

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

**REGIME HIDROLÓGICO DE DUAS MICROBACIAS  
CONTÍGUAS: UM COMPARATIVO ENTRE USO  
URBANO E RURAL**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**João Francisco Carlexo Horn**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2012**

**REGIME HIDROLÓGICO DE DUAS MICROBACIAS  
CONTÍGUAS: UM COMPARATIVO ENTRE USO  
URBANO E RURAL**

**João Francisco Carlexo Horn**

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

**Orientador: Prof. Dr. Geraldo Lopes da Silveira**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2012**

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

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

**REGIME HIDROLÓGICO DE DUAS MICROBACIAS CONTÍGUAS: UM  
COMPARATIVO ENTRE USO URBANO E RURAL**

elaborada por  
**João Francisco Carlexo Horn**

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Civil e Ambiental**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Geraldo Lopes da Silveira, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

---

**Olavo Correa Pedrollo, Dr.** (UFRGS)

---

**Daniela Guzzon Sanagiotto, Dr<sup>a</sup>.** (UFSM)

Santa Maria, 27 de Fevereiro de 2012.

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente, agradeço aos meus pais, Adalberto Horn e Dirlei Maria Carlexo Horn, e a minha família, a quem dedico todas as minhas conquistas, por sempre apoiarem minhas decisões.

Sou grato a minha namorada, Nathalie Kuczura Nedel, que esteve sempre ao meu lado, vibrando com os avanços conseguidos e me apoiando em todos os momentos.

Ao Professor Geraldo Lopes da Silveira, por sua orientação, amizade, seu apoio, seus ensinamentos e pela confiança depositada.

Aos Professores, Dra. Jussara Cabral Cruz e Dr. José Luiz Silvério da Silva, pela co-orientação, amizade e apoio para a realização deste trabalho.

Também, agradeço aos colegas e amigos do Grupo de Pesquisa Gestão em Recursos Hídricos – GERHI -, Edner Baumhardt, Damaris Padilha, Regis Leandro Lopes da Silva, Elisandra Maziero e Pedro Pascotini, pela grande amizade e troca de conhecimentos, pelo companheirismo e apoio na construção e execução desta pesquisa.

Aos funcionários da prefeitura do Campus da UFSM, pelo apoio logístico, fundamental para o desenvolvimento deste estudo.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro por meio da bolsa de estudos, concedida conforme o Edital MCT/CNPq/CT-Hidro nº. 22/2009, para a realização do curso de Mestrado.

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental

Universidade Federal de Santa Maria

### **REGIME HIDROLÓGICO DE DUAS MICROBACIAS CONTÍGUAS: UM COMPARATIVO ENTRE USO URBANO E RURAL**

AUTOR: João Francisco Carlexo Horn

ORIENTADOR: Geraldo Lopes da Silveira

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 27 de Fevereiro de 2012.

A ação antrópica provoca alteração no escoamento natural das bacias. As cheias podem se tornar mais intensas, as estiagens mais imediatas e prolongadas, os processos erosivos acelerados, enquanto a qualidade da água tende a deteriorar-se. Com isso, a questão que se coloca neste trabalho é a necessidade de se conhecer o impacto provocado pela mudança do uso e ocupação do solo, no escoamento, com ênfase no espaço urbano. Portanto, o presente trabalho objetiva avaliar as diferenças no escoamento entre duas bacias contíguas e com a mesma área: uma com o uso preponderantemente agrícola e outra com o uso primordialmente urbano. Para isso, buscou-se avaliar a influência da urbanização sobre o regime hidrológico por meio do balanço hídrico, utilizando-se duas microbacias, uma com 54% de sua área urbanizada - MU e a outra coberta por campo nativo e áreas utilizadas para agricultura - MR, ambas com a mesma área de 2,31 km<sup>2</sup>. Mais especificamente, busca-se quantificar algumas variáveis componentes do balanço hídrico para estimar a disponibilidade hídrica e avaliar as pequenas vazões, utilizando curvas de permanência. Por meio da análise de hidrogramas construídos com dados de vazão coletados simultaneamente, de hora em hora, nas duas microbacias, dos eventos que geraram as vazões máximas avaliaram-se as diferentes variações de vazão e as máximas geradas, utilizando os dados coletados no período compreendido entre janeiro e outubro de 2011. O balanço hídrico global mostrou que a MU apresentou um escoamento 5,1 vezes maior que a MR, e, em nenhum dos meses monitorados, a MR apresentou um deflúvio superior a MU, merecendo destaque os meses de janeiro e fevereiro, em que se constatou a maior diferença em mais de 29 vezes. Em relação às vazões com permanência maiores que 40%, analisando de forma global, a MU apresentou volume escoado 7,9 vezes maior do que a MR, e, em nenhum dos meses, o volume escoado na MR foi superior ao da MU, o que pode ser explicado pela hipótese de a MR não possuir contribuição subterrânea em seu deflúvio, somente da camada vadosa do solo. Já a análise dos hidrogramas mostrou que a MU apresenta uma aceleração em seu escoamento, fazendo com que ocorram oscilações de vazão em períodos menores que na MR, apresentando o seu pico de vazão até quatro horas antes do que a MR, vazão máxima de até 13743 L/s, enquanto a MR apresentou uma vazão máxima de 275 L/s, o que representa uma diferença de 66 vezes, demonstrando o efeito da urbanização dentro da microbacia. Portanto, para o período da pesquisa, a MU apresentou maior volume escoado pelo efeito da urbanização dentro da microbacia e maior disponibilidade hídrica do que a MR, enquanto a MR apresentou maior perda por evapotranspiração e infiltração de água no solo do que a MU.

Palavras-chave: Escoamento superficial, impacto da urbanização, Bacias experimentais, microbacias

## **ABSTRACT**

Master's Dissertation

Post-Graduate Program in Civil and Environmental Engineering

Federal University of Santa Maria

### **HYDROLOGICAL REGIME OF TWO CONTIGUOUS SMALL WATERSHED: A COMPARATIVE BETWEEN URBAN AND RURAL USE**

**AUTHOR:** João Francisco Carlexo Horn

**ADVISOR:** Geraldo Lopes da Silveira

**Date and Place of Defence:** Santa Maria, February 27<sup>th</sup>, 2012.

The human action induces changes in basins' natural runoff. Flooding may become more intense, there may be more immediate and prolonged droughts, an accelerated erosion process and water quality tends to deteriorate. Thus, this work exposes the need to know the impact in the runoff caused by the use change and land use with emphasis on urban space. So, this study aims to evaluate the differences in the runoff between two contiguous watersheds and with the same area: one being use predominantly agricultural and the other with primarily urban use. For this, it was necessary to evaluate the urbanization influence on the hydrologic regime through the water balance, using two small small watershed, one with 54% of its urbanized area - MU and the other covered with natural grassland and areas used for agriculture - MR, both with the same area of 2.31 km<sup>2</sup>. More specifically, it seeks to quantify some components of water balance variables to estimate water availability and evaluate the small discharges, using monthly retention curves of the studied period. Through the analysis of hydrographs constructed with flow data collected simultaneously each hour in two small watershed of the events that generated the maximum discharges the different variations and the maximum discharge generated in the two small watershed were evaluated using some data collected during the period between January 2011 and October 2011. The global water balance showed that MU had a 5.1 times greater discharge than the MR, and in none of the months monitored MR showed a runoff of more than MU, with emphasis on January and February when it was found the greatest difference in more than 29 times. Analyzing globally the discharges with bigger permanence than 40%, MU presented a volume disposed 7.9 times greater than the MR and in none of months the volume disposed in MR was superior to that of MU, which can be explained by the hypothesis that MR has no underground contribution in its runoff, only in the vadose layer of the soil. Examining the hydrographs it was showed that the MU presents an acceleration in its runoff causing flow oscillations in smaller periods than MR presenting its flow peak up to four hours before the MR, maximum flow rate up to 13,743 L/s, while MR showed a maximum flow of 275 L/s, representing a difference of 66 times in the urbanization effect within the small watershed. Therefore, MU showed a higher runoff volume effect of urbanization within the small watershed and greater water availability than MR, while MR showed a higher loss by evapotranspiration and soil water infiltration than MU during the period of this research.

**Keywords:** Runoff, Urbanization Impact, Experimental Watershed, small watershed

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Aumento da população brasileira.....	18
Figura 2.2 - Possíveis alterações no ciclo hidrológico em decorrência da urbanização .....	22
Figura 2.3 - Exemplo de hidrogramas típicos de bacias com características rurais e bacias com características urbanas.....	23
Figura 2.4 - Esquema de balanço hídrico em bacia hidrográfica com características urbanas.....	33
Figura 3.1 - Processo de delimitação da MR.....	38
Figura 3.2 - Calha Parshall da UM.....	42
Figura 3.3 - Transdutor de Pressão (sensor de nível, datalogger e bateria).....	43
Figura 3.4 - Calha Parshall da MU. a) Poço tranquilizador b) Dutos comunicantes.	45
Figura 3.5 - Poço tranquilizador com suporte para o sensor.....	46
Figura 3.6 - Despejo de esgoto clandestino na rede pluvial da MU.....	53
Figura 4.1 - Localização e delimitação das Microbacias experimentais.....	60
Figura 4.2 - Classificação de uso e ocupação do solo da MR.....	61
Figura 4.3 - Classificação do uso e ocupação do solo da MU.....	61
Figura 4.4 - Imagem da MR com demarcação da drenagem e áreas de preservação permanente.....	63
Figura 4.5 - Imagem da MU com demarcação da drenagem e áreas de preservação permanente.....	63
Figura 4.6 - Vertedor triangular da MR.....	66
Figura 4.7 - Demonstração da medição volumétrica de vazão.....	67
Figura 4.8 - Curva de calibração da equação do vertedor com os valores obtidos pelo método volumétrico.....	70
Figura 4.9 - Levantamento da altitude a) do poço da Área nova b) do fundo do leito do córrego na calha e c) do poço da Antena da Rádio.....	68
Figura 4.10 - Ilustração da possível variação do lençol freático da MR.....	71
Figura 4.11 - Chuvas médias mensais históricas de trinta anos e chuvas mensais observadas.....	72
Figura 4.12 - Perfil frontal do exutório da MU.....	78
Figura 4.13 - Curva de permanência para o mês de janeiro de 2011.....	88

Figura 4.14 - Curva de permanência para o mês de fevereiro de 2011.....	88
Figura 4.15 - Curva de permanência para o mês de março de 2011.....	89
Figura 4.16 - Curva de permanência para o mês de abril de 2011.....	89
Figura 4.17 - Curva de permanência para o mês de maio de 2011.....	89
Figura 4.18 - Curva de permanência para o mês de junho de 2011.....	90
Figura 4.19 - Curva de permanência para o mês de julho de 2011.....	90
Figura 4.20 - Curva de permanência para o mês de agosto de 2011.....	90
Figura 4.21 - Curva de permanência para o mês de setembro de 2011.....	91
Figura 4.22 - Curva de permanência para o mês de outubro de 2011.....	91
Figura 4.23 - Curva de Permanência para o período monitorado.....	95
Figura 4.24 - Hidrograma para o evento do dia 02/01/2011.....	96
Figura 4.25 - Hidrograma para o evento do dia 24/02/2011.....	96
Figura 4.26 - Hidrograma para o evento do dia 26/03/2011.....	97
Figura 4.27 - Hidrograma para o evento do dia 14/04/2011.....	97
Figura 4.28 - Hidrograma para o evento do dia 10/05/2011.....	97
Figura 4.29 - Hidrograma para o evento do dia 21/06/2011.....	98
Figura 4.30 - Hidrograma para o evento do dia 28/07/2011.....	98
Figura 4.31 - Hidrograma para o evento do dia 08/08/2011.....	98
Figura 4.32 - Hidrograma para o evento do dia 19/09/2011.....	99
Figura 4.33 - Hidrograma para o evento do dia 26/10/2011.....	99



## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Posto de monitoramento da Gráfica – UFSM.....	42
Tabela 3.2 - Valores de permeabilidade e condutividade hidráulica para diferentes constituintes de solos e/ou rochas sedimentares inconsolidadas.....	48
Tabela 3.3 - Valores de porosidade, rendimento específico e retenção específica em diferentes constituintes de solos e rochas (valores em % de volume).....	48
Tabela 3.4 - Altura aproximada de subida capilar (h) em materiais granulares.....	49
Tabela 3.5 - Estação meteorológica de Santa Maria, RS.....	51
Tabela 4.1 - Uso e ocupação do solo das microbacias estudadas.....	62
Tabela 4.2 - Declividade das microbacias estudadas.....	64
Tabela 4.3 - Comparação dos valores de vazão medidos e calculados para o vertedor triangular de 120° da MR.....	67
Tabela 4.4 - Balanço Hídrico anual da MR.....	74
Tabela 4.5 - Relação cota – vazão determinada por meio da equação de Manning, para as cotas que extravasaram a calha Parshall da MU.....	78
Tabela 4.6 - Balanço Hídrico anual da MU.....	79
Tabela 4.7 - Balanço Hídrico das duas Microbacias.....	82
Tabela 4.8 - Demonstrativo dos volumes calculados para 40% a 100% do tempo da curva de permanência para as duas microbacias.....	85
Tabela 4.9 - Vazões máximas registradas nas duas microbacias.....	104

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 2.1 - Distribuição da População mundial.....	17
Quadro 3.1 - Características fisiográficas das microbacias.....	39

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 Justificativa.....	13
1.2 Objetivo .....	14
1.2.1 Etapas do trabalho .....	15
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>15</b>
2.1 Impactos da Urbanização nos Recursos Hídricos .....	20
2.2 Alterações no Escoamento Superficial .....	21
2.3 Unidade de Planejamento: A Bacia Hidrográfica .....	23
2.3.1 Bacias experimentais como forma de coleta de dados. ....	24
2.3.2 Estudo em pequenas bacias – Microbacias .....	25
2.4 Monitoramento Hidrológico.....	27
2.4.1 Uso de estruturas medidoras de vazão .....	28
2.4.2 Utilização de sensores para medição de cotas superficiais .....	30
2.5 Ferramentas para Análise e Comparação dos Dados Coletados .....	31
2.5.1 Balanço Hídrico .....	32
2.5.2 Curva de Permanência.....	34
2.5.3 Hidrograma.....	35
2.5.4 Vazões máximas .....	36
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
3.1 Definição e Uso das Microbacias.....	37
3.1.1 Características fisiográficas das microbacias.....	39
3.2 Monitoramento Sincronizado .....	40
3.2.1 Microbacia Rural .....	40
3.2.1.1. Implantação da estrutura hidráulica no exutório da microbacia.....	40
3.2.1.2 Calibração do vertedor triangular de 120º .....	41
3.2.2 Microbacia Urbana .....	41
3.2.2.1 Estrutura hidráulica medidora de vazão .....	41
3.2.3 Sensores utilizados para medição de cotas superficiais .....	43
3.2.3.1 Poço tranquilizador para instalação do sensor de cota .....	44
3.2.3.1.1 Adaptação realizada na estrutura da MU. ....	44
3.2.3.1.2 Poço tranquilizador da MR .....	45
3.3 Caracterização Hidrogeológica das Microbacias .....	46
3.4 Método de Análise do Comportamento do Lençol Freático da MR. ....	50
3.5 Avaliação Quantitativa do Escoamento Superficial .....	51
3.5.1 Balanço Hídrico .....	51
3.5.1.1 Determinação dos dados pluviométricos.....	51
3.5.1.2 Estimativa da vazão exógena da MU .....	52
3.5.1.3 Preenchimento da série de vazões da MU.....	53
3.5.2 Análise do deflúvio por meio de curvas de permanência .....	55
3.5.2.1 Construção das Curvas de Permanência .....	55

3.5.3	Análise do deflúvio por meio de hidrogramas.....	56
3.5.4	Análise das vazões máximas .....	57
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>4.1</b>	<b>Definição e Caracterização das Microbacias.....</b>	<b>59</b>
<b>4.2</b>	<b>Monitoramento Sincronizado das duas Microbacias.....</b>	<b>65</b>
4.2.1	Estrutura hidráulica da MR .....	65
4.2.2	Calibração do vertedor triangular da MR.....	66
<b>4.3</b>	<b>Análise do Comportamento do Lençol Freático na MR .....</b>	<b>68</b>
<b>4.4</b>	<b>Avaliação do Regime Hidrológico das Microbacias.....</b>	<b>72</b>
4.4.1	Balanço Hídrico das Microbacias .....	72
4.4.1.1	Análise dos dados pluviométricos .....	72
4.4.1.2	Microbacia Rural .....	73
4.4.1.2.1	Análise do balanço hídrico .....	73
4.4.1.3	Microbacia Urbana .....	76
4.4.1.3.1	Vazão exógena .....	76
4.4.1.3.2	Preenchimento da série de vazão .....	77
4.4.1.3.3	Análise do Balanço Hídrico .....	79
4.4.1.4	Análise comparativa do Balanço Hídrico das duas Microbacias .....	81
4.4.2	Avaliação das curvas de permanência das duas microbacias .....	84
4.4.2.1	Análise do volume gerado de 40% a 100% da permanência. ....	84
4.4.2.2	Comparação das curvas mensais de 100% da Permanência .....	87
4.4.2.3	Curva de todo o período monitorado com 100% da Permanência .....	95
4.4.3	Análise das diferenças do escoamento superficial por meio de hidrogramas ..	96
4.4.4	Análise das vazões máximas geradas nas duas microbacias.....	103
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>105</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>109</b>
<b>7.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>111</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 Justificativa

A ação antrópica provoca alteração no escoamento natural das bacias. Em razão disso, as cheias podem ocorrer com maior intensidade, as estiagens se tornarem mais imediatas e prolongadas e os processos erosivos acelerados. Quanto à água, sua qualidade tende a deteriorar-se pelo aumento das cargas poluidoras associadas ao efeito de diluição do escoamento.

Outro fator alterado é o tempo de concentração das bacias. Isso porque ele é reduzido no momento em que ocorre a impermeabilização do solo e, principalmente, quando são construídos condutos e canais que aumentam a velocidade de escoamento.

Dessa forma, surge a necessidade de conhecer o impacto provocado pela mudança do uso e ocupação do solo em relação ao escoamento. Nesse contexto, e com ênfase na análise do meio urbano, é que o presente estudo se insere.

Portanto, é pertinente caracterizar os espaços em que o escoamento ocorre na dinâmica da urbanização não planejada e a consequente expansão do tecido urbano. As maiores tensões ocorrem sobre as pequenas bacias que definem as microdrenagens, muitas vezes, não respeitadas.

Portanto, é relevante analisar os fluxos alterados, que devem ser estimados para as ações de infraestrutura inerentes à drenagem urbana e às interdependências com os projetos de redes de esgoto e com a gestão dos resíduos sólidos. Isto, sem falar das áreas de risco que têm relação direta com os possíveis agravamentos em função dos escoamentos alterados e consequentes mudanças de dinâmica do balanço hídrico.

O presente trabalho se justifica pela oportunidade de se dispor de uma área de domínio da UFSM que permite instrumentar pesquisas, o que a torna experimental, possibilitando, neste caso, a comparação do escoamento de duas microbacias com igual área de drenagem e localizadas lado a lado, de forma “siamesa ou contígua”.

O fato de as duas microbacias estarem localizadas de forma contígua conduz a uma situação de serem submetidas ao mesmo regime de precipitações e evaporação, além de possuírem características de solo e declividade semelhantes. Assim, a única diferença significativa entre as duas microbacias, a qual se poderia associar às diferenças nos escoamentos produzidos em tempo real, seria a do uso do solo.

Portanto, poder-se-ia atender à hipótese da pesquisa, qual seja: É possível mostrar a diferença dos escoamentos entre duas bacias - livre do fator de escala (área da bacia) e de sínteses hidrológicas - por meio da comparação experimental. Portanto, a diferença de escoamento, nesta pesquisa, pode ser avaliada a partir da diferença direta dos dados medidos, concomitantemente ou em tempo real, para as duas microbacias instrumentadas com este propósito.

## **1.2 Objetivo**

O objetivo desta pesquisa é comparar experimentalmente as diferenças no escoamento entre duas bacias contíguas e com mesma área: uma com o uso preponderantemente agrícola e a outra, preponderantemente urbano.

Ao considerar que as duas microbacias contíguas possuem as mesmas feições geomorfológicas, sendo semelhantes os estímulos de precipitação, incidência de radiação solar, evaporação, tipo de solo e demais características fisiográficas, torna-se relevante, na explicação do escoamento, o uso e a ocupação do solo.

### 1.2.1 Etapas do trabalho

A partir de uma microbacia já implantada, tendo como foco o propósito desta pesquisa, as etapas para sua instrumentalização foram:

a) Definir a localização do exutório para implantação da nova estrutura medidora de vazão na microbacia rural, de modo que tenha a mesma área da microbacia urbana, já implantada (2,31 km<sup>2</sup>);

b) Instalar e calibrar uma estrutura hidráulica medidora de vazão no exutório que define a nova microbacia;

Com vistas a uma possível coleta simultânea e comparação direta dos dados para a obtenção de resultados, buscou-se:

c) Definir uma estratégia para o monitoramento sincronizado das duas microbacias, assim como para a avaliação dos dados coletados;

d) Avaliar o impacto no escoamento em termos quantitativos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A água consiste em um dos principais recursos naturais. Trata-se de um elemento imprescindível à vida e às atividades humanas, tendo-se em conta suas funções no abastecimento público, industrial, agropecuário, bem como na preservação da vida aquática.

Os recursos naturais vêm sofrendo diversas alterações entre as quais merecem destaque as que se operam no âmbito da água, visto que é um dos recursos mais importantes para os organismos vivos, sendo, como já foi referido, um dos principais responsáveis pela vida no planeta. Assim, para melhor compreender os problemas e modificações existentes nesse âmbito, é importante fazer uma análise mais detalhada desses aspectos.

Os recursos hídricos possuem um ciclo aberto, composto de entradas e saídas, em que cada etapa ocorre de acordo com as características locais.

Entretanto, essas etapas podem ser alteradas por meio de modificações realizadas pelo homem no seu meio natural.

A história tem demonstrado que a fixação do homem, em qualquer região, tem sido em função das disponibilidades, quantitativa e qualitativa, das fontes de energia necessárias à sua subsistência (PESSOA E JORDÃO, 1982). Nesse contexto, o homem passou a se fixar às margens dos cursos dos rios, uma vez que, diferentemente de outros elementos essenciais à sua sobrevivência, a água não se encontra distribuída de forma uniforme pelo território.

Assim, verifica-se que o ser humano sempre utilizou os recursos naturais para a sua subsistência. Contudo, para melhor aproveitamento desses elementos, os homens realizaram várias alterações no meio ambiente, ocorrendo modificações de suma importância, no que diz respeito à disponibilidade dos recursos naturais.

Segundo Roriz et al. (2000), a disponibilidade hídrica representa um dos fatores que limita o desenvolvimento socioeconômico de uma região. No passado, as pequenas necessidades hídricas podiam ser atendidas pela disponibilidade natural, sem maiores investimentos que aqueles necessários para a captação da água. Dessa forma, o desenvolvimento econômico foi mais intenso nas regiões de relativa abundância de água, o que provocou a redução da disponibilidade em alguns locais (LANNA, 1997).

Com esse aumento do desenvolvimento econômico, começaram a surgir as cidades, lugares em que grupos de pessoas se instalavam definitivamente e começavam a viver da troca de serviços entre umas e outras, caracterizando o processo de urbanização. A urbanização, portanto, pode ser vista como fruto do desenvolvimento econômico e social, resultado da transformação de uma economia rural para uma economia de serviços concentrada em áreas urbanas (BICUDO et al., 2011).

Esse processo, principalmente nos países em desenvolvimento, é um dos modos mais agressivos da interação entre o homem e o meio ambiente. As modificações sem planejamento, causadas pelo ser humano, trazem consigo impactos, muitas vezes não dimensionáveis, acarretando problemas para a sociedade.

O processo de urbanização mundial tem apresentado uma expressiva intensificação e atingiu, no final do século XX e início do século XXI, índices



bastante elevados. Em virtude disso, a população mundial, antes, principalmente rural, tornou-se majoritariamente urbana.

Esse grande êxodo rural se deve, principalmente, à necessidade menos intensa e atrativa de trabalhadores para o meio rural. Atrelado a esse fato, tem-se que, nas áreas urbanas, surgiram diversas oportunidades de empregos, que se mostraram interessantes para aqueles que residiam em seu entorno (SANSON, 2006).

Além disso, deve-se ter presente, ainda, que, a partir de 1950, a diminuição da taxa de mortalidade e o aumento da expectativa de vida proporcionaram um acréscimo na exploração dos recursos naturais, fator que também contribuiu para que se acelerasse o processo de urbanização.

Em 2007, a população urbana mundial era de 50%, ocupando apenas 2,8% do território global (Quadro 2.1). Em 2050, estima-se que haverá uma elevação de 20% desse índice, chegando ao patamar de 70 %. Frise-se que esse acréscimo, de seis bilhões para nove bilhões de pessoas, se concentrará nas áreas urbanas. Somados a esse acréscimo de três bilhões de pessoas, deve-se considerar ainda os números referentes à mobilidade das pessoas do campo para a cidade, no período considerado (BICUDO, et al, 2011).

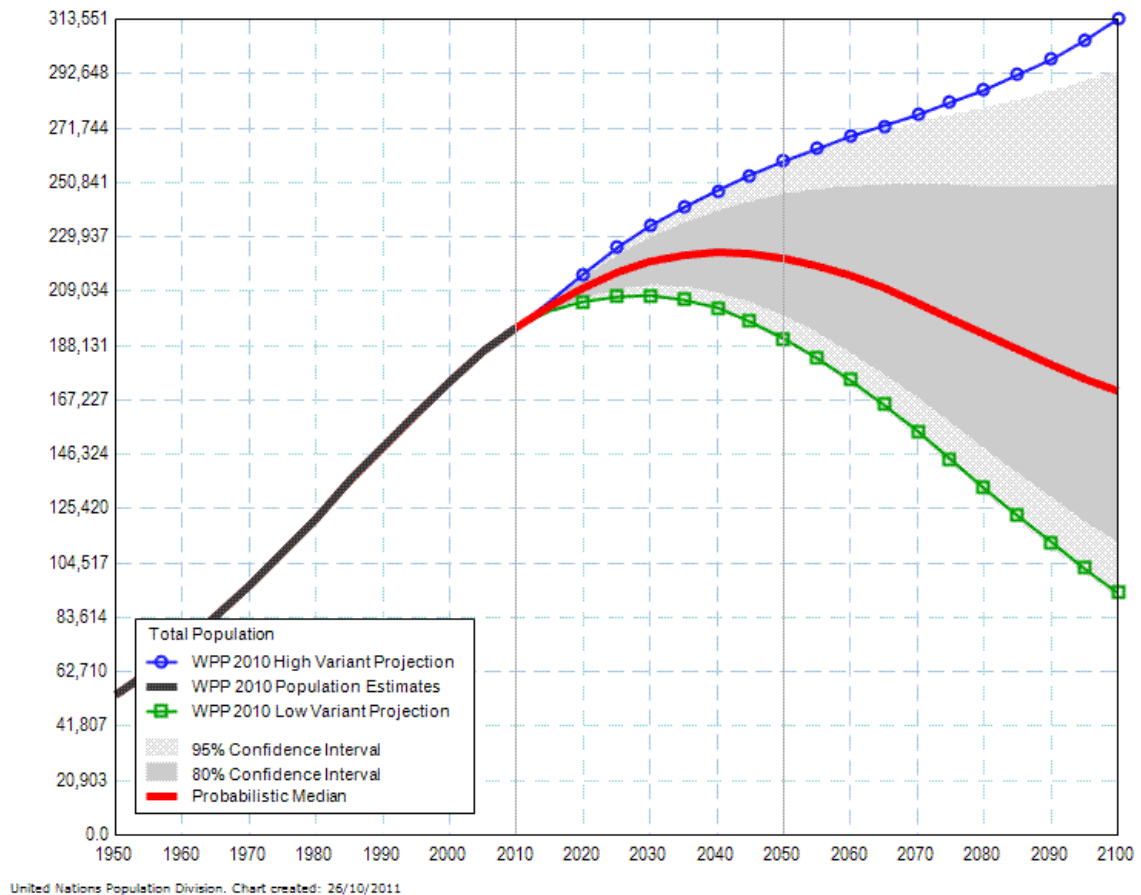
Região	% urbano		
	2007	2025	2050
Mundo	49,4	57,2	69,6
Regiões mais desenvolvidas <sup>a</sup>	74,4	79,0	86,0
Regiões menos desenvolvidas <sup>b</sup>	43,8	53,2	67,0
Países poucos desenvolvidos <sup>c</sup>	27,9	38,1	55,5
Outros países menos desenvolvidos <sup>d</sup>	46,5	56,4	70,3
Menos desenvolvidos, excluindo China e	44,1	52,1	65,7
África sub-Sahara <sup>e</sup>	35,9	45,2	60,5

a. Europa, América do Norte, Austrália, Nova Zelândia e Japão.  
b. África, Ásia (excluindo Japão), América Latina e Caribe.  
c. 34 países da África, 10 da Ásia, 5 da Oceania e 1 da América Latina e do Caribe.  
d. Países menos desenvolvidos, excluindo os poucos desenvolvidos.  
e. Todos da África exceção aos do Norte da África e do Sudão.

