

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARGOLAINE GIACCHINI

ESTUDO QUALI-QUANTITATIVO DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA  
NO CONTEXTO DA SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS

CURITIBA  
2010

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

MARGOLAINE GIACCHINI

ESTUDO QUALI-QUANTITATIVO DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA  
NO CONTEXTO DA SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Área de Concentração em Engenharia Ambiental, Departamento de Hidráulica e Saneamento, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Daniel Costa dos Santos, Dr

Co-orientador: Alceu Gomes de Andrade Filho, Dr

CURITIBA  
2010

Giacchini, Margolaine

Estudo quali-quantitativo do aproveitamento da água de chuva no contexto da sustentabilidade dos recursos hídricos / Margolaine Giacchini. - Curitiba, 2010.

144 f. : il.; graf.

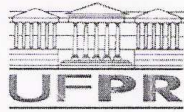
Orientador: Daniel Costa dos Santos

Co-orientador: Alceu Gomes de Andrade Filho

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

1. Águas pluviais. 2. Abastecimento de água. I. Santos, Daniel Costa dos. II. Andrade Filho, Alceu Gomes. III. Título.

CDD 628.1



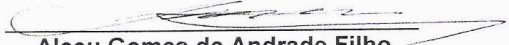
## TERMO DE APROVAÇÃO

MARGOLAINE GIACCHINI

### “ESTUDO QUALI-QUANTITATIVO DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA NO CONTEXTO DA SUSTENTABILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS”

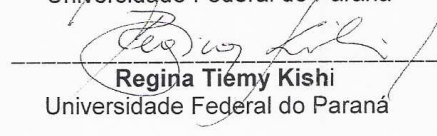
Dissertação aprovada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos professores:

PRESIDENTE:

  
**Alceu Gomes de Andrade Filho**  
Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Co-orientador

MEMBROS:

  
**Sandro Froehner**  
Universidade Federal do Paraná

  
**Regina Tiemy Kishi**  
Universidade Federal do Paraná



Curitiba, 06 de abril de 2010

Aos meus pais,  
exemplos de amor,  
determinação e honestidade.

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal do Paraná, que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho, através do Programa de pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.

Ao Professor Dr. Daniel Costa dos Santos, que através da sua experiência orientou este trabalho, sempre de maneira incentivadora, cordial e amiga.

Ao co-orientador Professor Dr. Alceu Gomes de Andrade Filho, pela contribuição científica, disponibilidade, atenção e amizade.

À coordenação e a todos os professores do curso de Pós – Graduação Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela dedicação e atenção dispensada.

Aos Professores, Dr. Marcelo De Julio e Dr. Roberto Fendrich pela contribuição prestada à pesquisa.

Ao Instituto Tecnológico do SIMEPAR pela disponibilidade de dados para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos pela realização das análises laboratoriais.

Aos Colegas pela amizade, pelo incentivo nas horas difíceis e colaboração no desenvolvimento do trabalho.

Ao Arquiteto Emerson Stresser pela colaboração, disponibilidade e amizade.

À família e aos amigos pelo amor, compreensão e dedicação.

## RESUMO

Em face ao risco eminente de escassez dos recursos hídricos, a conservação da água, sob a forma prioritária do uso racional e de fontes alternativas, constitui parte das ações de sustentabilidade. O armazenamento e uso da água de chuva envolve aspectos importantes, tanto no contexto sanitário, quanto da sustentabilidade hídrica. Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo geral contribuir para o estudo do dimensionamento de reservatórios prediais de água de chuva, sob os enfoques sanitário e da sustentabilidade dos recursos hídricos. Compreende em sua primeira etapa a caracterização qualitativa da água de chuva armazenada durante o período de sete dias. Quanto à segunda etapa, constituiu a análise comparativa, através da simulação da aplicação dos métodos de dimensionamento de reservatório. Tal análise incluiu os métodos recomendados no anexo A da Norma Brasileira de Água de Chuva - NBR 15527, o método proposto na Lei 10.7585/03 do Município de Curitiba- PR, o Método dos Dias sem Chuva e o Método de Fendrich (2002). Por sua vez, a terceira etapa do trabalho discute algumas das interferências do aproveitamento da água de chuva, para o ciclo do uso da água na bacia hidrográfica. Assim sendo, a análise dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos indicou a redução de alguns destes parâmetros, após o período de armazenamento, em contrapartida registrou o aumento de outros. Através da observação visual do reservatório, alertou para a necessidade de frequência na limpeza do mesmo, sob o risco de comprometimento da segurança sanitária. Quanto à análise comparativa dos métodos de dimensionamento, indicou a existência de divergência entre os volumes encontrados pela aplicação dos diferentes métodos, relacionadas às suas diferentes concepções. Por outro lado, a abordagem da sustentabilidade hídrica levantou a necessidade de estudos aprofundados sobre a interferência do uso da água de chuva para o ciclo urbano da água na bacia hidrográfica. A interpretação dos resultados subsidiou a apresentação de sugestões que venham a contribuir para melhoria do processo quanto aos aspectos analisados.

Palavra chave: Água de Chuva. Dimensionamento de reservatórios. Qualidade da água de chuva. Sustentabilidade Hídrica



## ABSTRACT

As a consequence of the imminent risk of water resources scarcity, water conservation especially by its rational use and the use of alternative energy sources is part of shares of sustainability. Among the alternative sources, stands out the rainwater, which storage and use involve important issues in both health and sustainability of water. This paper aims to contribute to study the overall design of buildings, water reservoirs of rain in the approaches of health and sustainability of water resources. The first part of this paper is dedicated to the qualitative characterization of the rainwater stored during the period of seven days. The analysis of the physical, chemical and microbiological tests indicated a reduction of some of these after the storage period and the increase of others. The second part is the comparative analysis, by simulating the applications of methods of for sizing tanks. This analysis includes the methods recommended in Annex A, of the Brazilian Rainwater - NBR 15527th, the method proposed in the Law of 107,585 City of Curitiba-PR, the Method of rainless days and method Fendrich (2002). The comparison indicated the existence of differences between the volumes found by the application of different methods. The third part of this research, contains a discussion about the interferences caused by the of use of rainwater in the cycle of water use in the basin. The interpretation of the results subsidizes the presentation of suggestions that may contribute to the improvement of the process, regarding the analyzed aspects.

Keyword: Rainwater. Sizing tanks. Quality of rainwater. Water Sustainability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – CICLO HIDROLÓGICO.....	21
Figura 2 – CICLO URBANO DA ÁGUA.....	22
Figura 3 – DIAGRAMA DE MASSAS.....	38
Figura 4 – INTEGRAL DO HIDROGRAMA MENSAL.....	43
Figura 5 – DIAGRAMA DE MASSAS QUANDO $D_m \approx V_{chuva}$ .....	44
Figura 6 – DIAGRAMA DE MASSAS QUANDO $D_m \ll V_{chuva}$ .....	45
Figura 7 – DIAGRAMA DE MASSAS QUANDO $D_m \gg V_{chuva}$ .....	46
Figura 8 - VISTA GERAL DA UNIDADE PILOTO.....	56
Figura 9 - VISTA AÉREA DO BAIRRO JARDIM DAS AMÉRICAS, CURITIBA – PR57	
Figura 10 – PRÉDIOS DO BLOCO V DO CENTRO POLITÉCNICO.....	58
Figura 11 – ARBORIZAÇÃO ENTORNO DO BLOCO V DO CENTRO POLITÉCNICO.....	59
Figura 12 – ESPÉCIES DE PÁSSAROS NO CENTRO POLITÉCNICO.....	59
Figura 13 - SUPERFÍCIE DE CAPTAÇÃO.....	61
Figura 14 – DETALHE DA CROSTA EXISTENTE NA SUPERFÍCIE DE CAPTAÇÃO.....	62
Figura 15 – COBERTURA E CALHAS DA EDIFICAÇÃO.....	63
Figura 16 – EQUIPAMENTOS CONDUTORES DA ÁGUA DE CHUVA.....	64
Figura 17 – RESERVATÓRIO DE DESCARTE DO ESCOAMENTO INICIAL.....	65
Figura 18 – RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA.....	66
Figura 19 – EQUIPAMENTOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CURITIBA-SIMEPAR.....	72
Figura 20 – VALORES DO PARÂMETRO TEMPERATURA PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.....	83
Figura 21 – VALORES DO PARÂMETRO COR APARENTE PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.....	85
Figura 22 – VALORES DO PARÂMETRO TURBIDEZ PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.....	86
Figura 23 – VALORES DO PARÂMETRO pH PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.....	87
Figura 24 – VALORES DO PARÂMETRO DQO PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.....	89
Figura 25 – VALORES DO PARÂMETRO OD PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.....	90
Figura 26 – VALORES DO PARÂMETRO COLIFORMES TOTAIS PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.....	92
Figura 27 – VALORES DO PARÂMETRO COLIFORMES TERMOTOLERANTES PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.....	93
Figura 28 – VALORES DO PARÂMETRO BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.....	95
Figura 29 – LODO ACUMULADO NO CAP E NO RESERVATÓRIO DE DESCARTE INICIAL.....	99
Figura 30 – LODO ACUMULADO NO RESERVATÓRIO NA FASE INICIAL DA PESQUISA.....	99
Figura 31 – LODO NO RESERVATÓRIO AO FINAL DO PROCESSO DE AMOSTRAL.....	100

Figura 32 – LODO ACUMULADO NO FUNDO DO RESERVATÓRIO AO FINAL DA PESQUISA.....	100
Figura 33 – MÉDIA DE MÁXIMOS DIAS SEM CHUVA NO PERÍODO AMOSTRAL.....	103
Figura 34 – DIAGRAMA DE MASSAS para a SITUAÇÃO ESTUDADA .....	107

## LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - EXIGÊNCIAS DO PURAE PARA OS TIPOS DE EDIFICAÇÕES.....	32
Quadro 2 – RESULTADOS E CARACTERÍSTICAS DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO.....	116

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – CRITÉRIOS PARA USO NÃO POTÁVEL DA ÁGUA .....	34
Tabela 2 – MODELO DE PLANILHA PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE RIPPL .....	47
Tabela 3 – MODELO DE PLANILHA PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DA SIMULAÇÃO .....	49
Tabela 4 – DADOS HIDROLÓGICOS MENSAIS DA SÉRIE HISTÓRICA ESTUDADA.....	73
Tabela 5 – DADOS HIDROLÓGICOS.....	74
Tabela 6 – RESULTADOS DA ANÁLISE DA TEMPERATURA.....	83
Tabela 7 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE COR APARENTE .....	84
Tabela 8 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE TURBIDEZ .....	85
Tabela 9 – RESULTADOS DA ANÁLISE DO pH .....	87
Tabela 10– RESULTADOS DA ANÁLISE DE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO – DQO .....	88
Tabela 11 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE OXIGENIO DISSOLVIDO – OD .....	90
Tabela 12 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE COLIFORMES TOTAIS.....	91
Tabela 13 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES .....	93
Tabela 14 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS ...	94
Tabela 15 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DA ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.....	96
Tabela 16 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA .....	98
Tabela 17 – RESULTADOS DO MÉTODO DA LEI MUNICIPAL Nº10785/O3 - CURITIBA.....	102
Tabela 18 - NÚMERO DE MÁXIMOS DIAS SEM CHUVA NO PERÍODO AMOSTRAL .....	103
Tabela 19 – RESULTADOS DO MÉTODO DOS DIAS SEM CHUVA.....	104
Tabela 20 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODOD DE FENDRICH.....	105
Tabela 21 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE RIPPL .....	106
Tabela 22 – RESULTADOS DO MÉTODO DA SIMULAÇÃO .....	109
Tabela 23 – RESULTADOS DO MÉTODO AZEVEDO NETO .....	111
Tabela 24 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA T=1 , T=2.....	112
Tabela 25 – RESULTADOS DO MÉTODO PRÁTICO INGLÊS.....	113
Tabela 26 – RESULTADOS DO MÉTODO PRÁTICO ALEMÃO .....	113
Tabela 27 – RESULTADOS DO MÉTODO PRÁTICO AUSTRALIANO .....	114
Tabela 28 – VOLUME DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADO EM 10% DAS EDIFICAÇÕES.....	118
Tabela 29 – VOLUME DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADO POR 10% DA POPULAÇÃO.....	120
Tabela 30 – VARIAÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA COM O APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA.....	121

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEPPA	- Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos
DBO	- Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	- Demanda Química de Oxigênio
EPA	- Environmental Protection Agency
IPPUC	- Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
NBR	- Norma Brasileira Revisada
OD	- Oxigênio Dissolvido
PCE	- Parliamentary Commissioner for Environment
pH	- Potencial Hidrogeniônico
PURAE	- Programa de Uso Racional da Água nas Edificações
SAA	- Sistema de Abastecimento de Água
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
UFPR	- Universidade Federal do Paraná

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1	OBJETIVO GERAL	18
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>19</b>
2.1	ÁGUA E MEIO AMBIENTE	19
2.1.1	Ciclo da Água	20
2.1.2	Ciclo Urbano da Água	21
2.2	CONSERVAÇÃO DA ÁGUA	23
2.2.1	Conservação no Sistema Público de Abastecimento de Água	24
2.2.2	Conservação no Sistema de Esgotamento Sanitário	25
2.2.3	Conservação da Água nos Sistemas de Drenagem Urbana	26
2.2.4	Conservação da Água nos Sistemas Prediais	27
2.3	ÁGUA DE CHUVA	28
2.3.1	Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações	30
2.3.2	Qualidade da Água de Chuva	32
2.3.3	Projeto e Dimensionamento	35
2.3.4	Métodos de Dimensionamento de Reservatórios	37
2.3.4.1	Método da Lei Municipal 10785/03 - Curitiba	40
2.3.4.2	Método dos Dias sem Chuva	41
2.3.4.3	Método de Fendrich (2002)	42
2.3.4.4	Método de Rippl	43
2.3.4.5	Método da Simulação	48
2.3.4.6	Método de Azevedo Neto	50
2.3.4.7	Método Prático Inglês	51
2.3.4.8	Método Prático Alemão	53
2.3.4.9	Método Prático Australiano	53
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>55</b>
3.1	INSTALAÇÃO DA UNIDADE PILOTO	55
3.1.1	Caracterização da Área de Estudo	56
3.1.2	Superfície de Captação da Água da Chuva	60
3.1.3	Equipamentos Coletores e Condutores da Água de Chuva	62
3.1.4	Equipamentos de Descarte da Água de Escoamento Inicial	64
3.1.5	Reservatório de Água de Chuva	65
3.2	ABORDAGEM QUALITATIVA	67
3.2.1	Procedimentos de Coleta e Amostragem	67
3.2.2	Análises Físicas, Químicas e Microbiológicas	69
3.2.3	Avaliação da Higienização e Acúmulo de Lodo no Reservatório	70
3.3	ABORDAGEM QUANTITATIVA	70
3.3.1	Estimativas de Demanda de Água não Potável	71
3.3.2	Identificação e Levantamento de Dados Hidrológicos	72
3.3.3	Simulação da aplicação dos Métodos de Dimensionamento	74
3.3.3.1	Método da Lei Municipal 10785/03 – Curitiba-PR	75
3.3.3.2	Método dos Dias sem Chuva	75
3.3.3.3	Método de Fendrich (2002)	76
3.3.3.4	Método de Rippl	76

3.3.3.5	Método da Simulação.....	77
3.3.3.6	Método de Azevedo Neto.....	77
3.3.3.7	Método Prático Inglês.....	78
3.3.3.8	Método Prático Alemão.....	78
3.3.3.9	Método Prático Australiano.....	79
3.3.4	Análise Comparativa dos Métodos de Dimensionamento.....	80
3.4	ABORDAGEM DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA.....	80
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>82</b>
4.1	ABORDAGEM QUALITATIVA.....	82
4.1.1	Análise dos Parâmetros Físicos, Químicos e Microbiológicos da Água Armazenada.....	82
4.1.1.1	Temperatura.....	82
4.1.1.2	Cor.....	84
4.1.1.3	Potencial Hidrogeniônico – pH.....	86
4.1.1.4	Demanda Química de Oxigênio.....	88
4.1.1.5	Oxigênio Dissolvido – OD.....	89
4.1.1.6	Coliformes Totais.....	91
4.1.1.7	Coliformes Termotolerantes.....	92
4.1.1.8	Bactérias Heterotróficas.....	94
4.1.2	Análise prospectiva sobre a interação entre os parâmetros.....	95
4.1.3	Avaliação da Higienização e Acúmulo de Lodo no Reservatório.....	98
4.2	ABORDAGEM QUANTITATIVA.....	101
4.2.1	Simulação da Aplicação dos Métodos de Dimensionamento.....	101
4.2.1.1	Método da Lei Municipal 10785/03 – Curitiba.....	101
4.2.1.2	Método dos Dias Sem Chuva.....	102
4.2.1.3	Método de Fendrich.....	105
4.2.1.4	Método de Rippl.....	106
4.2.1.5	Método da Simulação.....	109
4.2.1.6	Método Azevedo Neto.....	111
4.2.1.7	Método Prático Inglês.....	112
4.2.1.8	Método Prático Alemão.....	113
4.2.1.9	Método Prático Australiano.....	114
4.2.2	Análise comparativa dos métodos de dimensionamento.....	116
4.3	ABORDAGEM DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA.....	118
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>124</b>
<b>6</b>	<b>RECOMENDAÇÕES.....</b>	<b>126</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>127</b>
	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>132</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A espécie humana singularmente tem estabelecido uma relação nem sempre harmônica com o planeta Terra. O cuidado com o próprio ambiente, por vezes, parece olvidativo em face da complexidade existente entre as questões humanas, sociais, econômicas preconizadas pelas sociedades atuais. A incorporação do paradigma do desenvolvimento sustentável infere a tais sociedades, o estímulo para alçar uma relação mais equilibrada com os ecossistemas naturais.

Neste contexto, ressalta-se a sustentabilidade dos recursos hídricos sob o aspecto da necessidade da garantia do acesso à água pelas atuais e futuras gerações. O desafio está em universalizar o acesso à água concomitantemente ao risco de escassez, deste recurso natural vital aos seres humanos e indispensável no desenvolvimento das suas principais atividades.

Por sua vez, tal sustentabilidade depende da conservação da qualidade e quantidade da água do planeta. As ações de conservação se aplicam através das práticas de economia de água, referentes aos múltiplos usos a que se expõe este recurso natural, nas áreas urbanas. Desta forma, tais ações podem ser implantadas na bacia hidrográfica, nos sistemas públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário e ainda nos sistemas prediais.

Sobretudo, os sistemas prediais apresentam elevados índices de consumo de água, por vezes relativos a não observância dos preceitos do uso racional ou em função do emprego de água potável em atividades não nobres. Quanto ao uso racional, este engloba os aspectos relativos à manutenção das instalações prediais, ao emprego de aparelhos redutores de consumo e ainda os sistemas de medição individualizada de água nas edificações coletivas. Hierarquicamente, tais ações de uso racional correspondem as primeiras a serem implantadas na edificação, antes mesmo do emprego de fontes alternativas, caso contrário a conservação da água não se caracteriza, ocorrendo apenas a substituição da fonte de abastecimento em algumas atividades.

Por outro lado, no que concerne ao uso de fontes alternativas de abastecimento nos sistemas prediais, inclui principalmente as águas residuárias e o aproveitamento da água de chuva. Nas edificações, as águas residuárias se restringem ao reuso da água cinza, a qual resulta do uso primário em chuveiros,

lavatórios, banheiras, tanques e máquinas de lavar e, pode ser reaproveitada na bacia sanitária, após tratamento adequado.

Em se tratando do aproveitamento da água de chuva, inúmeros estudos destacam a eficiência do emprego desta fonte alternativa de água, sobretudo sob os aspectos, econômicos, sociais e ambientais. As referências históricas, desta forma de abastecimento, se reportam ao uso da água de chuva por civilizações antigas como, astecas, maias, incas, entre outras.

Atualmente, contextualizada no conceito da conservação da água, tal prática foi reintroduzida aos sistemas de abastecimentos das edificações urbanas. O uso da água de chuva se aplica em atividades consideradas não nobres, como irrigação, limpeza de pisos, calçadas, carros, descargas sanitárias, entre outras que não necessitem de água potável.

Assim sendo, um fator importante a ser analisado refere-se à qualidade sanitária da água da chuva armazenada. Embora, os usos atribuídos a tal fonte de abastecimento sejam considerados não nobres, é necessário garantir a segurança da saúde do usuário, bem como assegurar a manutenção dos equipamentos que compõe o sistema de distribuição de água e os aparelhos sanitários.

Outro aspecto fundamental diz respeito ao armazenamento das águas pluviais nas edificações. Alguns fatores merecem destaque neste caso, um deles se refere às questões sanitárias que envolvem o tempo de armazenamento da água de chuva. O outro envolve o dimensionamento dos reservatórios, de modo a considerar não somente o atendimento ao consumo como também fatores climáticos, hidrológicos e ambientais. E ainda, a interferência de tais sistemas no processo natural do ciclo hidrológico na bacia hidrográfica.

Diante do exposto, a caracterização sanitária da água da chuva em função do tempo de armazenamento, pode estabelecer mais um critério a ser considerado no dimensionamento de reservatórios, de forma a não comprometer o ciclo da água na bacia hidrográfica.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem por objetivo geral, contribuir para o estudo do dimensionamento de reservatórios prediais de água de chuva, sob os enfoques sanitário e da sustentabilidade dos recursos hídricos.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) instalar a unidade piloto para o desenvolvimento de estudos qualitativos;
- b) analisar a qualidade da água de chuva coletada em unidade piloto de acordo com a NBR 15527/07;
- c) avaliar a segurança sanitária da água de chuva em função do tempo de armazenamento;
- d) inspecionar as condições de higiene do reservatório de água de chuva em função do acúmulo de lodo;
- e) avaliar os métodos de dimensionamento de reservatórios de água de chuva.
- f) discutir aspectos relativos ao aproveitamento da água de chuva e a sustentabilidade hídrica da bacia hidrográfica;

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ÁGUA E MEIO AMBIENTE

A abrangência do termo meio ambiente contempla diferentes aspectos referentes à relação do ser humano com a natureza. Conceitualmente meio ambiente representa um espaço de interação entre os seres vivos e os ecossistemas naturais. Historicamente a partir da década de 60, a relação do homem com a natureza recebeu a denominação de meio ambiente, reportam-se também a este período os primeiros protestos e críticas referentes à qualidade ambiental. Entretanto, somente a partir da realização da Conferência sobre Meio Ambiente em Estocolmo, no ano de 1972, a questão ambiental passou a integrar as discussões e preocupações da comunidade internacional.

Desta forma, o paradigma de domínio da espécie humana sobre o meio ambiente, que outrora norteava a humanidade, ora passa por uma revisão de seus conceitos, objetivando equalizar as relações entre o habitat humano e os ecossistemas naturais. O desafio das sociedades atualmente é promover um desenvolvimento de forma sustentável. Conforme Capra (1996) tal desenvolvimento envolve a criação de ambientes sociais e culturais que propiciem a satisfação das necessidades e aspirações atuais, porém, sem reduzir as possibilidades das gerações futuras. Os princípios básicos para o desenvolvimento sustentável incluem a promoção da qualidade de vida, a equidade social e o respeito à natureza.

O Brasil sediou em 1992 a conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, cujo objetivo principal foi propor mudanças no rumo do desenvolvimento global. Tal conferência culminou com a aprovação da Agenda 21, onde foram apresentados os princípios básicos para obtenção do desenvolvimento sustentável. Com referência à proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos, a agenda destaca que, tanto uma oferta confiável de água quanto o saneamento ambiental são requisitos fundamentais para a proteção do meio ambiente (AGENDA 21, 2001).

Cumprе salientar que o acesso a água limpa é essencial à vida e constitui a base para o desenvolvimento econômico-social de qualquer nação. Destaca-se

ainda que fatores econômicos, sociais e demográficos exercem forte influência sobre a sustentabilidade dos recursos naturais, sobretudo a água. A dinâmica populacional associada à degradação ambiental, observada nas áreas urbanas implica no aumento da demanda de água e na geração de resíduos (ALADENOLA; ADEBOYE, 2009).

### 2.1.1 Ciclo da Água

O planeta Terra possui aproximadamente 70% de sua superfície coberta por água, sendo a maior parte, 97% água salgada e apenas 3% é água doce. A quantidade de água existente no planeta é limitada, acredita-se ser praticamente a mesma de há três bilhões de anos, isto porque o ciclo da água se sucede infinitamente. O suprimento de água do planeta é obtido através da precipitação resultante da evaporação da água dos oceanos. Tal processo envolve a transferência de água do mar para a Terra e o retorno desta ao mar, caracterizando assim, o ciclo hidrológico ou ciclo da água, conforme representado na Figura 1 (ANA, 2009).

Por sua vez, o ciclo hidrológico envolve fatores climáticos, geográficos e biológicos. As águas evaporam dos oceanos e da superfície do planeta para atmosfera, onde se condensam até precipitar sobre a Terra. Para então, através da infiltração no solo recarregar as águas subterrâneas e assim retornar aos oceanos. O ciclo hidrológico envolve processos complexos de evaporação, precipitação, transpiração, interceptação, infiltração, percolação, armazenagem e escoamento (CHOW, 1964).

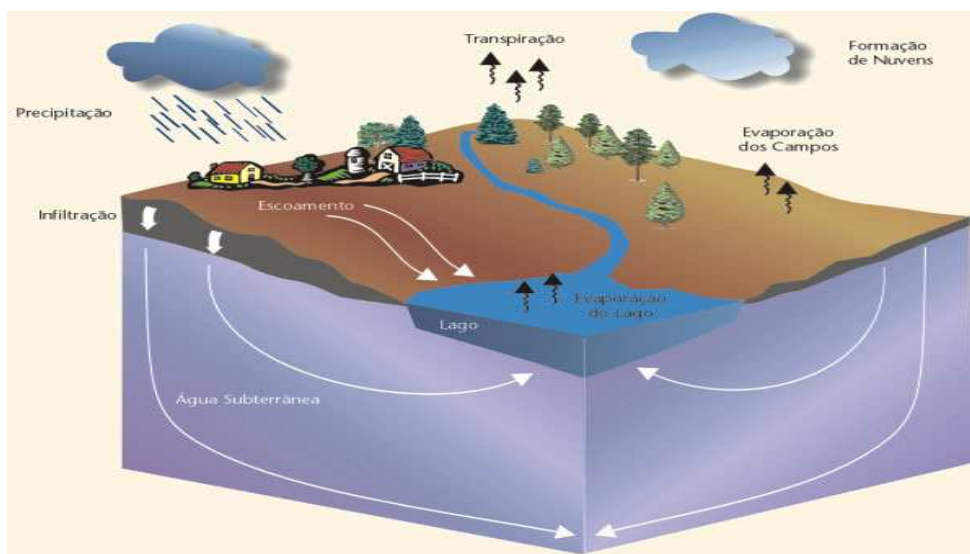


FIGURA 1 – CICLO HIDROLÓGICO  
 FONTE: ANA (2009)

### 2.1.2 Ciclo Urbano da Água

O ciclo hidrológico sofre a interferência de diversos fatores seja de origem natural ou antrópica. Com referência aos fatores naturais, destacam-se as variações climáticas, quanto aos antrópicos, destacam-se aqueles relacionados aos processos de urbanização e infra-estrutura urbana, entre outros. Desta forma, em meios urbanizados, a água caracteriza-se através dos seus múltiplos usos, dentre os quais estão os usos domésticos, a irrigação, o uso industrial, a produção de energia, atividades relacionadas a pesca e aqüicultura, a diluição de esgotos, a navegação, a recreação, entre outros.

Por outro lado, observa-se que a interferência das ações humanas, através dos usos múltiplos da água, constitui um sub-sistema denominado ciclo urbano da água. Tal ciclo tem início através da extração de água dos rios e aquíferos, a qual após tratamento é distribuída à população. Esta água é então utilizada para transporte de resíduos através da rede de esgoto sanitário e conduzida às estações de tratamento de esgoto, as quais fazem o lançamento do efluente nas águas receptoras, tais como rios, lagos e oceanos. Complementando o ciclo ocorre a captação das águas pluviais urbanas, as quais são recolhidas pelo sistema de drenagem e conduzidas para o escoamento em corpos d'água receptores. Na

Figura 2 estão representadas algumas das interferências humanas caracterizando o ciclo urbano da água (COOMBES; KUCZERA, 1999).

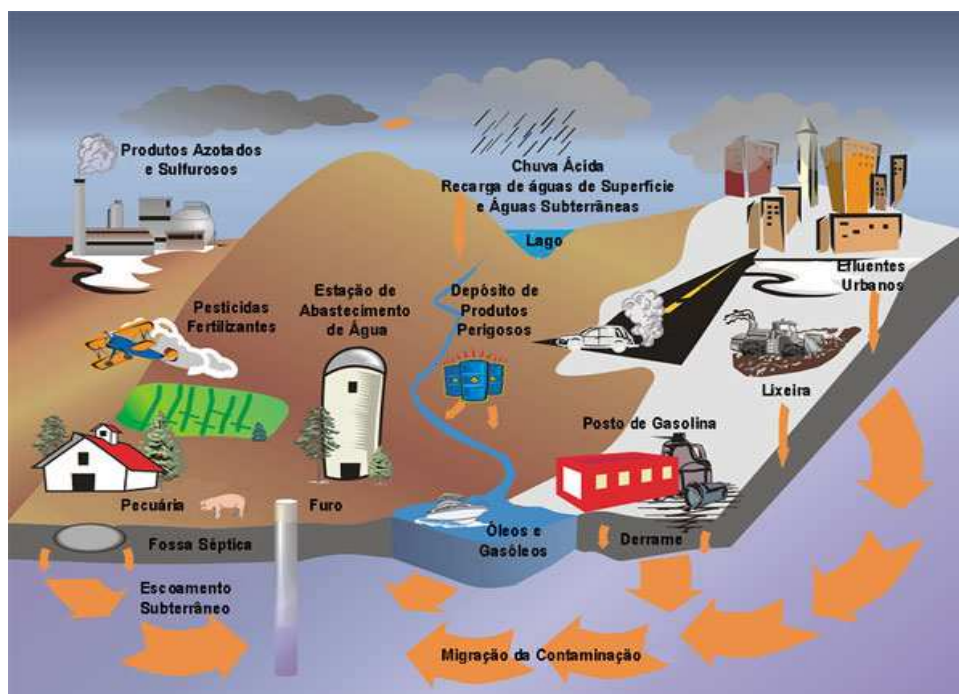


FIGURA 2 – CICLO URBANO DA ÁGUA  
 FONTE: ANA (2009)

Neste contexto, ressalta-se o desenvolvimento de técnicas no sentido de promover a melhoria da relação entre o consumo de água e a produção de águas residuais. Os sistemas públicos de abastecimento de água compreendem as fases de captação, tratamento e distribuição de água e, apresentam como principais fontes de abastecimento os mananciais. Entretanto existem ainda as fontes naturais como as nascentes, os poços artesianos, torneiras comunitárias, caminhões pipa, entre outros. No Brasil, segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o abastecimento por água potável atende 96% da população urbana (SNIS, 2010).

Por sua vez, os sistemas públicos de esgotamento sanitário fundamentam-se no conceito de que devem se afastados rapidamente e descartados, consumindo assim, grandes volumes de água.

Quanto aos sistemas de drenagem pluvial urbana são fundamentados nos princípios higienistas do século XIX, cujo objetivo principal se constituía no rápido escoamento das águas pluviais. Cabe ressaltar que um sistema de drenagem pluvial

urbana deve considerar além dos aspectos técnicos, o ecossistema local, os fatores climáticos, a organização social e cultural, a estrutura geográfica, os fatores econômicos e ainda as possibilidades futuras. Destaca-se ainda, que à medida que aumenta o grau de impermeabilização do solo nas áreas urbanas, intensifica-se o escoamento superficial, o qual associado ou não à ocupação de áreas ribeirinhas contribui para a ocorrência das enchentes (TUCCI, 2002).

Com referência ao escoamento superficial, corresponde ao conjunto das águas que se desloca na superfície da terra, também é denominado coeficiente *runoff*, ou ainda coeficiente de deflúvio. Pode ser obtido através da razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado, em relação a uma chuva isolada ou a um intervalo de tempo onde várias chuvas ocorreram. O coeficiente de *runoff* pode variar de acordo com a superfície de escoamento da água, entretanto, Tomaz (2003) sugere adotar para efeito de cálculo de aproveitamento de coberturas, o coeficiente de *runoff* correspondente a  $C= 0,8$ .

Assim sendo, a sustentabilidade hídrica de uma bacia hidrográfica envolve os aspectos naturais característicos de cada região e fatores antrópicos como a urbanização, poluição ambiental e as técnicas de gerenciamento das águas pluviais urbanas. Por sua vez, o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica se refere ao equilíbrio entre a entrada da precipitação e a vazão saída de água associada a fatores como a evapotranspiração e a infiltração no solo (JASROTIA; MAJHI; SINGH, 2009).

## 2.2 CONSERVAÇÃO DA ÁGUA

A Environmental Protection Agency - EPA define a conservação como qualquer redução benéfica nas perdas de água, desperdício ou uso (EPA, 2004). No Brasil, o conceito de conservação da água foi introduzido a partir da década de 80, quando se iniciaram as discussões sobre o tema.

Para Santos (2002) a conservação da água constitui o conjunto de ações que propiciam a economia de água, seja nos mananciais, no sistema público de abastecimento de água, ou nas habitações. O autor destaca que a conservação da água se apresenta como um grande desafio para a humanidade, haja vista a



necessidade em atender a demanda, através da universalização do acesso associada ao risco de escassez deste recurso natural.

Contudo, os programas de conservação da água podem atuar basicamente em três níveis, a conservação da água na Bacia Hidrográfica, a conservação no Sistema Público de Abastecimento de água e esgotamento sanitário e a conservação nos Sistemas Prediais.

Neste contexto, destaca-se o estudo desenvolvido por Tarantini; Ferri (2001) na cidade de Bolonha na Itália, que teve como objetivo desenvolver um modelo que permita comparar o impacto ambiental dos atuais sistemas de abastecimento e tratamento da água e tratamento de esgoto com as tecnologias inovadoras de conservação da água, como aproveitamento da água de chuva e reuso das águas cinza. Foram analisadas as seguintes categorias de impacto ambiental: o consumo de energia, a eutrofização dos corpos d'água e o impacto do uso de produtos químicos em tais sistemas. Os autores relatam que o processo de tratamento e bombeamento da água caracteriza-se como o processo mais relevante em relação a todas as categorias de impactos ambientais estudados, principalmente em relação ao consumo de energia. Por sua vez, a descarga de efluente tratado nos corpos d'água foi responsável por 100% dos impactos relativos à categoria eutrofização da água. O estudo revelou ainda que o impacto dos produtos químicos usados no tratamento da água potável e também das águas residuárias foi baixo, porém não irrelevante tendo em vista que o controle na dosagem pode reduzir o consumo de tais produtos.

