SIMONE MAY

**“ESTUDO DA VIABILIDADE DO
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA
PARA CONSUMO NÃO POTÁVEL EM
EDIFICAÇÕES.”**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia.

São Paulo

2004

SIMONE MAY

**“ESTUDO DA VIABILIDADE DO
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA
PARA CONSUMO NÃO POTÁVEL EM
EDIFICAÇÕES.”**

**Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do Título de
Mestre em Engenharia.**

**Área de Concentração:
Engenharia de Construção Civil**

**Orientador:
Prof. Associado
Racine Tadeu Araújo Prado**

**São Paulo
2004**

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 16 de 06 de 2004

Assinatura do autor

Assinatura do orientador

FICHA CATALOGRÁFICA

May, Simone

Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações / S. May. -- São Paulo, 2004.

159 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil.

**1. Água pluvial (Aproveitamento; Qualidade; Coleta)
2. Viabilidade econômica I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Construção Civil II.t.**

*"De tudo, ficaram três coisas:
a certeza de que estamos sempre começando...
a certeza de que é preciso continuar...
a certeza de que seremos interrompidos antes de terminar...
Portanto devemos
fazer da interrupção um caminho novo...
da queda um passo de dança...
do medo, uma escada...
do sonho, uma ponte...
da procura...um encontro...
do encontro uma conquista"*

Fernando Pessoa

*A minha mãe Olinda,
ao meu pai Bernardo,
ao meu irmão Cláudio.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela benção da vida.

Aos meus pais, pelo carinho, apoio e compreensão.

Ao André, pela presença constante ao meu lado.

Ao meu orientador Prof. Dr. Racine Tadeu Araújo Prado, pela oportunidade da realização de um grande sonho.

Ao Prof. Dr. Ivanildo Hespanhol, pela inestimável sabedoria.

Ao Prof. Plínio Tomaz, pelo incansável incentivo e apoio.

Ao Jack M. Sickermann, pela doação de equipamentos e constante motivador.

À Prof.^a Dr.^a Carmem Straube, pela riqueza dos comentários e pela e amizade.

Ao Departamento de Engenharia de Construção Civil, pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, nas pessoas de Prof. Dr. Roque Passos Piveli, Prof. Podalyro Amaral de Souza e Fábio Campos pela atenção na resolução dos problemas encontrados.

Ao Instituto Adolfo Lutz, nas pessoas de seus pesquisadores Ana Maria R. de Paula, Gisele I. S. L. Lopes, Júlia T. U. Yoshida e Maria Anita Scorsofava, pela realização das análises das amostras de água de chuva.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo apoio financeiro.

Aos amigos e a todos que me apoiaram fazendo com que os momentos de dificuldades fossem superados.

RESUMO

Para a conservação de água existem medidas convencionais e medidas não convencionais. O sistema de aproveitamento de água de chuva para consumo não-potável é uma medida não-convencional. Atualmente o aproveitamento da água de chuva é praticado em países como Estados Unidos, Alemanha, Austrália e Japão, entre outros. No Brasil, o sistema é utilizado em algumas cidades do Nordeste como fonte de suprimento de água. A viabilidade do uso de água de chuva é caracterizada pela diminuição da demanda de água fornecida pelas companhias de saneamento, tendo como consequência a diminuição de custos com água potável e a redução do risco de enchentes em caso de chuvas fortes. No processo de coleta de água de chuva, são utilizadas áreas impermeáveis, normalmente o telhado. A primeira água que cai no telhado, lavando-o, apresenta um grau de contaminação bastante elevado e, por isso, é aconselhável o desprezo desta primeira água. A água de chuva coletada através de calhas, condutores verticais e horizontais é armazenada em reservatório podendo ser de diferentes materiais. A água armazenada deverá ser utilizada somente para consumo não potável, como em bacias sanitárias, em torneiras de jardim, para lavagem de veículos e para lavagem de roupas. Este trabalho trata da avaliação da qualidade da água de chuva, juntamente com o estudo da viabilidade econômica da utilização de um sistema de coleta e aproveitamento da água de chuva. A partir de um sistema experimental, análises da composição física, química e bacteriológica da água de chuva foram realizadas para caracterizar a água e verificar a necessidade de tratamento, diminuindo riscos à saúde de seus usuários. A viabilidade do sistema depende basicamente de três fatores: precipitação, área de coleta e demanda. O reservatório de água de chuva, por ser o componente mais dispendioso do sistema, deve ser projetado de acordo com as necessidades do usuário e com a disponibilidade pluviométrica local para dimensioná-lo corretamente, sem inviabilizar economicamente o sistema. Baseado nos resultados das análises realizadas e na utilização do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva, seu uso para fins não potáveis deve ser estimulado.

ABSTRACT

There are conventional and non-conventional ways for water conservation. The rainwater catchment system for non-drinking use is a non-conventional way. Nowadays, the exploitation of the rainwater is found in the United States, Germany, Australia and Japan, among others. In Brazil, the system is used in some northeast cities as water supplement supply source. The feasibility of rainwater use is characterized by the reduction of the demand on water supplied by the sanitation company and, as a consequence, the reduction of costs and the reduction of flood risk in case of storm rain. In the process of rainwater catchment impermeable areas are used, in most of the cases, the roof. The first water that falls and washes the roof has sufficiently high degree of contamination and therefore it is advisable to discharge it. The rainwater caught by gutters, vertical and horizontal conductors, is stored in a rainwater reservoir, which can be made of different materials. The stored rainwater should be used only for non-drinking consumption like in the toilet, in garden taps, in car washing and in clothes laundering. This paper evaluates the rainwater quality and develops the feasibility study for rainwater catchment for non-drinking use. From an experimental system, physical, chemical and microbiological analyses of the rainwater were made to qualify and verify the need of treatment avoiding the risk of illness to users. The feasibility of the system depends firstly on three factors: precipitation, catchment area and demand. The rainwater reservoir, as the most expansive part of the system, should be designed accordingly to the consumption and the local precipitation availability to set it accordingly, without making it economically unfeasible. Based on the results of the analysis and on the operation of the rainwater catchment system, its application for non-drinking use should be stimulated.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Estrutura do trabalho.....	7
2. OBJETIVOS.....	9
3. APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA CONSUMO NÃO-POTÁVEL EM EDIFICAÇÕES.....	11
3.1 O ciclo hidrológico.....	11
3.1.1 Precipitação atmosférica.....	14
3.2 Coleta e aproveitamento de água de chuva em alguns países.	17
3.2.1 Coleta de água de chuva no Semi Árido Brasileiro.....	23
3.3 Norma para aproveitamento de água de chuva.....	28
3.4 Conservação de água.....	29
3.5 Aproveitamento de água de chuva.....	32
3.5.1 Instalação e manutenção do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva.....	35
3.6 Técnicas de coleta de água de chuva para irrigação de jardins e limpeza de vasos sanitários.....	42
3.7 Técnicas de descarte da água de limpeza do telhado.....	46
3.7.1 Tonel para descarte da água de limpeza do telhado.....	46
3.7.2 Reservatório de auto-limpeza com torneira bóia.....	48
3.7.3 Reservatório de água de chuva com filtro de areia.....	49
3.7.4 Dispositivos de descarte da água de limpeza do telhado....	50
3.8 Coeficiente de <i>Runoff</i>	52
3.9 Estimativa da demanda residencial de água potável.....	55

