

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Karla Ponzó Vaccari Anecchini

*Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins
Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES)*

VITÓRIA

2005

Livros Grátis

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

Milhares de livros grátis para download.

Karla Ponzó Vaccari Anecchini

*Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins
Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES)*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves.

VITÓRIA

2005

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

A613a Anecchini, Karla Ponzo Vaccari, 1980-
Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de
Vitória (ES) / Karla Ponzo Vaccari Anecchini. – 2005.
150 f. : il.

Orientador: Ricardo Franci Gonçalves.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo,
Centro Tecnológico.

1. Águas pluviais - Aproveitamento. 2. Água - Consumo. 3.
Reservatórios. 4. Águas pluviais - Índice. 5. Água - Qualidade. I.
Gonçalves, Ricardo Franci. II. Universidade Federal do Espírito Santo.
Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

Karla Ponzó Vaccari Anecchini

*Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins
Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES)*

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisição parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada em 28 de Dezembro de 2005.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves
Orientador - UFES

Prof. Dr. Sérgio Túlio Alves Cassini
Examinador Interno - UFES

Prof. Dr. Luiz Sergio Philippi
Examinador Externo – UFSC

A minha querida e amada família.

Agradecimentos

A Deus, por me dar o discernimento para superar os momentos difíceis desta jornada e por me proporcionar muitas alegrias.

A chuva, sem a qual a realização desta pesquisa seria impossível.

Aos meus pais Beto e Rita, por todo o amor e pelos ensinamentos diários, me mostrando a diferença entre o certo e o errado.

A minha irmã Roberta, pelo carinho e amizade e a toda a minha querida família pelo apoio.

Ao meu marido Robson, pela paciência, pelo carinho e pela compreensão nas horas mais difíceis e nas constantes ausências.

Ao professor Ricardo Franci pela oportunidade, pelas constantes cobranças e pela orientação.

Aos professores Sérgio Túlio A. Cassini e Luiz Sergio Philippi, pela disponibilidade em avaliar este trabalho.

Ao grupo de pesquisa de água de chuva: Thais Cardinali, Pricila Bolsoni, Bruno Coutinho, Dilkerson Ernandes e Luciléia Silveira, pela dedicação à pesquisa e pelos banhos de chuva.

Aos funcionários da UFES: Elias e Eduardo, pela ajuda na montagem da estrutura de coleta de água de chuva.

A todos os amigos do LABSAN, que somaram muita sabedoria e muitas alegrias a minha vida. Principalmente aqueles e gritavam “Está chovendo Karla, abre a caixa!”.

Ao Liceu de Artes e Ofícios (LAO) de São Paulo, pela doação dos hidrômetros.

Ao PROSAB 4 e ao CNPq pelo apoio financeiro.

“O valor das coisas não está no tempo que elas duram, mas na intensidade com que acontecem. Por isso, existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis.”

Fernando Pessoa

Resumo

O uso de fontes alternativas de suprimento é citado como uma das soluções para o problema de escassez da água. Dentre estas fontes destaca-se o aproveitamento da água da chuva, por se tratar de uma das soluções mais simples e baratas para preservar a água potável, trazendo ainda como benefício a redução do escoamento superficial, minimizando os problemas com enchentes. Diante da necessidade e do crescente interesse pelo aproveitamento da água da chuva, esta pesquisa promoveu a caracterização da água da chuva na cidade de Vitória (ES) e estudou o seu potencial de utilização em áreas urbanas, com vistas ao seu aproveitamento para fins não potáveis em edificações. Esta pesquisa contou com um sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva instalado no Parque Experimental do Núcleo Água na UFES. O sistema composto por telhado metálico de 80 m², calhas em PVC, filtro auto-limpante, reservatório de eliminação de primeira chuva e reservatório de armazenamento final, possibilitou a coleta de amostras para a verificação da qualidade da água da chuva ao longo do sistema de aproveitamento. Foi realizada uma extensiva caracterização da água da chuva coletada tanto do sistema de aproveitamento quanto da atmosfera, com análise de 22 parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Buscou-se junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) os dados pluviométricos da cidade de Vitória, realizou-se a quantificação das demandas a serem atendidas pela água da chuva e, por fim, utilizou-se o Método de Rippl, o Método Iterativo e o Modelo Comportamental para dimensionamento de reservatórios. Como resultado da etapa de caracterização, observou-se que a água da chuva da atmosfera de Vitória é de boa qualidade, apresentando baixo índice de acidificação (11%). Verificou-se que, a água da chuva piora a sua qualidade ao passar pela superfície de captação, entretanto, ao remover-se os primeiros milímetros de chuva, a chuva direcionada ao reservatório de armazenamento final apresenta qualidade compatível com os usos não potáveis. Constatou-se que o modelo de dimensionamento que resultou no menor volume de reservação, sem perda na eficiência do sistema foi o Modelo Comportamental (PAE - Produção antes do enchimento). A amortização do investimento em sistemas de aproveitamento de água de chuva ocorre de forma lenta, num período de 8 a 10 anos para o caso de residências unifamiliares, sobretudo devido ao baixo custo da água potável.

Abstract

The use of alternative water sources is cited as one of the solutions for the problem of water scarcity. Among the sources, the rainwater harvesting is distinguished, for being one of the simplest and cheapest solutions to preserve drinking water, bringing as another benefit the reduction of the superficial runoff, minimizing the problems with floods. With the necessity and the increasing interest for the rainwater harvesting, this research promoted the characterization of the rainwater in the city of Vitória (ES) and studied its potential of use in urban areas for non potable uses. This research counted on a system of rainwater collection, installed in the Experimental Park of Núcleo Água at UFES. The system composed of metallic roof of 80 m², PVC gutters, self-cleaning filter, first flush device and storage tank, made possible the collection of samples for the rainwater quality verification. An extensive characterization was carried through with the rainwater collected from the harvesting system and with the rainwater collected from the atmosphere, where 22 parameters physical-chemical and microbiological were analyzed. The historical data of rainfall in the city of Vitória was obtained with the National Institute of Meteorology (INMET), the water demand to be supplied with the rainwater was quantified and, finally, were used the Method of Rippl, the Interactive Method and the Behavioral Model for sizing the rainwater storage tanks. As result of the characterization, was observed that the water from the atmospheric rain has a good quality, presenting a low index of acidity (11%). It was verified that, after passing for the catchment surface, the rainwater quality became worst, however with the removal of the first rain, the water directed to the storage tank presented good quality, being compatible with non potable uses. The sizing model that resulted in the lower storage volume, without efficiency lost, was the Behavioral Model (YBS – Yield before spillage). The payback of the investment in rainwater harvesting systems occurs slowly, in a period of 8 to 10 years, especially in the case of small residences, mainly because of the low cost of the drinking water.

Lista de figuras

Figura 1 – Distribuição dos recursos hídricos e da população no Brasil	25
Figura 2 – Previsão de disponibilidade hídrica no Brasil	26
Figura 3 – Distribuição do consumo de água nas residências na Alemanha.	29
Figura 4 – Distribuição do consumo de água nas residências em São Paulo.....	29
Figura 5 – Sistema de captação de água de chuva do Irã (Abanbar)	31
Figura 6 – Cisterna do século X (Chultuns).....	31
Figura 7 – Esquema de cisterna implementada na zona rural	34
Figura 8 – Sistema de aproveitamento da água da chuva de telhados.....	36
Figura 9 – Sistema de aproveitamento da água da chuva de superfícies no solo	36
Figura 10 – Sistema de fluxo total.....	37
Figura 11 – Sistema com derivação.....	37
Figura 12 – Sistema com volume adicional de retenção	37
Figura 13 – Sistema com infiltração no solo.....	37
Figuras 14 e 15 – Sistemas de grade para remoção de folhas e material grosseiro.	39
Figura 16 – Descarte da primeira chuva com sistema de bóia.....	41
Figura 17 – Descarte da primeira chuva com reservatório.....	41
Figura 18 – Filtro de areia e carvão para purificação da água da chuva.....	41
Figura 19 – Reservatório em alvenaria	42
Figura 20 – Reservatório em ferro-cimento.....	42
Figura 21 – Reservatório de aço	43
Figura 22 – Reservatório de polietileno.....	43
Figuras 23 e 24 – Reservatórios de plástico	43
Figura 25 – Prédio com rede dupla de água do Parque Experimental do Núcleo Água	65
Figura 26 – Telhado metálico.....	66
Figura 27 – Calha em PVC	66
Figura 28 – Filtro Auto-limpante	66
Figura 29 – Reservatório de Eliminação de Primeira Chuva.....	67
Figura 30 – Medidor de Vazão	67
Figura 31 – Tela em Nylon.....	67
Figura 32 – Reservatório de Armazenamento Final.....	67

Figura 33 – Vista Geral do Sistema.....	67
Figura 34 – Coleta da amostra da superfície do reservatório.....	72
Figura 35 – Revolvimento do material sedimentado no fundo do reservatório para posterior coleta da amostra	72
Figura 36 – Gráfico do Tipo Box Plot	74
Figura 37 – Pluviógrafo instalado no Parque Experimental do Núcleo Água	75
Figura 38 – DataLogger da Estação Meteorológica do Parque Experimental do Núcleo Água	75
Figura 39 – Hidrômetro instalado no prédio do Parque Experimental do Núcleo Água	76
Figura 40 – Planilha de cálculo do Método de Rippl	80
Figura 41 – Planilha de cálculo do Método Interativo.....	82
Figura 42 – Planilha de cálculo do Modelo Comportamental	83
Figura 43 a e b – Caracterização dos milímetros de chuva da atmosfera de Vitória.	86
Figura 44 – Resultado de pH da chuva da atmosfera e da chuva do telhado (1ª etapa)	88
Figura 45 – Resultado de alcalinidade da chuva da atmosfera e da chuva do telhado (1ª etapa)	88
Figura 46 – Distribuição do pH da água da chuva da atmosfera de Vitória.....	89
Figura 47 – Comparação dos resultados da chuva da atmosfera com a chuva do telhado (1ª etapa)	90
Figura 48 a e b – Comparação dos resultados da chuva da atmosfera com a chuva do telhado (1ª etapa).....	91
Figura 49 – Concentração de OD nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas ...	94
Figura 50 – Condutividade elétrica das amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas..	94
Figura 51 – Turbidez das amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas	95
Figura 52 – Cor verdadeira das amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas	95
Figura 53 – Concentração de dureza nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas.....	95
Figura 54 – Concentração de DBO nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas.	96
Figura 55 – Concentração de DQO nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas.	96
Figura 56 – Concentração de cloretos nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas.....	97

Figura 57 – Concentração de sulfatos nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas.....	97
Figura 58 – Concentração de Coliformes Totais nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas.....	98
Figura 59 – Concentração de sólidos nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas.....	99
Figura 60 – Comparação dos resultados de turbidez da chuva da superfície com a chuva do fundo do reservatório	102
Figura 61 – Comparação dos resultados de cor verdadeira da chuva da superfície com a chuva do fundo do reservatório.....	102
Figura 62 – Comparação dos resultados de SST da chuva da superfície com a chuva do fundo do reservatório	102
Figura 63 – Comparação dos resultados de ST da chuva da superfície com a chuva do fundo do reservatório	102
Figura 64 – Turbidez das amostras da 5ª etapa de caracterização da água da chuva	104
Figura 65 – Concentração de SST das amostras da 5ª etapa de caracterização da água da chuva	104
Figura 66 – Concentração de DBO nas amostras da 5ª etapa de caracterização da água da chuva	105
Figura 67 – Concentração de Coliformes totais nas amostras da 5ª etapa de caracterização da água da chuva.....	105
Figura 68 – Dados pluviométricos de Vitória de 1976 a 2003.....	107
Figura 69 – Número de dias chuvosos por mês de Vitória.....	107
Figura 70 – Comparação da chuva de 2005 com a média histórica de Vitória	108
Figura 71 – Dimensionamento de reservatório pelo Método de Rippl para a demanda calculada da UFES.....	111
Figura 72 – Balanço hídrico do sistema dimensionado pelo Método de Rippl para a demanda calculada da UFES.....	112
Figura 73 – Dimensionamento de reservatório pelo Método de Rippl para a demanda medida da UFES	113
Figura 74 – Dimensionamento de reservatório pelo Método de Rippl para a demanda residencial.....	114

Figura 75 – Balanço hídrico do sistema dimensionado pelo Método de Rippl para a demanda residencial.....	114
Figura 76 – Balanço hídrico do sistema dimensionado pelo Método Interativo para a demanda calculada da UFES	116
Figura 77 – Balanço hídrico do sistema dimensionado pelo Método Interativo para a demanda residencial.....	117
Figura 78 – Dimensionamento de reservatório pelo Modelo Comportamental para a demanda calculada da UFES	118
Figura 79 – Balanço hídrico do sistema dimensionado pelo Modelo Comportamental PAE para a demanda calculada da UFES	119
Figura 80 – Dimensionamento de reservatório pelo Modelo Comportamental para a demanda medida da UFES	120
Figura 81 – Dimensionamento de reservatório pelo Modelo Comportamental para a demanda residencial.....	121
Figura 82 – Tela de monitoramento do sistema supervisorio Elipse Scada.....	144
Figura 83 – Esquema das interconexões de rede do sistema de monitoramento dos hidrômetros.....	145

Lista de tabelas

Tabela 1 – Classificação da disponibilidade hídrica segundo o UNEP	25
Tabela 2 – Valores de C de diferentes autores	50
Tabela 3 – Demanda interna e externa de água não potável em uma residência	51
Tabela 4 – Padrão de potabilidade da Portaria Nº518/04 do MS.....	59
Tabela 5 – Padrão de corpos de água doce da Resolução CONAMA Nº357/05	60
Tabela 6 – Padrão de Balneabilidade da Resolução CONAMA Nº274/00	61
Tabela 7 – Padrão de qualidade de água para reúso segundo a NBR 13.969/97 da ABNT	62
Tabela 8 – Padrão de Qualidade de Água para Reúso do manual Conservação e Reúso da Água em Edificações (ANA, FIESP, SindusCon-SP, 2005). ..	63
Tabela 9 – Dados para cálculo da demanda de água não potável da UFES.....	76
Tabela 10 – Dados para cálculo da demanda de água não potável de uma residência	77
Tabela 11 – Dados utilizados no dimensionamento do reservatório de água de chuva	78
Tabela 12 – Comparação com os resultados da chuva da atmosfera de outros autores.....	92
Tabela 13 – Comparação com os resultados da chuva coletada de telhado de outros autores.....	92
Tabela 14 – Comparação da qualidade da chuva do reservatório com padrões de água de reúso.....	100
Tabela 15 – Dados de precipitação de Vitória de 1976 a 2003.....	106
Tabela 16 – Resultado do dimensionamento de reservatório de armazenamento de água de chuva	122
Tabela 17 – Dados utilizados na análise de viabilidade econômica do sistema da UFES	124
Tabela 18 – Dados utilizados na análise de viabilidade econômica do sistema de uma residência	125

Lista de siglas

ABCMAC	Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
APHA	American Public Health Association
ARCOSA	American Rainwater Catchment Systems Association
BA	Bahia
C	Coeficiente de Escoamento Superficial
CESAN	Companhia Espírito Santense de Saneamento
cm	Centímetro
CF	Coliformes fecais
coef var	Coeficiente de variação
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
cond	Condutividade elétrica
COV	Carbono Orgânico Volátil
CPATSA	Centro de Pesquisas Agropecuárias do Trópico Semi-Árido
CT	Coliformes totais
°C	Grau Celsius
d	Dia
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ES	Espírito Santo
E. coli	<i>Escherichia coli</i>
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
hab	Habitante
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IRCOSA	International Rainwater Catchment Systems Association
km	Quilômetro
L	Litro
LABSAN	Laboratório de Saneamento da UFES
LAO	Liceu de Artes e Ofícios
m ²	Metro quadrado

m ³	Metro cúbico
min	Mínimo
max	Máximo
mg/L	Miligrama por litro
ml	Mililitro
mm	Milímetro
MP	Material Particulado
MS	Ministério da Saúde
n	Número de amostras
NBR	Norma Brasileira
NMP/100 ml	Número mais provável por 100 mililitros
OD	Oxigênio Dissolvido
ONG's	Organizações Não Governamentais
PAE	Produção antes do enchimento
PDE	Produção depois do enchimento
pH	Potencial Hidrogeniônico
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
RAF	Reservatório de Armazenamento Final
REPC	Reservatório de Eliminação de Primeira Chuva
SAAE	Sistema Autônomo de Água e Esgoto
SC	Santa Catarina
SindusCon-SP	Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo
SDT	Sólido Dissolvido Total
SST	Sólido Suspenso Total
ST	Sólido Total
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
uH	Unidade Hazen
UNEP	United Nations Environment Programme
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
VMP	Valor máximo permitido
YBS	Yield before spillage

Na^+	Íon Sódio
Ca^{+2}	Íon Cálcio
Mg^{+2}	Íon Magnésio
K^+	Íon Potássio
Cl^-	Íon Cloreto
HNO_3	Ácido nítrico
SO_4^{2-}	Íon Sulfato
NH_4^+	Íon Amônio
NO_3^-	Íon Nitrato
NO_x	Óxido de Nitrogênio
SO_2	Óxido de Enxofre
CO_2	Dióxido de Carbono
Σ	Somatório
%	Porcentagem
θ	Teta

Sumário

1. INTRODUÇÃO	21
2. OBJETIVOS	23
2.1 OBJETIVO GERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1 A PROBLEMÁTICA DA ESCASSEZ DA ÁGUA.....	24
3.2 USO DA ÁGUA PELA SOCIEDADE	27
3.3 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA AO LONGO DA HISTÓRIA.....	30
3.3.1 O Aproveitamento da Água da Chuva no Brasil.....	33
3.4 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA	35
3.4.1 Área de Captação.....	38
3.4.2 Remoção de Materiais Grosseiros	39
3.4.3 Tratamento da Água da Chuva	39
3.4.4 Armazenamento e Utilização da Água da Chuva	42
3.5 ASPECTOS QUALITATIVOS DA ÁGUA DA CHUVA	45
3.6 DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA.....	49
3.6.1 Modelos de dimensionamento de reservatórios	52
3.7 LEGISLAÇÃO SOBRE O APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA	57
3.7.1 Padrões de Qualidade de Água	58
4. MATERIAL E MÉTODOS	65
4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA.....	65
4.2 SISTEMA DE COLETA DA ÁGUA DA CHUVA.....	66
4.2.1 Reservatório de Eliminação de Primeira Chuva	67
4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA DA ATMOSFERA	68
4.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA AO LONGO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO.....	70

4.4.1	1ª Etapa – Sem tratamento simplificado	70
4.4.2	2ª Etapa – Com eliminação de 0,5 mm de primeira chuva.....	71
4.4.3	3ª Etapa – Com eliminação de 1,0 mm de primeira chuva.....	72
4.4.4	4ª Etapa – Com eliminação de 1,5 mm de primeira chuva.....	72
4.4.5	5ª Etapa – Após 7 dias de armazenamento.....	73
4.4.6	Análise Estatística	74
4.5	QUANTIFICAÇÃO DO ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO DE VITÓRIA	74
4.6	QUANTIFICAÇÃO DA DEMANDA POR ÁGUA NÃO POTÁVEL.....	75
4.6.1	Prédio do Núcleo Água.....	75
4.6.2	Residência Unifamiliar.....	77
4.7	DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE CHUVA.....	77
4.7.1	Método de Rippl	79
4.7.2	Método Interativo	80
4.7.3	Modelo Comportamental	82
4.8	ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA	84
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	86
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA CHUVA DA ATMOSFERA.....	86
5.2	COMPARAÇÃO DA CHUVA DA ATMOSFERA COM A CHUVA COLETADA DO TELHADO (1ª ETAPA).....	87
5.3	CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA COLETADA NO SISTEMA DE APROVEITAMENTO	93
5.4	COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA SUPERFÍCIE E DO FUNDO DO RESERVATÓRIO	101
5.5	VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA COM O ARMAZENAMENTO	103
5.6	CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS DE VITÓRIA.....	106
5.7	QUANTIFICAÇÃO DA DEMANDA POR ÁGUA NÃO POTÁVEL.....	109
5.7.1	Prédio do Núcleo Água.....	109
	DEMANDA CALCULADA	109
	DEMANDA MEDIDA.....	109
5.7.2	Residência Unifamiliar.....	110
5.8	DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE CHUVA	110
5.8.1	Método de Rippl	110

5.8.2 Método Interativo	115
5.8.3 Modelo Comportamental	117
5.9 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA	123
5.9.1 Sistema do Prédio do Núcleo Água.....	123
5.9.2 Sistema da Residência Unifamiliar.....	125
6. CONCLUSÃO	127
7. RECOMENDAÇÕES	131
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	132
ANEXOS.....	143
ANEXO A.....	143
ANEXO B.....	146
ANEXO C.....	147
ANEXO D.....	148

1. INTRODUÇÃO

A escassez da água, problema enfrentado em vários locais, é resultado do consumo cada vez maior dos recursos hídricos, do mau uso que se faz dos mesmos, da poluição, do desperdício e, sobretudo, da falta de políticas públicas que estimulem o uso sustentável da água. A essencialidade desse recurso natural é indiscutível, sendo extremamente necessário para a manutenção da vida no planeta.

É em virtude deste panorama que cresce a necessidade de encontrar meios e formas de preservar a água potável, passando necessariamente pela busca de novas tecnologias e pela revisão do uso da água pela população.

A meta da atualidade é a busca por práticas que aprimorem o uso da água, como programas de conservação, baseados em medidas técnicas e em mudanças de comportamento, motivadas por incentivos que vão desde a educação ambiental até a regulamentação de leis e de estrutura tarifária (VICKERS, 2001 apud TOMAZ, 2003).

O modelo do sistema de abastecimento de água utilizado nos dias de hoje é arcaico e sofre sérios problemas para manter o abastecimento de água de forma estável e com qualidade. Atualmente, a água tratada pelas concessionárias de saneamento atende a exigentes padrões de potabilidade, e chega às residências para ser utilizada para todos os fins, tanto para beber quanto para dar descarga nos vasos sanitários.

Observa-se que a água destinada ao consumo humano pode ter dois fins distintos, parte da água que abastece uma residência é utilizada para higiene pessoal, para beber e cozinhar alimentos, sendo estes usos designados como usos potáveis, a outra parcela da mesma água que chega às residências é destinada aos usos não potáveis, como lavagem de roupas, carros e calçadas, irrigação de jardins e descarga de vasos sanitários. Estudos mostram que o consumo de água destinado

aos usos não potáveis em uma residência varia de 30 a 40% do total de água consumida (The Rainwater Technology Handbook, 2001 apud TOMAZ, 2003). Esta parcela de água poderia ser atendida por fontes alternativas, visando à conservação da água e gerando uma economia para o consumidor.

O uso de fontes alternativas de suprimento é citado como uma das soluções para o problema de escassez da água. Dentre estas fontes destaca-se o aproveitamento da água da chuva, o reúso de águas servidas e a dessalinização da água do mar. O aproveitamento da água da chuva caracteriza-se por ser uma das soluções mais simples e baratas para preservar a água potável.

A utilização da água da chuva além de trazer o benefício da conservação da água e reduzir a dependência excessiva das fontes superficiais de abastecimento, reduz o escoamento superficial, minimizando os problemas com enchentes, buscando garantir a sustentabilidade urbana, que segundo Dixon, Butler e Fewkes (1999), só será possível através da mobilização da sociedade em busca do uso apropriado e eficiente da água.

Diante da necessidade e do crescente interesse pelo aproveitamento da água da chuva, é conveniente ter atenção para aspectos fundamentais como a qualidade da água e a quantidade de chuva disponível em cada região.

A chuva ao cair trás os elementos presentes na atmosfera, os quais poderão interferir na qualidade desta água. Com relação ao aspecto quantitativo, é importante conhecer a capacidade de produção de chuva do sistema de aproveitamento e a demanda que se deseja atender com a mesma, para construir um sistema que garanta o abastecimento na maior parte do tempo e que seja economicamente viável.

Dentro deste contexto, esta pesquisa promoveu a caracterização da água da chuva na cidade de Vitória (ES) e estudou o seu potencial quantitativo de utilização em áreas urbanas, com vistas ao seu aproveitamento como fonte de abastecimento para fins não potáveis em edificações.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa teve como objetivo caracterizar a água da chuva na cidade de Vitória (ES), bem como estudar o seu potencial quantitativo de utilização em áreas urbanas, promovendo um estudo de compatibilização de demanda por água não potável e produção de chuva, visando a redução do consumo de água potável nas edificações.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a água da chuva coletada diretamente da atmosfera da cidade de Vitória.
 - Avaliar as modificações das características físico-químicas e microbiológicas da água da chuva ao longo de um sistema de aproveitamento.
 - Quantificar o índice pluviométrico da cidade de Vitória.
 - Identificar e avaliar modelos de dimensionamento de reservatório de armazenamento de água de chuva, visando otimizar a relação entre a disponibilidade da água da chuva e a demanda pela mesma.
-

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A PROBLEMÁTICA DA ESCASSEZ DA ÁGUA

Atualmente vários países enfrentam o problema da escassez da água, em decorrência do desenvolvimento desordenado das cidades, da poluição dos recursos hídricos, do crescimento populacional e industrial, que geram um aumento na demanda pela água, provocando o esgotamento desse recurso.

Outro aspecto importante a cerca dos recursos hídricos é a desigualdade com que o mesmo se distribui nas regiões do mundo e até mesmo no Brasil. Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação, 2002), o Brasil detém cerca de 13,7% de toda a água superficial da Terra, sendo que desse total, 70% está localizado na região amazônica e apenas 30% está distribuído pelo resto do país.

A Figura 1 apresenta os dados da distribuição dos recursos hídricos e da população em cada região do Brasil. Observa-se que as regiões Norte e Centro-Oeste detêm a maior parte dos recursos hídricos do país, sendo responsável pelo abastecimento da menor parcela da população, ao passo que as regiões sudeste e nordeste, concentram a menor parcela de água e são responsáveis pelo abastecimento de mais de 70% da população brasileira.

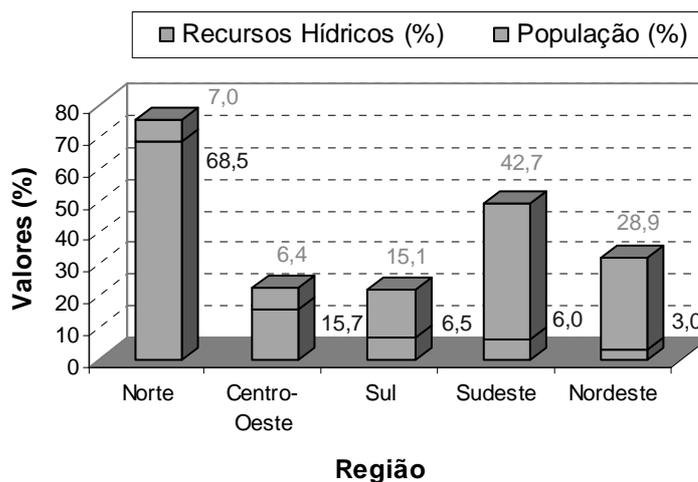


Figura 1 – Distribuição dos recursos hídricos e da população no Brasil

Fonte: Consumo sustentável: Manual de educação, 2002.

A United Nations Environment Programme (UNEP), classifica a disponibilidade hídrica de muito alta a catastróficamente baixa, de acordo com a quantidade de água disponível em m³ por pessoa por ano (Tabela 1), e segundo as projeções do estudo realizado por Ghisi (2005), se nenhuma atitude for tomada no sentido de preservar a água, reservando esta para ser utilizada apenas para os fins mais nobres, a disponibilidade hídrica nas regiões Nordeste e Sudeste do Brasil podem chegar à condição de catastróficamente baixa (Figura 2).

Tabela 1 – Classificação da disponibilidade hídrica segundo o UNEP

Diponibilidade Hídrica (m ³ per capita/ano)	Classificação
Maior que 20.000	Muito Alta
10.000 - 20.000	Alta
5.000 - 10.000	Média
2.000 - 5.000	Baixa
1.000 - 2.000	Muito Baixa
Menor que 1.000	Catastróficamente baixa

Fonte: UNEP, 2002.

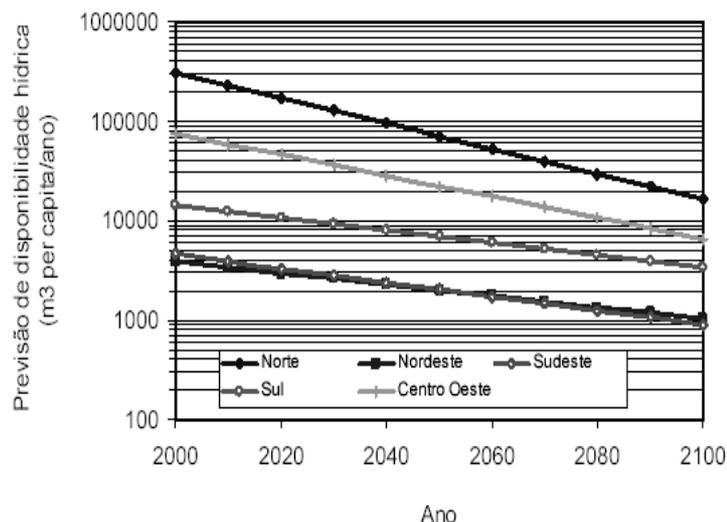


Figura 2 – Previsão de disponibilidade hídrica no Brasil

Fonte: Ghisi, 2005.

As estatísticas internacionais confirmam o problema que diversos países têm em garantir ao cidadão acesso à água com qualidade adequada e quantidade suficiente. Dentre às restrições à melhora desse serviço estão questões econômicas, organizacionais, climáticas e, principalmente, a falta de sustentabilidade hídrica (THOMAS, 2003).

Diante deste panorama, cresce a necessidade de se encontrar meios e formas de preservar a água potável. As soluções que preservam a quantidade e a qualidade da água passam, necessariamente, por uma revisão do uso da água nas residências, tendo como meta a redução do consumo de água potável e conseqüente conservação dos recursos hídricos.

Dentre as estratégias utilizadas atualmente para reduzir o consumo de água pela população pode-se citar a medição individualizada de água, a racionalização do uso, a utilização de dispositivos economizadores de água, como as bacias sanitárias com volume de descarga reduzido e os registros de fechamento automático de torneiras, chuveiros e mictórios e a utilização de fontes alternativas de água.

Em alguns locais, atitudes como a de se instalar submedidores em apartamentos, promovendo a medição individualizada já apresenta bons resultados. Em Guarulhos a medição individualizada de 2.880 ligações trouxe ao SAAE uma economia de 15% no fornecimento de água (TOMAZ, 1999). Campanhas de conscientização dos consumidores também resultam em efeitos positivos e devem ser realizadas inclusive com as crianças, para a formação da consciência ambiental.

3.2 USO DA ÁGUA PELA SOCIEDADE

A água é utilizada em todos os segmentos da sociedade, e está presente no uso doméstico, comercial, industrial, público e agrícola. A demanda de água de cada um desses setores é distinta. Em linhas gerais, a maior parte da água doce do mundo é consumida na agricultura, a qual é responsável pela utilização de, aproximadamente, 70% da mesma. O consumo doméstico está em segundo lugar com 23%; segundo Terpstra (1999), esse consumo tem aumentado durante a última década numa média de 4% por ano. A indústria apresenta um consumo de água de cerca de 7% (CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação, 2002).

A agricultura está na dianteira no consumo de água, principalmente, devido ao desperdício. Segundo Rebouças (2003), o uso da água na agricultura ocorre de forma ineficiente, com um desperdício estimado de cerca de 60% de toda a água fornecida a este setor.

Em uma residência o consumo de água é influenciado por diversos fatores como o clima da região, a renda familiar, o número de habitantes, as características culturais da comunidade e a forma de gerenciamento do sistema de abastecimento, que englobam a micromedição e o valor da tarifa. Estima-se um consumo médio de água nas residências de 200 L/hab/dia, com grandes oscilações, que podem ir de 50 L/hab/dia a 600 L/hab/dia (TSUTIYA, 2005).

Nas residências a realidade do desperdício também se faz presente, a água é má utilizada e desperdiçada dentro das próprias casas, muitas vezes em virtude do desconhecimento, da falta de orientação e informação dos cidadãos. A busca por

uma sociedade sustentável passa, necessariamente, pela educação ambiental e pela mudança de hábitos e conceitos da população, como o de carrear os dejetos com água tratada e clorada.

Uma das tentativas para a solução do problema da água é a reformulação do sistema de abastecimento de água atual, que utiliza água potável para todos os fins, tanto para higiene pessoal quanto para lavar calçada e para carrear dejetos.

Chilton et al. (1999) descrevem que a água de abastecimento utilizada pela população no Reino Unido é purificada para atender exigentes padrões de potabilidade, sendo que grande parte desta água é utilizada para fins que não necessitam de tal qualidade como, por exemplo, nos vasos sanitários.

Segundo Terpstra (1999) os propósitos e aplicações da água dentro de uma residência podem ser separados em quatro categorias: higiene pessoal, descarga de banheiros, consumo e limpeza.

Observa-se portanto, que a água destinada ao consumo humano pode ter dois fins distintos, parte da água que abastece uma residência é utilizada para higiene pessoal, para beber e na preparação de alimentos, sendo estes usos designados como usos potáveis, e a outra parcela da mesma água que chega às residências é destinada aos usos não potáveis, como lavagem de roupas, carros e calçadas, irrigação de jardins e descarga de vasos sanitários. Estudos realizados mostram que dentro de uma residência os pontos de maior consumo de água são para dar descarga nos vasos sanitários, para a lavagem de roupas e para tomar banho (Figuras 3 e 4).

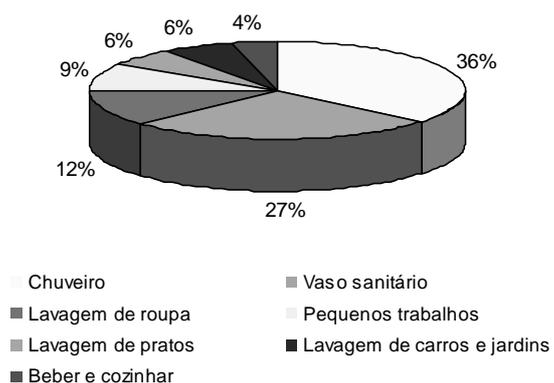


Figura 3 – Distribuição do consumo de água nas residências na Alemanha.

Fonte: The Rainwater Technology Handbook, 2001 apud Tomaz, 2003.

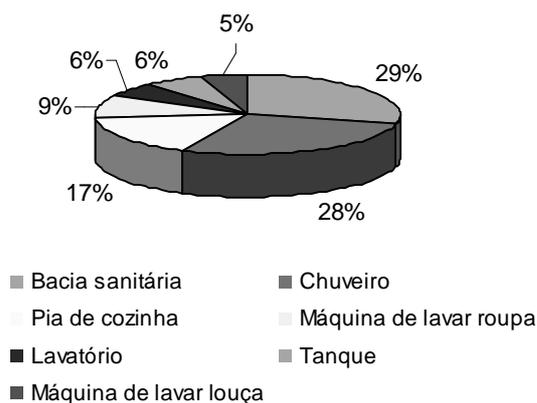


Figura 4 – Distribuição do consumo de água nas residências em São Paulo.

Fonte: Uso racional da água - USP, 1995.

Em média, 40% do total de água consumida em uma residência são destinados aos usos não potáveis. Desta forma, estabelecendo um modelo de abastecimento de rede dupla de água, sendo uma rede de água potável e outra de água de reúso, a conservação da água, através da redução do consumo de água potável, seria garantida.

O uso de fontes alternativas de suprimento para o abastecimento dos pontos de consumo de água não potável é uma importante prática na busca da sustentabilidade hídrica. Dentre as fontes alternativas pode-se citar o aproveitamento da água da chuva, o reúso de águas servidas e a dessalinização da água do mar. Destaca-se o aproveitamento da água da chuva como fonte alternativa de suprimento pela sua simplicidade.

