvial na bacia do rio Vacacaí, RS. **Ciência rural**, Santa Maria, v.43, n. 12, p. 2160-2167, dez, 2013.

BURIOL, G. A. et al. Médias e variabilidade dos totais mensais e anuais de precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Vacacaí-Mirim, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEROLOGIA, 16, 2009, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: CBA, 2009.

CARDOSO, C. D. V. **Probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica nos solos da região central do Rio Grande do Sul**, 2005, 93fl. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied Hydrology** Ed. MacGrall-hill, 1988. 572p.

CICHOTA, R.; LIER, Q. J. V. Calibração no campo de um equipamento de TDR segmentado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá. **Anais...**Cuiabá: SBCS/ UFMT, 2002. 1CD-ROM.

COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; COELHO-FILHO, M. A. Sonda de TDR para estimativa da umidade e condutividade elétrica do solo, com uso de multiplexadores **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, n.4, 2005.

COELHO, G.B.; **Análise e simulação do processo de transformação de chuva em vazão com suporte de sistema de informações geográficas (SIG)**. 2006, 93fl. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação)- Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

COLLARES, G. L. et al, Retenção de água medida pelo método placas porosas de Richard e pelo Psicrômetro de Termopar In: XIV REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, Cuiabá, **Anais...** 2002.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman- Monteith FAO** Embrapa uva e vinho, 2006, 8p. (Embrapa Uva e Vinho. Circular Técnica, 65).

COUTINHO, D. L. **Utilização do método geoestatístico na avaliação de redes de estações pluviométricas com base na precisão dos resultados de balanço hídrico climatológico**. 2008, 81fl. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental)- Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

Da COSTA, A. **Retenção e disponibilidade de água em solos em solos de Santa Catarina: avaliação e geração de funções de pedotransferência**, 2012,424fl. Tese (Doutorado em Manejo do Solo)-Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2012.

Da MOTA, et al, Balanço hídrico do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília,v.5, p. 1-27, 1970.

Da MOTA, F. S.; GOEDERT, C. O. Evapotranspiração potencial no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.1, p. 155-163. 1966.

D'ANGIOLELLA, G.; VASCONCELLOS, V. L. D.; ROSA, J. W. Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesorregião sul da Bahia. **Bahia Agrícola**, Salvador, v.6, n. 1, nov, 2003.

D'ANGIOLELLA, G.; VASCONCELLOS, V. L. D. Planilhas Excel para cálculo de balanço hídrico climatológico com diferentes metodologias para estimativa da evapotranspiração potencial **In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA NO SEMI-ÁRIDO**, III, Campina Grande. **Anais...**, 2003.

De LACERDA, R. D., et al. Avaliação de um TDR para determinação do conteúdo de água do solo. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Campina Grande, v 5, n. 1, 12 p, 2005

Da SILVA, E. L.; GERVÁSIO, E. S. Uso do instrumento TDR para determinação do teor de água em diferentes camadas de um latossolo roxo distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.3, p.417-420, 1999.

Da SILVA, E. M. **Análise das relações Climato-hidrológicas e das demandas hídricas no alto-curso da bacia hidrográfica do rio Bagagem, MG**, 2007, 197fl, Dissertação (Mestrado em Geografia)- Instituto de geografia-Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

Da SILVA, J. C. et al Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande,v.11, n.1, 2007.

Da SILVA, M. M.; FERREIRA, V. O. Análise comparativa do clima de Araçuaí, Pedra Azul e Itamarandiba, na porção mineira da bacia do rio Jequitinhonha. **Caderno de Geografia**,Belo Horizonte, v.21, n.35, 2011.

De SOUZA, A. S.P. **Avaliação dos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para fins de manejo de irrigação**, 2011, 84 fl. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto de geociências- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

DIAS, C. O. **Determinação da condutividade hidráulica de solos não saturados** Dissertação 236fl, 2012. (Mestrado em Engenharia e Construção Civil)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

Dos SANTOS, B. D. Calibração de TDR: desempenho de alguns métodos e equações de calibração. **Revista Agrarian**, Dourados, v.5, n. 10, p.131-139, 2012.