Tarantini; Ferri (2001) concluem que a utilização mais racional da água, possibilita uma menor extração das águas subterrâneas que são a fonte de abastecimento de água mais utilizada na cidade de Bolonha e, por consequência propicia a redução dos impactos ao meio ambiente.

### 2.2.1 Conservação no Sistema Público de Abastecimento de Água

As ações de conservação da água nos Sistemas de Abastecimento de Água – SAA objetivam minimizar as perdas do sistema. Conceitualmente, as perdas no sistema de abastecimento de água são divididas em duas classes: as perdas físicas,

aquelas que representam a parcela não consumida de água, e as perdas não físicas, aquelas que correspondem à água consumida e não registrada.

Conforme Borges (2003) as perdas físicas podem ser de caráter operacional ou por vazamentos, e ocorrem no trecho compreendido entre a captação de água bruta e o cavalete da economia. Por sua vez, as perdas operacionais podem ser caracterizadas pelo excesso de água utilizada na lavagem dos filtros, limpeza dos flocladores e decantadores e limpeza de tubulações. Entretanto, as perdas por vazamento correspondem a diferentes problemas que podem ocorrer nas estruturas componentes do sistema, como: fissuras nas unidades de captação, tratamento, adução e distribuição, bem como nos ramais e sub-ramais.

A redução das perdas físicas permite diminuir os custos de produção mediante redução do consumo de energia, de produtos químicos e outros, e utilizar as instalações existentes para aumentar a oferta, sem expansão do sistema produtor. A redução das perdas não físicas permite aumentar a receita tarifária, melhorando a eficiência dos serviços prestados e o desempenho financeiro do prestador de serviços. Contribui indiretamente para a ampliação da oferta efetiva, uma vez que induz à redução de desperdícios por força da aplicação da tarifa aos volumes efetivamente consumidos (PNCDA, 2009).

### 2.2.2 Conservação no Sistema de Esgotamento Sanitário

A conservação da água no sistema de esgotamento sanitário fundamenta-se no conceito do saneamento ecológico e contrapõe-se como alternativa às desvantagens dos sistemas convencionais de saneamento. Para Gonçalves (2006), o saneamento ecológico, denominado *eco saneamento* tem por base os caminhos naturais dos ecossistemas e o ciclo fechado dos materiais. Neste contexto as águas residuárias são consideradas um recurso e não um resíduo a ser descartado e, portanto podem ser disponibilizadas ao reuso.

Assim sendo, a concepção do saneamento ecológico envolve a separação das diferentes formas de águas residuárias nas suas origens e, através da reciclagem de água e de nutrientes promove a redução no consumo de energia em atividades de saneamento.

Para Mancuso; Santos (2003) o reuso pode ser definido como o aproveitamento de águas anteriormente utilizadas, para atender demandas de outras atividades ou de seu uso original.

Santos; Kotsuka (2009) desenvolveram um estudo, na cidade de Curitiba – PR, sobre os impactos causados no sistema de abastecimento de água através da utilização da água cinza. O resultado encontrado, pelos autores, foi uma redução das vazões per capita e de demanda da ordem de 32 %. No tocante ao sistema de esgotamento sanitário, o uso da água cinza foi avaliado conforme o tipo de tratamento. Para lagoa anaeróbia, foram identificadas alterações nas vazões, assim como nas cargas de DBO do esgoto. Quanto à lagoa anaeróbia, os autores observaram uma redução de 32 % na vazão do esgoto e um aumento de 17,77 % na DBO do esgoto sanitário.

### 2.2.3 Conservação da Água nos Sistemas de Drenagem Urbana

Os sistemas de drenagem pluvial urbana tem por objetivo primeiro a prevenção de enchentes. As estruturas que compõem tais sistemas são projetadas, objetivando mitigar o impacto hidrológico, oriundo da diminuição da capacidade de armazenamento da bacia hidrográfica, em função da impermeabilização do solo. Assim sendo, Tucci (2006) relata que as medidas de controle de enchentes, conforme as ações na bacia hidrográfica podem ser distribuída ou na fonte, aquelas aplicadas nos lotes, praças e passeios ou ainda nos sistemas de micro e macrodrenagem, aquelas aplicadas aos sistemas de coleta de águas pluviais e aos cursos d'água.

Por sua vez, Fendrich (2002) relata que as bacias de retenção podem ser concentradas, aquelas constituídas por reservatórios de armazenamento temporário das águas pluviais, de grandes dimensões, localizados em área pública, com o objetivo de controlar o escoamento da macrodrenagem. Ou ainda distribuídas, aquelas compostas por reservatórios de armazenamento das águas pluviais, de pequenas dimensões, localizados nos lotes, com objetivo de controlar o escoamento da microdrenagem.

Dentre as principais ações que caracterizam a retenção distribuída estão, a ampliação das áreas de infiltração e percolação e a criação de sistemas de

armazenamento temporário em edificações ou telhados. Quanto aos telhados, caracterizam-se por sistemas complexos principalmente em função da manutenção e da necessidade de reforço nas estruturas. Com relação aos lotes urbanos, faz-se necessário a instalação de reservatório para armazenar as águas pluviais nos lotes. Este sistema possibilita o uso da água em atividades que não necessitam de água potável (TUCCI, 2006).

#### 2.2.4 Conservação da Água nos Sistemas Prediais

As principais ações conservacionistas da água nos sistemas prediais caracterizam-se pela implantação de práticas que envolvem o gerenciamento de água. Tais práticas incluem o uso racional, através da substituição de aparelhos convencionais por aqueles economizadores de água, da manutenção predial, da implantação de sistemas de medição setorizada e do uso de fontes alternativas de água.

Desta forma, Ilha (2009) recomenda uma agenda para implantação das ações de sustentabilidade nos edifícios residenciais, em especial referente ao uso racional da água. Tal agenda deverá considerar as características de disponibilidade e de demanda de água com o objetivo de obter resultados efetivos das ações implantadas. A autora destaca a educação ambiental como estratégia principal da agenda da água nas edificações e, faz referência a possibilidade de avaliar o grau de escassez de água de uma região por meio do balanço entre disponibilidade e demanda e assim planejar as ações futuras.

Segundo Kalbush (2009) o uso racional insere-se no conceito de desenvolvimento sustentável como uma ferramenta de gestão com objetivo da redução do consumo e da preservação da água. Assim sendo, os aspectos comportamentais que envolvem o uso racional estão relacionados aos hábitos pessoais não apenas de consumo de água, mas também de uso de aparelhos e equipamentos hidro-sanitários. Portanto, por meio de ações de sensibilização dos usuários é que será possível a transformação deste cenário.

Mithraratne; Vale (2007) relatam que na região de Auckland na Nova Zelândia a *Parliamentary Commissioner for Environment – PCE* propõem que medidas técnicas como o uso de bacias sanitárias com dois fluxos, chuveiros de

fluxo controlado e máquinas de lavar de fluxo restrito podem reduzir em cerca de 50%, o consumo de água por pessoa nas edificações.

Outra ação conservacionista de grande impacto para redução do consumo de água nas edificações das áreas urbanas, diz respeito à medição individualizada de água para edificações coletivas. Segundo Teixeira; Gehling (2009) trata-se de um método alternativo em relação ao tradicional sistema de medição global de água em condomínios, onde cada moradia passa a ter seu consumo controlado.

Vale ressaltar a importância da associação entre as demais ações de conservação da água nos sistemas prediais e o uso racional, ou seja, prioritariamente aplicam-se as ações de uso racional e, então se busca fontes alternativas de abastecimento. As fontes alternativas de abastecimento de água, para fins não potáveis, nos sistemas prediais são principalmente a água cinza e a água de chuva.

Gonçalves (2006) apresenta um modelo de gerenciamento com linhas diferenciadas para o suprimento de água potável e não potável. Destacam-se as linhas de produção de águas residuárias domésticas para fins não potáveis:

- a) águas Negras: trata-se das águas residuárias procedentes das bacias sanitárias, as quais apresentam em seu conteúdo fezes, urina e papel higiênico;
- b) águas Amarelas: refere-se às águas residuárias oriundas dos dispositivos processos separadores de urina e fezes, como os mictórios e as bacias sanitárias separadoras;
- c) águas Cinza: são as águas servidas, oriundas de pontos de consumo como os lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquinas de lavar roupas e tanques.

### 2.3 ÁGUA DE CHUVA

A água da chuva caracteriza-se como uma das formas de ocorrência de água na natureza e faz parte do processo de trocas do ciclo hidrológico. As chuvas são fundamentais para a recarga dos rios, dos aquíferos, para o desenvolvimento das espécies vegetais e também para carregar partículas de poeira e poluição existentes na atmosfera.

Historicamente, o aproveitamento da água de chuva caracteriza-se como um processo milenar adotado por civilizações como Astecas, Maias e Incas, constituindo-se na principal fonte de abastecimento de água. Tomaz (2003) relata que um dos registros mais antigos do aproveitamento da água de chuva data de 850 a.C., referindo-se as inscrições na Pedra Moabita, no Oriente Médio, onde o rei Mesha sugere a construção de reservatórios de água de chuva em cada residência. O autor faz referência ainda ao palácio de Knossos na Ilha de Creta, onde há aproximadamente 2000 a.C., a água da chuva era aproveitada na descarga das bacias sanitárias.

Gnadlinger (2001) relata que no Estado de Gansu na China, um país com referencial histórico de cerca de 4000 anos e amplo conhecimento de temas relacionados à cultura, a agricultura e natureza, a captação da água de chuva para uso doméstico tem uma história milenar registrada através de cisternas subterrâneas. Tais reservatórios foram escavados dentro do chão e revestidos com argila impermeável e caracterizavam-se como fonte suprimento de água da população e, portanto, eram considerados como um dos itens mais valiosos de uma residência.

Quanto ao Brasil, os principais relatos do aproveitamento da água de chuva datam de 1943 e se estendem até os dias de hoje na Ilha de Fernando de Noronha. Por sua vez, outras experiências registradas se reportam ao semi-árido brasileiro, onde o uso da água de chuva passou a incorporar programas de ação sócio-ambiental desenvolvidos por instituições governamentais e não governamentais.

Não obstante, a urbanização das cidades e as tecnologias de abastecimento público de água contribuíram para a desativação dos sistemas de aproveitamento da água de chuva. Entretanto, atualmente no contexto do paradigma da conservação da água, as práticas de aproveitamento da água de chuva estão sendo incorporadas aos sistemas de gestão urbana dos recursos hídricos de diversos países. Portanto, não se trata de inserir um novo conceito de gestão de recursos hídricos, apenas resgatar os fundamentos deste e adaptá-lo à realidade atual (ALADENOLA; ADEBOYE, 2009).

Neste contexto, destaca-se o trabalho desenvolvido por Ghisi; Ferreira (2007) na cidade de Florianópolis – SC com objetivo de estimar os usos finais da água em um condomínio residencial composto por três blocos de apartamentos. Tal estudo revelou que a percentagem de água potável que poderia ser substituída por

água da chuva variou de 39,2% a 42,7%, representando um percentual considerável de economia no condomínio.

### 2.3.1 Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações

Objetivando estabelecer ações de conservação da água o Município de Curitiba, no Estado do Paraná, aprovou em 18 de Setembro de 2003 a Lei Nº 10.785/03 que instituiu o PURAE – Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações. O programa prevê a adoção de medidas que visam induzir a conservação da água, através do uso racional e de fontes alternativas de abastecimento de água, nas novas edificações. Tal programa foi criado com o intuito de sensibilizar os usuários sobre a importância da conservação dos recursos hídricos (CURITIBA, 2003).

A regulamentação da referida Lei ocorreu através da aprovação do Decreto Nº 293, em 22 de março de 2006 (CURITIBA,2006). O Decreto dispõe sobre os critérios do uso racional e conservação da água nas edificações, estabelece critérios e fórmulas para o dimensionamento dos reservatórios de armazenamento das águas pluviais.

Segundo CHRISTAN (2008) quando da sua aprovação a Lei 10785/03 previa, para as novas edificações, a utilização de aparelhos e dispositivos hidráulicos redutores do consumo de água, a instalação de hidrômetros individualizados nas edificações coletivas, sistema de captação das águas pluviais e utilização em atividades que não exigem o uso de água potável, captação e armazenamento das águas servidas para utilização nas bacias sanitárias. Por sua vez, observa-se a existência de divergências entre as exigências impostas inicialmente pela Lei Nº 10785/03 e os critérios estabelecidos pelo Decreto Nº 293/06, dentre as quais, destaca-se:

- a) a obrigatoriedade do uso de hidrômetros individuais para edificações de habitação coletiva com área superior a 250m<sup>2</sup>, sendo que a Lei Nº 10785/03 previa a obrigatoriedade para todas as edificações coletivas;
- b) a instalação obrigatória de sistemas de coleta e tratamento das águas servidas apenas para edificações comerciais e industriais com área superior a 5000 m<sup>2</sup>, uma vez que a Lei Nº 10785/03 previa a obrigatoriedade para todas as edificações;

- c) a obrigatoriedade da instalação de chuveiros e lavatórios de volumes fixos foi desconsiderada, sendo exigido o controle do volume fixo de descarga nos pontos de consumo, apenas para edificações comerciais e industriais.

Portanto, o Decreto 293/06 manteve a obrigatoriedade, para todas as novas edificações, da captação, armazenamento e utilização das águas pluviais oriundas da cobertura da edificação. Cabe ressaltar que o PURAE, somente foi efetivamente implantado através da aprovação do Decreto Nº 212 de 29 de março de 2007, o qual estabeleceu o novo Regulamento de Edificações do Município de Curitiba e relaciona as exigências para cada tipo de uso das edificações (BEZERRA, 2009).

O Quadro 1 relaciona os tipos de edificações e as exigências do PURAE, sendo que tais exigências correspondem a: captação e aproveitamento da água de chuva (1), dispositivos hidráulicos redutores do consumo de água (2), hidrômetros individuais (3) e sistema de coleta e tratamento das águas servidas (4).

Tipos de Edificações	Exigências			
	1	2	3	4
Habitação unifamiliar	x	x		
Habitação de uso institucional	x	x		
Habitação transitória 1 (apartamento, hotel e pensão)	x	x		
Habitação transitória 2 (hotel)	x	x		
Habitação transitória 3 (motel)	x	x		
Comunitário 1- ensino, assistência social a saúde e biblioteca	x	x		
Comunitário 2 –lazer, cultura, ensino, saúde e culto religiosos	x	x		
Comunitário 3- lazer e ensino	x	x		
Comércio e serviço até 400 m2	x	x		
Posto de abastecimento	x	x		
Habitação coletiva e ou conjunto residencial (edifícios com área total construída por unidade igual ou superior a 250 m2 e nas residências isoladas)	x	x	X	
Habitação unifamiliar em série	x	x	X	
Continuação Casas populares em série	x	x	x	

QUADRO 1 - EXIGÊNCIAS DO PURAE PARA OS TIPOS DE EDIFICAÇÕES  
(Continua na próxima página)



(Continuação do Quadro 1)

Comércio e serviço acima de 400 m <sup>2</sup>	x	x		x*
Edifício de escritórios	x	x		x*
Estacionamento comercial	x	x		x*
Centro comercial	x	x		x*
Super e hipermercado		x		x*
Lava rápido		x		x*
Clínica e ambulatório		x		x*
Indústria		x		x*

QUADRO 1 - EXIGÊNCIAS DO PURAE PARA OS TIPOS DE EDIFICAÇÕES

FONTE: BEZERRA (2009)

NOTA: Apenas para edificações com área computável construída igual ou superior a 5.000 m<sup>2</sup>

Conforme relato de SÁ et al (2009) quanto ao dimensionamento do reservatório de água de chuva, o Decreto 293/06 estabelece um volume mínimo de 500 litros, e apresenta mecanismos de cálculo diferenciados para edificações residenciais e comerciais.

### 2.3.2 Qualidade da Água de Chuva

A qualidade das águas pluviais pode variar em relação ao grau de poluição do ambiente, de maneira geral os poluentes se incorporam a água de chuva durante a precipitação atmosférica. Os principais fatores determinantes da qualidade da água de chuva são a localização geográfica, a proximidade do oceano, a proximidade de áreas com vegetação, áreas mineradas e indústrias e também as condições meteorológicas e as estações do ano.

Conforme Andrade Neto (2002), os requisitos de qualidade e segurança sanitária das águas pluviais estão diretamente relacionados com o fim a que se destinam. O uso da água de chuva requer um controle da qualidade e a verificação da necessidade de tratamento, objetivando preservar a saúde do usuário e garantir o funcionamento dos equipamentos componentes do sistema de aproveitamento.

Assim sendo, a superfície de coleta da água de chuva pode influenciar na qualidade da mesma, seja pelo material da superfície ou pelas substâncias

presentes em tais superfícies, assim como: fezes de aves e roedores, artrópodes e outros animais mortos em decomposição, poeira, folhas e galhos de árvores, revestimento do telhado, fibras de amianto, resíduos de tintas, entre outros que ocasionam tanto a contaminação por compostos químicos quanto por agentes patogênicos (REBELLO, 2004).

Em se tratando de sistemas de aproveitamento da água de chuva, a manutenção e higienização dos equipamentos componentes de tal sistema são fundamentais para a preservação da qualidade da água. Conforme May (2004) podem ser encontrados na água de chuva patógenos, microrganismos que além de estar contidos nas fezes humanas, também podem estar presentes nos solos, plantas ou quaisquer efluentes que contenham matéria orgânica.

Segundo Tordo (2004) é fundamental o controle da população microbiana presente na água de chuva coletada em telhado, porque em densidades elevadas tais microrganismos podem induzir o desenvolvimento de odores e sabores desagradáveis e também a produção de biofilmes, deteriorando assim a qualidade da água. Destaca-se dentre estes microrganismos o grupo dos coliformes termotolerantes e das bactérias heterotróficas, cuja detecção é importante, pois evidencia o risco de presença de organismos patogênicos na água analisada.

Estudo desenvolvido por Coombes; Kuczera; Kalma (2002) sobre a qualidade da água de chuva armazenada em reservatório na cidade de Newcastle na Austrália, revelou que a água da chuva era aceitável para o uso de água quente, banheiro e utilização no exterior. A água da chuva utilizada no serviço de água quente apresentou-se compatível com as normas de água potável da Austrália. Entretanto, no uso de água fria foram detectados coliformes totais e termotolerantes além de bactérias heterotróficas em número incompatível com as normas de água potável daquele país.

Paula et al (2009 a), em estudo realizado na cidade de Goiânia – GO, sobre a qualidade da água da chuva captada e armazenada pelo período de 37 semanas, verificaram a eficiência do tratamento simples aplicado a água de chuva. A análise dos parâmetros físicos, químicos e biológicos ao longo do período estudado, não apresentou alterações que indicassem descartar o uso da água de chuva para atividades como a irrigação e o uso em piscinas. Entretanto, os autores recomendam a desinfecção da água de chuva, através da cloração, mesmo para usos não potáveis, mas onde possa existir o contato humano com água.

Alguns países estabeleceram critérios para os usos não potáveis da água, dentre os quais se destacam os Estados Unidos da América, a Austrália e o Canadá. No Brasil, a NBR 15527/07 estabelece alguns requisitos para o aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis. A Tabela 1, apresenta os critérios estabelecidos pela NBR 15527/07 (ABNT,2007), *Environmental Protect Agency* (EPA, 2004), *Australian Water Quality Guidelines for Fresh and Marine Waters* (Australia, 2000) e *Guidelines for Canadian Recreational Water Quality* (Canada, 1992).

TABELA 1 – CRITÉRIOS PARA USO NÃO POTÁVEL DA ÁGUA

Parâmetros	NBR 15527/07	EPA	Australia	Canada
Coliformes Totais (nmp/100ml)	Ausência	Ausência	-	-
Coliformes Termotolerantes nmp/100ml	Ausência	Ausência	< 150	< 200
Turbidez Ntu	< 2,0 p/ usos menos restritivos < 5,0	≤ 2	-	50
Cor Hz	< 15 uH	-	-	-
pH	6,0 a 8,0 p/ tubulação de aço carbono ou galvanizado	6-9	6,5-8,5	6,5 – 8,5

FONTE: Adaptado de ABNT (2007); EPA (2004); AUSTRALIA (2000); CANADA (1992)

O estabelecimento de critérios para usos não potáveis da água, através de tais regulamentações objetivam, sobretudo, garantir a segurança sanitária dos usuários destes sistemas aliado à sustentabilidade dos recursos hídricos. Ao observar a Tabela 1 verifica-se que algumas regulamentações apresentam-se mais restritivas em detrimento a outras, assim como, estabelecem parâmetros referenciais diferenciados. Outro fator a se destacar diz respeito à restrição de uso da água somente após o tratamento, portanto, tais critérios são estabelecidos considerando o tratamento adequado da água mesmo para fins não potáveis.

### 2.3.3 Projeto e Dimensionamento

As diretrizes de projeto e dimensionamento de um sistema de aproveitamento da água de chuva estão prescritas na Norma Brasileira – NBR, número 15527 - Água da Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis, publicada em vinte e quatro de outubro de 2007 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Tal norma técnica apresenta os requisitos para o aproveitamento da água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Portanto, a sua aplicação procede para usos não potáveis em que a água de chuva pode ser utilizada após tratamento adequado.

Por sua vez, quanto à concepção do projeto do sistema de coleta da água de chuva, este deve atender as normas técnicas, ABNT – NBR 5626 e NBR 10844. Ainda deve constar o alcance do projeto, a população ser atendida, a determinação da demanda, bem como os estudos das séries históricas e sintéticas das precipitações da região (ABNT, 2007).

A composição de um sistema de aproveitamento da água de chuva consiste basicamente na área de captação, em geral a cobertura da edificação, nos equipamentos de transporte representados pelas calhas e condutores verticais e no reservatório para armazenamento das águas pluviais.

Para Fendrich (2009), o aproveitamento da água da chuva é um sistema relativamente simples que consiste na captação, filtragem, armazenamento e distribuição da água que cai no telhado da edificação, cuja tecnologia para o uso nas edificações é a soma das seguintes técnicas:

- a) coleta da água da chuva que precipita no telhado;
- b) eliminação da água do início da chuva;
- c) instalação de unidades de sedimentação, filtragem, tratamento e melhoria da qualidade da água;
- d) armazenamento da água da chuva em reservatórios;
- e) abastecimento aos locais de uso;
- f) drenagem do excesso da água da chuva;
- g) complementação caso de estiagem prolongada.

A NBR 15527/07 trata exclusivamente do aproveitamento de coberturas, ou seja, à área, em metros quadrados, projetada na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde será coletada a água de chuva. Com referência aos equipamentos de coleta e condução da água de chuva, estabelece que as calhas e condutores horizontais e verticais devem atender à ABNT NBR 10844. Ainda devem ser instalados dispositivos para remoção de detritos e um dispositivo de descarte inicial da água de chuva.

Quanto ao dispositivo de descarte inicial da água de chuva, recomenda o descarte de dois milímetros de precipitação inicial quando não houver a disponibilidade de dados para o dimensionamento e, também recomenda o uso de dispositivos automáticos de descarte. Por sua vez, Tomaz (2003) destaca a prática adotada no Estado da Flórida – EUA, a qual estabelece o descarte de 40 litros de água de chuva para cada 100m<sup>2</sup> de telhado, ou seja, 0,4 litros/m<sup>2</sup>. O autor cita também a regra prática adotada na cidade de Guarulhos – SP que prevê o descarte de 1,0 litro de água de chuva por metro quadrado de telhado.

Quanto às instalações prediais, estas devem atender à ABNT NBR 5626, as tubulações e demais componentes devem ser diferenciados das tubulações de água potável, o sistema de água de chuva deve ser independente do sistema de água potável, os pontos de consumo devem ser de uso restrito e identificados com placa de advertência “Água não Potável” e os reservatórios de água de chuva e água potável devem ser separados. No tocante aos reservatórios de água de chuva, a norma determina que tais reservatórios devem atender à ABNT NBR 1221. Estabelece ainda que, deve ser minimizado o turbilhonamento, evitado a conexão cruzada e recomenda que a retirada da água próxima da superfície do reservatório (ABNT, 2007).

A NBR 15527/07 apresenta ainda, em caráter informativo, o ANEXO A - Métodos de cálculos para dimensionamento de reservatórios, entretanto fica a critério do projetista a opção pelo método a ser utilizado desde que devidamente justificado. Os métodos apresentados neste ANEXO A são o método de Rippl, método da Simulação, método de Azevedo Neto, método prático Alemão, método prático Inglês e o método prático Australiano. Ainda quanto ao dimensionamento do reservatório determina que o volume dos reservatórios seja fundamentado nas boas práticas da engenharia e baseado em critérios técnicos, econômicos e ambientais (ABNT, 2007).

Segundo Amorim; Pereira (2008) o reservatório de um sistema de aproveitamento da água de chuva não pode permanecer ocioso por longos períodos de tempo, assim como, não pode provocar o desperdício da água de chuva em detrimento ao atendimento ao consumo. Ainda, segundo os autores, é fundamental a identificação de fatores como: a área de captação, os dados pluviométricos locais e o coeficiente de aproveitamento da água pluvial, além da demanda de água potável que pode ser substituída por água de chuva.

O uso residencial da água da chuva pode ser direcionado para as bacias sanitárias, para lavar pisos, calçadas e carros, bem como, limpar a casa, regar as plantas do jardim ou quintal. Quanto ao uso industrial, o aproveitamento da água da chuva pode ser ampliado para outras atividades como, o resfriamento de caldeiras, lavagem de máquinas, peças ou equipamentos. As principais variáveis envolvidas na implantação de um sistema de aproveitamento da água de chuva são os dados hidrológicos, as estimativas de demanda e a superfície de captação (GHISI, 2006).

Segundo Rocha (2009) a regularidade e distribuição das chuvas influenciam significativamente no dimensionamento do reservatório. Muitos métodos de dimensionamento de reservatório levam em consideração a duração dos períodos chuvosos e secos, assim como, a precipitação pluviométrica de uma dada série histórica.

#### 2.3.4 Métodos de Dimensionamento de Reservatórios

MacMahon; Mein (1978) classificam os métodos de dimensionamento de reservatório em três grupos, são eles:

- a) Método de Moran: trata-se do desenvolvimento da teoria de armazenamento de Moran, datada do ano de 1959, onde a capacidade do reservatório é determinada por meio de um sistema de equações, as quais relacionam o suprimento e o atendimento ao consumo.
- b) Método do Período Crítico: embasado na análise seqüencial de dados como a demanda e o suprimento de água. Determina-se a capacidade do reservatório através da diferença entre tais dados quando a demanda excede o suprimento.



$$P_f = P / N$$

onde:

P – Número de unidades de tempo em que o reservatório esteve vazio

N – Número total de unidades de tempo da série em análise

Vale ressaltar, ainda que o reservatório pode ser dimensionado através de métodos práticos, em geral de fundamentação empírica. Entretanto, Rocha (2009) alerta que a aplicação de métodos práticos no dimensionamento de reservatório pode ser inadequada em virtude da generalização de grandezas de elevada variabilidade.

Por sua vez, destacam-se ainda os programas computacionais desenvolvidos especificamente para o dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento da água de chuva, como o Programa Computacional Netuno e o Programa Ress.

Conforme Ghisi (2006) o Programa Netuno refere-se a um modelo comportamental desenvolvido, para o aproveitamento da água de chuva em edificações residenciais localizadas na cidade de Florianópolis – SC. O objetivo do desenvolvimento de tal modelo foi estimar o potencial de economia de água potável para diferentes volumes de reservatório. Para a aplicação do algoritmo são necessários dados de entrada como: a precipitação pluviométrica, a demanda de água potável, a área de captação, o volume do reservatório e o coeficiente de aproveitamento de água de chuva (ROCHA, 2009). O autor relata ainda que os cálculos desenvolvidos através do programa são embasados em dados diários, porém podem ser utilizados também dados horários.

Não obstante, o programa computacional Ress fundamenta-se no princípio do sistema de suporte a decisão – SSD, com o objetivo de auxiliar o projetista na escolha do volume do reservatório de um sistema de aproveitamento da água de chuva. Através do programa, é possível simular a aplicação dos métodos de dimensionamento propostos na NBR 15527/07 e assim, definir o volume do reservatório a ser adotado conforme os diferentes aspectos envolvidos no aproveitamento da água de chuva (NASCIMENTO; MORUZZI, 2009).

Guo; Baetz (2007) da Universidade de Hamilton, no Canadá, desenvolveram estudo sobre o dimensionamento de reservatórios de água de chuva para aplicação nos edifícios verdes ou edifícios sustentáveis, com objetivo de identificar o tamanho



adequado do reservatório, a fim de evitar o subdimensionamento ou o superdimensionamento. O volume do reservatório é estimado por meio da derivação de fórmulas empíricas em função da área do telhado e da demanda de água desejada. Por sua vez, as características climáticas locais são representadas através de modelos probabilísticos e incorporadas na descrição dos processos estocásticos da unidade de armazenamento. Os modelos probabilísticos foram utilizados para descrever estocasticamente o ciclo do uso da água nos edifícios verdes.

#### 2.3.4.1 Método da Lei Municipal 10785/03 - Curitiba

A Lei 10785/03 do Município de Curitiba - PR estabelece que nas edificações habitacionais o dimensionamento do volume necessário para a cisterna ou reservatório deverá ser calculado mediante a aplicação da seguinte equação (CURITIBA, 2007):

$$V = N \times C \times d \times 0,25$$

onde:

V = Volume em litros

N = Número de unidades habitacionais

C = Consumo diário em litros/dia

d = Número de dias de reserva = 2

Cabe ressaltar que o consumo diário – C, é obtido conforme o número de quartos da edificação, sendo estabelecido pela legislação os seguintes valores:

- a) para um quarto – 400 litros;
- b) para dois quartos – 600 litros;
- c) para três quartos – 800 litros;
- d) acima de quatro quartos – 1000 litros

#### 2.3.4.2 Método dos Dias sem Chuva

O método dos dias sem chuva fundamenta-se no conceito da seca máxima do ano, considerando as demandas não potáveis de água de chuva. A base do cálculo para o dimensionamento do reservatório é o período de estiagem, ou seja, o número de dias consecutivos sem chuva no local especificado.

Quanto ao dimensionamento do reservatório deve ter início com o levantamento das estimativas de demanda de água não potável, adotando-se um período de retorno que represente o maior número de dias sem chuva da região. Assim sendo, é possível garantir uma reserva de água suficiente para atender às demandas mesmo em períodos de estiagem. Rocha (2009) relata que embora exista a recomendação da utilização de séries históricas longas vêm-se utilizando séries curtas na aplicação do método.

Segundo Amorim; Pereira (2008) existe também a possibilidade de dimensionar o reservatório considerando o maior número de dias consecutivos com chuvas. A aplicação de tal prática procede quando existe o objetivo de captar o maior volume possível de água pluvial e, atribui-se este procedimento às regiões que apresentam períodos secos mais extensos que os períodos chuvosos. Os autores citam como exemplo a região Nordeste do Brasil onde em determinados locais a água de chuva caracteriza-se como a principal fonte de abastecimento e, portanto, é preciso suprir a demanda de água nos períodos de estiagem.

Destaca-se que o volume do reservatório deve ser calculado através da equação:

$$V_{Res} = Q_{NP} \times DS$$

onde:

$V_{Res}$  = Volume do reservatório ( litros)

$Q_{NP}$  = Somatório das demandas não potáveis (litros/dia)

DS = Maior número de dias sem chuva

### 2.3.4.3 Método de Fendrich (2002)

Fendrich (2002) desenvolveu estudo sobre a aplicabilidade da coleta e utilização e detenção das águas pluviais na Bacia Hidrográfica Urbana do Rio Belém localizada no Município de Curitiba – PR. O trabalho foi contextualizado no princípio da detenção distribuída das águas pluviais objetivando o controle de enchentes urbanas. Fundamentou-se na observação de vinte e cinco eventos pluvio-fluviométricos críticos, no período de 1987 a 2001, correspondente a uma série histórica de 25 anos e teve como objetivo o retardamento do escoamento superficial, associado à redução dos níveis máximos de enchentes na respectiva bacia hidrográfica.

No trabalho citado, foram analisados aspectos relativos ao armazenamento temporário das águas pluviais em áreas altamente impermeabilizadas, assim como o retardamento do respectivo escoamento superficial.

O estudo culminou com a determinação, para a Bacia Hidrográfica do Rio Belém, do coeficiente de escoamento superficial regional de Curitiba para reservatórios de detenção distribuída. O valor obtido corresponde a 20,5 litros por metro quadrado de telhado, ou seja,  $C_r = 20,5$  litros/m<sup>2</sup>.

Por sua vez, Sá et al (2009) relata que o coeficiente de escoamento superficial regional de Curitiba determinado por Fendrich (2002), caracteriza-se como sendo o produto entre as projeções para o ano de 2020 da taxa de impermeabilização dos solos de 86,64% e o volume de chuva armazenável na bacia hidrográfica. Assim sendo, obteve-se tal volume através da relação entre o volume de precipitação efetiva e o volume armazenável na Bacia Hidrográfica do Rio Belém, referente à série estudada pelo autor.

Segundo Fendrich (2009) a determinação do volume dos reservatórios de detenção distribuída das águas pluviais, em Curitiba – PR é calculada através da equação:

$$V = C_r \times A_c$$

onde:

V = capacidade do reservatório de detenção (m<sup>3</sup>);

C<sub>r</sub> = coeficiente de escoamento superficial regional de Curitiba;

A<sub>c</sub> = área de coleta das águas pluviais (m<sup>2</sup>).

Não obstante, destaca-se que detenção distribuída constitui um componente importante no processo de conservação dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica.

#### 2.3.4.4 Método de Rippl

Segundo McMhahon; Mein (1978) a técnica da curva de massa desenvolvida pelo engenheiro austríaco W. Rippl foi um dos primeiros métodos racionais utilizados na estimativa da capacidade de reservatórios.

O Método de Rippl ou Método do Diagrama de Massas fundamenta-se no conceito da regularização da vazão, ou seja, refere-se ao estudo hidrológico que permite armazenar o excesso de água no período chuvoso objetivando compensar as deficiências do período seco. Em geral utiliza-se uma série histórica de precipitações mensais o mais longa possível e obtém-se a média mensal da pluviosidade da região estudada (AMORIM; PEREIRA, 2008).