A precipitação da chuva é umas das etapas do ciclo hidrológico, também conhecido como ciclo da água. De toda a água precipitada, parte escoar pela superfície do solo até chegar aos rios, lagos e ao oceano, parte retorna imediatamente para a atmosfera por evaporação e parte infiltra no solo, promovendo a recarga subterrânea (GARCEZ, 1974).

A crescente urbanização, realidade em grande parte do mundo, gerou uma mudança no ciclo hidrológico das áreas urbanas (ZAIKEN et al., 1999). O aumento das áreas

impermeáveis provocou uma redução da função de infiltração e armazenamento de água de chuva nas camadas subterrâneas da terra. Com isso, a realidade desses centros é a diminuição da recarga dos aquíferos e aumento do escoamento superficial das chuvas, provocando enchentes e trazendo sérios problemas à população.

A utilização da água da chuva além de trazer o benefício da conservação da água e reduzir a dependência excessiva das fontes superficiais de abastecimento, reduz o escoamento superficial e dá chance à restauração do ciclo hidrológico nas áreas urbanas, sendo este extremamente necessário para garantir o desenvolvimento sustentável.

3.3 UTILIZAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA AO LONGO DA HISTÓRIA

O manejo e o aproveitamento da água da chuva não é uma prática nova, existem relatos desse tipo de atividade a milhares de anos atrás, antes mesmo da era cristã.

No Planalto de Loess na China já existiam cacimbas e tanques para armazenamento de água de chuva há dois mil anos atrás. Na Índia existem inúmeras experiências tradicionais de colheita e aproveitamento de água de chuva. A Figura 5 mostra a foto do Abanbar, tradicional sistema de captação de água de chuva comunitário do Irã. No deserto de Negev, hoje território de Israel e da Jordânia, há 2.000 anos existiu um sistema integrado de manejo de água de chuva (GNADLINGER, 2000).

Existem relatos do uso da água da chuva por vários povos, como os Incas, os Maias e os Astecas. No século X, ao sul da cidade de Oxkutzcab, a agricultura era baseada na coleta da água da chuva, sendo a água armazenada em cisternas com capacidade de 20 a 45 m³, chamadas de Chultuns pelos Maias (GNADLINGER, 2000). As cisternas Chultuns eram escavadas no subsolo calcário e revestidas com reboco impermeável, acima delas havia uma área de coleta de 100 a 200 m² (Figura 6).

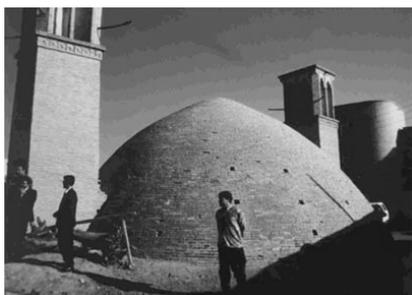


Figura 5 – Sistema de captação de água de chuva do Irã (Abanbar)

Fonte: Gnadlinger, 2000.

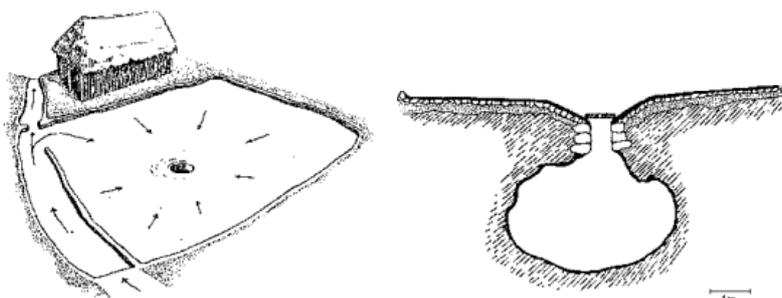


Figura 6 – Cisterna do século X (Chultuns)

A coleta e o aproveitamento da água da chuva pela sociedade perdeu força com a inserção de tecnologias mais modernas de abastecimento, como a construção de grandes barragens, o desenvolvimento de técnicas para o aproveitamento de águas subterrâneas, a irrigação encanada e a implementação dos sistemas de abastecimento.

Entretanto, atualmente a utilização da água da chuva voltou a ser realidade, fazendo parte da gestão moderna de grandes cidades em países desenvolvidos. Vários países europeus e asiáticos utilizam amplamente a água da chuva nas residências, nas indústrias e na agricultura, pois sabe-se que a mesma possui qualidade compatível com usos importantes, sendo considerada um meio simples e eficaz para atenuar o problema ambiental de escassez de água.

Muitos países desenvolvidos da Europa, principalmente, a Alemanha e outros como o Japão, a China, a Austrália, os Estados Unidos e até mesmo os países da África e a Índia estão seriamente empenhados e comprometidos com o aproveitamento da água da chuva e com o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias que facilitem e garantam o uso seguro desta fonte alternativa de água.

Um dos primeiros estudos realizados neste século sobre o aproveitamento da água da chuva através de cisternas, foi reportado por Kenyon (1929), citado por Myers (1967), composto por um sistema artificial de armazenamento de água de chuva

para o consumo humano e animal, em uma região com precipitação média anual de 305 mm, sendo até hoje utilizado.

Segundo König (1994 apud DIXON, BUTLER & FEWKES, 1999) a utilização da água da chuva além de ter uma longa história difundida mundialmente, nos dias atuais, é aplicada em muitas sociedades modernas, como uma valiosa fonte de água para irrigação, para beber e mais recentemente para suprir as demandas de vasos sanitários e de lavagem de roupas.

No Japão, a coleta da água da chuva ocorre de forma bastante intensa e difundida, em especial em Tóquio, que atualmente depende de grandes barragens, localizadas em regiões de montanha a cerca de 190 km do centro da cidade, para promover o abastecimento de água de forma convencional. Nas cidades do Japão, a água da chuva coletada, geralmente, é armazenada em reservatórios que podem ser individuais ou comunitários, esses, chamados “Tensuison”, são equipados com bombas manuais e torneiras para que a água fique disponível para qualquer pessoa. A água excedente do reservatório é direcionada para canais de infiltração, garantindo assim a recarga de aquíferos e evitando enchentes, problema também enfrentado pelas cidades japonesas, devido ao grande percentual de superfícies impermeáveis (FENDRICH & OLIYNIK, 2002).

Ainda no Japão, a coleta da água da chuva e o seu aproveitamento são praticados em estádios para a descarga de vasos sanitários e a rega de plantas. Os Estádios de Tokyo, Nagoya e Fukuoka são exemplos dessa prática, com áreas de captação de 16.000, 25.900 e 35.000 m² e reservatórios de armazenamento de 1.000, 1.800 e 1.500 m³, respectivamente (ZAIZEN et al., 1999).

Segundo Gardner, Coombes e Marks (2004), os sistemas de aproveitamento de água de chuva na Austrália proporcionam uma economia de 45% do consumo de água nas residências, já na agricultura, a economia chega a 60%. Estudos realizados no sul da Austrália em 1996 mostraram que 82% da população rural desta região utilizam a água da chuva como fonte primária de abastecimento, contra 28% da população urbana (HEYWORTH, MAYNARD & CUNLIFFE, 1998).

Em alguns locais o governo financia parte da construção do sistema de coleta e aproveitamento da água da chuva, como forma de incentivo à população. Em Hamburgo, na Alemanha, concede-se cerca de US\$ 1.500,00 a US\$ 2.000,00 a quem aproveitar a água da chuva; este incentivo terá como retorno para o governo o controle dos picos das enchentes durante os períodos chuvosos (TOMAZ, 2003).

No Reino Unido, o uso da água da chuva também é incentivado, visto que 30% do consumo de água potável das residências é gasto na descarga sanitária (FEWKES, 1999).

Além das residências, outros segmentos da sociedade também começam a olhar com interesse para o aproveitamento da água da chuva. Indústrias, instituições e até mesmo estabelecimentos comerciais como, por exemplo, os lava-jatos, buscam a água da chuva visando tanto o retorno da economia de água potável quanto o retorno publicitário, se intitulando como indústrias e estabelecimentos ecologicamente corretos e conscientes (KOENIG, 2003).

3.3.1 O Aproveitamento da Água da Chuva no Brasil

Segundo Ghanayem (2001), no Brasil a instalação mais antiga de aproveitamento da água da chuva foi construída por norte-americanos em 1943, na ilha de Fernando de Noronha. Ainda nos dias de hoje a água da chuva é utilizada para o abastecimento da população.

No Brasil, uma forma muito utilizada para o aproveitamento da água da chuva é a construção de cisternas, principalmente, no Nordeste. Alguns programas foram criados pelo governo no intuito de melhorar a qualidade de vida da população do semi-árido brasileiro. Um deles foi a criação do Centro de Pesquisas Agropecuárias do Trópico Semi-Árido (CPATSA) em 1975, com o objetivo de coleta da água da chuva e de construção de cisternas para armazenamento de água para consumo, dentre outros.

O sistema de aproveitamento da água da chuva proposto para o semi-árido é simples e consiste em aproveitar os telhados das casas como área de captação e direcionar a chuva para cisternas (Figura 7).

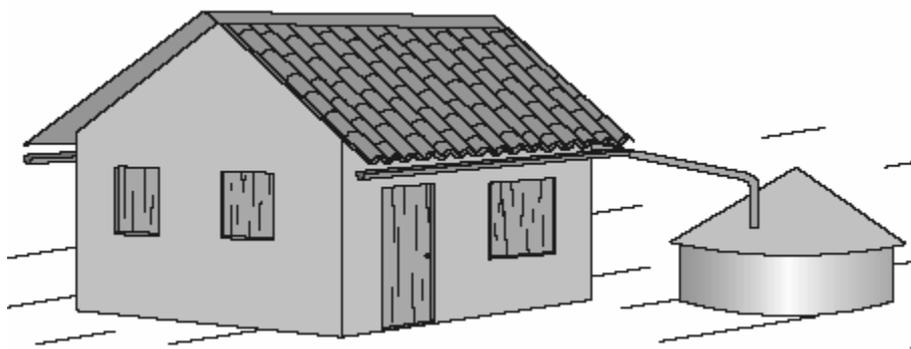


Figura 7 – Esquema de cisterna implementada na zona rural

Fonte: Porto et al. 1999.

Além disso, o armazenamento da água da chuva nessas regiões também é incentivado e financiado por Organizações Não Governamentais (ONG's) em parceria com o governo. Como exemplo, pode-se citar a Cáritas, instituição de assistência social de atuação internacional, criada no Brasil em 1957 que, atualmente, desenvolve projetos como o “Programa de Convivência com o Semi-árido”, orientando e incentivando a construção de cisternas para armazenamento da água da chuva. Essas organizações ensinam a população a construir suas cisternas, buscando um maior envolvimento dos mesmos com o projeto. Estima-se que nos últimos anos mais de cinquenta mil cisternas foram construídas no semi-árido brasileiro (PORTO et al., 1999).

Em regiões como o Nordeste brasileiro, onde é difícil conseguir água, seja para o uso doméstico ou para o consumo humano, a população se vê obrigada a usar e consumir água de qualidade duvidosa, o que vem associado a uma série de doenças, tendo muitas vezes que andar quilômetros para conseguir água. Segundo Soares (2004), uma alternativa que resolve esse conflito é a captação de água de chuva, algo relativamente fácil de se fazer e que com um tratamento adequado pode ser utilizada inclusive para o consumo humano.

Em algumas metrópoles brasileiras, como São Paulo e Rio de Janeiro, a coleta da água da chuva tornou-se obrigatória para alguns empreendimentos, visando a redução das enchentes. Existem também empresas especializadas como a 3P Technik com filial no Brasil que fabrica e fornece soluções para o aproveitamento da água da chuva.

Além de residências, já existem estabelecimentos comerciais, como a lavanderia industrial “Lavanderia da Paz” em São Paulo que há 30 anos capta, filtra e aproveita a água da chuva em seu processo de lavagem (SICKERMANN, 2003).

Observa-se que, o aproveitamento da água da chuva como fonte alternativa para fins não potáveis vem sendo amplamente utilizado tanto em países desenvolvidos como nos sub-desenvolvidos, tanto como fonte principal quanto como fonte suplementar de água, tornando-se uma contribuição descentralizada importante.

3.4 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

O sistema de aproveitamento da água da chuva é considerado um sistema descentralizado de suprimento de água, cujo objetivo é de conservar os recursos hídricos, reduzindo o consumo de água potável (KOENIG, 2003). Esses sistemas, captam a água da chuva que cai sobre superfícies, direcionando-as a reservatórios de armazenamento para posterior utilização.

Segundo Lee et al. (2000), as técnicas mais comuns para coleta da água da chuva são através da superfície de telhados ou através de superfícies no solo, sendo que o sistema de coleta de chuva através da superfície de telhados é considerado mais simples e, na maioria das vezes, produz uma água de melhor qualidade se comparado aos sistemas que coletam água de superfícies no solo.

Qualquer que seja a técnica, os componentes principais do sistema de aproveitamento da água da chuva são: a área de captação, telas ou filtros para remoção de materiais grosseiros, como folhas e galhos, tubulações para a condução da água e o reservatório de armazenamento. As Figuras 8 e 9 mostram,

esquemáticamente, o aproveitamento da água da chuva de telhado e da superfície do solo, respectivamente.

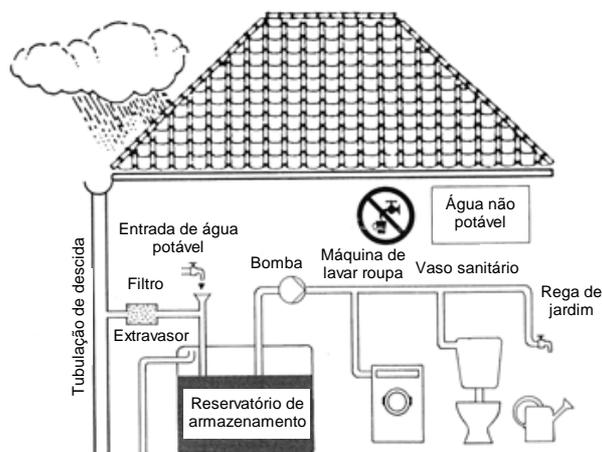


Figura 8 – Sistema de aproveitamento da água da chuva de telhados

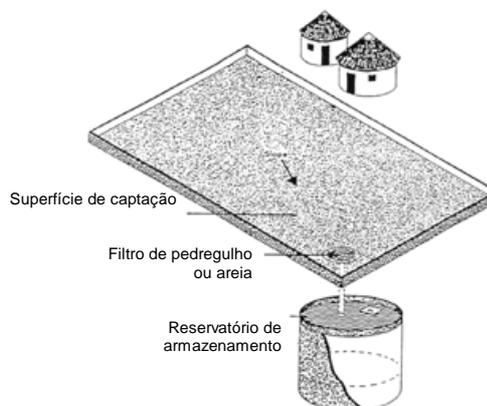


Figura 9 – Sistema de aproveitamento da água da chuva de superfícies no solo

Fonte: UNEP, 2005.

Herrmann e Schmida (1999), destacam quatro formas construtivas de sistemas de aproveitamento de água de chuva descritas a seguir:

1. Sistema de fluxo total – Onde toda a chuva coletada pela superfície de captação é direcionada ao reservatório de armazenamento, passando antes por um filtro ou por uma tela. A chuva que extravasa do reservatório é direcionada ao sistema de drenagem (Figura 10).
2. Sistema com derivação – Neste sistema, uma derivação é instalada na tubulação vertical de descida da água da chuva, com o objetivo de descartar a primeira chuva, direcionando-a ao sistema de drenagem. Este sistema é também denominado de sistema auto-limpante. Em alguns casos, instala-se um filtro ou uma tela na derivação. Assim como no sistema descrito anteriormente, a chuva que extravasa do reservatório é direcionada ao sistema de drenagem (Figura 11).
3. Sistema com volume adicional de retenção – No qual, constrói-se um reservatório maior, capaz de armazenar o volume de chuva necessário para o

suprimento da demanda e capaz de armazenar um volume adicional com o objetivo de evitar inundações. Neste sistema, uma válvula regula a saída de água correspondente ao volume adicional de retenção para o sistema de drenagem (Figura 12).

4. Sistema com infiltração no solo – Neste sistema toda a água da chuva coletada é direcionada ao reservatório de armazenamento, passando antes por um filtro ou por uma tela. O volume de chuva que extravasa do reservatório é direcionado a um sistema de infiltração de água no solo (Figura 13).

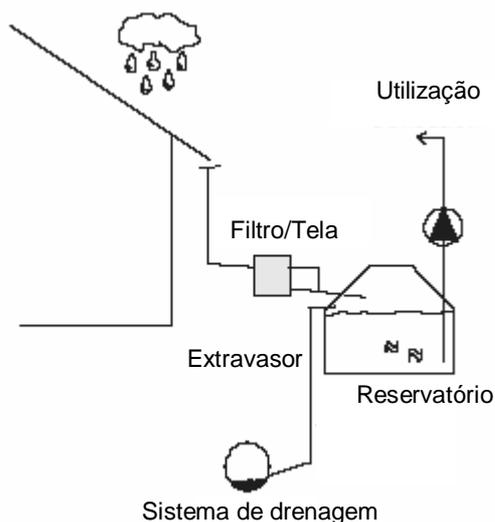


Figura 10 – Sistema de fluxo total

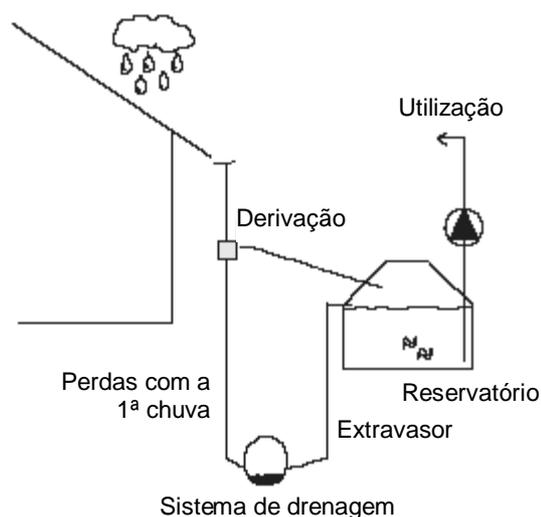


Figura 11 – Sistema com derivação

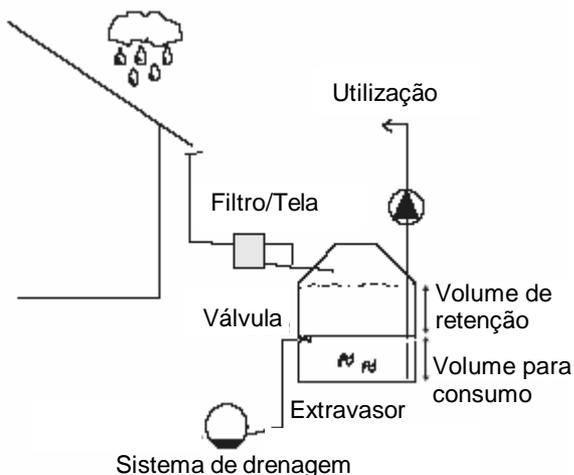


Figura 12 – Sistema com volume adicional de retenção

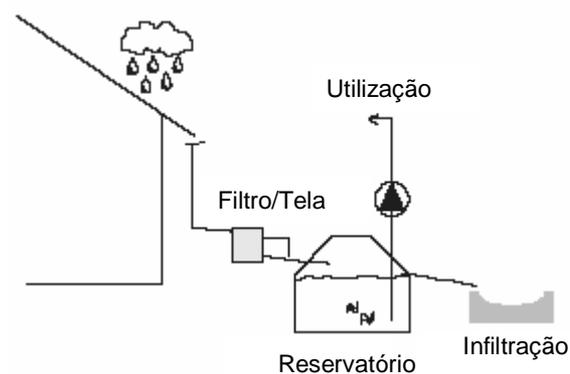


Figura 13 – Sistema com infiltração no solo

3.4.1 Área de Captação

Nos casos em que a água da chuva for captada através da superfície de telhados, os mesmos devem ser projetados e construídos seguindo as normas técnicas e as especificações do fabricante de telhas. Os telhados para coleta da água da chuva podem ser de telha cerâmica, de fibrocimento, de zinco, de aço galvanizado, de plástico, de vidro, de acrílico, ou mesmo, de concreto armado ou manta asfáltica, sendo que o tipo de revestimento também interfere no sistema de aproveitamento da água da chuva, devendo-se ter preferência para os de menor absorção de água, ou seja, as telhas que tenham um coeficiente de escoamento (C) maior, para minimizar as perdas, pois sabe-se que nem toda água precipitada é coletada.

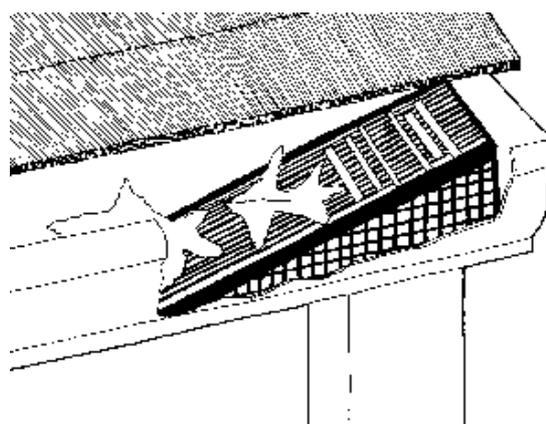
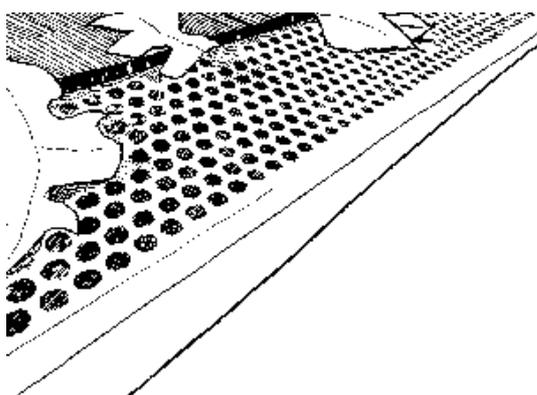
Nesse tipo de técnica é imprescindível que as edificações sejam dotadas de calhas e condutores verticais para o direcionamento da água da chuva do telhado ao reservatório. Portanto, é importante que uma atenção especial seja dada ao dimensionamento e instalação das calhas e condutores verticais, pois o subdimensionamento desses componentes pode reduzir significativamente a eficiência de coleta, comprometendo o funcionamento de todo o sistema de aproveitamento de água de chuva. Pode-se utilizar como referência para o dimensionamento desses componentes a NBR 10.844/89, Instalações Prediais de Águas Pluviais da ABNT.

O sistema de coleta através da superfície do solo, pode ser empregado em locais com grande área superficial, sendo necessário que as mesmas possuam uma pequena inclinação, para o escoamento da água. Nesses sistemas é comum a construção de rampas ou canais para direcionar a água da chuva para dentro do reservatório. Deve-se evitar coletar água da chuva de superfícies por onde passam carros, pois nesses casos a água terá qualidade inferior, sendo contaminada por óleos combustíveis e resíduos de pneus.

3.4.2 Remoção de Materiais Grosseiros

Qualquer que seja o sistema adotado para a coleta da água da chuva, deve-se evitar a entrada de folhas, gravetos ou outros materiais grosseiros no interior do reservatório de armazenamento final, pois estes poderão se decompor prejudicando assim a qualidade da água armazenada.

A remoção desse tipo de material pode ser feita de maneira simples, promovendo a retenção dos mesmos através do uso de telas ou grades, que devem ser instalados nas calhas, para o caso de telhados e nas rampas, para o caso de superfícies de captação no solo. As Figuras 14 e 15 mostram exemplos desse sistema de retenção de folhas e gravetos.



Figuras 14 e 15 – Sistemas de grade para remoção de folhas e material grosseiro

Fonte: Waterfall, 2005.

3.4.3 Tratamento da Água da Chuva

A literatura mostra que a chuva inicial é mais poluída, pois esta é responsável por lavar a atmosfera contaminada por poluentes e a superfície de captação, quer sejam telhados ou superfícies no solo (GOULD, 1999).

Portanto, um procedimento simples de limpeza da água da chuva muito utilizado é a remoção dos primeiros milímetros de chuva, através de um componente importante do sistema de aproveitamento que é o reservatório de eliminação da primeira chuva.

Este procedimento é também denominado de auto-limpeza da água da chuva (TOMAZ, 2003).

Este reservatório tem a finalidade de receber a chuva inicial, retendo-a ou descartando-a de forma que a mesma não entre em contato com a chuva seguinte, menos poluída, que será direcionada ao reservatório de armazenamento final. A chuva direcionada ao reservatório final, que tenha passado apenas por este tratamento simplificado, deve ter seu uso voltado apenas para os fins não potáveis.

Na Florida, para cada 100 m² de superfície de captação, elimina-se 40 litros de chuva, ou seja, elimina-se 0,4 mm de chuva por m² de área de captação. Segundo Dacach (1981), o reservatório de eliminação de primeira chuva deve ter capacidade para armazenar de 0,8 a 1,5 L/m² de área de captação, o que também pode ser expressado como 0,8 a 1,5 mm de chuva por m² de área de captação.

Um estudo de aproveitamento de água de chuva realizado na Universidade Regional de Blumenau por Pinheiro et al. (2005) utilizou um reservatório de eliminação de primeira chuva com capacidade para eliminar apenas 0,2 mm de chuva.

As Figuras 16 e 17 mostram exemplos de sistemas de descarte da primeira chuva. O princípio de funcionamento desses reservatórios é parecido, sendo que no primeiro, completado o volume do reservatório de eliminação de primeira chuva, a entrada de água é vedada por uma bola flutuante e no segundo, ao se completar o volume do reservatório de primeira chuva, o mesmo extravasa, fazendo com que a água passe para o reservatório de armazenamento.

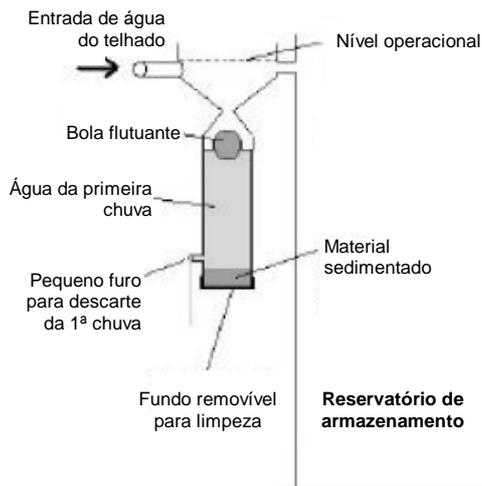


Figura 16 – Descarte da primeira chuva com sistema de bóia

Fonte: Ranatunga, 1999.

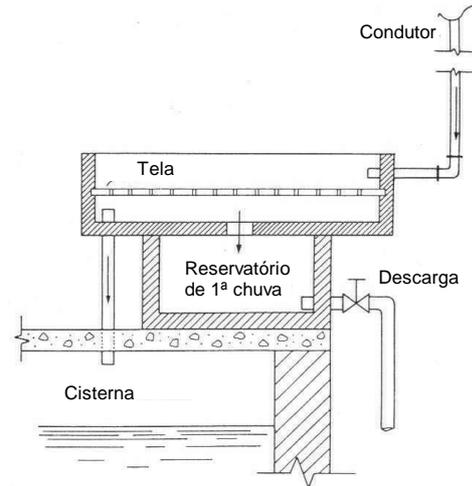


Figura 17 – Descarte da primeira chuva com reservatório

Fonte: Dacach, 1981.

Para os casos em que a água da chuva é utilizada para fins potáveis, recomenda-se a realização de processos de tratamento mais completos, como a filtração em filtros de areia ou de carvão ativado. Vasudevan e Pathak (2005) recomendam sistemas simples de filtração, como o mostrado na Figura 18, para comunidade de baixa renda.

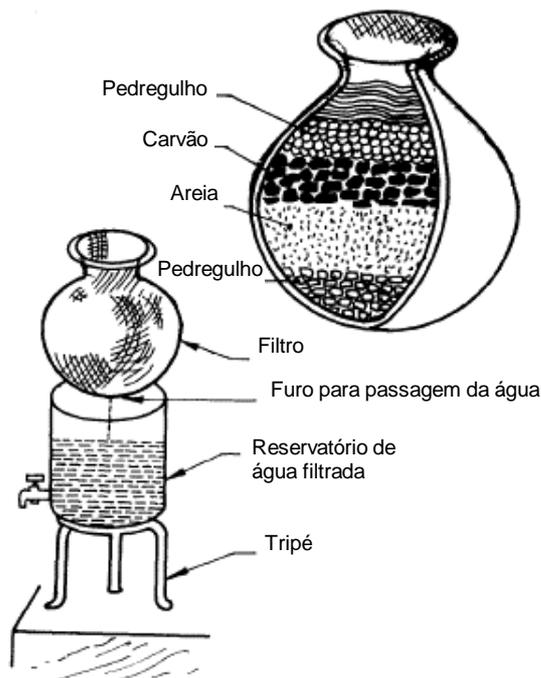


Figura 18 – Filtro de areia e carvão para purificação da água da chuva

Fonte: Vasudevan e Pathak, 2005.

Após passar por um processo de filtração, a água da chuva a ser utilizada para fins potáveis deverá passar por uma etapa de desinfecção, a qual pode ser realizada de forma simples através da fervura ou da cloração, ou de forma mais sofisticada por radiação ultravioleta (FENDRICH & OLIYNIK, 2002). Esses processos de tratamento mais complexos só são recomendados em casos extremamente necessários, pois aporta um custo de implantação e manutenção extra ao sistema.

3.4.4 Armazenamento e Utilização da Água da Chuva

Após realizado o processo de tratamento da água da chuva, seja ele o processo simplificado de auto-limpeza ou um processo mais complexo de filtração, a água é direcionada ao reservatório de armazenamento final.

Os reservatórios de água de chuva podem ser enterrados, semi-enterrados, apoiados sobre o solo ou elevados. Esses reservatórios podem ser construídos de diferentes materiais, como concreto armado, alvenaria, fibra de vidro, aço, polietileno, entre outros, e podem ter diversas formas como mostram as Figuras 19 a 24.



Figura 19 – Reservatório em alvenaria

Fonte: Rees, 2000a.



Figura 20 – Reservatório em ferro-cimento

Fonte: Rees, 2000b.



Figura 21 – Reservatório de aço

Fonte: DRWH - Report R1, 2002.



Figura 22 – Reservatório de polietileno

Fonte: Embrapa, 2005.



Figuras 23 e 24 – Reservatórios de plástico

Fonte: WSUD Engineering procedures, 2004.

A escolha de onde instalar o reservatório, do modelo e do material a ser utilizado deve ser feita verificando as condições do terreno. Os reservatórios superficiais devem ser instalados em locais que disponham de área livre, tendo a vantagem de possibilitar alguns usos sem a necessidade de bombeamento, como para a lavagem de áreas impermeáveis e a rega de jardins.

Os reservatórios semi-enterrados ou enterrados, normalmente, necessitarão de bombeamento, seja ele manual ou mecânico, salvo alguns casos, como das cisternas instaladas no nordeste, onde a população introduz baldes na cisterna para a retirada da água. O inconveniente dessa solução é a possibilidade de contaminar a água da cisterna pela introdução de objetos para a remoção da água.

Dependendo da arquitetura do telhado é possível instalar o reservatório logo abaixo do mesmo, evitando assim os gastos com o bombeamento da água.

Nos sistemas de captação e aproveitamento da água da chuva, o reservatório de armazenamento é a parte mais onerosa do sistema, sendo que o custo varia de acordo com o tipo e com o tamanho do reservatório. Segundo Tomaz (2003), reservatórios enterrados de fibra de vidro custam cerca de US\$ 137 por m³, já os apoiados custam, aproximadamente, US\$ 105 por m³. Portanto, escolher a melhor opção para o reservatório e determinar apropriadamente o seu tamanho são itens cruciais para tornar o sistema de aproveitamento de água de chuva exequível e viável economicamente.

Embora o aproveitamento da água da chuva seja muito útil, recomenda-se que a água da chuva não seja considerada como única fonte de suprimento de água. O ideal é que a água da chuva seja uma fonte alternativa, suplementando o sistema de abastecimento de água potável, sendo direcionada para os fins não potáveis.

É preciso considerar a possível falha do sistema de captação da água da chuva, devido a sazonalidade e irregularidade da mesma, sendo necessário projetar um dispositivo que permita a entrada de água potável no reservatório de água de chuva, para garantir o abastecimento dos pontos de utilização de água de chuva nos períodos de estiagem. Ao projetar e construir esse sistema “anti-falha” deve-se garantir que apenas a água potável possa entrar no sistema de água não potável e que o inverso não ocorra.

Alguns cuidados devem ser tomados com relação ao reservatório de armazenamento, visando a sua manutenção e a garantia da qualidade da água, conforme descrito abaixo:

- A cobertura do reservatório deve ser impermeável;
 - Deve-se evitar a entrada de luz no reservatório, para evitar a proliferação de algas;
 - A entrada da água no reservatório e o extravasor devem ser protegidos por telas, para evitar a entrada de insetos e pequenos animais no tanque;
 - O reservatório deve ser dotado de uma abertura, também chamada de visita, para inspeção e limpeza;
-

- A água deve entrar no reservatório de forma que não provoque turbulência para não suspender o lodo depositado no fundo do reservatório;
- O reservatório deve ser limpo uma vez por ano para a retirada do lodo depositado no fundo do mesmo.

Essas e outras orientações podem ser encontradas em manuais como o *Harvesting rainwater for domestic uses: an information guide* (2003).

Outro cuidado importante que deve ser tomado nos sistemas de fontes alternativas de água, é promover a identificação do sistema, caso este não seja o único sistema de água da residência, alertando o usuário para a qualidade da água, evitando contaminações das pessoas (*Guidelines for rainwater tanks on residential properties*, 2005).

3.5 ASPECTOS QUALITATIVOS DA ÁGUA DA CHUVA

Com a necessidade e o crescente interesse no aproveitamento da água da chuva como fonte alternativa de suprimento cresce também os questionamentos a cerca da sua qualidade, principalmente, nos centros urbanos, onde a poluição atmosférica em muitos casos é visível e percebida pela população.

São muitos os fatores que influenciam na qualidade da água da chuva, dentre eles pode-se citar a localização geográfica (proximidade do oceano), a presença de vegetação, as condições meteorológicas (regime dos ventos), a estação do ano e a presença de carga poluidora.

Em regiões próximas aos oceanos existe uma maior probabilidade de encontrar sódio, potássio, magnésio e cloro na água da chuva, já em regiões com grandes áreas não pavimentadas, ou seja, com grandes áreas de terra, provavelmente, estarão presentes na água da chuva partículas de origem terrestre como a sílica, o alumínio e o ferro.

Regiões de intensa atividade agrícolas podem apresentar o inconveniente da água de chuva carrear os aerossóis de agrotóxicos e pesticidas lançados nas plantações (CUNLIFFE, 1998). Em contrapartida, regiões densamente urbanizadas e industrializadas apresentam em sua atmosfera compostos poluentes, como os óxidos de enxofre e nitrogênio, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, material particulado (MP), entre outros, oriundos de lançamentos de chaminés e de automóveis.

Algumas atividades naturais também podem gerar poluentes como o MP, óxidos de nitrogênio e enxofre, hidrocarbonetos e monóxido de carbono, são elas a decomposição biológica, as praias e dunas, as queimadas, o spray marinho e a erosão eólica do solo e de superfícies.

A chuva cumpre papel de destaque no que diz respeito à dispersão dos poluentes, posto que ao lavar a atmosfera, sedimenta o MP e auxilia na dissolução dos gases. Ela funciona também como agente agregador, capturando os particulados, que agem como núcleos de condensação ou são englobados pelas gotas de nuvens, que ao se colidirem aumentarão, formando gotas sempre maiores, que acabarão por precipitar-se. Nesse momento tem início o processo de remoção dos poluentes por carreamento, um eficiente agente de limpeza da atmosfera também denominado deposição úmida (DANNI-OLIVEIRA & BAKONYI, 2003).