## Quadro 2.2 - Distribuição da População mundial

Fonte: (UN, 2009, apud BICUDO, et al., 2011)

No Brasil, a população vem aumentando nos últimos anos de forma significativa, o que mostra a figura 2.1.



**Figura 2.5 - Aumento da população brasileira.**

**Fonte: (UN, 2009, apud BICUDO et al. 2011)**

Em 1950, a população brasileira era de, aproximadamente, 55 milhões de habitantes, chegando, em 2010, a mais de 200 milhões, sendo que, destes, 87% estão localizados em áreas urbanas. Isso representa 169098 milhões de pessoas morando em cidades e 26326 milhões residindo em áreas rurais (UN, 2011).

Esse aumento significativo é reflexo da oferta de emprego nas áreas urbanas e do crescimento do país, que se enquadra entre os que estão em desenvolvimento. Esse processo de urbanização acelerado e, na maioria das vezes, sem

planejamento, acarreta deficiências em elementos básicos como saneamento e drenagem urbana.

Tucci (2002) relata em seu trabalho que cidades com população estimada acima de um milhão de habitantes crescem, em média, 0,9% ao ano. Já as de médio porte, com sua população entre 100 e 500 mil habitantes, crescem à taxa de 4,8%, caracterizando-se pela expansão irregular de periferias, sem respeitar o plano diretor das cidades e suas normas de loteamento, pela ocupação irregular de áreas públicas, ocupando, muitas vezes, lugares que deveriam receber melhores cuidados, como os leitos maiores dos rios, que são lugares sujeitos a inundações.

As principais causas dessa expansão irregular é a baixa renda econômica da população, resultante, em geral, do desemprego provocado por crises econômicas, pela falta de planejamento, de investimento público, e por medidas restritivas incompatíveis com a realidade brasileira. Assim, dificultam-se as ações de controle ambiental urbano, atingindo, primordialmente, o ciclo hidrológico das microbacias (TUCCI, 2007).

No item 2.1, serão analisados os impactos da urbanização nos recursos hídricos de uma forma geral. Explanados os impactos, cabe, no item 2.2, detalhar os efeitos da urbanização diretamente no escoamento superficial.

Delineado o panorama inicial, no item 2.3, vai-se delimitar o objeto de estudo do presente trabalho, conceituando-se a microbacia. Além disso, ressaltar-se-á a importância do estudo desse viés para a hidrologia.

Feito isso, passa-se, no item 2.4, à descrição do monitoramento hidrológico, em que se analisam as variáveis essenciais que devem ser consideradas quando da análise do impacto da urbanização nos recursos hídricos. Por fim, serão explanados os métodos utilizados para a apreciação das referidas variáveis, a fim de possibilitar um entendimento completo acerca dos resultados expostos no item quatro.

## 2.1 Impactos da Urbanização nos Recursos Hídricos

A urbanização, conforme o já referido, causa diversas consequências no ciclo hidrológico, impingindo-lhe modificações. Essas alterações no comportamento hídrico de uma bacia, motivadas pelo uso e ocupação urbana do solo, podem ser analisadas sob vários aspectos, segundo o balanço hídrico da bacia, nas enchentes ou nas estiagens. (TUCCI, 1995)

O ciclo hidrológico terrestre é um processo natural no qual a água se precipita sobre a superfície, sofre interceptação pela vegetação, infiltra-se ou é evaporada de volta para a atmosfera. A que se infiltra, penetra no solo e pode retornar à superfície ou alimentar os aquíferos. Já o excedente na superfície escoar para os rios, chegando ao oceano.

Quando ocorre o desenvolvimento urbano, esse sistema natural sofre importantes alterações, que afetam o balanço hídrico previamente existente. Segundo Genz e Tucci (1995), os principais impactos que decorrem do desenvolvimento de uma área urbana sobre os processos hidrológicos são resultantes da forma de ocupação da terra e, também, do aumento das superfícies impermeáveis em grande parte das bacias que se localizam próximas a zonas de expansão urbana. Lanna (1997) relata que essas modificações causam efeitos, dentre os quais podem ser destacados: a redução da infiltração das águas pluviais; o aumento da aceleração do escoamento superficial e o aumento das vazões máximas.

Essas alterações são causadas, principalmente, pela impermeabilização das superfícies naturais, que são substituídas por pavimentos e telhados, diminuindo, assim, a infiltração da água no solo e a evapotranspiração pela vegetação. Tal processo aumenta o escoamento superficial da bacia e sua evaporação.

Assim, de acordo com Campana e Tucci (1994), as bacias urbanas necessitam ser planejadas para seu desenvolvimento futuro, uma vez que se faz obrigatória a existência de uma infraestrutura capaz de sustentar essas modificações, minimizando os referidos impactos. Contudo, a falta de planejamento adequado e as irregularidades na ocupação descontrolada tornam essa tarefa bastante difícil.

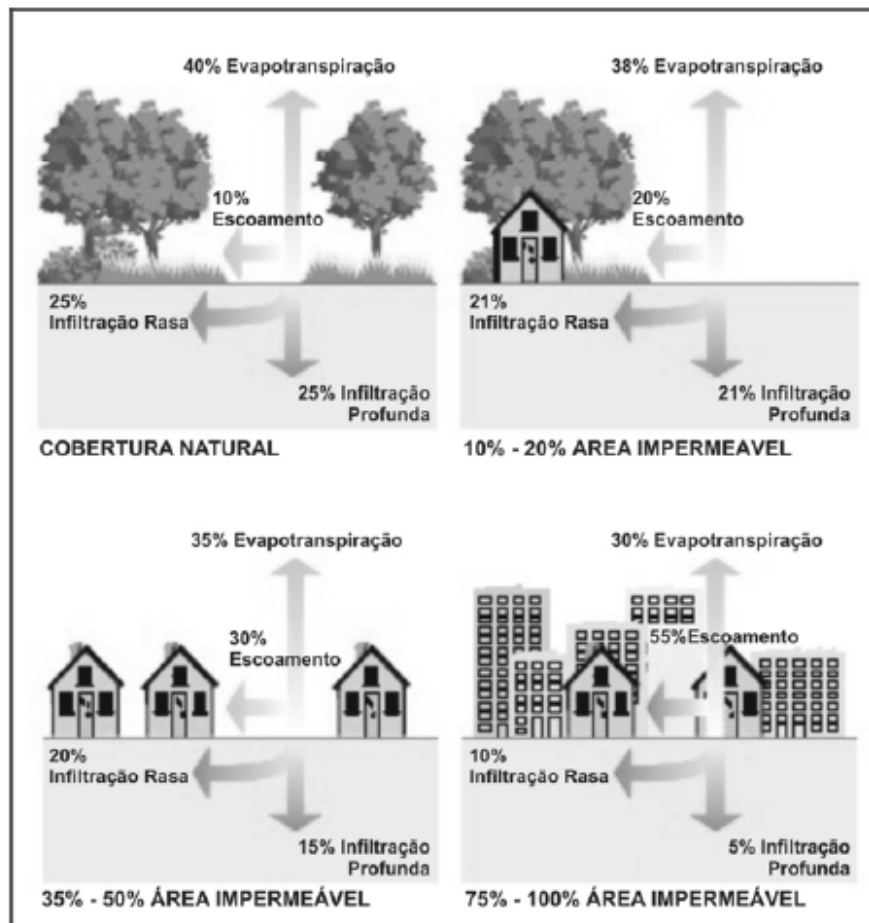
Segundo Forman (1995), um dos maiores desafios do planejamento do uso da terra é o que se refere ao uso sustentável do ambiente, que se baseia em uma dinâmica de transformação, com igual ênfase nas dimensões ambientais e humanas da paisagem e na consideração de intervalo temporal que abranja diferentes gerações humanas.

Dessa forma, torna-se evidente que os principais problemas que a urbanização causa aos recursos hídricos são: a diminuição da infiltração de água no solo; a diminuição da transpiração gerada pela vegetação; o aumento da evaporação causada pelo aumento da temperatura (efeito estufa) e o aumento do escoamento superficial. Assim, tendo em vista o objetivo do presente estudo, passe-se, a seguir, à análise específica desse último impacto.

## **2.2 Alterações no Escoamento Superficial**

O escoamento superficial, segundo Silveira (1997), corresponde à parcela da água precipitada que permanece na superfície do terreno, sujeita à ação da gravidade, que a conduz para cotas mais baixas. O excesso de precipitação que não é captada por interceptação, infiltração e retenção, torna-se escoamento superficial.

O escoamento superficial é elevado, podendo passar de 10% em condições naturais para 55% em função da impermeabilização dos solos em áreas altamente urbanizadas. Um exemplo dessa alteração em bacia urbana está ilustrado na figura 2.2. Nessas bacias, a evapotranspiração pode passar de 40% em condições naturais para 30%, a infiltração de 50% para 15%, fazendo com que essa diferença, que iria retornar à atmosfera e infiltrar-se no solo, seja transformada em escoamento superficial.

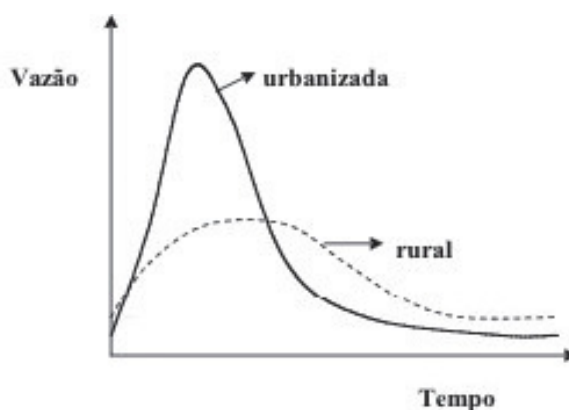


**Figura 2.6 – Possíveis alterações no ciclo hidrológico em decorrência da urbanização**

Fonte: Adaptado de Prince George's County, 1999.

Em bacias hidrográficas com características rurais, parte da precipitação é retida pela vegetação, outra se infiltra no subsolo e o que resta se escoar sobre a superfície de forma gradual, gerando uma variação de vazão lenta e com picos de enchentes moderados. Já em bacias com características urbanas, ocorre uma aceleração do escoamento superficial, aumentando a intensidade da vazão de pico e diminuindo a sua duração.

Essas diferentes variações de vazão podem ser observadas na comparação entre os hidrogramas de bacias com características rurais e urbanas, conforme ilustração contida na figura 2.3.



**Figura 2.7 - Exemplo de hidrogramas típicos de bacias com características rurais e bacias com características urbanas**

O aumento significativo do volume escoado superficialmente faz com que ocorra um aumento das enchentes e inundações envolvendo, geralmente, bacias hidrográficas pequenas (< 100 km<sup>2</sup>, mas, com frequência, bacias < 10 km<sup>2</sup>) por possuírem apenas sistema de microdrenagem (TUCCI, 1997). Outro fator que favorece esses acontecimentos é o próprio desenvolvimento urbano, que pode, também, produzir obstruções ao escoamento, como aterros, pontes, drenagens inadequadas e assoreamento.

Delineado o maior problema da urbanização no que tange aos recursos hídricos, cabe, na sequência, delimitar a unidade de planejamento utilizada no estudo.

### **2.3 Unidade de Planejamento: A Bacia Hidrográfica**

Para a avaliação das alterações ocorridas no meio ambiente, principalmente relacionadas aos recursos hídricos, é necessário reconhecer que os limites geográficos para trabalhar o equilíbrio ecológico precisa ser o da bacia hidrográfica. Deve-se levar em conta, pois, que o espaço territorial determinado e definido pelo escoamento, pela drenagem e influência da água no ciclo hidrológico na superfície da Terra não são aquelas divisões políticas delineadas pela sociedade, como municípios, estados e países, que não comportam a dinâmica da natureza.

Nesse contexto é que, no Brasil, a bacia hidrográfica foi determinada como unidade territorial para planejamentos, segundo a Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Essas bacias podem ser consideradas como sendo um sistema geomorfológico aberto, que recebe energia e matéria por meio de agentes climáticos, perdendo, depois, parte delas, pelo deflúvio.

Trata-se, em síntese, de uma unidade natural da paisagem, que apresenta limites bem definidos, funcionando por meio de contínua troca de energia e de matéria com o ambiente em que está inserida. Devido a essa característica de equilíbrio dinâmico, qualquer modificação que ocorrer sobre ela acarretará mudança no seu comportamento, analisam Gregory e Walling (1973). Contudo, é importante ter presente que bacias com diferentes usos e ocupações do solo irão, diante de um mesmo fator, apresentar efeitos diversos.

É nesse contexto que se tornam patentes a importância e a necessidade de comparar diferentes bacias, o que, no presente estudo, dar-se-á por meio da adoção de bacias experimentais como meio de coleta de dados para comparação, o que será, a seguir, abordado.

### 2.3.1 Bacias experimentais como forma de coleta de dados.

As bacias em que se realiza o monitoramento de suas variáveis de entrada e de saída do balanço hídrico recebem a denominação de experimentais. A partir do estudo dessas bacias, geram-se informações, para que seja possível avaliar suas características hidrológicas. Os dados auferidos com essa análise viabilizam a comparação entre bacias que apresentam diferentes elementos fisiográficos.

A avaliação das alterações no regime hidrológico, geradas por essas diferentes características, só pode ser realizada por meio do registro prévio de dados hidrológicos, por um período suficientemente longo, que permita quantificar a magnitude dessas mudanças. Essas avaliações são possíveis quando se correlacionam, na maioria das vezes, o deflúvio com outras variáveis hidrometeorológicas, sendo tal procedimento conhecido por calibração de uma bacia



hidrográfica (ARCOVA et al, 1996). O autor afirma, também, que para esse tipo de avaliação, quando se pretende comparar duas bacias com diferentes características, é necessário que uma variável de interesse da bacia com características distintas seja correlacionada com a mesma variável de interesse de uma segunda bacia, de condições similares à primeira, denominada bacia de controle.

Nesse viés, cabe discorrer acerca do estudo de Stednick (1996) sobre o histórico das microbacias pareadas nos Estados Unidos. Esse autor assevera que o primeiro trabalho foi desenvolvido no Colorado, em 1909, e avaliou os efeitos da colheita sobre o deflúvio. Depois disso, centenas de pesquisas foram desenvolvidas, a fim de avaliar os efeitos dos diferentes usos e ocupações do solo no que diz respeito ao deflúvio.

Evidente, assim, que o método de análise das diferentes reações ocorridas em uma bacia hidrográfica, causadas pelos diferentes usos e ocupações do solo, vem sendo estudado ao longo dos anos por diversos autores, como Gregory e Walling (1973), Likens (1985), Stednick(1996), Remam (2002), Cossalter e Pye-Smith (2003), Baumhardt (2010), entre outros. Os referidos autores demonstram que a utilização de bacias experimentais apresenta-se como um método adequado para a análise dos efeitos ambientais do uso e ocupação do solo.

Portanto, fixado o método a ser utilizado no presente estudo, passa-se a dispor acerca do estudo utilizando microbacias.

### 2.3.2 Estudo em pequenas bacias – Microbacias

O estudo em pequenas bacias é de grande importância em decorrência da necessidade de complementar a rede de informações hidrológicas no país e para o estudo do funcionamento dos processos físicos, químicos e biológicos no ciclo hidrológico (AGNES, 2004). Goldenfum (2001) ressalta, ainda, que há grande carência de dados hidrológicos de pequenas bacias.

Além disso, é necessário ter presente que, em boas condições de preservação, o funcionamento hidrológico de uma microbacia é altamente complexo (PERRY e MAGHEMBE, 1989). Por essa mesma razão, ela é, também, extremamente sensível a mudanças, cujas alterações refletem-se na qualidade da

água, que aponta o resultado integrado de todos os fatores intrínsecos a cada microbacia. Devido a esses fatores, ela é naturalmente considerada uma unidade ecossistêmica de planejamento (LIKENS, 1985).

Ademais, a análise das microbacias mostra-se relevante em razão dos problemas ambientais e do excesso ou falta de água em regiões urbanas. De acordo com Silveira e Tucci (1998), a disponibilidade hídrica de pequenas bacias (área < 100 km<sup>2</sup>) é estimada com dados de bacias maiores (área > 300 km<sup>2</sup>), o que acarreta um grau de incerteza.

Nos estudos e pesquisas sobre o tema, não existe unanimidade no que tange ao conceito de microbacia, isso porque, para essa definição, diversos critérios podem ser adotados, dentre os quais se destacam: unidades de medida, hidrológicos e ecológicos (TEODORO, 1997).

Da análise dos conceitos reproduzidos, resta evidente que a definição das dimensões máximas de uma pequena bacia sempre apresenta algum grau de subjetividade. A variabilidade natural das características físicas das bacias, no que se refere a solos, vegetação e topografia, faz com que não exista um valor único aplicável a todas as situações (GOLDENFUM, 2001).

No que tange à questão da preservação ambiental, quando do uso de uma pequena bacia hidrográfica para determinado tipo de aproveitamento dos recursos naturais, é necessário avaliar os impactos possíveis em relação às suas condições naturais, de modo a permitir um desenvolvimento sustentável para a região. Essas condições naturais da bacia devem ser caracterizadas pelas respectivas ofertas hídricas quantificadas (SILVEIRA, 1997).

Portanto, depois de delimitado o objeto de estudo, cabe apreciar o monitoramento hidrológico realizado nas microbacias.

## 2.4 Monitoramento Hidrológico

Para se avaliar o efeito que tem qualquer perturbação numa bacia hidrográfica é necessário, antes, conhecer muito bem as características hidrológicas do ecossistema natural, para, posteriormente, fazer a comparação com aqueles em que houve intervenções antrópicas. A análise desses aspectos do ecossistema envolve características de clima, geomorfologia, hidrogeologia, solo, vegetação, deflúvio e evapotranspiração.

No que se refere às perturbações causadas nas bacias hidrográficas é necessário ter informações em relação as suas variáveis de entrada e de saída, tendo, como principais fontes: de entrada, a precipitação e, de saída, a evapotranspiração.

Existem várias formas para medir a precipitação ocorrida em determinado local. A maneira mais comum é com a utilização de pluviômetros ou pluviógrafos. O pluviômetro é um instrumento dotado de um copo coletor, com uma área de captação pré-determinada (normalmente 200 mm de diâmetro), conectado a um reservatório do qual se transfere a água captada para um recipiente medidor. Já o pluviógrafo digital é um equipamento com os mesmos princípios básicos do pluviômetro, mas com a capacidade de registrar a chuva em períodos de tempo pré-estabelecidos. Segundo Santos et al. (2001), o pluviógrafo é utilizado quando se pretende quantificar a intensidade da chuva ou eventos isolados.

Quando se está diante do estudo de pequenas bacias, tendo em vista a ocorrência de rápidas variações no escoamento decorrentes de precipitações, recomenda-se a utilização de pluviógrafos com registros horários de precipitação. Isso porque, dessa forma, torna-se possível melhor avaliar a reação da bacia durante o evento.

Já a evapotranspiração é a perda de água por evaporação do solo e transpiração das plantas. A estimativa dessa variável pode ser obtida por meio de métodos indiretos através de equações empíricas, que incorporam variáveis meteorológicas.

O balanço hídrico de Thornthwaite & Mather (1955), apresentado por Amorim Neto (1989), é um método climatológico que permite contabilizar a quantidade de água no solo disponível para as plantas. Além disso, indica os períodos úmidos ou

secos e considera a chuva como entrada de água no sistema e a evapotranspiração como saída.

Para Pozzebon (2000), o ciclo hidrológico, ao ser estudado em sua fase terrestre, tem como elemento fundamental a bacia hidrográfica. Aliado a isso, a recarga do lençol freático é de suma importância para a manutenção de nascentes, já que é ele que garante a continuidade de sua vazão. A vida do lençol depende da infiltração.

Pinto et al. (1976) conceituam infiltração como sendo o fenômeno de penetração da água nas camadas de solo próximas à superfície, movendo-se para baixo através dos vazios, sob ação da gravidade. Qualquer alteração na superfície, que aumente a cinética da água de escoamento, dificulta a interação entre a água de superfície e o processo de infiltração de água no solo. Essa interação, segundo Arantes (2003), ocorre em diversas linhas de fluxo da água, dependendo das variantes hidrogeológicas da área. Em função dessas variantes, um rio pode receber ou perder água (infiltração e exfiltração) do lençol freático ao longo de sua trajetória.

Além disso, outra saída do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica, em sua fase terrestre, é o deflúvio. Ele é composto pela água escoada, superficialmente drenada para o canal principal da bacia, juntamente com o escoamento da água armazenada na camada subsuperficial e subterrânea. Esse componente de saída do balanço hídrico pode ser quantificado de várias formas. Em pequenas bacias, o método mais adequado é por meio da utilização de estruturas medidoras de vazão, abordado no subitem seguinte.

#### 2.4.1 Uso de estruturas medidoras de vazão

A determinação da vazão de um curso de água é um processo que requer equipamentos e técnicos especializados. De forma genérica, o monitoramento sistemático é realizado com o registro dos níveis da água. Esses níveis são posteriormente convertidos em vazão a partir do conhecimento da relação chamada curva-chave da seção, função essa que relaciona a vazão com o nível da água passante.

Em médias e grandes bacias, o monitoramento de cota-vazão em pequenos intervalos de tempo não se faz necessário, pois não compromete o trabalho do hidrólogo no conhecimento pleno do regime fluvial dos rios (BARRETO, 2006).

Nessas bacias, o leito do rio sofre pouca alteração ao longo do tempo, necessitando de alguns ajustes na curva-chave de período em período. Segundo Azevedo et al. (1994), calibrar a curva-chave significa encontrar a função ou traçado que melhor se ajusta aos pares de pontos cota-vazão, obtidos nas medições de vazão.

Em microbacias, a tendência é que o leito do curso de água se altere mais rapidamente, havendo necessidade de calibração frequente da curva-chave ou utilização de estruturas hidráulicas, com curva-chave pré-definida, para medição da vazão. As estruturas hidráulicas são dispositivos de simples construção e com características de utilização bem definidas. As mais conhecidas e utilizadas são os vertedores e as calhas Parshall, em que a relação cota-vazão é definida em laboratório e facilmente transportada para as situações de campo.

As Calhas Parshall são dispositivos de medição de vazão, na forma de um canal aberto, com dimensões padronizadas. Nessa estrutura, a água é forçada por uma garganta estreita, sendo que o nível da água medida por essa garganta é o indicativo da vazão a ser determinada. Essa calha possui como principais vantagens a não alteração significativa das condições naturais do rio, permitindo, assim, a circulação natural de sedimentos, nutrientes e vida aquática. Outra importante vantagem é que se trata de uma única estrutura que possibilita medir uma ampla faixa de vazões.

Já os vertedores podem ser definidos como uma barreira, inserida perpendicularmente ao fluxo, que possui uma abertura em forma geométrica característica na parte superior da estrutura (PORTO, 2004). Por meio dessa abertura, de formato e dimensões conhecidos, ocorre o escoamento da água, cuja vazão é calculada a partir de fórmulas específicas, utilizando, como dados de entrada, a lâmina de água passante.

Os vertedores mais conhecidos são os triangulares e os retangulares, que possuem o mesmo tipo de funcionamento, porém, para medições de pequenas vazões, o vertedor triangular possui melhor precisão. Os vertedores possuem como principais vantagens a fácil instalação e a possibilidade de trabalhar com a medição de bons intervalos de vazões, podendo quantificar de pequenas a grandes vazões,

dependendo das características do local de instalação e do dimensionamento da estrutura hidráulica.

Essas estruturas hidráulicas têm funcionamento similar, pois ambas possuem uma curva-chave que relaciona os valores da coluna de água que está fluindo pela estrutura com a vazão que está passando no mesmo instante. Com isso, existe a necessidade de determinar somente os valores de cota para saber a quantidade de água que está passando pelas estruturas hidráulicas.

Portanto, para que seja possível analisar a vazão passante pelas estruturas em variados intervalos de tempo, existe a necessidade da utilização de sensores de cota, que serão estudados a seguir.

#### 2.4.2 Utilização de sensores para medição de cotas superficiais

A aquisição de dados hidrológicos, em quantidade e qualidade, pode ser feita por meio de diversos métodos para monitoramento em pequenas bacias. Contudo, deve-se zelar pela qualidade da informação obtida, uma vez que esta deve ser proporcionalmente maior, quanto menor for o espaço geográfico analisado, (BAUMHARDT, 2010).

Geralmente, para a realização de um monitoramento contínuo dos recursos hídricos é necessário o acompanhamento diário de uma pessoa para a coleta de dados. Essa coleta, usualmente, é realizada com um intervalo de tempo pré-definido, que seja representativo para a variação da vazão dos rios. Nas estações fluviométricas convencionais são lidos os valores de cota a cada 24 horas. Esse tempo deve ser observado quando se está diante da análise da variação da vazão em grandes bacias.

Em microbacias, o referido intervalo de tempo, muitas vezes, não se apresenta eficaz para a análise da variação de vazão, pois o tempo de resposta em pequenas bacias é muito curto, podendo ocorrer oscilações num período de tempo muito pequeno. Portanto, é de grande importância a realização de um monitoramento com intervalos temporais menores. A utilização de sensores que registram os valores em intervalos de tempo pré-estabelecidos e armazenam em uma memória chamada de datalogger pode ser uma solução.

Existem vários tipos de sensores com princípios variados que realizam essa coleta e efetuam o registro dos valores de cota. Um dos modelos é o transdutor de pressão, um equipamento que fica submerso no curso d'água, dentro de um poço tranquilizador, calibrado em relação à estrutura hidráulica medidora de vazão.

Esses sensores, geralmente, funcionam em um duplo mecanismo de pressão, um de altura de coluna de água e outro com compensação barométrica. Essa ferramenta capta uma característica de campo gravitacional, que transfere aos dados algumas variações naturais da pressão atmosférica, chamadas de maré barométrica em que, após a coleta dos dados, é realizada a compensação da pressão atmosférica nos dados de cota do curso d'água.

Expostas as informações básicas sobre o mecanismo mais pertinente para a coleta e o registro dos dados do presente estudo, cabe passar à apreciação das ferramentas destinadas à análise e interpretação dos dados obtidos.

## **2.5 Ferramentas para Análise e Comparação dos Dados Coletados**

Atualmente, para a análise e comparação de bacias com diferentes usos e ocupações do solo existem vários métodos. Os mais utilizados são os modelos hidrológicos chuva-vazão, que possuem, como facilidade, o potencial de proporcionar valores de vazão com somente uma variável de entrada do balanço hídrico. Esse método, contudo, é mais eficaz quando se está diante de grandes bacias, pois quanto maior a área da bacia analisada, maior é a probabilidade de as variações serem compensadas pela sua grande área.

Já para a análise em pequenas bacias, principalmente as experimentais, quando existe o registro de dados das variáveis de entrada e de saída do balanço hídrico, a melhor maneira de realizar essa avaliação é por meio da utilização de ferramentas diretas. Isso porque a margem de erro, quando se tem dados reais e utiliza-se esse método, é irrelevante.

Assim, nos itens a seguir serão abordadas as ferramentas utilizadas para interpretação e entendimento dos dados coletados: o balanço hídrico das microbacias; a curva de permanência das vazões das bacias, os hidrogramas dos eventos ocorridos e as vazões máximas registradas.

### 2.5.1 Balanço Hídrico

O balanço hídrico de uma bacia hidrográfica consiste na quantificação dos componentes do sistema, visando melhor entendimento do seu comportamento. O balanço hídrico de uma bacia se baseia no princípio de conservação de massa, sendo analisado pelos insumos de entrada e pelas saídas de água do sistema.