3.9.1 Consumo residencial.....	56
4. PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA USUALMENTE AVALIADOS E METODOLOGIA DE PESQUISA.....	59
4.1 Poluição atmosférica.....	59
4.2 Poluição da água.....	62
4.2.1 Deposição seca e deposição úmida.....	64
4.2.1.1 Deposição seca.....	65
4.2.1.2 Deposição úmida.....	65
4.3 Chuva ácida.....	66
4.3.1 Caracterização de pH de chuva para a cidade de São Paulo.....	68
4.4 Análises físico-químicas e bacteriológicas.....	72
4.4.1 Análises físicas da água de chuva: parâmetros analisados	72
4.4.2 Análises químicas da água de chuva: parâmetros analisados.....	77
4.4.3 Análises bacteriológicas da água de chuva: parâmetros analisados.....	79
4.5 Sistema experimental de coleta de água de chuva.....	83
4.5.1 Coletor automático de água de chuva.....	89
4.5.2 Amostragem seqüencial de água de chuva.....	93
5. RESULTADOS OBTIDOS COM AS ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA	96
6. PROGRAMA COMPUTACIONAL DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA.....	101
6.1 Tela inicial do programa de viabilidade.....	101
6.2 Dimensionamento do reservatório de água de chuva.....	102
6.2.1 Planilha de dimensionamento do reservatório de água de chuva – Método Analítico.....	103
6.2.2 Dimensionamento do volume do reservatório de água de chuva – Método Gráfico.....	107

6.3 Verificação do volume do reservatório de água de chuva.....	108
6.3.1 Planilha de verificação do volume do reservatório de água de chuva.....	109
6.4 Análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva.....	112
6.4.1 Planilha de análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva sem financiamento.....	112
6.4.2 Planilha de análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva com financiamento.....	120
7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	126
ANEXO 1: TABELAS DAS ANÁLISES DAS AMOSTRAS SEQUENCIAIS DE ÁGUA DE CHUVA.....	131
ANEXO 2: ESTUDO DE CASO: ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA UM POSTO DE GASOLINA.....	144
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	152

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Volume total de água no mundo.....	2
Figura 2:	Volume total de água doce no mundo.....	3
Figura 3:	Disponibilidade hídrica no Brasil.....	4
Figura 4:	Ciclo hidrológico.....	12
Figura 5:	Interface de água doce com água salgada.....	14
Figura 6:	Chuvvas convectivas ou de convecção.....	15
Figura 7:	Chuvvas ciclônicas ou frontais.....	16
Figura 8:	Chuvvas orográficas ou de relevo.....	16
Figura 9:	Cisterna do povo Maya, chamada Chultun.....	18
Figura 10:	Cisterna de concreto com tela de arame.....	24
Figura 11:	Cisterna de placas de cimento pré-moldadas.....	25
Figura 12:	Modelo de uma cisterna subterrânea tradicional adaptada.....	26
Figura 13:	Projeto de captação de água de chuva para irrigação.....	27
Figura 14:	Estimativa das medidas convencionais para conservação de água.....	30
Figura 15:	Esquema do uso de água de chuva na Lavanderia da Paz.....	32
Figura 16:	Área de coleta - telhado: comprimento x largura.....	36
Figura 17:	Área de coleta - laje: comprimento x largura.....	37
Figura 18:	Área de coleta - telhado e pátio: armazenamento em reservatório subterrâneo.....	37
Figura 19:	Sistema de grade localizada sobre a calha.....	38
Figura 20:	Esquema de coleta de água de chuva com reservatório de auto-limpeza.....	40
Figura 21:	Sistema simples: área de coleta e área de jardim.....	42
Figura 22:	Sistema simples: área de coleta, condutor horizontal (calha), condutor vertical e área de jardim.....	43

Figura 23:	Sistema simples: área de coleta, condutor horizontal (calha), condutor vertical e área de jardim c/ dreno.....	43
Figura 24:	Sistema complexo: área de coleta, condutor horizontal (calha), condutor vertical, sistema de armazenamento (reservatório) e sistema de distribuição para rega do jardim.....	44
Figura 25:	Sistema complexo: área de coleta, condutor horizontal (calha), condutor vertical, sistema múltiplo de armazenamento e sistema de distribuição para rega do jardim.....	45
Figura 26:	Reservatório de água de chuva com tonel.....	47
Figura 27:	Reservatório de auto-limpeza com torneira-bóia.....	49
Figura 28:	Filtro VF1 de água de chuva.....	51
Figura 29:	Dispositivo de descarte da água de limpeza do telhado utilizado na Austrália.....	52
Figura 30:	Variação dos níveis de acidez pelo número de ocorrência de pH das 448 amostras de água de chuva coletadas na cidade de São Paulo entre 1984 e 1990.....	69
Figura 31:	Sistema de coleta de amostras do primeiro ponto de amostragem com a utilização do coletor automático.....	84
Figura 32:	Sistema de coleta de amostras do segundo ponto de amostragem com a utilização de reservatórios de água de chuva.....	85
Figura 33:	Esquema do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva instalado no CTCC – Centro de Técnicas de Construção Civil.....	86
Figura 34:	Controle da entrada de água potável no reservatório de água de chuva.....	87
Figura 35:	Medidor de vazão.....	88
Figura 36:	Coletor automático de amostragem seqüencial.....	90

Figura 37: Cálculo do volume do reservatório de água de chuva - Método gráfico.....	107
Figura 38: Balanço de entrada e saída da água de chuva no reservatório.....	108