Portanto, a base do método de Rippl é a construção do diagrama de massa através das séries históricas das chuvas e tal diagrama pode ser definido como a integral do hidrograma mensal representado na Figura 4.

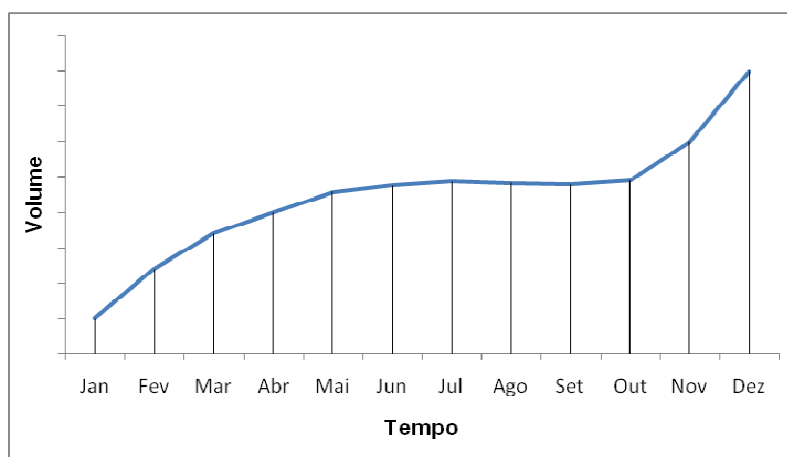


FIGURA 4 – INTEGRAL DO HIDROGRAMA MENSAL

FONTE: Adaptado de MCMHAHON; MEIN (1978)

Assim sendo, as tangentes em cada ponto do diagrama de massas indicam as vazões médias ou volumes médios no intervalo de tempo considerado.

Para a construção do diagrama de massas consideram-se duas hipóteses, a primeira considerando o reservatório cheio no tempo zero, o que caracteriza o início do período crítico e a segunda ao adotar uma série de dados históricos assume-se que estes dados não são alterados na seqüência de tal série.

Por sua vez, McMhahon; Mein (1978) citam como principais limitações do método de Rippl:

- a) podem ser incluídas variações na demanda, porém com restrições;
- b) não é possível identificar o tamanho do reservatório para determinadas probabilidades de falhas;
- c) aumentando a duração dos registros hidrológicos, aumenta a curva de massa dificultando o dimensionamento de reservatórios econômicos;
- d) o método não considera as perdas por evaporação.

Segundo Rippl (1883) o propósito de um reservatório de água é equalizar a flutuação entre o suprimento e a demanda ao longo do tempo. Por tratar-se de um método fundamentado no conceito do período crítico, tem sua aplicação mais adequada para a situação em que a demanda acumulada de água é aproximadamente igual ou ligeiramente inferior ao suprimento, ou seja,  $D_m \approx V_{\text{chuva}}$ . Assim, esta se apresenta como a situação que melhor se enquadra na formulação teórica do método, haja vista que o período crítico apresenta-se bem definido, conforme representado no diagrama de massas característico da Figura 5, onde  $D_a$  corresponde à demanda acumulada e  $V$  ao volume captável.

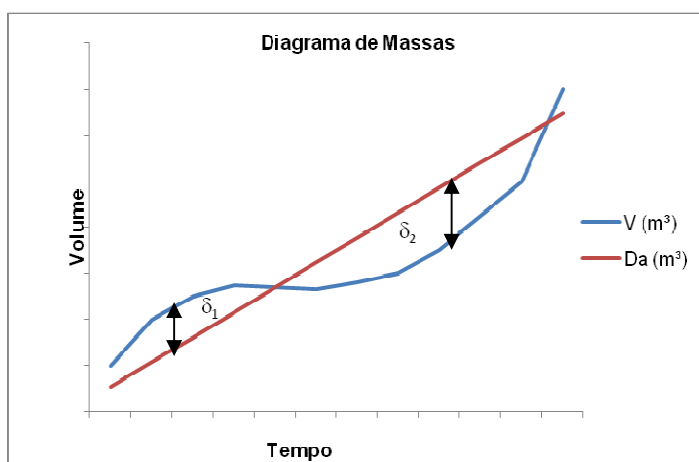


FIGURA 5 – DIAGRAMA DE MASSAS QUANDO  $D_M \approx V_{\text{CHUVA}}$

FONTE: Adaptado de RIPPL (1883)

Entretanto, na situação em que a demanda é muitas vezes inferior ao suprimento, ou seja,  $D_m \ll V_{\text{chuva}}$ , podem ocorrer incertezas no dimensionamento do reservatório. Neste caso não se caracteriza o período crítico, pois não é possível identificar a passagem do estado cheio para vazio do reservatório, uma vez que o suprimento é muitas vezes maior que o consumo, portanto não ocorre o esvaziamento do reservatório. O diagrama de massas característico para tal situação está representado na Figura 6.

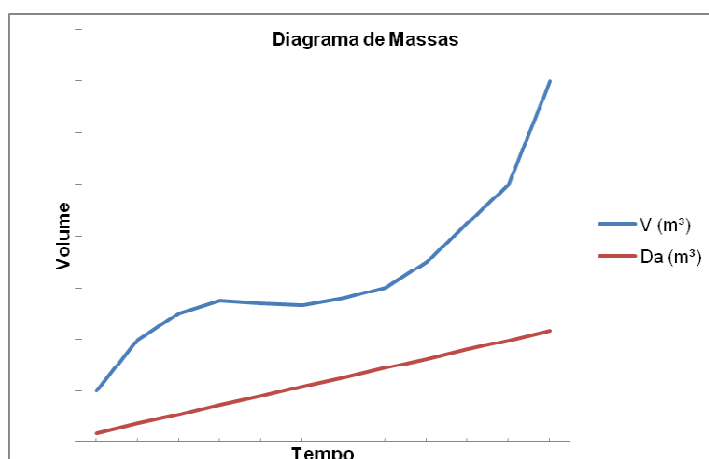


FIGURA 6 – DIAGRAMA DE MASSAS QUANDO  $D_M \ll V_{\text{CHUVA}}$   
 FONTE: O AUTOR (2010)

Observando o diagrama verifica-se que a reta característica da demanda acumulada se distancia da curva correspondente ao volume captável acumulado, portanto o traçado da tangente, para a determinação do período crítico, pode induzir a resultados duvidosos.

Por outro lado, o inverso da situação anterior ocorre quando a demanda é muitas vezes superior ao suprimento, ou seja,  $D_m \gg V_{\text{chuva}}$ , e da mesma forma, a aplicação do método de Rippl pode gerar incertezas no dimensionamento do reservatório. Assim sendo, conforme descrição inicial, tal método fundamenta-se no conceito da regularização da vazão e, portanto, a demanda a ser atendida será estabelecida em função do volume possível de captação. O diagrama de massas característico nesta situação está representado na Figura 7.

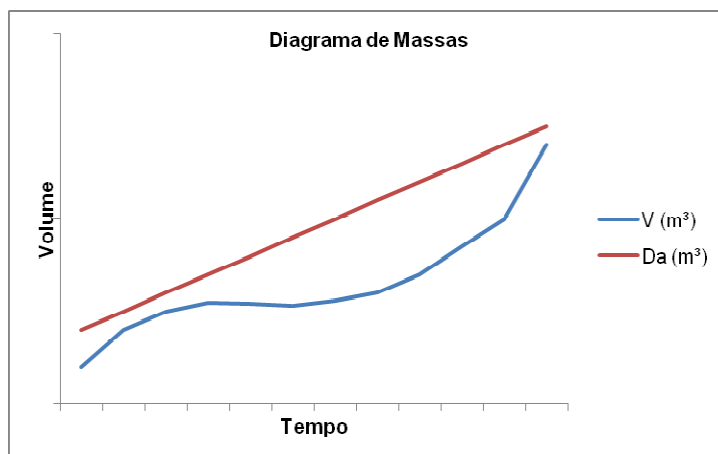


FIGURA 7 – DIAGRAMA DE MASSAS QUANDO  $D_M \gg V_{CHUVA}$   
 FONTE: O AUTOR (2010)

Neste caso será necessário fazer um ajuste da demanda acumulada em relação ao volume captável acumulado, ou seja, a fração excedente da demanda corresponde ao déficit do sistema devendo, neste caso, ser atendido por outra fonte de abastecimento disponível. Segundo Australia (2004) se o volume máximo captável é inferior a demanda anual de água, então a área de captação deverá ser aumentada ou a demanda de água terá de ser reduzida. Esta situação pode ser observada em condomínios verticais onde a área de coleta de água da chuva pode ser insuficiente para o suprimento completo da demanda dos usos não potáveis de água.

Quanto a aplicação do método de Rippl, Rocha (2009) recomenda que tal método só deve ser aplicado quando o volume captado de água de chuva é maior ou igual ao volume demandado em determinado período de tempo correspondente, obtendo-se assim o suprimento total da demanda no período seco.

Por sua vez, Ghisi (2006) relata que o dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento da água de chuva pelo método de Rippl aparenta ser inadequado porque induz a resultados maiores que outros métodos, principalmente os estatísticos e da simulação.

Estudo desenvolvido por Paula et al (2009 b), na cidade de Goiânia-GO sobre o método de Rippl concluiu que, a utilização deste para o dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de água de chuva não garante um dimensionamento preciso, quando aplicado pela flutuação do volume do reservatório. Entretanto, o método confere maior confiabilidade se utilizadas precipitações pluviométricas diárias, em virtude do intervalo menor de tempo. Os

autores sugerem que, juntamente com o método de Rippl, sejam estudados outros métodos de dimensionamento mais criteriosos antes da definição das dimensões dos reservatórios.

O Método de Rippl pode ser aplicado tanto para a situação de demanda constante, quanto para a demanda variável. A aplicação do método na forma analítica para demanda constante pode ser apresentado conforme modelo de planilha, Tabela 2 (TOMAZ, 2003).

TABELA 2 – MODELO DE PLANILHA PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE RIPPL

1	2	3	4	5	6	7
Mês	P (mm)	$D_m$ (m <sup>3</sup> )	$A_c$ (m <sup>2</sup> )	$V_{chuva}$ (m <sup>3</sup> )	$D_m - V_{chuva}$ (m <sup>3</sup> )	Dif. Acum. Valores + (m <sup>3</sup> )
Jan						
Fev						
Mar						
Abr						
Mai						
Jun						
Jul						
Ago						
Set						
Out						
Nov						
Dez						
<b>Total</b>						

FONTE: Adaptado de TOMAZ (2003)

LEGENDA:

COLUNA 1 – MÊS: Período de tempo correspondente aos meses do ano, de janeiro a dezembro.

COLUNA 2 – P: Precipitação média mensal, em milímetros.

COLUNA 3 –  $D_m$ : Demanda mensal, em metros cúbicos.

COLUNA 4 –  $A_c$ : Área de captação da água da chuva, em metros quadrados.

COLUNA 5 –  $V_c$ : Volume potencial de chuva, em metros cúbicos. Obtido multiplicando-se a coluna 2 pela coluna 3 e pelo coeficiente de escoamento superficial, *runoff*.

COLUNA 6 –  $D_m - V_c$ : Diferença entre a coluna 3 e a coluna 5, o sinal negativo representa excesso de água e o sinal positivo representa déficit.

COLUNA 7 – Diferença Acumulada dos Valores Positivos: Diferenças acumuladas da coluna 6, referente apenas aos valores positivos.



#### 2.3.4.5 Método da Simulação

O Método da Simulação consiste inicialmente em adotar um volume fixo para o reservatório. Na seqüência, por meio da análise de um hidrograma de chuvas, observa-se o comportamento da água no reservatório, ou seja, se haverá excesso ou falta de água durante o período correspondente. Não deve ser levada em conta a evaporação (ABNT, 2007).

Segundo McMhahon; Mein (1978) usualmente simula-se a capacidade do reservatório para o período de um mês, porém podem ser aplicados outros intervalos de tempo. A perda por evaporação consiste na diferença entre a evaporação e a evapotranspiração propostas para o reservatório. Outras perdas que possam ocorrer são comparativamente pequenas e, portanto, desprezíveis. Para a aplicação da simulação assumem-se duas hipóteses são elas: o reservatório está inicialmente cheio e os dados da série histórica são representativos para escoamentos futuros.

As principais limitações para aplicação do método da simulação destacadas pelos autores são:

- a) a condição do reservatório estar inicialmente cheio;
- b) a análise é baseada em registros históricos que podem não ser representativos para o conjunto de escoamentos;
- c) dificuldades na alteração da demanda ao longo do tempo.

Por sua vez, os autores destacam também alguns atributos do método da simulação, são eles:

- a) a análise do comportamento histórico é um processo simples, de fácil entendimento e representa com clareza o comportamento da água armazenada;
- b) a análise das séries históricas incorpora as variações sazonais entre outros parâmetros;
- c) o método pode ser aplicado para dados baseados em qualquer intervalo de tempo, em geral diários ou mensais;

Tomaz (2003) classifica a análise da simulação do reservatório como um processo de tentativas, onde se supõem conhecido o volume do reservatório e a demanda de água. O autor recomenda usar séries de precipitação mensais acima

de dez anos, porém destaca que objetivando facilitar os cálculos podem ser usadas séries sintéticas.

Por sua vez, a análise da simulação do volume do reservatório deve ser calculada através da equação da continuidade, qual seja:

$$S_t = Q_t + S_{t-1} - D_t - PV_t - L$$

$$Q_t = C \times P_t \times A_c$$

Restrição  $0 \leq S_t \leq V$

onde:

$S_t$  = Volume de água no tempo t;

$S_{t-1}$  = Volume de água no reservatório no tempo t-1;

$Q_t$  = Volume de chuva no tempo t;

$D_t$  = Consumo ou demanda no tempo t;

PV = perda por evaporação no tempo t;

L = outras perdas no tempo t;

V = volume do reservatório fixado

C = Coeficiente de escoamento superficial, *runoff*;

$P_t$  = Precipitação no tempo t;

$A_c$  = Área de captação

Tomaz (2003) sugere a elaboração de uma planilha para o desenvolvimento dos cálculos, conforme Tabela 3.

TABELA 3 – MODELO DE PLANILHA PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DA SIMULAÇÃO

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mês	P (mm)	$D_t$ (m <sup>3</sup> )	$A_c$ (m <sup>2</sup> )	$Q_t$ (m <sup>3</sup> )	V Fixado (m <sup>3</sup> )	$S_{t-1}$ (m <sup>3</sup> )	$S_t$ (m <sup>3</sup> )	Ov (m <sup>3</sup> )	S (m <sup>3</sup> )
Jan									
Fev									
Mar									
Abr									
Mai									
Jun									
Jul									
Ago									
Set									
Out									
Nov									
Dez									
Total									

FONTE: Adaptado de TOMAZ (2003)

LEGENDA:

COLUNA 1 – MÊS: Período de tempo correspondente aos meses do ano, de janeiro a dezembro.

COLUNA 2 – P: Precipitação média mensal, em milímetros.

COLUNA 3 – Dt: Demanda mensal, em metros cúbicos.

COLUNA 4 – Ac: Área de captação da água da chuva, em metros quadrados.

COLUNA 5 – Qt: Volume potencial de chuva, em metros cúbicos. Obtido multiplicando-se a coluna 2 pela coluna 4 e pelo coeficiente de escoamento superficial, runoff .

COLUNA 6 – V Fixado: Volume fixado para o reservatório, em metros cúbicos.

COLUNA 7 – S t-1: Volume do reservatório no início da contagem do tempo.

COLUNA 8 – St: Volume do reservatório no final do tempo, valores negativos indicam água necessária para reposição.

COLUNA 9 – Ov: Ocorrência de overflow, ou seja, excesso de água.

COLUNA 10 – S: Suprimento de água de outra fonte.

A confiança do sistema pode ser obtida através da equação:

$$R_p = 1 - P_f$$

$$P_f = P / N$$

Carvalho; Oliveira; Moruzzi (2007) concluíram, após estudo comparativo entre métodos de dimensionamento, que o método da simulação pode ser associado a outros métodos de dimensionamento de reservatório. A investigação do comportamento, através da análise da simulação, dos volumes obtidos por diferentes métodos, fornece maior embasamento para a escolha do tamanho do reservatório.

#### 2.3.4.6 Método de Azevedo Netto

Segundo Azevedo Netto (1991) o aproveitamento da água de chuva para abastecimento aplica-se para sistemas individuais e coletivos. Os sistemas individuais caracterizam-se pela coleta da água que precipita nos telhados, o autor faz referência à freqüente adoção de tal prática pelos Estados Unidos da América e também por países da Ásia. Quanto aos sistemas coletivos aplicam-se a pequenas comunidades, de até cinco mil habitantes. Tais sistemas compreendem uma área de coleta, impermeabilizada e dotada de canaletas específicas com objetivo de

captar e conduzir a água de chuva para tanques. O sistema também inclui filtros lentos e reservatórios de distribuição.

Conforme descreve Azevedo Netto (1991), o dimensionamento dos sistemas de abastecimento de água de chuva envolve os seguintes dados:

- a) Precipitação anual mínima;
- b) Número máximo de dias sem chuvas significativas;
- c) Consumo de água mensal

Segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007), o volume do reservatório de água pluvial é obtido por meio da equação:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T$$

onde:

V = volume do reservatório (litros)

P = precipitação média anual (mm)

A = área de coleta em projeção (m<sup>2</sup>)

T = número de meses de pouca chuva ou seca

O Método de Azevedo Netto, também é chamado de Método prático Brasileiro e sugere o aproveitamento máximo de 50% da precipitação anual, em função do escoamento superficial assim como de perdas inerentes ao sistema. Portanto, o coeficiente de segurança corresponde à fração mensal referente ao aproveitamento de 50% da precipitação anual, ou seja:

$$50\% \times P_{\text{anual}} / 12 \text{ meses} = 0,042 P_{\text{anual}}$$

Por sua vez, Azevedo Netto (1991) através do estudo de dados estatísticos relativos ao período crítico, ou seja, período sem chuva ou de pouca chuva, concluiu que tal período geralmente é superior a trinta dias podendo ultrapassar os sessenta dias em regiões de baixas e irregulares precipitações.

#### 2.3.4.7 Método Prático Inglês

O método prático Inglês, caracteriza-se por sua origem empírica, fundamentada em certo percentual de aproveitamento da precipitação média anual

em relação à área de captação da água. Diferentemente do método prático Brasileiro, o método prático inglês não considera na sua formulação o período de seca.

Conforme a NBR 15527 (ABNT, 2007), o volume do reservatório de água pluvial é obtido por meio da equação:

$$V = 0,05 \times P \times A$$

onde:

P = precipitação média anual (mm)

A = área de coleta em projeção (m<sup>2</sup>)

V = volume de água da cisterna (litros)

Por sua vez, o coeficiente de segurança corresponde à fração mensal referente ao aproveitamento de 60% da precipitação anual, ou seja:

$$60\% \times P_{\text{anual}} / 12 \text{ meses} = 0,05 P_{\text{anual}}$$

#### 2.3.4.8 Método Prático Alemão

Método prático Alemão caracteriza-se por adotar um percentual de 6% do menor valor entre o volume anual aproveitável de chuva e a demanda anual de água não potável.

Trata-se de um método empírico, cujo dimensionamento do reservatório procede embasado na relação (ABNT, 2007):

$$V_{\text{adotado}} = \min (V; D) \times 0,06$$

onde:

V = volume aproveitável de água de chuva anual (litros)

D = Demanda anual de água não potável (litros)

$V_{\text{adotado}}$  = Volume de água do reservatório (litros)

#### 2.3.4.9 Método Prático Australiano

O Método australiano é um método empírico onde o cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas até que sejam atingidos valores otimizados de confiança e de volume do reservatório (ABNT, 2007).

Conforme Austrália (2004), quando o reservatório representar a única fonte de abastecimento de água, deverá ser calculada capacidade necessária para assegurar que o volume de água coletado e armazenado seja suficiente para atender à demanda durante todo o ano, inclusive durante os períodos de baixa ou nenhuma precipitação.

O dimensionamento do reservatório de água pluvial é obtido por meio da equação:

$$Q = (A \times C \times (P - I)) / 1000$$

onde:

C = coeficiente de escoamento superficial

P = precipitação média mensal (mm)

I = interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm

A = área de coleta (m<sup>2</sup>)

Q = volume mensal produzido pela chuva (m<sup>3</sup>)

Para obter-se o do volume do reservatório, podem ser arbitrados valores de volumes, de forma aleatória ou dimensionados através de outros métodos. Assim sendo, a partir da simulação destes valores analisa-se a respectiva confiança e determina-se o volume do reservatório através da equação 10:

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t$$

onde:

Q<sub>t</sub> = volume mensal produzido pela chuva no mês t (m<sup>3</sup>)

V<sub>t</sub> = volume de água que está no tanque no fim do mês t (m<sup>3</sup>)

V<sub>t-1</sub> = volume de água que está no tanque no início do mês t (m<sup>3</sup>)

D<sub>t</sub> = demanda mensal (m<sup>3</sup>)

Segundo Austrália (2004) inicialmente considera-se o reservatório vazio, portanto para o primeiro mês o valor do volume do reservatório será zero.

O volume do reservatório (V<sub>t</sub>) é obtido através da análise da relação:

$$(V_{t-1} + Q_t - D) < 0 \rightarrow V_t = 0$$

A escolha do volume do reservatório acontece por meio da análise da confiança através das equações:

$$R_p = 1 - P_f$$

$$P_f = P / N$$

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho desenvolveu-se em quatro etapas distintas. A primeira etapa caracteriza-se pela instalação da unidade piloto, a qual tem por objetivo captar e armazenar a água de chuva. A segunda etapa envolve uma abordagem qualitativa do aproveitamento da água de chuva por meio da caracterização da água de chuva armazenada em reservatório. Por sua vez, a terceira etapa do trabalho abrange uma abordagem quantitativa através da investigação de determinados métodos de dimensionamento de reservatórios. Assim sendo, a quarta etapa do trabalho constitui uma abordagem da sustentabilidade do sistema de aproveitamento da água de chuva, por meio da discussão das interferências de tal sistema no ciclo do uso da água na bacia hidrográfica.

#### 3.1 INSTALAÇÃO DA UNIDADE PILOTO

A instalação da unidade piloto objetiva a captação e o armazenamento da água de chuva para a caracterização qualitativa da mesma. Assim sendo, neste estudo, o armazenamento da água de chuva não tem por finalidade o atendimento ao consumo.

A unidade piloto foi instalada no terraço anexo ao prédio do Departamento de Hidráulica e Saneamento, Bloco V, do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná - UFPR, em Curitiba – PR.

Para a captação da água de chuva da cobertura, foram aproveitados os equipamentos de coleta e condução de águas pluviais existentes na edificação, sendo necessárias algumas adaptações. A Figura 8 apresenta uma vista geral da unidade piloto.



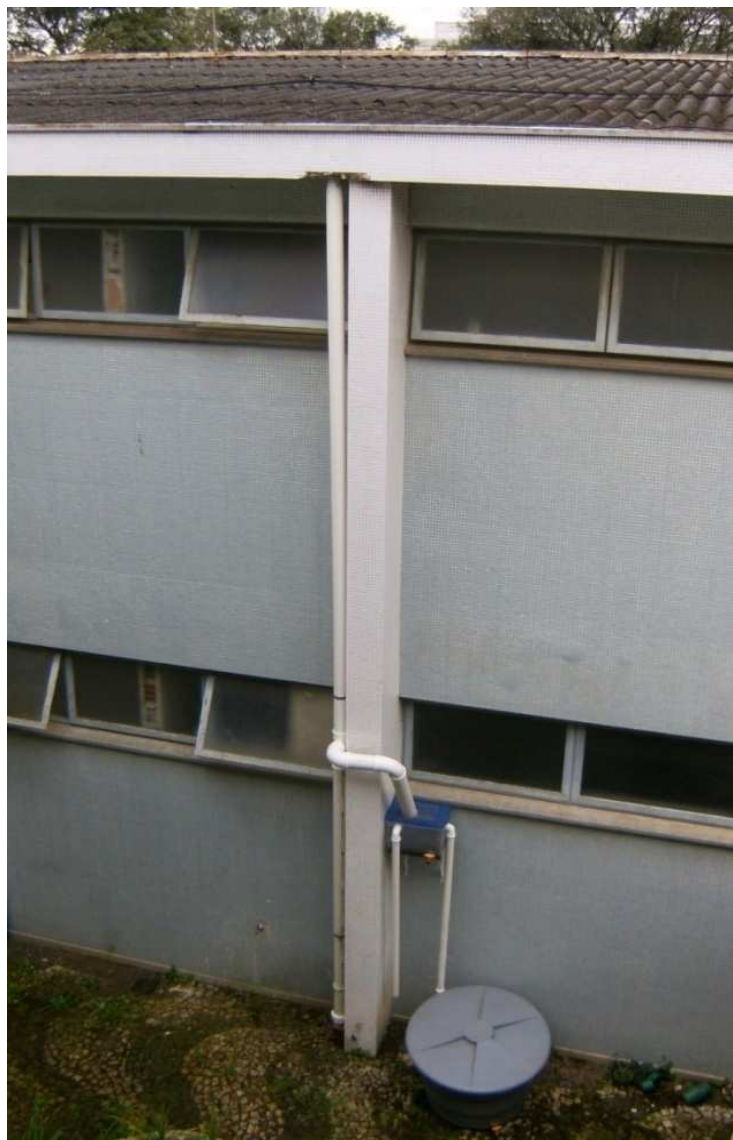


FIGURA 8 - VISTA GERAL DA UNIDADE PILOTO  
FONTE: O AUTOR (2010)

### 3.1.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo compreende a parte externa do bloco V do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, localizado no Bairro Jardim da Américas no Município de Curitiba, na região Sul do Brasil.

O Município de Curitiba, capital do Estado do Paraná, localizado no primeiro planalto paranaense, possui aproximadamente 1.800.000 habitantes segundo IPPUC (2009). O clima mesotérmico úmido, característico do Município apresenta chuvas bem distribuídas durante todos os meses do ano, com maior concentração

no verão principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, quando as temperaturas são mais elevadas. As temperaturas mais baixas são registradas nos meses de junho, julho e agosto e, este último caracteriza-se como o mês mais seco do ano.

Por sua vez, o Bairro Jardim das Américas abrange uma área de 387,40 ha, cuja população corresponde a 13.966 habitantes, possui cerca de 3960 domicílios com 3,53 habitantes em média por domicílio (IPPUC, 2009). A Figura 9 mostra uma vista aérea do Bairro Jardim das Américas na cidade de Curitiba- PR.



FIGURA 9 - VISTA AÉREA DO BAIRRO JARDIM DAS AMÉRICAS, CURITIBA – PR  
FONTE: IPPUC (2009)

Entre os bairros Jardim das Américas e Jardim Botânico encontra-se localizado o Campus III da Universidade Federal do Paraná. Também conhecido como Cidade Universitária, tal campus caracteriza-se como sendo o maior da UFPR, e compreende os campi Centro Politécnico, Escola Técnica e Jardim Botânico.

O Centro Politécnico é constituído por um conjunto de prédios os quais abrigam o setor de tecnologia da Universidade Federal do Paraná. Assim sendo, no bloco V deste conjunto localiza-se o departamento de Hidráulica e Saneamento. A área externa entre os dois prédios que compõem o referido bloco, denominada terraço, abriga os equipamentos utilizados no desenvolvimento de pesquisas pela comunidade acadêmica.

Observa-se no entorno do bloco V, áreas de estacionamento e circulação de veículos, como mostra a Figura 10. A circulação de veículos contribui para a poluição do ar através da emissão de gases, sendo que parte desta poluição deposita-se na cobertura das edificações.



FIGURA 10 – PRÉDIOS DO BLOCO V DO CENTRO POLITÉCNICO  
FONTE: O AUTOR (2010)

Outro fator a ser observado, é a existência de arborização na área entorno do bloco V, característica em todo o conjunto do Centro Politécnico. Especificamente a arborização no entorno da área da unidade piloto é constituída, na sua maioria, por árvores de grande e médio porte, algumas espécies ultrapassam a cobertura do prédio, como pode ser observado na Figura 11.

Vale ressaltar que as de árvores localizadas nas imediações da cobertura das edificações contribuem para a deposição de folhas e galhos e ainda facilitam a circulação de aves, insetos e outros animais.





FIGURA 11 – ARBORIZAÇÃO ENTORNO DO BLOCO V DO CENTRO POLITÉCNICO  
FONTE: O AUTOR (2010)

Por sua vez, a arborização do local estimula o aparecimento de diversas espécies de pássaros, os quais podem ser observados facilmente por toda a extensão do centro politécnico, como mostra a Figura 12. Destaca-se dentre tais espécies, João de Barro, Quero - Quero Pardal, Sabiá, entre outras.



FIGURA 12 – ESPÉCIES DE PÁSSAROS NO CENTRO POLITÉCNICO  
FONTE: O AUTOR (2010)

Tais fatores contribuem significativamente para a composição da beleza cênica do local, assim como possibilitam a aproximação com natureza. Entretanto,

sob a ótica do aproveitamento da água de chuva, a circulação de aves e também outros animais na cobertura das edificações, caracteriza-se como um fator preocupante, pois, contribui para a contaminação da superfície de coleta da água.

Embora, os fatores relativos ao entorno da unidade piloto influenciem na análise qualitativa da água de chuva, neste estudo, os critérios adotados na escolha do local para instalação de tal unidade, priorizaram a facilidade para a implantação do sistema.

### 3.1.2 Superfície de Captação da Água da Chuva

A superfície de captação da água da chuva compreende a cobertura do prédio Bloco V do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, onde se encontra o Departamento de Hidráulica e Saneamento – DHS. A área de captação ( $A_c$ ), adotada neste estudo, corresponde a uma parte da cobertura do prédio, referente a área de contribuição para a calha e o condutor vertical escolhidos para a instalação da unidade piloto. A área de contribuição foi estimada com base na planta de cobertura da edificação apresentada no projeto arquitetônico do prédio e corresponde a  $74,94 \text{ m}^2$ . O objetivo da identificação da área de captação, neste estudo, foi apenas subsidiar a estimativa do volume do reservatório de descarte inicial do sistema, haja vista que a água de chuva coletada não objetiva o atendimento ao consumo. A Figura 13 mostra uma vista da superfície de captação, cobertura da edificação.



FIGURA 13 - SUPERFÍCIE DE CAPTAÇÃO  
FONTE: O AUTOR (2010)

Quanto ao material da superfície de captação corresponde a telhas de fibrocimento, a sua identificação é importante na determinação do coeficiente de escoamento superficial (  $C$  ). Assim também na análise qualitativa da água de chuva, o material da superfície de captação pode interferir nos resultados obtidos.

Observa-se ainda que, as telhas apresentam uma tonalidade escura, característica de coberturas antigas, como é o caso dos prédios do centro politécnico que foram construídos há mais de 30 anos. A Figura 14 mostra a área da superfície de captação a onde foi raspada a crosta existente nas telhas. Tal crosta formou-se em função do acúmulo de poluentes, matéria orgânica e também pelas características do próprio material constituinte das telhas.





FIGURA 14 – DETALHE DA CROSTA EXISTENTE NA SUPERFÍCIE DE CAPTAÇÃO  
FONTE: O AUTOR (2010)

### 3.1.3 Equipamentos Coletores e Condutores da Água de Chuva

Para a instalação da unidade piloto foram utilizados os equipamentos de coleta e condução da água de chuva, já existentes na edificação. Assim, a água da chuva que escoava pela cobertura foi coletada através de uma calha metálica instalada logo abaixo das telhas, como pode ser observada na Figura 15. Em virtude da arborização existente no entorno da edificação e também da dificuldade de manutenção, não existem grelhas sobre as calhas nem mesmo na entrada dos condutores. As grelhas contribuem para a melhoria da qualidade da água captada, pois evitam a passagem de folhas, galhos e outros objetos que por ventura se encontram no telhado. Entretanto, necessitam de limpeza constante para não obstruir a passagem da água de chuva e assim provocar gotejamentos e alagamentos na edificação.



FIGURA 15 – COBERTURA E CALHAS DA EDIFICAÇÃO  
FONTE: O AUTOR (2010)

Após ser coletada pelas calhas, a água de chuva é conduzida através de tubulação vertical de PVC com diâmetro de 100 mm. Para a instalação da unidade piloto, um dos condutores foi interceptado a uma altura de 2,40 m do solo, por meio de uma conexão TE de PVC e de diâmetro 100 mm. O objetivo de interceptar a tubulação de águas pluviais foi o de conduzir a água coletada pela calha para o reservatório de descarte de escoamento inicial, conforme representado na Figura 16. A extremidade de saída do condutor foi bloqueada através de um CAP de PVC de 100 mm de diâmetro.





FIGURA 16 – EQUIPAMENTOS CONDUTORES DA ÁGUA DE CHUVA  
 FONTE: O AUTOR (2010)

### 3.1.4 Equipamentos de Descarte da Água de Escoamento Inicial

O descarte da água de escoamento inicial tem como função eliminar as primeiras chuvas, responsáveis pela limpeza da superfície de captação. Na unidade piloto, os primeiros milímetros de chuva ficam retidos no segmento restante do próprio condutor vertical. O volume de água armazenado no condutor vertical foi obtido através da relação entre a seção do condutor de diâmetro 100 mm e a sua respectiva altura, no caso 2,40m. Portanto, o volume de água retido no condutor vertical é de 18,84 litros.

Por sua vez, para o dimensionamento do reservatório de descarte do escoamento inicial adotou-se, conforme Tomaz (2003), a regra prática, utilizada na Flórida – E.U.A, de 0,4 litros/m<sup>2</sup> de telhado. Aplicando-se a regra para a área de captação de 74,94 m<sup>2</sup>, obteve-se o volume de 30 litros.

O reservatório de descarte do escoamento inicial foi instalado na unidade piloto a uma altura de 2,20 metros do solo e assentado sobre dois suportes metálicos, tipo cantoneira, fixados na parede da edificação. Utilizou-se um recipiente plástico fechado, ao qual foi adaptado um sistema de extravasamento de água, através de um condutor vertical de diâmetro 50 mm de PVC. Assim como, um adaptador com flange para o esvaziamento e limpeza, com objetivo de conduzir o excesso de água para o sistema de drenagem pluvial da edificação. A Figura 17 representa o reservatório de descarte da água de escoamento inicial.