Dos SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; de OLIVEIRA, L. F. C. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite-GO. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.78-89, jan./fev., 2011.

Dos SANTOS, M. V. C. **Estudo do comportamento de um pequeno aquífero aluvial na bacia experimental de Santana do Ipanema: semi-árido alagoano**, 2009,138fl. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento)- Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009.

Dos SANTOS, S. A. **Carga poluidora difusa na água e nos sedimentos de sub-bacia do arroio Cadena- Santa Maria, RS**, 2014, 175fl. Dissertação (Mestrado em recursos hídricos)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

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

FACCO, A. G. **Modelagem do balanço hídrico em microbacia hidrográfica com plantio de Eucalipto**, 2008. 127 fl.Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

FACCO, A. G. **Modelagem e simulação geoespacial da variação dos componentes do balanço hídrico para plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado na bacia do rio doce**. 2004,89 fl. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

FERREIRA, J. T. P. **Caracterização de planossolos envolvidos em diferentes condições geoambientais do estado do Pernambuco**, 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo)- Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2011.

GALVÍNCIO, J. D.; de SOUZA, F. A. S. ; SRINIVASAN, V. S. Balanço Hídrico à Superfície da Bacia Hidrográfica do Açude Epitácio Pessoa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.11, n.3, p.135-146, jul/set, 2006.

GLANTZ, M. H. **Current of change: impacts of El Niño and La Niña on climate and society**. Second Edition. Cambridge: University Press, 2001. 252p.

GONÇALVES, M. C. P. B. **Características hidrodinâmicas dos solos: sua determinação e funções de pedo-transferência**. Lisboa, Portugal. 193fl. Tese de Doutorado.Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, 1994.

GRAYSON, et al. Preferred states in spatial soil moisture pattern: local and unlocal controls. **Water Resources Research**. Amsterdã, v.33, p.2897-2908, 1997.

GUIZELINI, A. P. **Estudo do comportamento hidromecânico de solos visando à construção de sistemas de cobertura alternativos para aterros sanitários**, 2011, 168fl. Dissertação (Mestrado em Construção Civil)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

HELDWEIN, A. B.; BURIOL, G. A.; STRECK, N. A. O clima de Santa Maria. **Ciência e Ambiente**, v.38, p.43-58, 2009.

HÉRBRARD, O., et al. Spatial-temporal distribution of soil surface moisture in a heterogeneously farmed Mediterranean catchment. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 329, 2006.

HILLEL, D. **Environmental Soil Physics**. San Diego: Academic Express, 1998. 771p.

HORIKOSHI, A. S. **Balanço hídrico atual e simulação de cenários futuros para o município de Taubaté**, 2007, 94 fl., Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)- Universidade de Taubaté, Taubaté, 2007.

INMET – **Observações Meteorológicas. Dados da Estação Automática: Santa Maria (RS)** <Disponível em <http://www.inmet.gov.br>>

INMET – **Observações Meteorológicas. Dados da Estação Convencional: Santa Maria (RS)** <Disponível em <http://www.inmet.gov.br>>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico**. Santa Maria, RS, 2010.

LEMOS FILHO, L. C. A., et al. Análise espaço-temporal da evapotranspiração de referência para Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**., Lavras, v. 31, n. 5, p. 1462-1469, set./out., 2007.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera**. Piracicaba: O autor, 1995. 497p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. Piracicaba: O autor. 2000. 509p.

LIMA, F. B.; SANTOS, G. O. **Balanço hídrico-espacial da cultura para o uso e ocupação atual da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Rita, Noroeste do Estado de São Paulo**. 2009. 89fl. Monografia. Fundação Educacional de Fernandópolis, Fernandópolis - SP, 2009.

LI, X.; ZHANG, Q. Estimating the Potential Evapotranspiration of Poyang Lake Basin Using Remote Sense Data and Shuttleworth-Wallace Model. **Procedia Environmental Sciences** v.10, p.1575 – 1582, 2011.