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Disponibilidade hídrica em alguns países.....	3
Tabela 2:	Percentagem da população em áreas urbanas e rurais no ano 2000.....	5
Tabela 3:	Distribuição da população nas regiões do Brasil no ano 2000.....	6
Tabela 4:	Programa de ajuda financeira para sistema de reservatório de água de chuva em algumas cidades do Japão.....	21
Tabela 5:	Programa de ajuda financeira para sistemas de valas de infiltração de água de chuva em algumas cidades do Japão.....	22
Tabela 6:	Coefficiente de <i>Runoff</i> adotado por Hofkes (1975) e Frasier (1975).....	53
Tabela 7:	Coefficiente de <i>Runoff</i> utilizado por Tucson e Phoenix ..	53
Tabela 8:	Coefficiente de contribuição referente à declividade e projeção do telhado utilizado na Bélgica.....	54
Tabela 9:	Coefficiente de <i>Runoff</i> utilizado na Bélgica.....	54
Tabela 10:	Coefficiente de <i>Runoff</i> utilizado por Khan para a Índia..	55
Tabela 11:	Coefficiente de <i>Runoff</i> utilizado em alguns países.....	55
Tabela 12:	Parâmetros internos e externos de uma residência nos EUA.....	56
Tabela 13:	Estimativa de consumo interno residencial nos EUA....	56
Tabela 14:	Estimativa de consumo residencial para a Holanda.....	57
Tabela 15:	Estimativas da demanda residencial de água potável para uso interno nos EUA.....	57
Tabela 16:	Estimativas de demanda residencial de água potável para uso externo nos EUA.....	58
Tabela 17:	Estimativa do consumo de água na torneira de jardim por tempo de rega.....	58

Tabela 18:	Precipitação úmida anual de alguns íons para diferentes regiões do Brasil em mg/m ³	61
Tabela 19:	Caracterização do pH para água de chuva para Cubatão, Vila Parisi, Santos, Rio das Pedras e São Paulo.....	69
Tabela 20:	Caracterização química da água de chuva para a cidade de São Paulo no período de setembro de 1993 a maio de 1994, em µeq L ⁻¹	70
Tabela 21:	Caracterização química da água de chuva para a cidade de São Paulo no período de abril de 1997 a março de 1998, em µeq L ⁻¹	70
Tabela 22:	Caracterização química da água de chuva para a cidade de São Paulo no período de fevereiro a outubro de 2000, em µeq L ⁻¹	71
Tabela 23:	Parâmetros analisados de água de chuva para Kerala, na Índia.....	72
Tabela 24:	Parâmetros analisados no projeto: estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações.....	73
Tabela 25:	Turbidez encontrada nas amostragens das águas das cisternas de Volta Redonda, Petrolina em µT.....	75
Tabela 26:	Ficha de registro das amostras de água de chuva.....	95
Tabela 27:	Média e desvio padrão dos resultados obtidos com as análises das amostras de água de chuva.....	97
Tabela 28:	Tela inicial do programa de viabilidade econômica.....	102
Tabela 29:	Dimensionamento do reservatório de água de chuva pelo método de Rippl.....	106
Tabela 30:	Verificação do volume do reservatório de água de chuva.....	111
Tabela 31:	Análise econômica do sistema sem financiamento.....	117
Tabela 32:	Fluxos de implantação e operação sem financiamento...	118

Tabela 33:	Fluxos de investimento, retorno e formação da taxa interna de retorno sem financiamento.....	119
Tabela 34:	Análise econômica do sistema com financiamento.....	122
Tabela 35:	Fluxos de implantação e operação com financiamento...	123
Tabela 36:	Fluxos de investimento, retorno e formação da taxa interna de retorno com financiamento.....	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANCCT	Agência Nacional para a Cultura Científica e Tecnológica
CTCC	Centro de Técnicas de Construção Civil
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
USEPA	United States Environmental Protection Agency
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MS	Ministério da saúde
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área (m ²)
C	Coeficiente de <i>Runoff</i>
Ca	Cálcio
CaCO ₃	Carbonato de cálcio
Cl ⁻	Cloretos
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DM	Deutch Mark – Antiga unidade monetária da Alemanha
F ⁻	Fluoretos
Fe	Átomo de ferro
H	Átomo de hidrogênio
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
HCO ₃ ⁻	Bicarbonato
HNO ₃	Ácido nítrico
Ip	Investimento pronto
K	Átomo de potássio
Mg	Átomo de magnésio
Na	Átomo de sódio
NH ₄ ⁺	Amônia
NMP	Número mais provável
NO	Monóxido de nitrogênio
NO _x	Óxidos de nitrogênio
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
NO ₃ ⁻	Nitrato
O ₃	Ozônio
OD	Oxigênio dissolvido

P	Precipitação (mm)
pH	Potencial hidrogeniônico
Q	Vazão (m ³ /s)
S	Enxofre
SO ₂	Dióxido de enxofre
SO ₃	Trióxido de enxofre
SO ₄	Sulfato
UC	Unidade de cor
UFC	Unidade formadora de colônia
uH	Unidade Hazen
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
uT	Unidade de Turbidez
µm	Micrômetro
%	Porcentagem
[0]	Data base de análise zero

1

1. INTRODUÇÃO

*“Que o meu ensino seja como a chuva que cai mansamente
sobre a terra, que as minhas palavras sejam como o orvalho
que se espalha sobre as plantas”*

Deuteronômios 32, 2

1. INTRODUÇÃO

A disseminação de informações referente ao risco de escassez de água tem aumentado a conscientização da população com relação à utilização desse recurso. A água potável encontrada na natureza é essencial para a vida no nosso planeta. No entanto, esse recurso tem se tornado cada vez mais escasso. O crescimento da demanda e o crescimento populacional acentuado e desordenado são os principais fatores que influenciam no aumento do consumo de água, principalmente nos grandes centros urbanos.

Segundo Souza (2003), o 3º Fórum Mundial da Água, ocorrido no mês de março de 2003 em Kioto, no Japão, teve como tema e discussão a ameaça de redução das reservas mundiais em cerca de um terço nos próximos 20 anos. Anersen apud Villiers (2002), diretor do *International Food Policy Research Institute*, diz que um em cada cinco países está sujeito a experimentar uma severa falta de água dentro de 25 anos. “A *Population Action International* sustenta que o número de pessoas vivendo em estado crítico de falta de água era de 436 milhões em 1997 e, segundo suas projeções, a porcentagem da população mundial vivendo em estado crítico de falta de água vai quintuplicar até 2050” (VILLIERS, 2002).

