

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

PAULO SÉRGIO BERTAZZI RODRIGUEZ

APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA PARA FINS NÃO  
POTÁVEIS EM SANITÁRIO PÚBLICO.

CAMPO GRANDE  
2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

**PAULO SÉRGIO BERTAZZI RODRIGUEZ**

**APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA PARA FINS  
NÃO POTÁVEIS EM SANITÁRIO PÚBLICO.**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, na área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide**

Aprovada em:

**Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Lúcia Ribeiro  
UFMS

Prof. Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves  
UFMS

Campo Grande, MS  
2012

Ficha catalográfica preparada pela  
COORDENADORIA DA BIBLIOTECA CENTRAL/UFMS

Rodriguez, Paulo Sérgio Bertazzi  
R461a Aproveitamento de chuva para fins não potáveis em sanitário público / Paulo  
Sérgio Bertazzi Rodriguez – Campo Grande, 2012.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso  
do Sul, 2012.  
Orientador: Prof. Dr. Carlos Nobuyoshi Ide

1. aproveitamento de água de chuva 2. Uso racional da água 3.  
recursos hídricos

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a todos aqueles disponibilizaram um pouco do seu tempo para ajudar nesse projeto e para minha formação profissional na área acadêmica .*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Carlos Nobuyoshi Ide, pela amizade, apoio, confiança, paciência, oportunidade, estímulo, interesse, comprometimento, credibilidade e pela orientação prestada nesta pesquisa.

À Professora Maria Lúcia Ribeiro e seu companheiro Fernando pela amizade, apoio e incentivo.

Aos Professores Jorge Luiz Steffen e Mauro Polizer pelas sugestões apresentadas.

Ao meu amigo Jhonatan Barbosa da Silva pela dedicação e interesse no projeto, assim como auxílio em coletas, amizade e companheirismo durante esse período.

Aos meus amigos Daniel Dias Giovanini, Glauber Altrão, Peterson Benites Aristimunho pela colaboração e parceria na montagem do sistema, nas coletas e análises laboratoriais.

A meu pai, amigo e amado Paulo Sérgio Rodriguez e minha mãe, amiga e auxiliadora Maria Cristina Iglézias Bertazzi Rodriguez, pelo apoio financeiro e motivação para cumprir mais essa etapa da vida.

A comunidade da igreja Santo Antônio, que sempre me apoiou nas horas mais difíceis e deu força para que conseguisse ir mais além, foi com eles que conheci o verdadeiro significado de amor pelo próximo.

A todos que tornaram possível a realização deste projeto e aos que me incentivaram ou ao menos se interessaram por esse sistema alternativo de abastecimento de água.

## EPÍGRAFE

*"Finalmente, irmãos, fortalecei-vos no SENHOR, pelo seu soberano poder. Revesti-vos da armadura de Deus, para que possais resistir às ciladas do demônio. Pois não é contra homens de carne e sangue que temos que lutar, mas contra os principados e potestades, contra os príncipes deste mundo tenebroso, contra as forças espirituais do mal espalhadas nos ares. Tomai, portanto, a armadura de Deus, para que possais resistir nos dias maus e manter-vos inabaláveis no cumprimento de vosso dever"*

*Efésios 6:10-14.*

# SUMÁRIO

|   |             |
|---|-------------|
| <b>DEDICATÓRIA</b> .....  | <b>ii</b>   |
| <b>AGRADECIMENTOS</b> .....   | <b>iii</b>  |
| <b>EPÍGRAFE</b> .....   | <b>iv</b>   |
| <b>SUMÁRIO</b> .....  | <b>v</b>    |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....   | <b>viii</b> |
| <b>LISTA DE TABELAS</b> .....   | <b>ix</b>   |
| <b>LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS</b> .....                                     | <b>x</b>    |
| <b>RESUMO</b> .....   | <b>xi</b>   |
| <b>ABSTRACT</b> .....   | <b>xii</b>  |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>1</b>    |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....   | <b>4</b>    |
| 2.1 Geral .....   | 4           |
| 2.2 Específicos.....  | 4           |
| <b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....   | <b>5</b>    |
| 3.1 Ciclo hidrológico .....   | 5           |
| 3.1.1 Classes de precipitação.....  | 6           |
| 3.2 Ciclo Urbano da Água.....   | 7           |
| 3.2.1. Efeitos da urbanização no escoamento superficial .....                   | 8           |
| 3.3 Fontes de poluição atmosféricas.....  | 9           |
| 3.3.1 Características gerais da poluição do Ar.....                             | 10          |
| 3.3.2 Chuva Ácida .....   | 10          |
| 3.4 Relações fluxo, concentração e carga de poluente .....                      | 10          |
| 3.4.1 Concentração e polutograma .....  | 10          |
| 3.4.2 Concentração média do Evento (CME) – Event Mean Concentration (EMC) ..... | 11          |
| 3.4.3 Efeitos de primeira lavagem – first-flush .....                           | 13          |
| 3.5 Drenagem pluvial .....  | 16          |
| 3.5.1 Características das precipitações e dias antecedentes de chuva.....       | 16          |
| 3.6 Consumo de Água .....   | 17          |
| 3.6.1. Consumo Residencial de Água.....   | 18          |
| 3.4.2. Consumo de Água em sanitários públicos.....                              | 18          |
| 3.7 Conservação da Água .....   | 19          |
| 3.8 Sistema de aproveitamento de Água da Chuva .....                            | 20          |
| 3.8.1 Normas vigentes .....   | 21          |
| 3.8.2. Instalação e manutenção do sistema .....                                 | 22          |
| <b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....   | <b>25</b>   |
| 4.1 Área de estudo .....  | 25          |
| 4.2 Área do telhado .....   | 26          |
| 4.3 Monitoramento de precipitação .....   | 27          |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.4. Coleta e preservação das amostras de água .....                       | 28        |
| 4.5. Análise da qualidade de água da chuva .....                           | 29        |
| 4.6. Monitoramento de demanda .....  | 30        |
| 4.7. Análise dos Dados .....   | 30        |
| 4.8 Dimensionamento dos sistemas utilizados .....                          | 31        |
| 4.8.1 Dimensionamento do dispositivo de descarga de primeira lavagem ..... | 32        |
| 4.8.2. Dimensionamento do reservatório de água da chuva .....              | 33        |
| 4.9. Análise Econômica .....   | 34        |
| <b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>                                     | <b>36</b> |
| 5.1 Considerações gerais .....   | 36        |
| 5.2 Qualidade da água de chuva .....                                       | 37        |
| 5.3 Efeito de primeira lavagem <i>First-Flush</i> .....                    | 39        |
| 5.4 Perfil de Consumo. ....  | 40        |
| 5.5. Análise Econômica .....   | 42        |
| <b>6. CONCLUSÕES .....</b>   | <b>44</b> |
| <b>7. RECOMENDAÇÕES.....</b>   | <b>46</b> |
| <b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                                  | <b>47</b> |
| <b>ANEXO 1 .....</b>   | <b>51</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.1 – Ciclo Hidrológico.....  | 3  |
| Figura 3.2 – Chuvas convectivas.....   | 4  |
| Figura 3.3 –Chuvas Orográficas.....  | 4  |
| Figura 3.4 – Chuvas Frontais.....  | 5  |
| Figura 3.5 – Efeitos da urbanização no ciclo hidrológico .....   | 6  |
| Figura 3.6 – Polutograma Geral .....   | 9  |
| Figura 3.7 – Variação das CMEs por eventos .....   | 10 |
| Figura 3.8 – Funções das concentrações $C(t)$ , descarga $L(t)$ , massa $m(t)$ , volume $v(t)$ e vazão $Q(t)$ , gerados em um evento ..... | 12 |
| Figura 3.9 – Padrões de primeira lavagem para material particulado e dissolvido.....   | 13 |
| Figura 3.10 – Área Composta.....   | 20 |
| Figura 3.11 – Esquema de um sistema de aproveitamento de água de chuva .....   | 22 |
| Figura 4.1 – Área de estudo.....   | 23 |
| Figura 4.2 – Ponto de amostragem .....   | 24 |
| Figura 4.3 – Área de Captação .....  | 24 |
| Figura 4.4 – Pluviógrafo <i>datalogger</i> Squitter S1610.....   | 25 |
| Figura 4.5 – Representação gráfica de polutograma.....   | 25 |
| Figura 4.6 – Intervalos de coleta das amostras .....   | 26 |
| Figura 4.7 – Recipiente com saco plástico para coleta diretamente da chuva .....   | 26 |
| Figura 4.8 – Localização do coletor de água diretamente da chuva .....   | 27 |
| Figura 4.9 – Método de armazenamento do <i>datalogger</i> .....  | 28 |
| Figura 4.10 – Interior do dispositivo <i>first flush</i> .....   | 29 |
| Figura 4.11 – Dispositivo <i>first flush</i> instalado.....  | 30 |
| Figura 4.12 – Reservatórios utilizados no projeto .....  | 31 |
| Figura 5.1 – Curvas adimensionais dos parâmetros analisados .....  | 37 |
| Figura 5.2 – Médias horárias do consumo monitorado .....   | 38 |
| Figura 5.3 – Média do consumo diário.....  | 38 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 3.1 – Consumo de água médio por região do Brasil.....   | 16 |
| Tabela 4.1 – Precipitação acumulada média, em milímetros, em alguns períodos em Campo Grande-MS..... | 30 |
| Tabela 4.2 – Orçamento das peças hidráulicas utilizada no sistema .....                              | 34 |
| Tabela 4.3 – Valor atual da água em Campo Grande/ MS .....   | 34 |
| Tabela 5.1 – Data/hora dos eventos observados .....  | 35 |
| Tabela 5.2 – Características dos eventos chuvosos observados .....                                   | 36 |
| Tabela 5.3 – CME dos eventos observados .....  | 36 |
| Tabela 5.4 – Concentrações da água diretamente da chuva.....   | 37 |
| Tabela 5.5 - Análises bacteriológicas .....  | 38 |
| Tabela 5.6 – Dimensionamento do reservatório através do método de simulação .....                    | 41 |

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

|       |  |
|-------|--|
| CPTEC | Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos |
| DAE   | Dias antecedentes de estiagem                    |
| IBGE  | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  |
| INPE  | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais        |
| IPTU  | Imposto Predial e Territorial Urbano             |

## RESUMO

RODRIGUEZ, P.S.B., (2012). *Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em sanitário público* 45p. *Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.*

A preocupação com disponibilidade de água exige a necessidade de buscar um consumo sustentável deste recurso, contudo, estudar as possíveis utilizações para tornar tal prática mais acessível à população em termos econômicos e sócio-ambientais. O armazenamento e utilização da água da chuva é uma solução para a economia de água, que diminui a demanda de água potável requerida pelos usuários. Assim este trabalho visa analisar a qualidade da água da chuva e avaliar a eficiência e economia na utilização desta para sanitário público. Foi instalado um sistema de coleta no prédio do CCET-UFMS, onde um condutor horizontal transportava a água da calha para o sistema de aproveitamento de água da chuva. Cinco eventos de precipitação foram amostrados, levando a concluir que características ambientais do entorno da área onde foi instalado o sistema de aproveitamento de água da chuva influem diretamente na qualidade da mesma; a eficiência do descarte da água de primeira lavagem para telhados de aço galvanizado depende da intensidade inicial da chuva. Esta sendo elevada elimina os poluentes presentes no telhado no início do evento ocorrendo o fenômeno de *first flush*; A implantação em toda a UFMS ocasionaria uma redução de consumo considerável, tendo em vista que a instituição possui 24 sanitários sendo que 12 deles apresentam as mesmas características que o sanitário estudado, economizando água e consequentemente recursos financeiros, o que faz do sistema para as condições deste estudo economicamente viável. Sendo este um benefício econômico e sócio-ambiental, pode-se motivar os usuários a se interessar em instalar em suas residências sistemas semelhantes.

Palavras-Chave: *first flush*; sanitário público; uso racional; aproveitamento; água de chuva.

# ABSTRACT

## ABSTRACT

RODRIGUEZ, P.S.B., (2012). *Use of Rainwater for non-potable end in public restroom. 45p. Dissertation (Master Degree) – Federal University of Mato Grosso do Sul, Brazil.*

Concern about water availability requires to search a sustainable water consumption, however it's necessary to study the possible uses to make the practice more economic and accessible to the population. Storage and use of rainwater is a saving water solution, which decreases the demand for potable water required by users. So, this study aims to examine the rainwater roof run off quality and evaluate the efficiency and economic use of this water for public health. It was installed a collection system in the building of the CCET-UFMS, where a horizontal gutter was used to carry the water trough the reuse rainwater system. Five rain events were sampled, leading to conclude that environmental characteristics surrounding the area where the system was installed make worsening the rainwater roof run off quality, where the efficiency of the discharge of water from first flush, for galvanized steel roofs, depends on the initial intensity of rain. This eliminates a large amount of pollutants in the first moments of rain, occurring the first flush phenomenon; If this system is applied at the UFMS, would cause a considerable reduction in water consumption, given that the institution has 24 toilets and 12 of them have the same characteristics as the toilet studied, saving water and therefore saving money, to the conditions of this study, given a economically feasible. This socioeconomic and environmental benefit can motivate users to take an interest in installing in their homes.

Key words: first flush; public restroom; rational use of water; rainwater.

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente preocupação com a disponibilidade de água potável nas próximas décadas aumenta a necessidade de buscar um consumo sustentável do recurso. Implementando-se novos métodos para o uso doméstico e industrial, sendo estes, separados por tipo de utilização e qualidade da água necessária para cada fim, aumentaríamos a disponibilidade de água nas cidades.

Os projetos urbanísticos que foram implantados na maioria das cidades brasileiras visavam à total impermeabilização do solo, fazendo com que a água de chuva antes infiltrada pelo solo, escoasse pela pavimentação até encontrar uma área de infiltração ou um corpo d'água, e quando em forte intensidade, ocasiona picos de inundações assim como exportação de poluição da superfície para os corpos d'água.