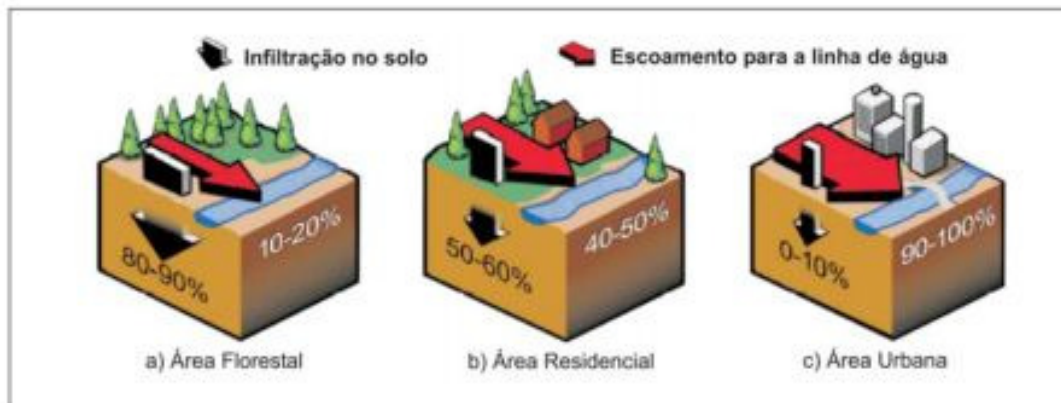
A entrada de água, nesse sistema, baseia-se na precipitação. Já as possíveis saídas podem ocorrer por: evapotranspiração, escoamento superficial, escoamento subsuperficial e escoamento-base. (BAUMHARDT, 2010).

Em bacias que apresentam processo de urbanização, a entrada do sistema não pode ser considerada somente como sendo a precipitação, uma vez que, além dela, pode existir uma entrada correspondente à parte da água da rede de abastecimento, pois essas redes podem sofrer perdas de 10 a 50% do volume transportado (SNIS, 2011). Esse volume, ao se infiltrar no solo, abastece o aquífero, podendo chegar à faixa entre 100 e 300 mm/ano (LERNER et al., 1990), de acordo com a densidade populacional e a rede de abastecimento existente na bacia.

Além da recarga gerada pela perda de água por meio da rede de abastecimento, existem as perdas da rede de esgoto cloacal e pluvial, quando são separadas. Já quando não existe rede de coleta cloacal (somente pluvial), o volume é descarregado para o aquífero utilizando-se das fossas sépticas ou pela rede de drenagem através de ligações clandestinas na rede pluvial. (AGNES, 2006)

A figura 2.4 mostra o balanço hídrico em uma bacia antes e depois da ocorrência do processo de urbanização.





**Figura 2.8 – Esquema de balanço hídrico em bacia hidrográfica com características urbanas.**

Atrelada às alterações relacionadas ao abastecimento subterrâneo dos aquíferos, existe uma mudança nas perdas por evapotranspiração e escoamento superficial dentro da bacia. Como se altera de acordo com o clima e a época do ano, em períodos com alta temperatura, a perda por evaporação da superfície impermeável das bacias urbanas pode ser alta, devido ao calor armazenado em asfaltos, telhados e outros pavimentos (TUCCI 2007)

Por outro lado, considerando que a urbanização provoca uma aceleração no escoamento, a tendência é que se reduza a evapotranspiração, já que a água transita rapidamente pela bacia. Portanto, pode-se esperar maior perda de água por evaporação no período de verão, mas é provável que ocorra uma redução da evapotranspiração em um período mais longo. (TUCCI, 1995)

Com isso, o processo de urbanização em uma bacia hidrográfica produz modificações em suas características originais, alterando o processo chuva-vazão presente nas bacias.

### 2.5.2 Curva de Permanência

A curva de permanência representa a relação entre a magnitude e a frequência de vazões diárias, semanais, mensais ou de qualquer outra duração de uma determinada bacia hidrográfica, fornecendo a percentagem do tempo em que uma dada vazão é igualada ou superada em um período histórico definido (VOGEL e FENNESSEY, 1994).

Silveira (1997) e Silveira e Tucci (1998) relatam que a curva de permanência oferta resultados diretos para o aproveitamento das disponibilidades do curso d'água, sendo muito utilizada para comparação de vazões em microbacias pareadas, dentre outras aplicabilidades. As curvas de permanência constituem também um instrumento valioso de comparação entre as características (relevo, vegetação, uso do solo e precipitações) de bacias hidrográficas, principalmente no que se refere à distribuição de vazões.

Segundo Cruz e Tucci (2008), usualmente, faz-se a curva de permanência contemplando todo o período de dados da série histórica, omitindo os efeitos sazonais do regime hidrológico a cada ano ou, ainda, as diferenças interanuais. Afirmam, também, que para se considerar a sazonalidade em uma curva de permanência haveria a necessidade de determiná-la para cada mês do ano, todos os anos da série.

No Brasil, a idéia de considerar esse aspecto da sazonalidade do regime hidrológico com a estimativa da curva de permanência para cada mês do ano foi sugerida por Kelman (1997) e Silveira et al. (1998). Da mesma forma, Ribeiro (2000), em estudos relativos a critérios de outorga, considerou vazões de permanência empíricas mensais em seus ensaios de outorga, e, usando de simulações, comprovou que a estratégia sazonal obteve melhores resultados quando comparadas à utilização de um único valor anual.

Considerando-se os posicionamentos dos autores acima citados, para este estudo, a utilização da estratégia sazonal deve apresentar melhores resultados. Isso porque, utilizando esse procedimento, é possível analisar as diferentes reações ocorridas nas microbacias em diferentes épocas do ano, em que os processos de entrada e de saída do balanço hídrico apresentam diferentes características, não sendo mascaradas como quando é utilizada a série histórica de dados.

### 2.5.3 Hidrograma

. O hidrograma é a representação gráfica integrada das características fisiográficas, climáticas e vegetais que governam as relações entre a precipitação e o deflúvio em microbacias.

Para Silveira e Silveira (2001), o hidrograma é o registro temporal da produção hídrica de uma bacia, constituindo-se na série cronológica das vazões, podendo ser descrito como uma sucessão de cheias intercaladas por períodos de estiagem. Quando somente os aquíferos mantêm a vazão no curso de água, essa vazão, decrescente no tempo, é chamada curva de depleção ou deplecionamento. Por outro lado, quando há contribuição do escoamento de cheias, a curva correspondente chama-se curva de ascensão.

Os hidrogramas podem ser utilizados para a comparação da variação da vazão ao longo do tempo de duas bacias distintas ou para somente um mesmo evento de chuva, quando plotados os fluviogramas em um mesmo gráfico. A partir disso, consegue-se avaliar a influência das diferenças fisiográficas ou de uso e a ocupação do solo no deflúvio de cada bacia.

Com isso, neste estudo, a utilização dos hidrogramas como método de análise das variações de vazão ocorridas nas duas microbacias servirá para análise das diferenças no escoamento geradas pelos diferentes usos e ocupações do solo presentes das duas microbacias em estudo.

#### 2.5.4 Vazões máximas

A vazão geradora do pico do hidrograma é a vazão máxima. Trata-se da maior vazão registrada durante um evento de chuva e caracteriza-se como a contribuição de toda a bacia no deflúvio que passa em seu exutório.

O estudo dessas vazões é importante para evitar ou minimizar os prejuízos, tanto financeiros como de vidas humanas, decorrentes. Além disso, sua previsão também serve para dimensionar e executar obras hidráulicas como condutos, canais, bueiros, entre outros.

A vazão máxima de um rio é entendida como o valor associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado. Um dos principais impactos negativos causados pelo processo de urbanização, segundo Tucci e Collischonn (1998), é a elevação das vazões máximas, devido ao aumento da capacidade de escoamento por meio de condutos, canais e pela impermeabilização das superfícies

Leopold (1968) estimou esse aumento de vazão média de enchente em função da percentagem da área impermeável e da percentagem de áreas com condutos. Dessa forma, concluiu que essa vazão de pico pode aumentar em até sete vezes em condições de pós-urbanização.

Sendo assim, resta evidente a importância de avaliar-se a vazão máxima gerada em cada bacia como forma de avaliação da alteração causada pela mudança do uso do solo no regime hidrológico das bacias.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Criada em 1960, a Universidade Federal de Santa Maria está situada no centro do Estado do Rio Grande do Sul. Seu Campus localiza-se no bairro Camobi, a 9 km do centro da cidade de Santa Maria. Essa área onde se localiza o Campus foi adquirida sob as formas de doações e desapropriações de lotes basicamente rurais.

Com o crescimento e desenvolvimento do Campus foram construídas edificações nas proximidades da área da Universidade, sem o devido planejamento, bem como foi necessária a construção de mais estradas para atender à demanda. Nesse contexto geográfico e ambiental, surgiu a idéia de um estudo que viesse a colaborar no entendimento do regime hidrológico de uma microbacia urbana que agora se configura.

Para este estudo, foram utilizadas duas microbacias de cabeceira, das quais uma localiza-se a montante do campus da UFSM e apresenta características urbanas com seu córrego adentrando as dependências do campus da UFSM. Essa microbacia já possuía uma estrutura hidráulica medidora de vazão instalada em seu exutório e um monitoramento qualiquantitativo, que vem sendo realizado há mais de dez anos. A outra microbacia, considerada testemunha, possui uso agrícola e pastoril, se localiza dentro da área pertencente à UFSM, e não possuía monitoramento até o presente estudo, do qual resultaram a definição do seu exutório, a construção de uma estrutura hidráulica medidora de vazão e a realização do monitoramento quantitativo, demonstradas nos itens a seguir.

Para este estudo, a coleta de dados foi realizada no período de Janeiro a Outubro de 2011.

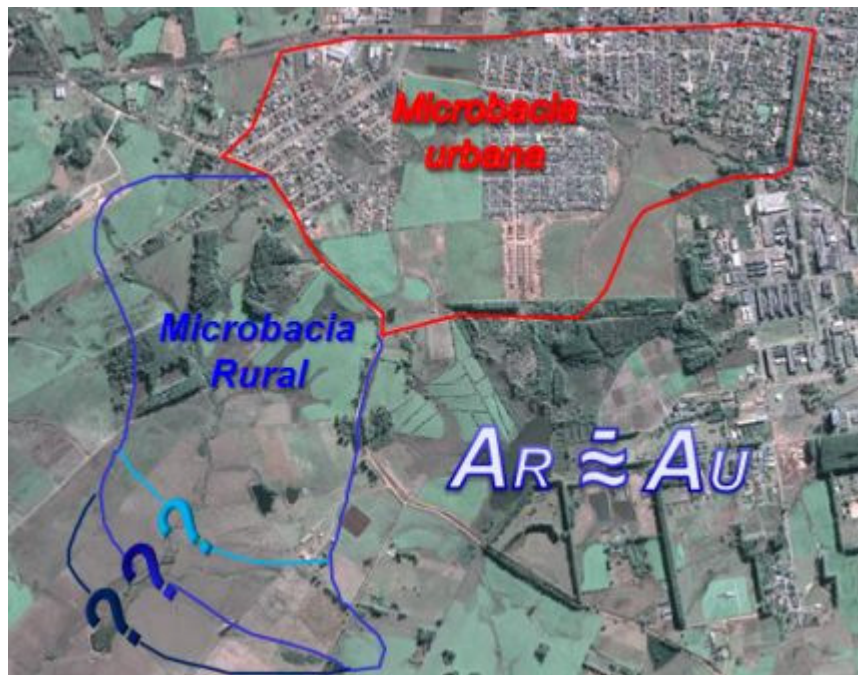
#### **3.1 Definição e Uso das Microbacias.**

Primeiramente, para que fosse possível realizar o objetivo deste estudo, que é a comparação direta entre as duas microbacias, elas necessitavam possuir áreas iguais ou aproximadas. Por isso, na rural - MR, o ponto da construção da estrutura

hidráulica de monitoramento quantitativo foi escolhido com a intenção de delimitá-la para que ficasse com a mesma área de captação da microbacia urbana -MU e, assim, pudesse ser realizada a comparação direta dos valores de vazão coletados nas duas.

Convencionalmente, para a delimitação de uma bacia hidrográfica, determina-se o seu exutório e, a partir dele, é realizada a delimitação dessa bacia. Só após é determinada a sua área de abrangência. No entanto, existia o intuito de, além de parear as duas microbacias, deixá-las, também, com as suas áreas aproximadas. Para tanto, o pesquisador utilizou um procedimento oposto.

Por meio da identificação do rio principal, com a utilização da ferramenta de geoprocessamento, ArcGis® 9.3, buscou-se delimitar a microbacia, classificar o seu uso e a ocupação do solo, bem como determinar a sua área de abrangência, conforme registra a figura 3.1.



**Figura 3.7 - Processo de delimitação da MR.**

### 3.1.1 Características fisiográficas das microbacias

No quadro 3.1 estão descritas, resumidamente, algumas características fisiográficas da região do Campus da Universidade Federal de Santa Maria onde estão localizadas as áreas de estudo.

**Quadro 3.1 - Características fisiográficas das microbacias.**

Item	Descrição
Rocha	Formação Santa Maria, Membro Alemoa (siltoargilosa) aflorante e Membro Passo das Tropas (arenitos) em subsuperfície, camadas sedimentares do Cenozóico aflorantes nos cursos de água acima da cota de 110 m.
Solo	Predominante Unidade Santa Maria – Argissolo bruno acinzentado (planossolo), Unidade São Pedro - Argissolo vermelho-amarelo (porção mais plana, abaixo da cota de 110m).
Relevo	Coxilhas suaves, levemente onduladas
Vegetação	Predominante campos (gramíneas), com presença de plantações de eucaliptos isoladas e algum cultivo (experimentos do Centro de Ciências Rurais/UFSM)
Clima	Segundo a classificação de Nimmer. Clima mesotérmico brando, e de acordo com Köppen: cfa

Fonte: Adaptado Silveira (2003)

## 3.2 Monitoramento Sincronizado

### 3.2.1 Microbacia Rural

#### 3.2.1.1. Implantação da estrutura hidráulica no exutório da microbacia

Para a coleta dos dados de vazão simultâneos das duas microbacias, o segundo passo, após a localização do local onde a MR apresenta o mesmo tamanho da MU, foi a construção da estrutura medidora de vazão da MR.

Com isso, no mês de março de 2010, época do ano em que ocorrem períodos de estiagem na região, foi realizada uma visita ao local para analisar as características do córrego, como profundidade do canal, largura do leito e característica do solo em relação à erosibilidade.

A esses dados foi acrescentada a medição de vazão por meio do método do flutuador, visando obter uma idéia da vazão presente no córrego naquele momento. Depois, com funcionários da UFSM que trabalham na área há vários anos, foram buscadas informações sobre as variações dessas vazões. Eles relataram que, em períodos de estiagem, ocorrem pequenas vazões, podendo até secar o córrego, mas, em períodos chuvosos, aumentam, extravasando seu canal.

De posse desses dados, começou-se um estudo para a escolha da melhor estrutura hidráulica a ser implantada no exutório da microbacia. Primeiramente, pensou-se na instalação de uma calha Parshall de fundo plano, estrutura hidráulica já conhecida por sua utilização na MU e que apresenta resultados precisos e confiáveis. No entanto, sua construção necessita mão de obra especializada e não apresenta boa precisão para pequenas vazões.

Nesse contexto, como existia a intenção de aumentar a precisão das pequenas vazões e obter maior amplitude de vazões possíveis, pensou-se, então, na possibilidade da construção de um vertedor triangular de 120º graus, que possui uma precisão para coleta de pequenas vazões, e, ao mesmo tempo, tem a abrangência de coletar valores maiores de vazões.

Optou-se, então, pela utilização dessa estrutura, por possibilitar uma amplitude de quantificar vazões até 277 L/s, com uma coluna de água de 45 cm, baseada no limite de extravasamento dos taludes do córrego.



### 3.2.1.2 Calibração do vertedor triangular de 120°

Para a determinação da equação ou confirmação da utilização da equação disponível na bibliografia para o vertedor triangular de 120°, instalado no exutório da MR, foi realizada uma calibração da estrutura com a utilização do método volumétrico. Este método consiste na cronometragem do tempo que um recipiente com volume conhecido leva para ser preenchido, determinando-se a vazão que está passando pelo vertedor no momento da realização do teste. Para a obtenção de um maior número de valores de vazões testados, as medições foram realizadas em dias diferentes, com diferentes vazões.

Para essa calibração foram realizadas sete medições de vazão, sendo realizadas 15 repetições em cada uma, com o intuito de aumentar a precisão dos valores coletados. Depois de cada teste, foi calculada a média aritmética das 15 repetições para determinação do valor médio de vazão. Os valores obtidos com as medições volumétricas foram plotados em um gráfico, juntamente com os valores de vazão encontrados por meio da equação do vertedor triangular de 120°, disponível na bibliografia, para os valores de cota que o vertedor apresentava no momento de cada medição de vazão. Realizada a comparação entre estes valores, concluiu-se que a equação do vertedor triangular disponível pode ser utilizada como curva-chave da estrutura hidráulica instalada no exutório da MR.

## 3.2.2 Microbacia Urbana

### 3.2.2.1 Estrutura hidráulica medidora de vazão

Para o monitoramento quantitativo da MU foi utilizada uma Calha Parshall de Fundo Plano, já existente no exutório da microbacia, como mostra a figura 3.2. A estrutura chamada de calha da gráfica foi construída há mais de 10 anos, com o objetivo inicial de realizar o monitoramento qualitativo do córrego que cruza o Campus da UFSM. Este posto de monitoramento possui registro na Agência Nacional das Águas – ANA, como mostra a tabela 3.1.

**Tabela 3.6 - Posto de monitoramento da Gráfica – UFSM**

<b>Nome</b>	<b>Registro ANA</b>	<b>Coordenadas X</b>	<b>Coordenadas Y</b>	<b>Instituição/ Proprietário</b>
Bacia Escola UFSM/Gráfica	85439200	-29° 42' 38"	-53° 43' 5"	UFSM

**Fonte: Adaptado da Agência Nacional das Águas – ANA**

Após a construção da calha Parshall, Reetz (2002) determinou sua curva-chave (equação 3.1) e concluiu que a curva teórica da calha utilizada no presente estudo possui confiabilidade para a condição de operação de campo, confirmada por Agnes (2004). Essa equação possui como variável de entrada a coluna de água que está passando pela estrutura medida em centímetros, e, como variável de saída, a vazão do córrego em Litros por segundo. Essa estrutura possui capacidade para registrar vazões de até 806 L/s, o que corresponde a uma coluna de 74 cm de água.

$$Q = 0,0083 h^2 + 0,0511h - 0,0436 / 60 \times 1000$$

(3.1)



**Figura 3.8 - Calha Parshall da MU**

Como essa estrutura hidráulica não possui deformação nas suas características físicas, e as alterações nas margens do córrego a montante não

interferem em seu funcionamento, neste estudo foi utilizada como curva-chave da estrutura hidráulica a equação já determinada por Reetz (2002) e confirmada por Agnes (2004).

### 3.2.3 Sensores utilizados para medição de cotas superficiais

O medidor de cota utilizado foi um transdutor de pressão modelo Levelogger Junior, da marca SOLINST® (figura 3.3), instalado em cada uma das estruturas hidráulicas medidoras de vazão. Esse equipamento não pode ser considerado de baixo custo, porém a facilidade de instalação exige pouca estrutura acessória, ou seja, ao final, toda a base acaba sendo de baixo custo em função da versatilidade do equipamento de coleta (BAUMHARDT, 2010).



**Figura 3.9 - Transdutor de Pressão (sensor de nível, datalogger e bateria)**

Esse equipamento funciona em conjunto com o barômetro denominado Barologger Gold, também da marca SOLINST®. Como os equipamentos são transdutores de pressão, o primeiro detecta a pressão da coluna de água conjuntamente com a pressão atmosférica. Já o segundo, tem a precisão necessária para detectar somente a pressão atmosférica local, dada em centímetros de coluna de mercúrio. Subtraindo-se os dados dos dois equipamentos, tem-se a cota de água em centímetros acima do sensor que fica submerso.

A coleta dos dados foi realizada simultaneamente nas duas estruturas medidoras de vazão, com o mesmo intervalo de tempo, e coletados no mesmo horário, para que pudesse ser feita uma comparação direta entre eles. Registrados de hora em hora, todos os cálculos com esse tipo de equipamento foram realizados de tal forma que não se utilizasse uma série com menos de 24 dados. Ou seja, os dados sempre foram utilizados no mínimo com sua série diária. Isso foi necessário em função de os sensores detectarem o evento, citado por Vianello e Alves (1991), conhecido como Maré Barométrica. Segundo o autor, a cada 24 horas ocorrem duas ondas na marcha da pressão atmosférica, com picos às 10h e às 22h.

### 3.2.3.1 Poço tranquilizador para instalação do sensor de cota

#### 3.2.3.1.1 Adaptação realizada na estrutura da MU.

No período anterior a este estudo, o monitoramento de vazão realizado na calha Parshall, instalada no exutório dessa microbacia, era diário, registrado visualmente com leituras realizadas pelos bolsistas de pesquisa do Grupo de Pesquisa GERHI. A partir de então, com o objetivo de aprimorar a qualidade e a frequência dos resultados, foram instalados sensores de nível (transdutores de pressão) idênticos nas estruturas hidráulicas de ambas as microbacias. Logo, a calha Parshall precisou sofrer alterações para acomodar o novo equipamento, culminando com a construção de um poço tranquilizador lateral à estrutura, como indica a figura 3.4.

Para a comunicação da água entre o poço tranquilizador e o canal da calha foram realizados pequenos dutos na sua parede, de forma que funcionem como vasos comunicantes entre ela e o poço tranquilizador. Além de fazer com que os níveis se iguallassem perfeitamente, procurou-se, também, diminuir ao máximo os efeitos do sedimento nos orifícios, colocando, na rotina da pesquisa, limpeza e manutenção do local.



**Figura 3.10 - Calha Parshall da MU. a) Poço tranquilizador b) Dutos comunicantes**

Para que o nível da água no poço tranquilizador pudesse ser coletado corretamente, os dutos foram feitos  $2/3$  a montante da distância da garganta até onde começa o estreitamento da calha, local adequado para a coleta dos dados de cota da estrutura como cita Santos et al. (2001).

Esses dutos foram feitos na vertical, com uma distância de 5 cm entre eles, para que a variação de nível do poço ocorra na mesma variação de tempo que dentro da calha Parshall.

#### 3.2.3.1.2 Poço tranquilizador da MR

Nessa microbacia, juntamente com a construção da estrutura para medição de vazão, foi construído um poço tranquilizador, com o intuito de que o regime turbulento da água não interferisse na qualidade e validade dos dados coletados pelo sensor.

Esse poço tranquilizador foi construído com 60 cm de largura, 60 cm de comprimento e 80 cm de altura, ficando 5 cm mais alto que a cota máxima quantificada pelo vertedor. O poço tranquilizador foi construído a uma distância de 1,60m a montante do barramento, e nele instalado um suporte metálico para o

sensor de coleta de cotas, com sua parte inferior ao mesmo nível do vértice do vertedor.

Além disso, instalou-se uma régua metálica na parede do poço tranquilizador, zerada com o vértice do vertedor para aferição dos dados coletados pelo sensor. A figura 3.5 ilustra o poço tranquilizador e o suporte onde está instalado o sensor.



**Figura 3.11 - Poço tranquilizador com suporte para o sensor**

### **3.3 Caracterização Hidrogeológica das Microbacias**

Com base no trabalho de Gasparetto et al. (1990), referentes à folha geológica de Camobi, e no mapa hidrogeológico de Santa Maria (CPRM,1995), nas duas microbacias estudadas ocorrem afloramentos da Formação Santa Maria (Membro Alemoa). Essa formação é constituída, basicamente, por lamitos impermeáveis que funcionam como Aquicludes, rochas ou solos impermeáveis, que podem ou não conter água, não armazenando nem transmitindo água (MACIEL FILHO, 1990)

Böger e Kowalcyk (1993) citam que, nessa unidade, podem existir camadas de areias muito finas, interdigitadas, formando bolsões, as quais podem ser consideradas aquíferos. Os argilominerais que compõem essa unidade hidroestratigráfica são, principalmente, da família das esmectitas expansivas e/ou interestratificados do tipo I/S (SILVÉRIO DA SILVA et al. 1990, SILVÉRIO DA SILVA, 1997 , SILVÉRIO DA SILVA et al., 2010)

A estrutura das camadas originalmente maciça, devido ao tipo de deposição em ambiente lacustre dessa unidade, adquire fissuras pela exposição aos agentes intempéricos, e pelo efeito dos processos de expansão e contração, apresentando, ainda, fissilidade. Essas estruturas pedogenéticas podem vir a facilitar o fluxo de contaminantes gerados na superfície do terreno e, também, na zona não saturada.

Depois de períodos chuvosos, pode haver acumulações de água nessas fissuras associadas à zona vadosa do solo, o que não significa o nível freático da unidade, o qual, teoricamente não se constitui, uma vez que a unidade forma Aquicludes (MACIEL FILHO, 1990). Machado (2005) estimou que seja da ordem de 150m a espessura total dessa unidade hidroestratigráfica.

Complementarmente, Rheinheimer et al. (2010) consideram as camadas de arenitos muito finos argilosos e siltitos-argilosos, com fissilidade e fissuras como camadas semi-impermeáveis, aquíferos gotejantes.

Na região do Campus da UFSM, ocorrem áreas de afloramento da Formação Santa Maria (Membro Alemoa) com diferentes graus de pedogênese, podendo ser um Aquiclude ou Aquífero Gotejante em função de aspectos paleodeposicionais e/ou de evolução na zona vadosa. Localmente, ocorrem bolsões de arenitos do Membro Passo das Tropas, apresentando espessuras e dimensões variadas, antigos paleocanais de rios. Esses bolsões não são contínuos e podem ser bons reservatórios de água, portanto aquíferos, quando recebem infiltração ou contribuição lateral (informação verbal)<sup>1</sup>.

De acordo com Fetter (1988), diferentes materiais constituintes dos solos e/ou rochas sedimentares apresentam diferentes valores de permeabilidade e condutividade hidráulica (Tabela 3.2).

---

<sup>1</sup> Entrevista com o professor Doutor José Luiz Silvério da Silva, no laboratório de hidrogeologia da UFSM, dezembro de 2011.

**Tabela 3.7 - Valores de permeabilidade e condutividade hidráulica para diferentes constituintes de solos e/ou rochas sedimentares inconsolidadas**

Material	Permeabilidade intrínseca (cm <sup>2</sup> )	Condutividade Hidráulica (cm/s)
Argila	10 <sup>-14</sup> a 10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-9</sup> a 10 <sup>-6</sup>
Silte, silte arenoso	10 <sup>-11</sup> a 10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-4</sup>
Areia argilosa	10 <sup>-11</sup> a 10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-4</sup>
Areia siltosa, Areia fina	10 <sup>-10</sup> a 10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-5</sup> a 10 <sup>-3</sup>
Areia bem distribuída	10 <sup>-8</sup> a 10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>-1</sup>
Cascalho bem distribuído	10 <sup>-7</sup> a 10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-3</sup> a 10 <sup>0</sup>

Fonte: Fetter (1988)

Os valores de porosidade, o rendimento específico e a retenção específica para diferentes constituintes de solos e rochas são apresentados na tabela 3.3.

**Tabela 3.8 - Valores de porosidade, rendimento específico e retenção específica em diferentes constituintes de solos e rochas (valores em % de volume).**

Material	Porosidade (%)	Rendimento Específico (%)	Retenção Específica (%)
Solo	55	40	15
Argila	50	2	48
Areia	25	22	3
Cascalho	20	19	1
Carbonato	20	18	2
Arenito semiconsolidado	11	6	5
Granito	1	0,09	0,01
Basalto	11	8	3

Obs.: Os diâmetros médios das partículas, de acordo com classificação granulométrica de Wentworth: Areia (2 - 0,062mm), Silte (0,062 a 0,002 mm) e Argila (<0,002mm).

Fonte: Heath, (1983)



Nota-se, na tabela 3.3, a elevada porosidade de uma camada argilosa e seu baixíssimo rendimento específico. Por outro lado, uma camada arenosa apresenta elevado valor de rendimento específico, isto é, fica pouca água presa entre os grãos minerais.

Deve-se acrescentar que o terreno constituído pela unidade Hidroestratigráfica Alemoa, tipicamente silto-argiloso, pode apresentar uma ação de capilaridade. Heath (1983) relata que a maioria da recarga dos sistemas de água subterrânea ocorre durante a percolação da água através da zona insaturada (ou vadosa). O movimento da água, na zona insaturada, é controlado tanto pela força gravitacional como pela capilar. A capilaridade resulta de duas forças: a atração mútua (coesão) entre as moléculas de água e a atração molecular (adesão) entre a água e diferentes materiais sólidos, ilustrados na tabela 3.4.