Villiers (2002) descreve que somente um terço da água que flui anualmente para o mar pode ser utilizada pelo homem. Desta quantidade, mais da metade já tem destino e está sendo utilizada. Muitas vezes, a água é encontrada na natureza degradada por esgotos, poluição industrial, produtos químicos, excesso de nutrientes e pragas de algas. A disponibilidade *per capita* de água potável de boa qualidade está diminuindo em todos os países desenvolvidos e em desenvolvimento. Segundo Shiklomanov (1998), países como o Kuwait, o Egito, a Arábia

Saudita, a Líbia, a Tailândia, a Jordânia, a Singapura, o Israel, o Cabo Verde, o Burundi, a Argélia e a Bélgica sofrem com a escassez de água. O problema de falta de água começa também a se estender em países como o México, a Hungria, a Índia, a China, os Estados Unidos, a Etiópia, a Síria e a Turquia.

Segundo Shiklomanov (1998) existem cerca de 1.386 milhões de km³ de água no planeta Terra, sob as formas líquida e congelada, sendo encontrada nos oceanos, lagos, rios, geleiras e no subsolo. No gráfico abaixo, verifica-se a percentagem de água salgada e água doce distribuídos no planeta.

Fig. 1: Volume total de água no mundo

FONTE: Shiklomanov (1998)

São três as fases em que a água pode ser encontrada na natureza, a saber: sólida, líquida e gasosa. A fase sólida é encontrada nas regiões montanhosas e nas calotas polares do Ártico e Antártida; a fase líquida é encontrada em oceanos, mares, rios, lagos, subsolo e reservatórios; e a fase gasosa é encontrada na biosfera e na atmosfera. No gráfico 2 verificamos que grande parte da água doce disponível no mundo apresenta-se em forma sólida e somente uma pequena percentagem está disponível para ser consumida pelo ser humano.

Fig. 2: Volume total de água doce no mundo

FONTE: Shiklomanov (1998)

Segundo Villiers (2002), 20% da água de escoamento global origina-se exclusivamente na Bacia Amazônica. No entanto, algumas regiões da América do Sul são consideradas as mais secas do planeta. O índice pluviométrico anual de Arica, no Chile, por exemplo, gira em torno de zero, observação efetuada na primeira metade do século XX e assim se manteve por quarenta anos consecutivos. Na tabela 1, verifica-se a disponibilidade hídrica em alguns países.

TABELA 2: DISPONIBILIDADE HÍDRICA EM ALGUNS PAÍSES.

PAÍSES COM MAIOR DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO MUNDO	
País	Quantidade de água em m³/hab./ano
Guiana Francesa	812.121
Islândia	609.319
Suriname	292.566
Congo	275.679
Brasil	48.314

FONTE: UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (2003)

TABELA 1: DISPONIBILIDADE HÍDRICA EM ALGUNS PAÍSES - continuação

PAÍSES COM MENOR DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO MUNDO	
País	Quantidade de água em m³/hab./ano
Ilhas Bahamas	66
Emirados Árabes Unidos	58
Faixa de Gaza	52
Kuwait	10

FONTE: UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (2003)

Em termos nacionais, o Brasil detém uma das maiores bacias hídricas do planeta, ou seja, um quinto de toda a reserva global. Tomaz (2001) descreve que o Brasil possui 12% da água doce do mundo, porém mal distribuída no país. Em alguns estados do Brasil, como Alagoas, Paraíba, Pernambuco, Sergipe e Rio Grande do Norte a disponibilidade hídrica *per capita* é insuficiente para atender a demanda necessária. Segundo Tomaz (2003), São Paulo, por exemplo, possui uma disponibilidade hídrica de 2.209 m³/hab/ano, menor que a do Ceará, que é igual a 2.279 m³/hab/ano. Na figura 3, verifica-se a distribuição de água doce no Brasil.

DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DOCE NO BRASIL

Fig. 3: Disponibilidade hídrica no Brasil

FONTE: Tomaz (2001)

O crescimento acelerado e a concentração da população mundial nas cidades podem ser verificados nos seguintes dados: em 1800, aproximadamente 3% da população mundial vivia nas cidades. Já em 1950, 29% da população concentrava-se nas áreas urbanas, totalizando 734 milhões de habitantes. Dessa época até 1990, a população urbana mundial mais do que triplicou, chegando a 2,39 bilhões, representando 45% da população (LEAL; HERRMANN, 1999).

Segundo Leal; Herrmann (1999), no Brasil, em 1940, a população das cidades correspondia a 30% da população total e a população rural, 70%. Em 1996, cerca de 75% da população já vivia em cidades. Em duas regiões metropolitanas, São Paulo e Rio de Janeiro, concentravam-se aproximadamente 20% da população do país. Nas tabelas 2 e 3, verificam-se as percentagens da população nas áreas urbana e rural e a distribuição da população nas regiões do país em 2000.

TABELA 2: PERCENTAGEM DA POPULAÇÃO EM ÁREAS URBANAS E RURAIS NO ANO 2000.

Regiões do Brasil	População (Área Urbana)	População (Área Rural)	Porcentagem da população (%)	Porcentagem da população (%)
			Área Urbana	Área Rural
Norte	9.014.365	3.886.339	5,30	2,28
Nordeste	32.975.425	14.766.286	19,42	8,70
Sudeste	65.549.194	6.863.217	38,60	4,04
Sul	20.321.999	4.785.617	11,98	2,82
Centro Oeste	10.092.976	1.543.752	5,95	0,91
TOTAL	137.953.959	31.845.211	81,25	18,75

FONTE: IBGE – Instituto de Geografia e Estatística (2000)

TABELA 3: DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO NAS REGIÕES DO BRASIL NO ANO 2000.

Regiões do Brasil	Área (Km²)	População (hab.)	Porcentagem da população (%)
Norte	3.869.637	12.900.704	7,58
Nordeste	1.561.177	47.741.711	28,12
Sudeste	927.286	72.412.411	42,64
Sul	577.214	25.107.616	14,8
Centro Oeste	1.612.077	11.636.728	6,86
TOTAL	8.547.403	169.799.170	100,0

FONTE: IBGE – Instituto de Geografia e Estatística (2000)

Observa-se nas tabelas 2 e 3 que a maior concentração de população é nas áreas urbanas, principalmente Sudeste e Nordeste. No Brasil, existe um grande desequilíbrio entre a concentração de água e população. Nas regiões onde há predominância das atividades industriais e agrícolas existe uma pequena percentagem de volume de água, verificando-se o oposto nas regiões onde essas atividades não são intensas.