LONGHI et al, Aspectos fitossociológicos de fragmento de floresta estacional decidual, Santa Maria, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n.2, p.59-74, 2000.

MANTOVANI, J. R. A. Estimativa do escoamento superficial distribuído na bacia hidrográfica do rio do Peixe (SP) por meio de geoprocessamento. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO- SBSR, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBSR, 2013.

McGARRY, D. Comparison of four soil water measurement methods. In: LAL, R. **Encyclopedia of Soil Science** 2ed., v.1. Londres: CRC Press, 2006.

MEDEIROS, A. T. **Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penmann-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE**, 2002, 120fl. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

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

MILANI, D. I. C.; TAVARES, M. H. F. T.; SCHERPINSKI, C. Calibração de sondas TDR em condições de laboratório **Ambiente e Água**, Taubaté, v.3, n.1, p. 68-75, 2008.

MORAES, M. F. **Estimativa do balanço hídrico na bacia experimental/representativa de Santa Maria/Cambiocó- Município de São José de Ubá-RJ**, 2007, 251fl, Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

MORENO, J. A. **Clima do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, 1961. 42p.

MOSLEY, M. P.; McKERCHAR. Streamflow In: Maidment, D. R., (Org.), **Handbook of Hydrology**, New York: McGraw-Hill, 1993.1000p.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440p.

OR, D.; WRAITH, J.M. **Agricultural and environmental soil physics**. Logan: Utah State University, 1997. 218p.

OTTONI, M. V. **Classificação físico-hídrica de solos e determinação da capacidade de campo *in situ***, 2005,156fl. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PASTUSZKA, T.et al, Effect of Time-Domain Reflectometry probe location on soil moisture measurement during wetting and drying processes **Measurement**, v. 49, p.182-186, 2014.

PATTERSON. D.E. AND SMITH. M.W.. 1981. The measurement of unfrozen water content by time-domain reflectometry: results from laboratory tests. **Canadian Geotechnical Journal**. 18. p. 131-144.

PEDRON, F. A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. **Solos do Perímetro Urbano de Santa Maria Características, Classificação e Potencial de Uso**. Santa Maria, RS: Ed Orium, 2008. 143p.

PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997.183p.

PHILANDER, S.G. **El Niño, La Niña, and Southern Oscillation**. New York, Academic Press, 1990, p. 293

PONIZOVSKY, A.A.; CHUDINOVA, S.M.; PACHEPSKY, Y.A. Performance of TDR calibration models as affected by soil texture. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.218, p.35-42, 1999.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Editora Manole LTDA. São Paulo, Brasil. 188 p, 1990.

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

RICHARDS L.A. Physical condition of water in soil. In: BLACK,C.A. (Ed): **Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Properties**, Madison: Agronomy Monograph Series n.. 9, ASA, 1965. p. 128-152.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. 2002, 147 fl. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002.

SANTOS, I., et al. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 372p. 2001.

SHAO, W.et al, Analyzing the Regional Soil-vegetation-atmosphere Interaction Using both Eagleson and Budyko's Water Balance Models **Procedia Environmental Sciences**, v. 10, p. 1908-1913, 2011.

SHUTTLEWORTH, J. (1992). Evaporation. In: D. Maidment (Org.), **Handbook of Hydrology** New York: Ed. McGraw-Hill, 1993.1000p.

SILVA, E.L. da; GERVÁSIO, E.S. Uso do instrumento TDR para determinação do teor de água em diferentes camadas de um Latossolo Roxo distrófico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, p.417-420, 1999.

SILVEIRA, A L L. Ciclo Hidrológico e a Bacia Hidrográfica. In TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: Ciência e Aplicação. Hidrologia Ciência e Aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1993. 943p.

SILVEIRA, A.L.L. Impactos hidrológicos da urbanização em Porto Alegre, In : Tucci, C.E..M.; Marques, D.M. (Org.). **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**: Editora da UFRGS, Porto Alegre, 558p, 2000.