**Tabela 3.9 - Altura aproximada de subida capilar (h) em materiais granulares**

Material/Granulometria	Ascensão (mm)
Areia Grossa	125
Areia Média	250
Areia Fina	400
Silte	1.000

**Fonte: Heath, (1983)**

Portanto, em terrenos de composição siltoso-argilosa, a subida da água através de capilaridade ou sua movimentação lateral através da frente de molhamento pode ser influenciada pela precipitação pluviométrica direta, anual, considerada recarga subterrânea. Essa flutuação também pode ser afetada por outras variáveis climáticas, tais como o número de horas de insolação diária, a umidade relativa do ar e a ação dos ventos. Ainda não é conhecida a faixa de

flutuação da franja de capilaridade em rochas sedimentares e/ou solos da região do campus da UFSM (informação verbal)<sup>2</sup>.

### **3.4 Método de Análise do Comportamento do Lençol Freático da MR.**

Para análise do deflúvio de uma bacia hidrográfica, avalia-se a quantidade de água escoada pelo seu córrego principal. Esse volume escoado em períodos chuvosos é gerado a partir do escoamento superficial gerado durante as precipitações. Após o término da precipitação, esse córrego é abastecido pela água armazenada na zona vadosa do solo e, em períodos de estiagem, pela água subterrânea profunda armazenada no lençol freático.

Portanto, neste estudo, foi realizada uma caracterização hidrogeológica das duas microbacias e uma medição do nível do lençol freático em dois poços pertencentes à UFSM, localizados nos divisores de águas da MR para uma possível comparação do comportamento do lençol freático dentro da microbacia. Para isso, com o uso de um GPS topográfico, foi realizada uma medição de altitude do nível do solo onde estão localizados os dois poços e da cota do fundo do leito do córrego utilizado neste estudo.

Para a determinação da profundidade do lençol freático em relação ao nível do solo de cada poço, foram tomados por base os valores obtidos no Relatório interno da UFSM para obtenção de outorga do direito de uso de água subterrânea, ocasião em que foram realizados testes e medições em todos os poços localizados dentro do campus da UFSM. Desse relatório foi realizada, também, uma análise dos testes de bombeamento efetuados nos dois poços, avaliando-se o potencial de recarga e o rebaixamento dos dois poços nesses testes de bombeamento.

---

<sup>2</sup>Entrevista com o professor Doutor José Luiz Silvério da Silva, no laboratório de hidrogeologia da UFSM, dezembro de 2011.

### 3.5 Avaliação Quantitativa do Escoamento Superficial

#### 3.5.1 Balanço Hídrico

##### 3.5.1.1 Determinação dos dados pluviométricos

Para efeito da quantificação do balanço hídrico das bacias experimentais, foram realizadas coletas contínuas de valores de precipitação pluviométrica, de forma concomitante com os dados de vazão registrados nas estações fluviométricas. Esse conjunto de dados inicia a formação da série temporal de dados para a realização do balanço hídrico das microbacias.

A determinação da precipitação foi estabelecida a partir dos dados da estação meteorológica de Santa Maria/RS, localizada no campus da Universidade Federal de Santa Maria e pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, (Tabela 3.5).

**Tabela 3.10 - Estação meteorológica de Santa Maria, RS.**

Nome	Registros		Coordenadas	Coordenadas	Instituição/ Proprietário
	INMET	ANA	X	Y	
Estação Meteorológica UFSM	Santa Maria	2953017	-29°43'27"	-53°43'12"	INMET

**Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia, 2011**

A estação meteorológica possui um pluviógrafo automático que registra os dados de precipitação, horários que são disponibilizados no site da proprietária da estação, possibilitando a análise detalhada da reação das microbacias após cada evento chuvoso. Durante o período deste estudo, entre os dias 24/06/2011 e 09/08/2011, a estação meteorológica permaneceu sem registrar dados horários de precipitação, devido a um problema no referido pluviógrafo. Para a realização do

balanço hídrico das microbacias desse período, foram levados em conta os dados de precipitação diários registrados pelo pluviômetro da própria estação.

Como os dados de precipitação colhidos por todas as estações meteorológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, são registrados pelo horário de Greenwich, os dados utilizados foram atrasados em 3 horas para que ficassem de acordo com o fuso horário de Santa Maria, RS.

O pluviógrafo e o pluviômetro que registraram os dados de precipitação utilizados neste estudo encontram-se instalados a 1,5 km da MU e a 2 km da MR, fazendo com que os valores levantados sejam representativos para as duas microbacias.

#### 3.5.1.2 Estimativa da vazão exógena da MU

A região em que se situa a MU não possui sistema de coleta de esgoto cloacal, trazendo interferência e poluição aos cursos d'água receptores, como já foi relatado por Silveira, (2003).

Essa interferência é resultado do lançamento de todo o efluente da microbacia em sistemas de tratamento domésticos residenciais (fossas sépticas). Após o tratamento, o efluente restante é lançado para o solo ou diretamente para a rede pluvial através de ligações clandestinas ou, muitas vezes, lançados sem o prévio tratamento.

Dentro da área da MU, existem três Conjuntos Habitacionais, o Condomínio Monte Belo, a COHAB Fernando Ferrari e o loteamento Novo Horizonte. Cada um deles possui rede coletora de esgoto interna que direciona todo o efluente ali gerado para fossas sépticas coletivas, onde, após passar pelo tratamento, o efluente restante é lançado para a rede pluvial.

Com isso, conclui-se que a MU possui uma entrada externa em seu balanço hídrico, já que esse efluente é gerado por uma fonte externa, que é a rede de abastecimento público. Portanto, a microbacia, além da precipitação, possui outra fonte de entrada no sistema. Conseqüentemente, para a comparação do balanço hídrico das duas microbacias é preciso que seja retirado esse volume de entrada externa do sistema.

Para a estimativa da vazão que representa essa entrada externa no balanço hídrico da MU, foi realizado um levantamento junto à Companhia Rio-grandense de Saneamento – CORSAN, sobre o número de habitações existentes na microbacia e o consumo médio mensal de água dessas habitações.

Após receber da CORSAN a determinação do volume mensal de água para a área da microbacia, calculou-se a vazão em L/s, que representa esse volume distribuído no tempo, totalizando 10,6 L/s. A figura 3.7 mostra um exemplo de pontos clandestinos de despejo de esgoto na rede de drenagem dentro da microbacia.



**Figura 3.12 - Despejo de esgoto clandestino na rede pluvial da MU.**

#### 3.5.1.3 Preenchimento da série de vazões da MU

Durante o período em que foram monitoradas as vazões nas microbacias, ocorreram, em diversos momentos, extravasamentos da estrutura hidráulica da MU, fato não registrado na MR. Quando ocorrem esses extravasamentos, não é possível quantificar a vazão que ali está passando com a curva-chave da calha Parshall instalada, impossibilitando, assim, o cálculo do balanço hídrico da microbacia, necessitando-se determinar esse evento por outros meios.

Para a determinação desses valores de vazão foi realizado um preenchimento da série temporal de vazões utilizando a equação de Manning, (equação 3.2). Essa equação tem como princípio a determinação da vazão levando-se em conta o

formato da secção em estudo, a rugosidade da cobertura do solo e a declividade da linha d'água.

Nessa equação,  $Q$  representa a vazão que está passando pela estrutura,  $A$ , a área molhada na cota representante,  $Rh$ , o raio molhado,  $I$  a declividade da linha d'água e  $n$ , o coeficiente de rugosidade de Manning.

$$Q = (A \times Rh^{2/3} \times I^{1/2}) / n \quad (3.2)$$

Portanto, para a utilização dessa equação foi realizado um levantamento topográfico com o emprego de uma estação total para a determinação da secção de escoamento e, assim, a obtenção dos parâmetros perímetro e área molhada para cada cota extravasada.

Para a determinação do coeficiente de rugosidade, a secção foi dividida em três partes: no centro e em cada uma das suas margens, devido às diferentes coberturas do solo.

Sendo difícil obter a declividade da linha d'água, para as secções parciais da margem direita e da margem esquerda foi utilizada a declividade do fundo, conseguida através do levantamento topográfico. Já para a declividade da linha d'água da secção central coberta por concreto, a equação de Manning foi ajustada à curva-chave para dados conhecidos (abaixo de 74 cm), empregando a função solver da planilha Excel, de forma que o erro quadrado das duas equações fosse o menor possível, variando a declividade da linha d'água.

Ainda, a secção central revestida de concreto, por ser uma secção composta, foi dividida em três subsecções (a, b,c) para o cálculo da vazão.

Portanto, a vazão total da secção foi determinada com o somatório das vazões calculadas em cada secção parcial.

### 3.5.2 Análise do deflúvio por meio de curvas de permanência

A avaliação do regime hidrológico em cada microbacia, com a finalidade de identificar diferenças causadas pelos distintos usos do solo, pode ser realizada com a utilização das curvas de permanência (BAUMHARDT, 2010), de acordo com o objetivo desta pesquisa que engloba a análise do escoamento em função das modificações do uso do solo. Neste estudo, foi realizada a comparação das curvas de permanências de cada microbacia e o cálculo dos volumes escoados medidos nas estações fluviométricas, com o intuito de analisar as pequenas vazões, já que a curva de permanência reflete uma síntese do regime hidrológico e caracteriza a disponibilidade hídrica das bacias.

Para essa comparação foram determinadas as curvas de permanência mensais e a curva de todo o período monitorado para cada microbacia. Na confecção das curvas da MR foram utilizados os dados de vazão coletados. Para a confecção das curvas da MU foram utilizados os dados de vazão registrados na estrutura hidráulica da microbacia, com o desconto do valor considerado como vazão exógena da MU.

Após isso, para a análise das diferenças nos escoamentos, foram plotados em um mesmo gráfico as curvas de permanência de 100% do tempo das duas microbacias referentes ao mesmo período. Também, foram calculados os volumes representativos ao período entre 40% a 100% da permanência de cada microbacia, realizando, assim, uma comparação entre os volumes calculados.

#### 3.5.2.1 Construção das Curvas de Permanência

A técnica mais frequente de obtenção da curva de permanência é empírica e, também, descrita em várias bibliografias (REMENIERAS, 1971; PINTO, 1973; VILLELA E MATTOS, 1975; LANNA, 1993, LANNA E BENETTI 2000, VOGEL E FENNESSEY, 1994 CRUZ 2001).

Uma técnica consiste em estabelecer intervalos (ou classes) ordenados de vazões, de acordo com a sua magnitude, procurando assim, ter uma quantidade razoável de valores ou “ogivas” em cada intervalo, bem como

associar uma frequência de ocorrência das vazões e acumulá-las. Como se trata de associar frequências de ocorrências às vazões, outra alternativa é ordenar todos os valores de vazão de forma decrescente e associar a cada valor uma frequência de excedência, utilizando uma posição de plotagem empírica, tal como  $m/n$  ou  $m/n+1$ , sendo  $m$  a ordem do valor ordenado e  $n$  o número de valores da série. (JACOBS e VOGUEL, 1998 apud CRUZ e TUCCI E SILVEIRA, 1998).

A vazão (percentil)  $Q_p\%$  é frequentemente chamada de *função empírica* conforme Vogel e Fennessey (1994). Além disso, ela pode ser estimada a partir de uma função empírica de percentis (probabilidades acumuladas), partindo-se da escolha de uma posição de plotagem. Uma das mais utilizadas é a equação de Weibull, como citam Fennessey e Voguel (1990) e Jacobs e Vogel (1998).

Ao se considerar  $i$  o número de ordem do  $i^{\text{ésimo}}$  valor ordenado de vazão  $q(i)$ ,  $n$  o número de dados ordenados e  $F_q$  é a função densidade cumulativa de probabilidade das vazões, tem-se que a probabilidade de excedência  $P_i$  de  $q(i)$  que é dada conforme Equação 3.3.

$$p_i = 1 - F_q [q(i)] \quad (3.3)$$

Além disso, a posição de plotagem de *Weibull* correspondente é dada conforme a Equação 3.4.

$$p_i = \frac{i}{n+1} \quad (3.4)$$

Dessa forma, foram confeccionadas 20 curvas de permanência para comparações sazonais (10 para cada microbacia) com registros mensais, e duas com o período histórico.

### 3.5.3 Análise do deflúvio por meio de hidrogramas

O hidrograma é a representação gráfica da variação da vazão em relação ao tempo, geralmente utilizada para demonstrar a variação de vazão ao longo do tempo



em uma bacia durante ou após a ocorrência de uma precipitação. A distribuição da vazão no tempo é resultado da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrográfica (TUCCI, 2000).

Portanto, os hidrogramas servem como ferramenta de análise das diferentes variações de vazão ocorridas nas duas microbacias, devido aos distintos usos e ocupações do solo que as constitui, durante um mesmo evento de precipitação.

Neste estudo, foram construídos 10 hidrogramas com uso dos eventos que geraram a vazão máxima registrada para cada mês nas duas microbacias. Esses instrumentos foram confeccionados com os dados horários de vazão registrados na MR e com os valores de vazão registrados na MU, descontando o valor considerado como entrada externa da microbacia.

Para fins de comparação entre as duas microbacias, foram analisados o formato dos hidrogramas, as diferenças nos tempos de ascensão e recessão e os picos de vazão gerados em cada microbacia. Para facilitar a interpretação dos hidrogramas, foram plotados, em um mesmo gráfico, os hidrogramas das duas microbacias para cada evento de precipitação selecionado.

#### 3.5.4 Análise das vazões máximas

Para esta análise, foi determinada a vazão máxima ocorrida em cada mês nas duas microbacias durante o período monitorado. Para a MR, a vazão máxima ocorrida foi fixada diretamente pelos dados registrados na estação fluviométrica. Já para a MU, como houve extravasamento da Calha Parshall em todos os meses do desenvolvimento da pesquisa, a vazão máxima foi determinada por meio da equação de Manning, utilizando-se a maior cota registrada pelo sensor instalado nessa microbacia.

Para análise e comparação adequadas, foram coletados os valores máximos de vazão registrados em cada mês para as duas microbacias, tomando-se cuidado para que essas vazões tivessem ocorrido no mesmo evento de chuva.



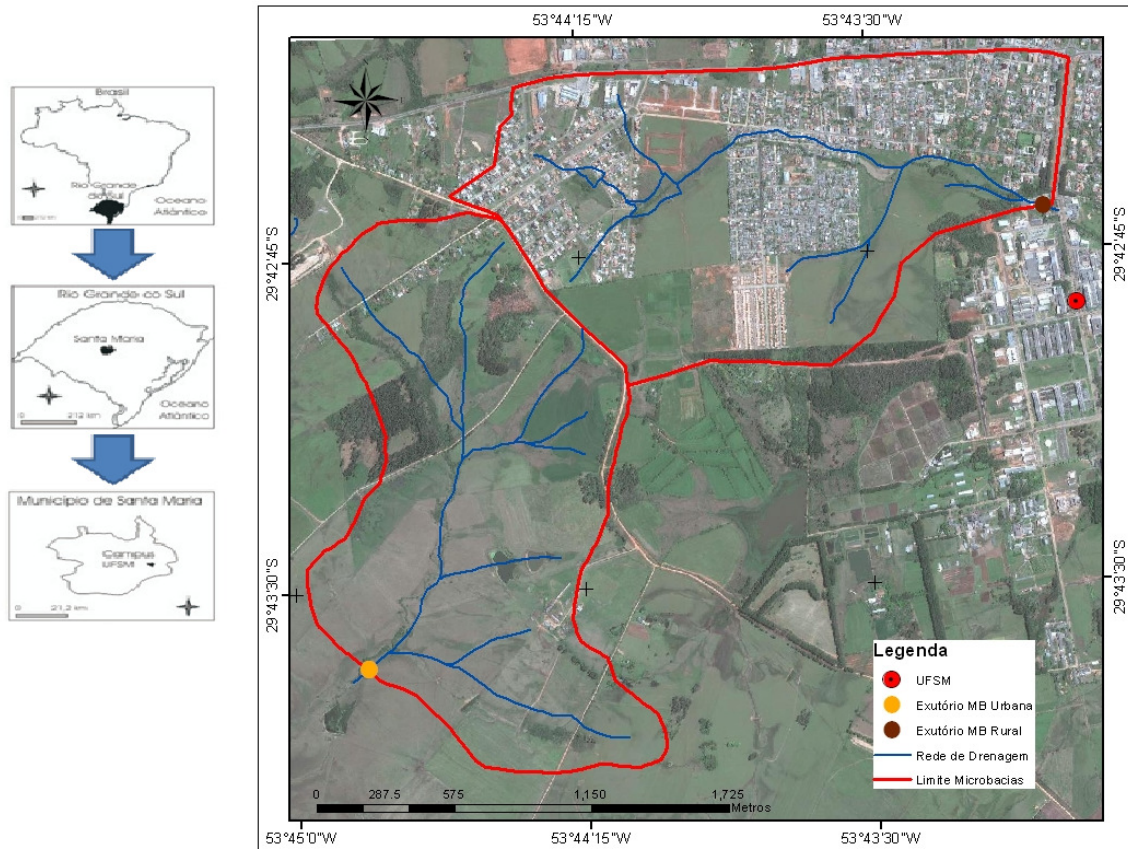
## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Definição e Caracterização das Microbacias.**

A partir da delimitação realizada, identificou-se o quão próximas ou distantes estavam as respectivas áreas. Feita a primeira triagem, foram realizadas várias delimitações até ser localizado o ponto exato do curso principal da MR que serviria como seção de controle e equivalência de área com a MU, resultando na delimitação da MR.

Após a delimitação da nova microbacia, foram determinadas as declividades nelas presentes. Assim, construíram-se os mapas de drenagem, de uso e ocupação do solo e das áreas de preservação permanente das duas microbacias. Esses mapas têm o intuito de servir de apoio para interpretação e análise dos resultados encontrados neste estudo.

A figura 4.1 mostra a localização e a delimitação das duas microbacias utilizadas na presente pesquisa.



**Figura 4.6 - Localização e delimitação das Microbasias experimentais.**

As figuras 4.2 e 4.3 estampam os mapas de uso e de ocupação do solo das duas microbasias e a tabela 4.1 apresenta a porcentagem de cada uso e ocupação do solo em cada microbasia.

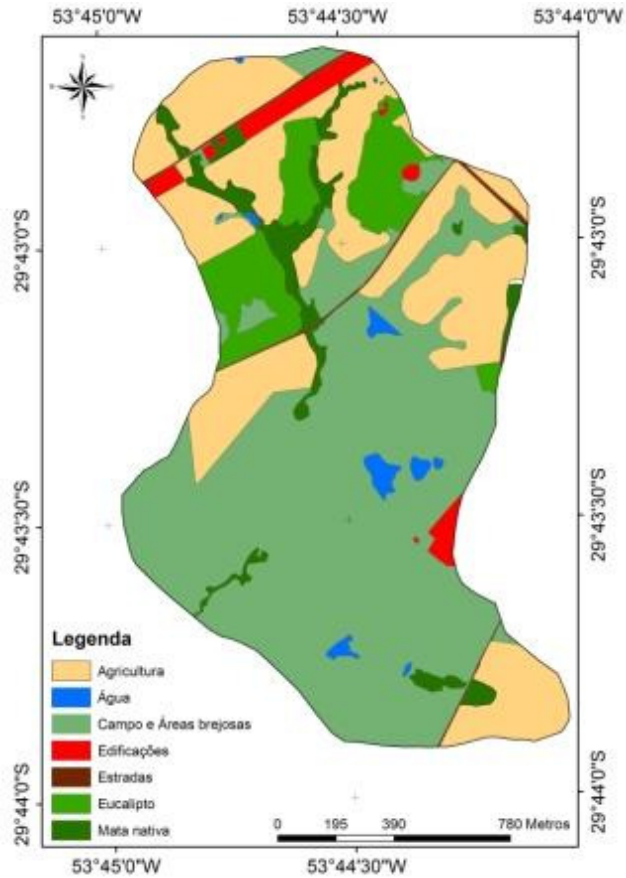


Figura 4.7 - Classificação de uso e ocupação do solo da MR.

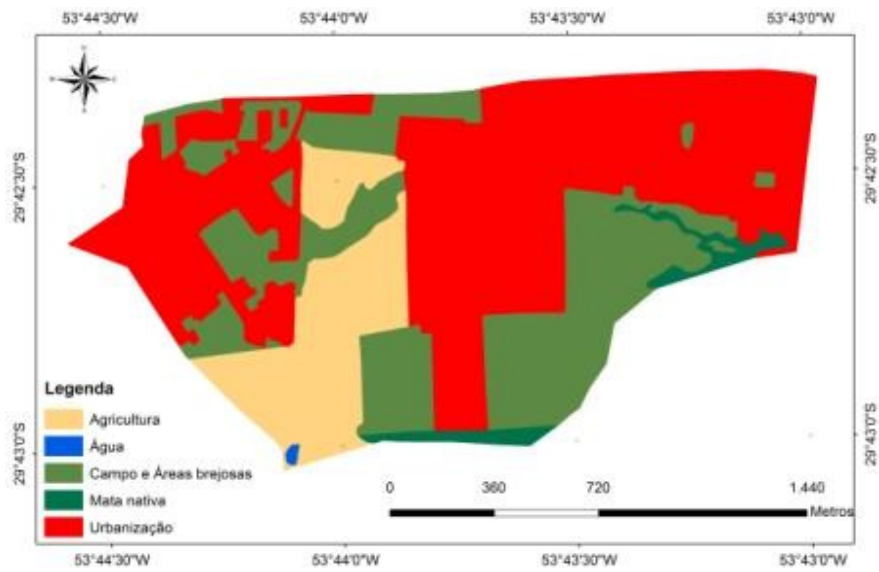


Figura 4.8 - Classificação do uso e ocupação do solo da MU.

**Tabela 4.4 - Uso e ocupação do solo das microbacias estudadas.**

<b>MICROBACIA URBANA</b>		<b>MICROBACIA RURAL</b>	
<b>Uso do solo</b>	<b>% da área</b>	<b>Uso do solo</b>	<b>% da área</b>
Mata nativa	5,3	Agricultura	28,8
Urbanização	54,0	Açudes	1,2
Campo e áreas brejosas	40,7	Campo e áreas brejosas	53,9
-	-	Edificação	2,6
-	-	Eucalipto	8,6
-	-	Mata nativa	4,9

As duas microbacias apresentam áreas aproximadas de 2,31 Km<sup>2</sup>. A MR possui 54% da sua área composta por campo e áreas brejosas, que são ocupadas para criação de bovinos. Ela também possui 29% da sua área utilizada para agricultura e somente 2,6% ocupada por edificações, compostas por casas isoladas e estradas de acesso às residências. Importante ressaltar que essas edificações não demonstram qualquer influência no regime hidrológico da microbacia em estudo.

Já a MU está em intenso processo de urbanização, provocado pela implantação de núcleos habitacionais populares e loteamentos particulares. Nos últimos seis anos, essa bacia revelou um aumento de 100% no número de habitações existentes nos seus arredores, chegando ao mesmo percentual de área ocupada por campo e áreas brejosas na MR. O restante da área da MU é composto por matas e campos e áreas brejosas, que, em um futuro próximo, provavelmente, será ocupado por residências.

Abaixo, as figuras 4.4 e 4.5 mostram os mapas com a drenagem e a demarcação das APPs, segundo a legislação federal vigente.

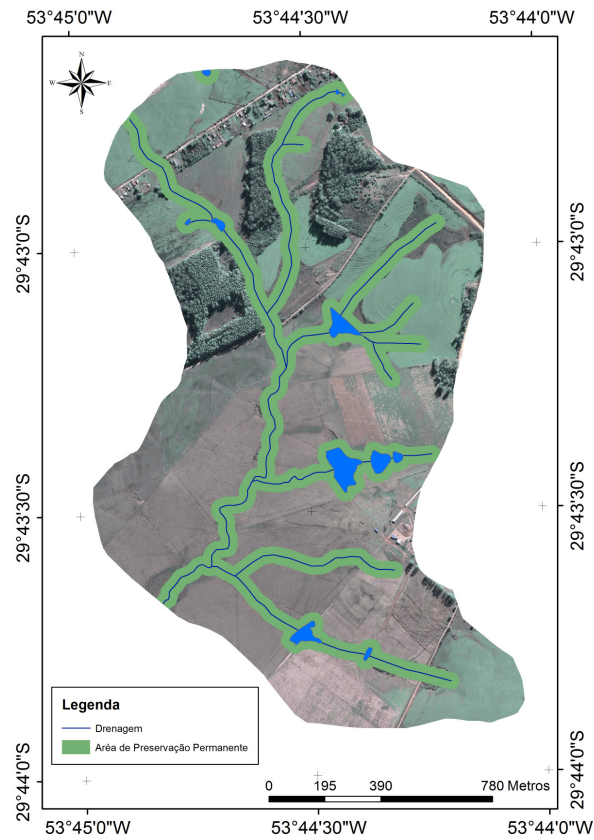


Figura 4.9 - Imagem da MR com demarcação da drenagem e áreas de preservação permanente.



Figura 4.10 - Imagem da MU com demarcação da drenagem e áreas de preservação permanente.

Nas microbacias, as APPs são de suma importância para análise do comportamento hídrico, isso porque fazem com que ocorra uma conservação do leito natural dos córregos, diminuindo as erosões, o carregamento de sedimentos e os alagamentos.

A MR, por apresentar suas características naturais preservadas na maioria da sua área, possui suas APPs bem conservadas. Já a MU, em muitos pontos, apresenta um não cumprimento da delimitação dessas áreas, principalmente quando se aproxima de seu exutório. Nesse viés, cabe ressaltar que as áreas urbanas situadas mais na cabeceira da microbacia, por serem mais recentes, possuem uma melhor conservação das APPs.

Outra característica que deve ser ressaltada é a declividade. A tabela 4.2 apresenta as classes de declividade presentes nas duas microbacias.

**Tabela 4.5 - Declividade das microbacias estudadas.**

Declividade	Área das Microbacias	
	Microbacia Urbana	Microbacia Rural
0 a 2%	38,80%	51,90%
2 a 4%	45,60%	4,10%
4 a 6%	14,00%	11,90%
6 a 15%	1,60%	30,60%
>15%	-	1,60%

Com a análise das declividades das duas microbacias, observa-se que a MU apresenta 84% da sua área com declividades entre 0% e 4%, enquanto a MR detém 52% da sua área com declividades entre 0% e 2% e 31% com declividades entre 6 a 15%. A MR foi a microbacia em que foram constatadas áreas com declividades maiores que 15 % em 2 % do total da sua área.

Ademais, observando a área de abrangência de cada intervalo de declividade, verifica-se que, embora a MU apresente área nos últimos dois intervalos de declividade menores que os da MR, esta possui 3,4 % da sua área total com declividades maiores que a MR. Portanto, apesar de a MR apresentar declividades



maiores que a MU, esse fator não influenciou nos resultados deste estudo. Assim, pode-se realizar a comparação direta do deflúvio das duas microbacias, analisando somente o uso e a ocupação do solo como fator de interferência.

## **4.2 Monitoramento Sincronizado das duas Microbacias**

### **4.2.1 Estrutura hidráulica da MR**

Após a localização do ponto do exutório, em que a MR teria o tamanho aproximadamente igual ao da MU, e da busca de informações sobre as características do córrego, foi realizada a escolha da melhor estrutura hidráulica a ser implantada no exutório da MR. Inicialmente, pretendia-se instalar como estrutura hidráulica medidora de vazão uma calha Parshall, com as mesmas características da já existente na MU. Contudo, ao analisar o local, observou-se que o córrego, em períodos de estiagem, possuía pequenas vazões. Entretanto, segundo relatos de funcionários da UFSM, que trabalham na área há vários anos, em períodos chuvosos o córrego apresenta aumento da sua vazão, podendo até extravasar o seu canal. Assim, como o córrego apresentava uma oscilação em seu fluxo, mas na maioria do tempo possui pequenas vazões, concluiu-se que a melhor estrutura hidráulica a ser instalada seria um vertedor triangular.

Sendo assim, optou-se pela instalação de um vertedor triangular de 120°, de paredes delgadas, feito de chapa de aço galvanizado, com 3mm de espessura, instalado a 40cm acima do fundo do leito do canal, em um barramento feito de pedras e concreto construído na transversal do canal do córrego, conforme a norma CPRH nº 2.004. O vertedor construído possui amplitude de quantificar cotas de até 45 cm, sem ocorrer o extravasamento do canal do córrego

Esse vertedor já possui uma curva-chave pré-estabelecida, determinada por Gourley e Crimp, citado em Lencastre (1972), como mostra a equação 4.2, em que a variável de entrada  $h$  é utilizada em centímetros e a variável de saída  $Q$  em L/s.

$$Q = 1,32 \times h^{2,47} \times 1,732 / 100 \quad (4.2)$$

Dessa forma, partindo da equação acima citada, determinou-se que a estrutura hidráulica instalada na MR possui uma capacidade de registrar valores de vazão de até 277 L/s.