O armazenamento e utilização da água da chuva em edificações diminuem a demanda de água potável requerida pelos usuários e quando aplicada em grande escala podem minimizar os picos de inundações nas cidades. Ações como estas reduzem as despesas dos usuários com o recurso e são maneiras mitigadoras na prevenção de enchentes urbanas.

A necessidade de conservação da água é evidente e medidas para eliminar ou minimizar esta problemática já estão sendo tomadas pelo governo brasileiro. Estão sendo praticados programas de pesquisas que valorizam a implantação de novas técnicas para o uso racional da água. O Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) e o Programa Nacional de Combate ao Desperdício da Água (PNCDA) do Governo Federal são exemplos disso, que tem por objetivo promover o uso racional da água e focalizar a melhora dos sistemas do saneamento básico.

Num contexto local, a câmara municipal de Campo Grande - MS está transitando um projeto de lei complementar nº 150/2010 que beneficia o proprietário de residência que adotam medidas que preservam, protegem e recuperam o meio ambiente, sendo uma delas a captação e utilização da água de chuva em seu próprio imóvel. Se aprovado este projeto de lei, será instituído o Programa de Imposto Ecológico, reduzindo o Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) e Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISSQN) às pessoas físicas e jurídicas, proprietárias de imóveis residenciais e comerciais, que adotarem medidas que estimulem a proteção, preservação e recuperação do meio ambiente.

A literatura confirma que a forma mais segura, em relação ao risco de contaminação da saúde humana, de se reduzir o consumo de água potável é substituir a utilização deste recurso para o transporte de dejetos humanos. Pressupõe-se que a utilização de água de qualidade inferior, como a água que escoar pelos telhados em eventos chuvosos, supriria esta demanda que é estimada em 30% do consumo residencial (FEWKERS, 1999) e 29,8% em escolas (FASOLA *et al.* 2011).

Com estes fatos pode-se verificar a importância que está sendo depositada no potencial de aproveitamento da água das chuvas, por isso é necessário estudar as possíveis utilizações que, a esta, pode ser atribuída, para tornar tal prática mais acessível à população em termos econômicos e sócio-ambientais.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

O objetivo dessa pesquisa é analisar a qualidade da água da chuva e avaliar a eficiência e economia na utilização da água da chuva para sanitário público em um sistema piloto na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS).

### **2.2. Objetivos específicos**

- Avaliar características físico-químicas e bacteriológicas da água de chuva coletada após passar por telhado de aço galvanizado.
- Avaliar a eficiência e economia de água na utilização da água de chuva em sanitários.
- Avaliar a relação oferta e demanda de água da chuva para utilização nas dependências da UFMS

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Ciclo Hidrológico

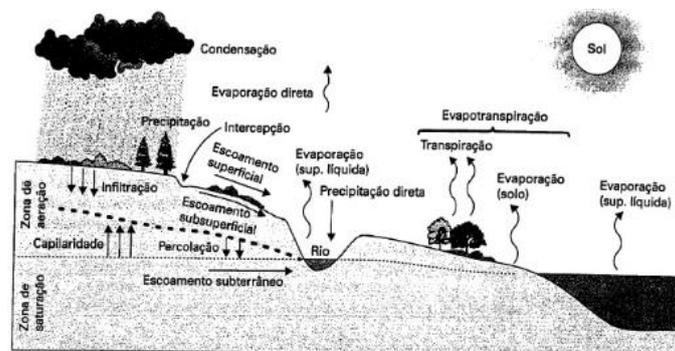
A água está em constante transição de estado físico da matéria e localidade, não sendo este recurso distribuído igualmente pelo planeta Terra. Dada a sua importância para a manutenção da vida, o habitat é que determina as características que os seres vivos devem apresentar para suportar tais variações de umidade (Braga *et al.* 2005).

Segundo Tucci (1997) o ciclo hidrológico é definido como o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre. Um dos principais fenômenos que ocorre neste ciclo é a evaporação, que transforma moléculas de água em forma de vapor de água.

Com o aquecimento, o vapor d'água ganha altitude, se expandindo, causando uma queda em sua temperatura e à medida que este fenômeno ganha intensidade ocorre um acréscimo na umidade do ar. Com o resfriamento o vapor d'água se condensa e, por interação com o material particulado presente no ar, aumentam de tamanho até chegar a um ponto em que a força de sustentação vence a gravitacional e precipitam-se em forma de chuva (Braga *et al.*, 2005)

Alem dos fenômenos da precipitação e da evaporação o ciclo hidrológico é composto também pela evapotranspiração, escoamento superficial, infiltração, escoamento subterrâneo e interceptação (Figura 3.1).

Em termos hidrológicos a precipitação é entendida como liberação de água provinda de vapores d'água que atinge a superfície terrestre, podendo estar nas diferentes formas de precipitação como: neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve, estas se diferem pelo estado em que a água se encontra (Bertoni & Tucci, 1997)

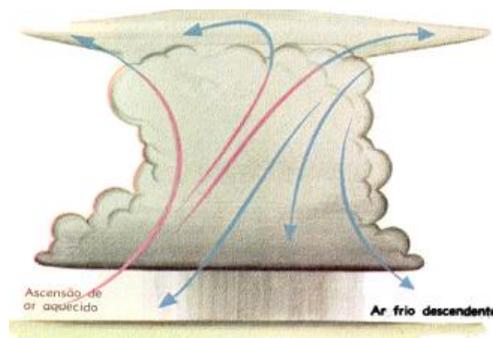


**Figura 3.1 – Ciclo hidrológico**  
Fonte: Braga *et al.* (2005)

### 3.1.1. Classes de Precipitação

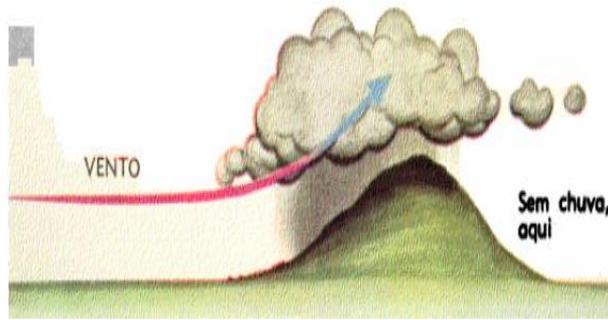
Segundo Tucci (1997) existem três classes de chuva diferenciando conforme o mecanismo fundamental pelo qual se produz a ascensão do ar úmido. São essas três classes de chuvas:

- **Convectivas:** São chuvas de grande intensidade e curta duração, restrita a áreas pequenas. Com ocorrência em regiões equatoriais, onde os ventos são poucos intensos e o deslocamento de ar é essencialmente vertical. Em uma situação de calmaria, o ar úmido é aquecido na interface solo – atmosfera, podendo criar camadas de ar em equilíbrio instável, com essa perturbação, forma-se uma brusca ascensão de ar menos denso que atinja seu nível de condensação com formação de nuvens, podendo estas precipitarem (figura 3.2). No Brasil há uma predominância de chuvas convectivas, especialmente nas regiões tropicais.



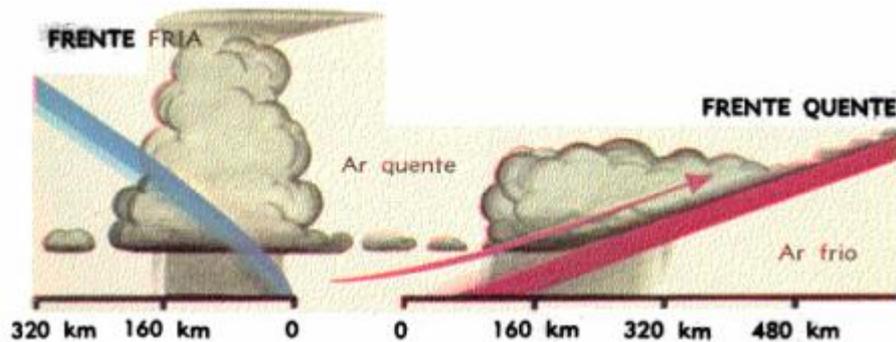
**Figura 3.2** – Chuvas convectivas  
Fonte: Forsdsyke (1968)

- **Orográficas ou chuvas de relevo:** São de pequena intensidade e grande duração, onde a condensação do vapor se dá quando a massa de ar quente e úmido encontra uma barreira natural elevada, como montanhas, assim essa umidade é resfriada atingindo seu nível de condensação resultando em formação de nuvens e precipitação. No caso da ultrapassagem dessa massa de ar, do lado oposto forma-se a sombra pluviométrica, dando lugar a áreas secas ou semi-áridas causadas pelo ar seco, uma vez que a umidade foi perdida na encosta oposta (figura 3.2). No Brasil tem ocorrência ao longo da Serra do Mar.



**Figura 3.3 – Chuvas Orográficas**  
 Fonte: Forsdsyke (1968)

- **Frontais ou ciclônicas:** De grande duração atingindo grandes áreas com intensidade média, podem vir acompanhadas de ventos intensos com circulação ciclônicas. São formadas a partir da interação entre massas de ar quentes e frias, essa interação faz com que a massa de ar quente e úmida seja bruscamente impulsionada para cima, que atinge seu nível de condensação produzindo chuvas (figura 3.4). No Brasil são frequentes na região sul, atingindo também as regiões sudeste, centro-oeste e, por vezes, o nordeste.

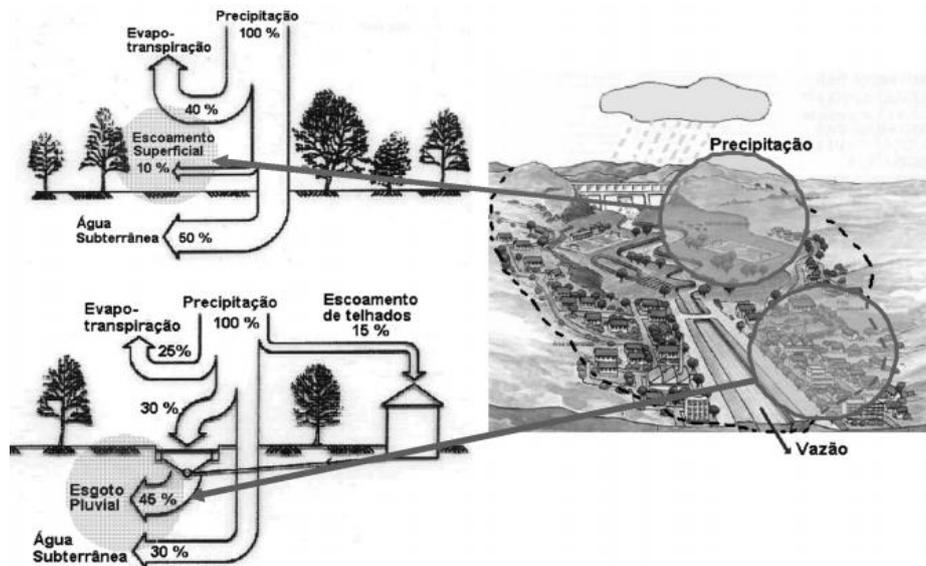


**Figura 3.4 – Chuvas Frontais**  
 Fonte: Forsdsyke (1968)

### 3.2. Ciclo Urbano da Água

O afastamento das características rurais de uma área ocasiona modificações drásticas como impermeabilização do solo, alterações em cursos dos rios, construções de edifícios, dentre outros, ocasiona modificações drásticas em sua configuração natural, esse processo é denominado urbanização (Santos, 2008). Estas alterações fazem com que toda a dinâmica do ciclo hidrológico seja modificada, interferindo diretamente na produção de água na bacia hidrográfica (Vargas *et al.*, 2008).

Esta produção é afetada principalmente pelo decréscimo de infiltração que ocorre devido à impermeabilização das áreas, escoando agora superficialmente e encaminhada ao sistema de esgotamento pluvial (Tucci & Genz, 1995). Com este aumento na produção de água, estas áreas ficam mais suscetíveis a inundações e enchentes, pois um grande percentual da precipitação que incide sobre estas áreas escoam sobre a superfície (Figura 3.5).



**Figura 3.5** – Efeitos da Urbanização no ciclo hidrológico  
 Fonte: Vargas *et al.* (2008)

### 3.2.1. Efeitos da urbanização no escoamento superficial

Um centro urbano desenvolve diversas transformações em sua evolução. A impermeabilização do solo, através de ruas, calçadas, telhados, entre outros, é a primordial e a mais requisitada pela população. Estas características geomorfológicas fazem com que a água antes infiltrada no solo passe a escoar pela superfície e condutos aumentando o escoamento superficial.

Segundo Atkinson (1975), a correlação entre urbanização e precipitação é um tanto que incerta, mas afirma que a área de maior atividade de uma tempestade se dá sobre uma área urbanizada. Tabony (1980) acredita que as influências da urbanização nas precipitações são mais visíveis nos eventos chuvosos de grande intensidade e de curta duração, de origem convectiva, motivados pela ilha de calor, alta concentração de núcleos de condensação e rugosidade típica de áreas urbanas.

De forma a tentar minimizar esse risco ambiental e social existem formas de contenção e controle de enchentes que podem ser do tipo estrutural ou não estrutural (Tucci, 1997).

- **Estruturais:** Controle da cobertura vegetal; controle da erosão do solo; diques ou *polders* (popularmente chamados de piscinões); modificações no curso d'água; reservatórios.
- **Não estruturais:** Regulamentação do uso da terra ou zoneamento de áreas inundáveis; construção à prova de enchente; Previsão e alerta.

Algumas práticas urbanas como o aumento de áreas verdes, aproveitamento de água da chuva, utilização de materiais para pavimentação que favorecem a infiltração da chuva no solo vem como soluções para minimizar os efeitos catastróficos das chuvas nas cidades, assim como a redução do consumo de água tratada das redes públicas de abastecimento.