Ao promover a limpeza da atmosfera, a chuva traz consigo os contaminantes presentes na mesma, que dependendo da sua natureza e concentração podem afetar as características naturais da água da chuva, podendo ocasionar inclusive o fenômeno da chuva ácida, que causa efeitos indesejáveis, tais como danos aos rios e lagos, danos às florestas e vegetação e danos a materiais e estruturas (TRESMONDI, TOMAZ & KRUSCHE, 2003).

Algumas espécies químicas, presentes na precipitação atmosférica, desempenham um papel importante nos processos de acidificação, além das espécies carbonáticas, destacam-se os cátions e os ânions inorgânicos como Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NH_4^+ e NO_3^- (MIGLIAVACCA & TEIXEIRA, 2003).

A acidificação da chuva está associada, principalmente, a presença de NO_x e SO_2 , oriundos de processos de combustão, que na atmosfera oxidam-se a nitrato e sulfato. Além disso, a radiação solar e as reações desses gases com a água da chuva formam o ácido nítrico e sulfúrico que diminuem o pH da água da chuva de acordo com a poluição atmosférica (SEINFELD & PANDIS, 1998).

Considera-se 5,6 como sendo o valor normal do pH da água de chuva, em função do equilíbrio com a concentração de CO_2 atmosférico (ANDRADE & SARNO, 1990). Porém, medidas de precipitação sobre oceanos, em áreas remotas, demonstraram que nestes locais os valores de pH da água da chuva são extremamente ácidos. Portanto, afirmar de maneira generalizada, que pH menor que 5,6 é indicativo de atividade antropogênica pode levar a um grande erro (TRESMONDI, TOMAZ & KRUSCHE, 2003). Segundo Seinfeld e Pandis (1998), é razoável considerar a ocorrência de chuva ácida quando o pH for inferior a 5,0.

De acordo com dados do Relatório de Qualidade do Ar na Região da Grande Vitória de 2005 do Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), estudos mostram que a poluição veicular na região da Grande Vitória ainda não é o principal problema que afeta a qualidade do ar, diferentemente do que ocorre em outras grandes cidades. Estudos de caracterização de MP realizados em filtros de monitoramento de 1995 a 1998, mostraram que as contribuições industriais na qualidade do ar da Grande Vitória representam 34,6%, as atividades humanas como emissão veicular, queimadas, construção civil e pedreiras somam 54,6% e as emissões naturais representam 10,8%.

Este relatório descreve ainda que as principais fontes antropogênicas de emissão atmosférica da Grande Vitória são: Atividades Portuárias, Cimenteiras, Fabricação de Concreto, Frigoríficos, Fundição, Indústria Alimentícia, Indústria Cerâmica, Indústria Química, Indústria têxtil, Pedreiras, Pelotização, Siderurgia, Usina de Asfalto e Veículos. Todos esses processos liberam substâncias usualmente consideradas poluentes do ar, como compostos de enxofre e nitrogênio, compostos

orgânicos de carbono, monóxido e dióxido de carbono, compostos halogenados e MP.

Além da qualidade do ar interferir diretamente na qualidade da água da chuva, a própria utilização de superfícies para a coleta da água também altera as características naturais da mesma. Durante os períodos de estiagem ocorre a deposição seca dos compostos presentes na atmosfera, esse fenômeno consiste na sedimentação gravitacional e na interceptação do MP ou absorção de gases por superfícies (FORNARO & GUTZ, 2003). Portanto, a qualidade da água da chuva, na maioria das vezes, piora ao passar pela superfície de captação, a qual pode estar contaminada inclusive por fezes de pássaros e de pequenos animais, ou por óleo combustível, no caso de superfícies de captação no solo.

O tipo de material que recobre a superfície também pode interferir na qualidade da água da chuva. O ideal é que este revestimento não retenha muita sujeira, não promova o crescimento de bactérias e parasitas e não se decomponha com a chuva. Segundo Thomas et al. (2001), com relação ao aspecto bacteriológico deve-se ter preferência pelos telhados metálicos, seguidos pelos de plástico e por último pelos cerâmicos. Além disso, telhados de fibras naturais, como palha e bambu, devem ser evitados, pois os mesmos costumam dar uma coloração amarelada à água da chuva (SOARES, 2004)

A literatura mostra diferentes resultados de avaliação da qualidade da água de chuva. Enquanto alguns autores concluíram que a água da chuva que cai na superfície dos telhados é poluída (GOOD, 1993), outros encontraram um baixo potencial de poluição associado à mesma (SHINODA, 1990; ARIYANANDA, 2005), confirmando assim que as características da água da chuva variam de acordo com a região.

Portanto, principalmente em áreas urbanas, deve-se direcionar o uso da água da chuva para fins não potáveis, como rega de jardins, descarga de sanitários, lavagem

de pisos e roupas, podendo inclusive ser aproveitada pela indústria.

Segundo pesquisas realizadas, a água da chuva caracteriza-se por apresentar baixa concentração de dureza (THOMAS & REES, 1999). Águas duras têm um reduzido potencial de formação de espuma, implicando em um maior consumo de sabão e podendo provocar incrustações, principalmente, nas tubulações de água quente, como de caldeiras e aquecedores. Portanto, pode-se indicar a utilização da água da chuva para lavagem de roupas e em processos industriais, como por exemplo, nas torres de resfriamento.

Caso a água da chuva seja aproveitada para fins potável, recomenda-se que a mesma passe por um processo de desinfecção por cloro ou mesmo por radiação ultravioleta. Segundo Ariyananda (2005), em regiões onde a pobreza castiga a população inclusive pela falta de água, o uso potável da água da chuva deve ser encorajado.

3.6 DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

Segundo Boers e Ben-Asher (1982), o sucesso ou fracasso de um sistema de aproveitamento de água de chuva depende, em grande parte, da quantidade de água captável do sistema. Essa quantidade varia de acordo com alguns dos componentes do sistema, como a área de captação e o volume de armazenamento de água de chuva, sendo influenciada ainda pelo índice pluviométrico da região e pelo coeficiente de escoamento superficial (C).

Portanto, para realizar o aproveitamento da água da chuva em uma edificação é preciso ter conhecimento sobre esses fatores interferentes do sistema. Quanto maior a área de captação, mais chuva poderá ser coletada; o índice pluviométrico da região mostra a distribuição da chuva ao longo do ano, quanto mais regular, mais confiável será o sistema e o volume do reservatório de armazenamento dita a

eficiência do sistema, pois quanto maior o reservatório mais chuva poderá ser armazenada, entretanto mais caro ficará o sistema.

Sabe-se que o volume de água que pode ser aproveitado não é o mesmo do volume precipitado utiliza-se então, no dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água de chuva, o coeficiente de escoamento superficial, que é o quociente entre a água que escoar pela superfície de captação pelo total de água precipitada. Esse coeficiente varia com a inclinação e com o material da superfície de captação. Pacey et al. (1996 apud TOMAZ, 2003) adotam, como uma boa estimativa, C igual a 0,80, que significa uma perda de 20% de toda a água precipitada.

Na Tabela 2 observa-se valores de C adotados por diferentes autores, para diferentes materiais.

Tabela 2 – Valores de C de diferentes autores

MATERIAL	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO	AUTORES
Telha cerâmica	0,80 a 0,90	Hofkes (1981) e Frasier (1975) apud May (2004)
	0,75 a 0,90	Van den Bossche (1997) apud Vaes e Berlamont (1999)
Telha esmaltada	0,90 a 0,95	Van den Bossche (1997) apud Vaes e Berlamont (1999)
Telha metálica	0,70 a 0,90	Hofkes (1981) e Frasier (1975) apud May (2004)
	0,85	Khan (2001)
Plástico	0,94	Khan (2001)
Betume	0,80 a 0,95	Van den Bossche (1997) apud Vaes e Berlamont (1999)
Telhados verdes	0,27	Khan (2001)
Pavimentos	0,40 a 0,90	Wilken (1978) apud Tomaz (2003)
	0,68	Khan (2001)

Outro fator que também influencia no sistema de aproveitamento de água de chuva é a demanda que se deseja atender com este tipo de água. Portanto, mensurá-la de forma precisa também é fundamental para garantir a economia do sistema, pois a demanda influencia diretamente no volume do reservatório.

A Tabela 3 mostra os dados sobre o consumo de água em uma residência, os quais poderiam ser atendidos com água da chuva.

Tabela 3 – Demanda interna e externa de água não potável em uma residência

Demanda Interna	Unidade	Faixa
Vaso Sanitário – Volume	L/descarga	6 a 15
Vaso Sanitário – Freqüência	Descarga/hab/dia	3 a 6
Máquina de lavar roupa – Volume	L/ciclo	100 a 200
Máquina de lavar roupa – Freqüência	Carga/hab/dia	0,20 a 0,30
Demanda Externa	Unidade	Faixa
Gramado ou Jardim – Volume	L/dia/m ²	2
Gramado ou Jardim – Freqüência	Lavagens/mês	8 a 12
Lavagem de carro – Volume	L/lavagem/carro	80 a 150
Lavagem de carro – Freqüência	Lavagem/mês	1 a 4

Fonte: adaptado TOMAZ (2000).

A eficiência e a confiabilidade dos sistemas de aproveitamento de água de chuva estão ligadas diretamente ao dimensionamento do reservatório de armazenamento, necessitando de um ponto ótimo na combinação do volume de reservação e da demanda a ser atendida, que resulte na maior eficiência, com o menor gasto possível (NGIGI, 1999).

Um estudo criterioso do volume ideal de armazenamento é importante para tornar esse tipo de sistema viável economicamente, pois é justamente o reservatório que encarece o sistema de aproveitamento de água de chuva. Segundo Thomas (2004), o custo do reservatório pode variar de 50% a 85% do custo total de um sistema de aproveitamento de água de chuva.

Em muitos casos, o reservatório de água de chuva é superdimensionado na tentativa de se atender a 100% da demanda de água não potável com água de chuva. O ideal é trabalhar com uma margem de segurança que nem super-dimensione e nem sub-dimensione o sistema, essa margem é também chamada de confiabilidade do

sistema, e deve ser definida em função do valor que se deseja investir no sistema e com base em estudos de dimensionamento de reservatórios de acumulação de água de chuva.

3.6.1 Modelos de dimensionamento de reservatórios

Alguns modelos matemáticos foram desenvolvidos para o dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água de chuva. Appan (1999) cita modelos desenvolvidos com base nos métodos determinístico (HOEY & WEST, 1982) e estocástico (LEUNG & FOK, 1982).

Os métodos determinísticos são aqueles que tratam os resultados de forma única, por exemplo, baseando-se apenas em séries históricas existentes. Já os modelos estocásticos, são aqueles que proporcionam o cálculo de probabilidades, como, por exemplo, a probabilidade de ocorrência de falhas (LOPES & SANTOS, 2002).

McMahon e Mein (1978 apud PETERS, 1999) identificaram três tipos de modelos de dimensionamento de reservatório, sendo eles o Modelo de Moran, o Modelo do Período Crítico e o Modelo Comportamental.

O Modelo de Moran é um desenvolvimento da teoria de armazenamento de Moran de 1959, que utiliza um sistema de equações simultâneas que relacionam capacidade de armazenamento com demanda e suprimento.

Os modelos de dimensionamento que têm como base o Período Crítico identificam e utilizam seqüências de dados em que a demanda excede a produção para determinar a capacidade de armazenamento de um sistema. Um exemplo clássico de modelo baseado no Período Crítico é o Método de Rippl.

O Modelo Comportamental é um modelo de simulação, que descreve o comportamento do sistema ao longo do tempo e do espaço, em função de um determinado cenário de operação.

Os modelos de dimensionamento de reservatório têm como dados de entrada, na maioria das vezes, séries históricas ou sintéticas de chuva, a demanda que se deseja atender, a área de captação da água da chuva e a eficiência requerida. Os dados resultantes da simulação são os volumes de armazenamento para uma ou mais probabilidades de falha do sistema (THOMAS & McGEEVER, 1997).

No sentido de tornar o sistema mais eficiente e com o menor custo possível, estudos de dimensionamento de reservatórios de armazenamento de água de chuva buscam compatibilizar produção e demanda, certificando-se do percentual de demanda possível de ser atendido em cada sistema, pois sabe-se que nem sempre haverá chuva suficiente para atender toda a demanda, e em outros casos, nem sempre será possível armazenar toda a chuva precipitada, principalmente por questões físicas e econômicas.

MÉTODO DE RIPPL

O Método de Rippl é um método de cálculo do volume de armazenamento necessário para garantir uma vazão regularizada constante durante o período mais crítico de estiagem observado. Esse método baseia-se no diagrama de massa do sistema, também denominado diagrama de Rippl, originalmente desenvolvido no final do século XIX, utilizado amplamente para o cálculo de reservatórios de água destinados a acumular água para abastecimento, para aproveitamento hidroelétrico, para irrigação, para controle de enchentes e para regularização de cursos d'água (GARCEZ, 1974).

O diagrama de massa corresponde à integral de um hidrograma, sendo um diagrama de volumes acumulados que afluem ao reservatório, podendo ser apresentado pela seguinte equação (NGIGI, 1999):

$$V_t = \sum (Q_t - V_{i,t} + L_t) \quad \text{Equação 1}$$

Onde,

V_t : Volume de armazenamento no tempo t (m^3),

Q_t : Demanda de água no tempo t (m^3),

$V_{i,t}$: Volume de chuva que entra no sistema no tempo t (m^3),

L_t : Perdas do sistema durante o intervalo de tempo t (m^3).

Utilizando-se o diagrama de massa, se define o volume útil do reservatório para uma determinada vazão regularizada, este volume corresponde ao máximo déficit existente na série histórica natural.

MÉTODO INTERATIVO

O Método Interativo é uma adaptação do Método de Rippl proposta por esta pesquisa. Esse método de cálculo também faz um balanço de massa do sistema, utilizando como base a equação 1. Entretanto, deu-se esse nome ao método pelo fato de ser o programador quem pré-determina o volume do reservatório, passando este a ser um dado de entrada para a planilha de cálculo.

Esse método faz o cálculo do volume de chuva captável por mês e por ano do sistema, e coloca esse dado à disposição do programador, para o mesmo possa tê-lo como base, para não pré-determinar nenhum volume acima do mesmo. Determinado o volume do reservatório pelo programador, o mesmo irá verificar se o percentual de demanda atendida está satisfatório, caso não esteja o programador altera o volume do reservatório até achar um valor ideal, o qual vai variar de acordo com as possibilidades físicas e financeiras de cada empreendimento.

MODELO COMPORTAMENTAL

O Modelo Comportamental simula a operação do reservatório num período de tempo, utilizando algoritmos. Os dados de entrada utilizados para simular o fluxo de massa no modelo são baseados em intervalos de tempo que podem ser de minutos, horas, dias ou meses. Sendo que, quanto menor for o intervalo de tempo utilizado na modelagem, mais confiável e econômico será o dimensionamento.

Segundo Fewkes (1999) o modelo comportamental já foi utilizado por outros pesquisadores para investigar a performance de reservatórios de armazenamento de água de chuva, sendo eles Jenkins, Pearson, Moore, Sun e Valentine (1978) e Lathan (1983).

Jenkins et al. (1978 apud FEWKES, 1999) identificaram dois algoritmos fundamentais para o modelo comportamental. Um algoritmo descreve a regra de operação de reservatório de produção depois do enchimento (PDE) e o outro descreve a regra de operação do reservatório de produção antes do enchimento (PAE), conforme equações abaixo:

Equações de operação PDE

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} \end{array} \right. \quad \text{Equação 2}$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S - Y_t \end{array} \right. \quad \text{Equação 3}$$

Equações de operação PAE

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + Q_t \end{array} \right. \quad \text{Equação 4}$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S \end{array} \right. \quad \text{Equação 5}$$

Onde,

Y: Produção de chuva do sistema, responsável por suprir a demanda (m³),

D: Demanda (m³),

V: Volume de chuva no reservatório de armazenamento (m³),

Q: Volume total de chuva coletado pelo sistema (m³),

S: Volume do reservatório de armazenamento (m³).

Latham (1983 apud FEWKES, 1999) também utilizou um modelo comportamental no dimensionamento de reservatórios de água de chuva, definindo um algoritmo mais generalizado para a operação do reservatório, conforme equações abaixo:

$$Y_t = \min \begin{cases} D_t \\ V_{t-1} + \theta Q_t \end{cases} \quad \text{Equação 6}$$

$$V_t = \min \begin{cases} (V_{t-1} + Q_t - \theta Y_t) - (1 - \theta)Y_t \\ S - (1 - \theta)Y_t \end{cases} \quad \text{Equação 7}$$

Onde, θ é um parâmetro com valor entre 0 e 1. Utilizando $\theta = 0$ o algoritmo descreve a regra de operação de PDE, já com $\theta = 1$ o algoritmo descreve a regra de operação de PAE.

Segundo Fewkes (1999), o algoritmo de operação PDE resulta em uma estimativa de reservatório mais conservativa se comparada ao algoritmo de operação PAE, independente do intervalo de tempo da simulação.

MÉTODO DE SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO

O Método de Simulação de Monte Carlo, também denominado simplesmente, Método de Monte Carlo é baseado na simulação de variáveis aleatórias para resolução de problemas. É um método considerado simples e flexível e pode ser aplicado em problemas de qualquer nível de complexidade (LOPES & SANTOS, 2002).

Esse método consiste em simular um experimento com a finalidade de determinar propriedades probabilísticas de um conjunto de dados, a partir de uma nova amostragem aleatória dos componentes desses dados.

No cálculo de reservatórios de armazenamento de água de chuva, o Método de Monte Carlo é utilizado em conjunto com modelos de cálculo de volume de reservatórios de armazenamento, gerando séries sintéticas de chuva, a partir de séries históricas, resultando em diferentes volumes de reservação para diferentes probabilidades de atendimento à demanda (TOMAZ, 2003).

3.7 LEGISLAÇÃO SOBRE O APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA

No Brasil, ainda não existem normas técnicas para o aproveitamento da água da chuva, quer seja para fins portáteis, quer seja para fins não potáveis. Entretanto, alguns estados já instituíram legislações sobre a coleta da água da chuva com o objetivo de controlar enchentes, conservar a água e fazer o uso racional da mesma.

Em São Paulo (Lei Nº 13.276/02) e no Rio de Janeiro (Decreto Municipal Nº 23.940/04), a coleta da água da chuva é obrigatória para os empreendimentos com área impermeabilizada superior a 500 m², com o objetivo de evitar inundações. A chuva coletada deve ser encaminhada a um reservatório de retenção para posterior infiltração no solo ou para ser despejada na rede de drenagem após uma hora de chuva, ou ainda para ser conduzida a outro reservatório, para ser utilizada para fins não potáveis.

O Decreto Municipal Nº 23.940/04 do Rio de Janeiro faz algumas ressalvas quanto a utilização da água da chuva, alertando para que quando da sua utilização para fins não potáveis, deva-se proceder a identificação do sistema com sinalização de alerta, para evitar o consumo indevido; garantir padrões de qualidade da água apropriados ao tipo de utilização previsto, definindo os dispositivos, processos e tratamentos necessários para a manutenção da sua qualidade; impedir a contaminação do sistema predial de a água potável proveniente da rede pública, sendo proibido qualquer comunicação entre este sistema e o sistema predial destinado a água não potável.

Em Curitiba, a Lei Nº 10.785/03 criou o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações, com o objetivo de conservar e fazer uso racional da água,

utilizar fontes alternativas para captação de água e conscientizar os usuários. Com relação à conservação e ao uso racional da água nas edificações, a lei prevê a utilização de aparelhos e dispositivos economizadores de água e medição individualizada de água nos apartamentos. As ações de utilização de fontes alternativas compreendem a captação, armazenamento e utilização de água proveniente das chuvas e a captação e armazenamento e utilização de águas servidas. A legislação orienta que as fontes alternativas de água devem ser aproveitadas em atividades que não requeiram o uso de água tratada, como rega de jardins e hortas, lavagem de roupa, lavagem de veículos, lavagem de vidros, calçadas e pisos.

Em países como a Austrália, a Alemanha, os Estados Unidos e a Índia, existem manuais e guias de orientação para a utilização da água da chuva de forma segura, que descrevem desde a implantação e escolha do material até as atividades de conservação da qualidade da água e manutenção dos reservatórios. São exemplos desses manuais o Texas guide to rainwater harvesting (1997) e o Water Safety (2005) da Austrália.

Além disso, existem instituições internacionais e nacionais que promovem congressos, reunindo estudos sobre o aproveitamento da água da chuva realizados pelo mundo como a International Rainwater Catchment Systems Association (IRCSA), a American Rainwater Catchment Systems Association (ARCSA) e a Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva (ABCMAC).

3.7.1 Padrões de Qualidade de Água

Para que se possa aproveitar todo o benefício da coleta e utilização da água da chuva de forma segura, é preciso estabelecer os padrões de qualidade que a mesma deve atender, devendo este ser de acordo com os usos a que a mesma for destinada.

A legislação federal brasileira estabelece padrões de qualidade para a água tratada destinada ao consumo humano, através da Portaria N°518/04 do Ministério da

Saúde (MS), além disso a Resolução CONAMA Nº357/05 estabelece os padrões de qualidade para corpos d'água e a Resolução CONAMA Nº274/00 estabelece os padrões de balneabilidade.

Entretanto, ainda não existe no Brasil legislação específica para o aproveitamento da água da chuva, que estabeleça os padrões de qualidade que esta água deve atender e os usos a que a mesma pode ser destinada.

Na falta desses padrões de qualidade de água de chuva, pode-se tomar como referência as legislações descritas acima, ou ainda a NBR 13.969/97 – Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos, da ABNT, que no item 5.6 trata sobre o reúso local de efluentes. Outra referência é a publicação “Conservação e Reúso da Água em Edificações” de 2005, realizada pela Agência Nacional de Águas (ANA) em conjunto com a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e com o Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo (SindusCon-SP).

PADRÃO DE POTABILIDADE

A Tabela 4 sintetiza alguns padrões de qualidade que a água tratada destinada ao consumo humano deve atender, segundo a Portaria Nº518/04 do MS.

Tabela 4 – Padrão de potabilidade da Portaria Nº518/04 do MS

Parâmetros	Unidade	VMP ⁽¹⁾
pH	-	6,0 a 9,5
Turbidez	UNT	5
Cor aparente	uH	15
SDT	mg/L	1.000
Dureza	mg/L	500
Nitrato (como N)	mg/L	10,0
Nitrito (como N)	mg/L	1,0
Amônia (como NH ₃)	mg/L	1,5
Sulfato	mg/L	250
Cloretos	mg/L	250
E. coli e CT	NMP/100 ml	Ausente

Nota: (1) Valor máximo permitido.

PADRÃO PARA CORPOS D'ÁGUA

A Resolução CONAMA N°357/05 dispõe sobre a classificação e dá diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais, estabelecendo os padrões de qualidade para estas águas, suas classes com respectivos usos a que se destinam.

A Tabela 5 sintetiza alguns padrões de qualidade para água doce estabelecidos por esta resolução.

Tabela 5 – Padrão de corpos de água doce da Resolução CONAMA N°357/05

Parâmetros	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
DBO	mg/L	≤ 3	≤ 5	≤ 10	-
OD	mg/L	≥ 6	≥ 5	≥ 4	≥ 2
Turbidez	UNT	40	100	100	-
Cor verdadeira	uH	-	75	75	-
pH	-	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
SDT	mg/L	500	500	500	-
Fósforo total	mg/L	0,025	0,05	0,075	-
Nitrato	mg/L	10,0	10,0	10,0	-
Nitrito	mg/L	1,0	1,0	1,0	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	3,7	3,7	13,3	-
Sulfato	mg/L	250	250	250	-
Cloretos	mg/L	250	250	250	-
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	200	1.000	4.000	-

Abaixo estão descritas as classes para água doce da resolução CONAMA N°357/05 e seus respectivos usos:

- Classe 1 – Abastecimento para consumo humano, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças;
- Classe 2 – Abastecimento para consumo humano, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação de hortaliças, aquicultura e atividades de pesca;
- Classe 3 – Abastecimento para consumo humano, irrigação de culturas arbóreas, pesca, recreação de contato secundário, dessedentação de animais;
- Classe 4 – Navegação e harmonia paisagística.

PADRÃO DE BALNEABILIDADE

A Resolução CONAMA Nº274/00 estabelece os níveis de balneabilidade dos corpos d'água, de forma a assegurar as condições necessárias à recreação de contato primário. De acordo com a qualidade detectada do corpo d'água, o mesmo é classificado segundo categorias que variam de excelente, muito boa, satisfatória ou imprópria para a balneabilidade.

A Tabela 6 sintetiza algumas categorias de classificação de balneabilidade dos corpos d'água, com os padrões a que a mesma deve atender.

Tabela 6 – Padrão de Balneabilidade da Resolução CONAMA Nº274/00

Categoria Própria	Padrão
Excelente	Máximo de 250 CF/100 ml ou 200 E. coli/100 ml ou 25 estreptococos/100 ml em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores.
Muito Boa	Máximo de 500 CF/100 ml ou 400 E. coli/100 ml ou 50 estreptococos/100 ml em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores.
Satisfatória	Máximo de 1.000 CF/100 ml ou 800 E. coli/100 ml ou 100 estreptococos/100 ml em 80% ou mais das amostras das cinco semanas anteriores.

PADRÃO DE REÚSO

A NBR 13.969/97 descreve a cerca do reúso de esgoto doméstico tratado, indicando o seu uso para fins que exigem qualidade de água não potável e sanitariamente segura, tais como irrigação dos jardins, lavagem de pisos e dos veículos automotivos, na descarga dos vasos sanitários, na manutenção paisagísticas dos lagos e canais com água, na irrigação dos campos agrícolas e pastagens.

A Tabela 7 mostra os padrões de qualidade para água de reúso estabelecidos pela NBR 13.969/97, de acordo com as seguintes classes e fins a que se destinam:

- Classe 1 – Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes;
- Classe 2 – Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes;
- Classe 3 – Reúso nas descargas dos vasos sanitários;
- Classe 4 – Reúso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Tabela 7 – Padrão de qualidade de água para reúso segundo a NBR 13.969/97 da ABNT

PARÂMETRO	UNIDADE	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
pH	-	6,0 a 8,0	-	-	-
Turbidez	UNT	< 5,0	< 5,0	< 10,0	-
Coliforme fecal	NMP/100 ml	< 200	< 500	< 500	< 5.000
SDT	mg/L	< 200	-	-	-
Cloro Residual	mg/L	0,5 a 1,5	> 0,5	-	-
OD	mg/L	-	-	-	> 2,0

O manual “Conservação e Reúso da Água em Edificações” (ANA, FIESP & SindusCon-SP, 2005) também estabelece as classes da água de reúso e os fins a que se destinam, conforme descrito abaixo:

- Água de Reúso Classe 1 – Destinadas a descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.) e lavagem de roupas e de veículos;
- Água de Reúso Classe 2 – Os usos preponderantes nesta classe são associados às fases de construção da edificação, como a lavagem de agregados, a preparação de concreto, a compactação do solo e o controle de poeira;
- Água de Reúso Classe 3 – Irrigação de áreas verdes e rega de jardins;
- Água de Reúso Classe 4 – Resfriamento de equipamentos de ar condicionado (torres de resfriamento).

A Tabela 8 mostra alguns dos padrões de qualidade para água de reúso estabelecidos pelo manual Conservação e Reúso da Água em Edificações (ANA,

FIESP & SindusCon-SP, 2005), sendo que os padrões para a classe 4 são os recomendados para torre de resfriamento sem recirculação.

Tabela 8 – Padrão de Qualidade de Água para Reúso do manual Conservação e Reúso da Água em Edificações (ANA, FIESP, SindusCon-SP, 2005).

PARÂMETRO	UNIDADE	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4
Coliformes fecais	NMP/100 ml	Não detectáveis	≤ 1.000	≤ 200	-
pH	-	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	5,0 a 8,3
Cor	uH	≤ 10	-	< 30	-
Turbidez	UNT	≤ 2	-	< 5	-
Odor e aparência	-	Não desagradáveis	Não desagradáveis	-	-
Óleos e graxas	mg/L	< 1	< 1	-	-
DBO	mg/L	≤ 10	≤ 30	< 20	-
DQO	mg/L	-	-	-	75
COV's	-	Ausentes	Ausentes	-	-
Nitrato	mg/L	< 10	-	-	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	≤ 20	-	-	-
Nitrito	mg/L	≤ 1	-	-	-
Nitrogênio Total	mg/L	-	-	5 a 30	-
Fósforo total	mg/L	≤ 0,1	-	-	-
Sólido suspenso total	mg/L	≤ 5	30	< 20	5.000
Sólido dissolvido total	mg/L	≤ 500	-	-	1.000
Cloretos	mg/L	-	-	-	600
Dureza	mg/L	-	-	-	850
Alcalinidade	mg/L	-	-	-	500
Sulfatos	mg/L	-	-	-	680

Desenvolver normas e estabelecer critérios de uso e conservação da água da chuva nas edificações é extremamente necessário nos dias atuais, tendo em vista as grandes vantagens trazidas por esse sistema, como a conservação da água, através da redução do consumo de água potável nas edificações e o controle de enchentes, auxiliando os sistemas de drenagem.

Segundo Soares e Gonçalves (2001 apud MAY, 2004), para a implantação efetiva de sistemas de reúso de águas servidas e de aproveitamento de água de chuva, é necessário que o governo institua uma política de incentivo à instalação desses sistemas, subsidiando taxas ou impostos como forma de incentivo à população.

Cabe aos órgãos competentes institucionalizar, regulamentar e promover o reúso de água no Brasil, apoiando pesquisas que estudem as vantagens e problemáticas do aproveitamento da água da chuva, fazendo com que a prática se desenvolva de acordo com princípios técnicos adequados, seja economicamente viável e socialmente aceita e segura.

Diante do potencial que o uso da água da chuva apresenta, este trabalho vem ampliar os conhecimentos referentes a coleta e a conservação da mesma, através de uma rede de pesquisa apoiada pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), visando o desenvolvimento de tecnologias apropriadas para o uso seguro desta fonte alternativa de água.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa foi desenvolvida no Parque Experimental do Núcleo Água, localizado no Campus Universitário de Goiabeiras em Vitória (ES), sendo parte integrante do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico – PROSAB 4, rede temática nº 5 “Consumo de Água”, e foi desenvolvida entre os meses de maio de 2004 a novembro de 2005.

Para a realização da pesquisa utilizou-se as instalações do prédio localizado no Parque Experimental do Núcleo Água, composto por sala de professores e banheiros feminino e masculino (Figura 25). O prédio em questão foi projetado com rede dupla de abastecimento de água, sendo uma rede de água potável e outra rede de água de reúso. A rede que recebe água potável da concessionária atende os lavatórios e chuveiros e a rede que recebe água de reúso alimenta os vasos sanitários e mictórios.



Figura 25 – Prédio com rede dupla de água do Parque Experimental do Núcleo Água

4.2 SISTEMA DE COLETA DA ÁGUA DA CHUVA

Para a captação da água da chuva utilizou-se o telhado do prédio supracitado, com uma área de projeção de 80 m² construído com telha metálica, dotado de duas águas com inclinação de 5%. A estrutura do telhado apresenta duas calhas em PVC com diâmetro de 125 mm cada e tubulação de queda em PVC com diâmetro de 88 mm.

Anexo ao prédio construiu-se um sistema de tratamento simplificado e armazenamento da água da chuva. A chuva captada pelo telhado chegava às calhas e era direcionada, por meio de condutores verticais e horizontais, a um filtro de tela auto-limpante, responsável pela remoção dos materiais grosseiros, como folhas e pequenos galhos. Em seguida, a água chegava ao Reservatório de Eliminação de Primeira Chuva (REPC), no qual os primeiros milímetros de chuva, ou seja, a chuva mais poluída era armazenada. Completado o volume do REPC, a água seguia para o Reservatório de Armazenamento Final (RAF) com capacidade para 1000 L de água. Antes de chegar ao RAF, a água da chuva passava ainda por um medidor de vazão eletromagnético de 2" da marca Krohne e em seguida por uma tela em Nylon (marca Tenil, malha 40/100 e fio 0,10), localizada na entrada do RAF, para remoção de partículas menores. As Figuras 26 a 33 ilustram o sistema de coleta, tratamento simplificado e armazenamento da água da chuva do Parque Experimental do Núcleo Água.



Figura 26 – Telhado metálico



Figura 27 – Calha em PVC



Figura 28 – Filtro Auto-limpante



Figura 29 – Reservatório de Eliminação de Primeira Chuva



Figura 30 – Medidor de Vazão



Figura 31 – Tela em Nylon



Figura 32 – Reservatório de Armazenamento Final



Figura 33 – Vista Geral do Sistema

4.2.1 Reservatório de Eliminação de Primeira Chuva

Para realizar o estudo do volume ideal de eliminação de primeira chuva, foram escolhidos três valores a serem descartados, com base na literatura apresentada no item 3.4.3. Foram escolhidos valores correspondentes a um volume de descarte pequeno, médio e grande, sendo eles 0,5, 1,0 e 1,5 mm de primeira chuva, respectivamente.

O REPC tinha capacidade máxima de 120 L. O estudo de eliminação de primeira chuva foi realizado em três etapas distintas, onde eliminou-se 40, 80 e 120 L de primeira chuva, respectivamente.

O nível no interior do REPC era regulado através de uma corda amarrada a uma bola leve, capaz de flutuar. Na parte superior do REPC instalou-se uma válvula de fechamento e direcionamento de fluxo, a qual era acionada quando a chuva atingia o volume determinado no interior do reservatório.

Ao iniciar a chuva, a mesma era direcionada, primeiramente, ao REPC após passar pelo filtro auto-limpante. Atingido o volume estabelecido no interior do reservatório, a bola flutuava acionando assim a válvula de fechamento e direcionamento de fluxo, fazendo com que a chuva passasse a seguir para o RAF. Desta forma, através desta válvula, foi possível garantir que a primeira chuva não entrasse em contato com a chuva mais limpa a ser armazenada no RAF.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA DA ATMOSFERA

A etapa de caracterização da chuva da atmosfera teve como objetivo verificar a qualidade da mesma antes que esta atingisse uma superfície de captação, como o telhado.

Para a coleta das amostras da chuva da atmosfera utilizou-se uma caixa d'água de polietileno com capacidade para 150 L. Esta caixa permaneceu fechada durante todo o período de estiagem, sendo aberta somente quando se iniciava a precipitação da chuva. Foram realizadas 42 coletas entre os meses de abril de 2004 e julho de 2005.

Para a caracterização da chuva da atmosfera foram realizadas 22 análises físico-químicas e microbiológicas, os parâmetros analisados foram: Temperatura, pH, Condutividade, Oxigênio Dissolvido, (OD), Turbidez, Cor Verdadeira, Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), Sólidos Totais (ST), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO),

Acidez, Alcalinidade, Dureza, Cloretos, Sulfato, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Fósforo Total, *Escherichia coli* e Coliformes totais. Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Saneamento da UFES (LABSAN) de acordo com as metodologias estabelecidas pelo APHA - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1995), sendo que para as análises de *E. coli* e Coliformes totais utilizou-se a metodologia de substrato cromo-fluorogênico (LMX) com quantificação por meio de cartelas.

Outro estudo realizado foi a verificação do volume de chuva necessário para promover a limpeza da atmosfera, outro fator importante na caracterização da água da chuva, onde verificou-se a variação da qualidade da mesma ao longo da precipitação.

Para realizar esta etapa, foram coletados separadamente o primeiro, o segundo, o terceiro milímetro de chuva e a chuva restante em reservatórios distintos. A cada milímetro de chuva precipitado, coletava-se a amostra em frasco de polietileno de 500 ml, a qual era levada ao LABSAN para realização imediata das análises. Nesta etapa os parâmetros analisados foram: Temperatura, pH, Condutividade, Acidez, Cloretos, Sulfatos, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito e Nitrato. A quantidade de parâmetros analisados nesta etapa foi menor, visto que o volume de amostra disponível era restrito a um milímetro que caía sobre o reservatório de, aproximadamente, 75 cm de diâmetro. Foram realizadas 5 coletas de chuvas distintas entre os meses de fevereiro e maio de 2005.