FIGURA 17 – RESERVATÓRIO DE DESCARTE DO ESCOAMENTO INICIAL  
FONTE: O AUTOR (2010)

Cabe ressaltar que, o sistema de descarte da água de escoamento inicial da unidade piloto está representado pela soma dos volumes do reservatório de descarte da água de escoamento inicial, e do condutor vertical, ou seja, ocorre o descarte 48,84 litros das primeiras chuvas.

### 3.1.5 Reservatório de Água de Chuva

O reservatório de água de chuva, da unidade piloto, foi instalado ao nível do solo sobre a calçada da edificação, objetivando facilitar a coleta da água. Assim

sendo, a diferença de nível entre e o reservatório de descarte do escoamento inicial e o reservatório de detenção possibilita o escoamento da água por gravidade evitando o uso de dispositivos de recalque.

Optou-se pela instalação de um reservatório do tipo caixa d'água de polietileno com tampa, o qual foi mantido constantemente fechado, durante o transcorrer do estudo, a fim de se evitar a proliferação de insetos, bem como a contaminação da água. Também, foi instalado um adaptador com flange para o esvaziamento e limpeza do mesmo, conforme Figura 18.



FIGURA 18 – RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA  
FONTE: O AUTOR (2010)

Embora, a função do reservatório de detenção da unidade piloto seja apenas o armazenamento da água de chuva para análise e, não o atendimento ao consumo, o seu dimensionamento baseou-se na Legislação Municipal 10785/03, que estabelece um reservatório com volume mínimo de 500 litros para todas as edificações.

Entretanto, em virtude da disponibilidade inicial, as duas primeiras séries de amostragem foram desenvolvidas utilizando-se um reservatório, com capacidade de 310 litros. Apenas a partir da terceira série de amostragem foi utilizado o reservatório com capacidade de 500 litros.

## 3.2 ABORDAGEM QUALITATIVA

A água de chuva ao ser coletada de uma superfície pode ter sua qualidade alterada conforme as características desta superfície. Neste trabalho a abordagem qualitativa objetiva avaliar a qualidade da água de chuva em função de um determinado tempo de armazenamento.

As condições de higiene do reservatório de água podem interferir para a qualidade da água armazenada, nesta etapa do trabalho tais condições foram avaliadas, assim como o acúmulo de lodo no reservatório.

### 3.2.1 Procedimentos de Coleta e Amostragem

Os procedimentos de coleta e amostragem seguiram as orientações do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos – CEPPA, e foram utilizados os seguintes materiais:

- a) Frascos plásticos esterilizados, fornecidos pelo Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos – CEPPA;
- b) Luvas;
- c) Bolsa Térmica;
- d) Termômetro;
- e) Régua.

O plano de coleta e amostragem estabeleceu a realização de cinco séries de amostragens, sendo coletadas duas amostras de cada série, perfazendo um total de dez amostras. A primeira amostra de cada série foi coletada após o reservatório atingir a sua capacidade plena. O intervalo de tempo entre a coleta da primeira amostra e da segunda amostra de cada série foi de sete dias. Tal intervalo foi

adotado por meio da análise do número de dias sem chuva na região, subsidiado pelo estudo da seqüência dos dias sem chuva (Apêndice).

Por sua vez, os procedimentos de amostragem tiveram início com a retirada, no Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos – CEPPA, dos fracos esterilizados e a identificação dos mesmos. A etapa seguinte caracterizou-se pela leitura da temperatura da água de chuva armazenada, por meio de um termômetro. Na seqüência, com o auxílio de uma régua procedeu-se a medida da altura da água no reservatório, com o objetivo de identificar o volume real de água armazenado.

Para cada amostra, foram coletados dois frascos opacos de um litro cada e um frasco opaco de duzentos mililitros de água da chuva armazenada no reservatório da unidade piloto. Após cada coleta, os fracos foram acondicionados em bolsa térmica e imediatamente encaminhados ao laboratório para as análises. Assim sendo, o reservatório foi tampado, e as respectivas informações foram registradas em uma planilha.

Após sete dias realizou-se a coleta da segunda amostra da série, os procedimentos de amostragem foram os mesmos da primeira amostra da série. Entretanto, imediatamente após a coleta da segunda amostra de cada série, o reservatório foi esvaziado através do acionamento manual do adaptador com flange e, a água descartada para o sistema de drenagem urbana da edificação. Da mesma forma, foi esvaziado o reservatório de descarte inicial e ainda retirado o CAP para esvaziamento da tubulação.

Depois de esvaziados todos os dispositivos, o sistema foi novamente preparado para a próxima série de coleta. CAP foi recolocado na extremidade da tubulação, também foram fechados os adaptadores com flange dos reservatórios para aguardar a próxima precipitação, conforme determinado no plano de amostragem. Não foi realizada a higienização do reservatório após cada série de amostragem.

Cabe ressaltar que, neste estudo o ponto de coleta se constituiu unicamente no reservatório de detenção da água de chuva instalado na unidade piloto. Destaca-se ainda que os procedimentos de amostragem tiveram início no mês de junho de 2009, tendo sido estendidos até o mês de outubro de 2009.

### 3.2.2 Análises Físicas, Químicas e Microbiologias

A seleção dos parâmetros a serem caracterizados foi estabelecida segundo a NBR 15527/07 (ABNT, 2007), a qual recomenda, para usos mais restritivos, a análise de pH, Cor Aparente, Turbidez, Coliformes Termotolerantes, Coliformes Totais.

Foram analisados ainda, os parâmetros de Temperatura, Demanda Química de Oxigênio, Oxigênio Dissolvido e Bactérias Heterotróficas.

A análise da temperatura foi realizada *in loco*, por meio de um termômetro e, imediatamente após a coleta da água do reservatório.

As análises laboratoriais dos parâmetros cor, pH, turbidez, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, bactérias heterotróficas, coliformes termotolerantes e coliformes totais, foram realizadas pelo Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos – CEPPA, situado no Centro Politécnico. A metodologia utilizada nas análises laboratoriais dos parâmetros físicos, químicos e biológicos encontra-se descrita na seqüência:

- a) Demanda Química de Oxigênio (DQO): A DQO foi determinada conforme prescrito no *Standard Methods*, 5220 B – OPEN Reflux method (AWWA. 1998);
- b) Turbidez: A Turbidez foi determinada conforme prescrito no *Standard Methods*, 2130 B – NEPHELOMETRIC method. A unidade para turbidez é a NTU (Unidade Nefelométrica de Turbidez) (AWWA. 1998);
- c) Potencial Hidrogeniônico (pH): O pH foi determinado conforme prescrito no *Standard Methods*, 4500-H<sup>+</sup> B – ELECTROMETRIC method (AWWA. 1998);
- d) Cor Aparente: A Cor Aparente foi determinada conforme prescrito no *Standard Methods*, 2120 B (AWWA. 1998);
- e) Oxigênio Dissolvido (OD): O OD foi determinado conforme prescrito no *Standard Methods*, 4500- O C – AZIDE Modification method (AWWA. 1998);
- f) Coliformes Totais: A contagem de coliformes totais foi determinada conforme prescrito no *Standard Methods*, 9221: part 9000 – MULTIPLE\_TUBE fermentation technique for members of the coliform group (AWWA. 1998);

- g) Coliformes Termotolerantes: A contagem de *Escherichia Coli* foi determinada conforme prescrito no *Standard Methods*, 9221: part 9000 – MULTIPLE\_TUBE fermentation technique for members of the coliform group (AWWA. 1998);
- h) Bactérias Heterotróficas: A contagem de bactérias heterotróficas foi determinada conforme prescrito no *Standard Methods*, 9215: part 9000 – HETEROTROFIC plate count (AWWA. 1998).

### 3.2.3 Avaliação da Higienização e Acúmulo de Lodo no Reservatório

Paralelamente a caracterização qualitativa da água de chuva armazenada foram observadas ainda questões relativas à higienização do reservatório e ao acúmulo de lodo em tal reservatório, após o armazenamento da água.

A avaliação das condições de higiene do reservatório foi desenvolvida através da observação visual das condições do reservatório, após o esvaziamento do mesmo. Tal avaliação transcorreu tanto no início do processo de amostragem quanto após a conclusão da última série amostral e foi registrada por meio fotográfico.

Por sua vez, o lodo acumulado no fundo do reservatório não foi quantificado apenas observado visualmente e registrado por meio fotográfico.

### 3.3 ABORDAGEM QUANTITATIVA

A abordagem quantitativa objetiva investigar os métodos de dimensionamento dos reservatórios de armazenamento dos sistemas de aproveitamento da água da chuva, recomendados no anexo A, da Norma Brasileira de Água de Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para fins não potáveis – NBR 15527. Complementando o estudo, foram analisados outros métodos disponíveis na literatura.

Por sua vez, o estudo quantitativo compreende em sua primeira etapa, a realização das estimativas de demanda de água não potável nos aparelhos sanitários servidos pela água da chuva, adotando como referência uma edificação

residencial. Na segunda etapa da abordagem quantitativa foram identificados e levantados os dados hidrológicos da região em estudo. A terceira etapa do estudo consiste em simular a aplicação dos métodos de dimensionamento de reservatório registrados na literatura, e a quarta etapa compreende a realização de uma análise comparativa entre estes métodos.

### 3.3.1 Estimativas de Demanda de Água não Potável

Para o levantamento das estimativas de demanda foi adotado como referência uma residência unifamiliar com área de 100m<sup>2</sup>, dividida em três quartos, sala, cozinha, banheiro e lavanderia, situada na região sob estudo. Considerou-se ainda, que a residência é habitada por uma população de quatro pessoas.

Neste estudo optou-se por considerar que o aproveitamento da água de chuva tem como objetivo o abastecimento de uma bacia sanitária, não sendo avaliados outros usos possíveis para o sistema na edificação. As características do aparelho sanitário corresponde a bacia sanitária com caixa acoplada de 6 litros.

Para a determinação da parametrização do consumo, adotaram-se os valores recomendados em TOMAZ (2003) para bacia sanitária, ou seja, cinco acionamentos por habitante por dia.

Portanto, considerando que cada habitante efetue cinco acionamentos da caixa acoplada, por dia, o que caracteriza uma demanda diária de 120 litros de água e totaliza uma demanda mensal de 3,6 m<sup>3</sup> de água, ou seja:

- a) Demanda Diária de Água da Chuva ( $D_d$ )

$$D_d = 6\text{litros} \times 5 \text{ acionamentos/dia} \times 4 \text{ habitantes} \rightarrow D_d = 120 \text{ litros/d;}$$

- b) Demanda Mensal de Água da Chuva ( $D_m$ )

$$D_m = 120 \text{ litros/dia} \times 30 \text{ dias} \rightarrow D_m = 3,6 \text{ m}^3/\text{mês}$$



### 3.3.2 Identificação e Levantamento de Dados Hidrológicos

Neste estudo, a identificação e o levantamento dos dados hidrológicos da região foram obtidos junto ao Instituto Tecnológico SIMEPAR.

A Estação Meteorológica do Instituto Tecnológico do SIMEPAR encontra-se localizada junto à Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, ambas situadas no Centro Politécnico da UFPR.

Denominada Estação Meteorológica de Curitiba, a estação do SIMEPAR identifica-se sob o nº 25264916 e encontra-se geograficamente localizada a 935 m de altitude, longitude 49,2666° e latitude 25,4333°. Neste local, estão instalados os sensores de direção e velocidade do vento, precipitação, radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e pressão atmosférica. A Figura 19 mostra uma vista parcial dos equipamentos instalados na Estação Meteorológica de Curitiba.



FIGURA 19 – EQUIPAMENTOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE CURITIBA-SIMEPAR  
FONTE: O AUTOR (2010)

Os procedimentos de identificação e levantamento de dados na estação, iniciam quando um sensor coleta dados a cada segundo e no final do período de 15

minutos o equipamento denominado *data logger*, localizado na estação, processa estes dados e disponibiliza os valores de acordo com cada variável. Após a coleta e registro os dados são transmitidos, via satélite ou via telefone celular, ao SIMEPAR para entrada no banco de dados.

Uma vez recebidos e inseridos no banco de dados do SIMEPAR, os dados passam pelo controle de qualidade do órgão. Tal controle inclui a avaliação em relação à climatologia, repetibilidade e diferença entre uma leitura e outra, ainda a comparação com estações vizinhas. Após essa avaliação é atribuída uma nota para cada dado, classificando-se o dado em aprovado, reprovado, suspeito ou não verificado.

Após a verificação da qualidade dos dados, estes são armazenados no banco de dados a cada 15 minutos e posteriormente são processados conforme a utilização desejada, ou seja, dados horários, diários, mensais entre outros.

Por sua vez, neste trabalho foram utilizados dados hidrológicos diários, mensais e anuais. A série histórica estudada corresponde ao intervalo de tempo entre o ano de 1998 ao ano 2008, referente, portanto, a um período amostral de 11 anos. A Tabela 4 apresenta os dados hidrológicos mensais da série histórica estudada.

TABELA 4 – DADOS HIDROLÓGICOS MENSIS DA SÉRIE HISTÓRICA ESTUDADA.

Ano	Precipitação Mensal ( mm)											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>1998</b>	93,0	66,6	327,2	153,4	44,2	90,4	139,4	270,0	359,4	180,4	14,8	85,8
<b>1999</b>	326,8	371,0	124,2	66,8	55,6	83,4	136,4	13,2	112,0	115,2	60,0	122,2
<b>2000</b>	171,4	130,2	124,4	8,8	16,2	118,8	73,8	82,2	242,6	154,6	147,8	114,8
<b>2001</b>	133,0	276,2	156,8	63,0	153,4	127,0	155,8	53,2	64,2	198,0	148,0	96,6
<b>2002</b>	217,0	120,4	84,6	123,2	113,8	39,6	45,4	90,2	173,4	121,8	144,2	154,4
<b>2003</b>	147,8	103,8	165,2	64,6	18,6	79,4	120,8	9,0	129,8	65,4	118,6	166,0
<b>2004</b>	144,6	59,6	152,4	87,4	134,6	58,4	117,8	11,6	52,6	152,0	92,2	128,0
<b>2005</b>	164,6	64,8	72,8	114,4	104,8	66,2	91,2	158,8	195,0	168,2	78,4	54,0
<b>2006</b>	114,2	143,6	129,6	17,0	20,0	28,8	37,4	42,8	116,0	41,0	168,2	74,2
<b>2007</b>	196,0	134,8	126,0	97,6	187,4	2,0	100,0	8,6	86,4	119,4	116,8	56,4
<b>2008</b>	165,2	124,0	165,6	140,2	46,0	97,6	26,6	109,8	31,4	194,8	49,8	42,6

FONTE: Adaptado de SIMEPAR (2009)

De posse dos dados hidrológicos, foram identificadas as precipitações médias mensais e anuais relativas à série histórica estudada, representadas na Tabela 5.

TABELA 5 – DADOS HIDROLÓGICOS

<b>Mês</b>	<b>Precipitação Média (mm)</b>
<b>Janeiro</b>	170,3
<b>Fevereiro</b>	145,0
<b>Março</b>	148,1
<b>Abril</b>	85,1
<b>Mai</b>	81,3
<b>Junho</b>	72,0
<b>Julho</b>	95,0
<b>Agosto</b>	77,2
<b>Setembro</b>	142,1
<b>Outubro</b>	137,3
<b>Novembro</b>	103,5
<b>Dezembro</b>	99,5
<b>Total Anual</b>	1365,0

FONTE: Adaptado de SIMEPAR (2009)

### 3.3.3 Simulação da aplicação dos Métodos de Dimensionamento

Na terceira etapa do estudo quantitativo, de posse das estimativas de demanda e dos dados hidrológicos, foi simulado o dimensionamento de reservatório de retenção através dos métodos propostos no anexo A da Norma Brasileira de Água de chuva - Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis - NBR 15527 (ABNT, 2007). Objetivando aprofundar o estudo, foram aplicados outros métodos disponíveis na literatura, são eles: o Método proposto na Lei Nº 10785/03 regulamentada através do Decreto 293/06, do Município de Curitiba-Pr, o Método de FENDRICH, 2002, e o Método dos dias sem chuva.

### 3.3.3.1 Método da Lei Municipal 10785/03 – Curitiba-PR

Para a simulação da aplicação do método proposto no Decreto 293/06 da Lei 10785/03, foram aplicados na equação correspondente, descrita no capítulo dois, revisão da bibliografia (ver 2.3.4.1), os seguintes dados:

- a) Número de unidades –  $N=1$ , por se tratar de residência unifamiliar, conforme descrito no item 3.3.1 Estimativas de Demanda, deste capítulo;
- b) Consumo -  $C= 800$  L/d, valor estabelecido no decreto 293/06 para residências com três quartos, conforme descrito capítulo dois, revisão da bibliografia (ver 2.3.4.1);
- c) Número de dias de reserva –  $d= 2$  dias, descrito capítulo dois, revisão da bibliografia (ver 2.3.4.1).

### 3.3.3.2 Método dos Dias sem Chuva

Neste estudo, o Método dos Dias sem Chuva foi simulado para a série de máximos dias sem chuva, estabelecido a partir do estudo sobre a Seqüência de Dias Sem Chuva apresentado no Apêndice. Assim sendo, foram utilizados os dados hidrológicos descritos no item 3.3.2 - Identificação e Levantamento de Dados Hidrológicos. Inicialmente foram levantados os dados correspondentes aos dias sem registro de precipitação pluviométrica, de cada mês de cada ano do período amostral estudado. Em seguida, estes dados foram dispostos em forma de planilha do programa Excel, e assim identificado o maior número de dias sem precipitação de cada mês de cada ano. De posse destas informações, obteve-se a média dos máximos dias sem chuva para cada mês. Através das médias mensais obteve-se a média anual dos Máximos Dias Sem Chuva - MDS.

Uma vez identificados os dados, procedeu-se a aplicação dos mesmos, na equação correspondente, descrita no capítulo dois, revisão da bibliografia (ver 2.3.4.2), sendo:

$D_d$  = Somatório das demandas não potáveis (litros/dia), conforme descrito no item 3.3.1- Estimativas de Demanda, deste capítulo, e  
MDS = Máximos Dias Sem Chuva.

### 3.3.3.3 Método de Fendrich (2002)

Para a simulação do método da Permeabilidade Artificial foram aplicados na planilha, descrita no capítulo dois, revisão da bibliografia (ver 2.3.4.3), os seguintes dados:

- a) Área de Captação -  $A_c = 100\text{m}^2$ , descrito no item 3.3.1 - Estimativas de Demanda, deste capítulo;
- b)  $C_r = 20,5$ , coeficiente de permeabilidade artificial do solo, conforme descrito no capítulo dois, item Métodos de Dimensionamento de Reservatórios de Água de Chuva.

### 3.3.3.4 Método de Rippl

Objetivando simular a aplicação do método de Rippl para o dimensionamento de reservatórios de acumulação da água de chuva, foram aplicados na planilha descrita na revisão da bibliografia (ver 2.3.4.4), os seguintes dados:

- a) Valores da demanda mensal –  $D_m$ , descrito no item 3.3.1 - Estimativas de Demanda, deste capítulo;
- b) Dados Hidrológicos – precipitação média mensal –  $P$ , descrito no item 3.3.2 - Identificação e Levantamento de Dados Hidrológicos, deste capítulo;
- c) Área de Captação -  $A_c = 100\text{m}^2$ , descrito no item 3.3.1 - Estimativas de Demanda, deste capítulo;

- d) Coeficiente de escoamento superficial, *runnof* –  $C = 0,8$ , para coberturas de cimento amianto, conforme descrito na revisão da bibliografia (ver 2.3.2).

#### 3.3.3.5 Método da Simulação

Neste estudo, para aplicação do método da Simulação no dimensionamento de reservatórios de água de chuva, foi fixado o volume de 500 litros em virtude de, tal valor caracterizar-se como o volume mínimo exigido pela Lei Municipal Nº 10785/03. Para o desenvolvimento dos cálculos, foram aplicados na planilha descrita no capítulo dois ((ver 2.3.4.5), os seguintes dados:

- a) Valores da Demanda Mensal –  $D_m$ , descrito no item 3.3.1 - Estimativas de Demanda, deste capítulo;
- b) Dados Hidrológicos – Precipitação Média Mensal –  $P$ , descrito no item 3.3.2 - Identificação e Levantamento de Dados Hidrológicos, deste capítulo;
- c) Área de Captação -  $A_c = 100m^2$ , descrito no item 3.3.1 - Estimativas de Demanda, deste capítulo;
- d) Coeficiente de escoamento superficial, *runnof* –  $C = 0,8$ , para coberturas de cimento amianto, conforme descrito na revisão da bibliografia (ver 2.3.2).

#### 3.3.3.6 Método de Azevedo Neto

Para a simulação da aplicação do método proposto por Azevedo Neto foram aplicados na equação correspondente, descrita no capítulo dois, revisão da bibliografia (ver 2.3.4.6), os seguintes dados:

- a) Dados Hidrológicos – precipitação média anual – P, descrito no item 3.3.2- Identificação e Levantamento de Dados Hidrológicos, deste capítulo;
- b) Área de Captação -  $A_c = 100\text{m}^2$ , descrito no item 3.3.1 - Estimativas de Demanda, deste capítulo;
- c) Número de meses de pouca chuva ou seca –T, descrito no capítulo dois, revisão da bibliografia (ver 2.3.4.6).

### 3.3.3.7 Método Prático Inglês

Para a simulação da aplicação do método Prático Inglês foram aplicados na equação correspondente, descrita no capítulo dois, revisão da bibliografia (ver 2.3.4.7), os seguintes dados:

- a) Dados Hidrológicos – precipitação média anual – P, descrito no item - 3.3.2- Identificação e Levantamento de Dados Hidrológicos, deste capítulo;
- b) Área de Captação -  $A_c = 100\text{m}^2$ , descrito no item 3.3.1 - Estimativas de Demanda, deste capítulo.

### 3.3.3.8 Método Prático Alemão

Para a aplicação da simulação do método Prático Alemão foram aplicados na planilha descrita no capítulo dois, revisão da bibliografia (ver 2.3.4.8) os seguintes dados:

- a) Valor da Demanda Anual – obtido através do somatório das demandas mensais -  $D_m$ , descrito no item 3.3.1 - Estimativas de Demanda, deste capítulo;
- b) Precipitação média – P, descrito no item 3.3.2 - Identificação e Levantamento de Dados Hidrológicos, deste capítulo;

- c) Coeficiente de Escoamento Superficial, *Runnof* –  $C = 0,8$  para coberturas de cimento amianto, conforme descrito na revisão da bibliografia (ver 2.3.2).
- d) Área de Captação -  $A_c = 100\text{m}^2$ , descrito no item 3.3.1 - Estimativas de Demanda, deste capítulo.

### 3.3.3.9 Método Prático Australiano

Para a aplicação do método prático Australiano, assim como no método da simulação, foi adotado o volume de 500 litros, em virtude de tal volume caracterizar-se como o volume mínimo exigido pela Lei Municipal Nº 10785/03. No desenvolvimento dos cálculos foram aplicados na planilha, descrita no capítulo dois (ver 2.3.4.9), os seguintes dados:

- a) Valores da Demanda Mensal –  $D_m$ , descrito no item 3.3.1 - Estimativas de Demanda, deste capítulo;
- b) Dados Hidrológicos – Precipitação Média Mensal –  $P$ , descrito no item 3.3.2 - Identificação e Levantamento de Dados Hidrológicos, deste capítulo;
- c) Área de Captação -  $A_c = 100\text{m}^2$ , descrito no item 3.3.1 - Estimativas de Demanda, deste capítulo;
- d) Coeficiente de Escoamento Superficial, *Runnof* –  $C = 0,8$  para coberturas de cimento amianto, conforme descrito na revisão da bibliografia (ver 2.3.2).
- e) Interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação –  $I = 2 \text{ mm}$ , conforme descrito no capítulo dois, revisão da bibliografia (ver 2.3.4.9).



### 3.3.4 Análise Comparativa dos Métodos de Dimensionamento

Tendo em vista a intenção de subsidiar a análise comparativa entre os métodos de dimensionamento estudados, foi desenvolvida uma planilha onde são apresentados os resultados obtidos na simulação da aplicação de cada um dos métodos e as suas características principais.

## 3.4 ABORDAGEM DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

A quarta etapa deste trabalho consiste em discutir algumas das interferências, decorrentes da utilização da água de chuva nas edificações, sobre o ciclo do uso da água na Bacia Hidrográfica.

Foram analisados aspectos relativos ao volume do reservatório da água de chuva e ainda aqueles relacionados ao uso da água de chuva na bacia sanitária. As diretrizes adotadas nesta análise incluem a simulação de uma situação hipotética, estabelecida através da relação entre os resultados obtidos neste trabalho e os dados referentes à área sob estudo descritos no item 3.1.1, deste capítulo.

Desenhou-se assim, um cenário considerando a implantação do sistema de aproveitamento da água de chuva nas edificações da área estudada, ou seja, o Bairro Jardim das Américas em Curitiba. Assumiu-se ainda, que um percentual de 10% destas edificações contaria com tal sistema e, enquadrar-se-ia nas condições da situação referencial estudada correspondente a residência unifamiliar com área de 100 m<sup>2</sup>.

Tendo como base este mesmo cenário, foi desenvolvida outra análise por meio da relação entre o volume do reservatório obtido através da aplicação dos métodos de dimensionamento, o número de habitantes de cada edificação e a população da área sob estudo. Considerando a situação do aproveitamento da água de chuva pelo percentual de 10% da população do Bairro Jardim das Américas.

Complementado a discussão foi desenvolvido um balanço hídrico parcial através da relação entre a demanda mensal de água de chuva utilizada no abastecimento da bacia sanitária, por habitante, a precipitação pluviométrica mensal e a área do território em estudo, o bairro Jardim das Américas. Assumiu-se assim

duas situações, a primeira considerando o percentual de 10% da população da área sob estudo utilizando a água de chuva na bacia sanitária. A segunda situação refere-se a uma projeção futura, onde se considerou o aproveitamento da água de chuva nas edificações por 100% da população da área estudada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ABORDAGEM QUALITATIVA

A abordagem qualitativa objetivou caracterizar a água de chuva armazenada em reservatório durante o período de sete dias, assim como avaliar as condições de higiene e acúmulo de lodo em tal reservatório.

A caracterização qualitativa da água de chuva armazenada possibilita identificar e propor o grau de tratamento necessário para o uso desta água conforme as condições sanitárias desejadas.

Por sua vez, a segurança sanitária pode estar associada às condições de higiene do reservatório de água. Assim sendo, a freqüência na limpeza de tal reservatório constitui um fator relevante para o uso seguro da água de chuva.

#### 4.1.1 Análise dos Parâmetros Físicos, Químicos e Microbiológicos da Água Armazenada

Os parâmetros Físicos, Químicos e Microbiológicos analisados neste trabalho foram: Temperatura, Cor Aparente e Verdadeira, Turbidez, pH, DQO, OD, Coliformes Totais, Coliformes Termotolerantes e Bactérias Heterotróficas. Cabe ressaltar, que em virtude de problemas internos registrados pelo laboratório na análise das amostras 01 e 02, os respectivos resultados de tais amostras foram desprezados e, portanto, não são apresentados.

##### 4.1.1.1 Temperatura

A temperatura representa a expressão da quantidade de calor de um corpo e, pode interferir nas reações químicas e biológicas. O processo de amostragem teve início no inverno, caracterizado como a estação seca do ano, se estendeu até a

primavera, ou seja, tradicionalmente caracterizado com o início do período chuvoso. Os resultados do parâmetro temperatura são apresentados na Tabela 6.

TABELA 6 – RESULTADOS DA ANÁLISE DA TEMPERATURA

Série	Amostra	Data Coleta	Hora Coleta	Dados do Ensaio		Resultado (°C)
				Início	Término	
1	03	14/07/09	13:40	14/07/09	14/07/09	13
	*04	21/07/09	10:45	21/07/09	21/07/09	11
2	05	23/07/09	13:55	23/07/09	23/07/09	13
	*06	30/07/09	10:40	30/07/09	30/07/09	14
3	07	05/08/09	10:30	05/08/09	05/08/09	13
	*08	12/08/09	10:25	12/08/09	12/08/09	12,5
4	09	19/08/09	11:15	19/08/09	19/08/09	20,5
	*10	26/08/09	10:25	26/08/09	26/08/09	14
5	11	30/09/09	10:40	30/09/09	30/09/09	10
	*12	07/10/09	09:10	07/10/09	07/10/09	18

FONTE: O AUTOR (2010)

NOTA: \* Intervalo de sete dias entre as coletas.

Ao analisar os resultados do parâmetro temperatura verifica-se que a mesma variou de 10°C a 20,5°C, durante o período amostral. Observa-se a oscilação tanto crescente quanto decrescente da temperatura nas diferentes séries amostradas. A Figura 20 representa graficamente os resultados obtidos.

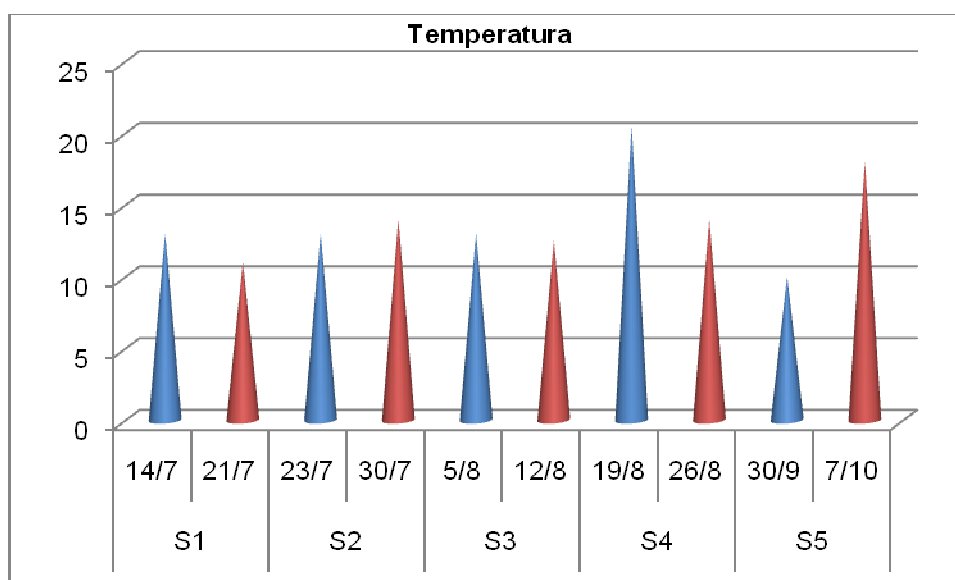


FIGURA 20 – VALORES DO PARÂMETRO TEMPERATURA PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA

FONTE: O AUTOR (2010)

Por sua vez, tal variação se deve a sazonalidade característica das respectivas estações climáticas correspondentes ao período amostral. Portanto, pode-se observar que as séries S1, S2, S3 e S4 correspondem a estação climática Inverno e apenas a série 5 encontra-se na estação climática da Primavera. Não foram realizadas amostras no período correspondente ao Verão, caracteristicamente a estação que apresenta temperaturas mais elevadas.

#### 4.1.1.2 Cor

A análise da cor indica a profundidade de penetração da luz e é importante, em função do efeito estético que propicia a água.

Os resultados do parâmetro Cor Aparente são apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE COR APARENTE

Série	Amostra	Data Coleta	Hora Coleta	Dados do Ensaio		Resultado (Hz)
				Início	Término	
1	03	14/07/09	13:40	14/07/09	21/07/09	2,50
	*04	21/07/09	10:45	21/07/09	28/07/09	17,50
2	05	23/07/09	13:55	23/07/09	28/07/09	17,50
	*06	30/07/09	10:40	30/07/09	11/08/09	2,50
3	07	05/08/09	10:30	05/08/09	14/08/09	20,00
	*08	12/08/09	10:25	12/08/09	25/08/09	25,00
4	09	19/08/09	11:15	19/08/09	28/08/09	25,00
	*10	26/08/09	10:05	26/08/09	10/09/09	20,00
5	11	30/09/09	10:40	30/09/09	13/10/09	10,00
	*12	07/10/09	09:10	07/10/09	20/10/09	5,00

FONTE: O AUTOR (2010)

NOTA: \* Intervalo de sete dias entre as coletas.

Observa-se que os resultados obtidos nas análises do parâmetro Cor Aparente indicam oscilação nos valores encontrados. Verifica-se que na série S1 e S3 os valores correspondentes às primeiras amostras são inferiores aos relativos à segunda amostra, ou seja, aquela coletada após o período de armazenamento. Entretanto, nas séries S2, S4 e S5 os valores das primeiras amostras são superiores aos valores relativos à segunda amostra, houve redução da Cor após o armazenamento. A Figura 21 representa graficamente os resultados obtidos.

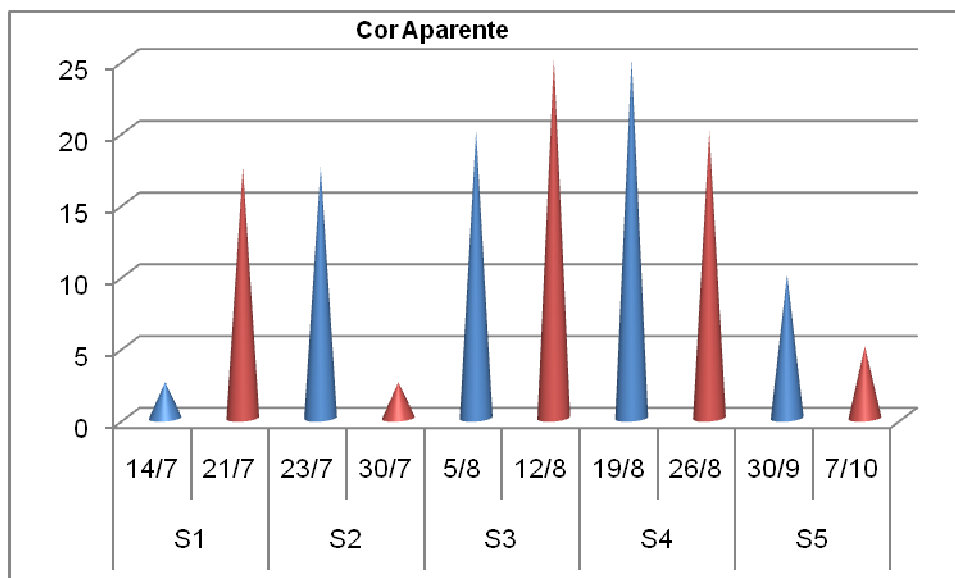


FIGURA 21 – VALORES DO PARÂMETRO COR APARENTE PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA

FONTE: O AUTOR (2010)

Verifica-se ainda que os valores obtidos apenas nas amostras 03, 06, 11 e 12 enquadram-se no limite, < 15 uH, estabelecido pela NBR 15527 (ABNT, 2007).