Segundo Tomaz (2000), a região Norte representando 7,58% da população dispõe de 68% da água do país, enquanto a região Nordeste que contém 28,12% da população dispõe de 3%, e a região Sudeste onde vivem 42,64% dos brasileiros apresenta somente 6%.

O aumento da eficiência do uso da água irá liberar suprimentos de água para outros usos, tais como: estabelecimento de novas indústrias, aumento na produtividade agrícola e a melhoria do meio ambiente. Segundo 3PTechnik (2001), a disponibilidade de água servirá como parâmetro básico para decidir a localização de qualquer empreendimento. Segundo John (2003), na média mundial de consumo de água, o maior percentual se destina à agricultura com 67%, seguida da indústria, com

19%. O uso residencial consiste em 9%, distribuídos de forma diferenciada entre a classe alta, média e baixa.

Outros problemas bastante comuns e que agravam a escassez de água são a periodicidade do suprimento, a irregularidade do suprimento, o desmatamento, a poluição das nascentes, falta de saneamento, a expansão das cidades e má gestão. Segundo Villiers (2002), nas regiões onde ocorre o regime de monções, na Índia, todo o escoamento acontece em poucos meses, quase sempre causando inundações. Já no sudoeste dos Estados Unidos, o volume de chuva nos meses de maio a setembro é insignificante e a procura pela água é bastante elevada.

Dentro deste contexto, faz-se necessário ampliar nossos conhecimentos referentes à conservação de água, para que esse recurso possa ser preservado de forma que no futuro próximo não se torne escasso. Uma forma de conservar água é aproveitar água de chuva para consumo não potável em edificações, e é o assunto que será abordado neste trabalho.

A viabilidade do uso de água de chuva em edificações é caracterizada pela diminuição da demanda de água fornecida pelas companhias de saneamento, tendo como consequência a diminuição de custos com água potável e a redução do risco de enchentes em caso de chuvas fortes.

1.1. Estrutura do trabalho

Após este capítulo introdutório, segue o capítulo 2, onde se descrevem os objetivos deste trabalho. Em seguida, o capítulo 3 apresenta a importância do ciclo hidrológico, a disponibilidade de água em alguns países do mundo, alguns tipos de conservação de água, o sistema de coleta

e armazenamento de água de chuva, bem como os cuidados com a instalação e manutenção do sistema.

No capítulo 4 descreve-se a metodologia de estudo referente aos parâmetros de qualidade usualmente utilizados e a metodologia de pesquisa, os tipos de poluição, poluição da água, precipitação seca e úmida, caracterização da água de chuva, cuidados com a coleta das amostras de água de chuva e equipamentos utilizados para coletar as amostras.

No capítulo 5, são mostrados os resultados das análises das amostras de água de chuva e, finalmente, o capítulo 6 apresenta os critérios utilizados na elaboração do programa de análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva. Esses critérios abrangem o cálculo do reservatório de água, a verificação do volume do reservatório e a análise econômica do sistema sem e com financiamento.

No capítulo 7, encontram-se as conclusões e as recomendações deste trabalho. No Anexo 1 estão as tabelas dos resultados das análises físicas, químicas e bacteriológicas das amostras de água de chuva e no Anexo 2, encontra-se o estudo da viabilidade econômica da implantação de um sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva para um posto de gasolina.

2. OBJETIVOS

*“Não desampares a sabedoria, e ela te guardará;
ama-a, e ela te protegerá”*

Provérbios 4, 6

2. OBJETIVOS

A água tem se tornado um recurso cada vez mais escasso, principalmente em regiões onde a disponibilidade é pequena. Em atividades industriais e agrícolas, o consumo de água é elevado e sua escassez induz à procura de novas alternativas para minimizar esse problema. A reciclagem da água, o reúso de água servida e o aproveitamento de água de chuva, são alternativas que devem ser avaliadas, após análise técnica e econômica.

O objetivo desse trabalho é analisar a viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações, visando aperfeiçoar o conhecimento dos riscos à segurança humana, com a intensificação do uso da água de chuva.

Este trabalho inclui em seus objetivos verificar a qualidade da água de chuva. Um sistema experimental de coleta e aproveitamento de água de chuva foi construído com objetivo de investigar a qualidade da água de chuva após passar pelo telhado do edifício e nos reservatórios de acumulação, o tempo necessário para efetuar a limpeza do telhado, o coeficiente de *Runoff* para o sistema e a verificação da necessidade de tratar a água de chuva antes de sua utilização.

Neste trabalho, será também considerada a análise econômica da utilização de um sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. Para a análise econômica foi elaborado um programa na linguagem C de programação onde, o princípio do programa é efetuar o cálculo do reservatório de água de chuva através do método de Rippl, verificar o volume do reservatório obtido no cálculo e efetuar a análise econômica do sistema sem ou com financiamento.

Espera-se que com este trabalho, o uso da água de chuva para consumo não potável seja incentivado de forma que não proporcione riscos de saúde em seus usuários e que o aproveitamento da água de chuva intensifique a conservação de água potável, para que no futuro muito próximo esse recurso não se torne escasso.

3. APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA CONSUMO NÃO-POTÁVEL EM EDIFICAÇÕES

*“Eis que Deus é grande, e não podemos compreender; o
número de seus anos não se pode calcular”*

Jó 36, 26

3. APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA CONSUMO NÃO- POTÁVEL EM EDIFICAÇÕES.

Neste capítulo, inicialmente, alguns conceitos sobre o ciclo hidrológico e a precipitação atmosférica serão descritos, juntamente com a importância dos mesmos para se entender como a água circula pelos sistemas da Terra.

A seguir, será apresentada a coleta de água de chuva em alguns países, coleta de água de chuva no Semi Árido Brasileiro e algumas medidas de conservação de água. Existem várias medidas que são cabíveis para se conservar água. Uma delas é o aproveitamento de água de chuva.

No aproveitamento de água de chuva para consumo não potável são necessários alguns cuidados referentes à instalação e a manutenção do sistema. Serão apresentadas algumas técnicas que poderão ser utilizadas para fazer a coleta de água de chuva.