### **3.3. Fontes de Poluição Atmosférica**

A geomorfologia e a biodiversidade de uma área podem conferir um acréscimo de materiais particulados orgânicos e inorgânicos na atmosfera. Estes podem provir dividindo-se em partículas grossas e finas, que por sua vez provir de fontes naturais e antrópicas. As fontes naturais de partículas grossas, que possuem diâmetros na faixa entre 10 – 100  $\mu\text{m}$  são provenientes de queimadas e erosão natural; erupção vulcânica, pólen das plantas, enquanto as fontes antrópicas são queima de combustíveis, cultivo do solo, trituração de rochas em pedreiras. Partículas finas com diâmetro menor que 10  $\mu\text{m}$ , formam-se principalmente por meio das reações químicas e pela coagulação de espécies menores (Baird, 2002).

Os materiais particulados que precipitam sobre as superfícies compõem os constituintes da denominada precipitação seca e podem alterar os parâmetros da qualidade de água da chuva que faz a drenagem pluvial destas áreas.

### 3.3.1. Características Gerais da Poluição do Ar

A poluição atmosférica pode ser originada através de duas fontes, natural ou antrópicas. Estas podem conferir ao ar atmosférico incrementos de aerossóis orgânicos como fuligem e/ou inorgânicos metais pesados (Baird, 2002).

May (2004) constatou a presença de sólidos dissolvidos e em suspensão, coliformes termotolerantes, cloretos, sulfetos, fluoretos, magnésio, manganês, ferro e cálcio nas análises físico, químico e biológica da água de chuva após escoarem por um telhado. Estes elementos são provenientes de poluentes presentes no ar que são depositados no telhado e posteriormente laçados com a chuva.

A queima de combustíveis fósseis e resíduos sólidos provindos dos automóveis são fontes significativas de metais pesados à atmosfera. Estes metais que são encontrados com mais frequência são Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Níquel (Ni), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) e que pode ser transportados pelos ventos e depositados sobre superfícies. (Yousef *et al.* 1987).

### 3.3.2. Chuva ácida

Mesmo em regiões inalteradas pelo homem o pH da água da chuva encontra-se próximo a 5, devido à presença de aerossóis de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e sulfato (SO<sub>4</sub>) presentes na atmosfera que por sua vez reagem com o vapor de água aumentando a concentração de íons H<sup>+</sup> na água (Jaques *et al.* 2005). Segundo Deus *et al.* (2002) a caracterização de chuva ácida se dá a partir da constatação de pH igual ou inferior a 5,6 entretanto Baird (2002) ressalta que se denomina chuva “ácida” as precipitações com pH inferiores a 5.

## 3.4. Relações de fluxo, concentração e carga do poluente

### 3.4.1. Concentração e polutograma

A quantificação primária que identifica a concentração de um determinado poluente em uma amostra de quaisquer fluidos é definida na equação 3.1:

$$C = \frac{\text{Quantidade do componente (massa)}}{\text{volume do fluido}} \quad (3.1)$$

Onde:

C = concentração (mg. L<sup>-1</sup> ou g.m<sup>-3</sup>)

Concentração não é necessariamente medida em unidades de massa, um exemplo é a concentração de bactérias que é medida por Número Mais Provável (NMP). Outra forma de se mensurar o impacto do poluente no ambiente é a determinação da carga da poluição (eq. 3.2), que pode significar a massa total  $M$  em um volume  $V$ :

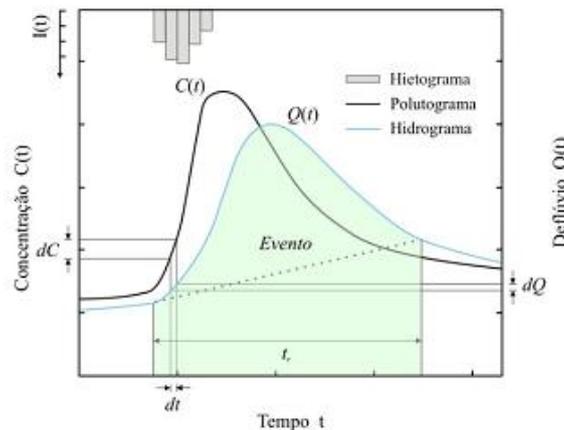
$$M = C \cdot V \quad (3.2)$$

$$C = \frac{M}{V}$$

ou na taxa de fluxo de massa  $L$  (massa/tempo) na água escoando com a vazão  $Q$  (volume/tempo), equação 3.3:

$$L = C \cdot Q \quad (3.3)$$

O polutograma (figura 3.6) é estabelecido através da variação dos parâmetros de qualidade da água em função do tempo. Esta representação fornece a indicação do pico de concentração esperado e o tempo de escoamento que afetara o corpo receptor, portanto ele relaciona a qualidade da água com o respectivo volume a qualquer instante do evento chuvoso (Zhao *et al.* 2007).



**Figura 3.6 – Polutograma geral**  
Fonte: Oliveira (2007)

### 3.4.2. Concentração média do evento – event mean concentration

Na drenagem pluvial a concentração dos poluentes varia ao longo do evento chuvoso, da mesma maneira que as vazões, gerando uma curva semelhante ao do hidrograma correspondente, tornando-se difícil calcular ou prever a distribuição temporal da concentração dos poluentes presentes (Silva, 2010).

Uma forma de se determinar uma média para a concentração do evento como uma avaliação global, é o cálculo da Concentração Média do Evento (CME), que é uma média ponderada de acordo com o escoamento da bacia hidrográfica em estudo. A CME

tem sido utilizada como indicador do grau de impacto ambiental, devido à qualidade da água proveniente do escoamento superficial.

A CME é um parâmetro analítico importante, pois representa uma concentração média ponderada, tendo o deflúvio como peso (Lee et al, 2001). Esta é estabelecida através da relação entre a massa total do poluente ( $M_T$ ) com o volume total ( $V_T$ ) do escoamento superficial.

A  $M_T$  e o  $V_T$  são definidos através das equações 3.4 e 3.5, respectivamente:

$$M_t = \int_0^{T_f} C(t)Q(t)dt \quad (3.4)$$

$$V_t = \int_0^{T_f} Q(t)dt \quad (3.5)$$

Onde:  $C(t)$  =concentração variável no tempo;  
 $Q(t)$  =deflúvio variável no tempo.

Portanto a equação resultante da CME é expressa da seguinte maneira (equação 3.6):

$$ME = \bar{C} = \frac{M_t}{V_t} = \frac{\int_0^{T_f} C(t)Q(t)dt}{\int_0^{T_f} Q(t)dt} \quad (3.6)$$

As integrais da eq. (3.6) podem ser estimadas, por aproximação ao considerar valores discretos, através de amostragens em campo. Assim a eq. 3.6 pode ser expressa como eq. 3.7

$$CME \cong \frac{\sum_{i=1}^{i=n} C_i Q_i \Delta t}{\sum_{i=1}^{i=n} Q_i \Delta t} \quad (3.7)$$

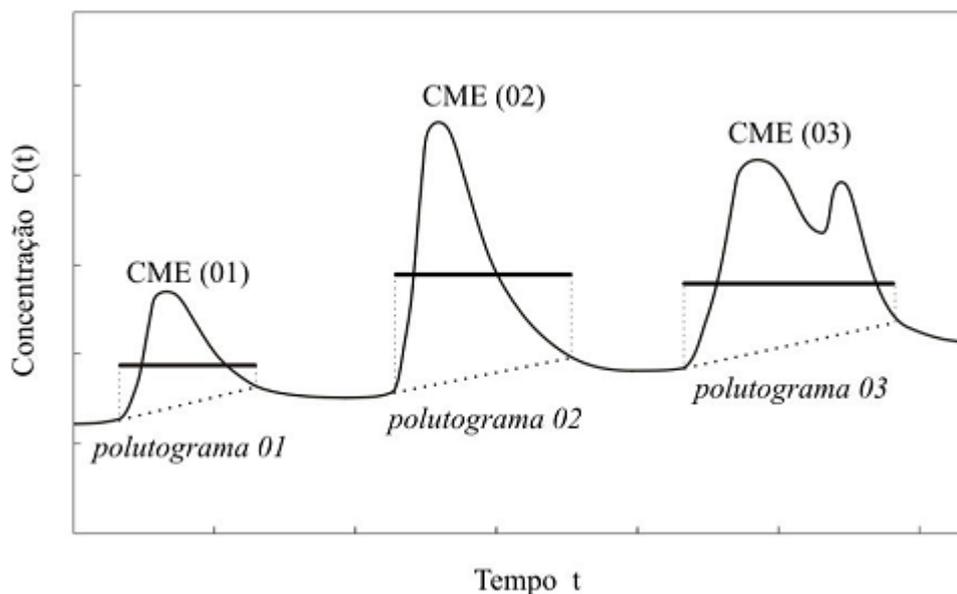
Onde:  $n$  = número de amostras;  
 $C_i$  = concentração discreta a cada tempo  $i$ ;  
 $Q_i$  = eflúvio discreto a cada tempo  $i$ ;  
 $\Delta t$  = intervalo de tempo do evento.

A aplicação da CME pode ser considerada como um índice de potencia poluidora do evento. O índice possui as vantagens a seguir:

(Novotny,1992):

- Exibe distribuição log-normal
- É um parâmetro conciso, que representa um conjunto muito variável de dados;
- Apresenta uma melhor comparação entre eventos e condições diferentes.

A utilização da CME substitui a real variação temporal das concentrações por um único pulso de concentração constante no tempo, porém determina igual massa e duração do comportamento real (Silva, 2010). Garante-se, assim a, representação apenas das cargas totais (Mt) do evento e período de exposição. A figura 3.7 demonstra as diferenças entre os polutogramas e respectivas CME's.



**Figura 3.7** – Variações das CME's por eventos.  
Fonte: Lee *et al.* (2001)

### 3.4.3. Efeito de primeira Lavagem – *First flush*

A ocorrência da chamada carga de lavagem (em inglês, *first flush*) é um dos fenômenos discutidos ao se tratar de polutogramas. A definição mais comum é a remoção inicial do material acumulado no período entre chuvas das superfícies em que foram depositados, significando que o pico dos polutogramas ocorre antes do pico das vazões (Silva, 2010). O fato de não ocorrer em todos os eventos pode estar associado com as perdas iniciais devido à rugosidade e tipo da superfície drenada (Ide, 1984). Sendo também determinantes para a ocorrência do fenômeno o volume total escoado, a altura da lamina formada sobre a superfície drenada, assim estas perdas será mais ou menos representativa (Porto, 1998).

Uma definição técnica do evento da carga de lavagem é que nos durante os primeiros 30% do volume drenado seja carregado 80% ou mais da massa total de poluentes (Bertrand-Krajewshi *et al.*, 1998). A determinação do volume de carga de lavagem é importante no estudo de aproveitamento de água da chuva para que esta possa ser descartada e armazenada somente a parcela do evento de melhor qualidade.

A massa total transportada em um evento  $Mt$  é definida pela equação 3.4, quando o tempo varia de 0 a  $t_r$ , ou seja, no intervalo de tempo total do evento. Logo, para um tempo decorrido qualquer  $t$ , menor que  $t_r$ , a massa transportada  $m(t)$  [M] em um intervalo de 0 a  $t$ , é definida pela equação 3.8.

$$m(t) = \int_0^t C(t)Q(t)dt \quad (3.8)$$

Por definição, a descarga  $L(t)$  de quaisquer poluentes é a multiplicação da função  $Q(t)$  pela  $C(t)$ . Então, a equação 3.8 pode ser interpretada como a integral da função  $L(t)$  no intervalo de tempo de 0 a  $t$  qualquer (eq. 3.9).

$$m(t) = \int_0^t L(t)dt \quad (3.9)$$

Analogicamente, a eq. 5 define o volume total ( $Vt$ ) drenado no evento, quando o tempo varia de 0 a  $t_r$ . Assim, para um intervalo de tempo qualquer, o volume transportado  $v(t)$  [ $L^3$ ] é definido pela equação 3.10.

$$v(t) = \int_0^{Tf} Q(t)dt \quad (3.10)$$

A figura 3.8 mostra de forma geral as funções de: i) descarga  $L(t)$ , ii) massa  $m(t)$ , iii) volume  $v(t)$ ; iv) vazão  $Q(t)$ ; e v) concentração  $C(t)$ , geradas em um evento de drenagem pluvial.

A determinação do fenômeno de *first flush* pode ser dada através das através da determinação de  $L$  e  $F$ , representados nas equações 11 e 12.

$$L = \frac{m(t)}{M(t)} \quad (3.11)$$

$$F = \frac{v(t)}{V(t)} \quad (3.12)$$

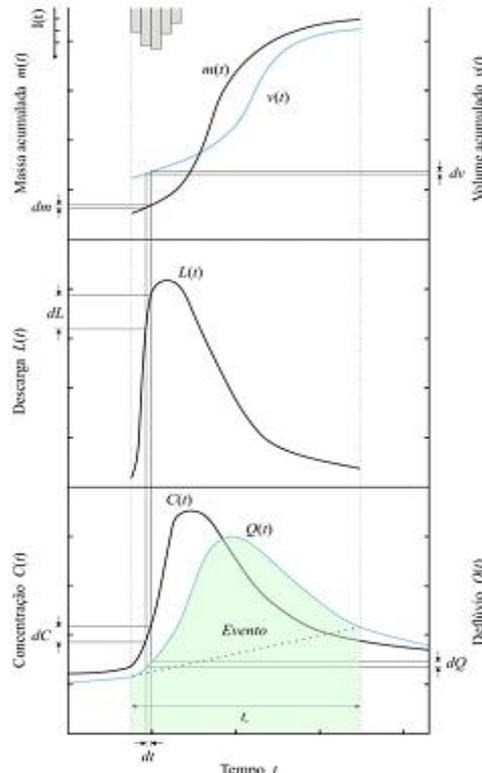
Onde:  $L$  = massa acumulada adimensional de poluentes.

$F$  = volume acumulado adimensional drenado.