Estas etapas possibilitaram a caracterização da deposição úmida dos compostos presentes na atmosfera, visto que as amostras foram coletadas sem passar por uma superfície exposta ao tempo.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA AO LONGO DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO

A caracterização da água da chuva ao longo do sistema de coleta, tratamento simplificado e armazenamento foi realizada em cinco etapas distintas descritas a seguir. Em todas as etapas foram realizadas as mesmas 22 análises físico-químicas e microbiológicas: Temperatura, pH, Condutividade, OD, Turbidez, Cor Verdadeira, SST, SDT, ST, DBO, DQO, Acidez, Alcalinidade, Dureza, Cloretos, Sulfato, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Nitrato, Fósforo Total, *Escherichia coli* e Coliformes totais.

4.4.1 1ª Etapa – Sem tratamento simplificado

A primeira etapa desta caracterização foi realizada entre os meses de abril e novembro de 2004. Nesta etapa, a estrutura de coleta e aproveitamento da água da chuva do prédio do Parque Experimental do Núcleo Água não estava concluída. Portanto, foram coletadas amostras da água da chuva após passar pelo telhado sem remover qualquer tipo de impureza, ou seja, nesta etapa não foram removidos nem os materiais grosseiros, como folhas e galhos e nem a chuva mais poluída, ou seja, a primeira chuva. Foram coletadas amostras simples na saída do condutor vertical conectado diretamente às calhas do prédio em questão, com auxílio de beakers de plástico de 2 L cada. As amostras coletas eram levadas imediatamente ao LABSAN para realização das análises.

Esta etapa possibilitou caracterizar a deposição total dos elementos presentes na atmosfera, ou seja, caracterizou-se a deposição úmida acrescida da deposição seca, possibilitando a verificação da variação da qualidade da água da chuva após passar pela superfície de captação.

4.4.2 2ª Etapa – Com eliminação de 0,5 mm de primeira chuva

A partir desta etapa de caracterização, a estrutura de coleta e aproveitamento da água da chuva já estava concluída. Nesta etapa iniciou-se a verificação das mudanças na qualidade da água da chuva após realizar o tratamento simplificado, composto pela remoção de materiais grosseiros e da primeira chuva. As coletas foram realizadas entre os meses de dezembro de 2004 e maio de 2005.

O sistema no interior do REPC foi nivelado para armazenar 0,5 mm de chuva, ou seja, 40 L. Depois de atingido este volume, a válvula fechava a entrada de chuva neste reservatório e direcionava a chuva seguinte para o RAF.

Foram coletadas amostras simples em três pontos, sendo eles no REPC, onde todo o volume era coletado e homogeneizado para formar a amostra, e os outros dois no RAF, sendo um na superfície do reservatório e o outro no fundo do mesmo. A amostra da superfície caracteriza a água a ser utilizada em um sistema de aproveitamento de água de chuva. Já a amostra do fundo, mostra as impurezas que não foram retidas pelo tratamento simplificado e se depositaram no fundo do reservatório. Para a coleta desta amostra do fundo, promoveu-se a homogeneização da chuva no interior do RAF, suspendendo o material sedimentado. Esta atividade era sempre realizada após a coleta da amostra da chuva da superfície. Para cada ponto de amostragem foram coletados 2,5 L de água de chuva, os quais eram acondicionados em frascos de polietileno e enviados ao LABSAN para realização imediata das análises.

As Figuras 34 e 35 ilustram a coleta da água da chuva da superfície e o revolvimento do material sedimentado, para a coleta das amostras de água do fundo do reservatório.



Figura 34 – Coleta da amostra da superfície do reservatório



Figura 35 – Revolvimento do material sedimentado no fundo do reservatório para posterior coleta da amostra

4.4.3 3ª Etapa – Com eliminação de 1,0 mm de primeira chuva

O procedimento realizado nesta etapa foi exatamente igual ao realizado na 2ª etapa de caracterização da água da chuva ao longo do sistema de aproveitamento da mesma, diferenciando-se apenas pela regulação do nível no interior do REPC, que passou a armazenar 1,0 mm de chuva, ou seja, 80 L. Esta etapa foi realizada entre os meses de agosto e outubro de 2005.

4.4.4 4ª Etapa – Com eliminação de 1,5 mm de primeira chuva

Assim como na 3ª etapa, a 4ª etapa só se diferenciou da segunda pela regulação do nível no interior do REPC, que passou a armazenar 1,5 mm de chuva, ou seja, 120 L. Esta etapa foi realizada entre os meses de maio e julho de 2005.

As 2ª, 3ª e 4ª etapas possibilitaram verificar a variação da qualidade da água da chuva direcionada ao RAF, após a eliminação de diferentes volumes de primeira chuva. Além disso, estas etapas possibilitaram a caracterização da qualidade da água da primeira chuva.

Estas etapas tiveram como objetivo maior verificar a diferença de qualidade entre a primeira chuva e a chuva seguinte, e identificar o volume ideal de primeira chuva a ser removido, verificando a partir de qual volume, a chuva direcionada ao reservatório apresentava qualidade compatível com os usos não potáveis, sem entretanto perder muita chuva, para não comprometer a capacidade de produção de chuva do sistema.

4.4.5 5ª Etapa – Após 7 dias de armazenamento

A quinta etapa foi realizada concomitantemente com as 2ª, 3ª e 4ª etapas de caracterização da chuva ao longo do sistema de aproveitamento, e teve como objetivo estudar as mudanças da qualidade da água da chuva no interior do RAF após um período de armazenamento de 7 dias.

Após a chuva, as amostras das 2ª, 3ª e 4ª etapas eram coletadas e a entrada de água no RAF era fechada, deixando a chuva armazenada por uma semana para posterior coleta e análise. Nesta etapa o ponto de amostragem foi na superfície do reservatório de armazenamento final. Realizou-se uma amostragem simples, coletando 2,5 L de chuva em frasco de polietileno, o qual era enviado ao LABSAN para análise imediata da amostra.

Após a coleta da amostra da chuva armazenada por uma semana, o RAF era esvaziado e limpo para receber a próxima chuva, esta rotina foi executada nas 2ª, 3ª e 4ª etapas, após o ciclo completo de análise de cada chuva.

4.4.6 Análise Estatística

Utilizou-se o software Excel para realizar a estatística descritiva dos resultados das análises, composto pela média, mediana, desvio padrão, valores máximo e mínimo e percentis. Foram gerados gráficos do tipo Box Plot (Figura 36) e gráficos de barra com os valores médios.

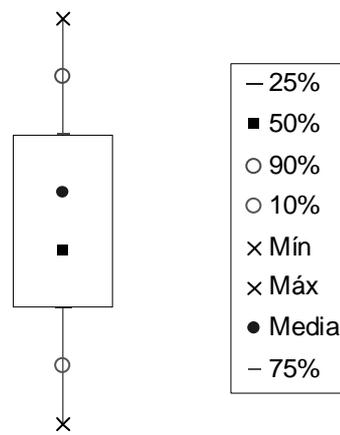


Figura 36 – Gráfico do Tipo Box Plot

4.5 QUANTIFICAÇÃO DO ÍNDICE PLUVIOMÉTRICO DE VITÓRIA

Para realizar o estudo de produção de chuva no sistema de aproveitamento do Parque Experimental do Núcleo Água, buscou-se junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) os dados de precipitação da cidade de Vitória, o qual disponibilizou a série histórica de chuva mensal do ano de 1976 a 2003 da Estação Meteorológica Nº 83648, localizada no Bairro Ilha de Santa Maria em Vitória.

O volume diário de chuva do ano de 2005 foi registrado através do pluviógrafo da marca NovaLynx instalado no Parque Experimental do Núcleo Água (Figura 37). Os dados do pluviógrafo foram registrados a cada 5 minutos pelo DataLogger da Estação Meteorológica existente no Parque Experimental (Figura 38).



Figura 37 – Pluviômetro instalado no Parque Experimental do Núcleo Água



Figura 38 – DataLogger da Estação Meteorológica do Parque Experimental do Núcleo Água

Os dados de precipitação obtidos através do INMET e através do pluviômetro instalado no Parque Experimental do Núcleo Água foram enviados a uma planilha do software Excel, para a formação de um banco de dados, disponibilizando informações como o volume de chuva mínimo, médio e máximo e o número de dias chuvosos, possibilitando a geração de gráficos para análise dos dados.

4.6 QUANTIFICAÇÃO DA DEMANDA POR ÁGUA NÃO POTÁVEL

Outro elemento de suma importância que precisa ser determinado em um estudo de aproveitamento de água de chuva é o volume demandado por este tipo de água.

4.6.1 Prédio do Núcleo Água

No primeiro momento, realizou-se a quantificação teórica da demanda por água não potável do Prédio do Núcleo Água, utilizado-se como referência os dados de demanda interna de água não potável de uma residência descritos na Tabela 3, apresentada na Revisão Bibliográfica. Os dados adotados no cálculo estão sintetizados na Tabela 9.

Tabela 9 – Dados para cálculo da demanda de água não potável da UFES

PARÂMETROS	VALORES UTILIZADOS
Número de usuários	10 Mulheres
	4 Homens
Vaso sanitário (Volume de descarga)	6 L/descarga
Vaso sanitário (Frequência de uso)	3 descargas/hab/dia
Mictório (Volume de descarga)	2 L/descarga
Mictório (Frequência de uso)	3 descargas/hab/dia

O passo seguinte foi mensurar a demanda de água não potável e ser atendida pela água da chuva no Prédio do Núcleo Água. Para isso foram instalados, nos pontos de consumo de água desse prédio, hidrômetros do tipo Unijato Magnético com saída de sinal da marca LAO (Figura 39). Esses hidrômetros geram um pulso elétrico a cada 100 ml de água que passa em seu interior. Os sinais gerados são convertidos em dados de vazão e são enviados a cada segundo a um computador que os armazena. O detalhamento de todo o sistema de medição e captura dos dados gerados pelos hidrômetros encontra-se no Anexo A.



Figura 39 – Hidrômetro instalado no prédio do Parque Experimental do Núcleo Água

Ao final de cada mês os dados registrados pelos hidrômetros, instalados nos vasos sanitários e mictórios foram compilados e organizados, resultando na demanda medida de água não potável do Prédio do Núcleo Água.

4.6.2 Residência Unifamiliar

Uma outra demanda por água não potável foi quantificada. No intuito de fazer um comparativo, estimou-se a demanda por água não potável de uma residência unifamiliar com 5 habitantes, utilizando para tanto os dados de demanda interna e externa de água não potável descritos na Tabela 3, apresentada na Revisão Bibliográfica. Os dados adotados no cálculo estão sintetizados na Tabela 10.

Tabela 10 – Dados para cálculo da demanda de água não potável de uma residência

PARÂMETROS		VALORES UTILIZADOS
Número de usuários		5 habitantes
Demanda Interna		
Vaso sanitário	Volume de descarga	6 L/descarga
	Freqüência de uso	3 descargas/hab/dia
Demanda Externa		
Gramado ou jardim	Área	5 m ²
	Volume	2 L/dia/m ²
	Freqüência de rega	8 regas/mês
Área impermeável	Área	5 m ²
	Volume	3 L/dia/m ²
Lavagem de 1 carro	Freqüência de lavagem	8 lavagens/mês
	Volume	100 L/lavagem/carro
	Freqüência de lavagem	2 lavagens/mês

4.7 DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE CHUVA

O dimensionamento de reservatório de água de chuva foi realizado para três demandas de água não potável distintas, sendo elas as demandas calculada e medida do Prédio do Núcleo Água na UFES e a demanda calculada para uma residência unifamiliar.

Os dados de entrada utilizados no dimensionamento foram: o índice pluviométrico mensal da cidade de Vitória, a área de captação de cada edificação, o coeficiente teórico de escoamento superficial de 80%, adotado a partir dos dados descritos na literatura (PACEY et al., 1996 apud TOMAZ, 2003) e a demanda mensal constante de água não potável.

Os dados utilizados nos dimensionamentos de cada sistema estão sintetizados na Tabela 11.

Tabela 11 – Dados utilizados no dimensionamento do reservatório de água de chuva

DADOS DE ENTRADA	UFES	Residência unifamiliar
Área de captação	80 m ²	100 m ²
Coeficiente de escoamento	80%	80%

Esses dados serviram de entrada para os modelos matemáticos utilizados no dimensionamento, com o objetivo de, através de um balanço hídrico do sistema de aproveitamento de água de chuva, compatibilizar produção e demanda, na tentativa de determinar um volume de armazenamento ideal, que garantisse o maior período de abastecimento sem onerar demais o custo de implantação do sistema.

O primeiro passo do dimensionamento foi realizar a Simulação de Monte Carlo com a série histórica de 27 anos de chuva de Vitória. A partir da série histórica, o Método de Simulação de Monte Carlo gerou séries sintéticas mensais de chuva com confiabilidade variando de 5% a 95%, utilizando a função Percentil do software Excel. A confiabilidade do sistema obtida através do Método de Monte Carlo diz respeito à probabilidade de falha no atendimento à demanda, considerando-se as confiabilidades acima de 75% toleráveis (TOMAZ, 2003).

Para cada série sintética de chuva gerada pela simulação de Monte Carlo foram realizados os estudos de dimensionamento de reservatório de acumulação de água de chuva. As séries sintéticas de chuva geradas pela Simulação de Monte Carlo encontram-se no Anexo B.

Os modelos utilizados no dimensionamento foram: o Método de Rippl, o Método Interativo e o Modelo Comportamental, sendo que o Método de Rippl e o Método Interativo têm como base o modelo do Período Crítico. O software utilizado foi o Excel e os dados de entrada foram os mesmos para os três modelos, os quais foram listados anteriormente.

4.7.1 Método de Rippl

Para realizar o dimensionamento de reservatório de água de chuva pelo Método de Rippl, utilizou-se a planilha mostrada na Figura 40, a qual foi desenvolvida com base na formulação apresentada no item 3.6.1. Os dados de entrada e de saída dessa planilha são detalhados a seguir:

Coluna 1 – Período de tempo em meses.

Coluna 2 – Chuva média mensal (mm).

Coluna 3 – Volume correspondente à demanda mensal constante de água de chuva (m^3).

Coluna 4 – Área de captação de chuva do sistema (m^2).

Coluna 5 – Produção mensal de chuva (m^3), correspondente ao volume mensal de chuva coletado pelo sistema. Este valor é obtido pela multiplicação da coluna 2 com a coluna 4 e com o coeficiente de escoamento superficial. O resultado da multiplicação é dividido por 1.000 para obter-se o valor de produção de chuva em metros cúbicos.

Coluna 6 – Diferença entre os valores de demanda e produção de chuva, obtido pela subtração da coluna 3 pela coluna 5. Os resultados negativos desta subtração indicam que há excesso de chuva, e os resultados positivos indicam que há falta de chuva, ou seja, o volume demandado é superior ao volume de chuva produzido.

Coluna 7 – Somatório dos valores positivos da coluna 6. Nesta coluna, não são computados os valores negativos da coluna 6, pois estes indicam que há sobra de água de chuva.

O volume do reservatório é obtido na linha 14, que corresponde ao valor máximo encontrado na coluna 7.

C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	
Meses	Chuva média mensal (mm)	Demanda constante mensal (m ³)	Área de captação (m ²)	Produção mensal de chuva (m ³)	Demanda - Produção (m ³)	Somatório dos valores positivos da coluna 6 (m ³)	
Janeiro							
Fevereiro							
Março							
Abril							
Maio							
Junho							
Julho							
Agosto							
Setembro							
Outubro							
Novembro							
Dezembro							
Volume do reservatório de armazenamento (m ³)							L 14

Figura 40 – Planilha de cálculo do Método de Rippl

4.7.2 Método Interativo

O Método Interativo proposto, foi uma adaptação do Método de Rippl e também faz um balanço de massa do sistema, utilizando a planilha mostrada na Figura 41. Os dados de entrada e de saída dessa planilha são detalhados a seguir:

Coluna 1 – Período de tempo em meses.

Coluna 2 – Chuva média mensal (mm).

Coluna 3 – Volume correspondente à demanda mensal constante de água de chuva (m³).

Coluna 4 – Área de captação de chuva do sistema (m²).

Coluna 5 – Volume captável de chuva mensal do sistema (m³). Este valor é obtido pela multiplicação da coluna 2 com a coluna 4 e com o coeficiente de escoamento superficial. O resultado da multiplicação é dividido por 1.000 para obter-se o valor de produção de chuva em metros cúbicos.

Célula B – Volume máximo do reservatório (m^3). O valor desta célula corresponde ao valor máximo obtido na coluna 5. Este valor é colocado à disposição do programador para que o mesmo o tenha como um referencial e, ao mesmo tempo, como um limite para o dimensionamento.

Célula A – Volume de reservação proposto (m^3). Esta célula é preenchida pelo programador, o qual adota um volume de reservação, que pode ser alterado de acordo com a necessidade do sistema e ao longo da simulação.

Coluna 6 – Volume captado de chuva mensal (m^3). Este valor é determinado utilizando-se a função SE do software Excel. Pré-determinado o volume do reservatório (Cel A), a função irá verificar se o volume de chuva captável no mês pelo sistema (C 5) é maior ou menor que o volume de reservação proposto. Caso o volume captável (C 5) seja menor, este será o resultado na coluna 6, caso contrário, a função retorna como resultado o volume de reservação pré-determinado (Cel A).

Coluna 7 – Diferença entre os valores de produção de chuva e demanda, obtido pela subtração da coluna 6 pela coluna 3. Os resultados positivos desta subtração indicam que há excesso de chuva, e os resultados negativos indicam que há falta de chuva, ou seja, o volume demandado é superior ao volume de chuva produzido. Os dados dessa coluna também podem ser utilizados pelo programador para verificar a eficiência do sistema.

Coluna 8 – Percentual de demanda atendida com água de chuva (%). Corresponde à divisão da coluna 6 pela coluna 3, multiplicando-se o resultado por 100.

Célula C – Média de atendimento à demanda (%). Corresponde a média dos valores da coluna 8.

O volume do reservatório é obtido pela Célula A, pré-determinado pelo programador, que irá modificá-la, aumentando ou diminuindo o volume de reservação de acordo com o percentual de atendimento à demanda e limitando-se pelo valor da célula B.

	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8
Meses	Chuva média (mm)	Demanda Constante (m ³)	Área de captação (m ²)	Volume captável (m ³)	Volume captado (m ³)	Vol. captado - demanda (m ³)	% de demanda atendida	
Janeiro								
Fevereiro								
Março								
Abril								
Maio								
Junho								
Julho								
Agosto								
Setembro								
Outubro								
Novembro								
Dezembro								
Total								
Volume de reservação proposto (m3)			Volume máximo do reservatório (m³)			Média de atendimento à demanda		
	Cel A			Cel B			Cel C	

Figura 41 – Planilha de cálculo do Método Iterativo

4.7.3 Modelo Comportamental

O algoritmo utilizado no Modelo Comportamental foi o proposto por Latham (1983 apud FEWKES, 1999), cujas equações estão descritas no item 3.6.1 da Revisão Bibliográfica. Utilizou-se os dois algoritmos de operação de reservatório, para $\theta=0$ calculou-se a operação PDE e para $\theta=1$ calculou-se a operação PAE.

Neste modelo foram utilizadas várias planilhas com os mesmos dados de entrada, com exceção do volume do reservatório. Cada planilha tem o seu volume pré-determinado de reservatório, e para cada volume calcula-se o percentual de demanda atendida, todos os pares de dados gerados pelas planilhas (volume de reservação e percentual de demanda atendida) são enviados a um gráfico para análise e escolha do volume do reservatório. A Figura 42 ilustra a planilha utilizada para o cálculo.

L 1	Area de captacao (A)								
L 2	Coeficiente de escoamento (C)								
L 3	Valor de Teta (0 ou 1)								
L 4	Volume do reservatorio (S)								

	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8
Meses	Chuva (m)	Demanda (m ³)	Produção de Chuva (m ³)	Volume Captado Q (m ³)	Volume de chuva no reservatório V (m ³)	Suprimento de Chuva Y (m ³)	Eficiencia do sistema E (%)	
Janeiro								
Fevereiro								
Março								
Abril								
Mai								
Junho								
Julho								
Agosto								
Setembro								
Outubro								
Novembro								
Dezembro								
Total								

Figura 42 – Planilha de cálculo do Modelo Comportamental

Os dados de entrada e de saída dessa planilha são detalhados a seguir:

Linha 1 – Área de captação de chuva do sistema (m²).

Linha 2 – Coeficiente de escoamento superficial (%).

Linha 3 – Valor de Teta, que pode ser igual a 0 ou igual a 1, de acordo com o algoritmo adotado.

Linha 4 – Volume do reservatório proposto (m³).

Coluna 1 – Período de tempo em meses.

Coluna 2 – Chuva média mensal (m).

Coluna 3 – Volume correspondente à demanda mensal constante de água de chuva (m³).

Coluna 4 – Produção de chuva, corresponde ao volume mensal de chuva coletado pelo sistema (m^3). Este valor é obtido pela multiplicação da coluna 2 com a linha 1 e com a linha 2, dividindo-se o resultado por 100.

Coluna 5 – Volume captado de chuva mensal (m^3). Este valor é determinado utilizando-se a função SE do software Excel. Pré-determinado o volume do reservatório (L 4), a função irá verificar se o volume de chuva produzido no mês pelo sistema (C 4) é maior ou menor que o volume de reservação proposto (L 4). Caso o volume produzido (C 4) seja menor, este será o resultado na coluna 5, caso contrário, a função retorna como resultado o volume de reservação pré-determinado (L 4).

Coluna 6 – Volume de chuva no reservatório (m^3). Corresponde a equação 7 descrita no item 3.6.1.

Coluna 7 – Suprimento de chuva (m^3). Corresponde a equação 6 descrita no item 3.6.1.

Coluna 8 – Eficiência do sistema (%). Corresponde ao percentual de demanda atendida com água de chuva, obtido através da divisão da coluna 7 pela coluna 3, multiplicando-se o resultado por 100.

4.8 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Realizou-se uma análise de viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de água de chuva dimensionados. Esta análise teve com objetivo determinar o período de retorno dos gastos com a implantação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, ou seja, determinou-se o período de retorno do investimento.

Para realizar a análise de viabilidade econômica do sistema foram contabilizados os custos de implantação, incluindo material, e custos com despesas de operação e manutenção do sistema, incluindo custo de energia elétrica para o bombeamento da

água. Contabilizou-se também o benefício gerado pela economia de água potável na edificação.

Para o cálculo do valor da economia de água proporcionada pelo sistema de água de chuva, utilizou-se a tarifa de água cobrada pela CESAN para residência padrão, com consumo acima de 30 m³/mês, que é de R\$ 3,38 (três reais e trinta e oito centavos) por m³ de água. Além disso, a companhia cobra a taxa de esgoto em função do volume de água consumido, cobrando para o mesmo tipo de residência um valor de R\$ 2,71/m³. Portanto, o custo total por m³ de água economizado é de R\$ 6,09 (seis reais e nove centavos).

A título de comparação, os dados utilizados na análise de viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de água de chuva foram os mesmos tanto para o prédio do Núcleo Água quanto para a residência unifamiliar.

Para o cálculo do período de retorno do investimento utilizou-se a equação 8 para gerar o valor presente (P) dos custos mensais, adicionando-se o valor obtido ao custo do investimento do sistema (GOMES, 2005).

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad \text{Equação 8}$$

Onde,

P: Valor presente (R\$),

A: Custo mensal com operação e manutenção (R\$),

n: Vida útil do projeto (anos), correspondente ao período de atendimento das estruturas físicas projetadas, variando de 10 a 30 anos.

i: Taxa de juros (% aa.).

Os valores adotados para a análise de viabilidade econômica foram de n igual a 20 anos, taxa de juros anual (i) igual 10% aa. e um custo com manutenção (A) de R\$100,00 por ano.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA CHUVA DA ATMOSFERA

Neste item apresenta-se os resultados obtidos pelo estudo de verificação do volume de chuva necessário para promover a limpeza da atmosfera, onde foram coletados separadamente o primeiro, o segundo, o terceiro milímetro de chuva e a chuva restante em reservatórios distintos. Foram realizadas 5 coletas de chuvas distintas entre os meses de fevereiro e maio de 2005.

As Figuras 43 a e b ilustram os valores médios encontrados nesta etapa, mostrando a variação da qualidade da água nos primeiros milímetros de chuva.

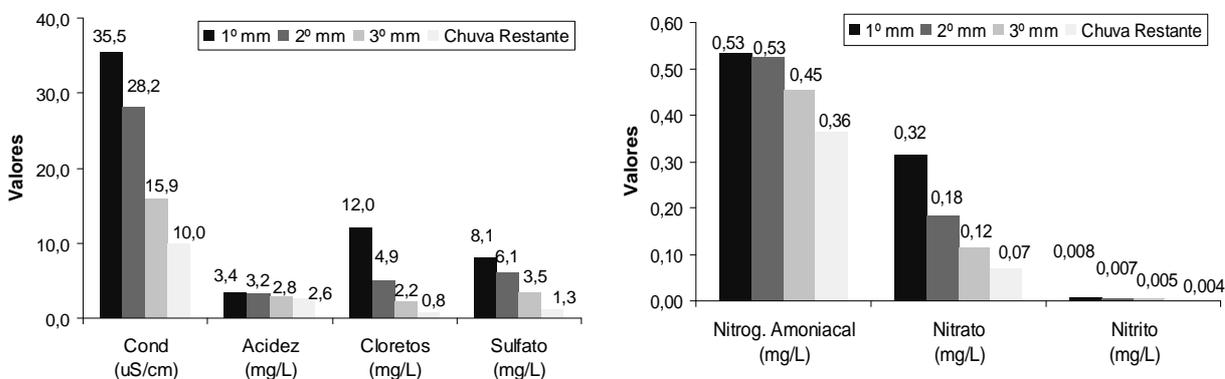


Figura 43 a e b – Caracterização dos milímetros de chuva da atmosfera de Vitória

Observa-se que removendo o primeiro milímetro de chuva, o segundo milímetro já apresenta grandes reduções em alguns parâmetros, como condutividade, cloretos, sulfato e nitrato, sendo a redução na concentração de cloretos a mais acentuada. Para os valores de acidez não se observa grandes alterações do 1º milímetro à chuva restante, havendo uma redução de 0,6 mg/L de acidez do 1º mm ao 3º mm.

A remoção mais significativa do nitrogênio amoniacal só é observada a partir da remoção do 3º milímetro de chuva. Isso pode ser explicado devido à presença de

uma fonte importante de emissão de amônia próximo à região de coleta da água da chuva. Os valores de nitrito encontrados foram muito baixos, ficando sempre abaixo de 0,01 mg/L, mesmo assim também observa-se a diminuição gradativa da concentração desse elemento ao longo da chuva.

Os resultados desta etapa confirmaram que a chuva tem um importante papel na remoção dos poluentes da atmosfera, promovendo a limpeza da mesma. Observa-se que os primeiros milímetros de chuva são os mais poluídos e que ao longo do evento chuvoso ocorre uma melhora na qualidade da água da chuva.

Estudo semelhante foi realizado por Jaques, Ribeiro e Lapolli (2005) na cidade de Florianópolis (SC). Os autores utilizaram um telhado de cimento amianto e realizaram 4 coletas distintas de amostras de chuva, sendo uma no momento inicial da precipitação, a segunda após 10 minutos de chuva, a terceira após 30 minutos de chuva e a quarta após 1 hora de chuva. Neste estudo verificou-se uma grande redução na cor das amostras após 10 minutos de chuva, obtendo-se resultados de 58,78, 22,89, 22,78 e 15,71 uH, respectivamente.

Apesar do estudo realizado na cidade de Florianópolis ter utilizado como referência o tempo de chuva, acredita-se que o parâmetro ideal a ser utilizado na verificação da limpeza da atmosfera é o milímetro de chuva. Pois este sempre resultará no mesmo volume de chuva a ser descartado, enquanto ao se eliminar a chuva com base no tempo, diferentes volumes de chuva serão descartados, pois a intensidade da chuva não é constante.

5.2 COMPARAÇÃO DA CHUVA DA ATMOSFERA COM A CHUVA COLETADA DO TELHADO (1ª ETAPA)

A seguir são apresentados os resultados de qualidade da chuva da atmosfera, onde foram realizadas 42 coletas entre os meses de abril de 2004 e julho de 2005. Esses resultados são comparados aos resultados da 1ª Etapa de coleta da água da chuva no sistema de aproveitamento, onde coletou-se amostras de chuva após passar pelo

telhado sem remover qualquer tipo de impureza. As coletas das amostras da água da chuva do telhado foram realizadas entre os meses de abril e novembro de 2004.

Os resultados da chuva da atmosfera possibilitaram a caracterização da deposição úmida dos compostos presentes na atmosfera, visto que as amostras foram coletadas sem passar por uma superfície exposta ao tempo. Já os resultados da 1ª Etapa de coleta da água da chuva no sistema de aproveitamento possibilitaram caracterizar a deposição total dos elementos presentes na atmosfera, ou seja, caracterizou-se a deposição úmida acrescida da deposição seca.

Observa-se um aumento nos valores de pH e de alcalinidade na água da chuva após passar pela superfície de captação, conforme ilustram as Figuras 44 e 45. O pH médio da chuva da atmosfera foi de 6,09 enquanto o pH da chuva após passar pelo telhado foi de 6,84. Com relação a alcalinidade o aumento foi mais significativo, valores médio de 1,8 mg/L da chuva da atmosfera passaram para 18,5 mg/L na chuva do telhado, esse aumento pode ser em função das características do material depositado sobre o telhado durante o período de estiagem, carregado no momento da chuva.

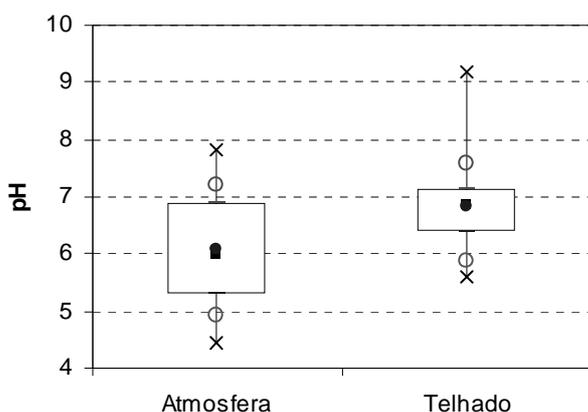


Figura 44 – Resultado de pH da chuva da atmosfera e da chuva do telhado (1ª etapa)

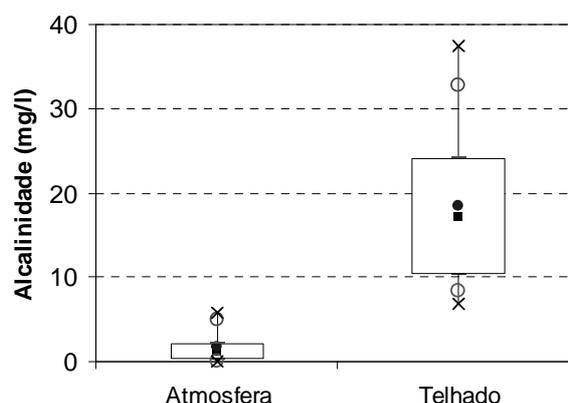


Figura 45 – Resultado de alcalinidade da chuva da atmosfera e da chuva do telhado (1ª etapa)

May (2004) também detectou o mesmo comportamento com relação ao pH na chuva de São Paulo. Em seu estudo, as amostras da chuva da atmosfera apresentaram pH médio de 4,9 e as amostras de chuva coletadas do telhado apresentaram uma variação de pH de 5,8 a 7,6. Segundo May (2004), essa variação foi causada pela

presença de limo e bactérias na água que passa pelo telhado e pela composição dos materiais da edificação.

A Figura 46 mostra a distribuição dos valores de pH encontrados na chuva da atmosfera, onde observa-se que apenas 11% das chuva foram ácidas, ou seja, com pH inferior a 5,0.

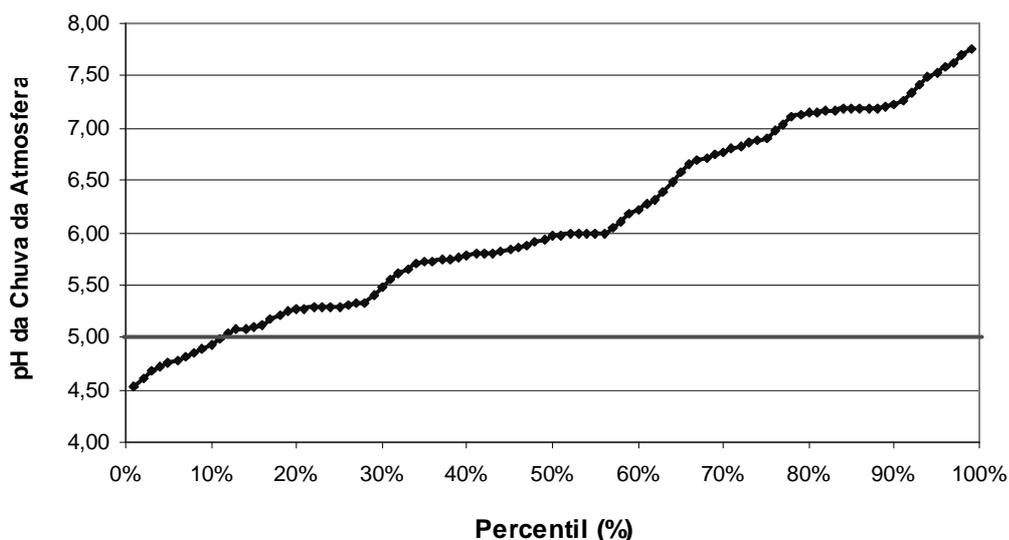


Figura 46 – Distribuição do pH da água da chuva da atmosfera de Vitória

Em estudo semelhante realizado por Queiroz e Tavares (2003) em Ondina, Salvador (BA), verificou-se que, dos valores de pH obtidos, apenas 18% dos eventos chuvosos poderiam ser considerados ácidos. Segundo os autores, uma das explicações para esse baixo índice de chuva ácida é o efeito neutralizador do spray marinho, que contribui para a “limpeza” do ar removendo os n-alcanos, SO_2 , NO_x e HNO_3 , neutralizando parte da acidez da chuva. Pelo fato da região de estudo de Vitória também ser próxima ao oceano, este também poderia ser o motivo pelo qual ocorreram poucos eventos caracterizados como chuva ácida nesta região.

Na Figura 47 observa-se os valores médios encontrado em alguns parâmetros para a chuva da atmosfera e para a chuva do telhado (1ª etapa). Para todos os parâmetros descritos nesta figura, os valores médios encontrados nas amostras da água da chuva coletada do telhado são maiores do que nas amostras da chuva da

atmosfera, mostrando com isso que a água da chuva piora sua qualidade ao passar pela superfície de captação, neste caso o telhado.

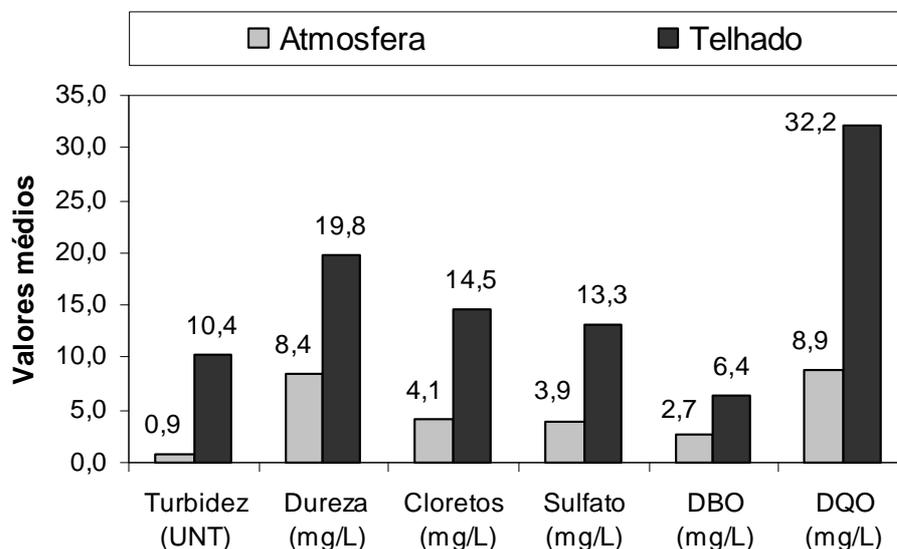


Figura 47 – Comparação dos resultados da chuva da atmosfera com a chuva do telhado (1ª etapa)

Valores de turbidez que na água da chuva da atmosfera eram de apenas 0,9 UNT, chegaram a valores médios de 10,4 UNT após passar pelo telhado. Observa-se um grande aumento também nas concentrações de dureza, cloretos, sulfato e DQO da chuva após passar pelo telhado.