SPANK, U, et al. Effects of measurement uncertainties of meteorological data on estimates of site water balance components. **Journal of Hydrology**, Amesterdã, v.492, 2013.

SYPERRECK, V. L. G. **Avaliação de desempenho de modelos para a estimativas de evapotranspiração de referência para a região de Palotina, PR**, 2006, 51fl, Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Estadual do Norte do Paraná, 2006.

STRECK, et al. **Solos do rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2ed 2008. 222p.

TODOROFF, P.; LANGELLIER, P. Comparison of empirical and partly deterministic methods of time domain reflectometry calibration, based on study of two tropical soils **Soil & Tillage Research** v.45, p. 325-340, 1998.

TOMMASELI, J. T. G. ; BACCHI, O. O. S. Calibração de um instrumento TDR para medida de umidade de solos **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.9, p.1145-1154, set, 2001.

TOPP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN A. P. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in a coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, Washington, v.16, p.574-582, 1980.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e Evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, Editora da Universidade, 1993. p. 253-288.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação Ambiental Integrada de bacia Hidrográfica Ministério do Meio Ambiente**, Ministério do Meio Ambiente / SQA. – Brasília: MMA, 2006. 302p.

UNESCO. **Guía Metodológica para la Elaboración del Balance Hídrico de América Del Sur**. Montevideú, Uruguai. 1982. 130p.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. **Soil Science**, v. 32,p. 181-193, 1931.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. **Soil Science**, v. 32,p. 181-193, 1931.

VEIHMEYER, F. J.; HENDRICKSON, A. H. The permanent wilting percentage as a reference for the measurement of soil moisture **Transactions American Geophysical Union**, v.29, n.6, dez, 1948.

VESTENA, L. R.; LANGE FILHO, G. Balanço hídrico da bacia do rio Ernesto Pitanga/PR-Brasil **Terr@ Plural**, Ponta Grossa,v. 2, n. 2, p.323-335 , jul./dez., 2008.

VETTORI, L. **Métodos de Análise do Solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura. 1969. 24p. (Boletim Técnico nº 7).

VILLWOCK, R.; TAVARES, M.H.F.; VILAS BOAS, M.A. Calibração de um equipamento TDR em condisse de campo. **Irriga**, Botucatu, v.9, p.82-88, 2004.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. Porto Alegre: Editora McGrall-hill, 1975, 245p.

WALKER, J.P., WILLGOOSE, G.R., KALMA, J.D. In situ measurement of soil moisture: a comparison of techniques. **Journal of Hydrology**, Amsterdã, v. 293, p.85 — 99, 2004

WARD, A. D.; STANLEY, W. T. **Environmental hydrology** Florida: CRC Presas, 2004. 475 p.

WISLER, C. O. **Hydrology** New York: John Wiley, 1959, 408p.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Umidades volumétricas medidas no ponto CACISM e horário das medições para as profundidades de 20,40,60 e 80 cm, entre 02/05/2014 e 07/11/2014

Data	Horário	Umidade Volumétrica (%)			
		20cm	40cm	60cm	80cm
02/05/2014	09:15	25,09	25,20	28,26	31,32
09/05/2014	14:34	28,34	27,24	29,44	31,91
20/05/2014	09:24	26,40	30,09	33,15	33,38
06/06/2014	09:04	34,03	28,77	31,75	35,17
12/06/2014	14:04	29,18	29,85	33,45	35,22
19/06/2014	09:34	27,38	29,00	32,01	35,12
26/06/2014	09:04	31,81	33,20	37,24	42,50
03/07/2014	14:44	33,53	32,76	37,05	39,58
10/07/2014	10:24	28,36	30,00	31,90	37,91
28/07/2014	09:44	28,27	31,76	37,11	40,43
05/08/2014	09:04	30,05	28,69	31,43	33,39
11/08/2014	09:14	31,19	29,56	32,25	35,48
23/08/2014	10:34	26,40	27,15	30,14	32,18
29/08/2014	10:04	21,84	27,08	31,00	33,82
05/09/2014	09:34	27,71	30,99	32,26	33,68
16/09/2014	09:14	31,42	32,58	33,86	37,67
22/09/2014	15:34	26,79	26,90	30,24	32,32
29/09/2014	14:24	31,65	29,36	31,74	32,50
09/10/2014	09:44	27,60	27,42	31,45	33,40
15/10/2014	09:44	28,09	28,43	31,53	33,73
23/10/2014	14:24	25,89	28,64	30,56	32,17
07/11/2014	09:04	27,77	30,90	35,41	37,99