Segundo Lee & Bang (2000), o fenômeno de primeira lavagem ocorre quando  $L$  for maior que  $F$ , como representado nas equações 3.13 e 3.14:

$$\frac{L}{F} = \frac{\frac{m(t)}{M(t)}}{\frac{v(t)}{V(t)}} > 1 \text{ ocorrência} \quad (3.13)$$

$$\frac{L}{F} = \frac{\frac{m(t)}{M(t)}}{\frac{v(t)}{V(t)}} \leq 1 \text{ não ocorrência} \quad (3.14)$$

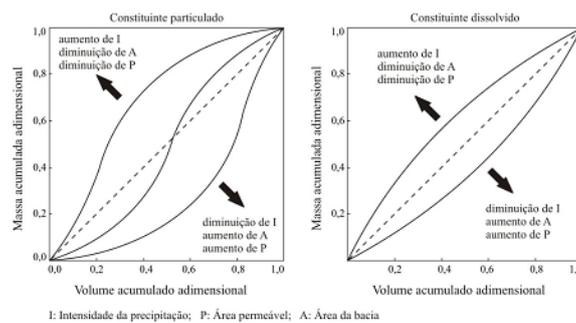


**Figura 3.8** – Funções de concentração  $C(t)$ , descarga  $L(t)$ , massa  $m(t)$ , volume  $v(t)$  e vazão  $Q(t)$ , gerados em um evento.  
Fonte: Oliveira (2007).

Para se verificar a ocorrência do *first flush* através das curvas acumulativas adimensionais de é traçada uma linha de  $45^\circ$  para traçar claramente quando ocorre o fenômeno, se as curvas estiverem acima da linha ocorre o fenômeno e se estiverem abaixo da linha não existe a ocorrência (figura 3.9).

As curvas acumulativas adimensionais podem ocorrer pela influencia de três importantes fatores (Lee & Bang, 2000):

- Intensidade da precipitação
- Área permeável
- Área da bacia hidrográfica



**Figura 3.9** - Padrões de primeira lavagem para materiais particulados e dissolvidos.  
Fonte: adaptado de Lee & Bang (2000)

### **3.5. Drenagem pluvial**

#### **3.5.1. Características das precipitações e dias antecedentes de estiagem.**

As principais grandezas que caracterizam uma precipitação são altura que é a lamina de água que recobriria a região atingida; duração que é o intervalo de tempo desde o início até o final do evento chuvoso; e intensidade que é a precipitação por unidade de tempo  $\text{mm.h}^{-1}$  (Bertoni & Tucci, 1993), a partir dessas informações pode-se determinar o volume total do evento, A energia cinética do evento está diretamente relacionada com a intensidade da chuva e esta é o que acelera a remoção de poluentes das superfícies.

Com períodos de estiagem maiores, os poluentes terão maior concentração nas superfícies onde foram depositados, portanto um grande numero de Dias Antecedentes de Estiagem (DAE) pode incidir em maiores concentrações no próximo evento chuvoso (Ide, 1984).

Entretanto Hunter *et al.* (1979) não verificou tal fenômeno, concluindo que este possa ocorrer em eventos que apresentem intensidades semelhantes. Para Brites (2005) o fator que mais apresenta maior correlação com o transporte de carga difusa é a intensidade da precipitação, porém Chui (1997), concluiu que para parâmetros de qualidade de água como DQO e sólidos suspensos totais tiveram grande correlação com os DAE.

### **3.6. Consumo de Água**

Segundo Rebouças *et al.* (1999) 2,5% de toda disponibilidade hídrica no mundo é composta por água doce e que a maior parcela 68,9% dessas águas forma as calotas polares, as geleiras e neves eternas que cobrem os cumes das montanhas mais altas do planeta. Os 29,9% restantes constituem as águas subterrâneas doces. A umidade dos solos, inclusive daqueles gelados - *permafrost*, e as águas dos pântanos representam cerca de 0,9% do total e a água doce dos rios e lagos cerca de 0,3%.

De acordo com relatório do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2004), o índice de consumo médio no Brasil é de 141 litros.pessoa.dia. A tabela 3.1 mostra os índices de consumo apresentados para as cinco regiões brasileiras.

**Tabela 3.1** – Consumo de água médio por região do Brasil

| <b>Regiões brasileiras</b> | <b>Índice de consumo médio<br/>(litros/pessoa por dia)</b> |
|----------------------------|--|
| Sudeste                    | 174,0  |
| Centro-Oeste               | 133,6  |
| Sul                        | 124,6  |
| Norte                      | 111,7  |
| Nordeste                   | 107,3  |
| <b>Brasil</b>              | <b>141,0</b>   |

Fonte: SNIS (2004)

A portaria 518/04 do Ministério da Saúde estabelece procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. O custo do tratamento, nas estações de tratamento de água, para garantir que a água distribuída é elevada. A utilização de fontes alternativas de água não potável pode substituir aproximadamente 43% do consumo total em uma residência (Carragher *et al.* 2012).

A utilização de água potável para transporte de dejetos humanos conflita sobre a escassez de água potável disponível na natureza. Se as maneiras de utilização da água forem alteradas, de acordo com a necessidade de demanda e qualidade da mesma por tarefa, tem-se uma maior disponibilidade de água potável, gerando ao usuário uma redução de consumo de água das concessionárias e conseqüentemente economia monetária. Quando estas ações são aplicadas em larga escala ocorre uma diminuição nos picos de inundação que também trazem prejuízos aos cidadãos do município (Alvez *et al.*, 2008).

### **3.6.1. Consumo residencial de água**

O suprimento da demanda por água, primeiramente se objetiva em fontes superficiais como rios e lagos, devido estas serem mais acessíveis e menor custo de captação seguida das águas subterrâneas. O percentual de consumo de água doce esta dividido em 69% para a agricultura, 23% a indústria e 8% ao consumo humano (Rebouças *et al.*, 1999)

Com a finalidade de maior detalhar o consumo em áreas urbanas Tomaz (2005) dividiu este em três categorias:

- Consumo residencial: relativo às residências unifamiliares e edifícios multifamiliares;
- Consumo comercial: relativo aos restaurantes, hospitais e serviços de saúde, hotéis, lavanderias, lava jatos, clubes esportivos, bares, lanchonetes e lojas;
- Consumo público: relativo aos edifícios públicos, escolas, parques infantis, prédios de unidade de saúde pública, cadeia pública, e todos os edifícios municipais, estaduais e federais existentes.

A previsão de consumo de água potável residencial pode ser estimada utilizando padrões de engenharia, no Brasil os padrões utilizados são provenientes de estudos realizados nos Estados Unidos ou na Alemanha. Tomaz (2003) e Barreto (2008) relatam a falta de pesquisa sobre o detalhamento de consumo no interior de uma residência.

### **3.6.2. Consumo de água em sanitários públicos.**

O Brasil possui aproximadamente 7,5 milhões de funcionários públicos (BRASIL, 2011) representando 12% do total de empregos no país (Estadão, 2010). Considerando que a jornada de trabalho determinada pelo art. 58 da CLT é de oito horas diárias, existe uma alta demanda de água nos órgãos públicos.

Apesar de parecer um número pequeno na parcela dos trabalhadores nacionais, prédios públicos não são utilizados apenas por seus funcionários, mas também pelos usuários dos serviços que são prestados nesses locais, ocasionando um acréscimo na demanda de água, principalmente dos sanitários, nesses locais.

Em comparação com o consumo residencial, o consumo em prédios públicos apresenta um diferente perfil de consumo, sendo a maior parte deste, aproximadamente 65% do consumo total, são utilizados para fins não potáveis (May, 2004).

Geralmente esses prédios ocupam grandes áreas como aeroportos, hospitais, universidades federais e estaduais, escolas, etc. A interação de fatores como demanda por água não potável e grandes áreas de telhados, fazem com que os prédios públicos sejam bons lugares para se implantar sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

### **3.7. Conservação da água**

As perdas físicas de água são uma das maiores preocupações na distribuição do recurso para a população em um município, este índice, que esta diretamente associada com perda financeira, é muito alto quando comparamos o Brasil com outros países (Leal, 2000).

Adotar medidas de conservação de água não origina efeito imediato (curto prazo), porém são de grande importância para a manutenção do recurso (May, 2004), tais como:

- Racionalização do consumo;
- Diminuição das perdas físicas na rede de abastecimento;
- Combate às ligações clandestinas;
- Reciclagem das águas servidas;
- Campanhas de conscientização.

A racionalização do consumo pode economizar uma quantidade significativa de água potável, em um prédio comercial foi verificado que um percentual de consumo variando entre 56 a 86% pode ser substituído por água proveniente de fontes alternativas (Proença & Ghisi, 2010).

### **3.8. Sistemas de coleta e aproveitamento de água em edificações para consumo não potável**

A utilização da água de chuva em residências pode substituir alguns usos da água menos nobres, como: descargas sanitárias; lavagem de carros e pisos; e irrigação de jardins. O aproveitamento da água da chuva para o uso doméstico, industrial e agrícola está ganhando foco em todo mundo, sendo visto como um meio simples e eficaz para se atenuar o passivo ambiental da crescente escassez de água potável (May, 2004).

A avaliação da qualidade da água da chuva de telhados é importante, pois a precipitação ao percorrer a superfície do telhado pode carregar poluentes, o que ocasiona um decréscimo em sua qualidade (Oliveira, 2007). Este decréscimo se da ao entrar em contato com poluentes, que possam estar presentes nesta superfície, como: poeira; folhas; dejetos de aves e animais que possam subir nos telhados ou sobrevoá-los.

Para que sejam mantidos os padrões de qualidade da água de chuva para o consumo não potável, captada em telhado, é necessário a instalação de um dispositivo que descarte a água de 1ª lavagem do telhado, denominado *first flush*, que é descartada a fim de evitar a contaminação da água que será armazenada no reservatório ou um sistema de filtração (Mosley, 2005).

Existem parâmetros que são considerados principais na avaliação da qualidade de água (Ritcher & Netto, 2000), como:

- Parâmetros químicos: alcalinidade, dureza, ferro, magnésio, cloretos, sulfatos, sólidos totais, impurezas orgânicas, nitratos, oxigênio dissolvido, demanda de oxigênio, fenóis, detergentes e substâncias tóxicas;
- Parâmetros físicos: cor, turbidez, pH, sabor, odor, temperatura e condutividade elétrica;
- Parâmetros biológicos: coliformes fecais e totais.

Alguns países da Europa, Ásia, Oceania e da América utilizam água da chuva em residências, indústrias e irrigação de agriculturas. Em muitos países objetivou-se, inicialmente, a retenção de água da chuva para controle de inundações, ou para mitigar a falta de um abastecimento regular de água e posteriormente, foi estendido para outros fins, devido à quantidade que pode ser captada e armazenada (Philippi *et al.*, 2006).

### **3.8.1. Normas vigentes**

O sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva pode ser concebido baseado nas recomendações da NBR 15.527 (ABNT, 2007), cujo título é Água de Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos.

Basicamente é composto por cinco partes:

1. Área de captação;
2. Calhas e condutores;
3. Dispositivo de descarte de água de escoamento inicial;
4. Reservatório
5. Pontos de uso.

A área de captação é a área projetada na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde a água da chuva é captada, podendo ser o telhado de uma residência, a cobertura de um galpão, o pátio de um estacionamento ou outra superfície impermeável que permita o escoamento da água de chuva para calhas e condutos.

Pode ser instalado no sistema um dispositivo para o descarte da água de escoamento inicial (água proveniente da área de captação suficiente para carregar a poeira, fuligem, folhas, galhos e detritos) com o objetivo de se fazer a autolimpeza da cobertura e, com isso, melhorar a qualidade da água a ser armazenada no reservatório. Dacach, apud May (2004), recomenda que o volume de autolimpeza seja entre 0,8 e 1,5 litros/m<sup>2</sup> de telhado, enquanto que a NBR 15.527 recomenda, na ausência de dados, o descarte de 2 mm da precipitação inicial ou 2,0 litros/m<sup>2</sup> de telhado.

O dimensionamento das calhas e condutores horizontais e verticais que conduzem a água da chuva da área de captação para o reservatório deverá estar em conformidade com a NBR 10.844 (ABNT, 1989), dotados de dispositivos para a remoção de detritos como grades e telas.

A NBR 15527 (ABNT, 2007), em seu Anexo A, apresenta alguns métodos para o cálculo do dimensionamento do reservatório de água de chuva, sendo eles: método de Rippl, método da simulação, método Azevedo Neto, método prático alemão, método prático inglês e método prático australiano.

O método da simulação consiste basicamente na aplicação da equação da continuidade (eq. 3.16) a um reservatório finito, não levando em consideração as perdas por evaporação e outras perdas como vazamentos. Supõe-se conhecido o volume do reservatório bem como a demanda. O volume de chuva aproveitável ( $Q_t$ ) é calculado da equação 3.16. Assim, para um determinado intervalo de tempo, o volume de água no reservatório ( $S_t$ ) é calculado pela eq. (3.15), que relaciona o volume de chuva aproveitável ( $Q_t$ ), o volume de água no reservatório no mês anterior ( $S_{t-1}$ ) e a demanda naquele mês ( $D_t$ )

$$S(t)=Q(t)+ S(t-1)- D (t) \quad (3.15)$$

O volume de precipitação é determinado pela equação 3.16:

$$Q(t) = C \times \text{precipitação da chuva}(t) \times \text{área de captação} \quad (3.16)$$

Sendo que:  $0 \leq S(t) \leq V$

Onde:  $S(t)$  é o volume de água no reservatório no tempo  $t$ ;

$S(t - 1)$  é o volume de água no reservatório no tempo  $t-1$ ;

$Q(t)$  é o volume de precipitação no tempo  $t$ ;

$D(t)$  é o consumo ou demanda no tempo  $t$ ;

$V$  é o volume do reservatório fixado;

$C$  é o coeficiente de escoamento superficial.