#### 4.1.1.3 Turbidez

O parâmetro Turbidez ocorre devido à presença de materiais sólidos em suspensão reduzindo a passagem de luz, a sua análise é importante para os processos de filtração e desinfecção da água, bem como, do ponto de vista estético. Os resultados do parâmetro Turbidez são apresentados na Tabela 8.

TABELA 8 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE TURBIDEZ

Série	Amostra	Data Coleta	Hora Coleta	Dados do Ensaio		Resultado (NTU)
				Início	Término	
1	03	14/07/09	13:40	14/07/09	21/07/09	0,72
	*04	21/07/09	10:45	21/07/09	28/07/09	0,79
2	05	23/07/09	13:55	23/07/09	28/07/09	0,97
	*06	30/07/09	10:40	30/07/09	11/08/09	0,85
3	07	05/08/09	10:30	05/08/09	14/08/09	1,63
	*08	12/08/09	10:25	12/08/09	25/08/09	1,03
4	09	19/08/09	11:15	19/08/09	28/08/09	0,96
	*10	26/08/09	10:05	26/08/09	10/09/09	0,74
5	11	30/09/09	10:40	30/09/09	13/10/09	1,43
	*12	07/10/09	09:10	07/10/09	20/10/09	0,35

FONTE: O AUTOR (2010)

NOTA: \* Intervalo de sete dias entre as coletas.

A observação dos resultados do parâmetro turbidez indica regularidade nos valores obtidos. Verifica-se que apenas na série S1 o valor encontrado na primeira amostra foi inferior ao valor obtido na amostra coletada após sete dias de armazenamento. A Figura 22 representa graficamente os resultados obtidos.

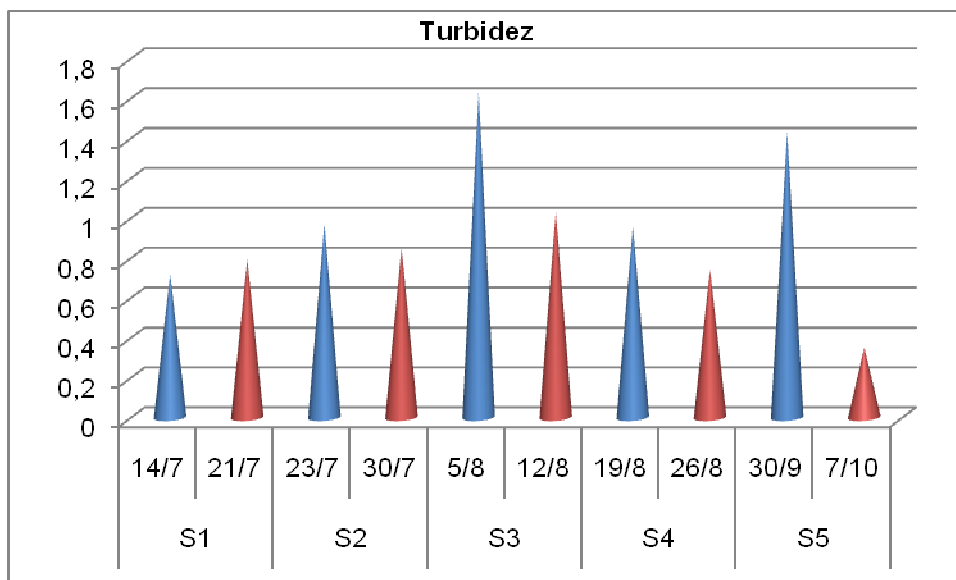


FIGURA 22 – VALORES DO PARÂMETRO TURBIDEZ PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.

FONTE: O AUTOR (2010)

Por sua vez, nas demais séries houve um decréscimo dos valores obtidos na segunda amostra em relação à primeira amostra, fato este que era esperado em função do processo de sedimentação natural durante o período de armazenamento.

Os valores obtidos encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela NBR 15527, de turbidez  $< 2$  uT e para usos mais restritivos  $< 5$  uT (ABNT,2007).

#### 4.1.1.3 Potencial Hidrogeniônico – pH

A análise do potencial Hidrogeniônico indica a concentração de íons hidrogênio e a sua atividade. Trata-se de um parâmetro importante, pois, influencia no processo de desinfecção da água. Os resultados do parâmetro pH são apresentados na Tabela 9.

TABELA 9 – RESULTADOS DA ANÁLISE DO PH

Série	Amostra	Data Coleta	Hora Coleta	Dados do Ensaio		Resultado
				Início	Término	
1	03	14/07/09	13:40	14/07/09	21/07/09	7,70
	*04	21/07/09	10:45	21/07/09	28/07/09	7,18
2	05	23/07/09	13:55	23/07/09	28/07/09	7,58
	*06	30/07/09	10:40	30/07/09	11/08/09	7,69
3	07	05/08/09	10:30	05/08/09	14/08/09	7,34
	*08	12/08/09	10:25	12/08/09	25/08/09	7,28
4	09	19/08/09	11:15	19/08/09	28/08/09	7,66
	*10	26/08/09	10:05	26/08/09	10/09/09	7,67
5	11	30/09/09	10:40	30/09/09	13/10/09	7,88
	*12	07/10/09	09:10	07/10/09	20/10/09	7,03

FONTE: O AUTOR

NOTA: \* Intervalo de sete dias entre as coletas.

Observa-se regularidade nos resultados das análises do parâmetro pH, ocorrendo variação de 7,03 à 7,88. A Figura 23 representa graficamente os resultados obtidos ao longo da série estudada.

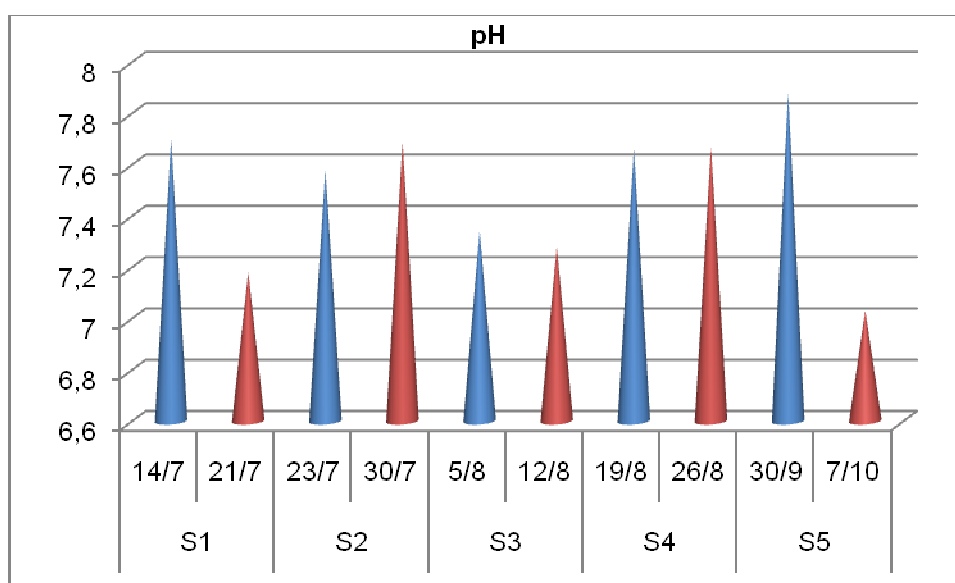


FIGURA 23 – VALORES DO PARÂMETRO PH PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA

FONTE: O AUTOR (2010)

Diversos são os fatores que podem influenciar nos resultados obtidos, como: as condições da área de entorno, o material da superfície de coleta e do reservatório e as variações climáticas. Para uma análise mais aprofundada da influência de tais



fatores, se faz necessário analisar o parâmetro pH da chuva atmosférica, a fim de estabelecer comparativos entre os valores obtidos.

Deste modo, observa-se que os resultados obtidos encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela NBR 15527 de pH variando de 6 a 8 para tubulação de aço carbono ou galvanizado (ABNT, 2007).

#### 4.1.1.4 Demanda Química de Oxigênio

A análise do parâmetro Demanda Química de Oxigênio determina indiretamente a quantidade de oxigênio necessária para degradar quimicamente a matéria orgânica. Os resultados da análise da Demanda Química de Oxigênio são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10– RESULTADOS DA ANÁLISE DE DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO – DQO

Série	Amostra	Data Coleta	Hora Coleta	Dados do Ensaio		Resultado (mgO <sub>2</sub> /l)
				Início	Término	
1	03	14/07/09	13:40	14/07/09	21/07/09	8,12
	*04	21/07/09	10:45	21/07/09	28/07/09	8,56
2	05	23/07/09	13:55	23/07/09	28/07/09	4,02
	*06	30/07/09	10:40	30/07/09	11/08/09	4,03
3	07	05/08/09	10:30	05/08/09	14/08/09	11,16
	*08	12/08/09	10:25	12/08/09	25/08/09	5,02
4	09	19/08/09	11:15	19/08/09	28/08/09	12,06
	*10	26/08/09	10:05	26/08/09	10/09/09	8,12
5	11	30/09/09	10:40	30/09/09	13/10/09	3,02
	*12	07/10/09	09:10	07/10/09	20/10/09	10,02

FONTE: O AUTOR (2010)

NOTA: \* Intervalo de sete dias entre as coletas.

Observa-se na análise do parâmetro DQO uma oscilação nos valores obtidos, sendo que na série S1, S2 e S5 os valores das primeiras amostras são inferiores aos da amostra coletada após sete dias de armazenamento, houve um acréscimo com o armazenamento. Entretanto, na série S3 e S4 os valores relativos às primeiras amostras são superiores aos da segunda, ou seja, houve um decréscimo após o armazenamento. A Figura 24 representa graficamente os resultados obtidos.

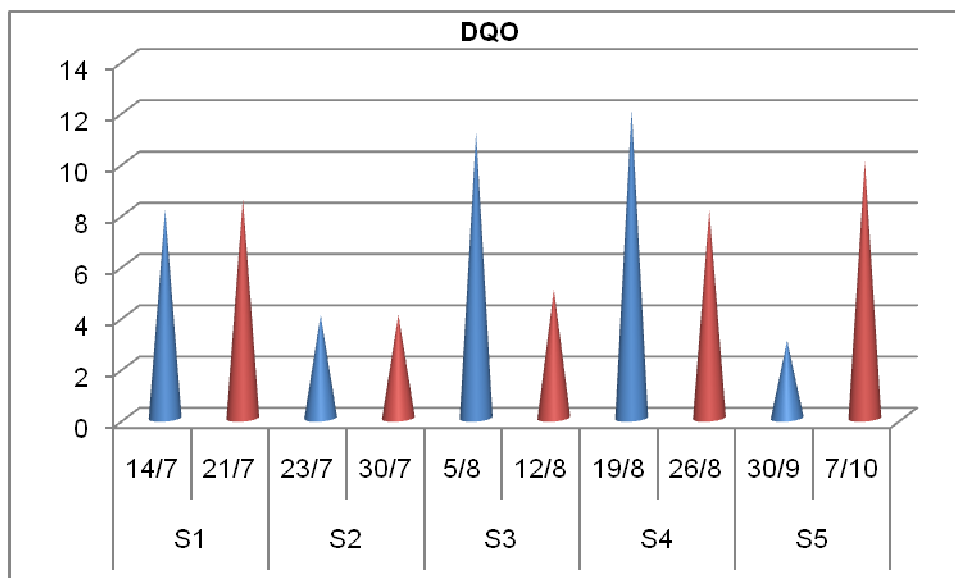


FIGURA 24 – VALORES DO PARÂMETRO DQO PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.

FONTE: O AUTOR (2010)

Os valores relativos ao parâmetro DQO apresentaram variação de 3,02 mgO<sub>2</sub>/litro a 12,06 mgO<sub>2</sub>/litro. Fatores como a sazonalidade climática, assim como as condições locais de armazenamento podem influenciar em tal variação. Assim sendo, a partir de um determinado período de armazenamento, o lodo acumulado no reservatório passa a consumir oxigênio e, portanto, pode interferir na análise da DQO.

#### 4.1.1.5 Oxigênio Dissolvido – OD

O parâmetro Oxigênio Dissolvido representa a quantidade de oxigênio existente na água e, apresenta-se como um importante indicador da qualidade da água. A concentração de oxigênio na água depende de três parâmetros, a temperatura, a pressão atmosférica e a concentração de sólidos dissolvidos. A baixa solubilidade do oxigênio na água indica a necessidade de tratamento, a condição crítica de deficiência de oxigênio dissolvido na água ocorre durante o verão quando as temperaturas são mais altas. Os resultados do parâmetro Oxigênio Dissolvido são apresentados na Tabela 11.

TABELA 11 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE OXIGENIO DISSOLVIDO – OD

Série	Amostra	Data Coleta	Hora Coleta	Dados do Ensaio		Resultado (mgO <sub>2</sub> /L)
				Início	Término	
1	03	14/07/09	13:40	14/07/09	21/07/09	8,76
	*04	21/07/09	10:45	21/07/09	28/07/09	8,56
2	05	23/07/09	13:55	23/07/09	28/07/09	8,96
	*06	30/07/09	10:40	30/07/09	11/08/09	8,17
3	07	05/08/09	10:30	05/08/09	14/08/09	8,17
	*08	12/08/09	10:25	12/08/09	25/08/09	8,17
4	09	19/08/09	11:15	19/08/09	28/08/09	7,76
	*10	26/08/09	10:05	26/08/09	10/09/09	7,77
5	11	30/09/09	10:40	30/09/09	13/10/09	8,17
	*12	07/10/09	09:10	07/10/09	20/10/09	6,57

FONTE: O AUTOR (2010)

NOTA: \* Intervalo de sete dias entre as coletas.

A análise do parâmetro OD indica regularidade nos valores obtidos, porém apresenta pequena alternância entre os valores da primeira amostra coletada em relação aos resultados da amostra coletada após sete dias de armazenamento. A Figura 25 representa graficamente os resultados obtidos.

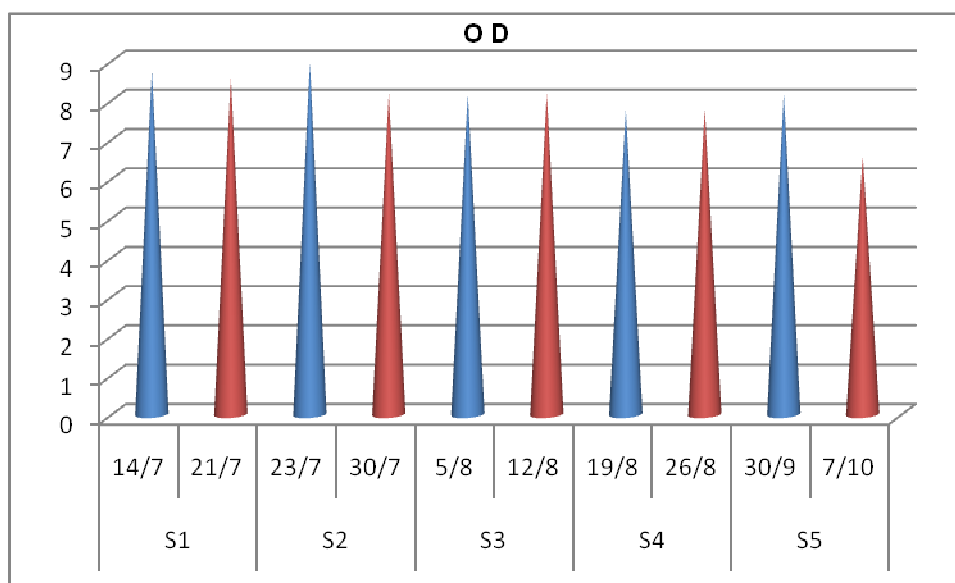


FIGURA 25 – VALORES DO PARÂMETRO OD PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.

FONTE: O AUTOR (2010)

Observa-se que na série S1, S2 e na série S5 houve um decréscimo nos valores da segunda amostra em relação à primeira, houve consumo de oxigênio durante o período de armazenamento, tal fato pode estar relacionado ao lodo acumulado no reservatório. Por sua vez, na série S4 ocorreu um pequeno aumento

no valor obtido na segunda amostra em relação a primeira e na série S3 não ocorreu variação nos resultados obtidos. Tais fatos podem estar relacionados a um possível reabastecimento do reservatório, em função do sistema de extravasamento apresentar-se insuficiente para o elevado volume de chuvas ocorrido neste período.

#### 4.1.1.6 Coliformes Totais

A contagem do parâmetro Coliformes Totais constitui um fator importante na avaliação da eficiência do tratamento aplicado a água, inclui bactérias dos seguintes gêneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* e *Klebsiela*. Os resultados encontrados nas análises do parâmetro coliformes totais realizadas pelo laboratório CEPPA são apresentados na Tabela 12.

TABELA 12 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE COLIFORMES TOTAIS

Série	Amostra	Data Coleta	Hora Coleta	Dados do Ensaio		Resultado (NPM/100mL)
				Início	Término	
1	03	14/07/09	13:40	14/07/09	17/07/09	Presença(>23,0)
	*04	21/07/09	10:45	21/07/09	27/07/09	Presença (1,10)
2	05	23/07/09	13:55	23/07/09	28/07/09	Presença(>23,0)
	*06	30/07/09	10:40	30/07/09	10/08/09	Presença(>23,0)
3	07	05/08/09	10:30	05/08/09	14/08/09	Presença(>23,0)
	*08	12/08/09	10:25	12/08/09	18/08/09	Presença (6,90)
4	09	19/08/09	11:15	19/08/09	28/08/09	Presença(> 23,0)
	*10	26/08/09	10:05	26/08/09	02/09/09	Presença(> 23,0)
5	11	30/09/09	10:40	30/09/09	08/10/09	Presença (23,0)
	*12	07/10/09	09:10	07/10/09	15/10/09	Ausência(<1,10)

FONTE: O AUTOR (2010)

NOTA: \* Intervalo de sete dias entre as coletas.

Os resultados obtidos das amostras coletadas de cada série apresentam tendência de decréscimo ao longo do tempo, nas séries S1, S3 e S5, observa-se que, trata-se de bactérias que se desenvolvem no trato intestinal e, portanto, não sobrevivem durante muito tempo fora deste ambiente. A Figura 26 representa graficamente os resultados obtidos.

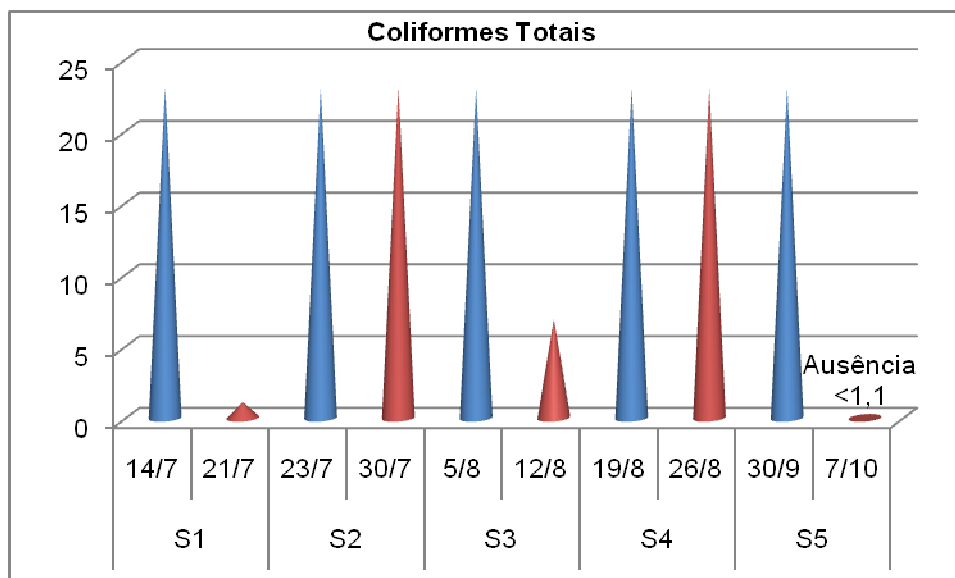


FIGURA 26 – VALORES DO PARÂMETRO COLIFORMES TOTAIS PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA  
 FONTE: O AUTOR (2010)

É possível observar ainda que nas séries S2 e S4 os resultados das respectivas amostras permaneceram inalterados após o armazenamento. Tal fato pode estar relacionado a um possível reabastecimento do reservatório, em função do sistema de extravasamento apresentar-se insuficiente para o elevado volume de chuvas ocorrido no período.

Por sua vez, observa-se ainda que apenas a amostra 12 da série S5 apresentou resultado que atende a NBR 15527 (ABNT, 2007), a qual estabelece a ausência de coliformes totais, sendo que 90% das amostras não se enquadram nos limites estabelecidos pela referida norma técnica, indicando a necessidade de tratamento.

#### 4.1.1.7 Coliformes Termotolerantes

O parâmetro de Coliformes Termotolerantes constitui-se em importante indicador do grau de contaminação fecal da água, o gênero *Escherichia coli* é o principal componente deste grupo. Os resultados das análises do parâmetro coliformes Termotolerantes são apresentados na Tabela 13.

TABELA 13 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES

Série	Amostra	Data Coleta	Hora Coleta	Dados do Ensaio		Resultado (NPM/100mL)
				Início	Término	
1	03	14/07/09	13:40	14/07/09	17/07/09	Presença(>23,0)
	*04	21/07/09	10:45	21/07/09	27/07/09	Presença (1,10)
2	05	23/07/09	13:55	23/07/09	28/07/09	Presença (5,10)
	*06	30/07/09	10:40	30/07/09	10/08/09	Presença(>23,0)
3	07	05/08/09	10:30	05/08/09	14/08/09	Presença(>23,0)
	*08	12/08/09	10:25	12/08/09	18/08/09	Ausência(<1,10)
4	09	19/08/09	11:15	19/08/09	28/08/09	Presença(> 23,0)
	*10	26/08/09	10:05	26/08/09	02/09/09	Presença(> 23,0)
5	11	30/09/09	10:40	30/09/09	08/10/09	Presença (1,10)
	*12	07/10/09	09:10	07/10/09	15/10/09	Ausência(<1,10)

FONTE: O AUTOR (2010)

NOTA: Intervalo de sete dias entre as coletas.

A interpretação dos resultados dos coliformes termotolerantes indica oscilação dos resultados obtidos entre as amostras coletadas, com tendência decrescente nos valores obtidos na segunda amostra das séries S1, S3 e S5. Da mesma forma, como na análise dos coliformes totais, a segunda amostra de cada série foi coletada sete dias após a primeira, portanto o decréscimo nos valores era esperado. A Figura 27 representa graficamente os resultados obtidos.

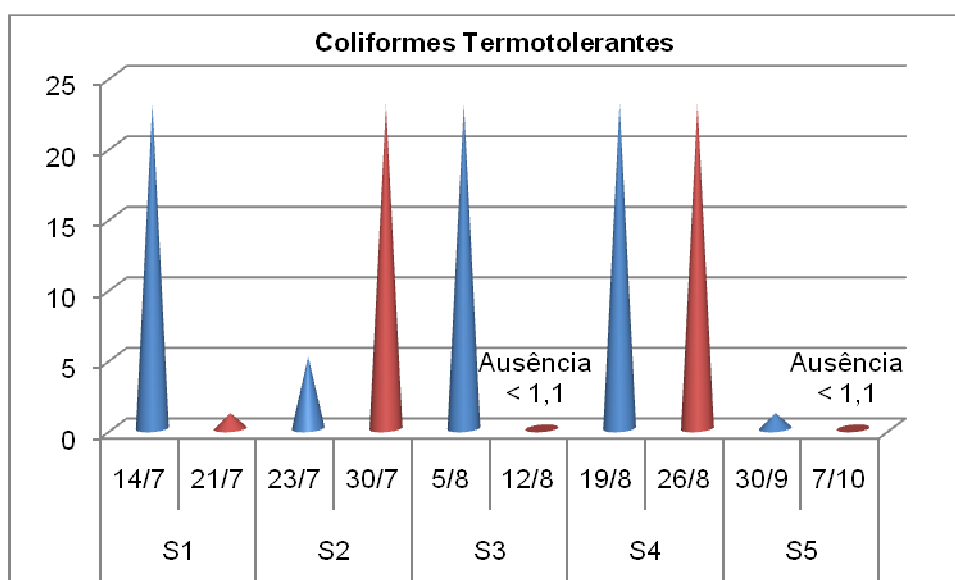


FIGURA 27 – VALORES DO PARÂMETRO COLIFORMES TERMOTOLERANTES PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.

FONTE: O AUTOR (2010)

Por sua vez, os resultados obtidos na série S2 e na série S4 se contrapõem a tal tendência, observa-se estabilidade nos resultados da série S4 e, acréscimo nos resultados da série S2 em função do tempo de armazenamento. Da mesma forma que na análise do parâmetro coliformes totais, Tais fatos podem estar relacionados a possibilidade de reabastecimento do reservatório.

Apenas as amostras 08 e 12 apresentaram resultados que atendem a NBR 15527 (ABNT, 2007), a qual estabelece a ausência de coliformes termotolerantes, as demais não se enquadram nos limites estabelecidos pela referida norma técnica, indicando a necessidade de tratamento.

#### 4.1.1.8 Bactérias Heterotróficas

As bactérias heterotróficas, quando presentes em número elevado, podem impedir a detecção de bactérias do grupo coliformes nas águas analisadas, seja devido à produção de fatores de inibição, seja por um desenvolvimento mais intenso sobrepujando uma menor concentração de coliformes. Os resultados obtidos nas análises do parâmetro bactérias heterotróficas são apresentados na Tabela 14.

TABELA 14 – RESULTADOS DA ANÁLISE DE BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS

Série	Amostra	Data Coleta	Hora Coleta	Dados do Ensaio		Resultado (UFC/mL)
				Início	Término	
1	03	14/07/09	13:40	14/07/09	17/07/09	$2,5 \times 10^2$
	*04	21/07/09	10:45	21/07/09	27/07/09	$2,5 \times 10^3$
2	05	23/07/09	13:55	23/07/09	28/07/09	$1,8 \times 10^2$
	*06	30/07/09	10:40	30/07/09	10/08/09	$7,6 \times 10^2$
3	07	05/08/09	10:30	05/08/09	14/08/09	$2,4 \times 10^3$
	*08	12/08/09	10:25	12/08/09	18/08/09	$3,6 \times 10^2$
4	09	19/08/09	11:15	19/08/09	28/08/09	$3,4 \times 10^2$
	*10	26/08/09	10:25	26/08/09	02/09/09	$4,9 \times 10^3$
5	11	30/09/09	10:40	30/09/09	08/10/09	$6,8 \times 10^2$
	*12	07/10/09	09:10	07/10/09	15/10/09	$1,2 \times 10^2$

FONTE: O AUTOR (2010)

NOTA: \* Intervalo de sete dias entre as coletas.

A análise do parâmetro bactérias heterotróficas indica variação nos resultados obtidos. Observa-se tendência crescente nos valores referentes à segunda amostra das séries S1, S2, e S4, ou seja, o número de bactérias

heterotróficas aumentou em função do tempo de armazenamento da água de chuva. A Figura 28 representa graficamente os resultados obtidos.

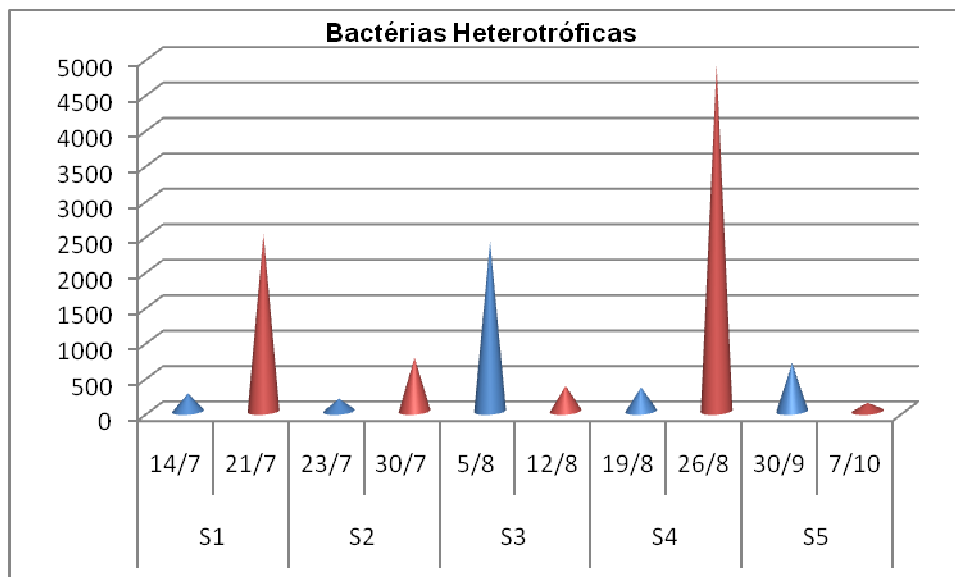


FIGURA 28 – VALORES DO PARÂMETRO BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS PARA AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA.

FONTE: O AUTOR (2010)

Entretanto, nas séries S3 e S5, verifica-se que ocorreu redução no número de bactérias heterotróficas na segunda amostra, após o período de armazenamento de sete dias.

#### 4.1.2 Análise prospectiva sobre a interação entre os parâmetros

A análise prospectiva sobre a interação entre os parâmetros foi desenvolvida a partir da relação entre os resultados dos parâmetros Físicos, Químicos e Microbiológicos das respectivas séries amostradas. A análise conjunta de tais parâmetros permite verificar a influência de determinados fatores sobre os resultados obtidos.

Assim sendo, os dados foram dispostos na Tabela 15 com objetivo de facilitar a interpretação conjunta dos resultados. Nesta tabela foram calculados os percentuais de redução dos parâmetros analisados, em função do tempo de armazenamento. Portanto, com relação ao parâmetro temperatura a redução ocorrida, em algumas das séries amostradas, se deve a sazonalidade climática e não ao armazenamento.



TABELA 15 – CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS DA ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA

Identificação			PARÂMETROS								
			Físicos			Químicos			Microbiológicos		
Data	Série	Amostra	Tem. (°C)	Cor Apa. (Hz)	Tur. (NTU)	pH	DQO (mgO <sub>2</sub> /l)	OD (mgO <sub>2</sub> /l)	Coliformes (NMP/100ml)		Bac. Het. (UFC/ml)
									Tot.	Term.	
14/07/09	S1	03	13	2,5	0,72	7,70	8,12	8,76	>23	>23	2,5 x 10 <sup>2</sup>
21/07/09		*04	11	17,5	0,79	7,18	8,56	8,56	1,10	1,10	2,5 x 10 <sup>3</sup>
<b>Percentual de Redução pós - armazenamento (%)</b>			-	-	-	<b>6,75</b>	-	<b>2,28</b>	<b>95</b>	<b>95</b>	-
23/07/09	S2	05	13	17,5	0,97	7,58	4,02	8,96	>23	5,10	1,8 x 10 <sup>2</sup>
30/07/09		*06	14	2,5	0,85	7,69	4,03	8,17	>23	>23	7,6 x 10 <sup>2</sup>
<b>Percentual de Redução pós - armazenamento (%)</b>			-	<b>85,7</b>	<b>12,37</b>	-	-	<b>8,81</b>	-	-	-
05/08/09	S3	07	13	20,0	1,63	7,34	11,16	8,17	>23	>23	2,4 x 10 <sup>3</sup>
12/08/09		*08	12,5	25,0	1,03	7,28	5,02	8,17	6,90	<1,10	3,6 x 10 <sup>2</sup>
<b>Percentual de Redução pós - armazenamento (%)</b>			-	-	<b>36,8</b>	<b>0,81</b>	<b>55</b>	-	<b>70</b>	<b>95</b>	<b>85</b>
19/08/09	S4	09	20,5	25,0	0,96	7,66	12,06	7,76	>23	> 23	3,4 x 10 <sup>2</sup>
26/08/09		*10	14	20,0	0,74	7,67	8,12	7,77	> 23	> 23	4,9 x 10 <sup>3</sup>
<b>Percentual de Redução pós - armazenamento (%)</b>			-	<b>20</b>	<b>22,9</b>	-	<b>32,67</b>	-	-	-	-
30/09/09	S5	11	10	10,0	1,43	7,88	3,02	8,17	23	1,10	6,8 x 10 <sup>2</sup>
07/10/09		*12	18	5,0	0,35	7,03	10,02	6,57	<1,10	<1,10	1,2 x 10 <sup>2</sup>
<b>Percentual de Redução pós - armazenamento (%)</b>			-	<b>50</b>	<b>75,52</b>	<b>10,78</b>	-	<b>19,58</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>82,35</b>

FONTE: O AUTOR (2010)

NOTA: \* Intervalo de sete dias.

De maneira geral o parâmetro DQO, aumentou com a elevação da temperatura, com exceção para a Série S1, quando houve o acréscimo da DQO com a redução da temperatura. Por sua vez, verifica-se que o parâmetro pH apresentou tendência de decréscimo com a redução da temperatura, com exceção da série S5 quando ocorreu elevação da temperatura.

Quanto aos parâmetros Turbidez, Coliformes Totais e Coliformes Termotolerantes apresentaram tendência de redução com o período de armazenamento de sete dias. Porém, observa-se uma exceção para a Turbidez na Série S1.

Cabe ressaltar, que o parâmetro OD apresentou tendência de decréscimo com o período de armazenamento e nota-se ainda a relação com a tendência de aumento do parâmetro DQO, a exceção neste caso refere-se à Série S4.

Verifica-se a tendência de aumento no parâmetro, Bactérias Heterotróficas, com o período de armazenamento de sete dias, exceto para as Séries S3 e S5 onde houve a redução de tal parâmetro. Conforme se relatou na revisão da bibliografia, a presença de Bactérias Heterotróficas em grande número na água pode indicar a presença de organismos patogênicos. Assim sendo, alerta-se para os riscos sanitários do armazenamento prolongado da água de chuva, sem o devido tratamento. Para subsidiar estudos mais aprofundados faz-se necessário a análise de outros períodos de armazenamento, como por exemplo quinze dias ou trinta dias.

Embora, cada série amostral apresentada corresponda a eventos de chuva diferenciados, de forma geral a análise dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos indica tendência de regularidade. Por outro lado, verifica-se que o intervalo de sete dias de armazenamento interferiu nos resultados obtidos.

A partir de tais resultados, obtiveram-se as respectivas concentrações de cada parâmetro analisado, referente às cinco séries amostradas, de forma a possibilitar a caracterização da água de chuva armazenada. Para tal, utilizou-se os valores mínimos, máximos e médios, conforme apresentado na Tabela 16.