Outro fator levado em consideração foi a construção do poço tranquilizador para instalação do sensor de cota da MR. O poço foi construído a 1,6 m a montante do barramento, para que os valores de cota coletados estivessem em consonância com a Norma CPRH nº 2.004. A figura 4.8 mostra o vertedor triangular instalado na MR.



**Figura 4.6 - Vertedor triangular da MR.**

#### 4.2.2 Calibração do vertedor triangular da MR.

A tabela 4.3 mostra os valores obtidos nas medições de campo e aqueles determinados pela equação pré-definida para cada cota observada.

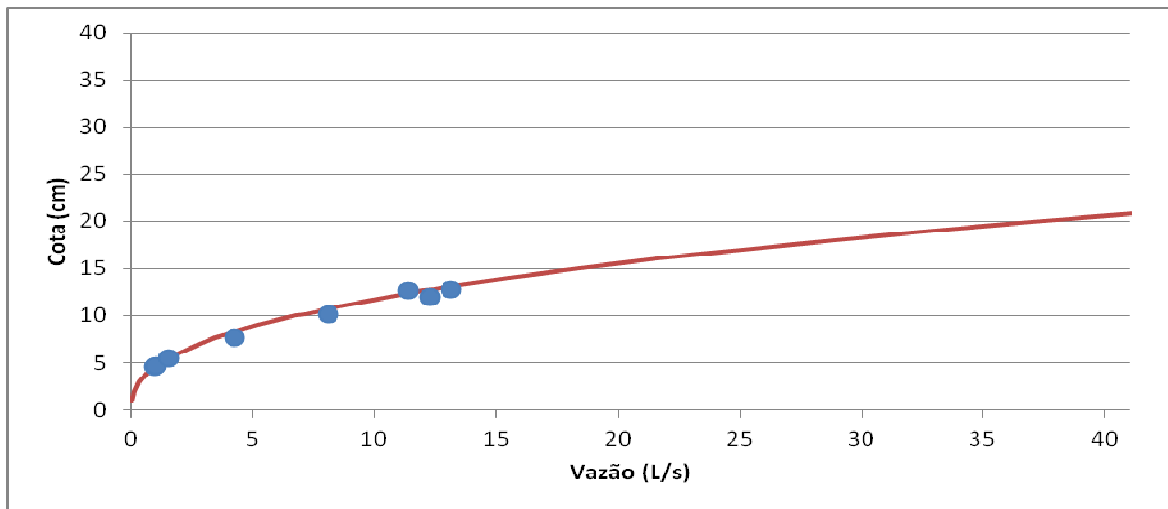
O gráfico da figura 4.9 apresenta, no eixo X, valores de vazão em L/s e, no eixo Y, valores de cota em centímetros. Em vermelho, está representada a curva da equação (4.2) do vertedor triangular de 120°, de paredes delgadas, determinada por Gourley e Crimp, citado em Lencastre (1972) e os pontos em azul mostram os valores resultantes das medições de vazão realizadas a campo. A figura 4.7 estampa a calibração do vertedor sendo realizada.



**Figura 4.7 - Demonstração da medição volumétrica de vazão.**

**Tabela 4.6 - Comparação dos valores de vazão medidos e calculados para o vertedor triangular de 120° da MR.**

Cota (cm)	Vazão (L/s)		Desvio Padrão
	Medida	Equação	
4,6	0,97	0,99	0,01
4,7	1,04	1,05	0,07
5,5	1,54	1,54	0
7,6	4,23	3,42	0,57
10,2	8,08	7,09	0,71
12,6	11,39	11,94	0,39
12,8	13,13	12,41	0,51



**Figura 4.8 - Curva de calibração da equação do vertedor com os valores obtidos pelo método volumétrico.**

Realizada a comparação entre os valores de vazão, medidos por meio do método volumétrico e os calculados pela equação do vertedor para cada valor de cota, nota-se que as cotas 7,6 e 10,2 foram as que tiveram maiores diferenças, 0,81 e 1,0 L/s, respectivamente. Contudo, analisando o gráfico da figura 4.9, conclui-se que as medições realizadas a campo seguiram a mesma tendência da curva do gráfico que representa a equação 4.2 da bibliografia.

Portanto, neste estudo, foi utilizada a equação determinada por Gourley e Crimp, citado em Lencastre (1972) como curva-chave do vertedor triangular de 120°, instalado na MR.

### **4.3 Análise do Comportamento do Lençol Freático na MR**

Para a análise do escoamento subterrâneo da MR foram utilizados os resultados dos ensaios de bombeamento dos poços tubulares de captação de água subterrânea no Campus da UFSM. Esses estudos foram realizados em poços únicos, sem poço imagem ou de monitoramento. Um deles situa-se na Torre da Rádio e está localizado no divisor de águas direito da microbacia. O segundo poço

tubular, localizado na chamada Área Nova, encontra-se no divisor de águas do lado esquerdo da microbacia.

Esses ensaios foram realizados pela Empresa Hidrobrasil, no ano de 2008 (UFSM, 2008), para obtenção da outorga de uso da água subterrânea dos poços pertencentes à UFSM. Assim, os dados reunidos para este estudo foram retirados do relatório interno HIDROBRASIL/UFSM, do ano de 2008.

Delineada a fonte de estudo, cabe analisar os resultados nela estampados. Os testes de bombeamento efetivados tiveram uma duração de 24 h e ambos foram realizados com o mesmo tipo de bomba submersa, com capacidade de 5,5 CVs da marca Vambro.

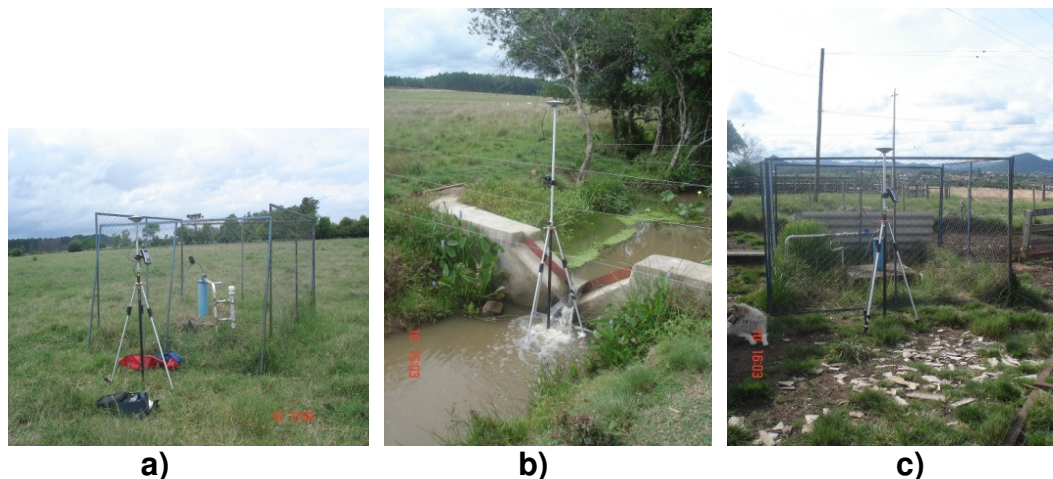
O Poço, localizado no divisor de águas esquerdo da MR, com profundidade de 90m e nível freático em 40,0 m de profundidade, no teste realizado no dia 22/10/2008, apresentou um rebaixamento de apenas um metro durante as 24h de bombeamento. Assim, constatou-se a presença de um subsolo no entorno do poço, com uma boa capacidade específica:  $1,6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$  (Vazão/rebaixamento) de recuperação, provavelmente penetrando alguns níveis de materiais arenosos com boa relação Porosidade/Permeabilidade.

Já no teste de bombeamento executado no Poço tubular, localizado no divisor de águas direito da MR, o qual apresentou uma profundidade de 80m e um nível freático a 21m de profundidade, realizado no dia no dia 2/10/2008, verificou-se um rebaixamento de 8m, e uma capacidade específica de  $0,0625 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}$ . Esses resultados indicam que o terreno penetrado pela perfuração e seu entorno, possivelmente, seja constituído por rochas sedimentares com menor capacidade de recuperação, de constituição mais argilosa, apresentando uma relação Porosidade/Permeabilidade menor do que o outro poço. Por outro lado, informa-se que a densidade de captações de água através de poços tubulares e/ou nascentes nessa porção da Microbacia pode ser considerada baixa, o que dificulta uma avaliação precisa da flutuação do nível de água subterrânea, bem como a obtenção de informações sobre a tendência de direção de fluxo subterrâneo.

Juntamente com isso foi realizado um levantamento da diferença de profundidade do lençol freático dos dois poços em relação ao nível do fundo do córrego. Em estudo, Heath (1983) considera a profundidade da superfície potenciométrica um importante fator no uso da superfície do solo e no aproveitamento dos suprimentos de água dos aquíferos livres. Onde a superfície

freática encontra-se a pequena profundidade, o terreno torna-se encharcado durante a estação chuvosa. A direção e a inclinação da superfície freática são também importantes, porque indicam a direção do movimento da água subterrânea. A posição e a inclinação da superfície freática (ou da superfície potenciométrica de um aquífero confinado) são determinadas medindo-se a posição do nível da água em poços e em um ponto fixo (ponto de medição). Portanto, para se estimar as cargas hidráulicas dos poços em relação ao vertedor (ponto de medição), procedeu-se da forma a seguir exposta.

Primeiramente, para calcular a diferença de profundidades do lençol freático entre os dois poços foi realizado um levantamento topográfico em cada um dos três pontos (dois poços de abastecimento e o vertedor). Com isso, determinou-se que o nível do solo do poço do divisor de águas à esquerda do córrego apresentou uma altitude de 115m, enquanto o nível do solo do poço do divisor de águas do lado direito do córrego apresentou 124m de altitude. O fundo do leito do canal do córrego possui uma altitude de 92m no ponto do vertedor. A figura 4.10 mostra o levantamento topográfico sendo realizado com um GPS topográfico Promak100.



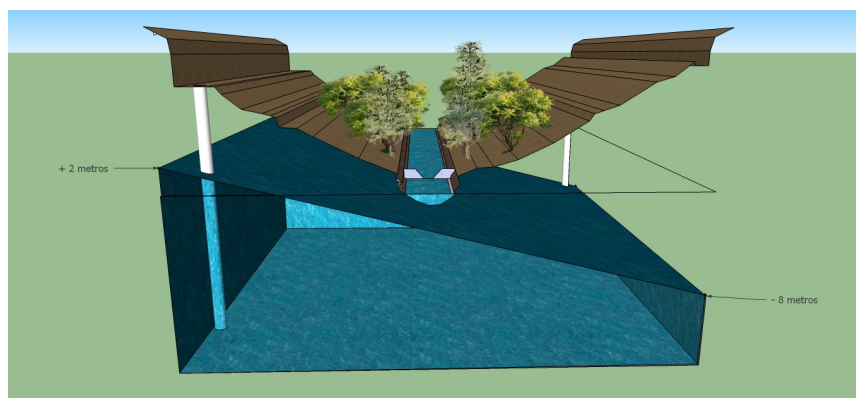
**Figura 4.9 - Levantamento da altitude a) do poço da Área nova b) do fundo do leito do córrego na calha e c) do poço da Antena da Rádio.**

Após esse procedimento e com a utilização dos dados do nível freático de cada poço, retirados do relatório de outorga da HIDROBRASIL/UFMS (2008), determinou-se que a distância entre os dois poços era de 1647m e que existe um

caimento de 28m entre os níveis freáticos dos dois poços. Devido a essa declividade, o lençol freático estimado estaria a 2,3m abaixo do córrego da microbacia. Com isso, pode-se dizer que existe uma tendência desse córrego não ter abastecimento pelo lençol freático (condição de rio efluente) e, sim, ter abastecimento somente da zona vadosa do solo. Salienta-se que, quando toda a água armazenada nessa camada é drenada, o córrego tende a secar, ficando com o lençol freático abaixo da superfície do terreno.

Portanto, com essas análises e devido às características hidrogeológicas da microbacia, pode-se formular como hipótese de trabalho, que o córrego da MR não possui contribuição significativa do lençol freático, somente da camada vadosa do solo. Com isso, conclui-se que os resultados indicam que há uma contribuição lateral de fluxo subterrâneo do divisor de águas do lado direito para o divisor de águas do lado esquerdo da MR. A figura 4.10 apresenta uma ilustração dessa diferença de nível do lençol freático entre os dois poços tubulares de captação de águas no Campus/UFSM.

As informações de CPRM (1995) relatam, ainda, que os aquíferos, no período de janeiro a outubro, não realizam uma complementação das vazões dos córregos em estudo, o que indica, nesse período, uma condição de rio influente (FEITOSA e MANOEL FILHO, 1997).



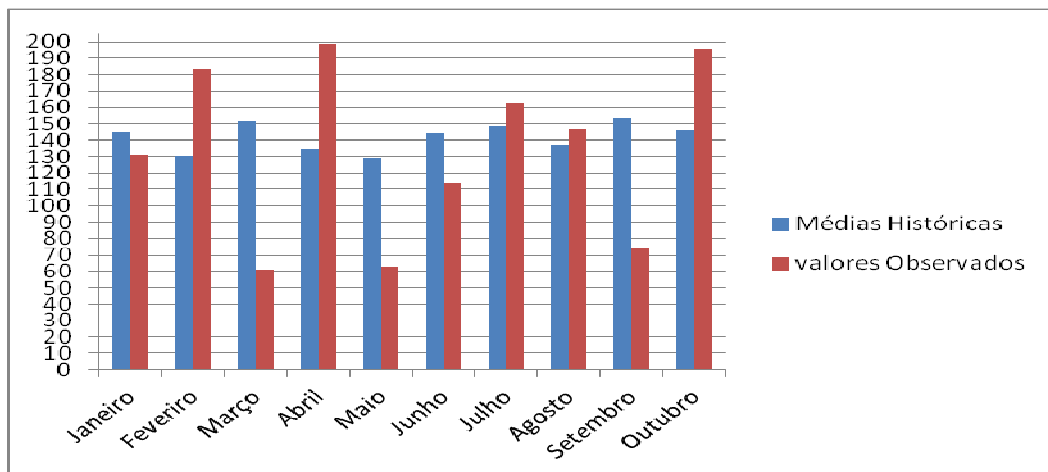
**Figura 4.10 - Ilustração da possível variação do lençol freático da MR.**

## 4.4 Avaliação do Regime Hidrológico das Microbacias

### 4.4.1 Balanço Hídrico das Microbacias

#### 4.4.1.1 Análise dos dados pluviométricos

Durante os 10 meses desta pesquisa, as microbacias receberam uma precipitação total de 1331,7mm, 88,6mm abaixo da média de 1420,3mm esperada para o período.



**Figura 4.11 - Chuvas médias mensais históricas de trinta anos e chuvas mensais observadas.**

O mês de abril foi o mês que obteve o maior volume precipitado: 199mm, 64,7mm acima da média esperada para o mês. Já em março, a precipitação registrada foi somente de 61,2mm, ficando 90,5mm abaixo do volume aguardado.

Com a análise do gráfico 4.11, nota-se que ocorreu uma intercalação entre meses com precipitações acima e abaixo das médias esperadas. Os meses em que as precipitações foram abaixo da média foram antecidos de meses em que houve um grande volume precipitado. A título de exemplo, podem ser citados os meses de março e maio, porque, neles, ocorreram precipitações abaixo da metade esperada,



sendo que nos anteriores (fevereiro e abril, respectivamente) as precipitações foram 29 % e 49 % acima do volume esperado.

Diante do exposto, pode-se afirmar que, de forma global, para análise do balanço hídrico das microbacias, a precipitação ocorrida durante o período deste estudo apresentou uma média abaixo do esperado.

#### 4.4.1.2 Microbacia Rural

##### 4.4.1.2.1 Análise do balanço hídrico

Na Tabela 4.5, estão representadas as variáveis essenciais ao balanço hídrico da MR ao longo do período estudado. Os dados da coluna Fatores Não Controlados – FNC, incluem o balanço de perdas via interceptação, transpiração da vegetação, evaporação do solo, evaporação do curso d'água, infiltração profunda, etc.

Na linha “representatividade %”, estão postados os valores em percentagem em relação à precipitação ocorrida no período total do estudo, que está representada por 100%.

O balanço hídrico dos meses de janeiro e fevereiro mostra que a MR recebeu um volume precipitado acima da média esperada para esses meses e que mais de 99% desse volume foi abrangido pelo FNC, com menos de 1% da precipitação transformada em deflúvio.

Já no mês de março, a precipitação foi somente de 61,2 mm e todo esse volume foi retido pelos FNC, não ocorrendo escoamento na microbacia. O maior evento de chuva ocorrido nesse mês foi de 27,8 mm, distribuídos em 11 horas. A maior intensidade registrada foi de 18,4 mm/h e não apresentou escoamento no período mínimo de coleta de dados de 1 hora. Esses resultados podem ser justificados pelos ensaios de infiltração realizados na MR, em que a taxa de infiltração inicial média foi de 191,2 mm/h, valor 10 vezes maior que a intensidade máxima registrada.

**Tabela 4.4 - Balanço Hídrico anual da MR.**

Mês	Precipitação (mm)	Deflúvio (mm)	FNC* (mm)	Deflúvio (%)	FNC* (%)
Janeiro	130,6	0,6	130,0	0,5	99,5
Fevereiro	183,8	1,2	182,6	0,7	99,3
Março	61,2	0,0	61,2	0,0	100,0
Abril	199,0	8,1	191,0	4,0	96,0
Maio	63,2	7,4	55,8	11,7	88,3
Junho	113,8	13,7	100,1	12,0	88,0
Julho	162,9	27,7	135,2	17,0	83,0
Agosto	146,8	28,3	118,5	19,3	80,7
Setembro	74,6	11,1	63,5	14,9	85,1
Outubro	195,8	20,1	175,7	10,3	89,7
<b>TOTAL</b>	<b>1331,7</b>	<b>118,2</b>	<b>1213,5</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>Representatividade %</b>	<b>100,0</b>	<b>8,9</b>	<b>91,1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

\* **Transpiração da vegetação (mm) + evaporação do solo (mm) + evaporação do curso d'água (mm) + infiltração profunda (mm) + evaporação das superfícies construídas**

O mês de abril foi o que obteve maior precipitação durante o período monitorado, atingindo 199 mm, gerando um escoamento de 8,05 mm. Esses baixos valores de escoamento continuam mostrando que, apesar da microbacia, em grande parte da sua área, ser utilizada para bovinocultura extensiva, há mais de trinta anos, existe uma tendência de ela possuir alto potencial de retenção ou infiltração de água no solo.

Em maio, a entrada na microbacia foi de 63,20 mm, dois mm a mais do que no mês março. Contudo, em maio, a microbacia teve um deflúvio que representou 11% do volume precipitado. Isso, provavelmente, é reflexo de a microbacia estar com a camada vadosa do solo preenchida pelo grande volume precipitado no mês de abril, diminuindo o seu potencial de infiltração e aumentando a transformação do volume de entrada em escoamento.

Em junho e julho, a microbacia obteve comportamento semelhante, recebendo volumes de entrada na média esperada para os meses, sendo que 80 % desses volumes foram consumidos pelos FNC. Esse é o período em que ocorre a menor evapotranspiração durante o ano, por corresponder aos meses de inverno, nos quais se registra uma diminuição do tempo e da intensidade da radiação solar,

fazendo com que as temperaturas não se elevem, diminuindo a evaporação da água para a atmosfera. Com isso, pode-se afirmar que a maior parte de referido volume consumido pelos FNC deve-se à infiltração da água no solo durante o período em questão.

O mês de agosto foi o período em que a microbacia teve o maior volume transformado em deflúvio durante o período monitorado, chegando a 19,3%. Nesse mês, a microbacia obteve uma entrada de 146,8 mm e foi antecedida de dois meses em que ocorreram volumes de entrada acima das médias esperadas. Dessa forma, a microbacia permaneceu com a zona vadosa do solo preenchida na maior parte do tempo, diminuindo o potencial de infiltração do solo e, conseqüentemente, aumentando o escoamento superficial e subsuperficial.

Em setembro, a microbacia recebeu um volume de somente 74,6 mm, 50,8 % menor que o recebido no mês de agosto. Contudo, neste mês, o deflúvio da microbacia sofreu redução de 39 % em relação ao do mês anterior, mostrando que ocorreu uma contribuição da água armazenada no solo no deflúvio da MR.

O mês de outubro foi o que recebeu o segundo maior volume precipitado, sendo superado somente pelo mês de abril. Mesmo com esse aumento do volume de entrada, a microbacia continuou diminuindo o percentual do volume escoado, chegando a 10,26 %, 4% menor que no mês anterior, em que se constatou uma precipitação três vezes menor que em outubro.

Os meses em que a microbacia teve as maiores percentagens de precipitação transformadas em escoamento foram julho e agosto, 27,6% e 28,3%, respectivamente. Isso pode ser justificado pela época do ano e pela característica das chuvas que ocorrem nesse período.

No inverno, as chuvas, historicamente, apresentam maior volume e são bem distribuídas no tempo, proporcionando maior saturação e preenchendo a camada vadosa do solo, o que facilita a geração de escoamento superficial.

Analisando o balanço hídrico global do período monitorado, foi observado que o volume consumido pelos FNC representou 91,12% das perdas anuais do sistema e o deflúvio anual da microbacia somente 8,88% de toda a entrada do sistema. Com esses resultados, novamente, pode-se levantar a hipótese de que essa microbacia não possui contribuição subterrânea em seu escoamento. Como foi salientado na análise do escoamento subterrâneo dessa microbacia, é bastante provável que ela seja abastecida somente pela água armazenada na camada

vadosa do solo, refletindo, dessa forma, no grande percentual de água consumida pelos FNC.

#### 4.4.1.3 Microbacia Urbana

##### 4.4.1.3.1 Vazão exógena

Por meio do levantamento do número de habitações existentes na MU, realizado juntamente à CORSAN, determinou-se que a microbacia possui cerca de 2800 habitações. Logo, chegou-se a um valor de uso médio mensal de 9,9m<sup>3</sup> de água por residência (informação verbal).<sup>3</sup>

Com esses dados, determinou-se que a MU possui uma entrada externa de 27720m<sup>3</sup> mensais, representando uma vazão de 10,6 L/s, que passa pelo exutório da microbacia.

No ano de 2004, Agnes (2004) realizou esse mesmo levantamento juntamente à CORSAN e determinou a existência de 1230 economias e utilizou o mesmo consumo mensal por habitação. Nesse primeiro levantamento, a microbacia recebia 12170m<sup>3</sup> por mês, gerando uma vazão de 5,1 L/s no seu exutório.

Transcorridos sete anos, houve um significativo aumento (mais de 100 %) das habitações abastecidas pela CORSAN. Isso é reflexo da construção de núcleos habitacionais populosos, como o condomínio Monte Belo, que possui mais de 500 residências. Outro fator que deve ser levado em consideração é o aumento do número de pessoas que procuram residências distantes do centro urbano.

Deve-se ter presente, ainda, que, dentro da MU, existem outras entradas externas no seu balanço hídrico, que não podem ser estimadas, como a água retirada de poços (tubulares, artesianos, etc.) em residências e em empresas instaladas dentro da microbacia. Os bairros em que está situada a MU localizam-se a 10km do centro da cidade de Santa Maria. Em razão disso, quando a área da microbacia começou a ser habitada, após a construção do campus da UFSM, o local

---

<sup>3</sup> Entrevista realizada na sede da CORSAN, com o Engenheiro responsável pela central de distribuição de água do Bairro Camobi, em outubro de 2011,

não possuía rede de abastecimento e a obtenção de água era tão somente por meio de poços, como até hoje o é no campus da UFSM, por exemplo.

Outro fator importante é a presença de dois postos de combustíveis e mais uma empresa especializada em lavagem expressa para carros, na área de captação da microbacia, que realizam de 80 a 100 lavagens por dia, utilizando a água de poços. Essa água retirada do subsolo, utilizada por residências e empresas, é lançada para a rede de drenagem ou em fossas sépticas, que resultam em um incremento na entrada externa do balanço hídrico da microbacia. Dessa entrada externa de fonte exógena ao balanço hídrico da microbacia, parte é escoada diretamente pelo sistema de drenagem e parte é absorvida pelo solo, abastecendo o lençol freático que, por fim, também abastecerá o córrego da MU nos períodos de estiagem.

Como já se mencionou anteriormente, a microbacia em estudo não possui sistema de coleta cloacal, sendo, por vezes, usado somente o sistema de drenagem pluvial, o que lhe traz problemas quali-quantitativos. Ainda, pode-se considerar que o lençol freático da microbacia realiza um abastecimento considerável dessas entradas exógenas.

#### 4.4.1.3.2 Preenchimento da série de vazão

O levantamento topográfico realizado a campo resultou no perfil frontal mostrado na figura 4.12. Para a aplicação da equação de Manning, a secção levantada foi dividida em três secções parciais, devido às diferentes coberturas do solo. Nesse viés, cabe referir que a secção central foi subdividida em outras três secções, a fim de separar a calha Parshall de suas laterais. Ressalta-se que as linhas verticais, que dividem as secções parciais Q1, Q2 e Q3, são linhas imaginárias e não foram computadas no cálculo do perímetro molhado. Assim, a vazão total da secção é o somatório das secções parciais.

Foram utilizadas as três secções no intuito de separar por tipos de rugosidade que farão parte do cálculo da vazão estimado pelo método Manning. No centro da secção denominada Q2, localiza-se a calha Parshall, que tem o concreto como material. Já a margem direita (Q1) possui uma vegetação densa e alta e a margem

esquerda (Q3), uma vegetação rasteira. Em razão dessas características, referentes à cobertura do solo, foram utilizados os coeficientes 0,015; 0,125 e 0,070, respectivamente.



**Figura 4.12 - Perfil frontal do exutório da MU.**

A declividade da linha d'água encontrada para cada secção parcial, margens esquerda e direita, por meio do levantamento topográfico, foi de 0,0176 e 0,188, respectivamente, e de 0,0174, para a subsecção com revestimento de concreto, determinada através de um ajuste realizado na curva-chave da calha Parshall.

A tabela 4.5 mostra os valores de vazão total determinados para cada centímetro de cota que extrapola a estrutura hidráulica, resultado da soma das vazões parciais. Os valores de vazão foram calculados até 1,5 m acima da calha Parshall, abrangendo todas as vazões extrapoladas.

**Tabela 4.5 - Relação cota – vazão determinada por meio da equação de Manning, para as cotas que extravasaram a calha Parshall da MU.**

Cota (cm)	Vazão (L/s)	Cota (cm)	Vazão (L/s)	Cota (cm)	Vazão (L/s)
75	841,48	105	3930,9	135	9758,9
80	1105,1	110	4739,5	140	11209
85	1486,7	115	5626,3	145	12781
90	1971,9	120	6583,4	150	14395
95	2539,6	125	7593		
100	3193,7	130	8518,1		

#### 4.4.1.3.3 Análise do Balanço Hídrico

Após a determinação da vazão de entrada externa e das vazões que extravasaram a estrutura hidráulica, foi possível calcular o balanço hídrico da microbacia. Na Tabela 4.6 estão representadas as variáveis essenciais para o balanço hídrico da MU ao longo do período estudado, da mesma forma como foram organizados os dados da MR. Os dados da coluna “FNC” incluem o balanço de perdas via interceptação, transpiração da vegetação, evaporação do solo, evaporação do curso d’água, infiltração profunda e evaporação das áreas construídas, etc.

Na linha “representatividade %” estão postados os valores em percentagem em relação à precipitação ocorrida no período total do estudo, que está representada por 100%.

**Tabela 4.6 - Balanço Hídrico anual da MU.**

Mês	Precipitação (mm)	Deflúvio (mm)	FNC* (mm)	Deflúvio (%)	FNC* (%)
Janeiro	130,6	18,9	111,7	14,5	85,5
Fevereiro	183,8	36,2	147,6	19,7	80,3
Março	61,2	12,8	48,4	20,9	79,1
Abril	199	111,7	87,3	56,1	43,9
Mai	63,2	29,6	33,6	46,8	53,2
Junho	113,8	47,3	66,5	41,6	58,4
Julho	162,9	117,3	45,6	72	28
Agosto	146,8	120,5	26,3	82,1	17,9
Setembro	74,6	28,4	46,2	38,1	61,9
Outubro	195,8	104,3	91,5	53,3	46,7
TOTAL	1331,7	627	704,7	-	-
Representatividade %	100	47,1	52,9	-	-

\* Transpiração da vegetação (mm) + evaporação do solo (mm) + evaporação do curso d’água (mm) + infiltração profunda (mm) + evaporação das áreas construídas.