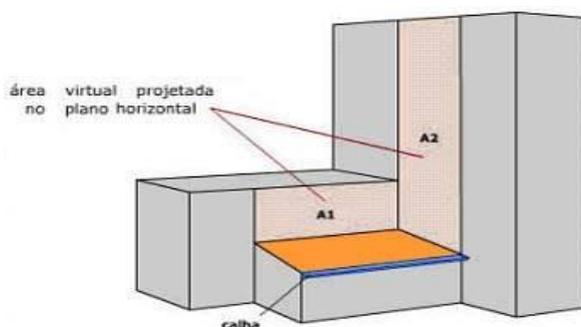
A fim de avaliar o desempenho do reservatório, calcula-se a confiança, a eficiência do sistema e a economia, todos eles dados em porcentagem. A confiança é a relação do número de meses que o sistema atende à demanda pelo número total de meses (geralmente 12 meses). A eficiência do sistema é a relação entre a quantidade de água aproveitada no sistema pela quantidade de água de chuva aproveitável. E a economia é a parte da demanda que foi suprida pela água de chuva (ou a relação entre a quantidade de água que deixou de ser suprida por fonte externa pela demanda total).

### 3.8.2. Instalação e manutenção do sistema

Segundo Tomaz (2005), a dinâmica de um sistema de aproveitamento de água da chuva funciona da seguinte maneira:

**Captação da água:** geralmente adotam-se superfícies impermeáveis como telhado de uma residência, laje de edifícios, pátios, etc. A área da coleta está diretamente ligada com a quantidade de água captada, assim como o coeficiente de precipitação da região *Runoff*.

A captação pode ser composta, como a demonstrada na figura X.



**Figura 3.10** – Área composta (virtual).

Fonte: Sanagiotto & Marques (2009)

**Condutores:** Existem dois tipos de condutores de água da chuva, são eles os condutores verticais e condutores horizontais (calhas), são estes os responsáveis por transportar a água da área de captação até o sistema de transporte.

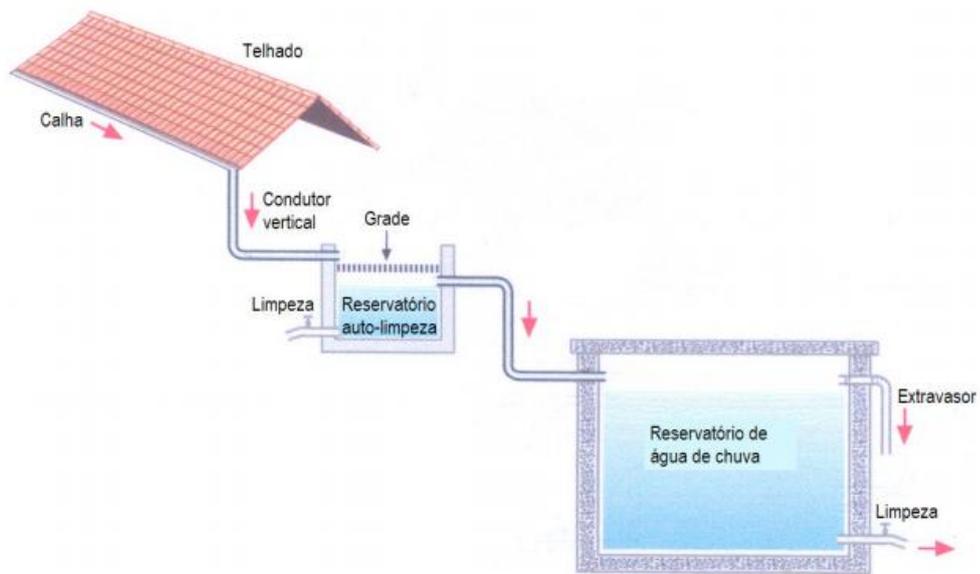
**Armazenamento:** é um sistema composto por reservatórios ligados ou apenas um reservatório, que tem função de armazenar a água coletada. Os reservatórios são dimensionados após se estabelecer uma área de coleta, a demanda para o recurso e conhecer a média de precipitação da região, no caso de não ter conhecimento para aquele município buscar nos municípios vizinhos (Tomaz, 2005)

A viabilidade de um sistema de aproveitamento de água de chuva é limitada pela capacidade do reservatório, sendo voltada toda a atenção ao seu dimensionado, tendo em vista que este é o item mais caro do sistema. Por ser de grande importância para a implantação do projeto, o dimensionamento foi objeto de estudo de diversos autores, gerando assim diversos métodos para a realização em cada caso especial ao qual será implantado.

A fim de avaliar o desempenho do reservatório calculam-se a confiança, a eficiência do sistema e a economia, todos eles dados em porcentagem:

- A confiança é a relação do número de meses que o sistema atende à demanda pelo número total de meses (geralmente 12 meses).
- A eficiência do sistema é a relação entre a quantidade de água aproveitada no sistema pela quantidade de água de chuva aproveitável.
- A economia é a parte da demanda que foi suprida pela água de chuva (ou a relação entre a quantidade de água que deixou de ser suprida por fonte externa pela demanda total).

**Tratamento:** O tratamento é determinado de acordo com a qualidade necessária para o uso da água, pode-se implantar tratamentos simples, como fazer o descarte da água de primeira lavagem, sedimentação natural, filtração simples e cloração, assim como utilizar sistemas de tratamento complexos como desinfecção por ultravioleta, nano filtração ou osmose reversa. De acordo com o tipo de utilização e do sistema adotado, o sistema de aproveitamento de água da chuva é de fácil manuseio, custo de implantação baixo e de com um período de retorno de investimento baixo se a precipitação for alta (May, 2004). Na figura 3.11 é possível observar um esquema simples do sistema de aproveitamento de água de chuva.



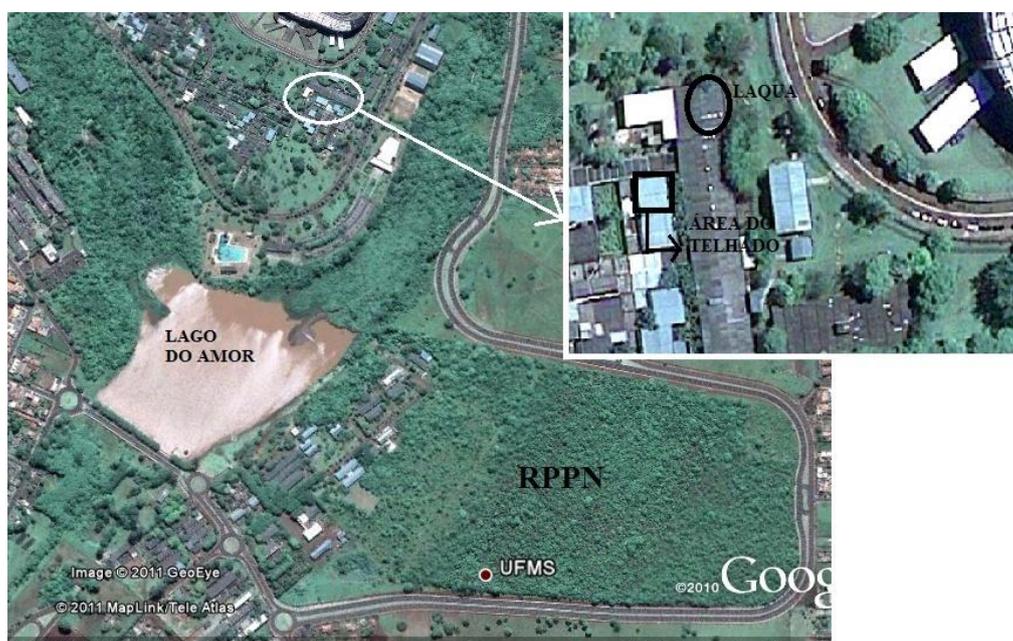
**Figura 3.11** – Esquema de um sistema de aproveitamento de água da chuva  
Fonte: Tomaz 2008

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1. Área de estudo

O estado de Mato Grosso do Sul possui uma precipitação pluvial anual média na ordem de 1500 mm ao longo de toda sua área de jurisdição, não apresentando locais onde a precipitação acumulada demonstre excesso ou deficiência, caracterizando-se como homogênea (SOUZA *et al.*, 2009).

O campus da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) em Campo Grande se destaca pela grande biodiversidade presente em toda sua delimitação, de aproximadamente 60,5 ha dividindo-se em dois remanescentes contínuos de cerrado em área urbana, um pertencente a Reserva Particular de Patrimônio Natural – RPPN/UFMS (20°27' S e 54°37' W, 530 m de altitude) caracterizado como cerrado e cerradão e outro uma área particular caracterizada como campo sujo (Munin *et al.*, 2008), contendo uma represa artificial denominada “Lago do Amor” na confluência de dois córregos o Cabaça e o Bandeira (figura 4.1)



**Figura 4.1** – Área de Estudo.

A instalação do sistema experimental de coleta de chuva foi alocada no prédio de Centro de Ciências Exatas e Tecnologia – CCET da UFMS, com o objetivo de coletar e qualificar a água da chuva que escoar sobre o telhado das dependências. Os motivos da instalação do sistema neste edifício são:

- Condições hidráulicas que possibilitou a instalação do sistema sem a necessidade de utilização de energia elétrica para seu funcionamento;
- Condições satisfatórias de telhado, calhas e condutores;
- Localização próxima ao laboratório de qualidade ambiental - LAQUA da UFMS;
- A região é densamente arborizada, com frequência de pequenos animais e pássaros;
- Características hidráulicas do sanitário que possibilita o uso da água aproveitada nas bacias sanitárias;
- Localizado próximo a avenida Costa e Silva, que possui tráfego intenso.

Para qualificar a água da chuva que escoa pelo telhado as coletas foram realizadas em um ponto de amostragem no condutor horizontal que transportava a água da calha para o sistema de aproveitamento de água da chuva (figura 4.2).



**Figura 4.2** – Ponto de amostragem.

#### **4.2. Área do Telhado**

O telhado possui uma área de 144 m<sup>2</sup> com cobertura em telhas de aço galvanizado, o qual foi projetado com uma água drenando toda área citada (figura 4.3). Para esse tipo de material Frasier (1975) adota um coeficiente de *runoff* entre 0,7 a 0,9, devido a sua baixa porosidade, fazendo com que o fluido perdido seja apenas o evaporado. Telhas de aço galvanizado apresentam uma menor porosidade, presença de

colônia de líquens e variação de qualidade de água em relação a telhas de madeira, concreto ou argila (Lee *et al.*, 2012).



**Figura 4.3** – Área de captação.

### 4.3. Monitoramento de precipitação

A altura pluviométrica foi determinada através de um pluviógrafo datalogger (Squitter modelo S1610) (figura 4.4) instalado na área do telhado no telhado para melhor representar as precipitações que ocorreram na área de estudo.



**Figura 4.4** – Pluviógrafo datalogger Squitter S1610.

Com esses dados foi possível determinar a intensidade e duração de cada evento chuvoso coletado e através desses foi verificada a vazão através da equação x e associado aos dados de qualidade da água foram confeccionados os polutogramas dos eventos chuvosos (figura 4.5).

$$Q = C * I * A \quad (4.1)$$

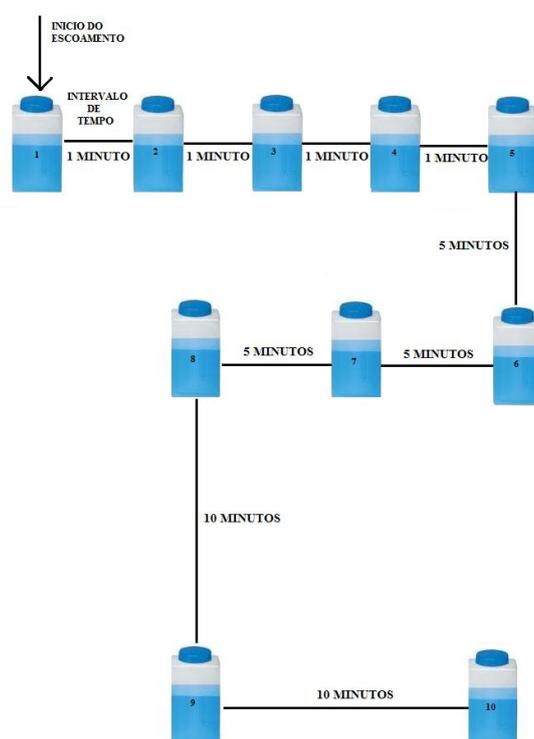
Onde: C = Coeficiente de *Runoff*

I = Intensidade

A = Área de captaçã

#### 4.4. Coleta e preservação das amostras de água

As amostragens foram realizadas em intervalos variados de 0 a 39 minutos (figura 4.6) durante os eventos chuvosos coletados, por um período que se estendeu de abril a setembro de 2011. Os frascos Estes intervalos foram determinados após avaliação e adaptações para a realidade do sistema instalado, através da metodologia utilizada por May (2004) que efetuou sua amostragem em períodos variados de 0 a 40 minutos, porém utilizou um coletor automático nas coletas da água.



**Figura 4.6** – Intervalos de coleta das amostras

Fonte: O autor (2012)

A coleta da água direta da chuva foi realizada em um recipiente plástico de 0,5 m de diâmetro, 0,65 m de altura e área de captação de aproximadamente 0,2 m<sup>2</sup>. Envolvendo a parte interna do recipiente, foi colocado um saco plástico nunca antes utilizado de 0,6 m de comprimento e 0,90 m de altura, com a finalidade de armazenar a amostra antes de levá-la ao laboratório (figura 4.7). Após esta preparação, o coletor é alocado em um ponto do telhado onde não pudesse receber influencia externa (figura 4.9).