TABELA 16 – CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADA

PARÂMETROS	CONCENTRAÇÃO		
	Mínima	Média	Máxima
Temperatura	10	13,9	20,5
Cor Aparente	2,5	14,5	25,0
Turbidez	0,35	0,95	1,63
pH	7,03	7,50	7,88
DQO	3,02	7,41	12,06
OD	6,57	8,11	8,96
Coliformes Totais	<1,10	16,9	>23
Coliformes Termotolerantes	<1,10	12,23	>23
Bactérias Heterotróficas	$1,2 \times 10^2$	$1,25 \times 10^3$	$4,9 \times 10^3$

FONTE: O AUTOR (2010)

Cumpra salientar que, neste estudo, o objetivo de avaliar a qualidade da água de chuva armazenada foi para o uso urbano não potável, ou seja, na bacia sanitária. Ressalta-se ainda que não foi estabelecido nenhum tipo de tratamento para a água de chuva armazenada, no entanto observa-se que parâmetros como, turbidez, pH e cor em média enquadram-se nos requisitos das regulamentações apresentadas na revisão da bibliografia. Por outro lado, os valores obtidos para os parâmetros coliformes totais e termotolerantes preconizam aos valores estabelecidos em tais regulamentações, o que evidencia a necessidade de tratamento da água antes do seu uso.

#### 4.1.3 Avaliação da Higienização e Acúmulo de Lodo no Reservatório

A avaliação das condições de higiene e acúmulo de lodo no reservatório tem por objetivo subsidiar a discussão sobre a segurança sanitária da água de chuva armazenada. Não foram realizadas análises da água do reservatório de descarte inicial e nem mesmo do lodo.

Entretanto, foi observado visualmente o acúmulo de lodo ao se retirar o CAP, após cada evento de chuva analisado, da tubulação de descarte inicial. Assim também, foi observado visualmente o acúmulo de lodo no reservatório de descarte inicial, conforme mostra a Figura 29.



FIGURA 29 – LODO ACUMULADO NO CAP E NO RESERVATÓRIO DE DESCARTE INICIAL  
FONTE O AUTOR (2010)

Embora, através do dispositivo de descarte inicial tenham sido desprezados os primeiros milímetros de chuva, os quais promovem a limpeza do telhado, observou-se através da percepção visual, o acúmulo de lodo no fundo e nas paredes laterais do reservatório. Tal fato chamou a atenção, pois, foi observado já no início da pesquisa, após o esvaziamento do reservatório ainda na primeira série amostral, como mostra a Figura 30.



FIGURA 30 – LODO ACUMULADO NO RESERVATÓRIO NA FASE INICIAL DA PESQUISA  
FONTE: O AUTOR (2010)

Vale ressaltar, que após a segunda coleta de cada série o reservatório foi esvaziado, porém, não foi possível escoar completamente a água restando, portanto, uma lâmina de água no fundo do reservatório. Destaca-se ainda que a

higienização do reservatório foi realizada somente no início da pesquisa, antes do armazenamento da primeira chuva.

Assim sendo, ao final da última coleta da Série 5, observou-se um aumento na quantidade de lodo acumulado nas paredes do reservatório, ao longo de todo o processo de amostragem, como pode ser observado na Figura 31.

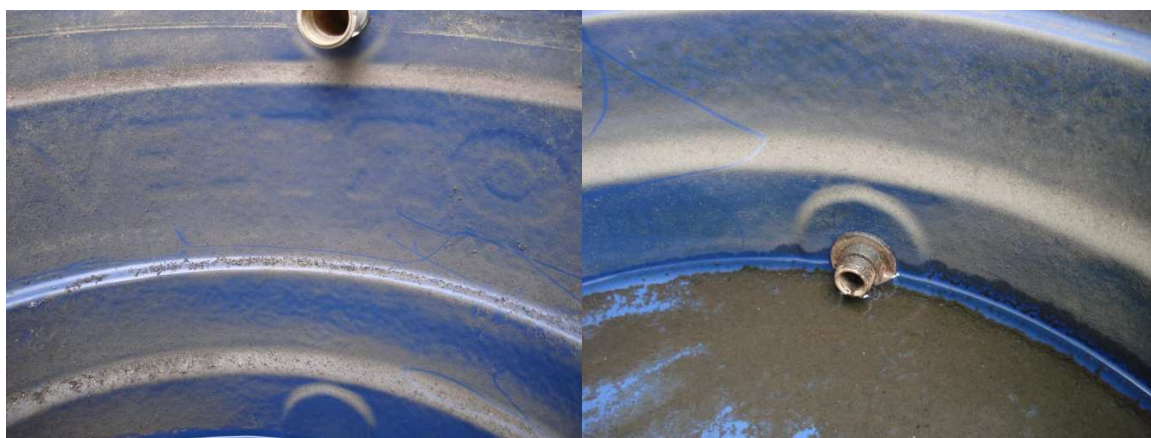


FIGURA 31 – LODO NO RESERVATÓRIO AO FINAL DO PROCESSO DE AMOSTRAL.  
FONTE: O AUTOR (2010)

Da mesma forma, observou-se o acúmulo de lodo no fundo do reservatório de água de chuva, conforme representado na Figura 32. Ressalta-se a importância de estudos mais profundos com respeito à quantidade de lodo acumulado bem como a análise qualitativa do mesmo. Também quanto a importância do descarte inicial da água de chuva para a melhoria das condições de higiene do reservatório.



FIGURA 32 – LODO ACUMULADO NO FUNDO DO RESERVATÓRIO AO FINAL DA PESQUISA.  
FONTE: O AUTOR (2010)

A análise da higienização do reservatório e do acúmulo de lodo induz a uma reflexão com respeito à orientação da NBR 15527/07 para limpeza e desinfecção anual do reservatório. Destaca-se que a análise apresentada refere-se ao período de amostragem de quatro meses, ou seja, de julho a outubro. Portanto, se consideradas estas mesmas condições estima-se que no período de um ano as condições de higiene do reservatório apresentar-se-ão precárias. Assim sendo, para a situação estudada, a limpeza anual do reservatório poderia comprometer a segurança sanitária da água de chuva armazenada.

## 4.2 ABORDAGEM QUANTITATIVA

Neste trabalho, a abordagem quantitativa teve por finalidade a investigação de determinados métodos de dimensionamento utilizados na identificação da capacidade dos reservatórios dos sistemas de aproveitamento da água da chuva. Assim sendo, foi desenvolvida uma simulação da aplicação dos métodos de dimensionamento e a análise comparativa entre tais métodos.

### 4.2.1 Simulação da Aplicação dos Métodos de Dimensionamento

O processo de simulação da aplicação dos métodos de dimensionamento foi desenvolvido a partir da situação referencial adotada neste estudo, caracterizada no capítulo Material e Métodos (ver 3.3.1). Assim também, os dados hidrológicos utilizados na aplicação dos métodos de dimensionamento encontram-se descritos neste mesmo capítulo (ver 3.3.2).

#### 4.2.1.1 Método da Lei Municipal 10785/03 – Curitiba

A simulação da aplicação do Método da Lei Municipal, Nº 10785/03 da cidade de Curitiba – PR, para a situação referencial estudada apresentou os resultados mostrados na Tabela 17. Destaca-se que a coluna 1, corresponde ao

número de unidades,  $N=1$ , refere-se a residência unifamiliar. A coluna 2,  $C= 800$  litros/dia, conforme estabelecido pela Lei 10785/03 para três quartos. Quanto a coluna 3, refere-se ao número de dias de reserva estabelecido na referida legislação. Assim sendo, de posse destes dados procedeu-se a aplicação dos mesmos na equação, coluna 4.

TABELA 17 – RESULTADOS DO MÉTODO DA LEI MUNICIPAL Nº10785/03 - CURITIBA

1	2	3	4	5
<b>N</b>	<b>C</b> <b>(l/d)</b>	<b>d</b> <b>(dias)</b>	<b>V= N.C.d.0,25</b> <b>(m<sup>3</sup>)</b>	<b>V<sub>mínimo</sub></b> <b>(m<sup>3</sup>)</b>
1	800	2	0,40	0,50

FONTE: O AUTOR (2010)

Observa-se que na aplicação do método, para a situação referencial estudada, o resultado encontrado apresentou-se inferior ao volume mínimo de quinhentos litros estabelecido na legislação.

Entretanto, cabe ressaltar que em situações, nas quais, o número de quartos ou o número de unidades ultrapassar os valores da situação referencial estudada, os resultados poderão apresentar-se superiores ao obtido.

Por sua vez, destaca-se como características principais deste método, a fácil aplicação e, o valor reduzido do volume do reservatório encontrado para a situação em estudo. Outra característica importante a ser destacada, diz respeito a não observância de aspectos relativos à precipitação pluviométrica e, aos possíveis impactos à bacia hidrográfica inerentes ao cumprimento da legislação que, torna obrigatório o aproveitamento da água da chuva em todas as novas edificações.

#### 4.2.1.2 Método dos Dias Sem Chuva

Para a simulação da aplicação do Método dos Dias Sem Chuva a determinação da capacidade do reservatório foi estabelecida através da relação entre a demanda diária de água e o número de dias secos.

Neste trabalho, obteve-se a identificação dos dias secos por meio de um estudo, fundamentado no trabalho apresentado no Apêndice, que determinou a série de Máximos Dias Sem Chuva, conforme descrito no capítulo Material e Métodos (ver 3.3.3.2). Inicialmente foi identificado o número de dias sem chuva de

cada mês e de cada ano, da série amostral e, assim calculada a média mensal, conforme mostra a Tabela 18.

TABELA 18 - NÚMERO DE MÁXIMOS DIAS SEM CHUVA NO PERÍODO AMOSTRAL

Mês	NÚMERO MÁXIMO DE DIAS SEM CHUVA											Média
	ANO											
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Jan.	6	2	5	5	4	5	3	3	6	3	3	4,09
Fev.	15	2	4	3	6	4	5	7	6	6	5	5,72
Mar.	2	4	4	3	7	9	7	12	4	13	8	6,63
Abr.	7	9	12	8	9	9	3	10	10	11	8	8,72
Mai.	9	9	5	4	8	10	5	6	13	4	15	8,00
Jun.	7	4	16	6	9	9	14	14	9	28	6	11,09
Jul.	8	12	7	10	6	14	8	7	17	13	21	11,18
Ago.	7	8	8	10	7	8	25	12	13	27	16	<b>12,81</b>
Set.	4	7	6	5	8	8	8	5	12	16	5	7,63
Out.	4	6	6	7	6	8	9	4	6	11	3	6,36
Nov.	6	5	6	10	3	6	9	5	4	5	3	5,63
Dez.	4	3	8	4	5	4	6	5	6	3	13	5,54

FONTE: O AUTOR (2010)

Observa-se que para o período amostral estudado, no mês de janeiro obteve-se a menor média de dias sem chuva, 4,09 dias. Por sua vez, o mês de agosto apresentou a maior média de dias sem chuva, portanto, a série de Máximos Dias Sem Chuva corresponde a MDS = 12,81 dias, conforme representado na Figura 33. Destaca-se ainda, que neste estudo foram considerados apenas os dias que apresentaram precipitação igual a zero, ou seja, sem chuva.

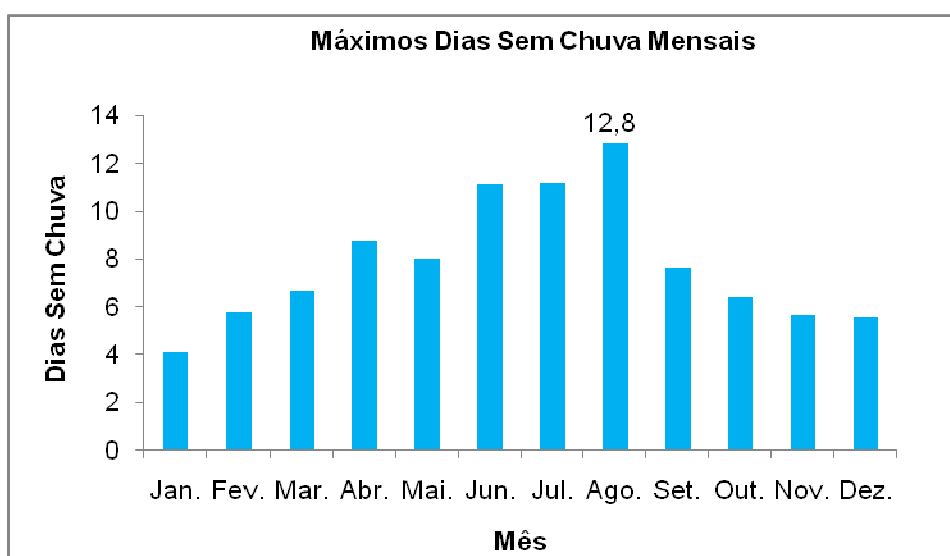


FIGURA 33 – MÉDIA DE MÁXIMOS DIAS SEM CHUVA NO PERÍODO AMOSTRAL.

FONTE: O AUTOR (2010)



Assim sendo, de posse do valor referente aos Máximos Dias Sem Chuva - MDS, no período amostral e, da demanda diária -  $D_d$  de água procedeu-se a aplicação na equação da coluna 3, cujos resultados encontram-se na Tabela 19.

TABELA 19 – RESULTADOS DO MÉTODO DOS DIAS SEM CHUVA

1	2	3
$D_d$ (litros/d)	MDS (d)	$V = D_d \cdot MDS$ ( $m^3$ )
120	12,81	1,54

FONTE: O AUTOR (2010)

Quando da aplicação do método observa-se que, embora a sua formulação possibilite outras interpretações, que não a adotada neste estudo, para a identificação dos dias sem chuva, tal dado constitui um fator significativo na determinação da capacidade do reservatório.

Cabe ressaltar ainda que, para a situação referencial estudada mesmo adotando-se o que poderia ser considerado a situação mais crítica, ou seja, o máximo de dias sem chuva, ainda assim o volume obtido não se caracteriza como sendo excessivamente elevado. Observa-se ainda que, se fosse adotado a menor média, ou simplesmente a média de máximos dias sem chuva, o volume correspondente seria proporcionalmente inferior ao obtido neste estudo.

Destaca-se como uma das características principais do método a facilidade na sua aplicação, quando da disponibilidade de dados hidrológicos locais que permitam a identificação dos dias secos. Assim também, o volume reduzido do reservatório obtido para a situação estudada.

Entretanto, outra característica importante diz respeito a não observância de aspectos relativos às possíveis interferências no ciclo da água na bacia hidrográfica, uma vez que o método baseia-se no atendimento da demanda no período seco.

#### 4.2.1.3 Método de Fendrich

O Método de Fendrich fundamenta-se no estudo da permeabilidade artificial do solo, o qual determinou o coeficiente de escoamento superficial regional de Curitiba, para reservatórios de retenção distribuída. Os resultados da simulação da aplicação do método são apresentados na Tabela 20.

TABELA 20 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODOD DE FENDRICH

1	2
<b>A<sub>c</sub></b> <b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>V= A<sub>c</sub>.20,5</b> <b>(m<sup>3</sup>)</b>
100,0	2,05

FONTE: O AUTOR (2010)

Observa-se que o resultado obtido na simulação da aplicação do método indica um volume de 2,05 m<sup>3</sup>. Tal valor corresponde à parcela de água da chuva que não infiltraria no solo em função das características geológicas deste e, portanto, poderia ser armazenada sem prejuízo para a bacia hidrográfica.

Vale ressaltar, que o Método de Fendrich, não objetiva dimensionar o reservatório para o uso da água da chuva e, portanto, tal uso aconteceria em decorrência da retenção temporária da água de chuva. Assim sendo, a aplicação local do método condiciona-se às variações atmosféricas, não contemplando a continuidade do uso em períodos mais prolongados de armazenamento, tendo em vista a necessidade de manutenção do reservatório no *estado vazio* para novos eventos de precipitação pluviométrica.

O método se apresenta de forma diferenciada, pois, aborda o tema dentro de uma visão holística da bacia hidrográfica, contextualizada pela impermeabilização do solo em área urbana. Fendrich (2009) sugere que sejam associados à construção dos reservatórios, dispositivos que permitam a infiltração da água no solo.

As características principais do método são a facilidade de aplicação e a observância aos princípios da sustentabilidade da bacia hidrográfica.

## 4.2.1.4 Método de Rippl

A simulação da aplicação do método de Rippl foi desenvolvida através da relação estabelecida entre os dados pluviométricos locais, a demanda de água não potável, a área de coleta e o coeficiente de escoamento superficial. Os resultados da simulação da aplicação do método de Rippl são apresentados na Tabela 21.

TABELA 21 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO DE RIPPL

1	2	3	4	5	6	7
Mês	P (mm)	D <sub>m</sub> (m <sup>3</sup> )	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>chuva</sub> (m <sup>3</sup> )	D <sub>m</sub> - V <sub>chuva</sub> (m <sup>3</sup> )	Dif. Acum. Valores + (m <sup>3</sup> )
Jan	170,3	3,6	100,0	13,62	-10,02	-
Fev	145,0	3,6	100,0	11,60	-8,00	-
Mar	148,1	3,6	100,0	11,85	-8,25	-
Abr	85,1	3,6	100,0	6,81	-3,21	-
Mai	81,3	3,6	100,0	6,50	-2,50	-
Jun	72,0	3,6	100,0	5,76	-2,16	-
Jul	95,0	3,6	100,0	7,60	-4,00	-
Ago	77,2	3,6	100,0	6,18	-2,58	-
Set	142,1	3,6	100,0	11,37	-7,77	-
Out	137,3	3,6	100,0	10,98	-7,38	-
Nov	103,5	3,6	100,0	8,28	-4,68	-
Dez	99,5	3,6	100,0	7,96	-4,36	-
<b>Total</b>	1356,50	43,2	-	108,51	-	-

FONTE: O AUTOR (2010)

Destaca-se ainda que o volume aproveitável de chuva, coluna 5, foi obtido através da relação entre a precipitação pluviométrica, a área de coleta e o coeficiente de escoamento superficial, adotado  $C = 0,8$ .

Neste método, o volume do reservatório é obtido em função da diferença acumulada dos valores positivos da Coluna 6. Entretanto, observa-se que na situação estudada os valores apresentados na referida coluna são todos negativos, devido ao fato que em todos os meses do ano, a demanda de água é muitas vezes inferior ao volume de chuva captável na respectiva área de coleta. Assim sendo, caracteriza-se a ocorrência de *over flow*, ou seja, sobra de água em todos os meses do ano, conseqüentemente os valores positivos representariam a falta de água no reservatório e, caracterizariam a existência de *out flow*.

Para situação estudada, observa-se que a passagem do *estado cheio*, do reservatório, para o *estado vazio*, compreendido entre os meses de janeiro a

dezembro, não caracteriza a ocorrência de período crítico. Tal fato evidencia-se ao ser traçado o Diagrama de Massas correspondente à situação estudada, conforme Figura 34, onde se verifica a relação entre a evolução do volume captável ( $V$ ) e a demanda acumulada ( $Da$ ) no período de tempo correspondente.

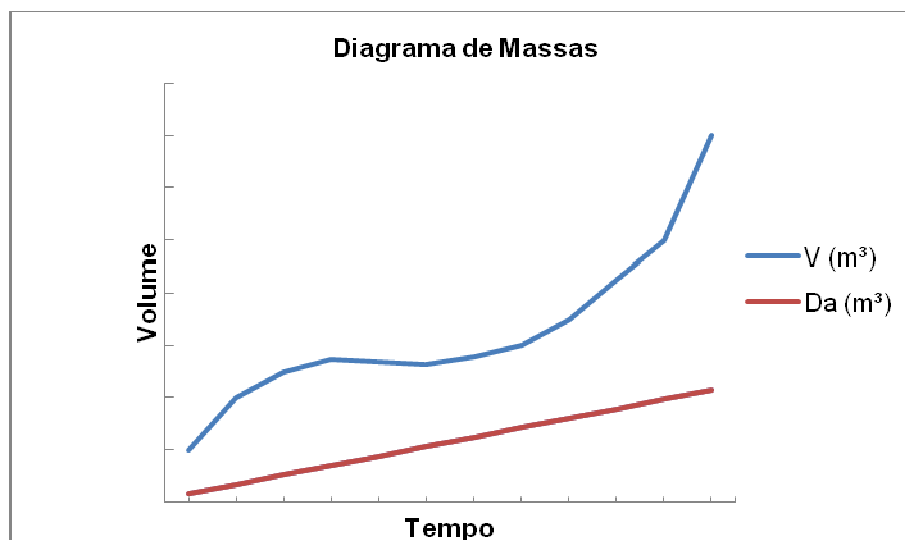


FIGURA 34 – DIAGRAMA DE MASSAS PARA A SITUAÇÃO ESTUDADA  
 FONTE: O AUTOR (2010)

Todavia, a identificação do período crítico se daria através do traçado de uma tangente, paralela a reta característica da demanda acumulada, à curva correspondente ao volume captável acumulado. Observa-se que, o traçado da tangente à curva, para a determinação do período crítico, pode induzir a resultados duvidosos em função do distanciamento entre a curva do volume captável e a reta da demanda.

Ao proceder à simulação da aplicação do método através do programa computacional Rezz, descrito no capítulo Revisão da Bibliografia (ver 2.3.3), obteve-se o volume do reservatório igual a zero para a situação estudada. A justificativa apresentada, para o resultado obtido, se deve em função de que o programa computacional avalia a ocorrência ou não de *over flow* nos respectivos meses do ano e, assim identifica o volume necessário para o reservatório. Portanto, neste caso, em que a ocorrência de *over flow* é registrada em todos os meses do ano, segundo o programa, não haveria a necessidade de dispositivo de armazenamento. Evidencia-se assim, a dificuldade na identificação precisa da capacidade do

reservatório quando a demanda de água é muitas vezes menor que o volume aproveitável.

Isto posto, observa-se que a aplicação do método de Rippl, para a situação referencial estudada, requer mais estudos, pois, não traz resposta adequada. Por este motivo, neste estudo, não foi estabelecido o volume do reservatório pelo Método de Rippl.

Cumprido salientar ainda, que o Método de Rippl, fundamenta-se no princípio da regularização da vazão entre o período seco e o chuvoso. Sendo assim, a sua aplicação induz a resultados mais precisos para a situação em que a demanda é ligeiramente inferior ao volume captável, conforme descrito no capítulo da Revisão da Bibliografia (ver 2.3.3.2). Observa-se ainda que, conforme descrito neste mesmo capítulo, para a situação contrária a estudada, ou seja, quando a demanda é muitas vezes superior ao volume aproveitável, também ocorre dificuldade na identificação dos resultados.

Todavia, uma possibilidade para o dimensionamento do reservatório pelo Método de Rippl, para a situação estudada, seria a correção da área de coleta em função da demanda necessária. Não utilizar a área total da cobertura da edificação para o cálculo do volume aproveitável, apenas uma parcela desta. Neste caso a fração de área a ser utilizada no cálculo do volume aproveitável é obtida através da relação entre a demanda total de água e a área total de captação. Ressalta-se que tal simulação não foi realizada neste estudo, a fim de não comprometer os resultados da análise comparativa entre os métodos de dimensionamento, a qual foi estabelecida a partir de uma situação referencial padrão adotada para todos os métodos estudados.

Por sua vez, observa-se que uma das características principais do método refere-se à determinação da capacidade do reservatório através da identificação do período crítico, possibilitando a previsão de atendimento ao consumo tanto no período chuvoso quanto no período seco. Entretanto, destaca-se também a dificuldade de identificação da capacidade do reservatório para as situações citadas anteriormente. Ressalta-se que a maior duração dos registros pluviométricos possa induzir a maiores volumes do reservatório.

#### 4.2.1.5 Método da Simulação

Para aplicação do Método da Simulação foi estabelecida a relação entre os dados pluviométricos locais, a demanda de água não potável, a área de coleta e o coeficiente de escoamento superficial. Adotou-se o volume fixado -  $V_{\text{fixado}}$  correspondente ao volume mínimo determinado pela Lei 10785/03 – Curitiba, portanto,  $V_{\text{fixado}} = 0,5 \text{ m}^3$ . Ainda considerou-se o reservatório inicialmente cheio e não foram consideradas as perdas por evaporação. De posse destes dados foram desenvolvidos os cálculos referentes a aplicação do método.

Assim sendo, os resultados da aplicação do Método da Simulação são apresentados na Tabela 22.

TABELA 22 – RESULTADOS DO MÉTODO DA SIMULAÇÃO

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Mês	P (mm)	$D_m$ (m <sup>3</sup> )	$A_c$ (m <sup>2</sup> )	$V_{\text{chuva}}$ (m <sup>3</sup> )	$V_{\text{Fixado}}$ (m <sup>3</sup> )	$V_{t-1}$ (m <sup>3</sup> )	$V_t$ (m <sup>3</sup> )	$O_v$ (m <sup>3</sup> )	S (m <sup>3</sup> )
Jan	170,3	3,6	100,0	13,62	0,5	0,5	0,5	10,02	0
Fev	145,0	3,6	100,0	11,60	0,5	0,5	0,5	8,00	0
Mar	148,1	3,6	100,0	11,85	0,5	0,5	0,5	8,25	0
Abr	85,1	3,6	100,0	6,81	0,5	0,5	0,5	3,21	0
Mai	81,3	3,6	100,0	6,50	0,5	0,5	0,5	2,90	0
Jun	72,0	3,6	100,0	5,76	0,5	0,5	0,5	2,16	0
Jul	95,0	3,6	100,0	7,60	0,5	0,5	0,5	4,00	0
Ago	77,2	3,6	100,0	6,18	0,5	0,5	0,5	2,58	0
Set	142,1	3,6	100,0	11,37	0,5	0,5	0,5	7,77	0
Out	137,3	3,6	100,0	10,98	0,5	0,5	0,5	7,38	0
Nov	103,5	3,6	100,0	8,28	0,5	0,5	0,5	4,68	0
Dez	99,5	3,6	100,0	7,96	0,5	0,5	0,5	4,36	0

FONTE: O AUTOR (2010)

Observa-se que os valores referentes ao volume fixado, volume no tempo t-1 e volume no tempo t, ou seja, colunas 6, 7 e 8 são coincidentes. Na situação estudada, tal fato acontece em função da restrição imposta pelo método para que o volume do reservatório seja maior ou igual a zero e menor ou igual ao volume fixado, ou seja,  $0 \leq V_t \leq V_{\text{fixado}}$ . Assim sendo, o volume do reservatório para a situação, através da aplicação do Método da Simulação estudada corresponde ao volume fixado,  $V_t = 0,50 \text{ m}^3$ .

Através da interpretação dos resultados verifica-se na coluna 9, a ocorrência de over flow, ou seja, sobra de água em todos os meses do ano. Portanto, nota-se

na coluna 10, valores de suprimento igual a zero, não há necessidade de complementação com outra fonte de abastecimento de água.

Por sua vez, conforme descrito no capítulo, da Revisão da bibliografia (ver 2.3.3), a probabilidade de falha é obtida através da relação entre o número de meses em que o reservatório está na condição vazio pelo número de meses do ano. Neste caso tal falha corresponde à zero, pois ocorre *over flow* em todos os meses do ano, portanto o volume adotado apresenta 100% de confiança.

Cabe ressaltar, que para a situação estudada a atribuição de outros valores, superiores ou inferiores ao volume fixado, na coluna 6, induz a resultados semelhantes aos encontrados e, com a mesma confiabilidade.

O método da Simulação apresenta como características principais, a possibilidade de escolha pelo projetista do volume desejado em função da confiança necessária para cada situação. Destaca-se ainda a dificuldade de avaliação de *over flow* quando da utilização de registros hidrológicos prolongados, os quais podem induzir a diferentes valores com a mesma confiabilidade. Também se ressalta que a estimativa prévia do volume fixado pode implicar na necessidade de utilização de outros métodos de dimensionamento para obtenção de tal estimativa de volume.

A utilização de dados hidrológicos diários pode se apresentar como alternativa interessante na aplicação do método da Simulação, uma vez que o uso de registros hidrológicos prolongados dificulta a avaliação da ocorrência de *over flow*. Assim sendo, observa-se ainda que a utilização de dados hidrológicos diários caracterize-se, como requisito obrigatório, para aplicação dos programas computacionais Netuno e Ress, descritos no capítulo Revisão da Bibliografia (ver 2.3.3).

Ressalta-se ainda que, neste estudo não foram utilizados os dados diários para aplicação do método da Simulação, a fim de, não comprometer os resultados da análise comparativa entre os métodos de dimensionamento, visto que, os demais métodos utilizam dados hidrológicos mensais ou anuais.

#### 4.2.1.6 Método Azevedo Neto

Neste estudo a aplicação do Método Azevedo Neto fundamentou-se na premissa do estudo de dados estatísticos referente ao período sem chuva ou de pouca chuva da região estudada.

Segundo Azevedo Netto (1991) o período crítico em geral é superior a trinta dias podendo ultrapassar os sessenta dias em regiões de baixa e irregular precipitação. Destaca-se que a região em estudo não se caracteriza como tal, mas ao contrário apresenta precipitação média e regular.

Assim sendo, através do estudo da Seqüência de Dias Sem Chuva apresentado no Apêndice deste trabalho, observou-se que dentro do período amostral de onze anos não foi registrada nenhuma ocorrência de 30 dias sem chuva. Destaca-se ainda o registro de uma ocorrência da seqüência de 28 dias sem chuva e uma ocorrência de 27 dias. Portanto, concluiu-se que para a situação estudada o período de seca ou pouca chuva não representa um mês completo e, sim uma fração do mês.

Procedeu-se a identificação de tal fração, através do estudo da Série de Máximos Mensais, descrito no item 4.2.1.2 deste capítulo, obteve-se o máximo de dias sem chuva para a situação estudada, ou seja,  $MDS = 12,81$  dias. De posse deste dado estabeleceu-se uma relação entre o número médio de dias de um mês correspondente a 30 dias. Portanto, o período seco, para a situação estudada, representa 42,7% de um mês, ou seja, o número de meses de pouca chuva corresponde a  $T = 0,427$ .

Quando da simulação da aplicação do método Azevedo Neto, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 23.

TABELA 23 – RESULTADOS DO MÉTODO AZEVEDO NETO

1	2	3	4
<b>P<sub>anual</sub></b> <b>(mm)</b>	<b>A<sub>c</sub></b> <b>(m<sup>3</sup>)</b>	<b>T</b> <b>(mês)</b>	<b>V = 0,042.P.A.T</b> <b>(m<sup>3</sup>)</b>
1356,50	100,0	0,427	2,43

FONTE: O AUTOR (2010)

Observa-se que para a situação estudada o valor obtido para o volume do reservatório não se apresentou excessivamente elevado.



Entretanto, se para esta mesma situação utilizarem-se dados referentes a um e dois meses de pouca chuva, conforme recomendado por diferentes bibliografias, o valor obtido para o volume do reservatório será expressivamente mais elevado, como pode ser observado na Tabela 24.

Portanto, destaca-se na aplicação deste método a interferência significativa da correta interpretação dos dados locais, referentes aos meses de pouca chuva. A interpretação generalizada de tais dados pode induzir a resultados não precisos.

TABELA 24 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO MÉTODO PARA T=1 , T=2

1	2	3	4
$P_{\text{anual}}$ (mm)	$A_c$ (m <sup>3</sup> )	T (mês)	$V = 0,042.P.A.T$ (m <sup>3</sup> )
1356,50	100,0	1	5,69
1356,50	100,0	2	11,39

FONTE: O AUTOR (2010)

O método Azevedo Neto apresenta como características principais a facilidade de sua aplicação, o valor reduzido do volume obtido para a situação estudada, a observância a fatores relativos à precipitação pluviométrica e ao período seco. Destaca-se ainda a possibilidade da identificação subjetiva dos meses secos ou de pouca chuva. Assim sendo, alerta-se para o risco da subjetividade pura quando da não observância estatística do histórico de meses sem chuva.

Cabe ressaltar também, que no decorrer deste estudo observaram-se diferentes grafias referentes ao nome do autor do método. Portanto, neste estudo, adotou-se a nomenclatura utilizada pela norma técnica NBR 15527/07 (ABNT, 2007) referente ao Método de Azevedo Neto e, nas citações bibliográficas adotou-se a grafia utilizada nas respectivas bibliografias consultadas.

#### 4.2.1.7 Método Prático Inglês

A simulação da aplicação do Método Prático Inglês consiste na aplicação direta dos dados na equação característica do método. Assim sendo, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 25.

TABELA 25 – RESULTADOS DO MÉTODO PRÁTICO INGLÊS

1	2	3
<b>P<sub>anual</sub></b> <b>(mm)</b>	<b>A<sub>c</sub></b> <b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>V = 0,05.P.A</b> <b>(m<sup>3</sup>)</b>
1356,50	100,0	6,78

FONTE: O AUTOR (2010)

Observa-se que, os dados utilizados para o dimensionamento se restringem à área de coleta e a precipitação pluviométrica anual. O período seco não é considerado uma incógnita a ser identificada, assim como ocorre no Método Azevedo Neto. Porém, subentende-se que o período seco considerado, corresponde a um mês. Assim sendo, verifica-se que o volume obtido apresenta-se relativamente elevado.

O método apresenta como característica principal a facilidade de sua aplicação e, ainda o emprego de poucos dados e de fácil interpretação. Destaca-se ainda o valor expressivo do volume obtido para a situação estudada.

#### 4.2.1.8 Método Prático Alemão

A simulação da aplicação do Método Prático Alemão foi desenvolvida por meio da relação entre a demanda anual e o volume aproveitável de chuva, ou seja, o 6% do menor valor entre estes dois fatores. Assim sendo, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 26.

TABELA 26 – RESULTADOS DO MÉTODO PRÁTICO ALEMÃO

1	2	3	4	5
<b>P<sub>anual</sub></b> <b>(mm)</b>	<b>A</b> <b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>D<sub>anual</sub></b> <b>(m<sup>3</sup>)</b>	<b>V<sub>chuva</sub></b> <b>(m<sup>3</sup>)</b>	<b>V = min(V; D).0,06</b> <b>(m<sup>3</sup>)</b>
1356,50	100	43,2	108,51	2,59

FONTE: O AUTOR (2010)

Na análise do método para a situação estudada, observa-se que o volume foi obtido em função da demanda anual, devido ao fato do valor de tal demanda apresentar-se inferior ao valor referente ao volume aproveitável de chuva. Destaca-se ainda que o valor obtido para o volume do reservatório não se apresentou excessivamente elevado.