A Figura 48a mostra uma concentração média de 204,6 mg/L de ST na chuva do telhado contra apenas 47,3 mg/L na chuva da atmosfera. A presença de sólidos na chuva da atmosfera é em função do MP disperso na atmosfera.

Com relação ao nitrogênio e ao fósforo as concentrações encontradas foram baixas, com valores médios abaixo de 0,6 mg/L para o nitrogênio amoniacal e valores abaixo de 0,2 mg/L para o fósforo total. Para o nitrato e o nitrogênio amoniacal não houve uma variação significativa se comparada a chuva da atmosfera com a chuva do telhado (Figura 48b).

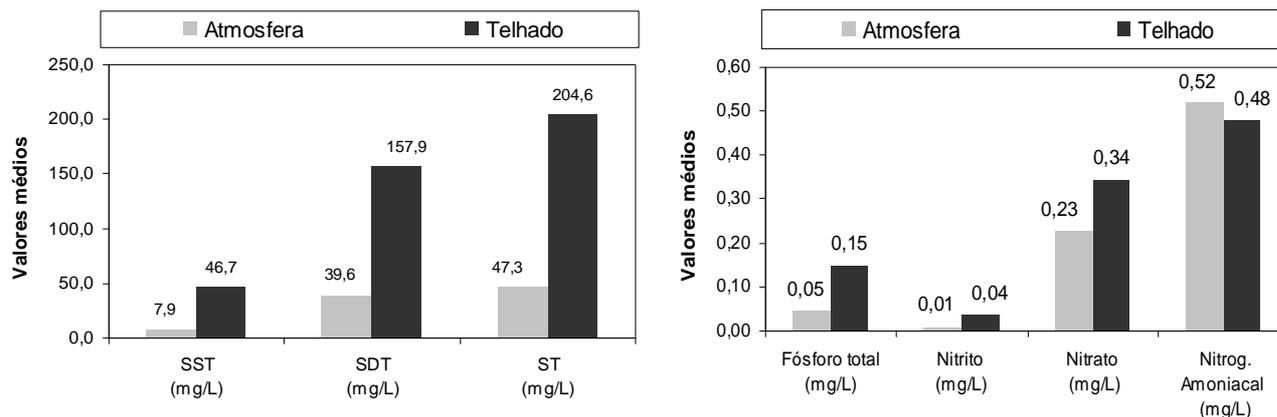


Figura 48 a e b – Comparação dos resultados da chuva da atmosfera com a chuva do telhado (1ª etapa)

Com relação às análises microbiológicas, o valor médio obtido nas análises de *E. coli* para a chuva coletada do telhado foi da ordem de 10^1 NMP/100 ml e para coliformes totais o valor máximo obtido nas análises da água da chuva do telhado foi de $1,46 \times 10^2$ NMP/100 ml.

Comparando-se os resultados de qualidade da água da chuva coletada da atmosfera com os padrões de qualidade de corpos d'água classe 2, estabelecidos pela Resolução CONAMA N°357/05, verifica-se que os valores médios obtidos nas análises da água da chuva enquadram-se nos padrões.

Além disso, verifica-se que a água da chuva coletada do telhado atende aos padrões microbiológicos estabelecidos pelos padrões de balneabilidade (CONAMA N°274/00), podendo inclusive ser classificada na categoria excelente. Com relação aos padrões de corpos d'água estabelecidos pela Resolução CONAMA N°357/05, verifica-se que a água da chuva coletada do telhado atende à maioria dos padrões descritos para a classe 3, ficando acima apenas para o parâmetro fósforo total. Com relação ao padrão de potabilidade da Portaria N°518/04 do MS, a chuva coletada do telhado atende com folga a muitos padrões, com exceção dos padrões microbiológicos.

A tabela 12 mostra resultados de estudos de caracterização da água da chuva da atmosfera realizados por outros autores.

Tabela 12 – Comparação com os resultados da chuva da atmosfera de outros autores

Autor	Local de pesquisa	Parâmetros (valores médios)						
		pH	Turbidez (UNT)	Dureza (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Nitrog. Amônia. (mg/L)	Nitrato (mg/L)
Mello (2001)	Rio de Janeiro	5,10	-	-	83,8	52,9	-	18,90
Forti et al. (1990)	São Paulo	5,00	-	-	0,94	2,48	-	2,77
De Luca e Vásquez (2000)	Porto Alegre	6,30	-	-	3,07	3,34	0,40	0,33
Pinheiro et al. (2005)	Blumenau	5,31	1,8	24,0	5,08	-	-	-
Esta pesquisa	Vitória	6,09	0,9	8,4	4,1	3,90	0,52	0,23

Com relação aos resultados de turbidez, dureza e nitrato, os valores encontrados em Vitória foram menores do que os encontrados nas outras pesquisas. Já com relação aos resultados de cloretos e sulfato, os valores encontrados na chuva da atmosfera de Vitória foram maiores do que os encontrados na chuva da atmosfera de São Paulo e de Porto Alegre, provavelmente, por se tratar de uma região litorânea.

Considerando os estudos em questão, observa-se que, de uma maneira geral, a chuva de Vitória apresentou qualidade superior se comparada às chuvas do Rio de Janeiro e de Blumenau.

A tabela 13 mostra resultados de estudos de caracterização da água da chuva coletada de telhados, realizados por outros autores.

Tabela 13 – Comparação com os resultados da chuva coletada de telhado de outros autores

Autor	Local de pesquisa	Parâmetros (valores médios)					
		pH	Turbidez (UNT)	Dureza (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)
Handia, Tembo e Mwiindwa (2003)	Zambia	7,30	-	-	6,0	1,69	5,11
Valle et al. (2005)	Blumenau	5,30	1,8	10,0	3,5	-	-
Esta pesquisa	Vitória	6,84	10,4	19,8	14,5	13,30	0,34

Comparando-se os resultados de turbidez, dureza e cloretos desta pesquisa com a pesquisa realizada em Florianópolis, por Valle et al. (2005), observa-se que os resultados encontrados na chuva de Vitória, coletada em telhado metálico, apresentaram valores maiores do que na chuva de Florianópolis, coletada em telhado cerâmico, mostrando assim que o tipo de revestimento da superfície de captação influencia na qualidade da água da chuva.

Todos os resultados obtidos através das análises da chuva da atmosfera e da chuva do telhado (1ª etapa) estão descritos no Anexo C.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA COLETADA NO SISTEMA DE APROVEITAMENTO

Neste item são apresentados e comparados os resultados obtidos nas 2ª, 3ª e 4ª etapas de caracterização da água da chuva coletada no sistema de aproveitamento, com eliminação de 0,5, 1,0 e 1,5 mm de primeira chuva, respectivamente.

Para a discussão dos resultados a seguir entende-se como *1ª chuva* a amostra de chuva coletada do reservatório de eliminação de primeira chuva e *chuva do reservatório* a amostra da chuva coletada da superfície do reservatório de armazenamento final, após a remoção da primeira chuva.

As figuras apresentadas a seguir mostram em conjunto os resultados das três etapas, na seguinte seqüência: 1ª chuva de 0,5 mm e respectiva chuva direcionada ao RAF, 1ª chuva de 1,0 mm e respectiva chuva direcionada ao RAF e 1ª chuva de 1,5 mm e respectiva chuva direcionada ao RAF.

Com relação aos resultados de OD, observa-se um ligeiro aumento do mesmo na chuva do reservatório a medida que aumenta-se o volume de primeira chuva eliminada (Figura 49). Com relação a condutividade observa-se o contrário, a medida que aumenta-se o volume de primeira chuva eliminada, diminui-se a condutividade da chuva do reservatório, obtendo-se valores médios de 17,6, 16,0 e

13,9 $\mu\text{s}/\text{cm}$ para as chuvas do reservatório após eliminar 0,5, 1,0 e 1,5 mm de primeira chuva, respectivamente (Figura 50).

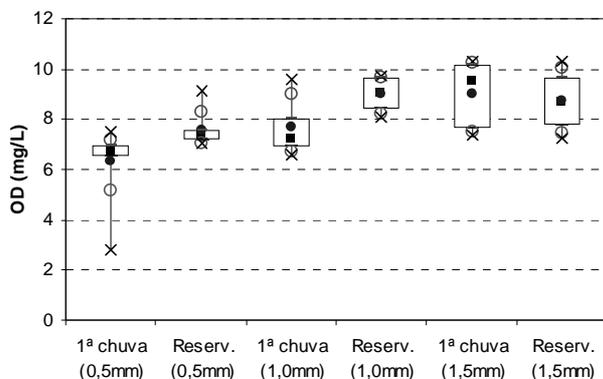


Figura 49 – Concentração de OD nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas

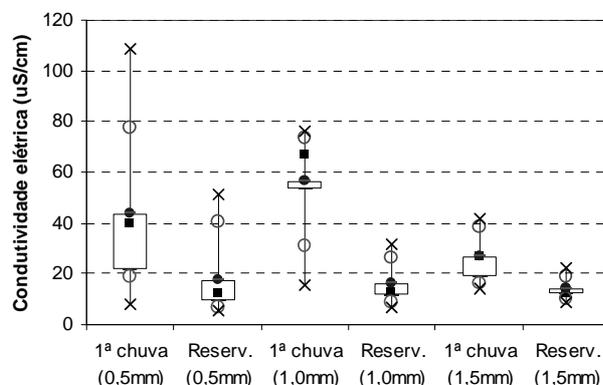


Figura 50 – Condutividade elétrica das amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas

Nos resultados ilustrados pela Figura 51, observa-se que em todas as etapas, a primeira chuva mostrou-se ser mais poluída, apresentado valor máximo de turbidez de até 70 UNT. Verifica-se que a partir da eliminação da primeira chuva, a chuva direcionada ao reservatório de armazenamento final é de melhor qualidade, apresentado valor máximo de turbidez de 1,2 UNT, para a chuva do reservatório após eliminar 0,5 mm de primeira chuva.

No tocante aos resultados de cor também observa-se a melhora na qualidade da chuva do reservatório com a eliminação da primeira chuva mais poluída. Verifica-se ainda que aumentando o volume de 1ª chuva eliminada, diminui a concentração da cor na chuva do reservatório, com resultados médios de 2,5, 2,1 e 0,7 uH para as chuvas do reservatório após eliminar 0,5, 1,0 e 1,5 mm de primeira chuva, respectivamente (Figura 52).

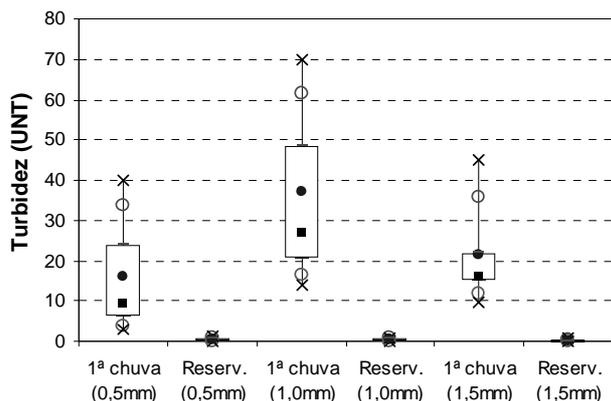


Figura 51 – Turbidez das amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas

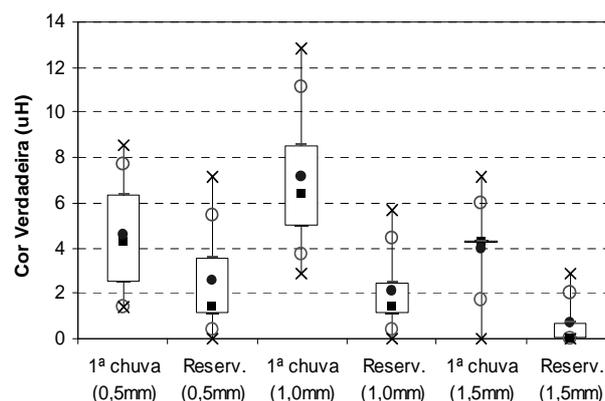


Figura 52 – Cor verdadeira das amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas

Os valores médios de dureza obtidos para a 1ª chuva foram de 15,0, 26,4 e 8,0 mg/L, enquanto que para a chuva do reservatório, os valores médios obtidos foram bem menores, com concentrações médias de 6,0, 5,2 e 2,0 mg/L (Figura 53). Nota-se que a água da chuva apresenta baixa concentração de dureza, ficando bem abaixo do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria N°518/04 do MS, que determina como valor máximo de dureza 500 mg/L para a água destinada ao consumo humano. Confirmando assim que a água da chuva pode ser utilizada para a lavagem de roupas e em processos industriais, como nas torres de resfriamento.

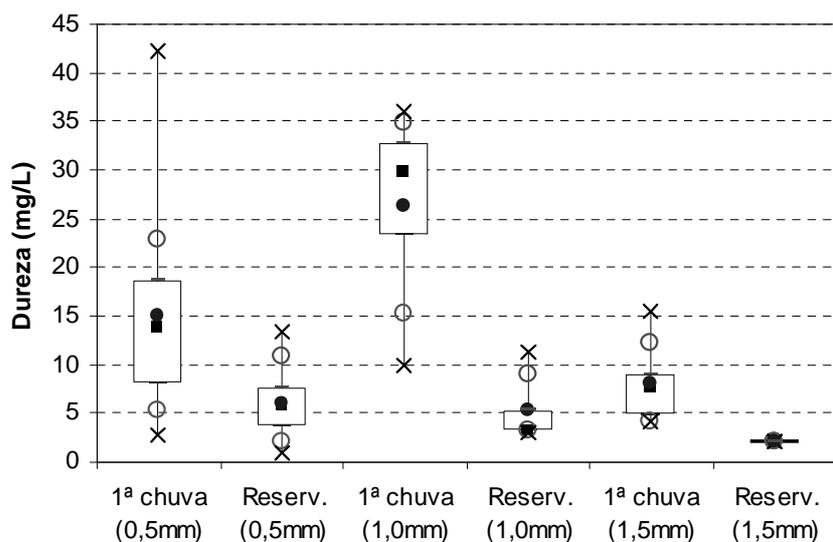


Figura 53 – Concentração de dureza nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas

Os valores máximos de DBO encontrados foram de 15,0 mg/L para a 1ª chuva e 3,5 mg/L para a chuva do reservatório, na etapa de eliminação de 0,5 mm de primeira chuva (Figura 54). Com relação à DQO as concentrações máximas foram de 102,2 mg/L para a 1ª chuva e 26,5 mg/L para a chuva do reservatório, esses valores maiores também foram observados na etapa de remoção de apenas 0,5 mm de primeira chuva. Aumentando-se o volume de descarte de primeira chuva para 1,5 mm, a concentração máxima encontrada para a DQO foi de apenas 9,4 mg/L para a chuva do reservatório (Figura 55).

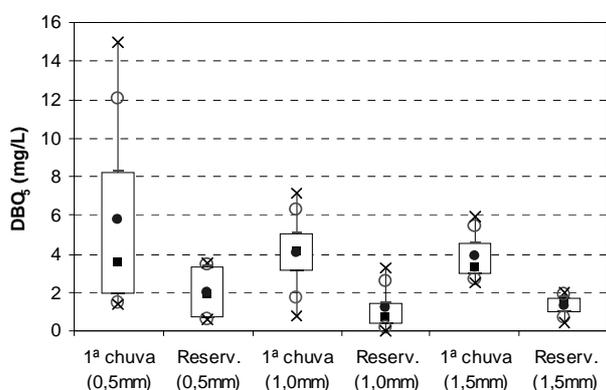


Figura 54 – Concentração de DBO nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas

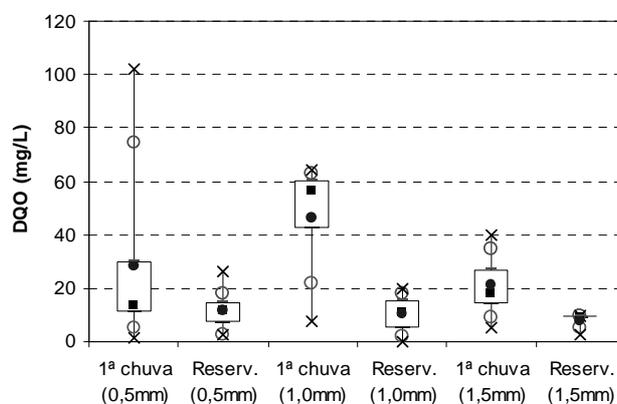


Figura 55 – Concentração de DQO nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas

Com relação aos valores de cloretos e sulfato, um comportamento parecido com os resultados descritos anteriormente é observado. Verifica-se uma ligeira redução das concentrações desses elementos na chuva do reservatório a medida que se aumenta o volume de primeira chuva descartada.

Os valores médios de cloretos para a chuva do reservatório foram de 2,4, 1,5 e 1,3 mg/L após eliminar 0,5, 1,0 e 1,5 mm de primeira chuva, respectivamente (Figura 56).

Para as análises de sulfato os valores médios encontrados para a chuva do reservatório após eliminar 0,5, 1,0 e 1,5 mm de primeira chuva foram de 2,4, 1,8 e 0,5 mg/L, respectivamente (Figura 57).

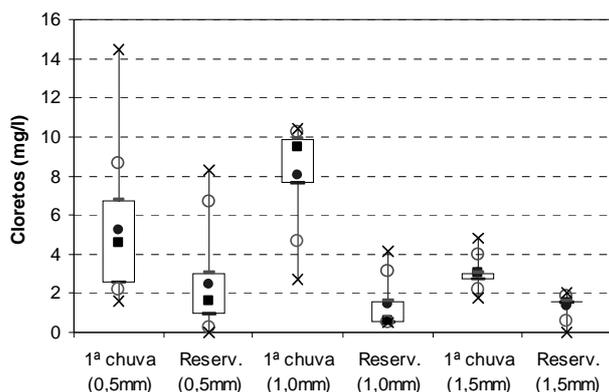


Figura 56 – Concentração de cloretos nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas

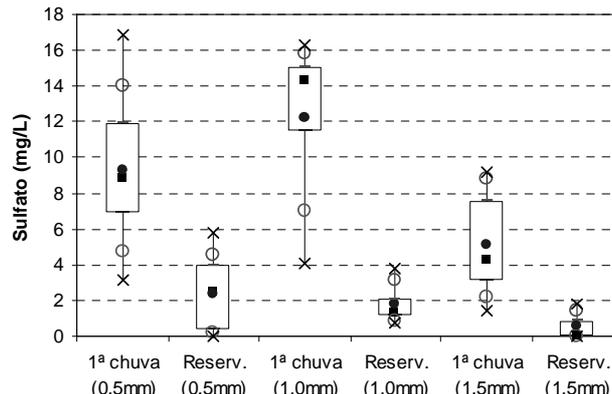


Figura 57 – Concentração de sulfatos nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas

As concentrações máximas de fósforo encontradas na água da chuva foram de 0,28 mg/L para a 1ª chuva e 0,14 mg/L para a chuva do reservatório, na etapa de eliminação de apenas 0,5 mm de primeira chuva.

Valores muito baixos foram observados nos resultados de nitrito, que obtiveram valores médios abaixo de 0,02 mg/L para os resultados da 1ª chuva e valores médios abaixo de 0,006 mg/L para a chuva do reservatório.

Conforme previsto, foram encontradas bactérias do grupo coliforme na água da chuva coletada do telhado, obtendo-se resultados positivos tanto para *Escherichia coli* quanto para Coliformes totais, isso se deve pela presença de fezes de animais na superfície de captação da chuva.

Em média, os resultados foram da ordem de 10^1 NMP/100 ml para *Escherichia coli*, tanto para a 1ª chuva quanto para a chuva do reservatório. Já para o resultado de Coliformes totais, verifica-se uma diferença mais significativa se comparada a 1ª chuva com a chuva direcionada ao reservatório de armazenamento final, observando-se uma maior redução de coliformes totais após a eliminação de 1,5 mm de primeira chuva, onde a chuva direcionada ao reservatório de armazenamento final apresenta como resultado médio $4,68 \times 10^1$ NMP/100 (Figura 58).

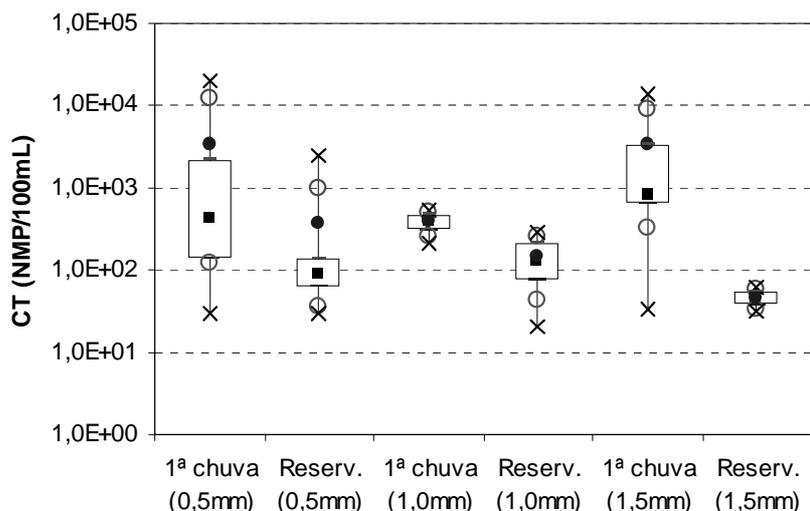


Figura 58 – Concentração de Coliformes Totais nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas

Em pesquisa realizada por Valle et al. (2005), após realizar o tratamento da água da chuva utilizando um filtro de areia, a chuva na saída do filtro apresentou resultados de coliformes totais da ordem de 10^2 NMP/100 ml e apresentou resultado negativo para este microorganismo após realizada a etapa final do tratamento, composta pela desinfecção em um reator ultravioleta.

Os resultados desta caracterização mostraram que a primeira chuva na cidade de Vitória é mais poluída, concentrando os poluentes presentes na atmosfera e os materiais depositados no telhado durante o período de estiagem. Verifica-se que ao se remover a primeira chuva, a chuva direcionada ao reservatório de armazenamento final apresenta qualidade superior se comparada a 1ª chuva.

Nota-se que, ao se aumentar o volume de descarte da primeira chuva, melhora-se a qualidade da chuva direcionada ao reservatório de armazenamento final. Isso pode ser confirmado pelos resultados ilustrados na Figura 59, onde aumentando-se o volume de primeira chuva descartada de 0,5 para 1,5 mm diminui-se a concentração de ST na chuva do reservatório de 62,6 para 15,5 mg/L, respectivamente. Verifica-se uma redução considerável no teor de SST, SDT e ST a partir da eliminação de 1,0 mm de primeira chuva.

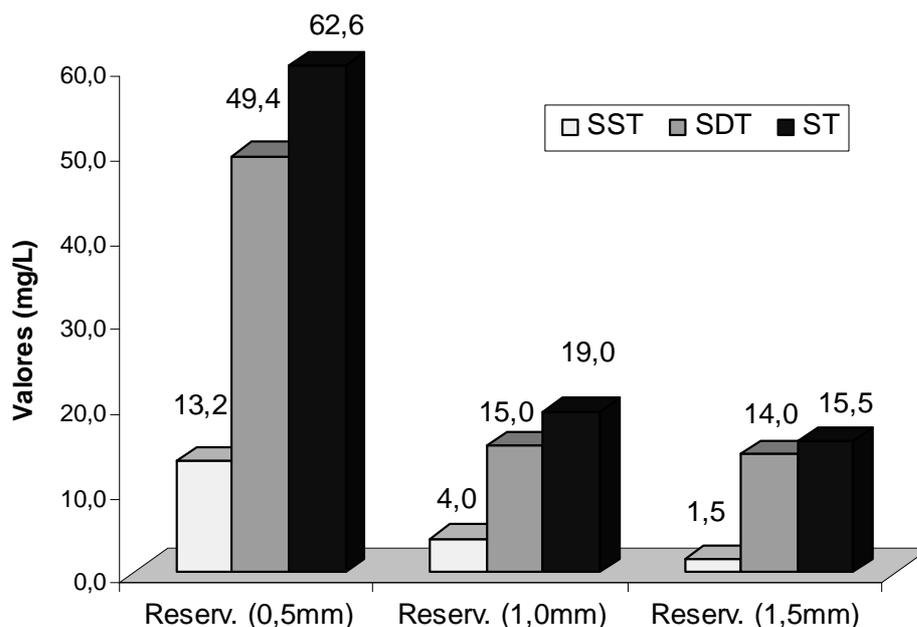


Figura 59 – Concentração de sólidos nas amostras coletadas nas 2ª, 3ª e 4ª etapas

A tabela 14 apresenta alguns resultados obtidos para as chuvas do reservatório das 2ª, 3ª e 4ª etapas as quais eliminaram, respectivamente, 0,5, 1,0 e 1,5 mm de primeira chuva.

Nesta tabela estão descritos o número de amostras, os valores médios obtidos nas análises e o desvio padrão de cada parâmetro. A tabela apresenta também os padrões de qualidade para água de reúso classe 1 estabelecidos pelo manual Conservação e reúso de água em edificações da ANA, FIESP e SindusCon-SP (2005) e pela NBR 13.969/97 da ABNT.

Tabela 14 – Comparação da qualidade da chuva do reservatório com padrões de água de reúso

Parâmetros	Reservatório (2ª Etapa)			Reservatório (3ª Etapa)			Reservatório (4ª Etapa)			ANA, FIESP e SindusCon-SP (2005) Classe 1	ABNT NBR 13.969 (1997) Classe 1
	n	Média	Desvio padrão	n	Média	Desvio padrão	n	Média	Desvio padrão		
pH	11	6,39	0,49	4	6,53	0,26	5	6,21	0,33	6,0 a 9,0	6,0 a 8,0
Turbidez (UNT)	15	0,4	0,4	4	0,5	0,4	5	0,2	0,4	≤ 2	< 5
Cor (uH)	7	2,5	2,5	4	2,1	2,5	4	0,7	1,4	≤ 10	-
DBO (mg/L)	5	2,0	1,4	4	1,2	1,5	3	1,3	0,8	≤ 10	-
Nitrog. Amoniacal (mg/L)	16	0,36	0,10	4	0,06	0,03	5	0,13	0,09	≤ 20	-
Nitrato (mg/L)	15	0,14	0,11	4	0,14	0,05	5	0,04	0,03	< 10	-
Nitrito (mg/L)	16	0,006	0,004	4	0,006	0,009	5	0,002	0,002	≤ 1	-
Fósforo (mg/L)	15	0,02	0,03	4	0,01	0,02	4	0,02	0,02	≤ 0,1	-
SST (mg/L)	7	13,2	17,6	4	4,0	1,6	4	1,5	2,4	≤ 5	-
SDT (mg/L)	7	49,4	25,0	4	15,0	6,5	4	14,0	2,8	≤ 500	< 200
Coli. Total (NMP/100ml)	13	3,6E+02	7,0E+02	3	1,5E+02	1,3E+02	4	4,7E+01	1,4E+01	Não detectável	< 200

Verifica-se que, para a água da chuva direcionada ao reservatório na 2ª etapa, apenas os parâmetros SST e Coliformes totais ultrapassam os limites estabelecidos pelo Padrão de água de reúso da ANA, FIESP e SindusCon-SP (2005). Observa-se que para as outras duas etapas, a chuva direcionada ao reservatório só não atendeu ao parâmetro de Coliformes totais estabelecidos por este padrão, ficando todos os outros parâmetros abaixo dos limites estabelecidos. Portanto, segundo o manual Conservação e Reúso da Água em Edificações da ANA, FIESP e SindusCon-SP (2005), para utilizar a água da chuva na descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos, roupas e veículos e para fins ornamentais, seria necessária uma etapa adicional de desinfecção ao tratamento simplificado.

Com relação à NBR 13.969/97 da ABNT, a água da chuva direcionada ao reservatório de armazenamento das 3ª e 4ª etapas atende a todos os limites estabelecidos, inclusive com relação a coliformes totais. Constata-se ainda, que a água da chuva do reservatório de armazenamento final atende aos padrões das outras classes de água de reúso descritas na NBR 13.969/97.

Verifica-se também que a qualidade físico-química da água da chuva do reservatório atende com folga aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA N°357/05 e pela Portaria N°518/04 do MS. Consta-se que de acordo com os resultados obtidos para o parâmetro E. coli, a água da chuva do reservatório pode ser classificada na categoria excelente com relação ao padrão de balneabilidade estabelecido pela Resolução CONAMA N°274/00.

Conclui-se que, promovendo um tratamento simplificado da água da chuva, composto pela retenção de folhas e eliminação de, pelos menos, 1,0 mm de chuva, a água da chuva que é direcionada ao reservatório, ou seja, a água da chuva que será efetivamente utilizada como fonte alternativa, apresenta qualidade compatível para ser utilizadas para fins não potáveis, tornando-se apropriada para usos importantes como a lavagem de carros, pisos e calçadas, irrigação dos jardins e descargas dos vasos sanitários.

Todos os resultados das 2ª, 3ª e 4ª etapas de caracterização da água da chuva encontram-se no Anexo D.

5.4 COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA SUPERFÍCIE E DO FUNDO DO RESERVATÓRIO

Neste item apresenta-se a comparação dos resultados obtidos pela caracterização da água da chuva localizada na superfície do reservatório e da água da chuva localizada no fundo do mesmo. Essa caracterização foi realizada durante as 2ª, 3ª e 4ª etapas de caracterização da água da chuva, com o objetivo de verificar e caracterizar o material depositado no fundo do reservatório.

As figuras apresentadas a seguir mostram em conjunto os resultados das três etapas na seguinte seqüência: chuva da superfície do reservatório da 2ª etapa e respectiva chuva do fundo do reservatório, chuva da superfície do reservatório da 3ª etapa e respectiva chuva do fundo do reservatório e chuva da superfície do reservatório da 4ª etapa e respectiva chuva do fundo do reservatório de armazenamento final.

Verifica-se na Figura 60 que em todas as etapas de caracterização, as amostras do fundo do reservatório apresentaram turbidez maior que as amostras coletadas da superfície do reservatório. O mesmo pode ser observado para o parâmetro de cor, que para as amostras da superfície do reservatório apresentaram valores médios de 2,5, 2,1 e 0,7 uH, e para as amostras do fundo os valores médios foram de 3,8, 4,6 e 3,3 uH, respectivamente (Figura 61).

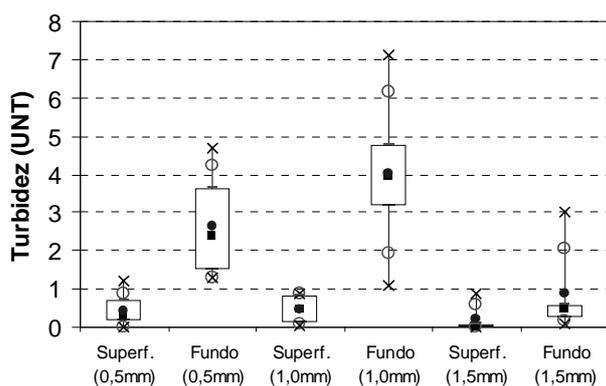


Figura 60 – Comparação dos resultados de turbidez da chuva da superfície com a chuva do fundo do reservatório

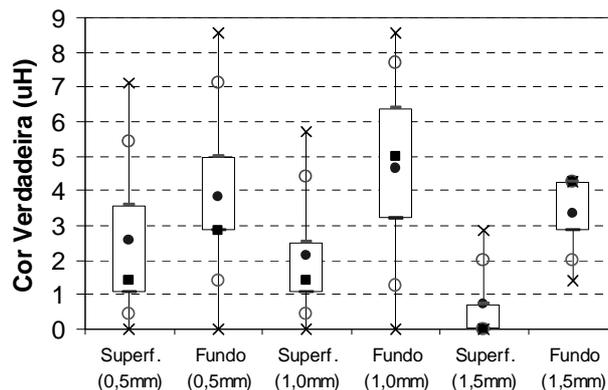


Figura 61 – Comparação dos resultados de cor verdadeira da chuva da superfície com a chuva do fundo do reservatório

Este mesmo padrão é observado para os resultados de SST e ST, onde observa-se a maior concentração desses elementos na chuva localizada no fundo do reservatório (Figuras 62 e 63). Nestes resultados, observa-se ainda que aumentando o volume de primeira chuva descartada, reduz-se a formação do lodo no fundo do reservatório.

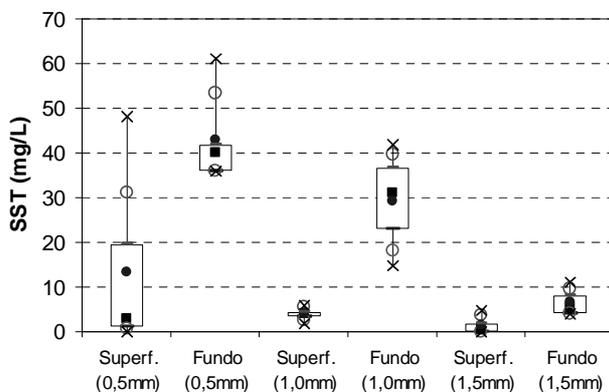


Figura 62 – Comparação dos resultados de SST da chuva da superfície com a chuva do fundo do reservatório

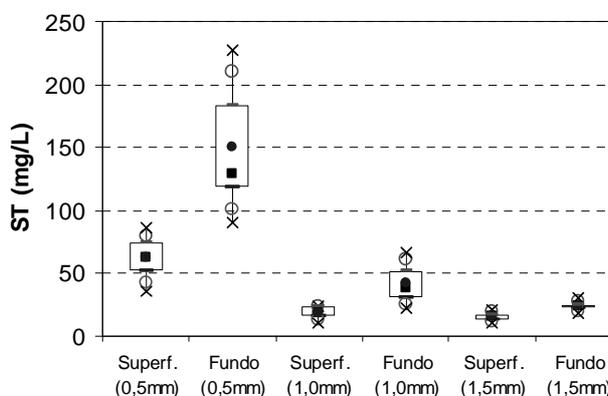


Figura 63 – Comparação dos resultados de ST da chuva da superfície com a chuva do fundo do reservatório

Para os parâmetros como a dureza, fósforo, nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal, não foram observadas diferenças significativas entre as amostras da superfície e do fundo do reservatório. Pode-se concluir que o lodo do fundo do reservatório é constituído, principalmente, pelo MP que não foi retido pelo sistema de tratamento da água da chuva.

5.5 VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA COM O ARMAZENAMENTO

Neste item são apresentados e discutidos os resultados da 5ª etapa de caracterização da água da chuva, que foi realizada concomitantemente com as 2ª, 3ª e 4ª etapas de caracterização da chuva ao longo do sistema de aproveitamento, e teve como objetivo verificar as mudanças da qualidade da água da chuva no interior do RAF, após um período de armazenamento de 7 dias.

As figuras apresentadas a seguir mostram em seqüência os resultados das amostras de chuva da superfície do reservatório, coletadas no dia da chuva e sete dias após a mesma, respectivamente.

Após sete dias de armazenamento, verificou-se uma pequena redução nos valores de condutividade, que para as amostras do dia da chuva apresentaram valores médios de 17,6, 16,0 e 13,9 $\mu\text{s}/\text{cm}$ nas 2ª, 3ª e 4ª etapas, respectivamente, após o armazenamento esses valores passaram a ser de 15,5, 13,5 e 10,5 $\mu\text{s}/\text{cm}$, respectivamente.