3.1. O ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico, também chamado ciclo da água é a forma como a água circula pelos sistemas da Terra. Segundo Villiers (2002), o ciclo hidrológico é um sistema físico quase estável e auto-regulável, que transfere a água de um “reservatório” para outro em ciclos complexos. Estes reservatórios são compostos pela umidade atmosférica, oceanos, rios, lagos, lençóis freáticos, aquíferos subterrâneos, calotas polares e solos saturados.

O sistema hidrológico funciona somente porque mais água evapora dos oceanos do que retorna a ele. Esta diferença cai na terra sob a forma

de chuva ou neve tornando nossa vida possível, pois quando ela cai, o faz em forma de água doce.

Segundo Villiers (2002), uma enorme quantidade de água evapora da terra e dos oceanos anualmente, consumindo cerca da metade da radiação solar que atinge a Terra. Na figura abaixo, verifica-se o constante processo de mudança do estado da água na natureza.

Fig. 4: Ciclo hidrológico

FONTE: <http://www.vol.eti.br/geo/curiosidades/ciclohidrologico.asp>

Como se pode observar na figura 4, no ciclo hidrológico, o sol tem papel fundamental, pois através das radiações solares faz evaporar a água dos rios, dos lagos, dos oceanos e de todos os seres vivos. Com a evaporação, formam-se as nuvens, e das nuvens a água retorna na forma de precipitação, trazendo substâncias fundamentais à vida dos seres vivos.

A precipitação ocorre quando massas de ar de temperaturas diferentes se misturam e a massa de ar saturada esfria. Ao atingir o solo, parte da chuva infiltra-se no mesmo, promovendo a recarga de aquíferos, e a outra parte escoar para os rios, lagos e oceanos. Da água acumulada por efeito de infiltração, parte retorna à superfície na forma de nascentes e parte é restituída à atmosfera por meio da evapotranspiração.

A evapotranspiração é o processo pelo qual ocorre a evaporação da água do solo e das superfícies líquidas, e a transpiração dos vegetais. O processo de evapotranspiração da vegetação apresenta importantes funções no ciclo hidrológico, a saber:

- ✓ acelera o processo de evaporação através da transpiração das superfícies das folhas, repondo o vapor d'água na atmosfera;
- ✓ contribui em parte para o equilíbrio do clima e da própria atmosfera e;
- ✓ previne fenômenos de erosão provocados pela ação mecânica da água sobre o solo.

Assim como as águas da superfície, as águas subterrâneas, estão em constante mudança. Ao longo dos anos, décadas e séculos elas encontram seu caminho para as calhas dos rios e cursos d'água e, em seguida, volta para o mar.

Segundo Villiers (2002), 10% a 20% da água de chuva encontra um caminho para os sistemas de água subterrânea, o que favorece a recarga de aquíferos. Continua o autor descrevendo que o processo de retirar mais água de um aquífero do que quantidade que retorna a ele naturalmente, é chamado de “super- exploração dos lençóis freáticos e artesianos”. O uso desordenado das águas subterrâneas é um dos grandes problemas invisíveis e ameaçadores que o planeta enfrenta. Na figura 5, verifica-se o comportamento da interface da água doce com a água salgada do mar.

Fig. 5: Interface de água doce com água salgada

<http://www.meioambiente.pro.br/agua/guia/aguasubterranea.htm>

Existem vários problemas relacionados à queda dos níveis das águas subterrâneas, um deles é a secagem dos rios. Em casos críticos, a retirada de grandes quantidades de água dos aquíferos costeiros causa a intrusão de água do mar, arruinando o aquífero para o ser humano, como podemos observar na figura acima.

Segundo Villiers (2002), à medida que cresce a população, o uso sustentável de água depende fundamentalmente da adaptação das pessoas ao ciclo da água. O ser humano precisa desenvolver habilidades, conhecimentos, procedimentos e instituições para administrar o uso da água de forma integrada e abrangente, a fim de manter a quantidade e qualidade do suprimento.

3.1.1. Precipitação atmosférica

“Precipitação é a liberação de água proveniente do vapor d'água da atmosfera sobre a superfície da Terra, sob a forma de orvalho, chuvisco, chuva, granizo, saraiva ou neve” (VILLIERS, 2002). A chuva apresenta

outra função além de transferir a água dos oceanos para a terra, como vimos anteriormente. Ela também é importante para o equilíbrio radiativo da Terra. Porém, a chuva não depende apenas da quantidade de vapor. Ela depende também da topologia local, dos padrões de evaporação e dos ventos.

Segundo Garcez; Alvares (1988), a condensação do vapor d'água atmosférico, consequência de seu resfriamento a ponto de saturação, pode ocorrer quando as massas de ar resfriam-se devido à:

- ✓ ação frontal de outras correntes eólicas;
- ✓ presença de topografia abrupta;
- ✓ fenômenos de convecção térmica e, combinação dessas causas.

Segundo a ANCCT (2003), existem três principais tipos de chuva, a saber:

✓ **Chuvas convectivas ou de convecção:** chuva formada pela ascensão de massas de ar quente da superfície, carregadas de vapor d'água. Ao subir, o ar sofre resfriamento provocando a condensação do vapor de água e, conseqüentemente, ocorre a precipitação. Esta chuva manifesta-se de forma intensa e é de curta duração. Na figura 6 observa-se como as chuvas convectivas se comportam.

Fig. 6: Chuvas convectivas ou de convecção

FONTE: ANCCT - Agência Nacional para a Cultura Científica e Tecnológica (2003)

✓ **Chuvas ciclônicas ou frontais:** chuva que resulta do encontro de duas massas de ar com características diferentes de temperatura e umidade. Desse encontro, a massa de ar quente sobe e o ar arrefece atingindo o ponto de saturação, conseqüentemente forma-se as nuvens e então, acontece a precipitação. Na figura 7 observa-se como as chuvas frontais se comportam.

Fig. 7: Chuvas ciclônicas ou frontais

FONTE: ANCCT - Agência Nacional para a Cultura Científica e Tecnológica (2003)

✓ **Chuvas orográficas ou de relevo:** chuva que resulta da subida forçada do ar devido à existência de um relevo. São chuvas localizadas, intermitentes e possuem intensidade bastante elevada. Na figura 8 observa-se como as chuvas orográficas se comportam.

Fig. 8: Chuvas orográficas ou de relevo

FONTE: ANCCT - Agência Nacional para a Cultura Científica e Tecnológica (2003)

Normalmente as precipitações apresentam-se em forma de chuva, mas se o resfriamento atinge o ponto de solidificação pode ocorrer a queda de granizo ou de neve. Se as partículas condensadas forem muito finas, mantendo-se em suspensão junto à superfície do solo, ocorre o nevoeiro.