Cabe ressaltar, que a aplicação do método para a situação contrária a estudada, ou seja, quando o valor da demanda é muitas vezes superior ao volume captável de chuva, poderá induzir a resultados insatisfatórios do ponto de vista do atendimento ao consumo. Sendo assim, observa-se que tal situação poderia exemplificar as condições de uma habitação vertical coletiva, onde a área de captação pode ser proporcionalmente reduzida em relação à demanda.

Entretanto, analisando a aplicação do método sob a ótica da sustentabilidade da bacia hidrográfica, esta se torna interessante uma vez que induz a sempre ao menor valor obtido para o volume do reservatório.

As características principais do método são a facilidade de sua aplicação e, ainda o emprego de poucos dados e de fácil interpretação e, ainda o volume reduzido obtido para a situação estudada.

#### 4.2.1.9 Método Prático Australiano

Na simulação da aplicação do Método Prático Australiano primeiramente adotou-se o volume fixado -  $V_{\text{fixado}}$  correspondente ao volume mínimo determinado pela Lei 10785/03 – Curitiba, portanto,  $V_{\text{fixado}} = 0,5 \text{ m}^3$ . Ainda considerou-se o reservatório inicialmente vazio e as perdas por evaporação de 2 mm. Assim sendo, os resultados da aplicação do Método Australiano são apresentados na Tabela 27.

TABELA 27 – RESULTADOS DO MÉTODO PRÁTICO AUSTRALIANO

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mês	P (mm)	$D_m$ ( $\text{m}^3$ )	$A_c$ ( $\text{m}^2$ )	$V_{\text{chuva}}$ ( $\text{m}^3$ )	$V_{\text{Fixado}}$ ( $\text{m}^3$ )	$V_{t-1}$ ( $\text{m}^3$ )	$V_t$ ( $\text{m}^3$ )	Ov ( $\text{m}^3$ )
Jan	170,3	3,6	100,0	13,46	0,5	0,0	0,5	9,86
Fev	145,0	3,6	100,0	11,44	0,5	0,5	0,5	8,34
Mar	148,1	3,6	100,0	11,69	0,5	0,5	0,5	8,59
Abr	85,1	3,6	100,0	6,65	0,5	0,5	0,5	3,55
Mai	81,3	3,6	100,0	6,34	0,5	0,5	0,5	3,24
Jun	72,0	3,6	100,0	5,60	0,5	0,5	0,5	2,50
Jul	95,0	3,6	100,0	7,44	0,5	0,5	0,5	4,34
Ago	77,2	3,6	100,0	6,02	0,5	0,5	0,5	2,92
Set	142,1	3,6	100,0	11,21	0,5	0,5	0,5	8,11
Out	137,3	3,6	100,0	10,82	0,5	0,5	0,5	7,72
Nov	103,5	3,6	100,0	8,12	0,5	0,5	0,5	5,02
Dez	99,5	3,6	100,0	7,80	0,5	0,5	0,5	4,70

FONTE: O AUTOR (2010)

De forma semelhante ao relatado no Método da Simulação, os valores referentes ao volume fixado, ao volume no tempo  $t-1$  e ao volume no tempo  $t$ , ou seja, colunas 6, 7 e 8 são coincidentes. Na situação estudada, tal fato acontece em função da restrição imposta pelo método para que o volume do reservatório seja maior ou igual a zero e menor ou igual ao volume fixado, ou seja,  $0 \leq V_t \leq V_{\text{fixado}}$ . Assim sendo, o volume do reservatório para a situação estudada, através da aplicação do Método Australiano corresponde ao volume fixado,  $V_t = 0,50 \text{ m}^3$ .

Através da interpretação dos resultados verifica-se na coluna 9, a ocorrência de *over flow*, ou seja, sobra de água em todos os meses do ano. Portanto, não há necessidade de complementação com outra fonte de abastecimento de água.

Por sua vez, conforme descrito no capítulo da Revisão da Bibliografia (ver 2.3.3), a probabilidade de falha é obtida através da relação entre o número de meses em que o reservatório está na condição vazio pelo número de meses do ano. Neste caso tal falha corresponde à zero, pois ocorre *over flow* em todos os meses do ano, portanto o volume adotado apresenta 100% de confiança.

Cabe ressaltar, que para a situação estudada a atribuição de outros valores, superiores ou inferiores ao volume fixado, na coluna 6, induz a resultados semelhantes aos encontrados com a mesma confiabilidade.

Assim como, o método da Simulação, o Método Prático Australiano apresenta como características principais, a possibilidade de escolha pelo projetista do volume desejado em função da confiança necessária para cada situação. Destaca-se ainda a dificuldade de avaliação de *over flow* quando da utilização de registros hidrológicos prolongados, os quais podem induzir a diferentes valores com a mesma confiabilidade. Também a estimativa prévia do volume pode implicar na necessidade de utilização de outros métodos de dimensionamento para obtenção de tal volume.

Observa-se ainda que, da mesma forma como no método da Simulação, a utilização de dados hidrológicos diários pode se apresentar como alternativa na aplicação do método Australiano. Assim também, a utilização de tais dados caracteriza-se, como requisito obrigatório, para aplicação dos programas computacionais Netuno e Ress, descritos no capítulo Revisão da Bibliografia (ver 2.3.3). Contudo, neste estudo, não foram utilizados os dados diários para aplicação do método Australiano, a fim de, não comprometer os resultados da análise comparativa entre os métodos de dimensionamento.

#### 4.2.2 Análise comparativa dos métodos de dimensionamento

A análise comparativa dos métodos de dimensionamento investigados, neste estudo, teve por objetivo subsidiar a identificação da situação, na qual, a aplicação de cada método propiciará resultados satisfatórios em consonância com os respectivos objetivos propostos. Assim sendo, os resultados obtidos na simulação da aplicação dos métodos e as suas respectivas características são apresentados no Quadro 2.

<b>Método</b>	<b>Volume (m³)</b>	<b>Características</b>
<b>Lei 10785/03 - Curitiba</b>	0,50	Fácil aplicação, valor reduzido do volume do reservatório para a situação estudada, não observância de aspectos relativos à precipitação pluviométrica e as possíveis interferências na bacia hidrográfica.
<b>Dias Sem Chuva</b>	1,54	Fácil aplicação, valor reduzido do volume do reservatório para a situação estudada, previsão de atendimento ao consumo no período crítico e, não observância de aspectos relativos às possíveis interferências na bacia hidrográfica.
<b>Fendrich</b>	2,05	Fácil aplicação, valor relativamente reduzido do volume do reservatório para a situação estudada, visão holística da bacia hidrográfica.
<b>Rippl</b>	-	Não possibilitou a identificação segura do volume para a situação estudada, observância de aspectos relativos à demanda e a precipitação pluviométrica, previsão de atendimento ao consumo durante período crítico, não observância de aspectos relativos às possíveis interferências na bacia hidrográfica.
<b>Simulação</b>	0,50	Volume reduzido do reservatório para a situação estudada, possibilidade de escolha pelo projetista do volume desejado em função da confiança necessária, observância de aspectos relativos à demanda e a precipitação pluviométrica, não observância de aspectos relativos às possíveis interferências na bacia hidrográfica.
<b>Azevedo Neto</b>	2,43	Fácil aplicação, valor relativamente reduzido do volume do reservatório para a situação estudada, possibilidade de subjetividade na identificação dos meses de pouca chuva, não observância de aspectos relativos às possíveis interferências na bacia hidrográfica.
<b>Prático Australiano</b>	0,50	Volume reduzido do reservatório para a situação estudada, escolha pelo projetista do volume desejado em função da confiança necessária, a observância de aspectos relativos à demanda e a precipitação pluviométrica, não observância de aspectos relativos às possíveis interferências na bacia hidrográfica.
<b>Prático Inglês</b>	6,78	Fácil aplicação, valor relativamente elevado do volume do reservatório para a situação estudada, não são observados aspectos relativos à sustentabilidade da bacia hidrográfica.
<b>Prático Alemão</b>	2,59	Fácil aplicação, valor relativamente reduzido do volume do reservatório para a situação estudada, não observância de aspectos relativos às possíveis interferências na bacia hidrográfica.

QUADRO 2 – RESULTADOS E CARACTERÍSTICAS DOS MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO.  
FONTE: O AUTOR (2010)

A análise comparativa entre os métodos de dimensionamento investigados aponta a existência de divergência entre os resultados obtidos. Tal fato, por sua vez, era esperado e justifica-se em virtude das diferentes concepções de cada método.

Observa-se que três métodos apresentaram resultados idênticos, porém possuem características diferenciadas. O resultado obtido na aplicação de tais métodos apresentou o menor volume para o reservatório, ou seja, o método da Lei 10785/03 - Curitiba, da Simulação e o Prático Australiano apresentam volume de 0,5 m<sup>3</sup>, para a situação estudada. Os métodos da Simulação e Australiano têm concepções similares, portanto, a semelhança nos resultados obtidos não surpreende. Por sua vez, o método da Lei 10785/03 – Curitiba apresenta tanto a concepção quanto forma de cálculo bastante diferenciada em relação aos demais, embora o resultado obtido na simulação de tal método tenha sido a referência para a aplicação dos outros dois métodos citados.

Verifica-se ainda semelhança de resultados, apesar das diferentes concepções, na aplicação do método dos Dias Sem Chuva e de Fendrich, respectivamente volumes de 1,54 m<sup>3</sup> e 2,05 m<sup>3</sup>. Da mesma forma, ocorre com os resultados obtidos na aplicação dos métodos de Azevedo Neto e Prático Alemão, respectivamente 2,43 m<sup>3</sup> e 2,59 m<sup>3</sup>.

Entretanto, nota-se variação no resultado obtido na simulação do método Prático Inglês, o qual apresentou volume do reservatório de 6,78 m<sup>3</sup>, muito acima dos demais resultados. Embora, a concepção de tal método assemelhe-se à do método Azevedo Neto, os resultados obtidos apresentaram-se divergentes. Tal fato explica-se através da identificação do período crítico adotada neste último, referente à fração do mês proporcional a série de máximos dias sem chuva.

Através da análise comparativa entre os métodos de dimensionamento evidencia-se a necessidade de avaliação da relação entre os objetivos propostos e a identificação do método a ser utilizado. Destaca-se ainda que, a escolha equivocada do método de dimensionamento do reservatório pode induzir a resultados insatisfatórios do ponto de vista técnico, econômico, sanitário e ainda da sustentabilidade hídrica da bacia hidrográfica.

### 4.3 ABORDAGEM DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

A abordagem da sustentabilidade hídrica do sistema de aproveitamento da água de chuva foi desenvolvida objetivando a discussão das interferências, decorrentes de tal sistema, na sustentabilidade da Bacia Hidrográfica. O estudo analisou aspectos relativos ao volume do reservatório e ao uso da água de chuva na bacia sanitária, através da simulação de uma situação hipotética estabelecida na área sob estudo.

Portanto, de posse dos dados relativos ao número de domicílios, obtido segundo IPPUC (2009) e, ao volume do reservatório, obtido conforme a aplicação dos métodos de dimensionamento identificou-se, assim, o volume total referente ao armazenamento da água de chuva no percentual de edificações da área em estudo. Os resultados são apresentados na Tabela 28.

TABELA 28 – VOLUME DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADO EM 10% DAS EDIFICAÇÕES

<b>Método</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Número de Domicílios</b>	<b>10% Domicílios</b>	<b>Volume Total (m<sup>3</sup>)</b>
<b>Lei 10785/03 – Curitiba</b>	0,50	3960	396	198
<b>Dias Sem Chuva</b>	1,54	3960	396	609,84
<b>Fendrich</b>	2,05	3960	396	811,80
<b>Rippl</b>	-	3960	396	-
<b>Simulação</b>	0,50	3960	396	198
<b>Azevedo Neto</b>	2,43	3960	396	962,28
<b>Prático Australiano</b>	0,50	3960	396	198
<b>Prático Inglês</b>	6,78	3960	396	2.684,88
<b>Prático Alemão</b>	2,59	3960	396	1.025,64

FONTE: O AUTOR (2010)

O volume total obtido refere-se à fração de água de chuva que seria armazenada nas edificações da área estudada, segundo a aplicação dos diferentes métodos de dimensionamento. Assim sendo, destaca-se que tal fração de água de chuva não seria coletada diretamente pelo sistema de drenagem urbana. Observa-se que a variação entre o menor valor obtido para o volume total, 1,98 m<sup>3</sup> e o maior valor, 2.684,88 m<sup>3</sup>, corresponde a um volume 2.484,88 m<sup>3</sup> de água de chuva armazenada.

Cumpre salientar, a importância da identificação precisa do método de dimensionamento de reservatório, adequado para cada situação, a fim de que o armazenamento da água de chuva na edificação não venha a comprometer o ciclo do uso da água na bacia hidrográfica. Alerta-se ainda que, tal armazenamento

quando prolongado, pode contribuir para o comprometimento da segurança sanitária dos usuários, conforme observado na abordagem qualitativa (ver 4.1).

Nota-se também que, no contexto do cenário desenhado, a água de chuva abasteceria exclusivamente a bacia sanitária e, portanto, seria posteriormente conduzida ao sistema de esgotamento sanitário. Assim sendo, tal fração de água, retornaria à bacia hidrográfica através do sistema de coleta e tratamento das águas residuárias. Sob a ótica do ciclo do uso da água na bacia hidrográfica, tal fato caracteriza-se como de real significância em função do tempo de deslocamento da água de chuva para a bacia hidrográfica. Observa-se ainda que, contrariamente ao esgoto sanitário pontualmente disposto na bacia hidrográfica, a água de chuva coletada pelo sistema de drenagem urbana é lançada em tal bacia hidrográfica de forma difusa.

Considerando que o processo de urbanização da bacia hidrográfica gera o desequilíbrio desta, como a maximização das vazões de enchentes, o armazenamento da água de chuva traz como benefício direto uma interferência positiva, como a atenuação dos picos de vazão de enchentes. Por outro lado, a retenção de grandes volumes por períodos prolongados de tempo pode interferir no processo de realimentação dos escoamentos nos períodos de estiagem. Assim seria importante que os reservatórios fossem dotados de dispositivos de infiltração de água no solo, conforme enfatizado por Fendrich (2009).

Em outra análise desenvolvida com base neste mesmo cenário, para uma dada precipitação, simulou-se a situação do aproveitamento da água de chuva pelo percentual de 10% da população do Bairro Jardim das Américas. Conforme IPPUC (2009), a população do bairro é de 13.966 habitantes, portanto a fração relativa a 10% desta corresponde a 1.396,6. Obteve-se, portanto, o volume total referente ao armazenamento da água de chuva por este percentual da população da área em estudo, cujos resultados são apresentados na Tabela 29.



TABELA 29 – VOLUME DE ÁGUA DE CHUVA ARMAZENADO POR 10% DA POPULAÇÃO

Método	Volume (m <sup>3</sup> )	Nº de Habitantes p/Edificação	Volume p/Habitante (m <sup>3</sup> )	10% da População (hab.)	Volume Total (m <sup>3</sup> )
<b>Lei 10785/03 – Curitiba</b>	0,50	4	0,125	1.396,6	174,57
<b>Dias Sem Chuva</b>	1,54	4	0,385	1.396,6	537,69
<b>Fendrich</b>	2,05	4	0,512	1.396,6	715,05
<b>Rippl</b>	-	4	-	1.396,6	-
<b>Simulação</b>	0,50	4	0,125	1.396,6	174,50
<b>Azevedo Neto</b>	2,43	4	0,607	1.396,6	847,73
<b>Prático Australiano</b>	0,50	4	0,125	1.396,6	174,57
<b>Prático Inglês</b>	6,78	4	1,695	1.396,6	2.367,23
<b>Prático Alemão</b>	2,59	4	0,647	1.396,6	903,60

FONTE: O AUTOR (2010)

A análise deste cenário reforça a observação da amplitude entre os diferentes volumes obtidos através da aplicação dos métodos de dimensionamento de reservatório. Tal observação induz a uma reflexão sobre os aspectos relativos ao abastecimento de água potável e a conseqüente preservação dos mananciais de abastecimento. Nota-se que, a água de chuva seria utilizada para abastecer uma bacia sanitária, em detrimento ao uso da água potável, caracterizando assim a redução do consumo desta última. Contribuindo, portanto, para a preservação dos mananciais de abastecimento de água e conseqüentemente para a sustentabilidade das respectivas bacias hidrográficas.

Com o intuito de ampliar a discussão em torno da sustentabilidade hídrica da bacia hidrográfica, desenvolveu-se o balanço hídrico parcial correspondente a variação de água na bacia hidrográfica com o uso da água de chuva nas edificações, do território em estudo, conforme descrito no capítulo três, material e métodos (ver 3.3).

Neste estudo, não foram considerados os aspectos relativos à evaporação e infiltração da água de chuva por tratar-se de um balanço hídrico parcial. Os resultados são apresentados na Tabela 30.

TABELA 30 – VARIAÇÃO DO VOLUME DE ÁGUA NA BACIA HIDROGRÁFICA COM O APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Mês	P (mm)	D <sub>m3</sub> (m <sup>3</sup> )	D <sub>m1</sub> 10%Pop (m <sup>3</sup> )	D <sub>m2</sub> 100%Pop (m <sup>3</sup> )	A <sub>B</sub> (m <sup>2</sup> )	V <sub>T</sub> (2 x 6) (m <sup>3</sup> )	ΔV <sub>1</sub> 10%Pop. (7 - 4) (m <sup>3</sup> )	ΔV <sub>2</sub> 100%Pop. (7 - 5) (m <sup>3</sup> )
<b>Jan</b>	170,3	0,9	1.256,94	12.569,4	3.874.000	659.742,2	658.485,26	647.172,80
<b>Fev</b>	145,0	0,9	1.256,94	12.569,4	3.874.000	561.730,0	560.473,06	549.160,60
<b>Mar</b>	148,1	0,9	1.256,94	12.569,4	3.874.000	573.739,4	572.482,46	561.170,00
<b>Abr</b>	85,1	0,9	1.256,94	12.569,4	3.874.000	329.677,4	328.420,46	317.108,00
<b>Mai</b>	81,3	0,9	1.256,94	12.569,4	3.874.000	314.956,2	313.699,26	302.386,80
<b>Jun</b>	72,0	0,9	1.256,94	12.569,4	3.874.000	278.928,0	277.671,06	266.358,60
<b>Jul</b>	95,0	0,9	1.256,94	12.569,4	3.874.000	368.030,0	366.773,06	355.460,60
<b>Ago</b>	77,2	0,9	1.256,94	12.569,4	3.874.000	299.072,8	297.815,86	286.503,40
<b>Set</b>	142,1	0,9	1.256,94	12.569,4	3.874.000	550.495,4	549.238,46	537.926,00
<b>Out</b>	137,3	0,9	1.256,94	12.569,4	3.874.000	531.900,2	530.643,26	519.330,80
<b>Nov</b>	103,5	0,9	1.256,94	12.569,4	3.874.000	400.959,0	399.702,06	388.389,60
<b>Dez</b>	99,5	0,9	1.256,94	12.569,4	3.874.000	385.463,0	384.206,06	372.893,60
<b>Total Anual</b>	1356,5	10,8	15.083,28	150.832,80	3.874.000	5.253.144,00	5.238.060,72	5.102.311,20
<b>Percentual de redução do volume original afluyente na bacia hidrográfica (%)</b>							<b>0,29</b>	<b>2,90</b>

FONTE: O AUTOR (2010)

Obteve-se o valor da demanda mensal ( $D_m$ ) considerando que cada habitante efetue cinco acionamentos do conjunto bacia sanitária com caixa acoplada de seis litros por dia, durante o período de um mês, conforme descrito no capítulo Material e Métodos (ver 3.3.1). Com relação à primeira situação obteve-se a demanda ( $D_{m1}$ ), coluna 4, multiplicando a demanda mensal, coluna 3, pela população de 1.396,6 habitantes correspondente ao percentual assumido. Quanto a segunda situação ( $D_{m2}$ ) na coluna 5, repetiu-se o procedimento, porém considerando a totalidade da população, ou seja, 13.966 habitantes. Por sua vez, a área do território estudado ( $A_B$ ), coluna 6, foi convertida para metro quadrado, portanto,  $A_B = 3.874.000 \text{ m}^2$ . De posse destes dados, foi calculado o volume total ( $V_T$ ), coluna 7, através da relação entre a precipitação pluviométrica ( $P$ ), coluna 2, convertida de milímetros para metros, e a área do território, coluna 6. Quanto a variação do volume de água na bacia hidrográfica para a primeira situação ( $\Delta V_1$ ), coluna 8, e para a segunda situação ( $\Delta V_2$ ), coluna 9, foi obtida subtraindo-se as respectivas demandas ( $D_{m1}$  e  $D_{m2}$ ) do volume total.

Os valores apresentados indicam que o uso da água de chuva na bacia sanitária, de 10 % das unidades residenciais na bacia hidrográfica, correspondente ao valor médio anual de 0,29 % do volume precipitado. Por sua vez, numa projeção futura, em que 100 % das unidades residenciais viessem a adotar um sistema de captação de água de chuva, nas condições previstas na unidade modelo, esse percentual médio poderá atingir 2,90 % do volume precipitado na bacia hidrográfica.

Neste caso, considerando um escoamento superficial correspondente a um coeficiente de *Runoff* ( $C = 0,8$ ) para a área em estudo, o volume estimado de escoamento, tomando-se por base os dados referentes ao mês de janeiro, representaria  $527.793,6 \text{ m}^3$ . Assim, deduzindo - se deste valor o volume referente ao uso da água de chuva na bacia sanitária para projeção futura,  $12.569,4 \text{ m}^3$ , nota-se que o volume de água que efetivamente escoaria para o rio representaria  $515.224,2 \text{ m}^3$ , aproximadamente 2,4 % a menos que o volume original. Reitera-se que, o volume de água de chuva utilizada em uma bacia sanitária que originariamente voltaria ao rio através do sistema de drenagem urbana, agora, seria desviado para a estação de tratamento de esgoto ou, para um ponto específico de descarga na bacia hidrográfica.

A análise do balanço hídrico, no que se refere à projeção futura, sob a ótica da legislação referente ao aproveitamento da água de chuva no Município de

Curitiba-PR, remete a reflexões sobre a necessidade de estudos mais aprofundados sobre a sustentabilidade hídrica da bacia hidrográfica. Cabe ressaltar que a abordagem desenvolvida neste estudo, através das análises do cenário concebido, indica a necessidade de uma interpretação holística dos diferentes aspectos que envolvem o aproveitamento da água de chuva nas edificações.

## 5 CONCLUSÕES

Preservar os recursos hídricos e simultaneamente universalizar o acesso à água apresenta-se como desafio para as sociedades atuais. Ao adotar critérios de conservação nos usos da água, preservando a sua qualidade e quantidade, a humanidade caminha rumo à almejada sustentabilidade. Neste contexto, coadjuvante ao uso racional da água nas edificações, as fontes alternativas, sobretudo a água de chuva, apresentam-se de forma contributiva para a preservação dos recursos hídricos.

Em relação à abordagem qualitativa desenvolvida por meio da caracterização da água de chuva armazenada, durante o período de sete dias, ressalta-se a importância do tratamento que antecede ao uso desta água. Alerta-se ainda para os cuidados referentes à higienização do reservatório e a frequência na limpeza, com vistas à segurança sanitária do sistema de aproveitamento de água de chuva. Sugere-se a remoção do lodo e higienização do reservatório de forma trimestral ou semestral segundo as características locais e o sistema implantado. Quanto aos dispositivos de descarte inicial devem ser higienizados a cada evento de chuva registrado.

No que se refere a trabalhos futuros faz-se as seguintes sugestões: a inclusão da análise qualitativa da chuva atmosférica, a fim de subsidiar a interpretação dos resultados, a simulação do esgotamento do lodo acumulado no reservatório, conforme o uso normal do sistema de aproveitamento da água de chuva e a inclusão da avaliação da quantidade e qualidade do lodo tanto nos dispositivos de descarte inicial, quanto no reservatório.

Com respeito à investigação dos aspectos quantitativos, a análise comparativa entre os métodos de dimensionamento propostos no Anexo A da NBR 15527, o método da Lei Municipal 15527/07 do Município de Curitiba, o método de Fendrich (2002) e o método dos Dias sem Chuva, aponta para a existência de divergência entre os resultados obtidos. Em face às diferentes naturezas de cada método, enfatiza-se a necessidade da análise holística dos aspectos que envolvem o dimensionamento de reservatórios de água de chuva. Sugere-se ao projetista na escolha do método de dimensionamento fazer a simulação dos diferentes métodos,

a análise da relação entre a concepção do método e a situação estudada e a observância aos aspectos relativos à sustentabilidade da bacia hidrográfica.

Neste sentido, a discussão da sustentabilidade hídrica estimula uma investigação mais aprofundada, dos aspectos relacionados às interferências dos sistemas de aproveitamento da água de chuva nas edificações e o respectivo uso na bacia sanitária. Há necessidade da investigação de fatores como infiltração, evaporação, impermeabilização e ocupação da bacia hidrográfica, dentre outros, a fim de identificar e mensurar os reais impactos de tais sistemas, no ciclo urbano da água na bacia hidrográfica.

Por conseguinte, a inclusão da análise de critérios sanitários apresenta-se valiosa para o estudo do dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento da água da chuva. A observação de tais critérios contribui tanto para a segurança sanitária dos usuários, quanto para sustentabilidade hídrica da bacia hidrográfica.

## 6 RECOMENDAÇÕES

Em observância às abordagens qualitativa, quantitativa e da sustentabilidade hídrica desenvolvidas neste estudo, ressalta-se de suma importância:

- a) a desinfecção da água de chuva armazenada antecipadamente ao uso;
- b) a higienização freqüente do reservatório de água de chuva;
- c) a análise da concepção do método de dimensionamento, a fim de subsidiar a escolha mais adequada a cada situação;
- d) a preferência por métodos de dimensionamento que contemplem a abordagem holística do aproveitamento da água de chuva no contexto da sustentabilidade da bacia hidrográfica;
- e) a previsão da construção de unidades independentes de armazenamento da água de chuva para o atendimento ao consumo e para o amortecimento do pico de vazão nos sistemas de drenagem urbana, contemplando a infiltração no solo.
- f) o desenvolvimento de estudos aprofundados com relação às interferências, do uso da água de chuva na bacia sanitária, sobre o ciclo urbano da água na bacia hidrográfica;

## REFERÊNCIAS

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

ALADENOLA, O. O. AND ADEBOYE, O.B. Assessing the Potential for Rainwater Harvesting. **Water Resources Management**. 009-9542-y. December 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Biblioteca Virtual**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/CatalogoPublicacoes.htm>>. Acesso em: 20 Jun. 2009.

AMERICAN WATER AND WASTEWATER ASSOCIATION **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.19th**. Denver. CP: AWWA 1998.

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial **Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Porto Alegre: Antac, v. 8, n.4, abr./jun. 2008.

ANDRADE NETO, C. O. de. Captação e uso da água da chuva. **Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente – Revista Bio**. Rio de Janeiro, n.2, p.7, abr./jun. 2002.

AUSTRALIA. **Australian water quality guidelines for fresh and marine waters**. Australian and New Zeland Environmental conservation Council and Agriculrre and resource management council of Australia and New Zeland, Camberra, vol.1. 2000.

AUSTRALIA. **Guidance on use of Rainwater tanks**. Australian Governement Department of Gealth and Ageing. Camberra. Australia. 2004.

AZEVEDO NETTO, J. M. Aproveitamento de águas de chuvas para abastecimento. Rio de Janeiro: 1991. **Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente – Revista Bio**. Rio de Janeiro, ano III, número 2, abr/jun.

BEZERRA, S. M. C.; CHRISTAN, P.; TEIXEIRA, C. A.; FARAHBAKHSH, K. Estudo do programa de conservação e uso racional da água nas edificações – PURAE, de Curitiba – Paraná e alguns exemplos de sua aplicação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife, Brasil **Anais...** Recife: ABES, 2009.

BORGES, L. Z. **Caracterização da Água Cinza para Promoção da Sustentabilidade dos Recursos Hídricos**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

CANADA. Minister of National Health and Wealfare. **Guidelines for Canadian recreational water quality**. Ottawa. 1992.



CAPRA, F. **A Teia da Vida - uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. Tradução: Newton Roberval Eicheberg. São Paulo: Cultrix, 1996.

CARVALHO, G. S; OLIVEIRA, S. C.; MORUZZI, R. B. Cálculo do volume do reservatório de sistemas de aproveitamento da água de chuva: Comparação entre os métodos para aplicação em residência unifamiliar. SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 10., 2007, São Carlos Brasil. **Anais....**São Carlos: ANTAC, 2007.

CHOW, V.T.. **Handbook of Applied Hydrology**: a compendium of water-resources technology. New York: Mc Graw – Hill Book Company, 1964.

CHRISTAN, P. **Análise das exigências impostas pelo programa de conservação e uso racional da água nas edificações- PURAE, existente na cidade de Curitiba – Paraná**. Monografia do curso de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

COOMBES P. J., AND KUCZERA G . Bdp environment design guide Strategic use of stormwater. Department of Civil, Surveying and Environmental Engineering, University of Newcastle, NSW, **Sustainable Water Use in the Built Environment: EDS Special Issue**, 1999.

COOMBES, P.J., KUCZERA, G. AND KALMA, J.D.. Economic benefits arising from use of water sensitive urban development source control measures. In: INT'L HYDROLOGY AND WATER RESOURCES SYMP, 3., 2002, Australia, Perth. **Proceedings...** Australia, Perth: Inst. Eng. Aust, 2002. p. 152-160.

CURITIBA. **Decreto nº. 212, de 29 de março de 2007**: Aprova o Regulamento de Edificações do Município de Curitiba. Curitiba, 29 mar. 2007.

CURITIBA. **Decreto nº. 293, de 22 de março de 2006**: Regulamenta a Lei nº 10.785 de 2003 e dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água nas edificações. Curitiba, 22 mar. 2006.

CURITIBA. **Lei nº. 10.785, de 18 de setembro de 2003**: Cria o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações. Curitiba, 2003, de 18 set. 2003.

ENVIRONMENTAL PROTECTIONS AGENCY. **Guidelines for reuse**. Technology Transfer Manual, EPA/625/R-04/108 September 2004, Washington D C.

FENDRICH, R. **Aplicabilidade do armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana**. Curitiba, 2002. 504f. Tese de Doutorado em Geologia Ambiental da Universidade Federal do Paraná, 2002.

FENDRICH, R. **Manual de Utilização das águas Pluviais (100 Maneiras Práticas)**. Curitiba, Chain Editora. 2ª Ed – ampliada.190p. 2009.

GHISI, E. **Influência da precipitação pluviométrica, área de captação, número de moradores e demandas de água potável e pluvial no dimensionamento de**

**reservatórios para fins de aproveitamento de água pluvial em residências unifamiliares.** 63p. Monografia apresentada para concurso público da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

GHISI, E.; FERREIRA, D.F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Build Environment**, v.42.n.7, p.2522, 2007.

GNADLINGER, J. A contribuição da captação de água de chuva para o Desenvolvimento sustentável do semi-árido brasileiro – uma Abordagem focalizando o povo. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, 3., 2001, Petrolina, Brasil. **Anais...** Petrolina: ABCMAC, 2001.

GONÇALVES. R. F. **Uso Racional da Água em Edificações** in PROSAB - Rede Cooperativa de Pesquisas. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

GUO, Y AND BAETZ, B. W. Sizing of Rainwater Storage Units for Green Building Applications. **Journal of Hydrologic Engineering**, Vol. 12, N<sup>o</sup>. 2. ACE. March, 2007.

GOOGLE. Mapas Brasil. Disponível em: <<http://www.maps.google.com.br/maps.htm> >. Acesso em: 10 Jun. 2009.

ILHA, M. S. DE O.; OLIVEIRA, L.H; GONÇALVES, O. Sustentabilidade de edifícios residenciais no quesito água no Brasil: a necessidade de uma agenda regional. SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 11., 2009, Curitiba, Brasil. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA. Secretaria de Urbanismo do Município de Curitiba - Paraná. Disponível em: <<http://ippucweb.ippuc.org.br:8090/ippucweb/sasi/home/default.php> > Acesso em: 20 Nov. 2009.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **AGENDA 21:** Conferência das Nações Unidas Sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Curitiba, 2001.

JASROTIA A. S.; MAJHI A. AND SINGH S. Water Balance Approach for Rainwater Harvesting using Remote Sensing and GIS Techniques, Jammu Himalaya, India. **Water Resources Management**. 23:3035–3055. 2009.

KALBUSCH. A. O Uso Racional Da Água e a Avaliação De Sustentabilidade Ambiental em Projetos para Habitação. SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 11., 2009, Curitiba, Brasil. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009.

MANCUSO, P. C.S. & SANTOS, H. F. **Reúso de Água**. Editora Manole. São Paulo. 2003.

MAY, S. **Estudo da Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva para Consumo Não Potável em Edificações**. 2004. 159p. Dissertação de Mestrado em

Engenharia da Escola Politécnica, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

McMHAHON. T. A & MEIN. R.G. **Reservoir Capacity And Yield**. Department of Civil Engineering, Monash University, Clayton, Vic., Australia. Elsevier Scientific Publishing Company. 1978.

MITHRARATNE, N. AND VALE, R. Rain Tanks or Reticulated Water Supply. INTERNATIONAL CONFERENCE ON RAIN WATER CATCHMENT SYSTEMS, 13., 2007, Australia, Sydney. **Proceedings...** Australia, 2007.

NASCIMENTO, P.H.R.; MORUZZI, R.B.. Programa computacional de suporte a decisão para cálculo de reservatório de armazenamento em sistemas de captação e aproveitamento de água pluvial em áreas urbanas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25., 2009, Recife, Brasil **Anais...** Recife: ABES, 2009.

PAULA, H. M. de.; PAULA, E.C.M. de.; PEREIRA, S.E. Qualidade da água de chuva e suas aplicações nas zonas urbanas e rural do município de Goiania – GO. Simpósio Brasileiro de Recursos hídricos, 2009, Campo Grande - MS. **Anais...** Campo Grande – MS, 2009. (a).

PAULA, H. M.; PAULA, E.C.M; PEREIRA, S.E. Dimensionamento de reservatório para o aproveitamento de água de chuva. Simpósio Brasileiro de Recursos hídricos, 2009, Campo Grande - MS. **Anais...** Campo Grande – MS, 2009 (b).

PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA. Disponível em: <<http://www.pncda.gov.br>>. Acesso em: 15 jul. 2009.