É importante ter presente que, para a realização da comparação direta das duas microbacias em estudo, o balanço hídrico da MU foi realizado retirando-se o valor de vazão referente à entrada exógena de 10,6 L/s determinada para o local.

Analisando a tabela 4.6, observa-se que, nos meses de janeiro, fevereiro e março, o volume perdido pelos FNC foram maiores que o volume transformado em deflúvio. Salienta-se, ainda, que, em fevereiro, isso ocorreu mesmo com a microbacia recebendo uma precipitação de 40 mm acima da média esperada.

Em abril, ocorreu uma inversão dessa tendência. Isso porque o volume transformado em deflúvio foi maior que o perdido pelos FNC, o que é reflexo de a microbacia ter recebido uma precipitação de 199 mm, distribuída em três eventos, sendo que, no maior, ocorreu uma precipitação de 105 mm em apenas 7 horas. Além disso, o volume precipitado superou em mais de 50% a média esperada, sendo o espaço de tempo em que ocorreu o maior volume precipitado durante o período do estudo.

Em maio e junho, ocorreram precipitações abaixo das médias esperadas. Nesses dois meses, o volume transformado em deflúvio foi em torno de 14% menor que a quantidade de água consumida pelos FNC, como aconteceu em janeiro, fevereiro e março. Contudo, nestes três primeiros meses do ano, a quantidade de água transformada em deflúvio foi, aproximadamente, 60% menor que a quantidade de água consumida pelos FNC.

A sazonalidade, oriunda das estações do ano, é uma das responsáveis por essa diferença. Em suma, nos três primeiros meses de verão, existe uma maior evapotranspiração que nos meses de maio e junho, em que as temperaturas são mais amenas, a radiação solar tem menos intensidade e a insolação já é menor. Portanto, pode-se atribuir a maior parte da diferença em questão à variação da evapotranspiração ocorrida dentro da microbacia.

Nos meses de julho e agosto, a MU recebeu precipitações de 162,9 mm e 146,8 mm, transformando, respectivamente, 72% e 82 % da sua entrada em deflúvio. Assim, ocorreu, novamente, aumento das perdas por deflúvio e diminuição das perdas pelos FNC.

Já no mês de setembro ocorreu uma precipitação de 74,6 mm, valor abaixo do esperado, registrando inversão da tendência dos três meses anteriores e apresentando maior perda pelos FNC do que por deflúvio, como nos três primeiros



meses monitorados. Frise-se que esse fato era previsto, devido ao pequeno volume precipitado.

O mês de outubro apresentou 195,8 mm de precipitação, em seis eventos isolados, distribuídos em 12 dias. Nele, o deflúvio gerado foi de 53,27%, representando 104,31 mm. Nota-se que mais da metade da precipitação escoou, mas não chegou à proporção do mês de agosto, em que 82% do volume de entrada foram escoados. Um dos fatores que podem ter gerado essa diferença foi o aumento das temperaturas, com a maior incidência da radiação solar, aumentando o processo de evaporação e transpiração vegetal, gerando aumento da perda pelos FNC. Contudo, observa-se que esse volume transformado em deflúvio pode ser considerado alto, ultrapassando mais da metade do volume de entrada.

Analisando o balanço hídrico global do período monitorado para a MU, dos 1331,70 mm precipitados, 612,0 mm foram transformados em deflúvio e 719,64 mm foram consumidos pelos FNC, representando, respectivamente, 45,96% e 54,04% do total de entrada do sistema. Com isso, o deflúvio gerado na microbacia tem um valor muito expressivo, representando quase metade do volume de entrada da MU. Portanto, analisando as perdas da microbacia e levando em consideração a hipótese da MU apresentar uma pequena infiltração de água no solo, devido ao seu uso e ocupação do solo predominante, pode-se levantar a hipótese de que mais da metade do volume de entrada foi perdida pelo deflúvio e pelo processo de evapotranspiração.

#### 4.4.1.4 Análise comparativa do Balanço Hídrico das duas Microbacias

Para melhor comparação, a tabela 4.7 mostra os dados das duas microbacias colocados em colunas lado a lado.

**Tabela 4.7 - Balanço Hídrico das duas Microbacias.**

Mês	Precipitação (mm)	Microbacia Urbana		Microbacia Rural		Razão Urbana/Rural	
		Deflúvio (mm)	FNC* (mm)	Deflúvio (mm)	FNC* (mm)	Deflúvio	FNC*
Janeiro	130,6	18,9	111,7	0,6	130,0	29,4	0,9
Fevereiro	183,8	36,2	147,6	1,2	182,6	29,1	0,8
Março	61,2	12,8	48,4	0,0	61,2	0,0	0,8
Abril	199,0	111,7	87,3	8,0	191,0	13,9	0,5
Maio	63,2	29,6	33,6	7,4	55,8	4,0	0,6
Junho	113,8	47,3	66,5	13,7	100,1	3,5	0,7
Julho	162,9	117,3	45,6	27,7	135,2	4,2	0,3
Agosto	146,8	120,5	26,3	28,3	118,5	4,3	0,2
Setembro	74,6	28,4	46,2	11,1	63,5	2,6	0,7
Outubro	195,8	92,4	103,4	20,1	175,7	4,6	0,6
TOTAL	1331,7	612,1	719,6	118,2	1213,4	5,1	0,6

\* Transpiração da vegetação (mm) + evaporação do solo (mm) + evaporação do curso d'água (mm) + infiltração profunda (mm)

Nesta tabela, os valores apresentados nas duas últimas colunas mostram a diferença entre a MU e a MR em relação ao deflúvio e aos FNC ocorridos em cada microbacia.

Primeiramente, observa-se que em nenhum dos meses deste estudo o deflúvio da MR foi superior ao ocorrido na MU; também se observou que as perdas pelos FNC na MR foram inferiores às da MU. Essas relações mostram os diferentes comportamentos das microbacias, gerados pelos diversos usos e ocupações do solo.

Em janeiro e fevereiro, o deflúvio na MU foi mais de 29 vezes superior ao registrado na MR. Nesses dois meses, ocorreram as maiores perdas pelos FNC na MU, chegando a mais de 80%. Em fevereiro, ocorreu uma precipitação 50 mm maior do que a ocorrida em janeiro, gerando, na MU, um aumento de 18 mm e, na MR, um acréscimo de 0,6 mm no deflúvio em relação ao mês de janeiro. As reações diversas ocorridas nas duas microbacias podem ser atribuídas aos diferentes usos e ocupações do solo, o que leva a levantar a hipótese de que, na MR, ocorreu maior

evapotranspiração e maior infiltração da água no solo, enquanto, na MU, a impermeabilização do solo gerou maior escoamento.

Em março, mês em que a MR não apresentou deflúvio, nota-se, novamente, a influência da urbanização presente na MU, que apresentou um deflúvio de 12,8 mm, enquanto, na MR, todo este volume foi consumido pelos FNC.

No mês de abril, ocorreu a maior precipitação no período do estudo. Novamente, são ressaltadas as diferenças de uso e ocupação do solo entre as duas microbacias. A MR apresentou um deflúvio de oito mm, enquanto o da MU foi de 111,7 mm. Constatou-se, pois, entre as duas microbacias, uma diferença percentual menor do que a registrada nos meses de janeiro e fevereiro, mas com uma representatividade maior.

Em maio, constatou-se a diminuição do volume precipitado em mais de 70 % em relação ao mês anterior. Isso resultou em uma diminuição do deflúvio da MU também em mais de 70%, enquanto a MR teve diminuição de somente 7%, possivelmente ocasionada pelo abastecimento do córrego pela água retida na camada vadosa do solo durante o mês de abril.

Junho recebeu uma precipitação em torno de 20 mm abaixo do esperado. Em que pese esse resultado, mesmo assim ocorreu um aumento de 50% nos volumes escoados nas duas microbacias.

Em julho e agosto, ocorreram as maiores diferenças nas perdas pelos FNC entre as microbacias. Nesses dois meses, respectivamente, a MU perdeu somente 30 % e 20% dos volumes perdidos na MR nesse mesmo período. Analisando esses valores, pode-se levar em conta que, nos meses em questão, ocorre menor evapotranspiração, devido às baixas temperaturas e à menor incidência de radiação solar. Portanto, pode-se aventar a hipótese de essas diferenças nos FNC estarem atreladas à ocorrência de maior infiltração de água no solo na MR do que na MU.

Setembro foi o mês que obteve a menor diferença entre os deflúvios gerados. Nele, a precipitação registrada foi 50% menor do que a de agosto, diminuindo, conseqüentemente, o deflúvio, na MU, em mais de 75% e, na MR, em 60%. Essa diferença de deflúvio entre os dois meses foi menor na MR, mostrando uma possível contribuição da água armazenada no solo nesta microbacia, confirmando as grandes diferenças dos FNC registrados nos meses de julho e agosto.

Em outubro, as microbacias receberam uma precipitação 40% acima do esperado, significando aumento no deflúvio das duas microbacias, contudo, como

nos meses anteriores, enquanto a MR teve um aumento de 1,8 vezes, a MU triplicou o volume escoado, mostrando, novamente, a interferência da urbanização sobre o regime hidrológico.

Com isso, analisando os valores globais de deflúvio e dos FNC nas duas microbacias, nota-se que, do total de chuva precipitado nelas, 1331,7 mm, a MU teve um deflúvio de 612,1 mm, enquanto a MR, somente 118,2 mm. Tem-se, assim, que o deflúvio, na MU, foi 5,2 vezes maior que na MR.

Analisando o volume perdido pelos FNC de um modo global, observa-se que a MR teve uma perda de 1213,5 mm, representando 91,12% do total precipitado, enquanto a MU obteve somente 719,6 mm, o que configura uma perda 37% menor. Essa diferença de 494 mm demonstra, principalmente, as diferenças nas variáveis infiltração de água no solo e evapotranspiração das duas microbacias. Com isso, fica evidente a existência de uma interferência da urbanização instalada na MU, o que se manifesta no seu balanço hídrico, acarretando maior deflúvio quando comparada à MR. Contudo, pode-se, também, afirmar que a MR apresenta maior perda pelos FNC do que a MU, existindo uma tendência de a variável “infiltração de água no solo” ser a que apresenta maiores diferenças em função da característica influente do aquífero sob a MR.

#### 4.4.2 Avaliação das curvas de permanência das duas microbacias

##### 4.4.2.1 Análise do volume gerado de 40% a 100% da permanência.

Inicialmente, foram construídas curvas de permanência com 100% do tempo para cada mês do monitoramento, o que foi efetivado com a intenção de realizar uma análise global das vazões ocorridas nas microbacias.

Contudo, com o intuito de realizar uma melhor apreciação da disponibilidade hídrica e das pequenas vazões, foram calculados os volumes escoados em cada período, considerando a faixa de 40% a 100% (BAUMHARDT, 2010) da permanência para cada mês e para o período integral. Por serem bacias pequenas, essa janela da curva de permanência analisada permite que se tenha segurança de

que os valores resultantes sejam do escoamento base, sem influência das vazões de cheia. Os volumes calculados estão representados na tabela 4.8.

**Tabela 4.8 - Demonstrativo dos volumes calculados para 40% a 100% do tempo da curva de permanência para as duas microbacias.**

Mês	Volume de 40% a 100%		Precipitação	Deflúvio	
	MR	MU		MR	MU
	m <sup>3</sup>		mm	mm	
Janeiro	0,000	6,520	130,600	0,000	0,003
Fevereiro	0,000	3584,870	183,800	0,000	1,552
Março	0,000	232,680	61,200	0,000	0,101
Abril	216,690	5816,320	199,000	0,094	2,518
Mai	1430,750	12848,890	63,200	0,619	5,562
Junho	1580,780	11751,910	113,800	0,684	5,087
Julho	5117,480	19277,770	162,900	2,215	8,345
Agosto	11488,620	34905,810	146,800	4,973	15,111
Setembro	2812,610	4593,060	74,600	1,218	1,988
Outubro	3363,180	8181,200	195,800	1,456	3,542
TOTAL	8069,6	63680,8	1331,7	3,5	27,6

Esta tabela mostra que, nos três primeiros meses do estudo, a MR não apresentou escoamento nos últimos 60% da permanência. Nesse mesmo período, a MU apresentou um pequeno volume escoado. Observa-se, ainda, que, no mês de fevereiro, ocorreu uma precipitação de 183 mm, aumentando consideravelmente o volume escoado da MU quando relacionado com o mês anterior. Ressalte-se, também, que, no mês em questão, a MR novamente não apresentou deflúvio.

Abril foi o mês em que ocorreu o maior volume precipitado durante este estudo. A MR apresentou um volume escoado que não alcançou 0,1 mm, enquanto a MU teve 2,5 mm escoados. Tais valores são considerados baixos, em ambas as microbacias, quando se referem à disponibilidade hídrica.

No mês de maio, ocorreu uma pequena precipitação de 63,2 mm, volume três vezes menor do que o de entrada do mês abril. Contudo, observa-se que durante os últimos 60% do tempo, as microbacias apresentaram maior deflúvio que nos meses anteriores. A MR continuou com um pequeno volume de cerca de 1 mm, enquanto a

MU teve um volume escoado de 5,5 mm, valor duas vezes maior que o escoado no mês anterior.

Esses resultados estampam uma possível diferença da contribuição subterrânea das duas microbacias. Isso demonstra que a MR apresenta grande defasagem da contribuição de água subterrânea em seu deflúvio, por uma provável interferência de seu aquífero influente, enquanto a MU, apesar de possuir grande parte da sua área impermeável, detém, ainda, uma possível influência subterrânea no seu deflúvio.

No mês de junho, as microbacias continuaram com o mesmo comportamento do mês anterior: a MU apresentando um volume escoado oito vezes maior que o da MR, durante os últimos 60% da permanência. Em julho, ocorreu aumento do deflúvio nas duas microbacias, diminuindo a diferença entre elas, mas mantendo o deflúvio da MU superior ao da MR. Nesse mês, o volume precipitado foi acima da média prevista, favorecendo o aumento do deflúvio nas duas microbacias. Em agosto, tiveram o maior deflúvio nos últimos 60% da permanência, escoando 15 mm na MU e 5 mm na MR.

Esse aumento do deflúvio das duas microbacias demonstra a ocorrência da contribuição subterrânea maior no escoamento de ambas, resultado do armazenamento de água no solo ao longo dos últimos três meses, nos quais houve um volume acumulado de 421 mm.

No mês de setembro, por outro lado, ocorreu uma precipitação de somente 74 mm, observa-se uma diminuição drástica dos volumes escoados nas duas microbacias, diminuindo 7,5 vezes o volume escoado na MU e quatro vezes na MR.

Apesar da MR registrar um volume escoado menor do que o da MU para o mês anterior, a MR apresentou maior regularização do seu deflúvio, mostrando que, embora a MU tenha obtido maior volume de água escoada no mês anterior, esta contribuição não se manteve. Logo, houve, nela, menor regularização do fluxo em relação à MR.

No último mês de monitoramento, outubro, as microbacias receberam um grande volume precipitado e, ainda assim, a MR continuou apresentando um volume escoado menor que a MU. Outro fator que pode ser observado é que a MU mostrou-se mais eficiente no aumento do volume escoado no último mês. Esta informação, contudo, fica atrelada a uma possível contribuição subterrânea maior para o deflúvio na MU do que na MR.

Analisando o deflúvio em todos os meses, observa-se que a MU o teve superior ao da MR, ocorrendo menor diferença entre as microbacias no mês de setembro, após terem recebido uma grande precipitação. Já analisando a MR, tem-se que nos meses de verão, mesmo tendo recebido grandes volumes de precipitação, ela não obteve deflúvio nos últimos 60% da permanência; no entanto, na proximidade dos meses de inverno, começou a apresentar deflúvio.

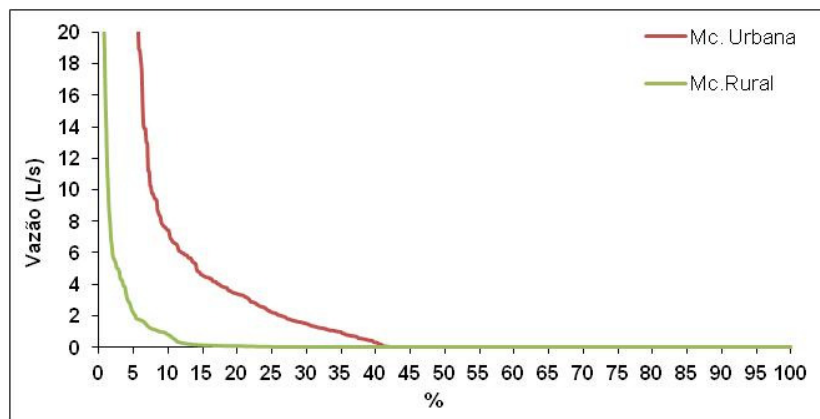
Essas características mostram uma tendência da MR a não possuir contribuição do lençol freático em seu córrego, sendo abastecida somente pela água armazenada na camada vadosa do solo, como já foi explanado na análise do comportamento do lençol freático nessa microbacia. Enquanto isso, a MU, apesar de, possivelmente, possuir menor infiltração da água no solo, apresenta a hipótese de que ocorra uma contribuição subterrânea em seu córrego.

Ademais, com a análise dos volumes totais escoados nos últimos 60% da permanência de todo o período deste estudo, observa-se que a MU apresentou um deflúvio quase oito vezes maior que a MR, fato este não esperado quando analisado somente o uso e a ocupação do solo de cada microbacia. Portanto, como os últimos 60 % da permanência representam a disponibilidade hídrica de cada microbacia, novamente levanta-se a hipótese de a MU receber uma contribuição subterrânea superior à destinada à MR.

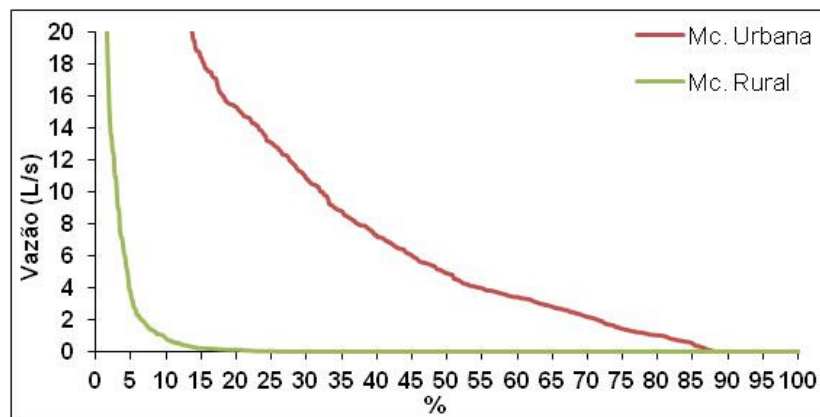
#### 4.4.2.2 Comparação das curvas mensais de 100% da Permanência

Ao analisar as curvas de permanência geradas com 100% do tempo, observou-se que existia grande diferença nas vazões dos primeiros 20% de permanência entre as microbacias, fazendo com que não fosse possível plotar as curvas das duas microbacias em um mesmo gráfico. Sendo assim, com a idéia de avaliar as pequenas vazões por meio desse método, optou-se por gerar gráficos com 100% do tempo, mas que demonstrem uma vazão que abrangesse grande parte da permanência e que fosse possível plotar as duas curvas em um mesmo gráfico, facilitando, assim, a comparação direta. Portanto, foram construídas as curvas de permanência demonstrando as vazões entre 0 e 20 L/s.

Para análise global das curvas de permanência comparativas mensais são apresentadas as Figura 4.13 até a Figura 4.22. Na sequência, são explicados os comportamentos das curvas mais destoantes na série dos 10 meses do estudo. Ressalte-se que os referidos dados serão relacionados com o comportamento das precipitações, que interferiram diretamente no resultado da permanência.

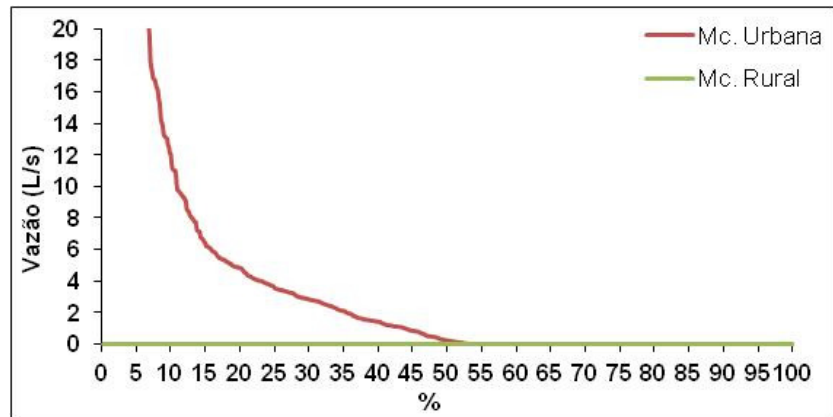


**Figura 4.13 - Curva de permanência para o mês de janeiro de 2011.**

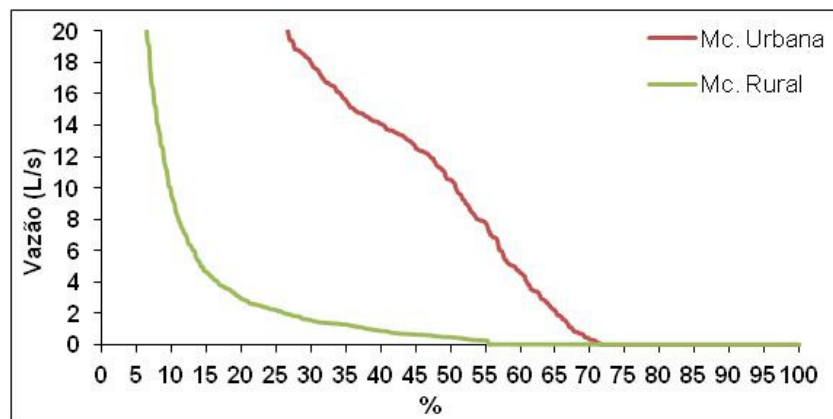


**Figura 4.14 - Curva de permanência para o mês de fevereiro de 2011.**

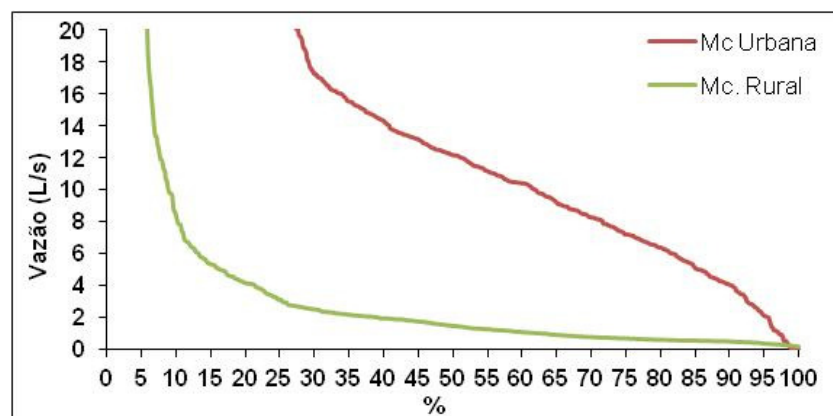




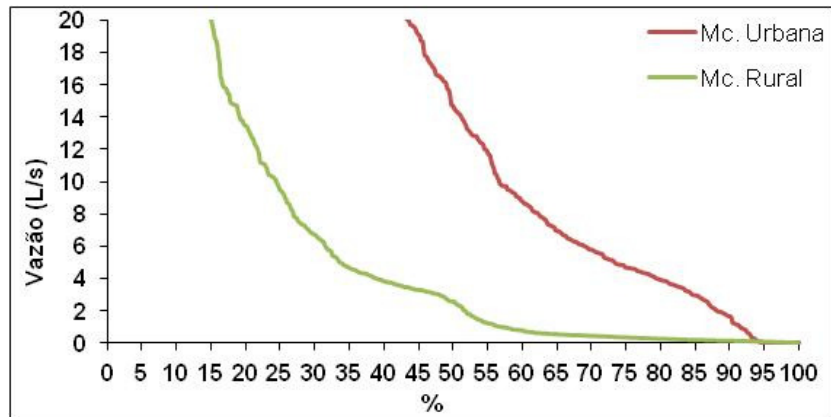
**Figura 4.15 - Curva de permanência para o mês de março de 2011**



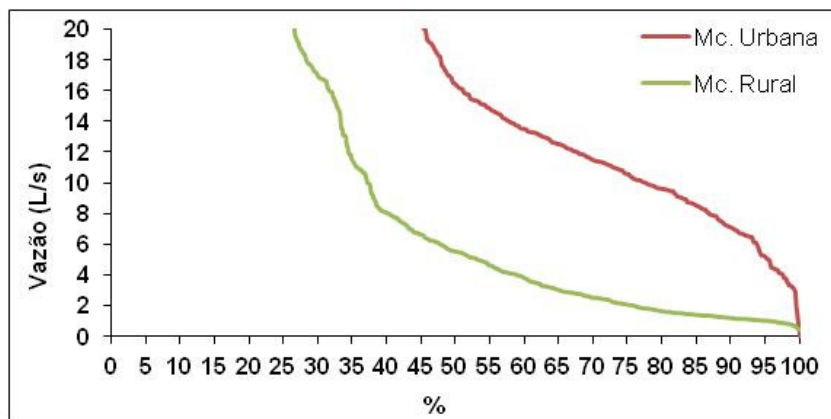
**Figura 4.16 - Curva de permanência para o mês de abril de 2011.**



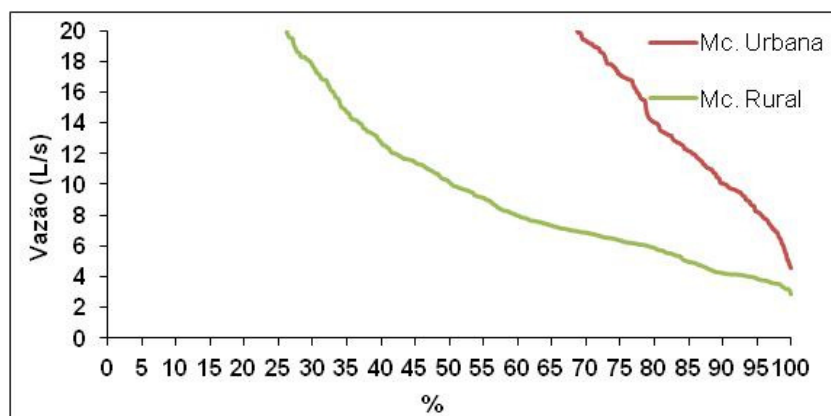
**Figura 4.17 - Curva de permanência para o mês de maio de 2011.**



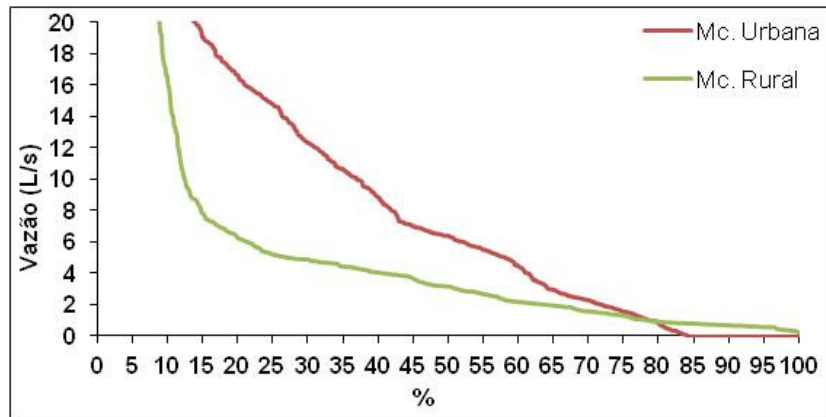
**Figura 4.18 - Curva de permanência para o mês de junho de 2011.**



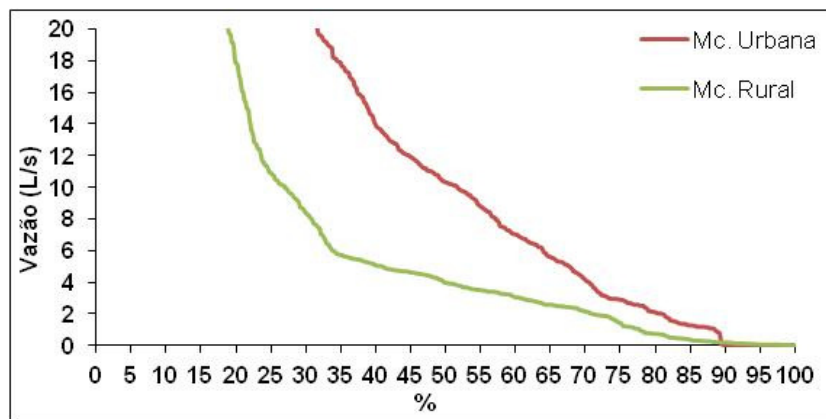
**Figura 4.19 - Curva de permanência para o mês de julho de 2011.**



**Figura 4.20 - Curva de permanência para o mês de agosto de 2011.**



**Figura 4.21 - Curva de permanência para o mês de setembro de 2011.**



**Figura 4.22 - Curva de permanência para o mês de outubro de 2011.**

Analisando as curvas de permanência referentes aos meses de janeiro e fevereiro, observa-se que a MR possui um comportamento semelhante nos dois meses, permanecendo mais de 75 % do tempo sem a presença de água em seu exutório.