APÊNDICE B: Umidades volumétricas medidas no ponto Cerrito e horário das medições para as profundidades de 20,40,60 e 80 cm, entre 02/05/2014 e 07/11/2014

Data	Horário	Umidade Volumétrica (%)			
		20cm	40cm	60cm	80cm
02/05/2014	09:15	25,09	25,20	28,26	31,32
09/05/2014	14:34	28,34	27,24	29,44	31,91
20/05/2014	09:24	26,40	30,09	33,15	33,38
06/06/2014	09:04	34,03	28,77	31,75	35,17
12/06/2014	14:04	29,18	29,85	33,45	35,22
19/06/2014	09:34	27,38	29,00	32,01	35,12
26/06/2014	09:04	31,81	33,20	37,24	42,50
03/07/2014	14:44	33,53	32,76	37,05	39,58
10/07/2014	10:24	28,36	30,00	31,90	37,91
28/07/2014	09:44	28,27	31,76	37,11	40,43
05/08/2014	09:04	30,05	28,69	31,43	33,39
11/08/2014	09:14	31,19	29,56	32,25	35,48
23/08/2014	10:34	26,40	27,15	30,14	32,18
29/08/2014	10:04	21,84	27,08	31,00	33,82
05/09/2014	09:34	27,71	30,99	32,26	33,68
16/09/2014	09:14	31,42	32,58	33,86	37,67
22/09/2014	15:34	26,79	26,90	30,24	32,32
29/09/2014	14:24	31,65	29,36	31,74	32,50
09/10/2014	09:44	27,60	27,42	31,45	33,40
15/10/2014	09:44	28,09	28,43	31,53	33,73
23/10/2014	14:24	25,89	28,64	30,56	32,17
07/11/2014	09:04	27,77	30,90	35,41	37,99

APÊNDICE C: Umidades volumétricas medidas no ponto DAER e horário das medições para as profundidades de 20,40,60 e 80 cm, entre 02/05/2014 e 07/11/2014

Data	Horário	Umidade Volumétrica (%)			
		20 cm	40cm	60 cm	80 cm
02/05/2014	10:04	31,14	31,13	30,54	30,10
09/05/2014	15:04	35,56	35,24	31,05	31,85
20/05/2014	10:04	38,44	35,38	31,80	31,25
06/06/2014	10:04	41,04	37,66	32,82	32,94
12/06/2014	16:04	48,81	36,23	32,45	31,72
19/06/2014	10:24	42,98	34,68	30,42	30,65
26/06/2014	11:04	46,67	40,67	33,88	35,01
03/07/2014	14:04	49,55	38,82	31,80	33,17
10/07/2014	09:54	46,71	35,56	30,06	29,89
28/07/2014	10:54	41,78	38,55	33,82	32,74
05/08/2014	10:34	42,88	37,67	32,60	32,06
11/08/2014	10:04	47,41	37,02	31,77	31,52
23/08/2014	09:04	33,24	34,32	30,63	31,00
30/08/2014	10:24	29,48	32,68	29,63	30,76
05/09/2014	10:34	40,49	35,54	32,01	32,18
16/09/2014	10:04	45,64	37,75	32,10	31,10
22/09/2014	14:04	38,00	36,57	31,71	32,13
29/09/2014	16:04	43,55	38,24	33,42	32,90
09/10/2014	16:04	37,89	37,41	32,13	31,89
15/10/2014	10:54	45,61	35,13	31,14	32,14
23/10/2014	15:34	40,42	36,09	32,34	32,08
07/11/2014	11:04	36,84	35,47	32,54	31,56