O mesmo comportamento pôde ser observado para os resultados de OD, onde as amostras do dia da chuva apresentaram valores médios de 7,5, 9,0 e 8,7 mg/L, e após o armazenamento esses valores passaram para 6,8, 8,4 e 7,9 nas 2ª, 3ª e 4ª etapas, respectivamente, indicando assim um possível consumo de oxigênio por microrganismos para realizar a degradação da matéria orgânica presente na água da chuva.

Verifica-se uma redução significativa nos valores de turbidez com o armazenamento, apenas para as 3ª e 4ª etapas, ou seja, a partir da eliminação de 1,0 mm de primeira chuva (Figura 64). O mesmo pode ser observado para os resultados de SST, onde em todas as análises realizadas, os valores de SST encontrados para a chuva após 7 dias de armazenamento, nas 3ª e 4ª etapas, foram iguais a zero (Figura 65).

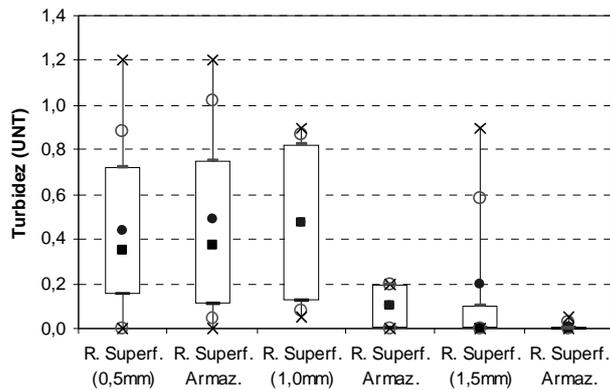


Figura 64 – Turbidez das amostras da 5ª etapa de caracterização da água da chuva

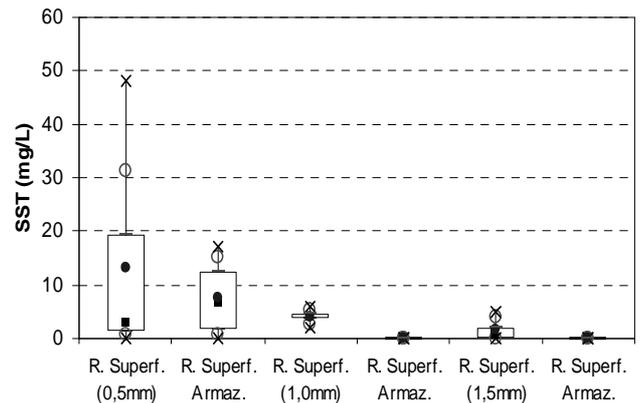


Figura 65 – Concentração de SST das amostras da 5ª etapa de caracterização da água da chuva

Não foram observadas grandes variações para os demais parâmetros como alcalinidade, dureza, acidez, fósforo e nitrogênio.

Na Figura 66 observa-se, nas três etapas de caracterização, uma pequena redução na concentração da DBO da chuva da superfície do reservatório com o armazenamento da mesma, valores médios de 2,0, 1,2 e 1,3 mg/L, e após o armazenamento passaram para 0,6, 0,2 e 0,6 nas 2ª, 3ª e 4ª etapas, respectivamente. Redução significativa também não foi observada com relação ao parâmetro de Coliformes totais, com resultados médios variando entre 10^1 e 10^2 NMP/100 ml, conforme ilustra a Figura 67.

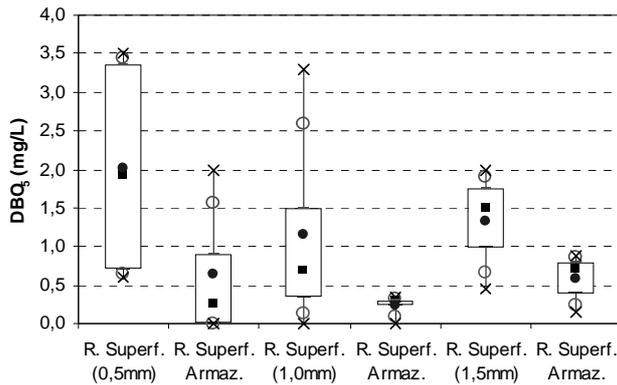


Figura 66 – Concentração de DBO nas amostras da 5ª etapa de caracterização da água da chuva

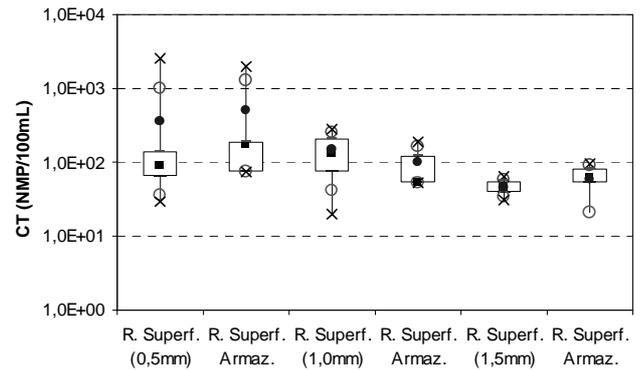


Figura 67 – Concentração de Coliformes totais nas amostras da 5ª etapa de caracterização da água da chuva

Conclui-se que, o armazenamento proporciona a sedimentação dos sólidos presentes na água da chuva, melhorando a qualidade da mesma em termos físicos, ou seja, o armazenamento da água da chuva por alguns dias proporciona uma separação de fases sólido-líquido, fazendo com que o reservatório funcione como um decantador. Entretanto, em termos químicos e microbiológicos, não se observou grandes alteração na qualidade da água da chuva com o armazenamento.

5.6 CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS DE VITÓRIA

A Tabela 15 apresenta o resumo dos dados obtidos junto ao INMET, mostrando o histórico de precipitação da cidade de Vitória de 1976 a 2003, totalizando 27 anos. Observa-se que a pluviometria média anual de Vitória é de 1.306 mm de chuva.

Tabela 15 – Dados de precipitação de Vitória de 1976 a 2003

Município Vitória	Nome do Posto Ilha de Santa Maria			Nº de Identificação Nº 83648			Coordenadas Geográficas						
							Latitude 20º 18'	Longitude 40º 00'	Altura 36,2 m				
Ano	ALTURAS PLUVIOMÉTRICAS (mm)												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total anual
1976	-	-	-	23,4	103,2	6,1	147,7	55,7	120,4	164,9	149,4	226,1	-
1977	114,2	78,5	5,5	216,7	83,4	43,6	34,1	9,1	112,2	133,3	268,4	372,7	1471,7
1978	47,1	232,7	123,6	103,1	53,0	62,7	376,1	100,8	123,2	86,4	118,4	111,4	1538,5
1979	410,6	284,2	200,6	34,7	29,0	18,1	66,6	22,8	49,2	46,9	134,3	228,3	1525,3
1980	201,4	85,6	60,3	188,9	99,0	40,6	35,6	51,4	13,8	86,0	83,9	415,4	1361,9
1981	102,6	100,0	148,1	154,8	100,2	45,7	35,1	50,0	13,6	105,7	312,2	95,1	1263,1
1982	185,9	79,8	205,4	83,8	173,2	7,2	26,1	74,0	46,1	57,1	51,2	148,7	1138,5
1983	266,9	178,1	60,6	130,2	37,6	21,8	27,2	25,3	191,8	271,6	385,0	425,1	2021,2
1984	112,4	192,4	126,4	70,6	42,6	20,8	28,5	129,4	56,1	130,6	185,2	262,1	1357,1
1985	471,5	52,6	67,0	111,7	32,6	30,9	99,5	63,7	159,0	127,9	176,8	158,9	1552,1
1986	78,7	18,4	25,4	26,1	54,9	38,9	83,2	182,8	77,8	78,6	65,9	204,5	935,2
1987	81,3	56,6	179,0	66,2	27,8	52,0	42,3	11,4	77,3	66,8	264,9	256,7	1182,3
1988	162,3	3,7	94,4	96,0	36,5	131,4	43,9	68,3	106,2	188,4	162,7	171,0	1264,8
1989	89,2	16,0	101,9	81,1	113,8	66,0	17,0	86,7	22,9	41,3	289,3	286,3	1211,5
1990	27,2	39,7	24,7	107,9	23,7	29,5	-	-	-	-	-	-	-
1992	-	-	-	-	-	83,1	156,9	127,3	110,6	234,0	325,5	235,2	-
1993	84,1	11,6	45,4	116,6	115,9	71,8	40,9	39,1	49,3	87,8	95,2	229,7	987,4
1994	275,4	37,7	187,5	137,1	100,2	19,0	70,9	24,3	35,9	108,7	92,4	108,5	1197,6
1995	8,5	48,7	134,1	116,9	156,4	6,2	86,9	76,0	53,3	260,4	318,7	241,6	1507,7
1996	67,0	70,6	96,9	157,2	57,5	72,0	34,9	14,5	150,9	104,6	393,2	151,4	1370,7
1997	122,8	70,1	301,6	137,8	65,6	5,2	12,8	13,2	54,0	98,4	127,3	245,0	1253,8
1998	81,6	128,3	36,9	10,3	2,5	17,4	29,6	48,7	23,2	224,6	221,3	40,8	865,2
1999	83,4	6,1	102,8	96,9	33,6	244,2	76,2	47,1	54,2	103,8	308,8	244,8	1401,9
2000	243,9	116,3	139,8	283,0	29,0	85,0	37,6	46,0	116,0	10,5	198,0	257,1	1562,2
2001	53,5	84,6	82,1	1,6	84,1	55,7	110,3	56,4	92,0	203,2	378,9	159,7	1362,1
2002	78,0	97,6	43,4	106,1	70,9	47,8	32,4	64,9	145,6	19,5	113,5	212,0	1031,7
2003	206,7	11,8	6,6	160,7	33,8	2,1	55,4	27,3	29,7	105,3	35,0	314,4	988,8
Média Mensal	146,2	84,1	104,0	108,4	67,7	49,1	69,5	58,3	80,2	121,0	202,1	223,2	1306,3

Ainda com base nos dados históricos, verifica-se uma chuva mínima anual de 865 mm, correspondente à chuva do ano de 1998, e uma chuva máxima anual de 2.021 mm, correspondente à chuva anual de 1983.

A Figura 68 sintetiza os dados descritos na Tabela 15, onde observa-se o índice pluviométrico mínimo, médio e máximo de cada mês. Verifica-se que o período em que ocorre a menor média de chuvas da região compreende os meses de maio a

agosto, com uma média de 61 mm de chuva por mês. Entre os meses de setembro a abril a média do índice pluviométrico é de 140 mm por mês.

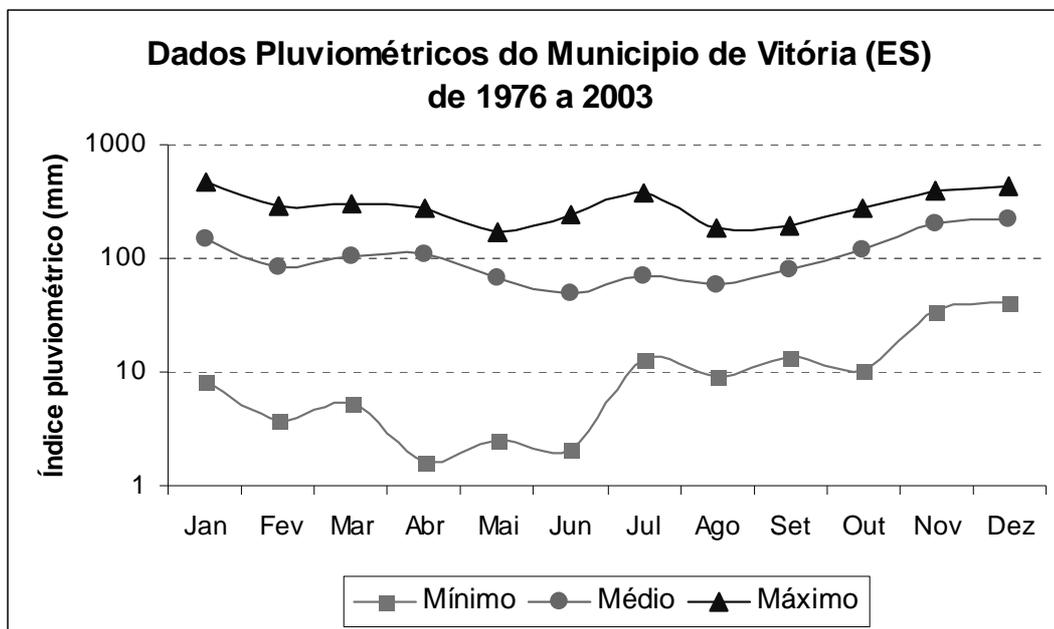


Figura 68 – Dados pluviométricos de Vitória de 1976 a 2003

Outro dado importante pode ser observado na Figura 69, que descreve o número de dias chuvosos em cada mês do ano. Esses dados foram obtidos através da série histórica de chuva de 1976 a 2003, descrita na Tabela 15. Verifica-se que, em média, Vitória apresenta 12 dias chuvosos por mês.

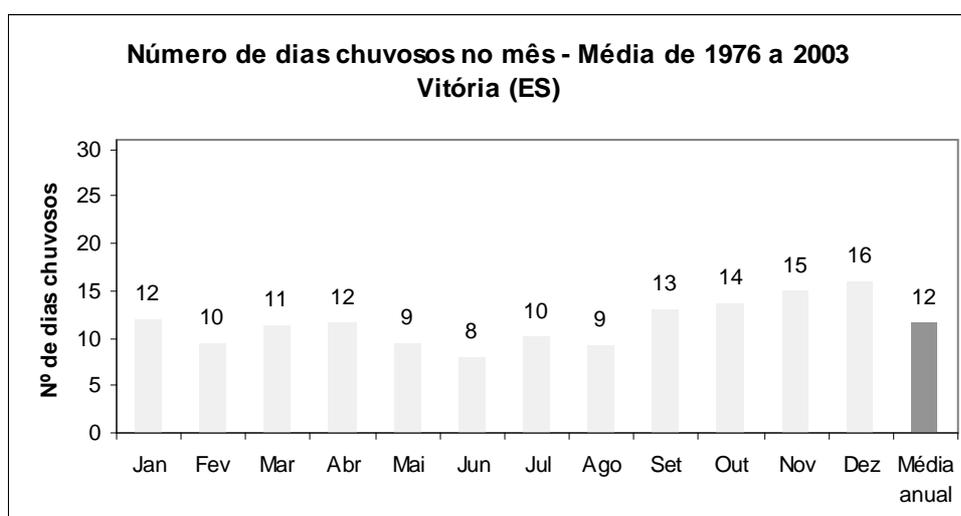


Figura 69 – Número de dias chuvosos por mês de Vitória

A figura 70 mostra os dados de precipitação do ano de 2005 de Vitória, do mês de janeiro a dezembro, os quais foram obtidos através do pluviôgrafo instalado no Parque Experimental do Núcleo Água. Na mesma figura observa-se a média mensal histórica de chuva, e verifica-se que as chuvas dos meses de janeiro, abril, outubro e dezembro ficaram abaixo da média histórica e os demais meses, com exceção de julho e agosto, apresentaram chuva bem acima da média histórica de precipitações.

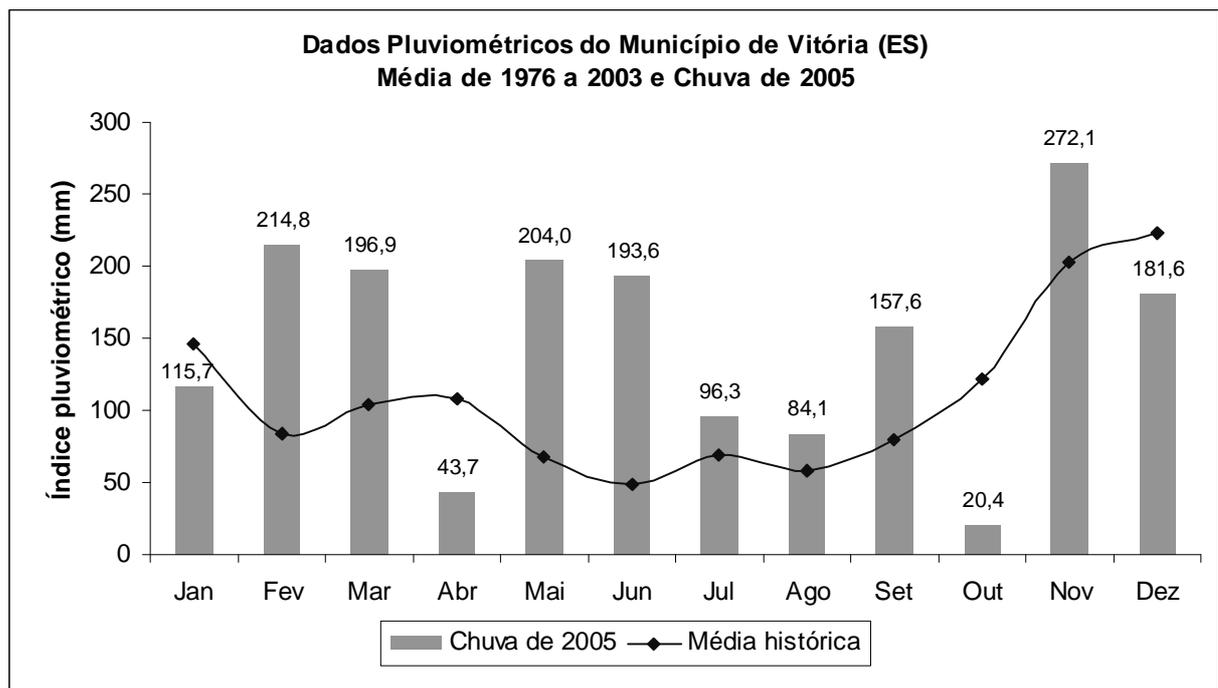


Figura 70 – Comparação da chuva de 2005 com a média histórica de Vitória

Observa-se que no ano de 2005, choveu mais do que a média histórica anual, totalizando 1.780,8 mm de chuva. Esses dados dão um indicativo da viabilidade de um sistema de aproveitamento da água da chuva na cidade de Vitória.

5.7 QUANTIFICAÇÃO DA DEMANDA POR ÁGUA NÃO POTÁVEL

Neste item são apresentados os dados de demanda de água não potável, utilizados para o dimensionamento do reservatório de água de chuva do prédio do Núcleo Água e de uma residência unifamiliar.

5.7.1 Prédio do Núcleo Água

DEMANDA CALCULADA

Como resultado da demanda calculada de água não potável do prédio do Núcleo Água obteve-se um valor de 276 L/d, aproximadamente, 8,3 m³/mês. Os dados adotados no cálculo estão descritos na Tabela 9 no item 4.6.1.

DEMANDA MEDIDA

A demanda medida de água não potável do prédio do Núcleo Água foi obtida através das leituras dos hidrômetros com saída de sinal, instalados nos pontos de utilização de água do prédio em questão. Os dados utilizados foram os registrados pelos hidrômetros dos 6 vasos sanitários e dos 2 mictórios.

No mês de julho/05 o consumo médio de água não potável foi de 106 L/d e no mês de agosto/05 esse valor foi de 94 L/d, resultando em uma média de consumo de 100 L/d (3,0 m³/mês) de água não potável no prédio do Núcleo Água.

Observa-se uma grande diferença entre a demanda calculada com base nos dados da literatura e a demanda medida através de hidrômetros. Tal fato pode ser explicado pela falta de dados literários sobre o consumo de água em edificações de ensino. Além disso, a estimativa do número de usuários e da frequência de utilização dos banheiros não se confirmou, contribuindo assim para o baixo consumo de água no prédio.

5.7.2 Residência Unifamiliar

Como resultado da demanda calculada de água não potável interna e externa de residência unifamiliar de 5 habitantes, obteve-se um valor de 163,3 L/d, aproximadamente, 4,9 m³/mês. Os dados adotados no cálculo estão descritos na Tabela 10 no item 4.6.2.

5.8 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE CHUVA

Neste item são apresentados e discutidos os resultados obtidos pelos dimensionamentos de reservatórios de armazenamento de água de chuva para o prédio do Núcleo Água e para uma residência unifamiliar, utilizando-se o Método de Rippl, o Método Interativo e o Modelo Comportamental.

São apresentados a seguir os volumes de reservação propostos por cada método e o percentual de demanda de água não potável atendida com água de chuva, sendo que para o cálculo desse percentual utilizou-se a média mensal de chuvas de Vitória baseadas na série histórica de 1976 a 2003.

5.8.1 Método de Rippl

Dimensionamento para a Demanda Calculada do Prédio do Núcleo Água (UFES)

A Figura 71 apresenta o resultado do dimensionamento pelo Método de Rippl, onde verifica-se na abscissa o volume do reservatório em m³ e na ordenada a respectiva confiabilidade do sistema.

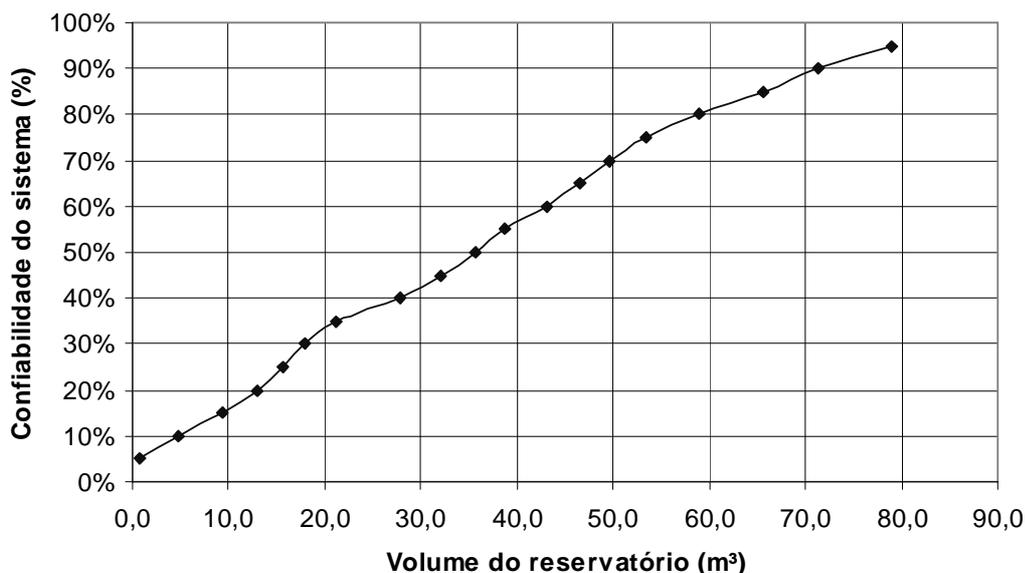


Figura 71 – Dimensionamento de reservatório pelo Método de Rippl para a demanda calculada da UFES

Observa-se que esse modelo de dimensionamento resultou em um volume máximo de 79 m³, para atender uma demanda mensal de 8,3 m³. Esse sistema apresenta 95% de confiabilidade, ou seja, é um sistema considerado extremamente confiável, com probabilidade de falha de apenas 5%. Verifica-se que esse mesmo sistema é capaz de atender em média a 73% da demanda de água não potável com água de chuva.

Analisando-se o percentual de demanda de água não potável que pode ser atendida com água da chuva nesse sistema do prédio do Núcleo Água, verifica-se que, em função da pequena área de captação da edificação e do volume de demanda, dimensionar este sistema pelo método de Rippl torna-se inviável, pois o mesmo resulta em volumes muito grandes para garantir maior confiabilidade ao sistema. Constata-se ainda, que a maior parte dos volumes resultantes desse dimensionamento nunca serão preenchidos totalmente com água de chuva, visto que esse sistema coleta, em média, 7,0 m³ de chuva por mês, tendo a sua produção máxima em dezembro, quando esse volume passa a ser de, aproximadamente, 14,0 m³.

A Figura 72 apresenta o balanço hídrico do sistema, mostrando a demanda constante de água não potável e a produção de chuva do sistema dimensionado

pelo Método de Rippl. Neste gráfico ficam claros os períodos em que a demanda é suprida na sua totalidade pela água da chuva e os período em que esse suprimento ocorre de forma parcial.

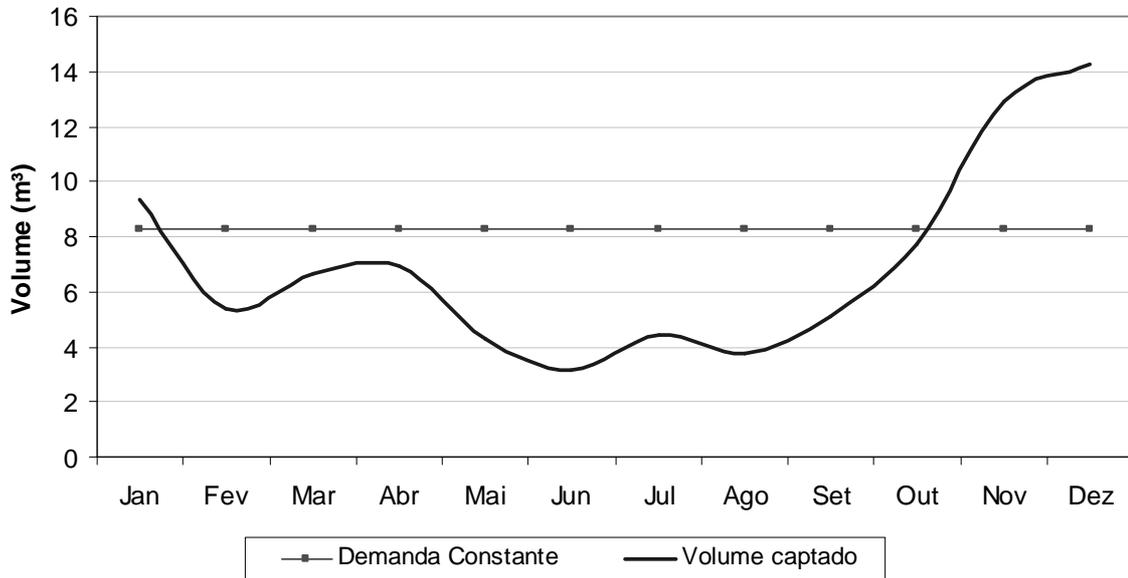


Figura 72 – Balanço hídrico do sistema dimensionado pelo Método de Rippl para a demanda calculada da UFES

Dimensionamento para a Demanda Medida do Prédio do Núcleo Água (UFES)

A Figura 73 apresenta o resultado do dimensionamento de reservatório pelo Método de Rippl para a demanda medida de água não potável do prédio do Núcleo Água, onde observa-se que para atender uma demanda de 3,0 m³/mês, com confiabilidade de 95%, o modelo resultou em um volume de reservação grande, de 19,5 m³, o qual proporciona 100% de atendimento à demanda.

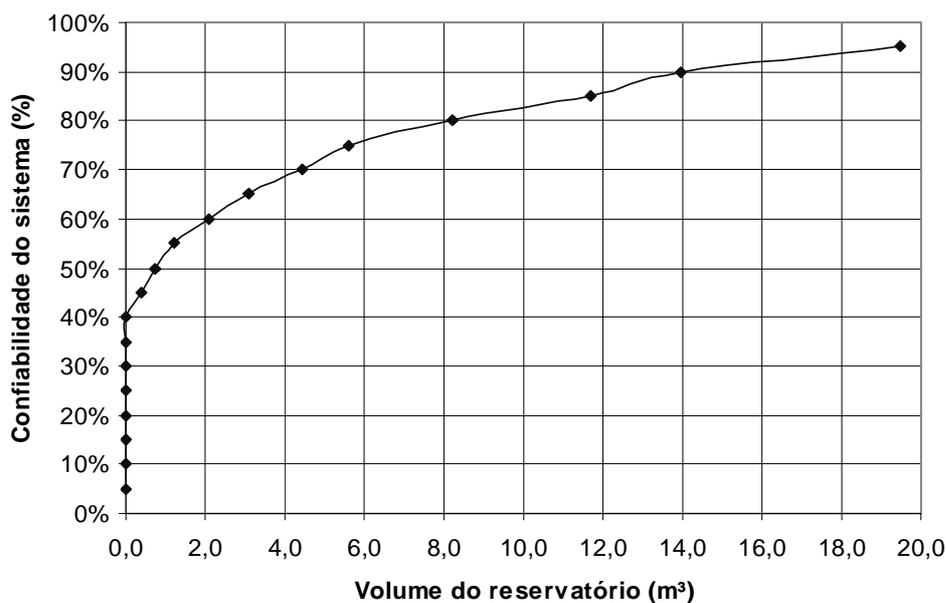


Figura 73 – Dimensionamento de reservatório pelo Método de Rippl para a demanda medida da UFES

Neste caso, verifica-se que reduzindo a confiabilidade do sistema para 50%, o volume resultante do dimensionamento é bem menor, com valor inferior a 1,0 m³, entretanto, este volume é capaz de atender a apenas 33% da demanda de água não potável.

Dimensionamento para a Demanda Residencial

A Figura 74 apresenta o resultado do dimensionamento de reservatório pelo Método de Rippl para a demanda de água não potável de uma residência unifamiliar com 5 habitantes, onde observa-se que para atender uma demanda de 4,9 m³/mês, com confiabilidade de 95%, o modelo resultou em um volume de reservação de, aproximadamente, 36,0 m³, com capacidade para atender, em média, à 90% da demanda.

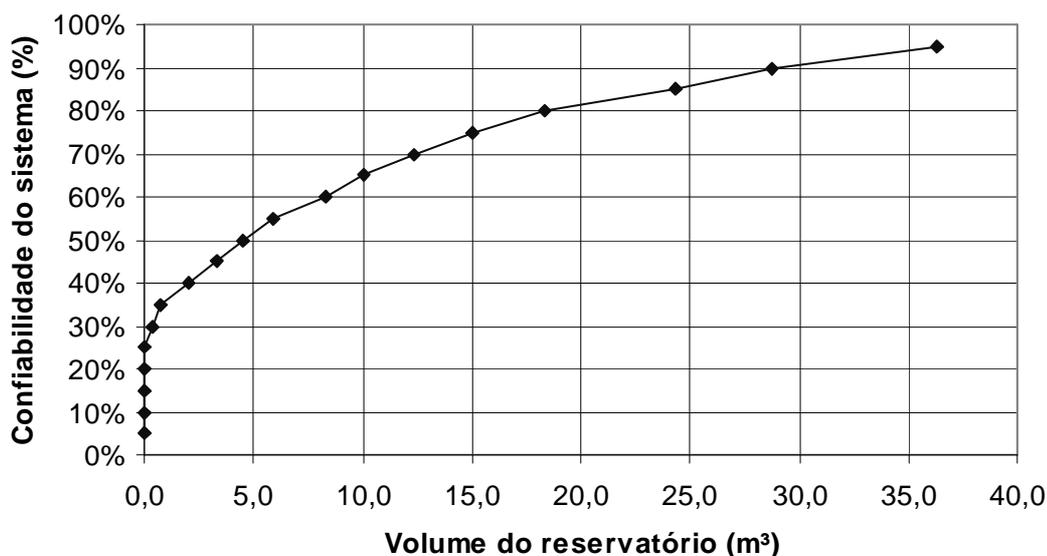


Figura 74 – Dimensionamento de reservatório pelo Método de Rippl para a demanda residencial

Observa-se pela Figura 75 que mesmo utilizando um reservatório extremamente grande, no período que compreende os meses de maio e agosto, o sistema não é capaz de coletar um volume de chuva suficiente para suprir totalmente a demanda.

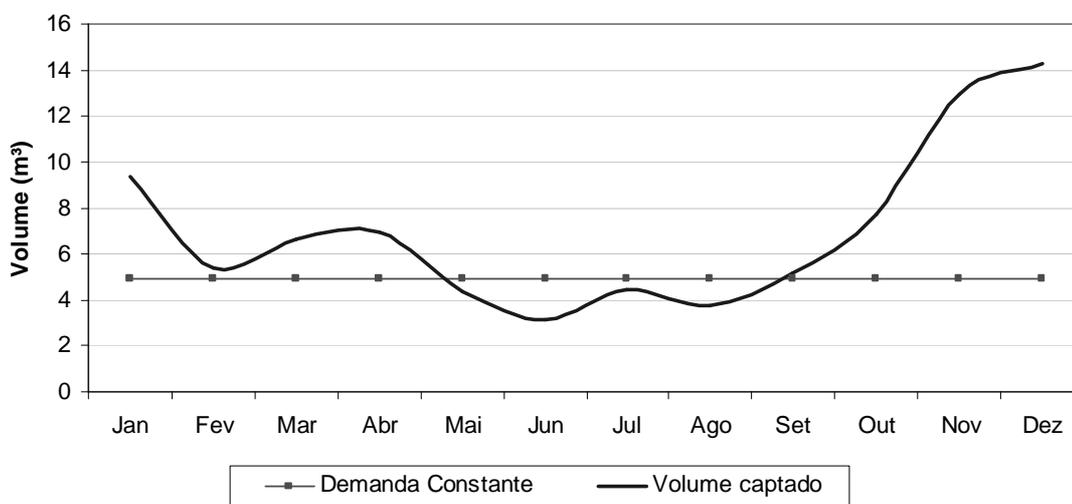


Figura 75 – Balanço hídrico do sistema dimensionado pelo Método de Rippl para a demanda residencial

Constata-se que, o Método de Rippl simplesmente faz uma verificação do período crítico do sistema, e retorna como resultado de volume de reservação, o somatório do volume de desabastecimento correspondente a esse período, sem analisar se o sistema é capaz de captar chuva para encher o volume de reservação proposto.

Resultando assim em volumes de reservação muito grandes sem, necessariamente, garantir atendimento total à demanda.

5.8.2 Método Interativo

Dimensionamento para a Demanda Calculada do Prédio do Núcleo Água (UFES)

A seguir são apresentados os resultados obtidos pelo dimensionamento de reservatório para a demanda calculada de água não potável da UFES utilizando o Método Interativo.

Verificou-se que apesar desse método ter o mesmo princípio de diagrama de massa do Método de Rippl, como ocorre a intervenção do programador na escolha do volume do reservatório, os resultados obtidos através desta modelagem foram mais enxutos em termo de volume de reservação se comparados ao método de Rippl.

Após realizar todas as modelagens, o volume de reservação proposto pelo dimensionamento foi de 9,0 m³, com atendimento médio de 65% demanda de água não potável. Esse é o volume que resulta no percentual máximo de atendimento à demanda, pois conforme observado anteriormente, para esta área de captação, a demanda acaba sendo muito grande para ser totalmente suprida pelo sistema em questão.

A Figura 76 apresenta o balanço hídrico do sistema, onde verifica-se que o menor percentual de atendimento à demanda ocorre no mês de junho com atendimento de 38% da demanda total.

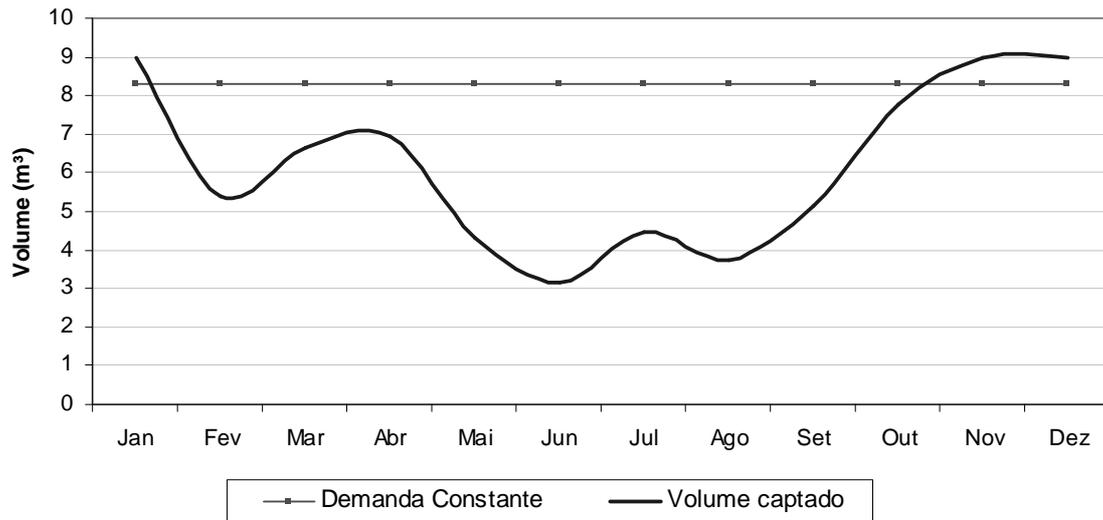


Figura 76 – Balanço hídrico do sistema dimensionado pelo Método Interativo para a demanda calculada da UFES

Dimensionamento para a Demanda Medida do Prédio do Núcleo Água (UFES)

Após realizar todas as modelagens utilizando o Método Interativo, o volume de reservação proposto pelo dimensionamento foi de 3,0 m³, com atendimento a 100% demanda medida de água não potável da UFES. Neste caso é possível atender a toda a demanda de água não potável pois, para todos os meses, este volume é inferior ao volume de chuva captado pelo sistema.