**Figura 4.7** – Recipiente com o saco plástico para coleta direta da chuva.



**Figura 4.8** - Localização do coletor de água direta da chuva.

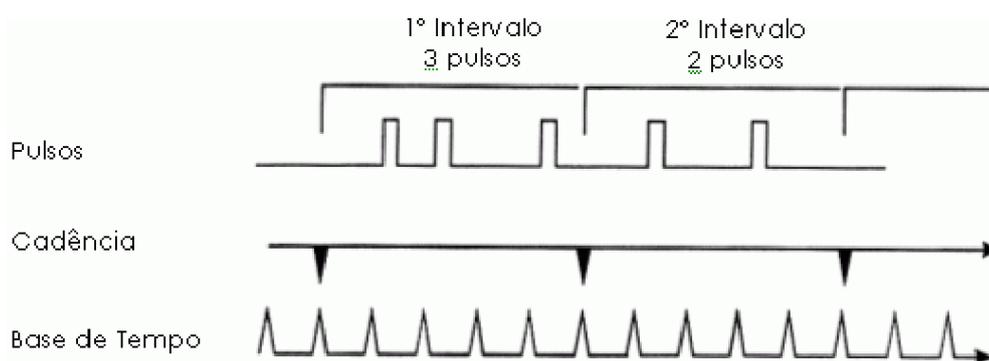
Os métodos de coleta e preservação de amostras de água empregados neste estudo foram baseados no Manual de Coletas e Preservação de Amostras de Água da CETESB.

#### **4.5. Análise da qualidade de água da chuva**

Os parâmetros de qualidade da água analisados neste estudo são: pH, turbidez, Demanda Química de Oxigênio, Condutividade e Coliformes Termotolerantes. Os métodos análise laboratorial seguiram as técnicas recomendadas pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21<sup>a</sup> edição.

#### 4.6. Monitoramento da demanda

O monitoramento foi feito em quatro bacias sanitárias com caixas acopladas de 6L, por meio de uma única tomada d'água ligada em circuito responsável pela alimentação. Neste ponto foi instalado um hidrômetro de saída pulsada que emite um pulso a cada litro consumido pelo sistema. Para armazenagem desses dados foi conectado ao hidrômetro um datalogger (Ciello®) que multiplica o volume pelo tempo de emissão dos pulsos e determina a vazão (figura 4.9).



**Figura 4.9** – Método de armazenagem do datalogger

Fonte: Technolog/Restor, (2008).

O monitoramento do consumo foi determinado após dez dias de coleta de dados, representando duas semanas de funcionamento do sanitário.

#### 4.7. Análise dos dados

Com a concentração dos parâmetros analisados e o volume de água precipitado se determinou a Concentração Média do Evento (CME). Esta foi escolhida devido a sua aplicabilidade para eventos chuvosos, pois seu resultado representa uma concentração como se todo o escoamento superficial pluvial fosse coletado em um único recipiente (SHELLEY *et al.*, 1987 *apud* THOMSON *et al.*, 1997).

Os dados que são extraídos do (Ciello®) estão representados em vazão. Estes foram transformados em volume para cada amostragem e acumulados em volume horário. Foi verificado o consumo diário acumulando os volumes horários.

#### 4.8. Dimensionamento dos sistemas utilizados

Os métodos de dimensionamento dos sistemas de calhas horizontais, dispositivo de descarga da água de primeira lavagem e cisterna de armazenamento seguiram as recomendações da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) n° 15527, válida a partir de 24 de outubro de 2007, Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos e as recomendações propostas por Tomaz (2005).

Os dados de precipitação (tabela 4.1) foram fornecidos pelo Centro de Monitoramento de Tempo, do Clima e dos Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (CEMTEC), oriundos da estação meteorológica do INMET em Campo Grande /MS (latitude 20,45°S, longitude 54,6166°W e altitude 530 metros).

**Tabela 4.1** - Precipitação acumulada média, em milímetros, em alguns períodos em Campo Grande /MS

|              | 1930-1960 (31 anos) | 1961-1999 (39 anos) | 2000-2010 (11 anos) | Média Ponderada |
|--------------|---------------------|---------------------|---------------------|-----------------|
| JAN          | 228,9               | 212,6               | 214,7               | 219,1           |
| FEV          | 199,4               | 171,4               | 179,6               | 183,2           |
| MAR          | 139,6               | 162,2               | 142,6               | 150,9           |
| ABR          | 100,7               | 105,2               | 75,4                | 99,4            |
| MAI          | 80,5                | 90,2                | 93,8                | 87,0            |
| JUN          | 49,9                | 42,6                | 41,9                | 45,3            |
| JUL          | 35,7                | 25,3                | 34,9                | 30,6            |
| AGO          | 28,5                | 38,1                | 51,1                | 36,2            |
| SET          | 61,8                | 78,2                | 71,2                | 71,0            |
| OUT          | 162,1               | 134,2               | 133,1               | 144,7           |
| NOV          | 164,3               | 164,0               | 175,8               | 165,7           |
| DEZ          | 190,7               | 206,3               | 186,1               | 197,6           |
| <b>Total</b> | <b>1442,1</b>       | <b>1430,3</b>       | <b>1390,2</b>       | <b>1429,4</b>   |

Fonte: Cemtec-MS/AGRAER/INMET (2010)

#### **4.8.1. Dimensionamento do dispositivo de descarga de primeira lavagem.**

O sistema de descarte da água de primeira lavagem do telhado *First Flush*, foi utilizado como forma de tratamento da água que será armazenada nos reservatórios. A implantação deste foi realizada para conferir melhor qualidade a água que alimentará o sistema.

Suas dimensões foram estipuladas seguindo as recomendações propostas por Tomaz (2005), onde o volume descartado se baseia nas dimensões do telhado, sendo para cada metro quadrado constituinte do telhado se descarta 1 mm de altura da água precipitada, ou seja,  $1L.m^{-2}$ .

O objetivo do projeto deste dispositivo foi que em sua confecção utilizasse materiais de baixo custo. Seu planejamento contemplou as seguintes condicionantes:

- Volume a ser descartado;
- Determinação do nível dos reservatórios;
- Estanqueidade do sistema;
- Funcionamento do dispositivo de impedimento de entrada de água;
- Orifício de auto esvaziamento.

O processo mais custoso em termos de tempo foi o de estanqueidade do sistema, pois esta condicionante garante o ótimo funcionamento do dispositivo de impedimento de água.

Este dispositivo foi confeccionado adicionando-se um tubo de PVC esgoto de 100mm, com uma conexão adaptador curto soldável/rosqueável instalado no nível desejado, para melhor vedação foi implantado um anel de borracha Oring no local de contato da esfera oca (retirada de brinquedo de boliche vendida em lojas de utilidades domésticas) de PVC com a conexão citada no interior do tubo, este foi aderido com adesivo instantâneo universal da marca SuperBonder® (figura 10). O nível de água do conjunto de reservatórios foi determinado através da adição do volume calculado no interior do *First Flush* (figura 11).

O orifício de auto esvaziamento do reservatório foi dimensionado para obter um dreno no sistema de maneira a não interferir no enchimento do mesmo. Foram instalados dois orifícios com 1,6mm de diâmetro em cada reservatório, sendo também instalado um orifício de 5mm de diâmetro, na parte superior do segundo reservatório fazendo a função de suspiro.



**Figura 4.10** – Interior do dispositivo *first flush*



**Figura 4.11** – Dispositivo *first flush* instalado

#### **4.8.2. Dimensionamento do reservatório de água de chuva**

O dimensionamento dos reservatórios foi realizado através do método da simulação sugerido na ABNT/NBR 15527, o qual se aplica para cada mês a equação 3.15 da continuidade a um reservatório de volume fixo.

Os reservatórios do sistema de aproveitamento de água da chuva instalado para este estudo não seguiram as recomendações propostas por quaisquer métodos. O CCET já possuía 3 caixas d'água de 1000 L (figura 4.12) que foram utilizadas para o armazenamento da água da chuva após passar pelo dispositivo de descarte do *first flush*.



**Figura 4.12** – Reservatórios utilizados no projeto.

#### **4.9. Análise econômica**

Para efeito de análise econômica foram realizadas simulações de reservatórios com volumes fixos fazendo a utilização de apenas uma caixa d'água ou a combinação delas. Esta determinou quantos meses o reservatório não atenderá a demanda de água, a confiança do sistema, a eficiência do sistema e economia de água.

O método de análise do período de *payback* foi determinado para verificar o retorno do investimento gasto com a implantação dos reservatórios. Este método é amplamente utilizado em empresas para pequenos investimentos, pois é um método de simples execução e acessível, este leva em consideração o fluxo de caixa e não o lucro apurado contabilmente (Gitman, 2010). Segundo Braga (1998) este método apresenta imperfeições, pois atende os parâmetros de entradas previstas após recuperação do investimento e o valor de dinheiro no tempo.

O tempo de vida útil do sistema adotado para este cálculo foi de 20 anos, sendo este período o mesmo adotado por Tomaz (2005).

O *payback* baseia-se em comparar todos os gastos com o projeto, instalação e operação do sistema, com o valor de retorno que se terá com o investimento em um período de tempo, esses valores foram orçados no dia 18 de julho de 2012 com uma empresa especializada em materiais hidráulicos (tabela 4.2). Os valores de água da rede de abastecimento público foram extraídos do site da concessionária de águas da cidade de Campo Grande (Águas Guariroba), todos os dados coletados estão representados na tabela 4.3.

**Tabela 4.2** – Orçamento das peças hidráulicas utilizada no sistema

| Peças Utilizadas                      | Qtd. | Valor (R\$)   |
|---------------------------------------|------|---------------|
| Reservatório (7,5 m <sup>3</sup> )    | 1    | 1970          |
| Res. Água de primeira lavagem (150 L) | 1    | 40            |
| Tubulação (100 mm) 6m                 | 1    | 36            |
| Tubulação (3/4 ") 6m                  | 2    | 19,8          |
| Joelho 90° (100 mm esgoto)            | 7    | 24,5          |
| Joelho 90° (3/4" água fria)           | 7    | 2,1           |
| Tê (100 mm esgoto)                    | 1    | 7             |
| Flange (1/2" água fria)               | 4    | 30            |
| Flange (50mm agua fria)               | 1    | 4,5           |
| Calha de aço galvanizado              | 1    | 300           |
| <b>TOTAL</b>                          |      | <b>2433,9</b> |

**Tabela 4.3** – Valor atual da água em Campo Grande - MS

| Tarifas públicas (Decreto municipal nº11.691/2011) |                    |
|--|--------------------|
|  | R\$/m <sup>3</sup> |
| Água (comercial abaixo 20m <sup>3</sup> )          | 3,37               |
| Esgoto (comercial abaixo 20m <sup>3</sup> )        | 2,36               |

Fonte: <http://www.aguasguariroba.com.br/tarifaatual> (acessado em 07/12)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Considerações gerais

Encontraram-se enormes dificuldades para a execução desta pesquisa, a metodologia de coleta manual é um verdadeiro desafio, devido a necessidade de espera e observação dos eventos de precipitação. Outros eventos foram coletados, porém em virtude das precipitações amostradas não possuírem em volume satisfatório de precipitação estas foram descartadas. Algumas das precipitações, geralmente de características frontais ou ciclônicas, iniciava-se com baixa intensidade, no entanto apresentavam duração de 7 horas, fazendo com que os intervalos de tempo escolhido para amostragem não reproduzissem com fidelidade o transporte de poluentes pelo telhado.

Quanto à observação qualitativa da água da chuva, foi clara a observação do fenômeno de descarga de poluentes ao longo do período de coleta. As quais demonstraram um maior aporte de poluentes nas amostragens iniciais da coleta.

Cinco eventos foram amostrados (tabela 5.1) e estão relacionados os horários de coleta das amostras de cada evento. A amostra 1 é a amostra que coleta o primeiro instante de chuva, as outras respeitam os intervalos utilizados nesta pesquisa.

**Tabela 5.1** – Data/hora dos eventos amostrados

|         | Evento 1 | Evento 2 | Evento 3 | Evento 4 | Evento 5 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Amostra | 12/04/11 | 09/06/11 | 19/08/11 | 22/09/11 | 05/10/11 |
| 1       | 12:15:00 | 09:13:00 | 21:01:00 | 17:44:00 | 17:01:00 |
| 2       | 12:16:00 | 09:14:00 | 21:02:00 | 17:45:00 | 17:02:00 |
| 3       | 12:17:00 | 09:15:00 | 21:03:00 | 17:46:00 | 17:03:00 |
| 4       | 12:18:00 | 09:16:00 | 21:04:00 | 17:47:00 | 17:04:00 |
| 5       | 12:19:00 | 09:17:00 | 21:05:00 | 17:48:00 | 17:05:00 |
| 6       | 12:20:00 | 09:18:00 | 21:06:00 | 17:49:00 | 17:10:00 |
| 7       | 12:25:00 | 09:23:00 | 21:11:00 | 17:54:00 | 17:15:00 |
| 8       | 12:30:00 | 09:28:00 | 21:16:00 | 17:59:00 | 17:25:00 |
| 9       | 12:35:00 | 09:33:00 | 21:21:00 | 18:09:00 | 17:35:00 |
| 10      | 12:45:00 | 09:43:00 | 21:31:00 | 18:19:00 | 17:45:00 |
| 11      | 12:55:00 |          | 21:41:00 | 18:29:00 | 17:55:00 |
| 12      |          |          | 21:51:00 | 18:39:00 |          |

**Tabela 5.2** – Características dos eventos chuvosos observados

| Evento | Dia e hora       | DAE   | Duração do Evento (min) | Altura (mm) | Intensidade (mm/min) |
|--------|------------------|-------|-------------------------|-------------|----------------------|
| 1      | 12/04/11 - 12:15 | 9,96  | 45                      | 1           | 0,02                 |
| 2      | 09/06/11 - 09:13 | 1,9   | 30                      | 1,5         | 0,05                 |
| 3      | 19/08/11 - 21:01 | 17,9  | 50                      | 4,5         | 0,09                 |
| 4      | 22/09/11 - 17:44 | 11,23 | 65                      | 5,5         | 0,08                 |
| 5      | 05/10/11 - 17:01 | 3,58  | 225                     | 17,5        | 0,08                 |

## 5.2. Qualidade da água da chuva

Com a finalidade de se obter uma média das concentrações observadas nos eventos foram estabelecidas as concentrações médias dos eventos (CME) como descritos (eq. 3.6 e 3.7) mencionados anteriormente. A CME é uma média ponderada das concentrações no tempo, considerando as vazões como peso. Estão representadas na tabela 5.3 as CME dos eventos amostrados.