Já a MU, no mês de janeiro, teve uma permanência superior à MR, ficando 58% do tempo seca e permanecendo com uma vazão de 2,15 L/s, enquanto a MR já não apresentava escoamento. Caber referir, ainda, que, nesse mês, as microbacias receberam uma precipitação de 130,6 mm, valor abaixo da média mensal esperada, que era de 145 mm.

Em fevereiro, as microbacias receberam grande volume de entrada, 183,8 mm, volume 53,8 mm acima da média esperada para o mês. Esse volume precipitado ocorreu distribuído em 11 eventos, que variaram de 48,6 mm distribuídos

em 20 horas a 22 mm precipitados em 2 horas. Mesmo com esse grande volume precipitado, a permanência da UM continuou maior que a da MR, permanecendo com água em seu exutório em 59,6 % do tempo a mais do que a MR e apresentando uma vazão de 11,27 L/s, enquanto a MR já não mais apresentava escoamento.

No mês de março, o córrego da MR permaneceu 100 % do tempo seco, enquanto a MU somente 45% desse período. Esse foi o mês em que ocorreu a menor precipitação durante o espaço de tempo monitorado: 61,2 mm, distribuídos em três eventos de chuva, concentrados em pequenos períodos de tempo ocorridos após o décimo sétimo dia do mês. A análise dos dados desse mês demonstrou que, mesmo com a ocorrência de um grande volume precipitado no mês de fevereiro, o armazenamento de água na MR não foi suficiente para que ocorresse deflúvio, mostrando um possível déficit da contribuição subterrânea na microbacia e uma perda contínua por evapotranspiração.

Em abril, a MR voltou a ter água, reflexo do grande volume precipitado. A MU permaneceu 71% do tempo com água e a MR somente 55 %, seguindo a tendência dos três primeiros meses, em que a MU teve uma disponibilidade hídrica superior à da MR.

Diante do exposto, pode-se concluir que, nos quatro primeiros meses de monitoramento, a MU apresentou maior deflúvio que a MR, fato não esperado quando analisadas as microbacias segundo o seu uso e ocupação do solo, em que a MR deveria, nos meses de verão, possuir disponibilidade hídrica superior à MU.

Uma das hipóteses para justificar esse acontecimento é a presença de vazões de entrada externa ao balaço hídrico não contabilizadas. Como exemplo dessas entradas, pode-se citar: fontes de água subterrânea, utilizadas por empresas situadas dentro da MU; consumo de água em residências acima do valor considerado para cálculo da vazão exógena; vazamentos da rede de abastecimento, entre outras. Todos esses elementos fazem com que ocorra uma vazão que mantém o córrego da MU com água, enquanto o da MR, não.

Outro FNC que influencia nesses resultados é a contribuição subterrânea. Nas bacias urbanas, a recarga dos aquíferos pode diminuir em função do maior volume escoado superficialmente, devido à impermeabilização do solo. Por outro lado, pode ocorrer uma compensação se os sistemas de distribuição de água e da rede de esgoto pluvial e cloacal possuírem grandes perdas (TUCCI, 1995), fato presente na MU, que não apresenta infraestrutura de saneamento básico. Segundo

o diagnóstico de água e esgoto de 2009, realizado pelo Ministério das Cidades, as redes de distribuição de água da Companhia Rio-grandense de Saneamento – CORSAN - possuem perdas entre 25% e 40%. Esses valores podem ser considerados altos, portanto, essas entradas externas no balanço hídrico da microbacia, que não podem ser contabilizadas, podem fazer com que ocorra aumento não esperado nas vazões na MU em períodos de estiagem.

Analisando o mês de maio, observa-se que o período em que a MR permaneceu seca começou a diminuir, ficando somente 1% do tempo sem a passagem de água em seu exutório. Já a MU permaneceu 2% do tempo seca, diferentemente dos meses anteriores. Ademais, esse mês teve um pequeno volume precipitado: 67 mm, distribuídos em oito eventos, com maior intervalo de 10 dias entre eles. Foi, subsequentemente ao mês de abril, o que teve maior volume precipitado durante o período de monitoramento. Isso mostra que a MR teve um armazenamento de água em seu subsolo capaz de abastecer a microbacia, fazendo com que ela permanecesse praticamente todo o mês com água passando em seu exutório. Isso demonstra que o volume de água infiltrado no solo da MR foi maior que o volume perdido para a atmosfera por evapotranspiração.

Em junho, um aumento na representatividade dessa inversão das tendências anteriores começou a ocorrer; a MR permaneceu 100% do tempo com água em seu exutório, enquanto a MU somente 95%. A precipitação foi de 113,8 mm, volume considerável alto quando comparado com o mês de maio, mas inferior à média de 144 mm esperada para o mês. Referida precipitação ocorreu distribuída em 17 dias, e teve sete dias como o maior intervalo de tempo entre os eventos, deixando a microbacia sempre com um alto teor de umidade no solo.

Em julho, a precipitação foi de 162,9 mm, 14,9 mm acima da média esperada para o mês. Essa precipitação ocorreu, também, em 17 dias bem distribuídos durante o mês, como o ocorrido em junho. Nesse período, a MR permaneceu 100 % do tempo com água, enquanto a MU ficou 1% do tempo seca.

Em agosto, as duas microbacias permaneceram com água durante 100 % do tempo e receberam uma precipitação de 146,8 mm, 10 mm acima da média prevista para o mês. As microbacias tiveram a maior vazão em 100% do tempo, sendo que a MU apresentou uma vazão de 4,54 L/s e a MR de somente 2,84 L/s. Essa diferença contradiz as perspectivas relacionadas à disponibilidade hídrica das duas

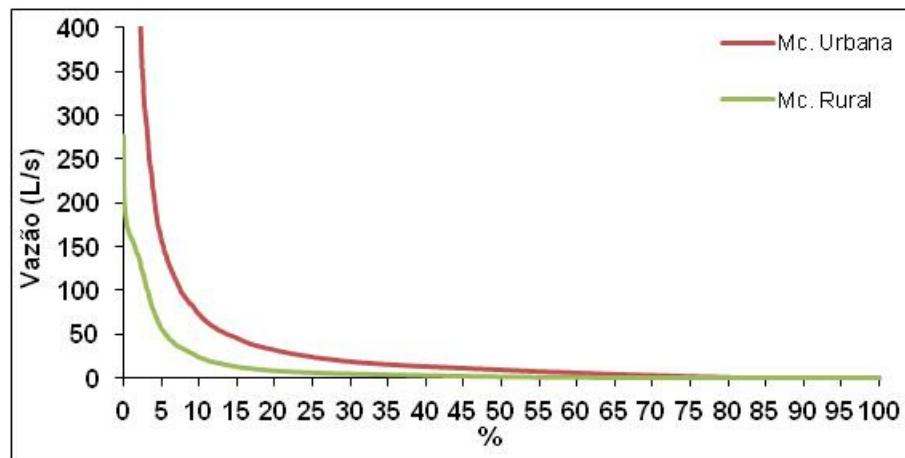
microbacias. Ressalte-se, contudo, que a diferença de 1,7 L/s é um valor pequeno que pode ser atribuído às entradas externas do sistema, não contabilizadas.

As curvas de permanência desses três meses (junho, julho e agosto) sugerem, novamente, que o córrego da MR possui uma provável contribuição da água armazenada na camada vadosa do solo em sua vazão. Isso se torna mais provável pela microbacia possuir água passando em seu exutório 100% do tempo somente nos meses de inverno. Nessa estação do ano, ocorre uma diminuição do processo de evapotranspiração e precipitações com grandes volumes, fazendo com que o solo mantenha maior volume de água armazenado na sua camada vadosa, por mais tempo, ocorrendo maior abastecimento do córrego da MR.

Em setembro, houve uma precipitação de 74 mm, volume relativamente baixo quando comparado com a média mensal prevista de 153 mm. Assim como nos meses de junho e julho, a MR permaneceu 100% do tempo com a presença de água em seu exutório, enquanto a MU permaneceu 16% do tempo seca. Isso demonstra que ocorreu um armazenamento de água na MR, fazendo com que obtivesse disponibilidade hídrica superior à MU.

Já em outubro, as microbacias receberam um grande volume precipitado: 195,8 mm, superando a média prevista de 145,8 mm. A precipitação ocorreu distribuída em 12 dias, mas 90 % desse volume foram precipitados durante os primeiros quatro dias do mês, em pequenos intervalos de tempo. As curvas de permanência desse mês mostram que a MU permaneceu 10% do tempo seca, enquanto a MR manteve um pequeno valor de vazão em 100% do tempo, não chegando secar. Essa constatação mostra o amortecimento das chuvas ocorrido na MR, fazendo com que a microbacia continuasse com um armazenamento de água abastecendo o córrego nos intervalos entre as precipitações.

#### 4.4.2.3 Curva de todo o período monitorado com 100% da Permanência.



**Figura 4. 23 - Curva de Permanência para o período monitorado.**

Durante os 10 meses monitorados, a MR permaneceu 29% do tempo sem água passando em seu exutório, enquanto a MU permaneceu somente 18%. Isso demonstra que a MU permaneceu com água 34 dias a mais que a MR.

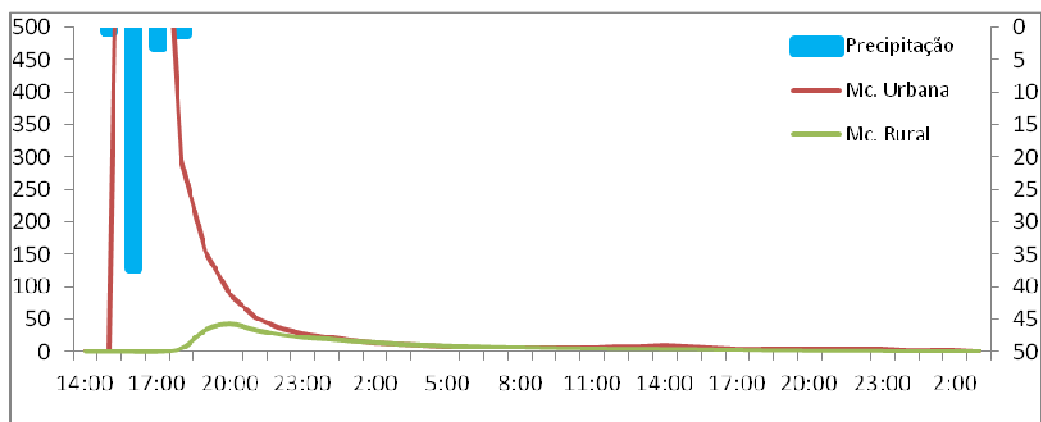
Esses valores, quando analisados em relação ao uso e à ocupação do solo de cada microbacia, mostram que, apesar da MU possuir grande parte de sua área impermeável, o que diminui a infiltração de água no solo, ela apresentou maior volume escoado durante todo o período monitorado e vazões superiores às da MR em 100% do tempo, conseqüentemente, possuindo maior disponibilidade hídrica que a MR, fato contraditório ao esperado.

Essa diferença entre as microbacias pode ter sido influenciada pelas entradas externas do sistema que não podem ser contabilizadas. Essas fontes de entrada, além de contribuírem para o córrego da microbacia, também abastecem o lençol freático. Com isso, em períodos em que não existe escoamento no exutório da MR, essa água armazenada abastece o córrego da MU.

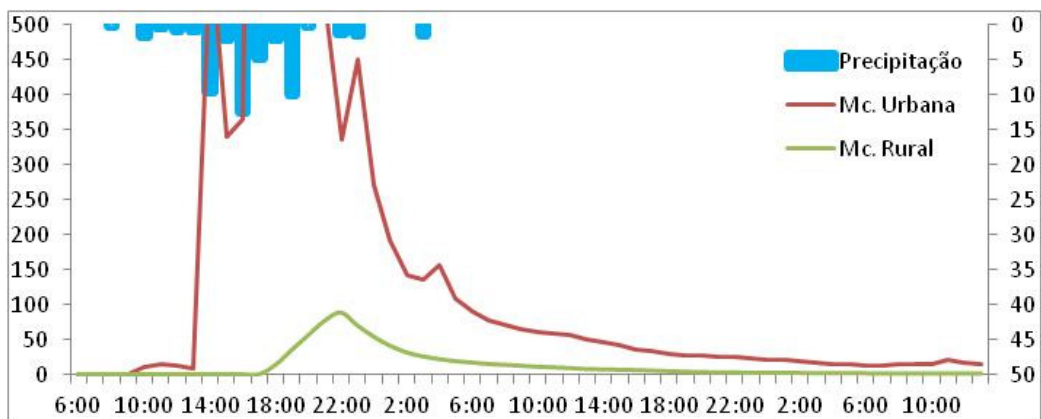
Outro fator que pode influenciar nesse resultado é a hipótese de a MR não possuir uma contribuição do lençol freático em seu córrego, sendo abastecida somente pela água armazenada na camada vadosa do solo. Dessa forma, somente nos meses de inverno, quando ocorre uma diminuição da evapotranspiração e uma ocorrência de grandes precipitações, a MR apresenta deflúvio em 100% do tempo.

#### 4.4.3 Análise das diferenças do escoamento superficial por meio de hidrogramas

Os hidrogramas apresentados nas figuras 4.24 até a figura 4.33 mostram a variação da vazão no decorrer do tempo. Eles foram construídos com os eventos que geraram as vazões máximas nas duas microbacias em cada mês, durante o período do monitoramento.



**Figura 4.24 - Hidrograma para o evento do dia 02/01/2011.**



**Figura 4.25 - Hidrograma para o evento do dia 24/02/2011.**



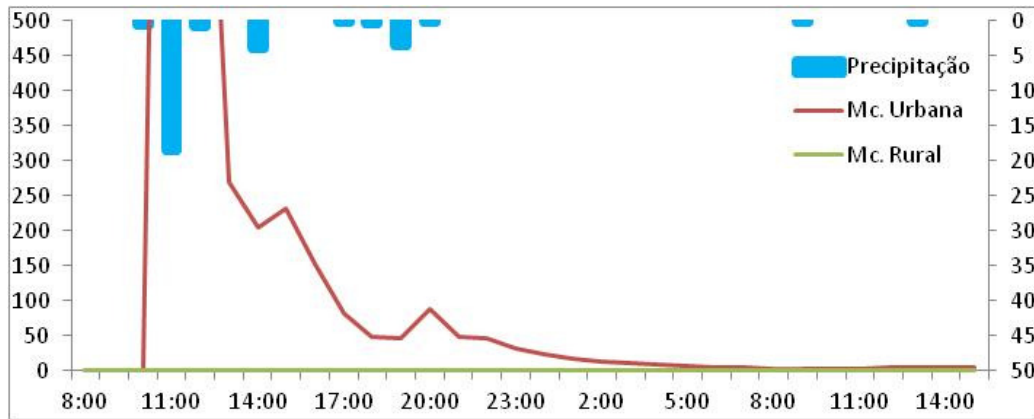


Figura 4.26 - Hidrograma para o evento do dia 26/03/2011.

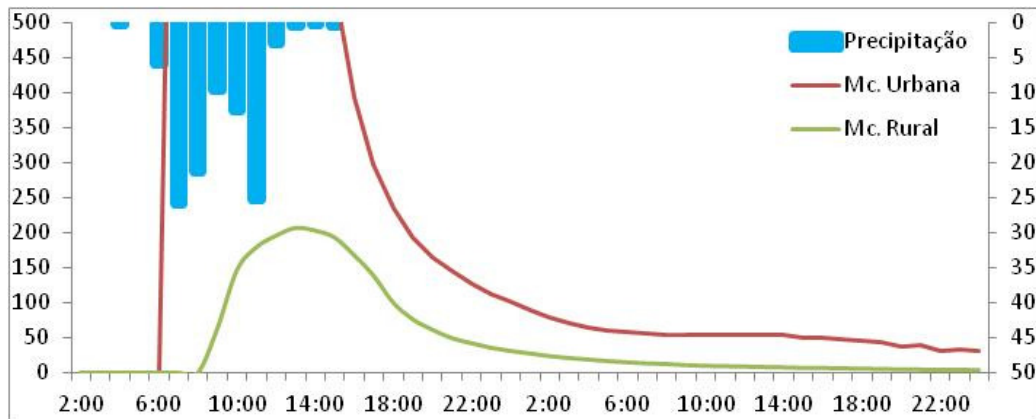


Figura 4.27 - Hidrograma para o evento do dia 14/04/2011.

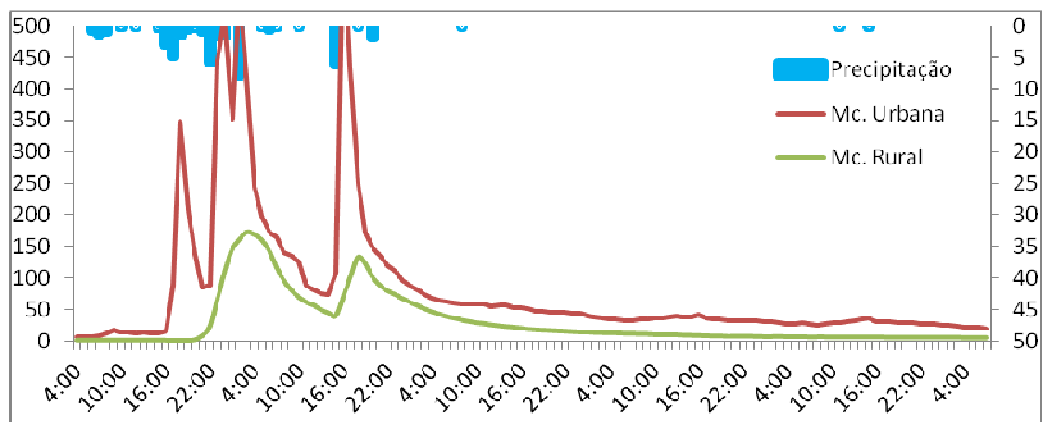
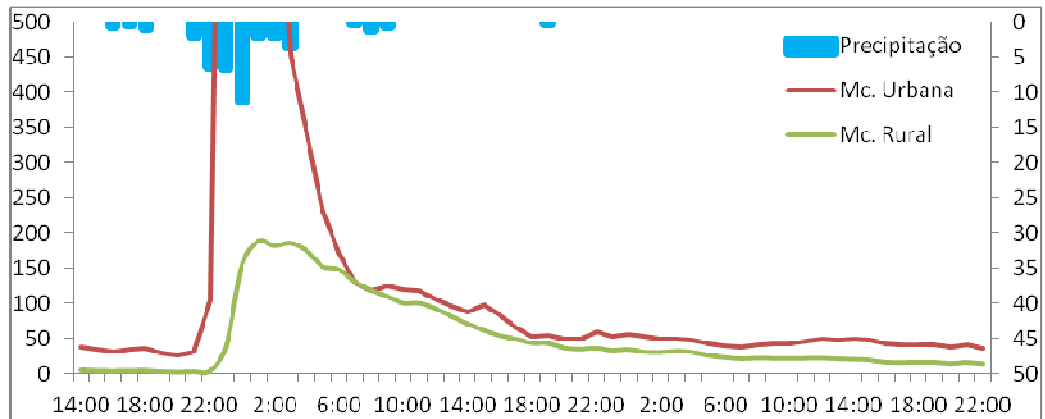
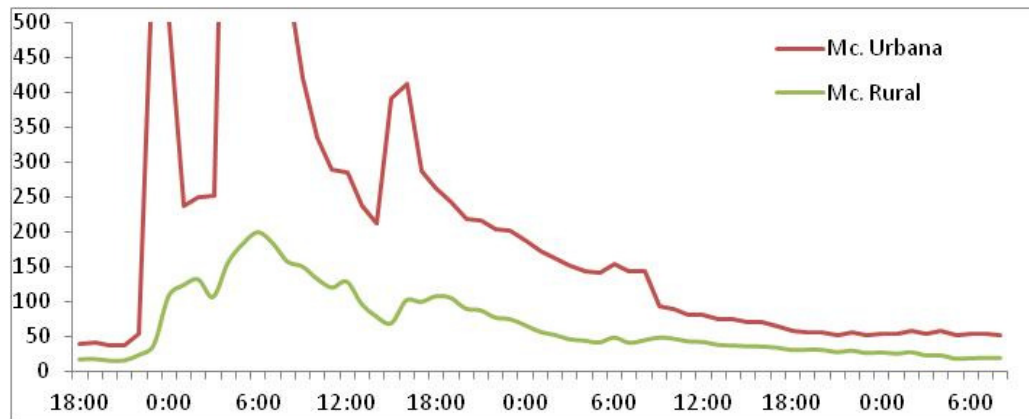


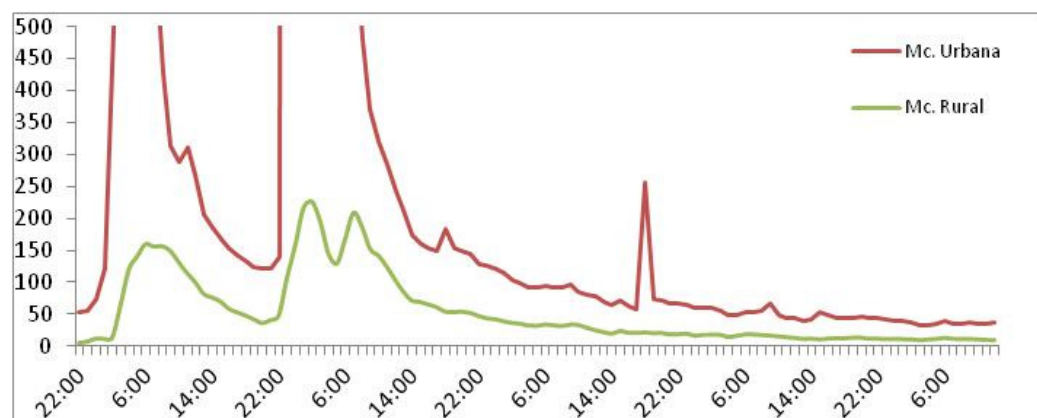
Figura 4.28 - Hidrograma para o evento do dia 10/05/2011.



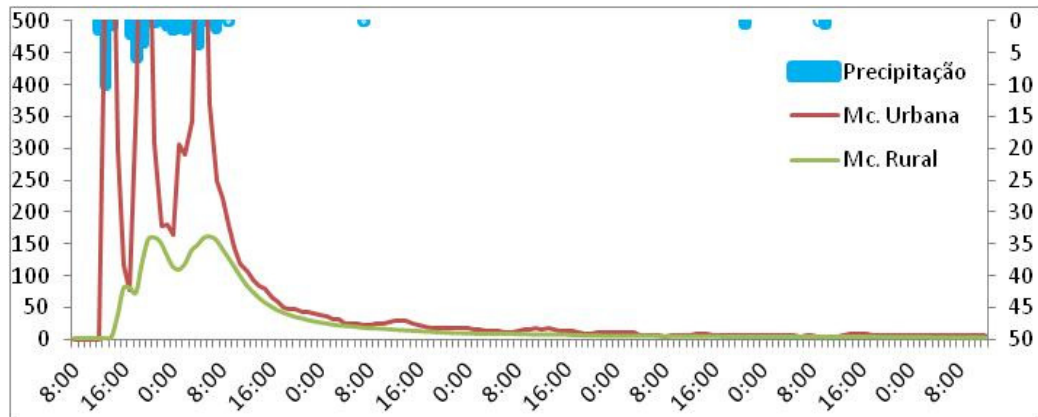
**Figura 4.29 - Hidrograma para o evento do dia 21/06/2011.**



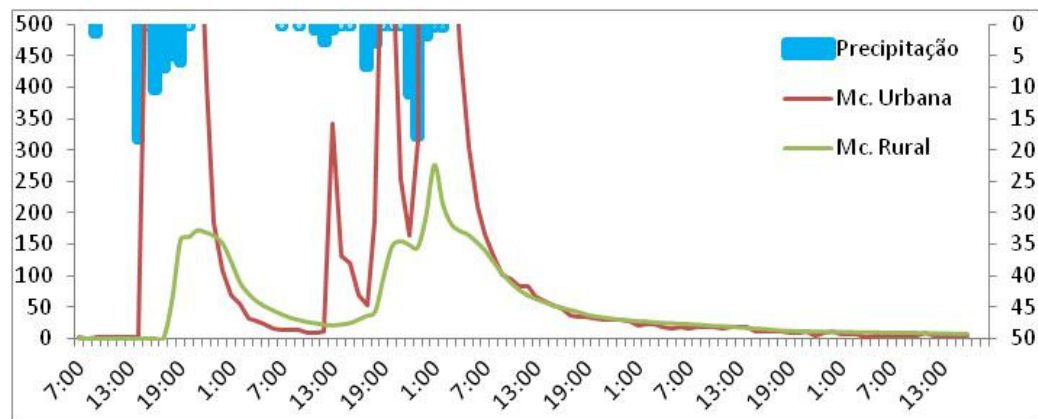
**Figura 4.30 - Hidrograma para o evento do dia 28/07/2011.**



**Figura 4.31 - Hidrograma para o evento do dia 08/08/2011.**



**Figura 4.32 - Hidrograma para o evento do dia 19/09/2011.**



**Figura 4.33 - Hidrograma para o evento do dia 26/10/2011.**

Para a construção dos hidrogramas foram utilizadas as séries de vazões observadas na MR e dos valores de vazão registrados na MU, descontando a vazão exógena, da mesma forma como foram construídas as curvas de permanência analisadas anteriormente.

Antes do início da análise dos hidrogramas, ressalta-se que as duas microbacias apresentavam declividades e comprimentos dos cursos principais semelhantes. A MR, com maior declividade média; em compensação, a MU ostentava maior percentual da sua área com declividades superiores às da MR. Portanto, para análise da variação das vazões neste estudo, essas características foram desconsideradas, levando-se em conta somente o uso e a ocupação do solo.

No evento selecionado no mês de janeiro, a precipitação registrada foi de 42,4 mm, distribuídos em um intervalo de quatro horas. Antes do início desse evento, as duas microbacias estavam secas, sem presença de água em seus exutórios. Iniciado o evento de precipitação, a MU levou duas horas para começar o escoamento em seu exutório e chegar ao seu pico de vazão de 2179 L/s. Já a MR levou quatro horas para iniciar esse processo, com uma vazão de 5,38 L/s e, após seis horas, obteve seu pico de vazão de 41,79 L/s. Nesse evento, as diferenças no tempo de concentração das duas microbacias mostram o amortecimento da precipitação realizado pela MR, resultando em duas horas de diferença entre o início dos escoamentos e em quatro horas de diferença entre os picos de vazão de cada uma.

Já na análise realizada em fevereiro, registrou-se uma precipitação de 48,6 mm, distribuídos em 14 h, com uma intensidade máxima de 12,4 mm/h, que ocorreu 7 h após o início do evento. Antes, a MU possuía uma pequena vazão de 0,8 L/s, enquanto a MR estava seca, permanecendo assim até a nona hora, momento em que se iniciou uma vazão de 13,38 L/s em seu exutório. Enquanto isso, nesse mesmo momento, a MU possuía uma vazão de 795,4 L/s, 59,4 vezes maior que a vazão da MR, o que mostra, novamente, a diferença dos tempos de resposta das microbacias e a gritante diferença de vazões no mesmo espaço de tempo.

Observa-se, ainda, que, no tempo que antecedeu os picos de vazão, ocorreram pequenas precipitações, oscilando a vazão na MU, gerando pequenos picos, enquanto, na MR, registrou-se ascensão gradual da vazão até chegar em seu pico, valor 29 vezes menor do que o registrado na MU.