Dimensionamento para a Demanda Residencial

Após realizar todas as modelagens utilizando o Método Interativo, o volume de reservação proposto pelo dimensionamento foi de 6,0 m³, com atendimento médio de 90% da demanda de água não potável residencial.

A Figura 77 apresenta o balanço hídrico do sistema, onde tem-se que no mês de junho, com uma chuva média total de 50 mm, atende-se a 64% da demanda de água não potável com água de chuva.

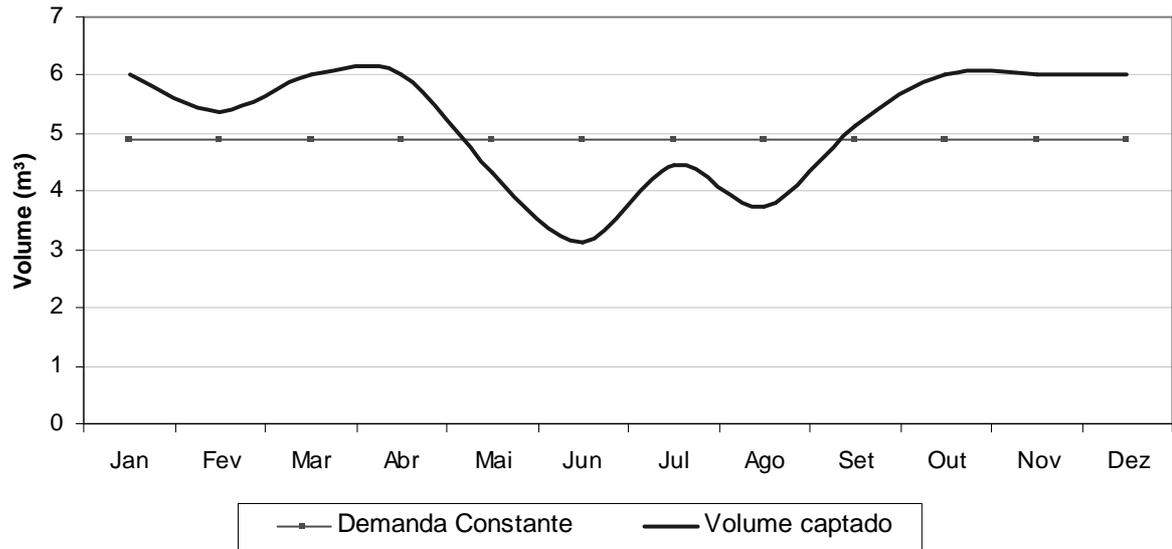


Figura 77 – Balanço hídrico do sistema dimensionado pelo Método Interativo para a demanda residencial

5.8.3 Modelo Comportamental

Dimensionamento para a Demanda Calculada do Prédio do Núcleo Água (UFES)

A Figura 78 mostra o resultado do dimensionamento de reservatório para a demanda calculada da UFES utilizando o Modelo Comportamental, onde tem-se na abscissa o volume do reservatório em m^3 e na ordenada o percentual de demanda atendida para cada volume. Nesta figura observa-se os resultados obtidos pelos dois algoritmos utilizados no dimensionamento, o PDE e o PAE.

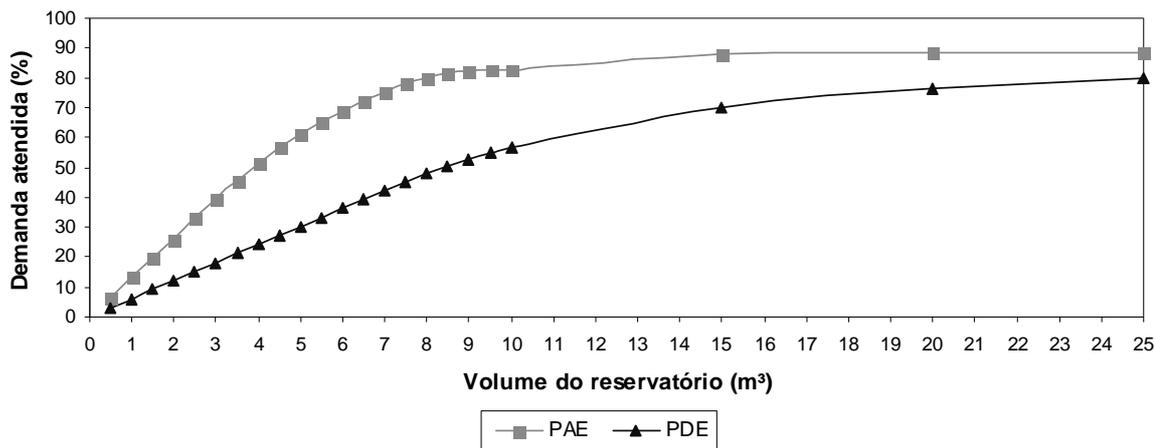


Figura 78 – Dimensionamento de reservatório pelo Modelo Comportamental para a demanda calculada da UFES

Observa-se que, a simulação confirma o que descreve a literatura (FEWKES, 1999), que o algoritmo de operação de reservatório PDE é mais conservativo se comparado ao algoritmo PAE.

No dimensionamento utilizando o algoritmo PDE, o volume máximo de reservatório obtido foi de 25,0 m³, com capacidade para atender a, aproximadamente, 80% da demanda de água não potável do prédio do Núcleo Água. Já para o dimensionamento realizado utilizando o algoritmo PAE, o volume máximo de reservação obtido foi de 20,0 m³, com capacidade para atender a, aproximadamente, 90% da demanda. Observando-se a curva do algoritmo PAE, verifica-se que um reservatório de 8,0 m³ é capaz de atender a 80% da demanda, e que a partir desse valor, é preciso aumentar muito o volume de reservação para aumentar em apenas 10% o percentual de demanda a ser atendida.

A Figura 79 apresenta o balanço hídrico do sistema utilizando-se como base o algoritmo PAE com um volume de reservação de 8,0 m³, onde verifica-se que o menor percentual de atendimento à demanda ocorre no mês de junho com atendimento de 38% da demanda total.

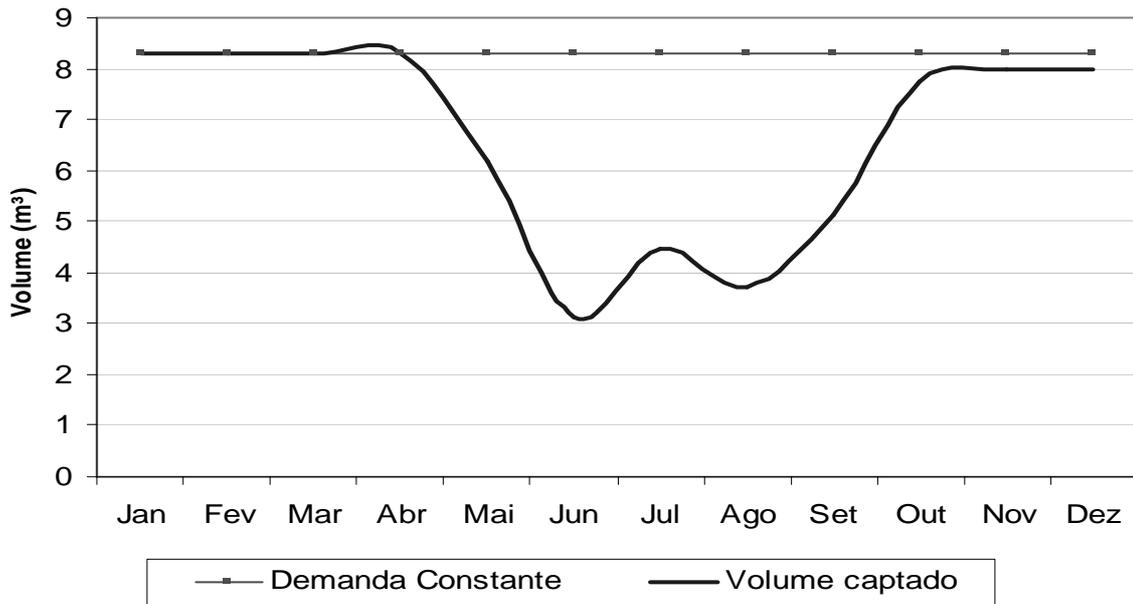


Figura 79 – Balanço hídrico do sistema dimensionado pelo Modelo Comportamental PAE para a demanda calculada da UFES

Dimensionamento para a Demanda Medida do Prédio do Núcleo Água (UFES)

A Figura 80 mostra o resultado do dimensionamento de reservatório para a demanda medida de água não potável da UFES utilizando os dois algoritmos PDE e PAE do Modelo Comportamental.

No dimensionamento utilizando o algoritmo PDE, o volume máximo de reservatório obtido foi de 6,0 m³, com capacidade para atender a 100% da demanda de água não potável do prédio do Núcleo Água. Já para o dimensionamento realizado utilizando o algoritmo PAE, o volume máximo de reservatório obtido foi de 3,0 m³, também com capacidade para atender a 100% da demanda.

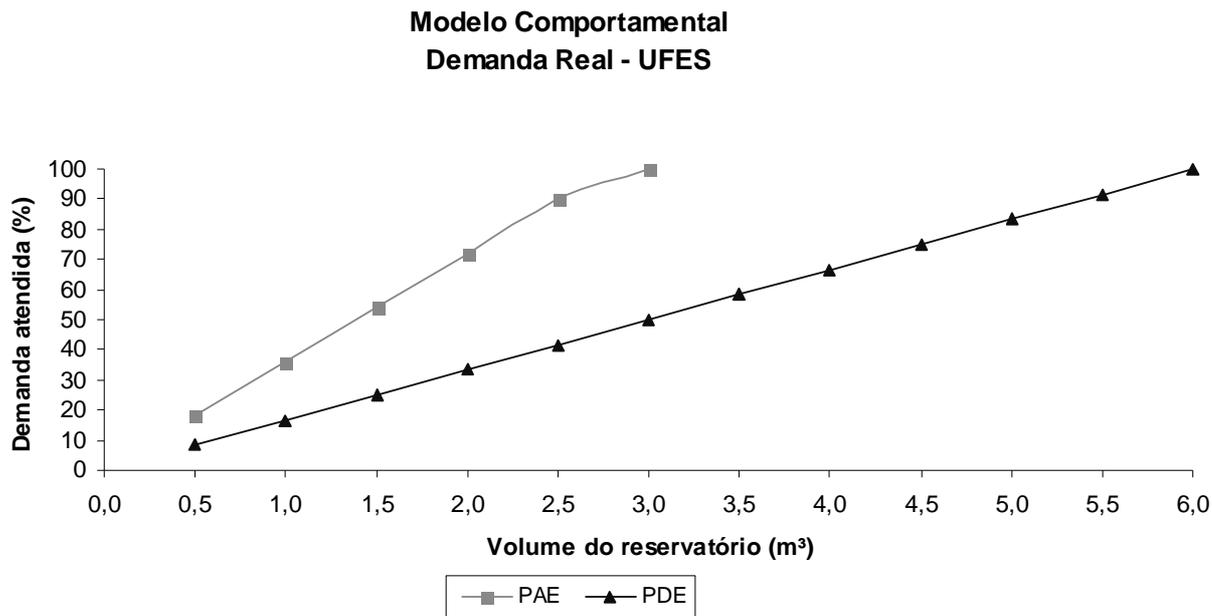


Figura 80 – Dimensionamento de reservatório pelo Modelo Comportamental para a demanda medida da UFES

Para atender a 50% da demanda de água não potável do prédio do Núcleo Água com água de chuva, seria necessário um reservatório de 3,0 m³ segundo o algoritmo PDE e de 1,5 m³ segundo o algoritmo PAE.

Segundo estudo realizado por Thomas e Rees (1999), para garantir o abastecimento de 95% de uma demanda de 100 L/dia (3,0 m³/mês) seria necessário um volume de reserva variando entre 10 e 15 m³.

Dimensionamento para a Demanda Residencial

A Figura 81 mostra o resultado do dimensionamento de reservatório para uma demanda de 4,9 m³/mês, utilizando os dois algoritmos PDE e PAE do Modelo Comportamental.

No dimensionamento utilizando o algoritmo PDE, o volume máximo de reservatório obtido foi de 11,0 m³, com capacidade para atender a 100% da demanda de água não potável da residência. Já para o dimensionamento realizado utilizando o

algoritmo PAE, o volume máximo de reservatório obtido foi de apenas 5,0 m³, também com capacidade para atender a 100% da demanda.

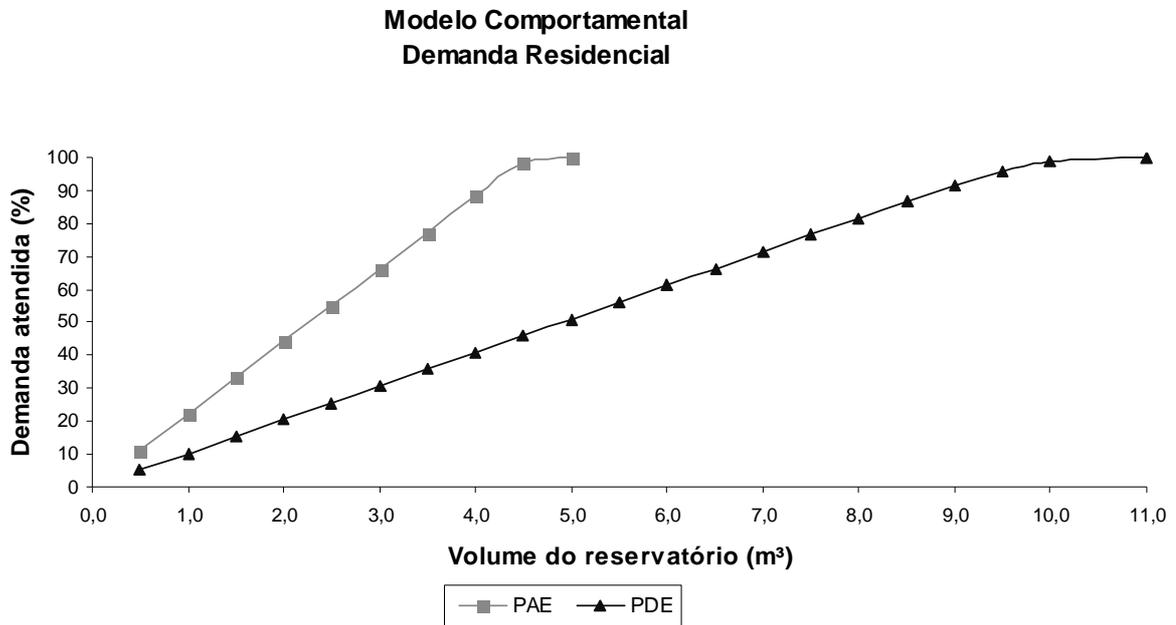


Figura 81 – Dimensionamento de reservatório pelo Modelo Comportamental para a demanda residencial

Reduzindo-se o percentual de demanda a ser atendida com água da chuva para 50%, seria necessário um reservatório de 5,0 m³ segundo o algoritmo PDE e de, aproximadamente, 2,5 m³ segundo o algoritmo PAE.

Segundo estudo realizado por Herrmann e Schmida (1999), para atender a, aproximadamente, 90% de uma demanda de 160L/dia com água de chuva em uma residência com área de captação de 100 m², seria necessário um reservatório de 4,5 m³. Ainda segundo este estudo, reduzindo-se o percentual de demanda atendida para 70%, o volume de reservação seria reduzido para 1,5 m³ apenas.

Os resultados de dimensionamento de reservatório deste estudo realizado na Alemanha, obtiveram volumes de reservação pequenos, pois os autores utilizaram uma modelagem computacional (RWIN) cujos dados de entrada de precipitação tem intervalo de tempo de apenas 5 minutos. Conclui-se portanto que o intervalo de tempo entre os dados de precipitação também influencia no dimensionamento de

sistemas de aproveitamento de água de chuva, observando-se que quanto menor for o intervalo de tempo entre os dados de chuva utilizados na modelagem, mais econômico será o dimensionamento.

Os resultados de todos os dimensionamentos realizados para determinação do volume de reservação de água de chuva encontram-se resumidos na Tabela 16.

Tabela 16 – Resultado do dimensionamento de reservatório de armazenamento de água de chuva

Demanda (m ³ /mês)	MÉTODO							
	Rippl		Interativo		Comportamental (PDE)		Comportamental (PAE)	
	Vol. Res. (m ³)	% de demanda atendida						
UFES								
Calculado (8,3)	79,0	73%	9,0	65%	25,0	80%	8,0	80%
UFES Medido (3,0)	19,5	100%	3,5	100%	6,0	100%	3,0	100%
Residencial (4,9)	36,0	90%	6,0	90%	11,0	100%	5,0	100%

Observa-se que para o mesmo sistema do prédio do Núcleo Água, apenas reduzindo-se a demanda, passa-se a ter volumes de reservação bem menores, constatando-se assim, que a determinação precisa do volume de demanda que se deseja atender é fundamental para garantir a economia de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva.

Comparando-se os três métodos de dimensionamento, verifica-se que o Método de Rippl, não se mostrou como um bom modelo para dimensionamento, resultando em volumes exagerados.

Nota-se que os resultados obtidos pelo Método Interativo e pelo Modelo Comportamental são bastante realistas, propondo volumes menores de reservação sem entretanto perder em eficiência de atendimento à demanda de água não potável.

Diante dos resultados de dimensionamento mostrados anteriormente, fica claro que é preciso conhecer os dados de entrada para alimentar os modelos de forma precisa, fazendo com que os mesmos resultem em volumes de reservação confiáveis sem serem super-dimensionados.

Verifica-se que não existe um modelo de dimensionamento ideal, sendo necessário fazer uma análise conjunta, utilizando vários modelos e analisando a capacidade de produção de chuva do sistema de aproveitamento, para então adotar um volume de reservação que atenda ao percentual de demanda requerido.

5.9 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

A seguir será apresentado o resultado da análise de viabilidade econômica dos sistemas de aproveitamento de água de chuva dimensionado no item anterior, com a determinação do período de retorno para cada projeto.

5.9.1 Sistema do Prédio do Núcleo Água

A análise de viabilidade econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva do prédio do Núcleo Água localizado na UFES foi realizada tendo como base os dados utilizados no dimensionamento de reservatório utilizando a demanda medida de água não potável do prédio em questão.

Para a realização da análise de custo foram utilizados dois volumes de reservação, sendo um de 3,0 m³ e outro de 1,5 m³, obtidos pelo Modelo Comportamental PAE, com capacidade para atender a 100% e a 50% da demanda de 3,0 m³/mês, respectivamente.

O sistema de captação de água de chuva composto pelas calhas, condutores verticais e horizontais, filtro auto-limpante, reservatório de eliminação de primeira chuva em acrílico com capacidade para 120 L e demais acessórios, teve um custo total de R\$1.000,00. Acrescentando-se o custo do reservatório a esse valor, passa-se a ter um valor de R\$ 1.700,00 para o sistema de 3,0 m³ e de R\$ 1.400,00 para o sistema de 1,5 m³.

A Tabela 17 sintetiza os dados utilizados nas duas análises econômicas, bem como mostra os resultados obtidos pelas mesmas.

Tabela 17 – Dados utilizados na análise de viabilidade econômica do sistema da UFES

ITENS	Reservatório de 3,0 m³	Reservatório de 1,5 m³
Custo do material	R\$ 1.700,00	R\$ 1.400,00
Economia de água gerada pelo sistema	R\$ 219,24/ano	R\$ 109,62/ano
Custo de manutenção	R\$ 100,00/ano	R\$ 100,00/ano
Taxa de juros	10% aa.	10% aa.
Vida útil do projeto	20 anos	20 anos
Período de retorno calculado	11 anos e 8 meses	20 anos e 6 meses

Verifica-se que o período de retorno do investimento do sistema de aproveitamento de água de chuva para o prédio do Núcleo Água é maior que 10 anos para os dois dimensionamentos. No caso de um reservatório menor, como o de 1,5 m³, o período de retorno é de mais de 20 anos, isso se explica pelo fato de que com um volume menor de reservação, menor também será a economia de água potável gerada pelo sistema. Além disso, atualmente, ainda se paga muito pouco pelo metro cúbico de água.

5.9.2 Sistema da Residência Unifamiliar

Com base no estudo de dimensionamento realizado no item 5.8 para a demanda residencial, a análise de custo foi realizada para dois volumes de reservação, sendo um de 5,0 m³ e outro de 2,5 m³, obtidos pelo Modelo Comportamental PAE, com capacidade para atender a 100% e a 50% da demanda de 4,9 m³/mês, respectivamente.

Para realizar a estimativa de custo de um sistema de aproveitamento de água de chuva em uma residência, realizou-se uma pesquisa de preço de material no mês de julho de 2005 e estimou-se o valor da mão de obra.

Considerou-se o custo do material necessário desde a coleta até a reservação da água da chuva, contabilizando calhas, condutores verticais e horizontais, um filtro auto-limpante para remoção de folhas, um reservatório de eliminação de primeira chuva com capacidade para 100 L, ou seja, com capacidade para eliminar 1,0 mm de primeira chuva, considerando-se um telhado de 100 m² e um reservatório de armazenamento em polietileno apoiado sobre o terreno.

A tabela 18 sintetiza os dados utilizados nas duas análises econômicas, bem como mostra os resultados obtidos pelas mesmas.

Tabela 18 – Dados utilizados na análise de viabilidade econômica do sistema de uma residência

ITENS	Reservatório de 5,0 m ³	Reservatório de 2,5 m ³
Custo do material	R\$ 1.500,00	R\$ 1.000,00
Mão de Obra	R\$ 600,00	R\$ 400,00
Custo total	R\$ 2.100,00	R\$ 1.400,00
Economia de água gerada pelo sistema	R\$ 338,94/ano	R\$ 182,70/ano
Custo de manutenção	R\$ 100,00/ano	R\$ 100,00/ano
Taxa de juros	10% aa.	10% aa.
Vida útil do projeto	20 anos	20 anos
Período de retorno calculado	8 anos e 9 meses	12 anos e 4 meses

A análise de viabilidade econômica resultou em um período de retorno menor para o caso de uma residência unifamiliar se comparado com os resultados obtidos para a UFES, isto porque os reservatórios de armazenamento adotados são maiores, proporcionando uma maior economia de água potável. Além disso, a área de captação adotada para esse sistema é um pouco maior do que a área de captação do prédio do Núcleo Água.

Os casos analisados anteriormente tratam-se de sistemas pequenos, com reduzida área para captação da água da chuva. Em sistemas que disponham de grandes áreas de captação, o período de retorno do investimento seguramente será menor.

Como, por exemplo, em Ribeirão Preto (SP), onde Hernandez, Campos e de Amorim (2004) implantaram um sistema de aproveitamento de água de chuva em uma residência com área de captação de 350 m². O reservatório foi dimensionado pelo Método de Rippl, resultando em um volume de reservação de 11,25 m³, destinado a suprir demandas de descarga de vasos sanitários, rega de jardim e lavagem de carros e pisos. Construiu-se um reservatório enterrado em concreto armado, e o sistema teve um custo total de implantação de R\$ 4.518,86. O período de retorno calculado para esse sistema foi de 6 anos e 9 meses, levando-se em conta a economia com a água potável e embutindo-se o valor da tarifa de esgoto, que é cobrada em função do volume de água consumido. Os autores descrevem ainda que se o sistema fosse implantado na cidade de São Paulo, onde as tarifas são mais elevadas, o período de retorno do investimento passaria para 5 anos e 9 meses.

Diante do exposto, confirma-se a necessidade de realizar um dimensionamento de volume de reservatório adequado, pois nem sempre um volume muito pequeno de reservação garante a viabilidade econômica de um sistema de aproveitamento de água de chuva. Além disso, a literatura mostra que o período de retorno médio desses sistemas é de, aproximadamente, 10 anos (CHILTON et al., 1999), e embora esse período possa parecer longo e inviável economicamente, a decisão de construir um sistema desses, em residências com pequena área de captação, não será tomada com o objetivo maior de economizar dinheiro e sim com o objetivo de garantir o futuro da sustentabilidade hídrica, promovendo a conservação da água e auxiliando no controle de enchentes.

6. CONCLUSÃO

Constatou-se que a água da chuva tem importante papel na remoção dos poluentes da atmosfera, verificando-se que os primeiros milímetros de chuva são os mais poluídos, e que ao longo do evento chuvoso ocorre uma melhora na qualidade da água da chuva.

Apenas 11% das amostras coletadas da chuva da atmosfera de Vitória apresentaram características ácidas, com pH inferior a 5,0. Esse pequeno percentual de ocorrência de chuvas ácidas na cidade de Vitória pode ser resultado do efeito neutralizador do spray marinho, que contribui para a limpeza do ar.

Constatou-se que a qualidade da água da chuva piora ao passar pela superfície de captação, pois a mesma carrega o material que se depositou sobre esta superfície durante o período de estiagem, verificando-se um aumento mais significativo para os parâmetros de dureza, cloretos, sulfato, DQO e ST.

Verificou-se que ao se remover os primeiros milímetros de chuva, ou seja, ao remover a chuva mais poluída, a chuva armazenada que não entrou em contato com a atmosfera poluída nem com a superfície de captação suja apresenta melhor qualidade, como observou-se para o parâmetro de turbidez, que passou de 15,9 UNT na primeira chuva para 0,4 UNT para a chuva do reservatório, com a eliminação de apenas 0,5 mm de primeira chuva.

Pouca diferença foi observada na qualidade da água da chuva do reservatório de armazenamento final após a eliminação de 0,5, 1,0 e 1,5 mm de primeira chuva com relação aos parâmetros de DBO, DQO, cloretos, sulfato e CT. A exceção ocorre para os parâmetros de SST, SDT e ST, nos quais verifica-se uma grande redução de concentração dos valores médios na chuva do reservatório, a partir da eliminação de 1,0 mm de primeira chuva.

Conclui-se que apenas promovendo um tratamento simplificado à água da chuva, como a remoção de folhas e de, pelo menos, 1,0 mm de chuva, a mesma apresenta qualidade compatível para ser aproveitada para fins não potáveis como a lavagem de carros, pisos e calçadas, irrigação dos jardins e descargas dos vasos sanitários, atendendo inclusive à maioria dos parâmetros estabelecidos em padrões de balneabilidade (CONAMA Nº274/00), da Resolução CONAMA Nº357/05 para corpos de água doce e de potabilidade da Portaria Nº518/04 do MS.

Se o objetivo do sistema de aproveitamento da água da chuva for obter água de melhor qualidade, o descarte de, pelo menos, 1,0 mm de chuva se faz necessário. Neste caso haverá maior perda com relação à quantidade de chuva a ser armazenada, com o benefício de ter uma menor formação de lodo no fundo do reservatório.

Ao se optar por um descarte menor de primeira chuva como, por exemplo, de apenas 0,5 mm de chuva, a água direcionada ao reservatório de armazenamento final também apresentará boa qualidade, podendo ser utilizada para os fins não potáveis, entretanto, a formação de lodo no fundo do reservatório ocorrerá de forma mais rápida, necessitando assim de uma limpeza mais regular do mesmo.

Em casos onde deseja-se aproveitar o máximo da chuva, pode-se coletar toda a água, utilizando o reservatório de armazenamento como separador sólido-líquido, pois constatou-se que, com o armazenamento, ocorre a sedimentação dos sólidos suspensos presentes na água da chuva. Entretanto, não pode-se garantir água de boa qualidade em termos químicos e microbiológicos.

De acordo com os dados pluviométricos de 1976 a 2003 da cidade de Vitória, verifica-se que a região apresenta uma pluviometria média anual de 1.306 mm de chuva, com período de estiagem compreendo os meses de maio a agosto, quando a média mensal de chuva é de 61 mm. Entre os meses de setembro a abril observa-se uma média de chuva de 140 mm por mês.

No ano de 2005, choveu mais do que a média histórica anual, totalizando 1.780,8 mm de chuva. Os dados pluviométricos de Vitória mostram que o aproveitamento da água da chuva na cidade pode ser viável.

Comprovou-se que os principais interferentes no dimensionamento de um sistema de aproveitamento de água de chuva são: a área de captação, a demanda a ser atendida e a distribuição da chuva, verificando-se que a determinação precisa do volume de demanda a ser atendida pela água da chuva é fundamental para garantir a viabilidade do sistema.

Ao realizar o dimensionamento do reservatório de armazenamento de água de chuva para o sistema de aproveitamento da UFES verificou-se que demandas de até 7,0 m³ são passíveis de serem atendidas com água de chuva, visto que este é o volume médio captável de chuva por mês do sistema. Demandas acima deste valor dificilmente serão supridas, principalmente nos períodos de estiagem, quando a produção de chuva cai para, aproximadamente, 4,0 m³ por mês.

Após análise dos resultados gerados através do dimensionamento de reservatório de armazenamento, constatou-se que o Método de Rippl não se mostrou como um bom modelo para dimensionamento, resultando em volumes exagerados para os sistemas em questão.

Comparando-se os resultados obtidos pelos diferentes modelos de dimensionamento de reservatório de armazenamento, notou-se que os resultados obtidos pelo Método Iterativo e pelo Modelo Comportamental (PAE) são bastante realistas, propondo volumes menores de reservação sem, entretanto perder em eficiência de atendimento à demanda de água não potável.

Entre os modelos utilizados para o dimensionamento de reservatórios, o que resultou no menor volume de reservação, com um percentual satisfatório de atendimento à demanda foi o Modelo Comportamental de algoritmo PAE, resultando em um volume de 5,0 m³ para atendimento à 100 % da demanda residencial de 4,9 m³/mês.

Para um sistema com uma área de captação de 100 m², demanda de 4,9 m³/mês, volume de reservação de 5,0 m³ e custo de implantação de R\$ 2.100,00 contabilizando mão de obra e material, o período de retorno do investimento calculado foi de 8 anos e 9 meses.

Conclui-se que o retorno do investimento de um sistema de aproveitamento de água de chuva ocorre de forma lenta, principalmente em sistemas com pequenas áreas de captação, portanto a decisão de se construir um sistema de aproveitamento de água de chuva em edificações com pequenas áreas de captação, não será tomada com o objetivo maior de economizar dinheiro e sim com o objetivo de garantir o futuro da sustentabilidade hídrica, promovendo a conservação da água e auxiliando no controle de enchentes.

Os benefícios trazidos pela coleta e aproveitamento da água da chuva são claros e reais, portanto faz-se necessário o estabelecimento de normas que conduzam ao aproveitamento seguro desta fonte de água, bem como a criação de políticas que incentivem a implementação desses sistemas nas residências.

7. RECOMENDAÇÕES

Realizar a caracterização da água da chuva de Vitória, analisando a presença de metais pesados na mesma.

Verificar a variação da qualidade da água da chuva após passar por um tratamento mais completo como a filtração em filtros de areia ou de carvão ativado, bem como após passar por um processo de desinfecção, verificando a possibilidade do uso potável desta água.

Verificar a qualidade da água da chuva coletada de superfícies no solo e direcionada ao sistema de drenagem.

Analisar a diferença da qualidade da primeira chuva em períodos secos e períodos chuvosos.

Realizar o dimensionamento de reservatório de armazenamento de água de chuva utilizando outros modelos de cálculo.

Dimensionar e implantar um sistema de aproveitamento de água de chuva em uma residência, e estudar o comportamento do mesmo no que diz respeito ao percentual de demanda de água não potável atendida.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Instalações de Águas Pluviais**: NBR 10.844. Rio de Janeiro, 1989.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos**: NBR 13.969. Rio de Janeiro, 1997.

ANA; FIESP; SindusCon-SP. **Conservação e Reúso da Água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005.

ANDRADE, J. B; SARNO, P. Química ambiental em ação: Uma nova abordagem para tópicos de química relacionados com o ambiente. **Química Nova**, v. 13, n. 3, p. 213-214, 1990.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 19.ed. Washington: American Public Health Association, 1995.

APPAN, A. A dual-mode system for harnessing roof water for non-potable uses. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 317-321, 1999.

ARIYANANDA, T. **Rainwater as Safe Drinking Water**. In: ASIA PACIFIC SKY WATER FORUM, 2005, Tokyo. Disponível em: <<http://webasia.com/rainwaterharvesting/pubs/prs/rwasdw2005.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2005.

BAZZARELLA, Bianca Barcellos. **Caracterização e aproveitamento da água cinza para uso não potável em edificações**. 2005. 165p. Dissertação (Mestrado em Engenharia ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

BOERS, Th. M.; BEN-AHER, J. A review of rainwater harvesting. **Agricultural Water Management**, v. 5, p. 145-158, 1982.

CHILTON, J. C. et al. Case study of a rainwater recovery system in a commercial building with large roof. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 345-354, 1999.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº274 de 29 de novembro de 2000**. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27400.html>>. Acesso em: 14 dez. 05.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução Nº357 de 17 de março de 2005**. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 05.

CONSUMO sustentável: Manual de educação. Brasília: Consumers International/ MMA/ IDEC, 2002. Disponível em:

<http://www.idec.org.br/esp_ma_manualconsumo.asp>. Acesso: 21 jan. 2005.

CUNLIFFE, D. A. **Guidance on the use of rainwater tanks**. National Environmental Health Forum. Water Series Nº3. 1998. Disponível em:

<<http://www.ircsa.org/factsheets/Cunliffe.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2005.

CURITIBA. Lei nº 10.785 de 18 de setembro de 2003. **Diário Oficial do Município**, Curitiba, 19 set. 2003. Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br/agua/lei-Ctba.htm>>. Acesso em: 23 abr. 2004.

DACACH, N. G. **Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1981.

DANNI-OLIVEIRA, I. M.; BAKONYI, S. M. Condicionantes atmosféricos e a variabilidade das concentrações de MP total em Curitiba/PR. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE QUALIDADE DO AR, 3., 2003, Canoas. **Anais...** Canoas: ABES, 2003, CD-ROM.

De LUCA, S. J.; VÁSQUEZ, S. G. Qualidade do ar e das chuvas na região metropolitana de Porto Alegre. In: TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. (eds.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS), 2000.

DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A. Water saving potential of domestic water reuse systems using greywater and rainwater in combination. **Water Science Technology**, v. 39, n. 5, p. 25-32, 1999.

DRWH: Report R1. **Very-Low-Cost Domestic Roofwater Harvesting in the Humid Tropics: Existing Practice**. DTU, University of Warwick, 2002. Disponível em <<http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU/pubs/rwh.html>>. Acesso em: 01 fev. 2005

EMBRAPA. **Planejamento, Construção e Operação de Cisternas para Armazenamento da Água da Chuva**. 2005. Disponível em: <www.cnpsa.embrapa.br/eventos/Seminario_Cisternas.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2005.

FENDRICH, R.; OLIYNIK, R. **Manual de utilização das águas pluviais: 100 Maneiras Práticas**. Curitiba: Livraria do Chain Editora, 2002.

FEWKES, A. The use of rainwater for WC flushing: the field-testing of a collection system. **Building and Environment**, v. 34, n. 9, p. 765-772, 1999.

FORNARO, A.; GUTZ, I. G. R. Wet deposition and related atmospheric chemistry in the São Paulo metropolis, Brazil: Part 2 – contribution of formic and acetic acids.

Atmospheric Environment. V. 37. n. 1, p. 117-128, 2003.

FORTI, M. C. et al. Elements in the precipitation of S. Paulo City (Brazil).