**Tabela 5.3** – CME dos eventos chuvoso observados

| Evento | DQO (mg/L) | Turbidez (UNT) | pH  | Condutividade ( $\mu\text{s/cm}$ ) |
|--------|------------|----------------|-----|------------------------------------|
| 1      | 28,7       | 7,8            | 6,4 | 20,8                               |
| 2      | 47,9       | 74,8           | 6,6 | 15,2                               |
| 3      | 134,4      | 27             | 6,5 | 27                                 |
| 4      | 53         | 23,5           | 6,4 | 23,5                               |
| 5      | 71         | 28,4           | 6,6 | 28,4                               |

As análises da CME de DQO não apresentaram um comportamento de acréscimo ou decréscimo de concentração, se comparada aos DAE. Entretanto, a maior CME observada para DQO foi a do terceiro evento, o qual apresentou um maior período de DAE. Pressupõe-se que este incremento de matéria orgânica e inorgânica ocorre devido ao inverno sul matogrossense que tem como características ser de baixa umidade e pouca chuva, fazendo que maiores quantidades de poluentes atmosféricos sejam depositados sobre a superfície de estudo. Essa característica sazonal contribui para a ocorrência de queimadas e também faz com que os poluentes dispersos na atmosfera

possam percorrer maiores distancias, podendo aumentar a quantidade de aerossóis orgânicos no ar.

Os resultados de turbidez apresentam valores elevados se comparados aos observados por outros autores, como os registros realizados por May (2004) onde todas suas análises se mantiveram com médias aritméticas inferiores a 5 UNT, MOREIRA NETTO (2012) observou em suas análises da água que escoava pelo telhado baixos valores para a turbidez, não passando de 1 UNT, porém seu ponto de coleta era em um dos tanques que armazenavam a água que escoava pelo telhado e provavelmente serviu como tanque de decantação para os sólidos suspensos totais. Os altos valores de turbidez são atribuídos a área de estudo que consta com grande presença de árvores altas e é um refugio urbano de pássaros, assim como a presença de animais, em sua maioria gatos, que transitam pelos telhados da UFMS.

O pH apresentou praticamente a mesma concentração em todas as amostras dos eventos, variando entre 6,15 a 6,81, resultando em CME's semelhantes variando de 6,4 a 6,6. Estes resultados não corroboram com a CME de pH encontrada por Farreny *et al.* (2011), que constatou para a água da chuva que escoou pelo telhado um CME de pH de 7,9, para a região metropolitana de Barcelona do país da Espanha. Entretanto May (2004), constatou concentrações de pH variando entre 5,8 e 7,6 em suas amostras.

As CME's observadas para condutividade variaram entre 15,2 a 28,4, enquanto Farreny *et al.* (2011) observou uma CME de 85 ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) para sua região de estudo na Espanha.

Foi realizada a análise dos mesmos parâmetros para a água que foi captada diretamente da chuva (tabela 5.4), porém no quinto evento ocorreu um incidente na realização da DQO, que impossibilitou a leitura do resultado.

**Tabela 5.4** – Concentrações da água diretamente da chuva

| Evento | pH   | DQO<br>( $\text{mg.L}^{-1}$ ) | Turbidez<br>(UNT) | Condutividade<br>( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) |
|--------|------|-------------------------------|-------------------|--|
| 1      | 5,62 | 80                            | 3,00              | 16,01  |
| 2      | 5,02 | 45                            | 1,64              | 5,34   |
| 3      | 5,06 | 100                           | 2,04              | 21,10  |
| 4      | 4,63 | 70                            | 5,23              | 52,40  |
| 5      | 6,3  | -                             | 4,37              | 27,30  |

De acordo com as concentrações de pH observados nos eventos chuvosos, pode classificar a chuva como ácida (Baird, 2002) apenas no quarto evento, pois apresentou

pH menor que 5. No entanto se compararmos com a definição de chuva ácida de Deus et al. (2002) apenas o evento 5 não poderia ser caracterizado como ácida, pois sua concentração foi superior a 5,6.

Os altos resultados de DQO observados, para a água que cai diretamente da chuva, que apenas sofre contaminação de poluentes presentes na atmosfera, indicam grande presença de aerodisperssoides orgânicos e inorgânicos nesta região, sendo mais um indicio de que o entorno da área de captação tem grande influência sobre sua qualidade.

Nas análises bacteriológicas apenas foi constatado o presença ou ausência de coliformes termotolerantes e *E. coli* (tabela 5.5). O terceiro evento não foi possível realizar a análise bacteriológica pelo fato dos frascos de coleta ter quebrado no trajeto telhado laboratório.

**Tabela 5.5** – Análises Bacteriológicas

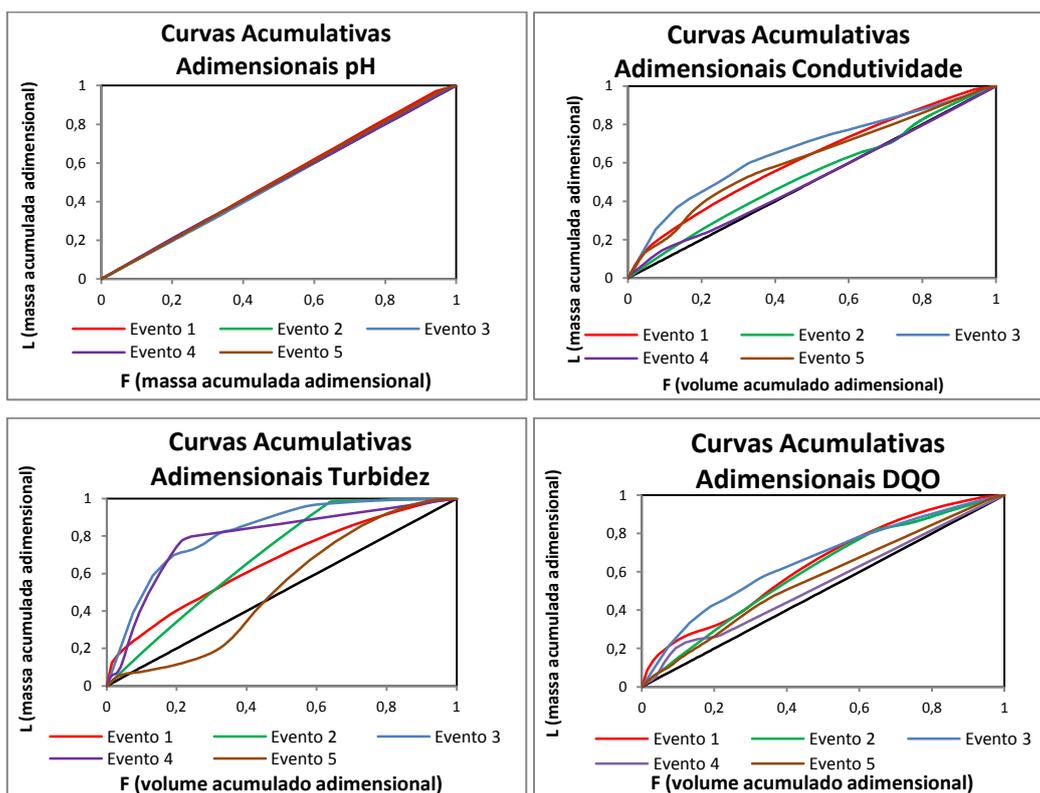
| Evento | Coliformes Termotolerante | <i>E. coli</i> |
|--------|---------------------------|----------------|
| 1      | Presença                  | Ausência       |
| 2      | Presença                  | Ausência       |
| 3      | -                         | -              |
| 4      | Presença                  | Ausência       |
| 5      | Ausência                  | Ausência       |

Foi constatada a presença de Coliformes termotolerantes em 75% dos eventos amostrados e ausência em todos os eventos amostrados para *E. coli*. As análises bacteriológicas de May (2004) indicaram presença de coliformes termotolerantes em 89% das amostras, porém ocorreu a incidência de coliformes fecais em 50% das amostras. A área de estudo de May (2004) se assemelha com a deste estudo, resultando que quando em áreas bem arborizadas existira presença de coliformes termotolerantes na água que escoava pelo telhado, sendo necessária uma desinfecção no sistema de armazenamento.

### 5.3. Efeito de primeira Lavagem – *First flush*

A figura 5.1 representa graficamente a curva acumulativa adimensional para cada parametro analisado. Segundo a definição se a curva acumulativa adimensional do evento estiver acima da reta de 45° do gráfico, quer dizer que ocorre o fenômeno de *first flush* para aquele evento como descrito nas equações 3.13 e 3.14.

Para os parâmetros pH, condutividade e turbidez ocorre o fenômeno de primeira lavagem. Para o parâmetro DQO apenas no evento 5 ocorreu o fenômeno de diluição para a turbidez, no entanto nos demais eventos observados todos apresentaram o fenômeno de *first flush*. A diluição provavelmente ocorreu por um acúmulo de sólidos suspensos incrustados nas calhas horizontais do sistema, e que no primeiro instante da chuva não foram removidos necessitando assim de uma umidificação prévia para sua remoção.



**Figura 5.1** – Curvas adimensionais dos parâmetros analisados.

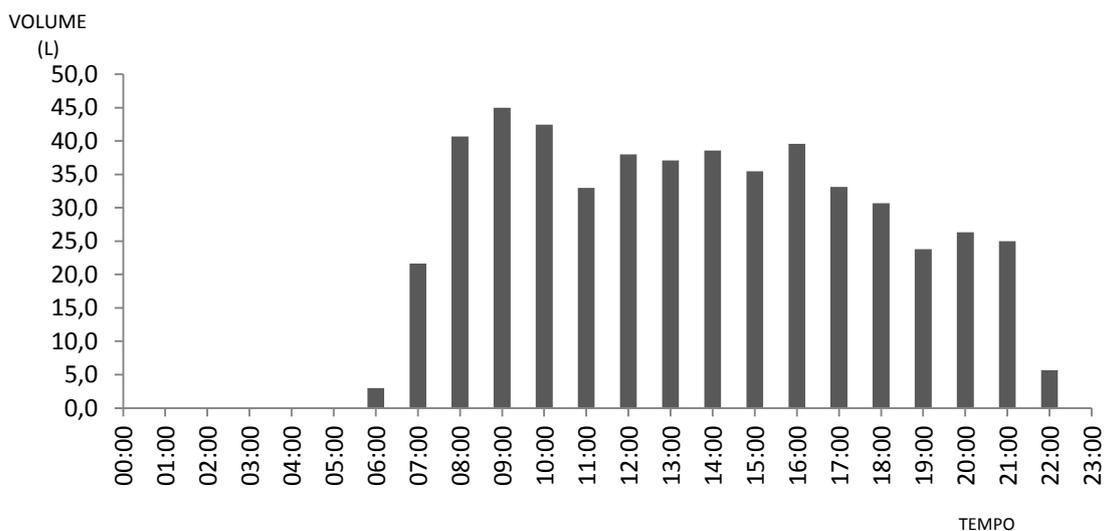
#### 5.4. Perfil de consumo

O levantamento do consumo das bacias sanitárias foi realizado após análise dos dados provenientes do monitoramento e tratamento dos mesmos. Os resultados foram expressos em gráficos de consumo horário e diário, obtendo assim um melhor detalhamento do consumo, podendo-se identificar horários de pico de consumo e possíveis cenários de ocorrência.

Durante o período monitorado, o maior consumo foi observado as 9:00h que é o horário onde é mais comum a ocorrência de mudança de sala pelos alunos, nesse período entre aulas os acadêmicos aproveitam fazer suas necessidades sem atrapalhar o

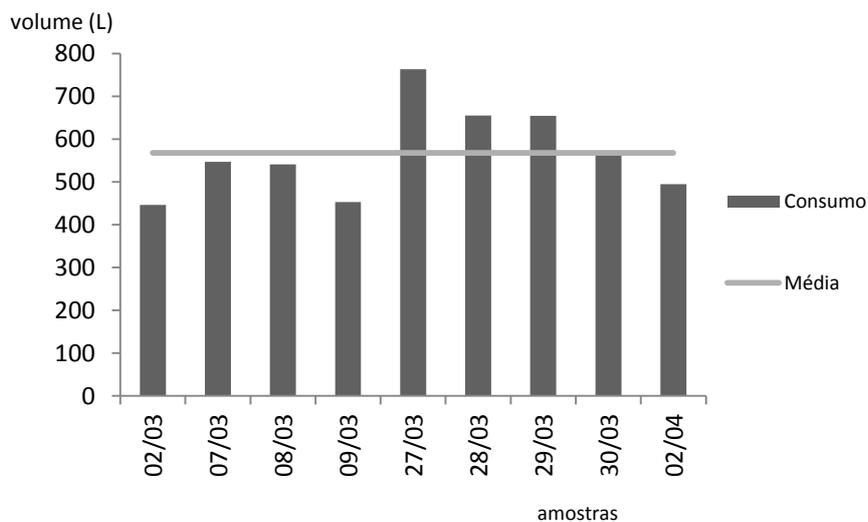
andamento da aula. O período que demonstra menor consumo foi observado as 6:00h, este fato se da pela inconstância no horário de funcionamento do banheiro, não são todos os dias que a abertura é realizada antes das 7:00h.

O consumo do sanitário público apresentou um consumo constante durante 9 horas do funcionamento (entre 8:00h e 16:00h), apresentando um consumo médio de 40,7 L.h<sup>-1</sup>, após este período o consumo tem uma queda de 28,59% e mantém uma média de 29,07 L.h<sup>-1</sup> entre as 19:00h e 21:00h, sendo que as aulas no CCET encerram as 21:00h.



**Figura 5.2** – Médias horárias do consumo monitorado.

O consumo médio de água nas bacias sanitárias foi atingido por uma média dos dias monitorados e resultaram 568,6 L.dia<sup>-1</sup>. Totalizando uma demanda de 11,36 m<sup>3</sup>.mês<sup>-1</sup> de água para as descargas sanitárias (figura 5.3).