3.2. Coleta e aproveitamento de água de chuva em alguns países

A água é considerada o principal recurso natural, sendo indispensável para o desenvolvimento dos seres vivos e de inúmeras atividades humanas como: comerciais, industriais, agrícolas e culturais. Entretanto, a água tem sido degradada intensamente por essas atividades, gerando crise no abastecimento.

O manejo e o aproveitamento da água de chuva para uso doméstico, industrial e agrícola está ganhando ênfase em várias partes do mundo, sendo considerado um meio simples e eficaz para se atenuar o grave problema ambiental da crescente escassez de água para consumo.

Os sistemas de coleta e aproveitamento de água de chuva já existem há milhares de anos. No deserto de Negev, por exemplo, o sistema existe há mais de 4.000 anos. Durante a era Romana, foram construídos sistemas sofisticados para coleta e armazenagem de água de chuva. Segundo Werger (1991) apud Soares et al (2000), acredita-se que os reservatórios de água de chuva encontrados na região do Parque Nacional Mesa Verde, nos Estados Unidos, foram construídos pelos Anasazis entre 750 a 1100 a.C.

Tomaz (1998) descreve que em uma das inscrições mais antigas do mundo, a Pedra Moabita, encontrada no Oriente Médio, datada de 850 a. C. Nela, o rei Mesha sugeria a construção de uma cisterna em cada

casa para aproveitamento da água de chuva. Segundo Guanayem (2000), no Brasil, a instalação mais antiga foi construída pelos norte-americanos em 1943, na ilha de Fernando de Noronha.

No México, as inscrições mais antigas e tradicionais de coleta de água de chuva são datadas na época dos Aztecas e dos Mayas. Segundo Gnadlinger (2000), no século X, ao sul da cidade de Oxkutzcab situada ao pé do monte Puuc, a agricultura era baseada na coleta de água de chuva. As pessoas viviam nas encostas e a água de chuva era armazenada em cisternas com capacidade de 20.000 a 45.000 litros, chamadas de Chultuns.

Segundo Gnadlinger (2000), as cisternas Chultuns tinham um diâmetro de aproximadamente 5 m e eram escavadas no subsolo calcário e revestidas com reboco impermeável. Acima delas havia uma área de coleta de 100 a 200 m². Na figura 9 observa-se a cisterna do povo Maya, chamada Chultuns.

Fig. 9: Cisterna do povo Maya, chamada Chultun

FONTE: Gnadlinger (2000)

Segundo Gnadlinger (2000), nos vales da cidade de Oskutzcab, utilizavam-se outros sistemas de coleta de água de chuva, como:

- ✓ sistema de Aguadas: reservatórios de água de chuva cavados artificialmente com capacidade de 10 a 150 milhões de litros;
- ✓ sistema de Aquaditas: pequenos reservatórios artificiais para 100 a 50.000 litros.

Em alguns países da Europa, o aproveitamento de água de chuva é bastante intensificado. Segundo PNUMA (2001), no 2º Fórum Mundial da Água, organizado pelo Conselho Mundial da Água em março de 2000, na Holanda, discutiu-se a metodologia utilizada há anos na Europa, principalmente em países como Alemanha, Japão e em alguns países dos Estados Unidos.

Na Holanda, por exemplo, a água é coletada para evitar o transbordamento dos canais que rodeiam o país, situado abaixo do nível do mar. A água armazenada é utilizada na irrigação de lavouras e abastecimento de fontes ornamentais. Na Alemanha, o processo de coleta e aproveitamento de água de chuva ajudou a solucionar os problemas acarretados pela péssima qualidade da água distribuída (PNUMA, 2001).

Fewkes (1999) descreve que no Reino Unido, 30% do consumo de água potável de uma residência é utilizada para limpeza do vaso sanitário. O incentivo ao uso da água de chuva é intensificado entre os britânicos uma vez que a economia é baseada no volume de água potável que é substituído por água de chuva. O custo da instalação do sistema está relacionado com a capacidade de armazenamento de água e com o nível de confiabilidade do sistema.

Schmidt (2001) relata que em Berlin como também em outras cidades da Alemanha, desde 2000 uma taxa é cobrada pela introdução de

água de chuva no sistema público de esgoto. Até o ano de 2000, o município cobrava uma taxa para o tratamento de esgoto no valor de DM\$ 3,85, por m³ de água potável consumida. Em 2001, esta taxa foi dividida entre um valor de DM\$ 3,15 para tratamento de esgoto e DM\$ 2,50 ao ano por m² de área impermeável. Este fato representa um importante estímulo financeiro para proprietários, que podem economizar esta taxa implantando o sistema de coleta de água de chuva.

Países industrializados, como o Japão e a Alemanha, estão seriamente empenhados no uso do sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não-potáveis. Outros países como Estados Unidos e Singapura também estão desenvolvendo pesquisas sobre esse sistema.

Gelt (2002) e Moffa (1996) descrevem que nos Estados Unidos o aproveitamento de água de chuva destina-se à lavagem de vasos sanitários, lavagem de veículos, resfriamento evaporativo, irrigação de jardins e hortas. Segundo Gardner; Coombes; Marks (2002), na Austrália, o sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva proporciona uma economia de 45% do consumo total de uma residência e 65% na agricultura.

Segundo Kita et al (1999), Tóquio, no Japão, a coleta de água de chuva é bastante intensa por duas razões: os reservatórios de água que abastecem a cidade ficam distantes e a cidade apresenta grandes índices de superfície pavimentada impedindo a infiltração da água no solo. Dois tipos de sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva são utilizados no Japão, são eles: o sistema de reservatório de água de chuva e o sistema de valas de infiltração de água de chuva.

Continuam os autores descrevendo que o sistema de reservatório de água de chuva apresenta as seguintes vantagens:

- ✓ diminui o risco de inundações urbanas;
- ✓ favorece a economia de água potável na rega de jardins, lavagem de veículos, sistemas de combate a incêndios; lavagem de roupas e vasos sanitários.

Já as valas de infiltração de água de chuva apresentam as seguintes vantagens:

- ✓ diminuem os riscos de inundações urbanas;
- ✓ proporcionam a recarga de aquífero.

O governo japonês implantou um programa de coleta e aproveitamento de água de chuva em 16 cidades do Japão onde é fornecida ajuda financeira para usuários que queiram construir um destes sistemas citados acima. Nas tabelas 4 e 5 estão descritas as cidades e os valores atribuídos a cada sistema.