Atmospheric Environment, v. 24B, n. 2, p. 355-360, 1990.

GARCEZ, L. N. **Elementos de engenharia hidráulica e sanitária**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1974.

GARDNER, T.; COOMBES, P.; MARKS, R. **Use of rainwater at a rang of scale in Australian urban environments**. Disponível em:

<<http://www.eng.Newcastle.edu.au/~cegak/Coombes/RainwaterScale.htm>>. Acesso em: 12 jul. 2004.

GHANAYEM, M. Environmental considerations with respect to rainwater harvesting. IN: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS, 10., 2001, Manheim. **Proceedings...** Germany, 2001.

GHISI, E. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Building and Environment**, 2005.

GNADLINGER, J. Coleta de água de chuva em áreas rurais. In: FÓRUM MUNDIAL DA ÁGUA, 2., 2000, Holanda. **Anais eletrônicos...** Disponível em:

<<http://irpaa.org.br/colheita/indexb.htm>>. Acesso em: 24 mai. 2004.

GOMES, H. P. **Eficiência hidráulica e energética em saneamento**: análise econômica de projetos. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

GOOD, J. C. Roof runoff as a diffuse source of metals and aquatic toxicity in storm water. **Water Science Technology**. v. 28, p. 317-321, 1993.

GOULD, J. Rainwater is sake to drink? A review of recent findings. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 9., 1999. Petrolina. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/start_inicio.html>. Acesso em: 26 set. 2005.

GUIDELINES for rainwater tanks on residential properties. Plumbing requirements: Information for rainwater tank suppliers and plumbers. **Sydney Water**. Disponível em: <<http://www.sydneywater.com.au/Publications/FactSheets/RainwaterTanksGuideLines.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2005.

HANDIA, L.; TEMBO, J. M.; MWIINDWA, C. Potential of rainwater harvesting in Zambia. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 28, p. 893-896, 2003.

HARVESTING rainwater for domestic uses: an information guide. Environment Agency. 2003. Disponível em: <http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/acrobat/rainharvest_Jun04_809069.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2005.

HERNANDES, A. T.; CAMPOS, M. A. S.; DE AMORIM, S. V. Análise de custo da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial para uma residência unifamiliar na cidade de Ribeirão Preto. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2004. São Paulo. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.aguadechuva.hpg.ig.com.br/4simposio/trabalhos/008-2003%20Analise%20Custo%20Implantacao%20Sistema%20Aproveitamento%20A.pdf>>. Acesso em: 31 ago. 2005.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**. v. 1, n. 4, p. 307-316, 1999.

HEYWORTH, J. S., MAYNARD, E. J., CUNLIFFE, D. Who consumes what: potable water consumption in South Australia. **Water** v. 1, n. 25, p. 9-13, 1998.

IEMA – Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Relatório da Qualidade do Ar da Região da Grande Vitória do ano de 2004**. Disponível em: <http://www.iema.es.gov.br/download/Relatorio_Qualidade_do_Ar_2004.pdf> Acesso em: 21 out. 2005.

JQUES, R. C.; RIBEIRO, L. F.; LAPOLLI, F. R. Avaliação da qualidade da água de chuva da cidade de Florianópolis – SC. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABES, 2005. CD-ROM.

KHAN, I. A. **Domestic roof water harvesting technology in the desert, Índia**. In: RWH CONFERENCE, 2001, New Delhi. Disponível em: <<http://www.rainwaterharvesting.com/papersInPDF/App2.pdf>>. Acesso em: 9 mar. 2004.

KOENIG, K. Rainwater harvesting: public need or private pleasure? **Water 21**, London: IWA, feb, p. 56-58, 2003.

LEE, K. T. et al. Probabilistic design of storage capacity for rainwater cistern systems. **J. agric. Engng Res**, v. 3, n. 77, p. 343-348, 2000.

LOPES, J. E. G.; SANTOS, R. C. P. **Capacidade de reservatórios**. 2002. Disponível em: <http://www.fcth.br/public/cursos/phd5706/phd5706_Reservatorios.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2005.

MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 159 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MELLO, W. Z. Precipitation chemistry in the coast of the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. **Environmental Pollution**, v. 114, p. 235-242, 2001.

MIGLIAVACCA, D. M.; TEIXEIRA, E. C. Estudo da precipitação atmosférica na região de Candiota, RS. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE QUALIDADE DO AR, 3., 2003, Canoas. **Anais...** Canoas: ABES, 2003, CD-ROM.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria Nº518 de 25 de março de 2004**. Disponível em: <http://www.agrolab.com.br/portaria%20518_04.pdf>. Acesso em: 14 dez. 05.

MYERS, L. E. Recent advances in water harvesting. **Journal of soil and water conservation**, v. 22, n. 3, p. 95-97, 1967.

NGIGI, S. N.; Optimization of rainwater catchment systems design parameters in the arid and semiarid lands of Kenya. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 9., 1999. Petrolina. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.cpatosa.embrapa.br/catalogo/start_inicio.html>. Acesso em: 26 set. 2005.

PETERS, E. J.; Sizing of rainwater cisterns for domestic water supply in the Grenadines. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 9., 1999. Petrolina. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.cpatosa.embrapa.br/catalogo/start_inicio.html>. Acesso em: 26 set. 2005.

PINHEIRO, A. et al. Efeito da abstração inicial no aproveitamento da água da chuva. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABES, 2005. CD-ROM.

PORTO, E. R. et al. **Captação e Aproveitamento de Água de Chuva na Produção Agrícola dos Pequenos Produtores do Semi-árido Brasileiro: O Que Tem Sido Feito e como Ampliar Sua Aplicação no Campo**. Centro de Pesquisa do Trópico Semi-Árido (CPATSA), 1999. Disponível em:

<http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/doc/agriculture/8_4_everaldo_Rocha_Porto.doc>. Acesso em: 02 mar. 2004.

QUEIROZ, C. T.; TAVARES, T. M. Poluição atmosférica veicular: panorama dos dados da cidade do Salvador. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE QUALIDADE DO AR, 3., 2003, Canoas. **Anais...** Canoas: ABES, 2003, CD-ROM.

RANATUNGA, N. U. K. **First Flush Systems and Filters in Rainwater Harvesting Systems**. Lanka Rainwater Harvesting Forum. 1999. Disponível em: <<http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU/rainwaterharvesting/index.html>>. Acesso em: 1 fev. 2005.

REBOUÇAS, A. da C. Água no Brasil: abundância, desperdício e escassez. **Bahia Análise & Dados**, v. 13, n. Especial, p. 341-345, 2003.

REES, D. G. **Stabilized Soil Tanks for Rainwater Storage**. Report A3, DTU, University of Warwick, 2000 (a). Disponível em: <<http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU/pubs/rwh.html>>. Acesso em: 01 fev. 2005

_____. **Partially Below Ground (PBG) tank for rainwater storage Instructions for Manufacture**. Technical Release Series TR-RWH 01, DTU, University of Warwick, 2000 (b). Disponível em: <<http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU/pubs/rwh.html>>. Acesso em: 01 fev. 2005

RIO DE JANEIRO. Decreto Municipal nº 23.940, de 30 de janeiro de 2004. **Diário Oficial do Município**, Rio de Janeiro, 02 fev. 2004.

SÃO PAULO. Lei nº 13.276, de 4 de janeiro de 2002. **Diário Oficial do Município**, São Paulo, 5 jan. 2002.

SEINFELD, J. H; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate changes**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

SHINODA, T. Comparative study on surface runoff by stormwater infiltration facilities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, 5., 1990, Osaka. **Proceedings...** Osaka, p. 783-788, 1990.

SICKERMANN, J. M. Gerenciamento das águas de chuva – Imprescindível para o futuro das grandes cidades do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA. 4., 2003, Juazeiro. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <<http://www.aguadechuva.hpg.ig.com.br/4simposio/abc.htm>>. Acesso em: 02 mar. 2004.

SOARES, E. F. **Captação da água da chuva para consumo humano**. Disponível em:

<http://www.micromacro.tv/pdfs/contruyalo_portugues/iniciativas_port/colhendo_nas_nuvnes.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2004.

TERPSTRA, P. M. J. Sustainable water usage systems: model for the sustainable utilization of domestic water in urban areas. **Water Science Technology**, v. 39 n. 5, p. 65-72, 1999.

TEXAS guide to rainwater harvesting. 1997. Disponível em: <<http://www.twdb.state.tx.us/publications/reports/RainHarv.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2004.

THOMAS, T. et al. Bacteriological quality of water in DRMH. IN: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS, 10., 2001, Manheim. **Proceedings...** Germany, 2001.

THOMAS, T. **Domestic roofwater harvesting in the tropics: the state of the art**. IN: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS, 11., 2003, Mexico. Disponível em: <<http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU/pubs/outside/ircsa11overview.pdf>>. Acesso em: 1 fev. 2005.

THOMAS, T. **Choosing rainwater tanks for the sertão**. Disponível em: <<http://www.eng.warwick.ac.uk/dtu/pubs/rwh.html>>. Acesso em: 16 jan. 2004.

THOMAS, T.; MCGEEVER, B.; **Underground storage of rainwater for domestic use including construction details of a low-cost cistern and pumps**. Working Paper n. 49, 1997. Disponível em:

<<http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU/pubs/rwh.html>>. Acesso em: 1 fev. 2005.

THOMAS, T.; REES, D. Affordable roofwater harvesting in the humid tropics. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 9., 1999. Petrolina. **Anais eletrônicos...** Disponível em:

<http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/start_inicio.html>. Acesso em: 26 set. 2005.

TOMAZ, P. **Conservação da água**. Guarulhos: Parma, 1999.

TOMAZ, P. **Previsão de consumo de água**. São Paulo: Navegar Editora, 2000.

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

TRESMONDI, A. C. C. de L.; TOMAZ, E.; KRUSCHE, A. V. Deposição úmida em Paulínia-SP e região. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE QUALIDADE DO AR, 3., 2003, Canoas. **Anais...** Canoas: ABES, 2003, CD-ROM.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 2. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Global Environment Outlook 3: past, present and future perspectives**. London: Earthscan, 2002.

_____. **Rainwater Harvesting and Utilization**. Newsletter and Technical Publications. Disponível em:

<<http://www.unep.or.jp/letc/Publications/Urban/UrbanEnv-2/index.asp>>. Acesso em: 28 nov. 2005.

USO racional da água. Universidade de São Paulo (USP). 1995. Disponível em <<http://www.deca.com.br/vitrine/agua/introducao.html>>. Acesso em: 30 mar. 2005.

VAES, G.; BERLAMONT, J. The impact of rainwater reuse on CSO emissions. **Water Science Technology**. v. 39, n. 5, p. 57-64, 1999.

VALLE, J. A. B. et al. Aproveitamento de água de chuva. In: CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABES, 2005. CD-ROM.

VASUDEVAN, P.; PATHAK, N. **DRWH water quality**: A literature review. Centre for rural development & technology. Indian Institute of Technology, Delhi, India. Disponível em: <<http://www.eng.warwick.ac.uk/DTU/pubs/rwh.html>>. Acesso em: 01 fev. 2005.

WATER safety. **Is the water in your rainwater tank safe to drink?** Health Department of Western Australia. Disponível em: <<http://www.cockburn.wa.gov.au/documents/CouncilServices/Health/Doc46.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2005.

WATERFALL, P. H., **Harvesting rainwater for landscape use**. University of Arizona Cooperative. Disponível em: <<http://ag.arizona.edu/pubs/water/az1052/harvest.html>>. Acesso em: 11 abr. 2005.

WSUD Engineering procedures: Stormwater. **Melbourne Water Funding from the Victorian Stormwater Action Program**. 2004. Disponível em: <http://wsud.melbournewater.com.au/content/library/draft/Chapter_12_Rainwater_Tanks.pdf>. Acesso em: 03 mai. 2005.

ZAIZEN, M. et al. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. **Urban Water**, v. 4, n. 1, p. 355-359, 1999.

ANEXOS

ANEXO A

Sistema de monitoramento dos hidrômetros

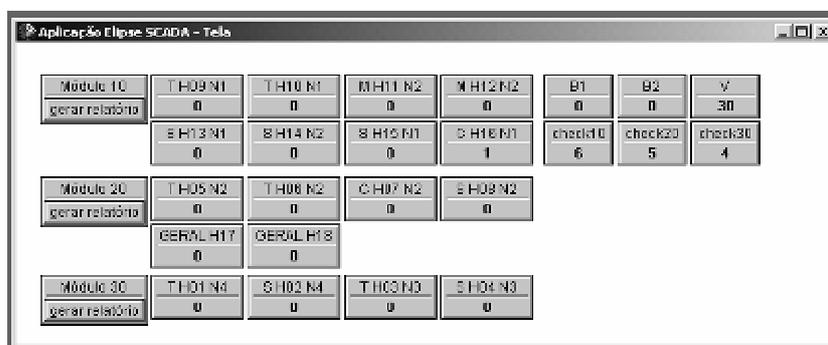
Os hidrômetros com saída de sinal são aparelhos que fornecem sinais elétricos, através de cabo com fios. Estes sinais elétricos são proporcionais à vazão que passa no interior do hidrômetro. Os hidrômetros fornecidos pela LAO produzem uma saída de sinal em tensão pulsada, na proporção de um pulso a cada 100ml de água que atravessa o hidrômetro.

Os pulsos elétricos gerados pelos hidrômetros foram contabilizados e convertidos em dados de vazão, para isso foram utilizados módulos locais. Os módulos locais são microcontrolador, uma espécie de microprocessador com alguns periféricos integrados. Esses módulos locais funcionam da seguinte maneira: quando um pulso é gerado por um hidrômetro, o microcontrolador o detecta e o contabiliza, para que a cada segundo se tenha disponível a informação de vazão (ml/s) do hidrômetro em questão, multiplicando-se a contagem de pulsos por 100.

Esta informação de vazão é transmitida dos módulos locais ao sistema supervisório remoto, através de um conversor de comunicação entre o sistema supervisório e os módulos locais. Os módulos locais implementados têm capacidade de varredura de até oito hidrômetros simultaneamente, além de outros sinais eletrônicos.

O conversor de comunicação é um equipamento simples que promove a interface de comunicação entre os módulos locais e o sistema supervisório. Isto se faz necessário porque o sistema supervisório instalado no computador permite apenas a comunicação em protocolo RS232. Para que mais de um módulo pudesse ser conectado simultaneamente foi necessário implementá-los com o protocolo RS485. Dessa forma, houve a necessidade de se instalar um conversor de comunicação para realizar a tarefa de converter a comunicação de RS232 para RS485 e vice-versa, possibilitando assim a conexão de mais de um módulo local ao sistema supervisório.

O sistema supervisorio utilizado foi o Elipse Scada 32 bits Real time 300. Este sistema recebe e organiza as informações sobre as vazões dos hidrômetros conectados a cada módulo. A cada segundo os módulos locais se encarregam de preparar pacotes com os dados de vazões dos hidrômetros relativos ao segundo imediatamente anterior. O sistema supervisorio, por sua vez, recolhe este pacote e o decifra, separando os dados de vazão de cada hidrômetro por coluna e gerando um histórico de dados que periodicamente é convertido para o formato texto (txt). Os arquivos em txt são convertidos em planilhas eletrônicas para manipulação dos dados. A Figura 82 mostra a tela de monitoramento do sistema supervisorio Elipse Scada.



The screenshot shows a window titled 'Aplicação Elipse SCADA - Tela'. It displays a monitoring interface for three modules. Each module has a 'gerar relatório' button and several data points. Module 10 includes flow meters (T H09 N1, T H10 N1, M H11 N2, M H12 N2), a valve (V), and check valves (check10, check20, check30). Module 20 includes flow meters (T H05 N2, T H06 N2, C H07 N2, S H08 N2) and general status indicators (GERAL H17, GERAL H18). Module 30 includes flow meters (T H01 N4, S H02 N4, T H03 N4, S H04 N4).

Module 10	T H09 N1	T H10 N1	M H11 N2	M H12 N2	B1	B2	V
gerar relatório	0	0	0	0	0	0	30
	S H13 N1	S H14 N2	S H15 N1	S H16 N1	check10	check20	check30
	0	0	0	1	6	5	4

Module 20	T H05 N2	T H06 N2	C H07 N2	S H08 N2
gerar relatório	0	0	0	0
	GERAL H17	GERAL H18		
	0	0		

Module 30	T H01 N4	S H02 N4	T H03 N4	S H04 N4
gerar relatório	0	0	0	0

Figura 82 – Tela de monitoramento do sistema supervisorio Elipse Scada

A Figura 83 ilustra esquematicamente as interconexões de rede e as ligações de todo o sistema desde os hidrômetros até o computador onde encontra-se instalado o sistema supervisorio.

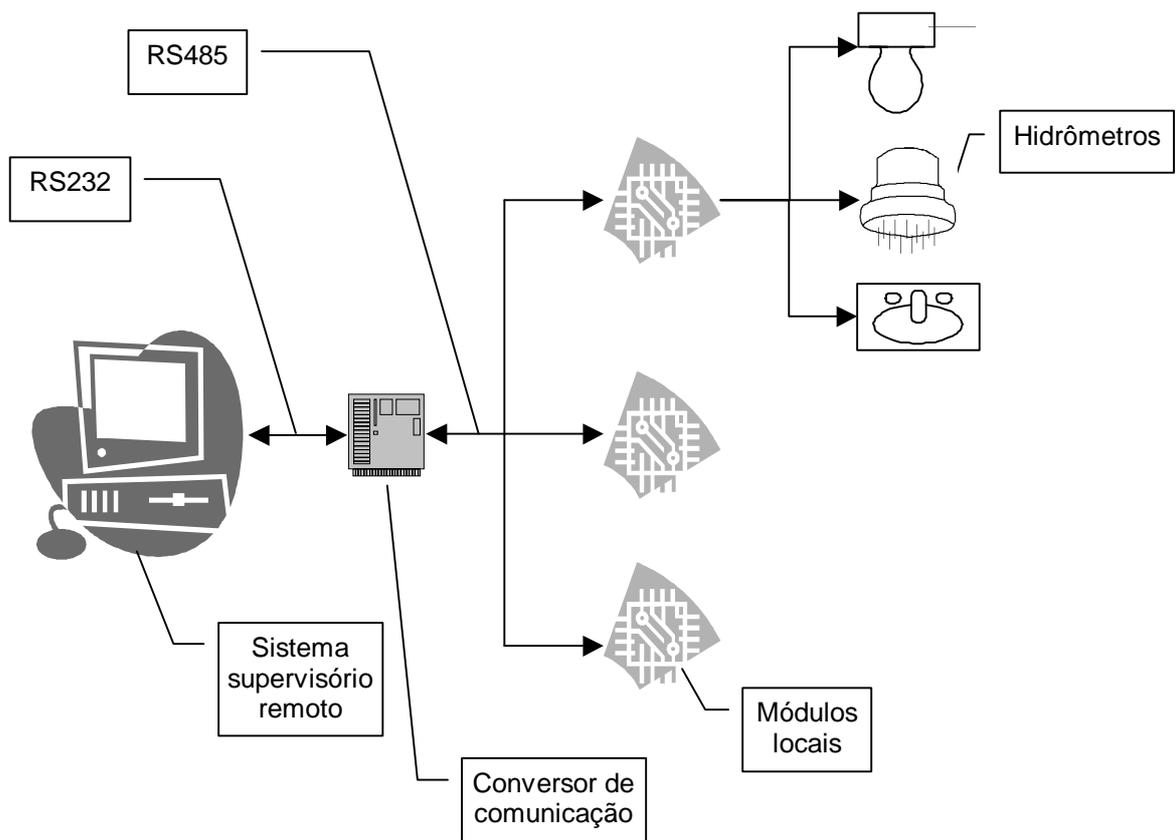


Figura 83 – Esquema das interconexões de rede do sistema de monitoramento dos hidrômetros

Fonte: BAZZARELLA, 2005.

ANEXO B

Simulação de Monte Carlo realizada na série histórica de chuva de Vitória dos anos de 1976 a 2003.

Percentil	MESES												Soma anual
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	
95%	31,2	7,2	10,2	13,6	24,7	5,5	19,3	11,9	16,1	25,0	54,9	98,5	317,8
90%	49,7	11,7	25,0	24,8	28,4	6,2	26,7	13,9	23,1	44,1	74,9	110,0	438,1
85%	61,6	14,3	32,3	32,6	29,0	7,1	28,2	20,7	28,1	54,6	90,3	139,4	538,0
80%	75,8	17,9	42,1	66,2	32,6	17,5	29,6	24,3	35,9	66,8	95,2	151,4	655,4
75%	78,7	37,7	45,4	73,2	33,7	18,6	32,8	25,8	46,9	80,5	114,7	159,1	747,0
70%	81,4	41,5	60,4	82,5	35,2	20,4	34,5	33,2	49,3	86,2	122,9	165,4	812,6
65%	82,3	50,3	63,2	93,0	37,3	22,6	35,1	44,3	52,3	87,5	132,6	196,1	896,3
60%	83,8	55,0	76,1	96,9	42,6	30,1	35,6	47,1	54,0	98,4	149,4	212,0	980,9
55%	88,2	67,4	91,9	103,9	53,5	36,5	38,4	49,0	54,7	104,0	166,2	226,7	1080,3
50%	102,6	70,6	96,9	107,0	56,2	40,6	41,6	50,7	66,7	105,0	181,0	229,0	1147,9
45%	112,8	78,8	102,1	110,8	63,6	44,2	43,5	54,6	77,7	105,6	194,8	233,8	1222,2
40%	117,6	81,7	111,1	116,6	70,9	47,0	55,4	56,4	92,0	108,7	221,3	241,6	1320,3
35%	146,5	85,2	125,3	120,2	83,6	51,6	67,7	64,0	107,3	128,6	265,8	244,9	1490,5
30%	181,2	95,2	132,6	133,7	91,6	57,1	73,6	66,6	111,4	132,0	278,9	250,9	1604,5
25%	201,4	100,0	139,8	137,6	99,9	64,4	81,5	72,6	115,1	157,0	303,9	257,0	1730,1
20%	214,1	118,7	154,3	154,8	100,2	70,6	86,9	76,0	120,4	188,4	312,2	262,1	1858,8
15%	253,1	148,2	182,4	158,1	105,9	73,1	102,2	90,2	128,8	208,6	320,4	293,3	2064,3
10%	272,0	186,7	195,4	174,8	114,9	83,9	129,0	114,1	148,3	229,3	352,2	343,6	2343,9
5%	383,6	224,6	204,4	209,8	146,3	117,5	154,6	128,9	157,0	253,8	383,5	404,7	2768,6
Chuva média	146,2	84,1	104,0	108,4	67,7	49,1	69,5	58,3	80,2	121,0	202,1	223,2	1313,8
Chuva mínima	8,5	3,7	5,5	1,6	2,5	2,1	12,8	9,1	13,6	10,5	35,0	40,8	145,7
Chuva máxima	471,5	284,2	301,6	283,0	173,2	244,2	376,1	182,8	191,8	271,6	393,2	425,1	3598,3

ANEXO C

Resultados da caracterização da água da chuva da atmosfera e da chuva do telhado (1ª etapa).

Parâmetro	Ponto	n	média	mín	máx	coef var
pH	Atmosfera	42	6,09	4,45	7,82	0,15
	Telhado	23	6,84	5,61	9,18	0,11
Temperatura (°C)	Atmosfera	41	23,3	18,0	31,0	0,10
	Telhado	21	21,6	18,0	25,0	0,09
Condutividade (µS/cm)	Atmosfera	42	32,7	4,3	116,0	0,90
	Telhado	20	102,6	26,0	261,0	0,64
OD (mg/L)	Atmosfera	16	7,5	4,7	9,8	0,16
	Telhado	13	7,5	4,7	9,9	0,19
Turbidez (UNT)	Atmosfera	33	0,9	0,0	3,6	1,25
	Telhado	21	10,4	0,8	41,5	1,12
Dureza (mg/L)	Atmosfera	31	8,4	1,0	39,5	1,10
	Telhado	14	19,8	6,7	53,1	0,60
Alcalinidade (mg/L)	Atmosfera	13	1,8	0,0	5,8	1,08
	Telhado	16	18,5	6,9	37,5	0,53
Acidez (mg/L)	Atmosfera	34	3,7	2,0	6,4	0,34
	Telhado	15	7,5	1,7	28,6	0,89
Cloretos (mg/L)	Atmosfera	35	4,1	0,5	25,1	1,23
	Telhado	14	14,5	0,0	54,4	1,21
Sulfato (mg/L)	Atmosfera	30	3,9	0,4	15,2	0,85
	Telhado	14	13,3	1,2	48,6	1,02
DBO (mg/L)	Atmosfera	12	2,7	0,7	5,0	0,59
	Telhado	9	6,4	1,0	27,0	1,23
DQO (mg/L)	Atmosfera	31	8,9	0,0	34,8	0,90
	Telhado	16	32,2	4,9	79,2	0,79
SST (mg/L)	Atmosfera	7	7,9	0,0	17,0	0,86
	Telhado	9	46,7	6,0	127,0	0,84
SDT (mg/L)	Atmosfera	8	39,6	18,0	61,0	0,37
	Telhado	9	157,9	98,0	230,0	0,29
ST (mg/L)	Atmosfera	8	47,3	18,0	67,0	0,32
	Telhado	9	204,6	128,0	293,0	0,26
Fósforo total (mg/L)	Atmosfera	30	0,048	0,000	0,252	1,27
	Telhado	15	0,150	0,002	0,347	0,67
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Atmosfera	34	0,52	0,07	1,69	0,60
	Telhado	16	0,48	0,27	0,84	0,31
Nitrito (mg/L)	Atmosfera	33	0,009	0,000	0,037	0,92
	Telhado	15	0,036	0,009	0,121	0,97
Nitrato (mg/L)	Atmosfera	33	0,23	0,03	0,92	0,94
	Telhado	13	0,34	0,02	0,85	0,81

ANEXO D

Resultados das etapas de caracterização da água da chuva de Vitória ao longo do sistema de aproveitamento.

Parâmetro	Ponto	n	média	mín	máx	coef var
pH	1ª chuva (0,5mm)	11	6,43	5,63	7,30	0,07
	Reserv. (0,5mm)	11	6,39	5,69	7,30	0,08
	1ª chuva (1,0mm)	4	6,52	6,33	6,70	0,02
	Reserv. (1,0mm)	4	6,53	6,17	6,77	0,04
	1ª chuva (1,5mm)	6	6,30	5,74	6,93	0,07
	Reserv. (1,5mm)	5	6,21	5,81	6,67	0,05
Temperatura (°C)	1ª chuva (0,5mm)	16	25,1	22,9	27,5	0,05
	Reserv. (0,5mm)	16	24,6	22,0	27,0	0,06
	1ª chuva (1,0mm)	2	23,0	23,0	23,0	0,00
	Reserv. (1,0mm)	2	23,5	23,0	24,0	0,03
	1ª chuva (1,5mm)	6	23,0	22,0	25,0	0,05
	Reserv. (1,5mm)	5	22,4	22,0	23,0	0,02
Condutiv. (µS/cm)	1ª chuva (0,5mm)	16	43,6	7,8	108,8	0,62
	Reserv. (0,5mm)	16	17,6	5,3	51,1	0,82
	1ª chuva (1,0mm)	4	56,3	15,5	76,0	0,49
	Reserv. (1,0mm)	4	16,0	7,0	31,7	0,68
	1ª chuva (1,5mm)	6	27,2	13,9	42,0	0,40
	Reserv. (1,5mm)	5	13,9	9,1	22,5	0,37
OD (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	8	6,3	2,8	7,5	0,23
	Reserv. (0,5mm)	7	7,6	7,0	9,1	0,09
	1ª chuva (1,0mm)	4	7,7	6,6	9,6	0,17
	Reserv. (1,0mm)	4	9,0	8,1	9,7	0,09
	1ª chuva (1,5mm)	5	9,0	7,4	10,3	0,16
	Reserv. (1,5mm)	4	8,7	7,2	10,3	0,16
Turbidez (UNT)	1ª chuva (0,5mm)	13	15,9	3,0	40,0	0,79
	Reserv. (0,5mm)	15	0,4	0,0	1,2	0,85
	1ª chuva (1,0mm)	3	37,0	14,0	70,0	0,79
	Reserv. (1,0mm)	4	0,5	0,1	0,9	0,92
	1ª chuva (1,5mm)	5	21,5	9,5	45,0	0,64
	Reserv. (1,5mm)	5	0,2	0,0	0,9	1,97
Cor verdadeira (uH)	1ª chuva (0,5mm)	7	4,6	1,4	8,5	0,59
	Reserv. (0,5mm)	7	2,5	0,0	7,1	0,97
	1ª chuva (1,0mm)	4	7,1	2,8	12,8	0,59
	Reserv. (1,0mm)	4	2,1	0,0	5,7	1,15
	1ª chuva (1,5mm)	5	4,0	0,0	7,1	0,64
	Reserv. (1,5mm)	4	0,7	0,0	2,8	2,00
Dureza (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	16	15,0	2,9	42,1	0,64
	Reserv. (0,5mm)	16	5,9	1,0	13,4	0,61
	1ª chuva (1,0mm)	4	26,4	10,0	36,0	0,43
	Reserv. (1,0mm)	4	5,2	3,1	11,3	0,77
	1ª chuva (1,5mm)	6	8,0	4,1	15,4	0,52
	Reserv. (1,5mm)	4	2,1	2,1	2,1	0,00

Continuação do Anexo D.

Parâmetro	Ponto	n	média	mín	máx	coef var
Alcalinidade (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	11	9,8	2,9	18,6	0,58
	Reserv. (0,5mm)	11	4,0	1,5	9,6	0,60
	1ª chuva (1,0mm)	3	15,6	11,7	19,3	0,24
	Reserv. (1,0mm)	4	4,9	3,3	8,0	0,42
	1ª chuva (1,5mm)	6	5,3	1,8	9,7	0,52
	Reserv. (1,5mm)	5	2,7	1,2	4,2	0,41
Acidez (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	16	5,9	1,9	13,1	0,59
	Reserv. (0,5mm)	16	3,6	1,6	6,0	0,33
	1ª chuva (1,0mm)	4	3,8	2,7	5,7	0,37
	Reserv. (1,0mm)	4	2,4	2,3	2,7	0,09
	1ª chuva (1,5mm)	6	3,5	2,6	5,9	0,35
	Reserv. (1,5mm)	5	3,5	2,8	4,5	0,19
Cloretos (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	16	5,3	1,6	14,5	0,65
	Reserv. (0,5mm)	16	2,4	0,0	8,3	1,05
	1ª chuva (1,0mm)	4	8,0	2,7	10,4	0,45
	Reserv. (1,0mm)	4	1,5	0,5	4,1	1,21
	1ª chuva (1,5mm)	6	3,1	1,8	4,8	0,33
	Reserv. (1,5mm)	5	1,3	0,0	2,0	0,58
Sulfato (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	15	9,3	3,2	16,9	0,42
	Reserv. (0,5mm)	13	2,4	0,0	5,8	0,84
	1ª chuva (1,0mm)	4	12,2	4,0	16,3	0,45
	Reserv. (1,0mm)	4	1,8	0,7	3,8	0,75
	1ª chuva (1,5mm)	6	5,1	1,4	9,2	0,61
	Reserv. (1,5mm)	5	0,5	0,0	1,8	1,49
DBO (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	7	5,7	1,4	15,0	0,90
	Reserv. (0,5mm)	5	2,0	0,6	3,5	0,69
	1ª chuva (1,0mm)	4	4,1	0,8	7,1	0,64
	Reserv. (1,0mm)	4	1,2	0,0	3,3	1,26
	1ª chuva (1,5mm)	3	3,9	2,5	5,9	0,46
	Reserv. (1,5mm)	3	1,3	0,5	2,0	0,60
DQO (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	13	28,2	1,2	102,2	1,10
	Reserv. (0,5mm)	10	11,5	2,4	26,5	0,63
	1ª chuva (1,0mm)	4	46,1	7,9	64,1	0,56
	Reserv. (1,0mm)	3	10,2	0,0	20,0	0,98
	1ª chuva (1,5mm)	5	20,9	5,2	40,1	0,63
	Reserv. (1,5mm)	5	7,9	2,6	9,4	0,38
SST (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	12	109,9	9,0	295,0	0,84
	Reserv. (0,5mm)	7	13,2	0,0	48,0	1,33
	1ª chuva (1,0mm)	3	185,0	67,0	393,0	0,98
	Reserv. (1,0mm)	4	4,0	2,0	6,0	0,41
	1ª chuva (1,5mm)	5	95,2	10,0	183,0	0,67
	Reserv. (1,5mm)	4	1,5	0,0	5,0	1,59

Continuação do Anexo D.

Parâmetro	Ponto	n	média	mín	máx	coef var
SDT (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	12	143,0	23,0	240,0	0,51
	Reserv. (0,5mm)	7	49,4	16,0	87,0	0,51
	1ª chuva (1,0mm)	4	49,5	24,0	59,0	0,34
	Reserv. (1,0mm)	4	15,0	7,0	22,0	0,43
	1ª chuva (1,5mm)	5	80,2	39,0	123,0	0,47
	Reserv. (1,5mm)	4	14,0	10,0	16,0	0,20
ST (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	12	252,9	105,0	393,0	0,36
	Reserv. (0,5mm)	7	62,6	36,0	87,0	0,28
	1ª chuva (1,0mm)	4	303,3	91,0	517,0	0,70
	Reserv. (1,0mm)	4	19,0	11,0	24,0	0,33
	1ª chuva (1,5mm)	5	175,4	114,0	229,0	0,31
	Reserv. (1,5mm)	4	15,5	10,0	21,0	0,29
Fósforo total (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	15	0,096	0,020	0,277	0,85
	Reserv. (0,5mm)	15	0,018	0,000	0,137	1,86
	1ª chuva (1,0mm)	3	0,084	0,004	0,202	1,25
	Reserv. (1,0mm)	4	0,010	0,000	0,035	1,62
	1ª chuva (1,5mm)	5	0,059	0,000	0,118	1,00
	Reserv. (1,5mm)	4	0,025	0,000	0,042	0,80
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	15	0,49	0,14	1,14	0,52
	Reserv. (0,5mm)	16	0,36	0,18	0,52	0,28
	1ª chuva (1,0mm)	4	0,18	0,14	0,22	0,20
	Reserv. (1,0mm)	4	0,06	0,04	0,10	0,44
	1ª chuva (1,5mm)	6	0,26	0,11	0,42	0,45
	Reserv. (1,5mm)	5	0,13	0,05	0,26	0,71
Nitrito (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	15	0,017	0,001	0,039	0,75
	Reserv. (0,5mm)	16	0,006	0,000	0,014	0,65
	1ª chuva (1,0mm)	4	0,019	0,006	0,029	0,59
	Reserv. (1,0mm)	4	0,006	0,001	0,019	1,42
	1ª chuva (1,5mm)	6	0,008	0,003	0,014	0,52
	Reserv. (1,5mm)	5	0,002	0,001	0,005	0,71
Nitrato (mg/L)	1ª chuva (0,5mm)	13	0,46	0,04	1,61	0,91
	Reserv. (0,5mm)	15	0,14	0,01	0,36	0,81
	1ª chuva (1,0mm)	4	0,45	0,32	0,67	0,33
	Reserv. (1,0mm)	4	0,14	0,10	0,21	0,38
	1ª chuva (1,5mm)	6	0,22	0,05	0,41	0,72
	Reserv. (1,5mm)	5	0,04	0,01	0,09	0,83
CT (NMP/100mL)	1ª chuva (0,5mm)	14	3,47E+03	3,00E+01	1,98E+04	1,77
	Reserv. (0,5mm)	13	3,63E+02	3,00E+01	2,48E+03	1,94
	1ª chuva (1,0mm)	3	3,86E+02	2,18E+02	5,38E+02	0,42
	Reserv. (1,0mm)	3	1,46E+02	2,00E+01	2,85E+02	0,91
	1ª chuva (1,5mm)	6	3,42E+03	3,40E+01	1,41E+04	1,59
	Reserv. (1,5mm)	4	4,68E+01	3,10E+01	6,30E+01	0,30

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](#)