**Figura 5.3** – Média do consumo diário.

Com o volume total de consumo de água nas bacias sanitárias, em cada dia de monitoramento, foi possível determinar o número aproximado de acionamentos da descarga sanitária, visto que a aproximação é devido às variações que a caixa acoplada pode apresentar no acionamento. Foi constatada uma média de acionamentos diária de aproximadamente 23,69 acionamento.por dia<sup>-1</sup>.bacia sanitária, assemelhando-se aos resultados encontrados por Kiperstok et al., (2009), que observou 29,7 acionamento.por dia<sup>-1</sup>.bacia sanitária em um sanitário masculino público instalado na Universidade Federal da Bahia.

Dos dez dias analisados observou-se não existiram amostragens com resultados discrepantes aos demais, indicando pouca variação, para essa situação em especial, na quantidade de usuários nos dias amostrados. Este fato condiz com as considerações de Proença & Ghisi (2010) que em um dos prédios de escritórios estudados verificou uma grande variação no consumo de água e foi constatada uma quantidade flutuante de usuários.

### 5.5. Análise Econômica

Através do método de simulação foi possível verificar os índices de confiança, eficiência do sistema e economia de água, representados na tabela 5.6.

**Tabela 5.6** – Dimensionamento do reservatório através do método da simulação

| <b>Volume do Reservatório (m<sup>3</sup>)</b> | <b>0,5</b> | <b>0,75</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7,5</b> | <b>10</b> | <b>20</b> |
|---|------------|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|-----------|-----------|
| <b>Res. Não atendeu a demanda por (meses)</b> | 5          | 5           | 5        | 5        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4        | 4          | 3         | 2         |
| <b>Confiança do sistema</b>                   | 58         | 58          | 58       | 58       | 67       | 67       | 67       | 67       | 67       | 67         | 75        | 83        |
| <b>Eficiência do sistema</b>                  | 52         | 53          | 53       | 54       | 54       | 55       | 57       | 58       | 59       | 61         | 64        | 77        |
| <b>Economia de água</b>                       | 81         | 81          | 81       | 81       | 82       | 82       | 83       | 84       | 85       | 86         | 88        | 95        |

Comparando os dados da tabela 5.6 com a média de dias sem chuva para Campo Grande – MS, que está entre 20 e 30 dias (CPTEC/INPE, 2012), e condições estruturais do prédio, para suportar o acréscimo de carga em sua estrutura, sugere-se a instalação de um sistema de armazenamento com capacidade de 7,5m<sup>3</sup> para que se possa atender a demanda de 10 DAE, sendo os demais dias supridos pelo abastecimento público de água.

Considerado a economia de água estimada de 85% pelo método da simulação, determina-se uma economia de 115,87 m<sup>3</sup> de água tratada/ano dos 136,32 m<sup>3</sup>/ano demandados pelas caixas acopladas instaladas no sanitário público em questão.

A partir desses foi determinado o *payback* para o sistema sugerido. Este foi calculado com base no orçamento expresso representado na tabela 4.2, o valor da água expresso na tabela 4.3 e o período de vida útil do sistema proposto por Tomaz (2005). Portanto ao se adotar o sistema de aproveitamento de água da chuva, de 7,5 m<sup>3</sup> foi calculado o *payback* de 3,6 anos (sem levar em consideração custo de implantação, manutenção e inflação), lembrando que o sistema não possui sistema de bombeamento devido às condições estruturais que possibilitam a coleta, tratamento e armazenamento na parte superior da instalação, assim todo o transporte no sistema é realizado através das forças gravitacionais.

## 6. CONCLUSÕES

As características ambientais do entorno da área onde será instalado o sistema de aproveitamento de água da chuva influem diretamente na qualidade da mesma, podendo conferir uma complexidade na etapa de tratamento do sistema.

A eficiência do descarte da água de primeira lavagem para telhados de aço galvanizado depende da intensidade inicial da chuva. Esta sendo elevada elimina os poluentes presentes no telhado no início do evento ocorrendo o fenômeno de *first flush*. Entretanto um evento não teve o mesmo carregamento de poluentes iniciais, para evitar que estes contaminem a água armazenada e garantir uma melhor qualidade da água utilizada o sistema necessita de um dispositivo de filtração e cloração após o sistema de descarte da água.

O sistema foi desenvolvido utilizando apenas instalações hidráulicas comerciais, conferindo uma redução nos custos de implantação, possibilitando pessoas sem experiência na engenharia hidráulica a se aventurarem na instalação do seu próprio sistema de aproveitamento de água de chuva em suas residências.

A implantação em toda a UFMS ocasionaria uma redução de consumo considerável, tendo em vista que a instituição possui 24 sanitários sendo que 12 deles apresentam as mesmas características que o sanitário estudado. Sendo este benefício não somente econômico e sim sócio-ambiental, podendo motivar os usuários a se interessar em instalar em suas residências.

A utilização desta metodologia para determinação do perfil de consumo de água nas bacias sanitárias possibilita um detalhamento minucioso da demanda, podendo servir como dados de referência para outros ambientes que apresentem características semelhantes.

O perfil de consumo de água em sanitários públicos não se assemelha ao perfil de consumo residencial, mantendo-se praticamente constante durante o seu funcionamento, sem apresentar picos de consumo significativos.

A utilização da prática conservacionista de água, aproveitamento de água da chuva em sanitários públicos, é de extrema importância para a sociedade, tendo em vista os custos de tratamento e transporte de água tratada para uma destinação que não necessita de padrões de qualidade alto.

Devido à alta capacidade de economia de água, o sistema de aproveitamento de água da chuva deve ser implantado em todos os sanitários que possuam as mesmas

características estruturais capaz de suportar o acréscimo de carga. Esta atitude é de extrema importância para a conscientização dos usuários, podendo os motivar a instalar em suas residências, e para a conservação do recurso e meio ambiente.

O benefício sócio-ambiental que está intrínseco nesse sistema, leva a crer que os órgãos públicos devem ser os primeiros a levantar essa bandeira do aproveitamento de água da chuva, instalando este sistema em seus prédios para servir de exemplo para a comunidade.

## **7. RECOMENDAÇÕES**

Verificar a qualidade da água após passar pelo dispositivo do *First Flush* e na saída para consumo do reservatório.

Juntamente com as amostragens de água fazer medicos de vazão para facilitar o calculo do first-flush.

Testar outras fontes de tratamento da água como a utilização de grelha eliminadora de folhas e galhos e filtro de areia.

Realizar o dimensionamento do reservatório de água de chuva utilizando outros métodos de cálculo.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527 – Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 1084 - Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

ALVES, W.C; ZANELLA, L. & SANTOS, M.F.L. Sistema de aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis. *Téchne*, São Paulo: Editora Pini, p. 99-104, edição 133, ano 16, 2008.

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. *Ambiente Construído*, v. 8, n. 2, p.53-66, 2008.

APHA, AWWA; WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th edition, Washington, 2005.

BAIRD, C. Química Ambiental. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, p. 136-138, 2002.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água - *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 23-40, abr./jun. 2008.

BRAGA, B. et al. Introdução à engenharia ambiental. São Paulo: Pearson Prentice Hall, p.212, 2005.

BERTONI J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: Tucci, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e aplicação*. Porto Alegre: UFGRS, 2007. p 177-241.

BRASIL, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão – Boletim Estatístico de Pessoal. Brasília, 2011, disponível em: [http://www.servidor.gov.br/publicacao/boletim\\_estatistico/bol\\_estatistico\\_11/Bol182\\_Jun2011aa.pdf](http://www.servidor.gov.br/publicacao/boletim_estatistico/bol_estatistico_11/Bol182_Jun2011aa.pdf) acesso em: 05 de maio de 2012.

BRITES, A.P.Z.; Avaliação da qualidade da água e dos resíduos sólidos no sistema de drenagem urbana. Santa Maria. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, 2005. p.177.

CARRAGHER, B. J.; STEWART, R. A.; BEAL, C. D. Quantifying the influence of residential water appliance efficiency on average Day diurnal demand patterns at a end use level: A precursor to optimised water service infrastructure planning. *Magazine: Resources, Conservation and Recycling*, n 62, 2012. p.81-90.

CHUI, P.C.; Characteristics of stormwater quality from two watersheds in Singapore. *Environmental Monitoring Assessment*, v.44, may.1997. p.173-176.

DEUS A.B.S., CARDOSO, L.S. De LUCA, S.J.; Avaliação qualitativa da precipitação atmosférica em áreas de grande urbanização. Anais: XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, México 2002.

ESTEVEZ, FA., Fundamentos de Liminologia. 2ª ed. Interciência - FINEP, 1998; p.48-57.

FASOLA, G. B.; GHISI, E.; MARINOSKI, A. K.; BORINELLI, J.B. Potencial de economia de água em duas escolas em Florianópolis, SC. Revista: Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 11, n.4, out./dez. 2011. p.65-78.

FEWKES, A. The use of Rainwater for WC flushing: the Field testing of a collection system. Magazine: Building and Environment, n 34, 1999. p. 765-772.

GOONETILLEKE, A. Understanding the role of land use in urban stormwater quality management. Journal of Environmental Management, n. 76, 2005, p. 31-42.

HUNTER, J.V.; SABATINO, T.;GOMPERS,R.;MACKENZIE,M. J.Contribution of urbanrunofftohydrocarbonpollution.Journal Water Pollution Control Federation.v.58. August,1979. p.2129-2139.

IDE,C.N.Qualidade da drenagem pluvial urbana.PortoAlegre,1984. Dissertação (MestradoemSaneamentoAmbientaleRecursosHídricos) - IPH, Universidade Federal do Rio Grandedo Sul. p.137.

JAQUES, R. C.; RIBEIRO, L. F. LAPOLLI, F.R. Avaliação da qualidade da água de chuva da cidade de Florianópolis – SC. Anais: 23º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Saneamento Ambiental Brasileiro: Utopia ou Realidade?. Campo Grande - MS. ABES, 2005. p. 112.

LEAL, U. Ciclo da água na edificação. revista: Técnica, v.9, n. 48, p. 45-46, set/out. 2000.

LEE,J. H.; BANG, K. W. Characterization of urban stormwater runoff. Water Resources, v.34, n.6, 2000. p.1773-1780

LEE, J. H.; BANG, K. W.; KETCHUM, L. H.; CHOEJ. S.; YU, M. J. First flush analysis of urban storm runoff. The Science of the Total Environment.v.293, dez.2001. p.163–175.

MONTERO, F. A. Capital pode economizar 70% da água com reuso da chuva. Gazeta Mercantil, São Paulo, vol. 21, p.7. jun,2001.

MOSLEY, L. Water quality of rainwater harvesting systems. SOPAC Relatórios diversos 579, Fev. 2005.

NOVOTNY, V. Urban diffuse pollution: sources and abatement. Water Environment and Technology,n.1,v.4,January.1992. p.40-43

OLIVEIRA, H.A.R. Qualidade da drenagem pluvial rural: Rio Taquarizinho – MS. Campo Grande, 2007. 171p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – PGTA, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

PHILIPPI, L.S., VACCARI, K.P., PETERS, M.R., GONÇALVES, R.F. Uso racional da água em edificações. Vitória, Editora ABES, 2006

PORTO, M. F. A. Aspectos Qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. Porto Alegre: Editora UFRGS, ABRH. 1998.

PROENÇA, L. C.; GHISI, E.. Water end-uses in Brazilian Office buildings. Magazine: Resources, Conservation and Recycling, n.54, 2010. p.489 – 500.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA JR, B.; TUNDISI, J. G. Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação - 3ª Ed – Editora: Escrituras, 1999. p.7 – 8.

SANTOS, M. A urbanização brasileira. São Paulo: Editora USP, 2008. p.34.

SILVA, J. B.; Qualidade da drenagem pluvial urbana da Bacia do Córrego Cabaça. Campo Grande, 2010. 158p. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – PGTA, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil.

SNIS. Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2003. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, Ministério das Cidades, Brasília, 2004.

THOMSON, N.; MCBEAN, E. A.; SNODGRASS, W.; MONSTRENKO, J. B.; Highway stormwater runoff quality: development of surrogate parameter relationships. Water, Air and Soil pollution. N.94, february, 1997. p.307-347.

TOMAZ, P. Cap.2 - Qualidade da água da chuva In: Curso: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos - ABNT NBR 15527:2007., ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, 2008.1 CD-ROM.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis 2ª Ed – São Paulo: Editora Navegar, 2005.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. *Cienc. Cult.* [online]., v. 55, n. 4, 2003. p. 31-33.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação 2ª Ed – Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH 1997.

TUCCI, C. E. M. Genz, F. 1995 Controle do impacto da urbanização In: Drenagem urbana. Tucci, C. E. M.; Porto, R. L. L.; Barros, M. T. ABRH 428 p

VARGAS, A. C. V. WERNECK, B. R. ; FERREIRA, M. I. P. . Controle de Cheias Urbanas. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, v. 2, 2008 p. 107-113.

YOUSEF, Y.A.; HVITVED-JACOBSEN, T.; WANIELIST, M/P/; HARPER, H.H.; Removal of contaminants in highway runoff through swales. *The Science of the Total Environment*. n.59, , February, 1987. p.391-397.

ZHAO, J. W.; SHAN, B. Q.; YIN, C. Q.; Pollutant loads of surface runoff in Wuhan City Zoo, an urban tourist area. *Journal of Environmental Sciences*, n.19(4), august, 2007. p.464-468.

BERTRAND-KRAJEWSKI, J, L.; CHEBBO, G.; SAGET, A. Distribution of pollutant mass versus volume in stormwater discharges and first flush phenomenon. *Journal of Water Research*, vol 32, n° 8, 1998. p. 2341-2356.

ANEXO 1 – POLUTOGRAMAS DOS EVENTOS PARA OS PARÂMETROS ANÁLISADOS