O evento ocorrido no mês de março teve 27,8 mm de precipitação, distribuídos em 10 h, tendo, como maior intensidade, 18,4 mm/h, registrada na segunda hora do evento. Isso gerou uma vazão de 2411 L/s na MU, enquanto na MR não ocorreu escoamento em seu exutório.

Ainda nesse mês, o córrego da MR permaneceu 100% do tempo seco. Esse fato mostra que o solo da microbacia e a interceptação vegetal absorveram todo o volume precipitado, fazendo com que, nela, não ocorresse escoamento.

Outro fato que se pôde notar nesse evento é a ocorrência da vazão máxima no mesmo intervalo de tempo em que se registra a maior intensidade da precipitação, fazendo com que a vazão aumentasse de 4,5 L/s para 2422 L/s em apenas uma hora. Esta variação de vazão demonstra a aceleração do escoamento

superficial causado pela impermeabilização do solo, que faz com que diminua o tempo de concentração da microbacia, proporcionando o pico de vazão em um pequeno período de tempo.

No mês de abril, o maior evento registrado foi de 104,8 mm distribuídos em 10 horas. O evento em questão gerou a maior vazão registrada na MU durante o período monitorado, 13732 L/s, vazão que ocorreu após três horas do início do evento chuvoso, com um volume precipitado de 53 mm, e com intensidade máxima de 26 mm/h. O aumento da vazão da MU se deu abruptamente, pois estava seca e com os primeiros 32 mm precipitados, durante as duas primeira horas, sua vazão passou para 1391 L/s, atingindo o seu pico na terceira hora do evento, após mais 26 mm precipitados. Em que pese tal fato, no intervalo de tempo subsequente (o quarto ), houve uma abrupta diminuição da vazão, que chegou aos 3616 L/s.

A MR, antes da ocorrência desse mesmo evento, também, estava seca e após a quarta hora começou a ter escoamento em seu exutório com uma vazão de 63,42 L/s, chegando ao pico de vazão de 207,16 L/s após oito horas. Novamente, as microbacias tiveram reações totalmente distintas, com vazões máximas ocorrendo com uma diferença de 5 h e com um valor 66 vezes maior na MU.

No hidrograma construído com o evento selecionado no mês de maio, observa-se, novamente, o efeito gerado pela urbanização. Nesse evento, ocorreram três oscilações de vazão na MU, enquanto na MR somente se operaram duas oscilações. Essa diferença foi causada pela aceleração do escoamento ocasionado na MU pela impermeabilização do solo e pelo amortecimento da precipitação realizado na MR.

Já no mês de junho, o evento selecionado ocorreu três dias após outro evento de chuva. Nele, pôde-se notar que as máximas, apesar de terem uma diferença de 10,5 vezes, ocorreram no mesmo intervalo de tempo, resultado do solo da MR estar com uma maior saturação, o que reduz a taxa de infiltração e acelera o escoamento. A MU, nesse evento de chuva, alcançou um pico de vazão de 1960 L/s, enquanto a MR somente 187,8 L/s. Após chegar ao seu pico, a MR permaneceu por mais 2 horas com valores de vazão na casa dos 180 L/s, para, depois disso, começar a diminuir gradativamente. Já a MU alcançou o pico de 1971 L/s, tendo, na hora seguinte, sofrido drástica variação, uma vez que a vazão, nesse intervalo de tempo, chegou ao patamar de 830 L/s, o que representa uma diminuição de 57,6% da vazão existente quando atingida a sua máxima.

No evento selecionado em julho, a MR novamente demonstrou um amortecimento em suas vazões, fazendo com que o pico ocorresse com uma hora de diferença e com valores de vazão 50 vezes menor. Nesse mês, o volume precipitado foi acima da média esperada e bem distribuído no tempo, deixando o solo das duas microbacias com bastante umidade, permanecendo por mais tempo saturado. Isso fez com que ocorresse uma possível diminuição na taxa de infiltração de água no solo.

Em agosto, novamente, o volume precipitado ultrapassou a média histórica para o mês, fazendo com que a umidade presente no solo continuasse aumentando a contribuição subterrânea e diminuindo a taxa de infiltração das microbacias. Nesse período, ocorreu uma precipitação de 54,7 mm, fazendo com que a MU aumentasse sua vazão de 150 L/s para 9500 L/s em apenas uma hora; enquanto isso, a MR teve aumento de sua vazão de 47,8 L/s para 226 L/s, em 5 h. Tal evento ressalta, mais uma vez, a diferença do tempo de ascensão das duas microbacias, ocorrendo aceleração na subida e diminuição no tempo de recessão na MU.

Setembro teve precipitação menor que a metade esperada para o mês, totalizando um volume de 74,6 mm. Nele, o evento selecionado representou metade da precipitação do mês, tendo 36,2 mm distribuídos em 20 h. Antes do início da precipitação, a MU estava seca, enquanto a MR estava com uma vazão de 1,7 L/s. Na segunda hora após o início do evento, foi registrada uma precipitação de 10 mm/h, gerando uma vazão de 806 L/s na MU dentro do mesmo intervalo de tempo, enquanto na MR ocorreu apenas uma alteração na sua vazão no intervalo de tempo seguinte de 1,6 L/s para 3,34 L/s.

Em outubro, o volume precipitado foi 50 mm acima da média esperada. Antes do início da precipitação, as microbacias estavam com uma pequena vazão, mas não estavam secas. Na primeira hora do evento selecionado, precipitaram-se 18,4 mm, alterando a vazão da MU de 1,5 L/s para 680 L/s no intervalo de uma hora, enquanto a MR levou 5 h para chegar a uma vazão de 61,2 L/s. Novamente fica patente o efeito da aceleração do escoamento, causado pela urbanização, quando avaliada a alteração nas vazões das duas microbacias.

Na MR, a retenção de parte da chuva nas depressões do solo e sua infiltração são os principais fatores que afetam a relação chuva-deflúvio, gerando escoamento superficial somente quando a intensidade da precipitação supera a taxa de infiltração do solo e quando as depressões do solo começam a transbordar. Já na

MU, a impermeabilização do solo gerou aumento do volume escoado e aceleração desse escoamento.

Nesse viés, os hidrogramas mostraram que, após o período de recessão, quando as duas microbacias deveriam voltar para as vazões anteriores, a MU apresentou uma vazão superior ao esperado, diferentemente da MR. Teoricamente, pela MU possuir solo com interferência da urbanização, o que, em regra, diminui a infiltração da água no solo e facilita o escoamento superficial, os resultados auferidos seriam incompatíveis com o disposto em outras pesquisas similares.

Contudo, ao analisar a área da MU, nota-se que a microbacia possui áreas de campo, em que existem dois antigos açudes, onde suas bacias de contenção não foram aterradas, permanecendo, assim, áreas mais baixas, que realizam o amortecimento do escoamento superficial e o armazenando da água da chuva. Isso faz com que essa água, após ser armazenada, seja escoada lentamente, gerando maior vazão por um longo período de tempo. Ressalte-se que essa maior vazão permanece, na MU, mesmo após o término da precipitação.

#### 4.4.4 Análise das vazões máximas geradas nas duas microbacias

Outro fator interessante, analisado por meio dos hidrogramas, diz respeito à vazão máxima ocorrida em cada microbacia. Na tabela 4.9 estão colocados os valores das vazões máximas registradas em cada microbacia, em cada mês. A última coluna mostra a razão entre as vazões registradas nas duas microbacias.

**Tabela 4.9 - Vazões máximas registradas nas duas microbacias.**

Mês	Vazão máxima (L/s)		Relação MU/MR
	MU	MR	
Janeiro	2190,0	41,8	52,4
Fevereiro	2627,0	89,0	29,5
Março	2422,0	0,0	-
Abril	13743,0	207,2	66,3
Maio	798,0	172,9	3,8
Junho	1971,0	187,9	10,5
Julho	10303,0	200,3	51,4
Agosto	9500,0	226,0	42,0
Setembro	1041,0	162,4	6,4
Outubro	12459,0	276,0	45,2

No mês de outubro, a MR registrou uma vazão máxima de 275,96 L/s, maior vazão registrada nesta microbacia durante o período do estudo. Observa-se que esse valor de vazão não extravasou o vertedor instalado na microbacia, que possui capacidade de contabilizar vazões de até 277 L/s. Diferentemente, a MU teve a calha Parshall instalada em seu exutório, a qual possui capacidade de quantificar vazões de até 806 L/s, extravasada. Frise-se que isso somente não ocorreu uma única vez, no mês de maio.

Essa vazão máxima registrada na MR ocorreu no dia 26/10/2011, à 01h, e foi resultante de um evento chuvoso de 49,2 mm distribuídos em 20 horas, com intensidade máxima de 18 mm/h. Nesse mesmo evento, a MU obteve uma vazão máxima de 12459 L/s, à meia-noite. O intervalo entre as vazões máximas das microbacias durou em torno de 1 hora. O reflexo de esse evento ter-se operado após a ocorrência de outro evento chuvoso, deixando o solo já com grande presença de umidade e as depressões do solo preenchidas, foi tornar mais rápido o aumento da vazão. Verifica-se, dessa forma, que a vazão máxima de 275,95 L/s registrada na MR foi 45,15 vezes menor que a vazão registrada na MU nesse mesmo evento, mostrando o efeito do impacto da impermeabilização do uso do solo nesta microbacia.

Ao analisar a última coluna da tabela, observa-se que, no mês de abril, a MU teve sua maior vazão durante o período monitorado, chegando a 13743 L/s. A referida vazão foi registrada no dia 14/04/2011, às 8h, sendo resultante de um



evento chuvoso com as seguintes características: 105 mm de precipitação, distribuídos em 10 horas, alcançaram intensidade máxima de 26 mm/h às 7h do mesmo dia. Ainda nesse evento, a MR teve sua vazão máxima, chegando a 207,16 L/s, às 13h. A diferença entre esses valores mostrou o amortecimento realizado pela vegetação e pelo solo da MR, que fez com que os picos de vazões ocorressem com sete horas de diferença e com um valor 66 vezes menor.

Tem-se, assim, que a MU apresenta uma alteração significativa no seu regime hidrológico, gerando vazões até 66 vezes maiores que as da MR. Além disso, é possível concluir que a calha Parshall instalada no exutório da MU não possui capacidade para registrar as vazões máximas que acontecem na microbacia. Isso porque o pico de vazão que foi registrado no estudo, nessa microbacia, foi superior à capacidade da estrutura hidráulica de coleta nela instalado. Ou seja, para viabilizar a coleta de todos os dados de vazão, seria necessário ter instalado uma calha Parshall com maior capacidade de quantificação. Diferentemente, na MR, o vertedor se mostrou apto para registrar todas as vazões apuradas no presente estudo, uma vez que estas ocorreram, pode-se assim dizer, na medida do esperado.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A urbanização gera modificações nas características naturais das bacias, acarretando alterações no seu regime hidrológico. Na maioria das vezes, essas mudanças são reproduzidas e avaliadas por meio de modelos matemáticos, que podem não reproduzir fielmente as alterações geradas em consequência do uso e ocupação do solo.

Diante dessa realidade, releva-se a importância da utilização de métodos simplificados e diretos para a análise das alterações geradas no escoamento das microbacias que apresentam diferentes usos e ocupações do solo.

Sendo assim, neste estudo, avaliaram-se as diferenças no escoamento entre duas microbacias contíguas e com a mesma área, mas com uso e ocupação do solo distintos. Uma das microbacias possui uso preponderantemente agrícola e a outra, primordialmente urbano. Frente a essas características, os resultados obtidos com o

estudo permitiram tecer as seguintes considerações em função dos resultados encontrados:

No que tange à delimitação da microbacia rural, realizada por meio da ferramenta de geoprocessamento, constata-se que a estratégia adotada, a aproximação sucessivas de exutório, mostrou-se eficaz, deixando a nova microbacia com área aproximadamente igual à da urbana já existente, o que possibilitou a comparação direta dos dados coletados nas duas microbacias.

Com relação à instalação e à calibração de uma estrutura hidráulica medidora de vazão no exutório, que define a nova microbacia, concluiu-se que:

- ✓ O vertedor triangular de 120° teve sua construção e dimensionamento realizados adequadamente, com a capacidade de quantificar as vazões medianas e mínimas. Ademais, durante o período deste estudo, a estrutura não foi extravasada, sendo quantificadas todas as vazões geradas na microbacia;
- ✓ quanto à calibração realizada no vertedor, foi confirmada a utilização da equação pré-estabelecida na bibliografia como curva-chave da estrutura hidráulica, sendo esta adequada para ser utilizada nas condições de campo para o monitoramento hidrológico.

No que diz respeito à estratégia para o monitoramento sincronizado das duas microbacias, assim como para a avaliação dos dados coletados, observou-se que:

- ✓ a estratégia de monitoramento mostrou-se satisfatória com a coleta simultânea dos dados em intervalos de uma hora. Puderam ser analisados, de forma clara, a interferência dos diferentes usos e as ocupações do solo no desenho do hidrograma representativo do escoamento das microbacias;
- ✓ os métodos utilizados para avaliação dos dados mostraram-se eficazes, alcançando o objetivo geral deste estudo. Os métodos possibilitaram a avaliação das vazões de pequenas, médias e grandes magnitudes, juntamente com as diferenças no escoamento durante diferentes períodos do ano.

No que se refere à avaliação do impacto no escoamento em termos quantitativos, concluiu-se que a microbacia urbana, devido ao seu uso e ocupação do solo predominantemente urbano, apresentou um escoamento superficial e subsuperficial maior que a microbacia rural durante todos os meses estudados. Por outro lado, a microbacia rural apresentou maior perda do volume de entrada pelos

fatores não controlados. Já a microbacia urbana mostrou maior disponibilidade hídrica durante os períodos de estiagem, apresentando deflúvio (já descontando a vazão exógena), enquanto a microbacia rural estava seca.

Tendo em vista esses resultados, salienta-se, ainda, que a microbacia urbana apresenta uma entrada externa de difícil quantificação em seu balanço hídrico, entrada essa que abastece o córrego, o que não ocorre na microbacia rural. Outro fato importante é a hipótese de que o córrego da microbacia rural apresenta características influentes (rio abastece o aquífero), sem apresentar contribuição do lençol freático em seu abastecimento, principalmente nos períodos de estiagem.

Em relação às alterações no regime hidrológico, a urbanização apresenta, novamente, interferência nas características da microbacia urbana. Isso ocorre em razão da impermeabilização do solo, pois motiva uma aceleração no escoamento, apresentando diferenças de até 5 h entre o início da precipitação e os picos de vazão das duas microbacias. Com isso, as vazões máximas registradas na microbacia urbana chegam a valores 66 vezes maiores do que os apontados na microbacia rural.

Portanto, tem-se que os resultados alcançados neste estudo apresentam particularidades diferentes das consideradas para projetos de engenharia, quando se trata de bacias com características rurais, tendo em vista que, *a priori*, espera-se que essas apresentem maior disponibilidade hídrica, devido à maior infiltração e ao maior armazenamento de água no solo.

Isso se deve à heterogeneidade das pequenas bacias, atribuída aos complexos hidrogeológicos locais, que são responsáveis pelo aporte de águas pluviais nos períodos de deplecionamento fluvial, aspectos estes que os métodos de modelagem hidrológica, transposição de vazões e proporção de áreas, normalmente, não utilizam para a estimativa da disponibilidade hídrica em pequenas bacias hidrográficas.

Por fim, verificou-se que, na comparação de duas microbacias contíguas e com mesma área, os escoamentos são bastante distintos, o que, por certo, é relevante para os projetos de engenharia e para a gestão de recursos hídricos, principalmente nos períodos de cheias e secas.



## 6. RECOMENDAÇÕES

Para melhor compreender a magnitude e o funcionamento dos fatores não controladas deste estudo, sugere-se que, em estudos posteriores, seja efetuada a avaliação do abastecimento subterrâneo nas duas microbacias.

Para isso, faz-se necessário o conhecimento mais detalhado da faixa de flutuação anual do nível da água subterrânea na área em estudo. Nesse aspecto, aconselha-se que sejam instalados registradores automáticos de nível de água *dataloggers* e que se construam novos poços de monitoramento de nível de água em diferentes posições, ao longo de um transecto, próximo ao exutório.

Além disso, sugere-se que sejam realizados ensaios de infiltração na MU, para melhor interpretação do balanço hídrico determinado para a microbacia.



## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AG SOLVE** – Monitoramento Ambiental. Disponível em: < <http://www.agsolve.com.br> >. Acesso em 05 jan. 2011.

AMORIM NETO, M. da S. **Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather** (1955). Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 1989. 18p. EMBRAPA-CPATSA. Comunicado Técnico, 34.

ANGNES, F. B. **Prospecção de instrumentos hidrológicos para apoio à gestão em ambientes urbanos**. 2004. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2004.

ARANTES, E. J. **Emprego de Infiltrômetros na Caracterização da Interação entre Rio e Aquífero**. 2003. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ARCOVA, F. C. S. **Balanço hídrico, características do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas na Serra do Mar**. 1996. 130 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.

AZEVEDO, F. B. Análise de medições de vazão e definição de curva-chave. **A Água em Revista**, Belo Horizonte, MG, v. 2, p. 48-51, 1994.

BARRETO, C. E. A. G. **Balanço hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa**. 2006. 149 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

BAUMHARDT, E. **Balanço Hídrico de Microbacias com eucalipto e pastagem nativa na região da campanha do RS.** 2010. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

BICUDO, C. E.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. **Águas do Brasil: análise estratégicas**. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências, cap. 7, 2011. P 113-128.

Böger, H.; Kowalczyk, G. Stratigraphische, Sedimentologische und Paläoökologische Untersuchungen Im **Mesozoikum Der Depressão Periférica in Rio Grande do Sul**, Brasilien, Berichte-Reports, Geol.-Paläont. Inst. Univ. Kiel. Nr. 63, S. 72., 4 Abb., 9 Tab., Kiel, (Juli). 1993.

BRASIL, Norma Técnica NBR 13.696. **Manual de conservação de água na indústria 1997**. Disponível em: [http://www.df.sebrae.com.br/Downloads/ambiental/cartilha\\_reuso.pdf](http://www.df.sebrae.com.br/Downloads/ambiental/cartilha_reuso.pdf). Visitado em 15 junho de 2011.

BRASIL. Ministerio do Exercito – **Diretoria do serviço geográfico. Cartas DSG**. Folha Camobi-SO, escala 1:25000, 1980.

CAMPANA, N.; TUCCI, C.E.M. **Estimativa de área impermeável de macrobacias urbanas**, Caderno de Recursos Hídricos V12 nº2 p19-94. 1994.

COSSALTER, C.; PYE-SMITH, C. **Fast-wood forestry: myths and realities**. Jakarta: Forest Perspectives, CIFOR, 50 p. 2003.

CPRH N 2004. **Medição de vazão de efluentes líquidos: escoamento** Livre. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/normas-cprh-2004.pdf> Acesso em: mar. 2010.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSOS MINERAIS. Mapa Hidrogeológico da Folha de Santa Maria. Escala 1:100.000. 1995.

CRUZ, M.A.S; TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A. L. L. **Controle do escoamento com retenção em lotes urbanos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v3, n.4. p.19, 1998.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais**. 2001. 205 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - IPH/URGS. Porto Alegre, RS. 2001.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. (Jan/Mar). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, p. 111-124, 2008.

FETTER, C. W. **Applied Hydrogeology**. 2.ed. New York: Macmillan, 1988.



FEITOSA, A. C.F. e MANOEL FIHO, J., Hidrogeologia - Conceitos e Aplicações; CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Editora Gráfica LCR; Fortaleza, 1997. 389p.

FENNESSEY, N.; VOGUEL, R. M. Regional flow-duration curves for ungauged sites in Massachusetts. In: **Journal of Water Resources Planning and Management**, vol. 116, n. 4, p. 530-549. Jul/Aug. 1990.

FORMAN, RICHARD T.T. **Land mosaics: The ecology of landscapes and regions**. Cambridge, Cambridge University Press, 1995.

GASPARETTO *et al.* **Mapa Geológico da Folha de Camobi – RS**. Editora da UFSM, 1990.

GENS, F.; TUCCI, C.E.M. (1995). **Infiltração em Superfícies Urbanas**. Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Recursos Hídricos, Vol. 13, n.1.

GOLDENFUM, J. A. Pequenas Bacias Hidrológicas: conceitos básicos. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Org.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**, Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001.

GREGORY, K.J.; WALLING, D.E. **Drainage Basin Form and Process: a geomorphological approach**. John Wiley and Sons, Inc, 456p. 1973.

HEATH, R.C. **Hidrologia básica de água subterrânea**. (Geological Survey water-supply paper; 2220), p. 81, 1983.

JACOBS, J. M.; VOGUEL, R. M. Optimal allocation of water withdrawals in a river basin. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 124, n. 6, p. 357-363. Nov/Dec. 1998.

KELMAN, J. Gerenciamento de Recursos Hídricos. Parte I: outorga. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1997, Vitória. **Anais...** Vitória: ABRH. 16 a 20 Nov. 1997.

LANNA, A. E. L. Elementos de estatística e probabilidades. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre. Ed. UFRGS/ABRH, 1993.

LANNA, A. E. L. Introdução In: PORTO, R. L. L. **Técnicas Quantitativas para o Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: Editora da Universidade: UFRGS, 1997. p. 16-21.

LANNA, A. E. L.; BENETTI, A.D. (2000). **Estabelecimento de critérios para definição da vazão ecológica no Rio Grande do Sul**. Relatório 1 - revisão do estado da arte. Secretaria de Meio Ambiente - Fundação Estadual de Proteção Ambiental. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS. (Relatório Técnico).

LENCASTRE, A. Manual de hidráulica geral. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 411 p. 1972.

LEOPOLD, L.N. Hydrology for Urban Planning – A Guide Book the Hydrologic Effects on Urban Land Use. USGS circ 554, 1968.

LERNER, D.N., ISSAR, A.S.; SIMMERS, I. **Groundwater recharge: a guide to understanding and estimating natural recharge**. International Contributions to Hydrogeology, Vol. 8. 1990.

LIKENS, G.E. An experimental approach for the study of ecosystems. **Journal of Biology**, v.73, p. 381-396, 1985.

LIMA, W. P. REMAM - REDE DE MONITORAMENTO AMBIENTAL DE MICROBACIAS. (2002) **Conceitos teóricos**. Disponível em: <<http://www.ipef.br/promab/members/origemremam.htm>>. Acesso em: 20 Junho de 2011.

LIMA W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Piracicaba, São Paulo, 2 ed., 2008.

MACIEL FILHO, C. L. Carta Geotécnica de Santa Maria, escala 1: 25.000, Santa Maria, 1988.

MACHADO, J. L. F., Freitas, M. A. de. **Projeto Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**: relatório final. Porto Alegre: CPRM, 2005, 65p.

M A R S H , W. **Landscape planning vironmental applications**. New York: John Wiley & Sons, 1983.

PERRY, D. A.; MAGHEMBE, J. Ecosystem concepts and current trends in forest management: time for reappraisal. **Forest Ecology and Management**, v. 26, p.123 - 140, 1989.

PESSOA, C. A.; JORDÃO, E. P. **Tratamento de esgotos Domésticos**. Rio de Janeiro: ABES, 1982. 536p.

PINTO, N. L. S. et al. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blucher, 1976. 278p.

PINTO, N. L.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A. **Hidrologia de Superfície**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1973. 179 p.

PORTO, R. **Manual de Hidráulica Básica**. 3<sup>o</sup> Ed. São Carlos: EESC-USP. 540 p. 2004.

POZZEBON, E. J. **Simulação de escoamento em Microbacia Hidrográfica utilizando sistemas de informações geográficas e de modelagem hidrológica**. 2000. 234 f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo, Piracicaba - SP, 2000.

REETZ, E. F. **Avaliação quali-quantitativa dos recursos hídricos superficiais na bacia hidrográfica do Campus da Universidade Federal de Santa Maria**. 2002. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002.

REMENIERAS, G. **Tratado de Hidrologia Aplicada**. Barcelona: Editores Técnicos Associados, 515 p. 1971.

RHEINHEIMER, D. D.; GONÇALVES, C. S.; BORTOLUZZI, E. C.; PELLEGRINI, J. B. R.; SILVA, J. L. S.; PETRY, C. **Qualidade de águas subterrâneas captadas em fontes em função da presença de proteção física e de sua posição na paisagem**. Engenharia Agrícola Jaboticabal. v.30, n.5, p.948-957, 2010.

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para Outorga e a Cobrança pelo Uso da Água: Simulação de um Caso**. 2000. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - IPH/URGS, Porto Alegre, RS, 2000.

RORIZ, G. M.; MENDONÇA, A. S. F.; TEIXEIRA, E. C. Utilização de Modelos de Simulação de Qualidade de Água como Ferramenta no Processo de Alocação dos Recursos Hídricos In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 2000. 8p. (CD-ROM).

SANSON, J. R. O estado e a concentração urbana. **Textos de Economia**, v. 9, p. 9-30, 2006.

SANTOS, I.; FILL, H. D.; BUBA, H.; MARONE E.; LAUTERT L. F. **Hidrometria Aplicada. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento**. Curitiba, 2001.

SNIS. Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto – 2009. Brasília, Ministério das Cidades, 2011, 616 p.

SILVEIRA, G. L. Estimativa de vazões em pequenas bacias hidrográficas com dados escassos. In: AGUA: USO Y MANEJO SUSTENTABLE. 1. Buenos Aires: Industria Gráfica del Libro,, v.único, p. 201-212, 1997.

SILVEIRA, G. L. **Quantificação de vazão em pequenas bacias com carência de dados fluviométricos**. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SILVEIRA, G. L. da; TUCCI, C. E. M. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 3, n. 3, p. 97-110, jul/set.1998.

SILVEIRA, G. L. da; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. da Quantificação de Vazão em Pequenas Bacias sem Dados. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 3, p. 111-131, 1998.

SILVEIRA, A. L. da; SILVEIRA, G. L. da. **Vazões Mínimas**: hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

SILVEIRA, G. L. da; SILVA, C. E. da; IRION, C. A. O.; CRUZ, J. C.; RETZ, E. F. Balanço de Cargas Poluidoras pelo Monitoramento Quali-quantitativo dos Recursos Hídricos em Pequena Bacia Hidrográfica. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n.1. 2003. p.5-11.

SILVÉRIO da SILVA, J. L.; MENEGOTTO, E; MEDEIROS, E. R.. **Avaliação preliminar dos argilominerais das folhas de Santa Maria e Camobi, Rio Grande do Sul, Brasil**. Ciência e Natura, Santa Maria, v. 12, 1990, p. 127-132.

SILVERIO J. L. **Estudo dos processos de silicificação e calcificação em rochas sedimentares Mesozóicas do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil**. 1997. 156 f. Tese (Doutorado Geociências) - UFRGS. Porto Alegre, RS. 1997.

SILVÉRIO DA SILVA, J. L.; PEDRON, F.A.; WERLANG, M. K.; DESCOVI, L.V.; CABRAL, D. da R. **Características morfológicas do Membro Alemoa, Formação Santa Maria, RS**. In: VIII REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIENCIA DO SOLO: UFSM, v. 1., p. 1 – 6. 2010.

STEDNICK, J. D. Monitoring the effects of timber harvest on annual water yield. **Journal of Hydrology**, v.176, p.79-85, 1996.

TEODORO, V. L. L. et al. **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local**. Araraquara, Revista Uniara, Centro Universitário de Araraquara n. 20, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana**. In:\_\_\_\_\_. Hidrologia: ciência e aplicação. 1ª ed. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, 1995. Cap. 21, p. 805.

TUCCI, C. E. M. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 2, n. 2, jul./dez. 1997.

TUCCI, C. e COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e Controle de Erosão. VI SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO. Presidente Prudente, São Paulo, **Anais**, 1998.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia, ciência e aplicação**, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ABRH, 2000. 943 p.

TUCCI, C.E.M. **Inundações Urbanas**,, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ABRH, 2007. 389 p.

UFSM – Universidade Federal de Santa Maria - **Relatório técnico para obtenção de Outorga do direito de Uso de Água Subterrânea**. Relatório interno. UFMS / HIDROBRASIL, 106 p. 2008.

UN. Urban and rural. Disponível em [http://www.un.org/esa/population/wup2007/2007\\_urban\\_rural.html](http://www.un.org/esa/population/wup2007/2007_urban_rural.html). Acesso em Jan. de 2011.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 449 p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VOGUEL, R. M.; FENNESSEY, N. M.; Flow Duration Curves. I: new Interpretation and confidence intervals. **J. Water Resources Planning and Management**, v. 120, n. 4. p. 485-504, p. 573-619. 1994.