APÊNDICE D: Umidades volumétricas medidas no ponto CACISM e horário das medições para as profundidades de 20,40,60 e 80 cm, para as medições diárias entre 12/06/2014 e 26/06/2014

Data	Horário de medição	Umidade Volumétrica (%)			
		20 cm	40 cm	60 cm	80 cm
12/06/2014	15:24	35,55	36,52	36,74	46,32
13/06/2014	Evento de chuva				
14/06/2014	18:14	43,18	34,08	34,03	42,54
15/06/2014	10:54	40,27	32,33	30,07	36,67
16/06/2014	15:24	38,29	31,38	31,38	38,48
17/06/2014	10:34	38,33	30,51	30,49	35,30
18/06/2014	14:14	38,48	30,28	30,00	36,96
19/06/2014	10:04	38,09	29,37	30,34	37,63
20/06/2014	09:34	38,26	30,64	28,86	37,06
21/06/2014	09:34	38	30,61	29,46	35,51
22/06/2014	10:34	41,44	32,62	32,04	38,79
23/06/2014	10:34	43,61	34,1	30,69	38,05
24/06/2014	10:24	47,44	35,08	32,36	39,89
25/06/2014	14:24	39,79	32,90	34,80	38,18
26/06/2014	16:04	40,41	32,47	31,94	38,26

APÊNDICE E: Umidades volumétricas medidas no ponto Cerrito e horário das medições para as profundidades de 20,40,60 e 80 cm, para as medições diárias entre 12/06/2014 e 26/06/2014

Data	Horário de medição	Umidade Volumétrica (%)			
		20 cm	40 cm	60 cm	80 cm
12/06/2014	15:04	29,18	29,85	33,45	35,22
13/06/2014	Evento de chuva				
14/06/2014	19:18	29,17	29,01	32,78	36,82
15/06/2014	09:34	28,92	30,25	32,97	35,61
16/06/2014	16:25	27,12	29,13	33,06	35,78
17/06/2014	09:40	27,97	28,57	31,58	35,05
18/06/2014	13:38	28,09	30,36	31,88	35,43
19/06/2014	09:04	27,38	29,00	32,01	35,12
20/06/2014	09:30	27,78	29,07	31,11	35,12
21/06/2014	09:58	26,13	30,86	33,23	38,92
22/06/2014	11:00	27,7	31,44	37,11	41,23
23/06/2014	sem coletas				
24/06/2014	09:34	29,72	30,51	32,96	36,28
25/06/2014	13:54	32,61	33,37	35,17	40,56
26/06/2014	15:34	31,81	33,2	37,24	42,50

APÊNDICE F: Umidades volumétricas medidas no ponto DAER e horário das medições para as profundidades de 20,40,60 e 80 cm, para as medições diárias entre 12/06/2014 e 26/06/2014

Data	Horário de medição	Umidade Volumétrica (%)			
		20 cm	40 cm	60 cm	80 cm
12/06/2014	13:44	48,81	36,29	32,45	31,72
13/06/2014	Evento de chuva				
14/06/2014	sem coletas				
15/06/2014	10:24	44,46	36,24	29,17	29,33
16/06/2014	16:04	42,67	36,25	31,43	30,46
17/06/2014	10:04	43,6	35,22	29,76	29,94
18/06/2014	14:44	42,37	33,61	30	30,30
19/06/2014	09:34	42,98	34,68	30,42	30,65
20/06/2014	10:04	38,26	30,64	28,86	37,06
21/06/2014	10:04	43,63	34,29	31,26	30,14
22/06/2014	10:04	44,42	35,06	31,13	31,02
23/06/2014	sem coletas				
24/06/2014	10:04	47,44	35,08	32,36	39,89
25/06/2014	14:04	45,26	42,28	33,69	33,45
26/06/2014	16:34	46,67	40,67	33,88	35,01