REBELLO, G. A. O. **Conservação da água em edificações: estudo das características de qualidade da água pluvial aproveitada em instalações prediais residenciais**. 2004. 96 p. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental do Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2004.

RIPPL, W. Capacity of storage reservoir for water supply. **Minutes of Proc.**, Institution of Civil Engineers, 71: 270 – 278. 1883.

ROCHA, V. L. **Validação do algoritmo do programa netuno para avaliação do potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações**. 166p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

SANTOS, D. C. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. **Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. Porto Alegre: ANTAC, v. 2, n.4, out dez 2002.

SANTOS, D.C; KOTSUKA, L.K. Impactos nas estações de tratamento de água e esgoto gerados pela adoção de medidas de conservação de água nas edificações. SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 11., 2009, Curitiba, Brasil. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009.

SIMEPAR. Instituto Tecnológico Simepar. Dados hidrológicos. 2009.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Visão geral dos serviços de água e esgoto 2004**. Ministério das Cidades. Disponível em <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em 10 de fev. de 2010.

TARANTINI, M. AND FERRI, F. Lca of drinking and wastewater treatment systems of Bologna city: final results. INTER-REGIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT WATER, 4., 2001, Fortaleza, Brazil. **Proceedings...** Fortaleza: IRCSA, 2001.

TEIXEIRA, J. P. A; GEHLING, G. R. Sistema de medição individualizada de água: repercussão para o consumidor e o meio ambiente. SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 11., 2009, Curitiba, Brasil. **Anais...** Curitiba: ANTAC, 2009.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

TORDO, O. C. **Caracterização e avaliação do uso de águas de chuva para fins potáveis**. 2004. 120f. Dissertação de Mestrado do programa de Pós - Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Regional de Blumenau. Blumenau.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p.5-27, mar.2002.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das Águas Pluviais Urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades- Secretaria Nacional de Saneamento, 2006 194p, Série Saneamento para Todos; v.4.

## APÊNDICE

### ESTUDO DA SEQUÊNCIA DOS DIAS SEM CHUVA

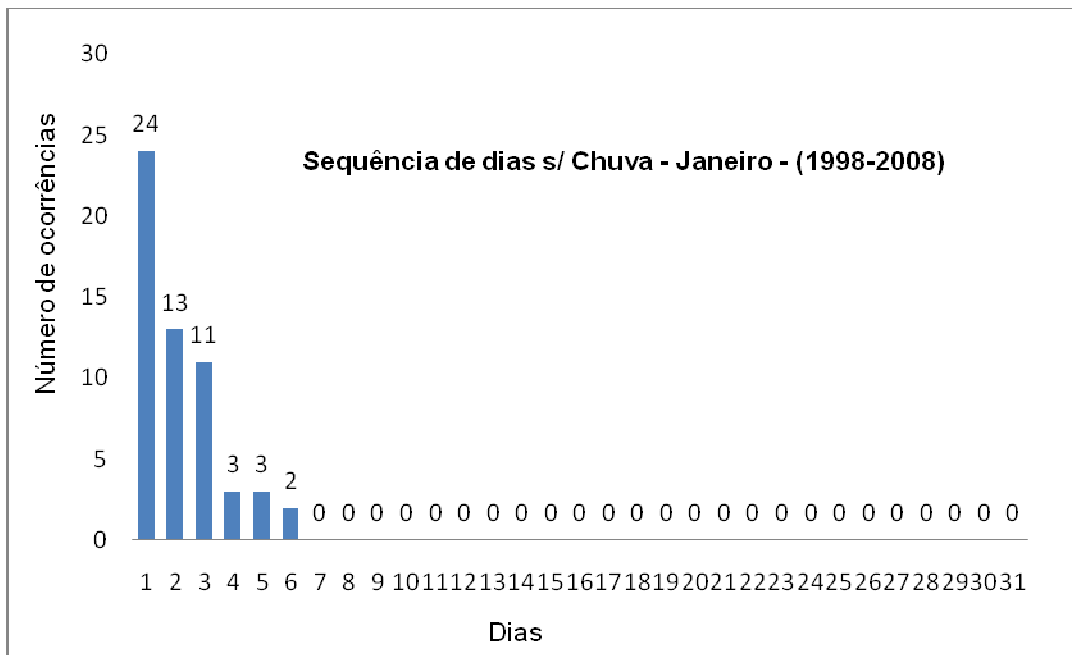
Para a identificação da seqüência média dos dias sem chuva, foram utilizados os dados hidrológicos descritos no item 3.3.2 - Identificação e Levantamento de Dados Hidrológicos do capítulo Material e Métodos. Inicialmente foram levantados os dados correspondentes aos dias sem registro de precipitação pluviométrica, durante o período amostral estudado. O período considerado corresponde aos meses de janeiro a dezembro do ano de 1998 até o ano de 2008. Depois de identificados os dias sem precipitação foi verificada a seqüência de dias sem chuva e registrado número de ocorrência de tal seqüência. Tais dados foram dispostos em forma de planilha do programa Excel, onde foi obtida a média ponderada da seqüência de dias sem chuva para cada mês. De posse destes dados, foi estabelecida a média ponderada anual da seqüência de dias sem chuva.

Tomando por base os resultados obtidos para os meses de janeiro compreendidos no período amostral estudado, foram registrados 24 vezes a ocorrência de um dia sem chuva, 13 vezes a ocorrência de dois dias consecutivos sem chuva, 11 vezes a ocorrência de três dias consecutivos sem chuva, 3 vezes a ocorrência de quatro dias consecutivos sem chuva e de cinco dias consecutivos sem chuva e 2 vezes a ocorrência de seis dias consecutivos sem chuva.

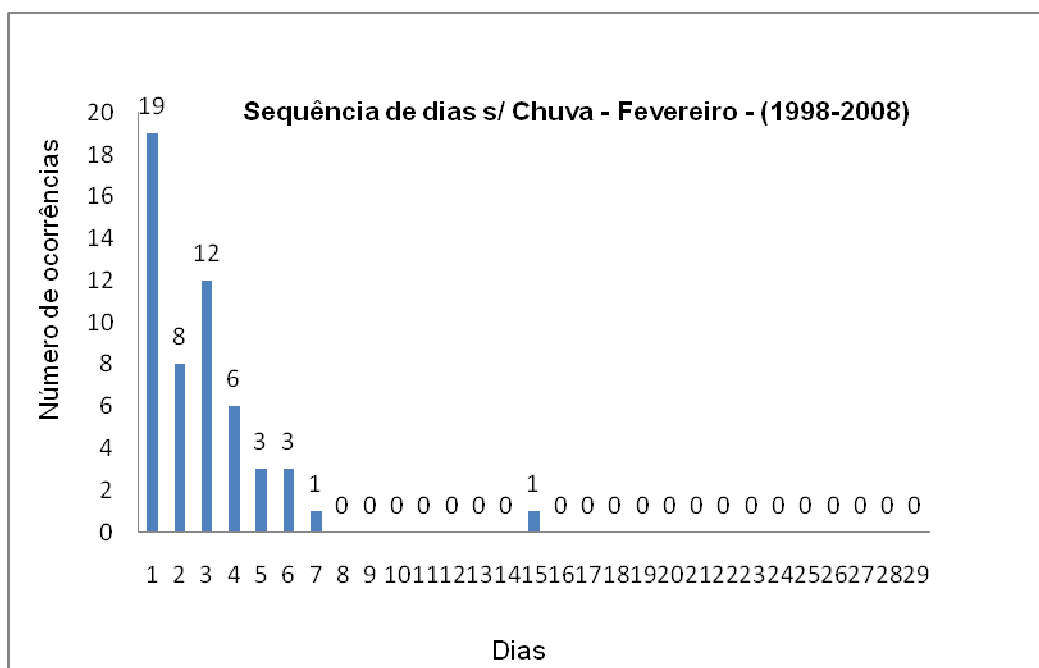
Para os demais meses dos anos correspondentes ao período amostral a interpretação dos resultados segue a descrita acima.

Os resultados obtidos no estudo da seqüência dos dias sem chuva são apresentados a seguir na forma de tabela e representados graficamente:

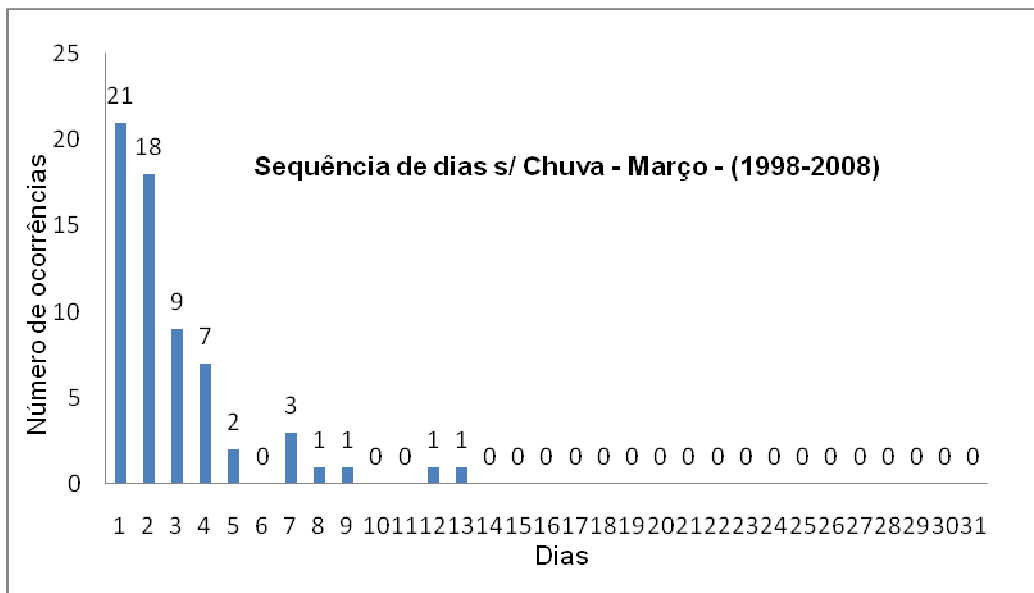
Ano	Sequência de dias sem chuva no mês de <b>JANEIRO</b>																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1998	4			1		1																									
1999		2																													
2000	1		2	1	1																										
2001	3		1		1																										
2002	1	1	1	1																											
2003	4	1				1																									
2004	4	1	3																												
2005	3	1	1																												
2006	1	2	1				1																								
2007		4	1																												
2008	3	1	1																												
Total	24	13	11	3	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Média ponderada</b>	<b>2,18 dias</b>																														



Ano	Seqüência de dias sem chuva no mês de <b>FEVEREIRO</b>																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1998	1	1		1											1														
1999	2	2																											
2000	3		1	1																									
2001	2	2	1																										
2002			2		1	1																							
2003	2		2	1																									
2004	2	2	1		1																								
2005		1	2					1																					
2006	1		1	1		1																							
2007			2	1		1																							
2008	6			1	1																								
Total	19	8	12	6	3	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Média Ponderada</b>	<b>3,11 dias</b>																												

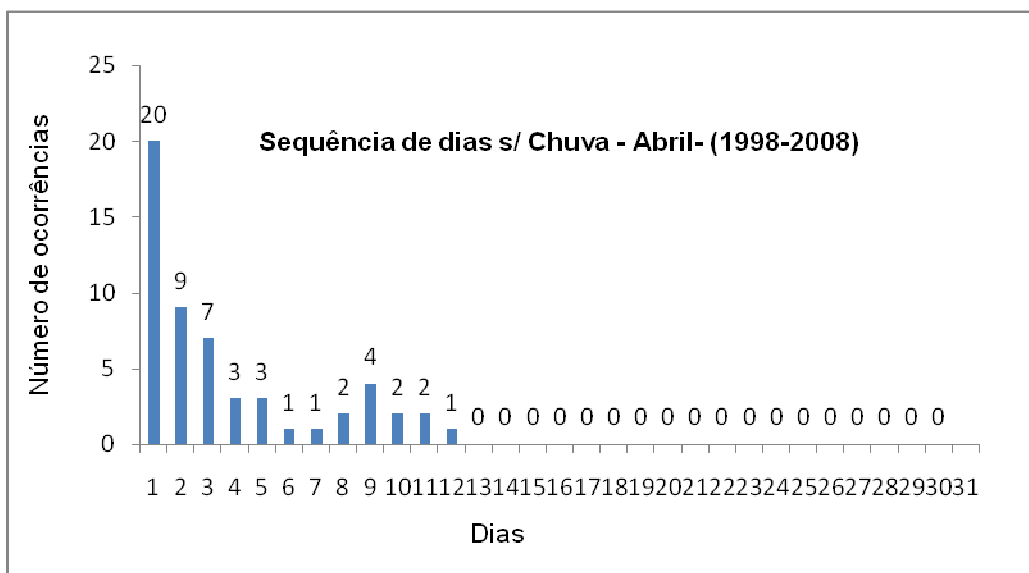


Ano	Seqüência de dias sem chuva no mês de <b>MARÇO</b>																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1998	1	4																													
1999	5	2		2																											
2000		2	2	1																											
2001	4	2	1																												
2002		1	1	1			1																								
2003	1	2		1					1																						
2004	3		1		1		1																								
2005	1			1			1					1																			
2006	3	2	1	1																											
2007	1	2	3										1																		
2008	2	1			1			1																							
Total	21	18	9	7	2	0	3	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>Média Ponderada 2,89 dias</b>																															

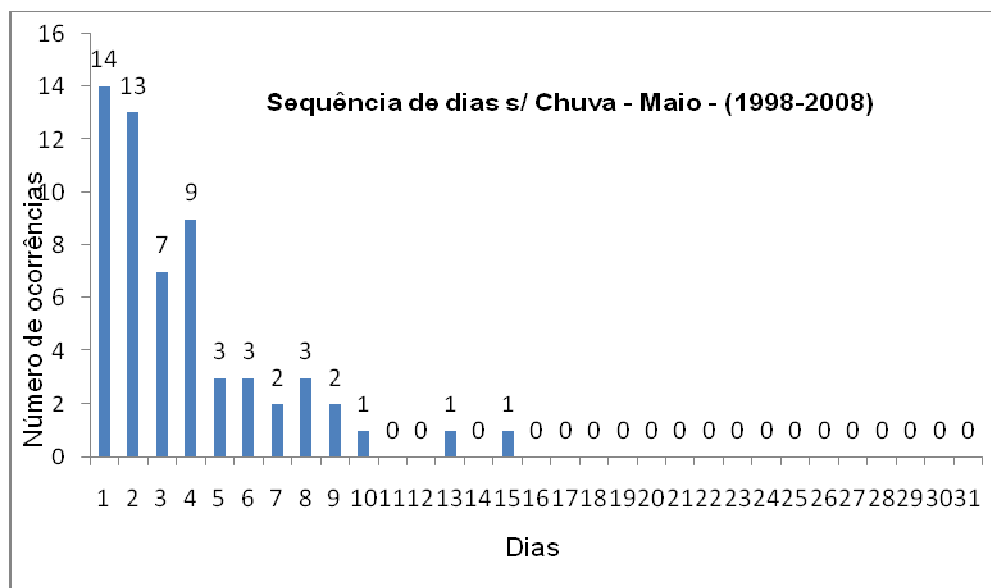




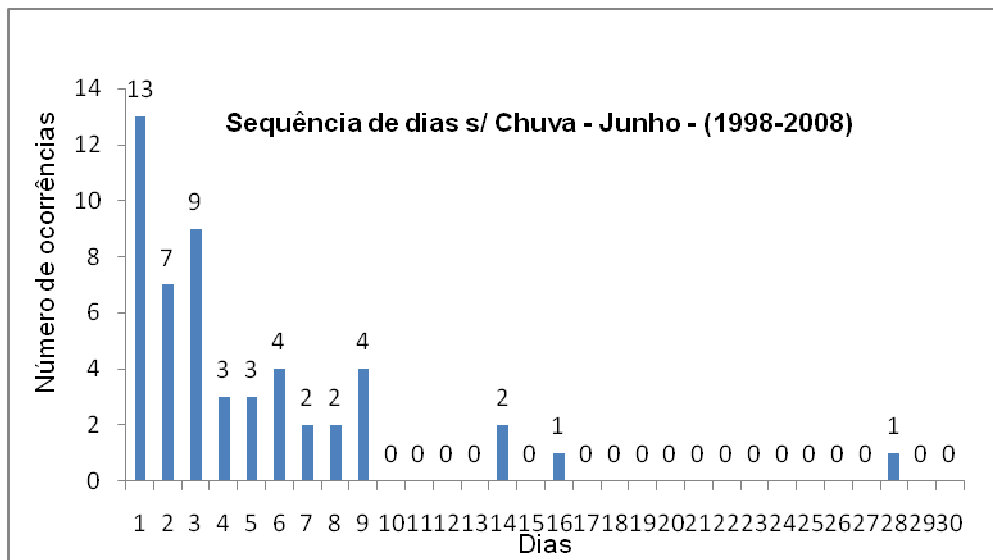
Ano	Seqüência de dias sem chuva no mês de <b>ABRIL</b>																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1998	4				1		1																							
1999	1		1	1					1																					
2000	1										1	1																		
2001				1	1			1																						
2002	2									2																				
2003	1		2		1				1																					
2004	1	4	2																											
2005	3	2									1																			
2006	1	2	1	1							1																			
2007	4		1									1																		
2008	2	1				1		1																						
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>Média Ponderada 3,72 dias</b>																														



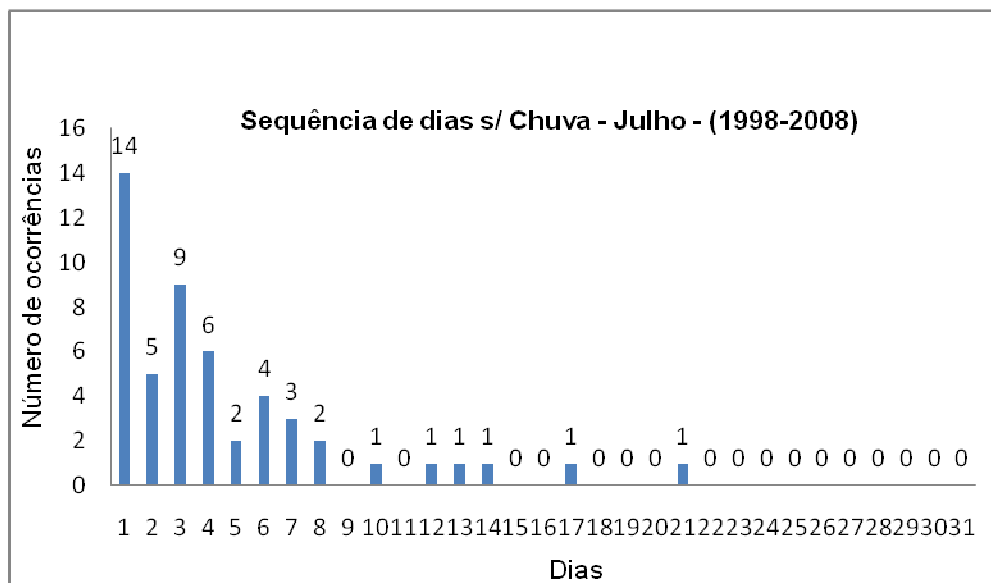
Ano	Sequência de dias sem chuva no mês de MAIO																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1998	1		1				1		1																						
1999		3	1	1					1																						
2000	2	3	1	1	1																										
2001	2	2	1	2																											
2002		1		1				1																							
2003	1						1	1		1																					
2004	2			2	1																										
2005	1	1		1	1	1																									
2006						1		1					1																		
2007	4	2	3	1																											
2008	1	1				1									1																
Total	14	13	7	9	3	3	2	3	2	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Média Ponderada	3,81 dias																														



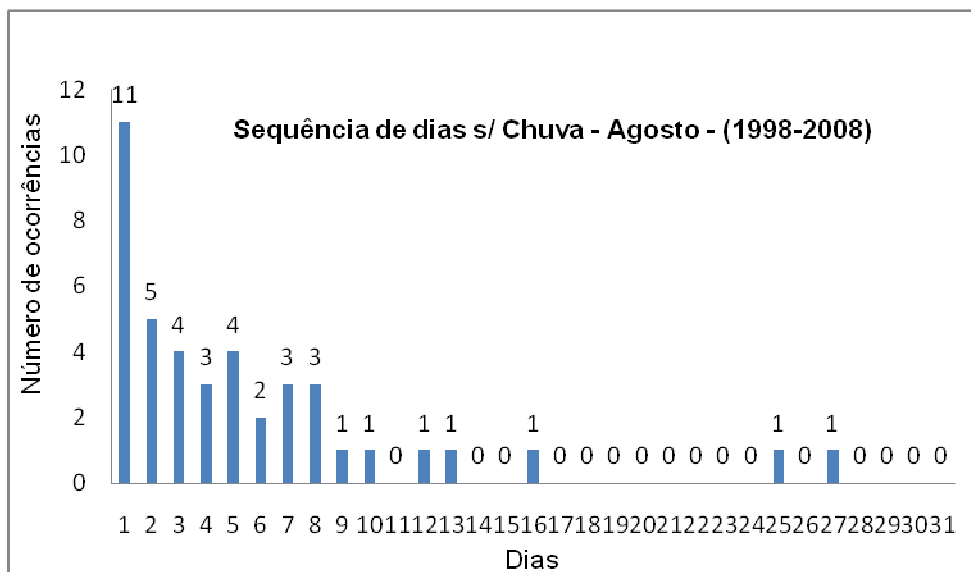
Ano	Seqüência de dias sem chuva no mês de JUNHO																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1998	1	2	3				1																							
1999	4	2	2	1																										
2000					1										1															
2001	1			2	1	1																								
2002	1		2					1	1																					
2003	2	1							2																					
2004	1	1					1							1																
2005								1						1																
2006	1	1	2		1				1																					
2007																												1		
2008	2				1	2																								
Total	13	7	9	3	3	4	2	2	4	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Média Ponderada	5,04 dias																													



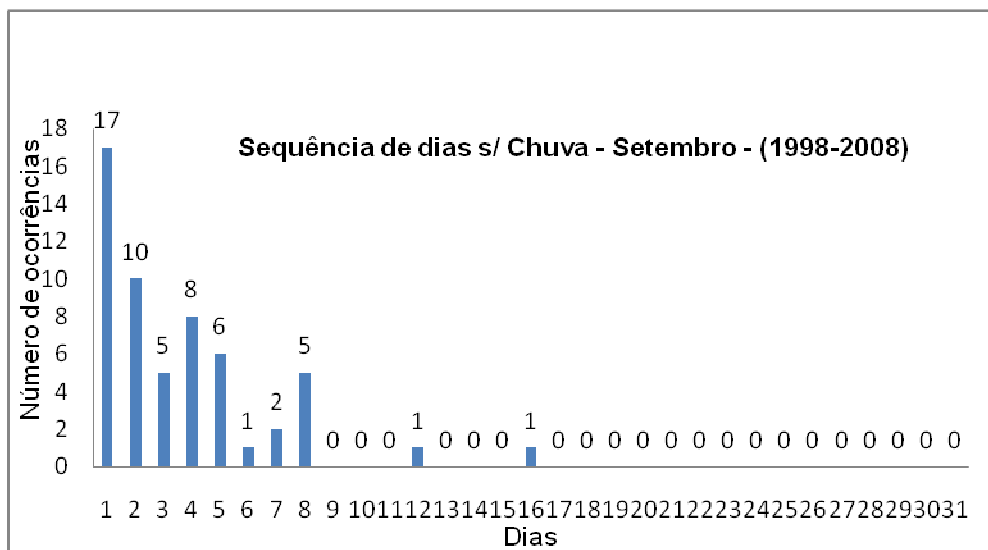
Ano	Sequência de dias sem chuva no mês de JULHO																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1998	4	2	3					1																							
1999	3	1										1																			
2000	1		1			1	1																								
2001	2		1	1						1																					
2002	1	1	1	1	1	1																									
2003				1	1									1																	
2004	1	1	1	1				1																							
2005	1		1	1			1	1																							
2006	1							1										1													
2007			1	1									1																		
2008						1																									
Total	14	5	9	6	2	4	3	2	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Média Ponderada	4,47 dias																														



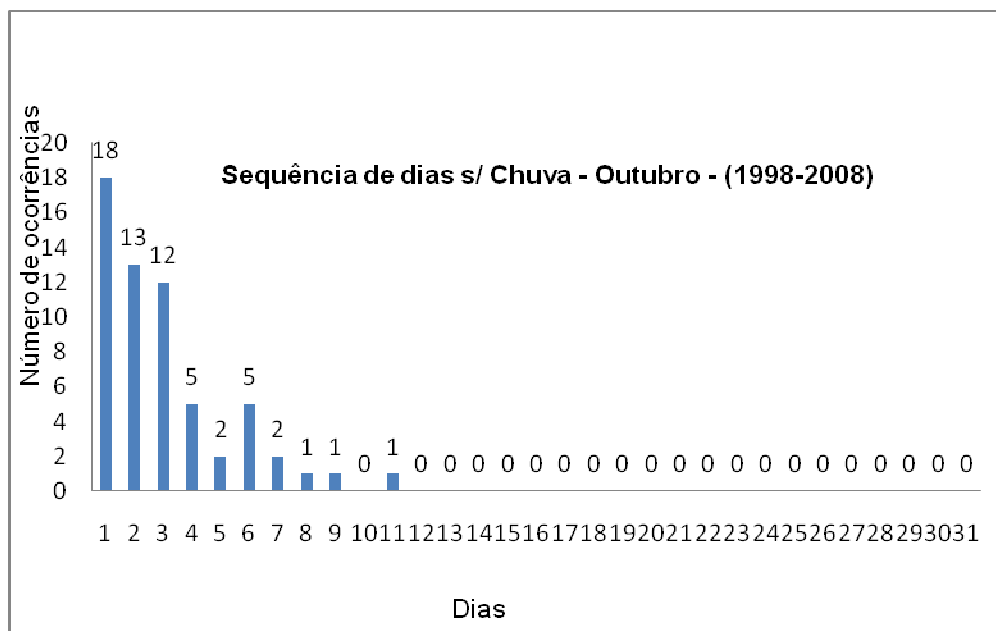
Ano	Sequência de dias sem chuva no mês de <b>AGOSTO</b>																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1998	4	1	1				1																								
1999	1			1				1																							
2000	1	1			2			1																							
2001	1	1							1	1																					
2002	2			1		1	1																								
2003				1	1		1	1																							
2004			1																							1					
2005	1	1			1							1																			
2006			1			1							1																		
2007	1																											1			
2008		1	1													1															
Total	11	5	4	3	4	2	3	3	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
<b>Média Ponderada</b>	<b>5,48 dias</b>																														



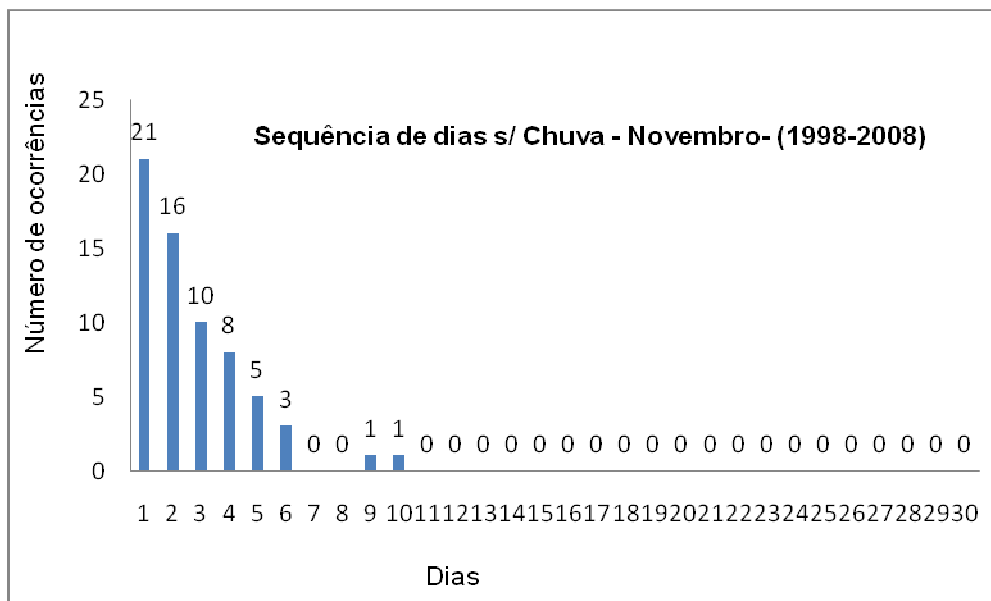
Ano	Sequência de dias sem chuva no mês de SETEMBRO																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1998	1	1	2	1																											
1999	2				1		2																								
2000	1			2		1																									
2001	3	2		1	1																										
2002	1	1	1	1				1																							
2003	2				1			2																							
2004	1	1		1				2																							
2005	4	1			1																										
2006				1	1							1																			
2007	2	1	1														1														
2008		3	1	1	1																										
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>Média Ponderada</b>	<b>3,61 dias</b>																														



Ano	Seqüência de dias sem chuva no mês de OUTUBRO																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1998	1	1	2	1																												
1999	3					2																										
2000	2		1	1		1																										
2001	2	1					2																									
2002	3	2	1			1																										
2003	1	2		1	1			1																								
2004			2		1				1																							
2005	2	2	1	1																												
2006	1	1	1	1		1																										
2007	1	2	1									1																				
2008	2	2	3																													
Total	18	13	12	5	2	5	2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Média Ponderada	3,03 dias																															

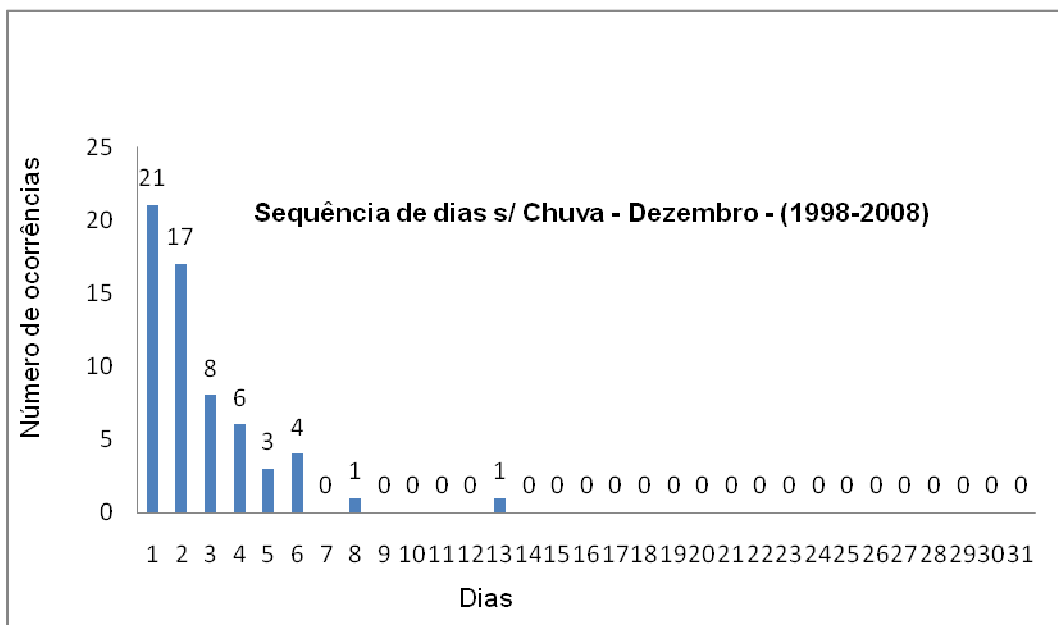


Ano	Sequência de dias sem chuva no mês de NOVEMBRO																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1998	2	3		2	1																										
1999		2	1	1	1																										
2000	2	3		1	1																										
2001		1	1		1					1																					
2002	4	3	1																												
2003	4		1			1																									
2004	2	1	1							1																					
2005				2	2																										
2006	1		1	1																											
2007	1	1	2	1	1																										
2008	5	2	2																												
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>Média Ponderada</b>	<b>2,72 dias</b>																														

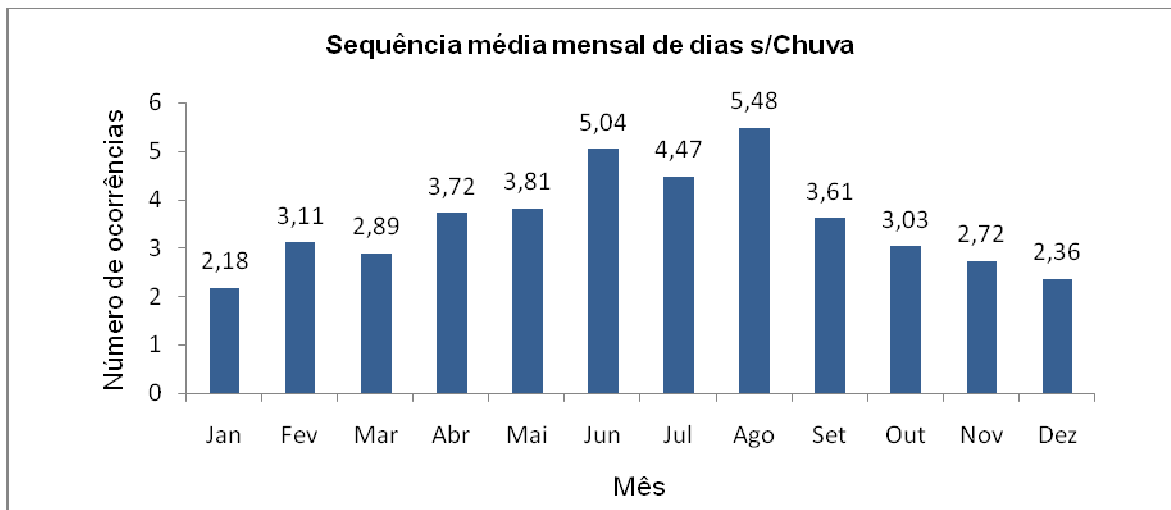




Ano	Sequência de dias sem chuva no mês de DEZEMBRO																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
1998		3	2	1																												
1999		4	1																													
2000	2	1				1		1																								
2001	2	1	1	1																												
2002	4	1	1		1																											
2003	2		1	1																												
2004	2			1		1																										
2005	2	3	1	1	1																											
2006	2	2			1	1																										
2007	5	2	1																													
2008				1		1								1																		
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	
<b>Média Ponderada</b>	<b>2,36 dias</b>																															



Os resultados encontrados através do cálculo da média ponderada para a seqüência de dias sem chuva são apresentados são representados abaixo:



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)