TABELA 4: PROGRAMA DE AJUDA FINANCEIRA PARA SISTEMA DE RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE CHUVA EM ALGUMAS CIDADES DO JAPÃO

CIDADES	VALORES
Kawagoe	163,00 US\$ para um reservatório
	325,00 US\$ para dois reservatórios
Kamakura	214,00 US\$ para reservatórios com volume de 100L e 200L
	257,00 US\$ para reservatórios com volume acima de 200L
Chofu	Entre 214,00 US\$ e 470,00 US\$ para reservatórios com volume de 100L e 200L
Ward	8.547,00 US\$ para reservatórios de 1000L
	2.564,00 US\$ para reservatórios com volumes entre 500L e 1000L
	214,00 US\$ para reservatórios com volumes menores de 500L
Takamatsu	8.547,00 US\$ para reservatórios com volume superior a 1000L

FONTE: Kita et al (1999)

TABELA 5: PROGRAMA DE AJUDA FINANCEIRA PARA SISTEMAS DE VALAS DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA EM ALGUMAS CIDADES DO JAPÃO

CIDADES	VALORES
Kawagoe	163,00 US\$ para uma vala de infiltração
	325,00 US\$ para duas valas de infiltração
	393,00 US\$ para três valas de infiltração
	496,00 US\$ para quatro unidades de infiltração
Chofu	Custo inteiro
Ichikawa	3.419,00 US\$ por um lugar
Chiba	205,00 US\$ por até quatro valas
Yokohama	Custo inteiro
Mitaka	Custo inteiro
Ohta Ward	Custo inteiro
Fuji	Financia uma parte do custeio
Setagaya Ward	Financia uma parte do custeio
Musashino	1.709,00 US\$ por unidade

Valor em US\$ [1999] - Cotação do dólar: 117 Ienes

FONTE: Kita et al (1999)

Segundo Inamine et al (2000), na cidade de Okinawa, no Japão, desde 1991, o governo juntamente com a prefeitura, tem desenvolvido um programa financeiro para promover a coleta e o aproveitamento da água de chuva. A água coletada nas residências é utilizada para limpeza de bacias sanitárias, lavagem de carros e jardins. Em geral, a qualidade da água de chuva em Okinawa é considerada adequada também para lavagem de roupas e cozimento de alimentos.

Tomaz (1998) descreve que na cidade de Kitakyushu, no Japão, em 1995 foi erguido um edifício com 14 pavimentos prevendo a utilização de água de chuva. Para isso, foi construído um reservatório enterrado, com volume de 1 milhão de litros. Nesse edifício, as águas servidas, isto é, as

águas de lavatórios, torneiras e máquinas de lavar roupa são reaproveitadas, juntamente com a água de chuva coletada. Todos os vasos sanitários possuem alimentação com água não-potável de chuva e água servida.

Cheng (2001) relata que o projeto *Green Buildings*, incentivado pelo governo de Taiwan, estabelece 7 categorias de avaliação as quais intensificam e promovem a conservação de energia, a proteção dos recursos hídricos, o baixo desperdício de materiais e o baixo impacto ambiental. Essas medidas promovem eficientemente a qualidade ecológica do edifício.

A avaliação realizada sobre o projeto *Green Buildings* introduz a conservação da água como uma das sete categorias de avaliação. Os sistemas de reciclagem de água e aproveitamento de água de chuva apresentam avaliação especial nesse programa, sendo aceitável sua aplicação em edifícios que apresentam economia de água potável maior que 20 % do consumo total.

3.2.1. Coleta de água de chuva no Semi Árido Brasileiro

Soares et al (2000) descrevem que o sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva é considerado uma técnica popular, especialmente em regiões semi-áridas brasileiras. Já Schistek (2001) diz que o Semi Árido Brasileiro apresenta chuvas irregulares e alta taxa de evaporação potencial. Cerca de 80% da área geográfica do subsolo de regiões semi-áridas brasileiras apresentam formação cristalina, sem lençol freático. Sendo assim, a coleta de água de chuva tem se mostrado a opção mais indicada para disponibilizar água para o consumo humano.

Um sistema que tem se mostrado eficaz na coleta de água de chuva em regiões do Semi Árido Brasileiro é a cisterna de argamassa de cimento, reforçada com arame e tela, mostrada na figura 10.

Fig. 10 : Cisterna de concreto com tela de arame

FONTE: Gnadlinger (2001a)

Segundo Gnadlinger (2001a), a parede da cisterna é composta de quatro camadas sucessivas de argamassa de cimento, ligadas entre si com pouco mais de um centímetro de espessura cada. No centro das quatro camadas encontra-se uma única camada de tela de galinheiro e arame galvanizado com espaçamento entre cinco e dez centímetros. A tecnologia apresentada é viável economicamente tanto para pequenos como também para grandes programas de construção de cisternas.

Matias (2001) e Gnadlinger (2001a) apresentam outra tecnologia também utilizada no Semi Árido Brasileiro, que é a cisterna de placas de cimento pré-moldadas. Esta cisterna apresenta forma cilíndrica e é coberta e semi-enterrada. Ela pode ser utilizada também como cisterna

comunitária para armazenamento de água captada de rio ou poço. Na figura 11 é mostrada a cisterna de placas de cimento pré-moldadas.

Fig. 11: Cisterna de placas de cimento pré-moldadas

FONTE: Gnadlinger (2001a)

Segundo Thomas (2001b), a durabilidade, a segurança e o baixo custo são critérios normalmente utilizados para escolher o tipo de reservatório a ser implantado no sistema de coleta de água de chuva. Todavia, existem outros critérios que deverão ser considerados, a saber: segurança do modelo, preferência dos usuários, sustentabilidade e geração de empregos.

Gnadlinger (2001b), relata que no final dos anos 80, vários cientistas de Gangu, China, começaram a conduzir alguns experimentos com formas modernas de coleta de água de chuva em regiões rurais do semi-árido. Esses experimentos ficaram conhecidos como “Agricultura de colheita de água de chuva” e visavam o suprimento doméstico e a

produção de culturas agrícolas. As principais inovações introduzidas foram:

- ✓ uso de outros materiais, como o concreto;
- ✓ modelos elaborados por engenheiros, baseados em experiências antigas, visando aumentar a durabilidade e capacidade de armazenamento dos tanques (Figura 12);

Fig. 12: Modelo de uma cisterna subterrânea tradicional adaptada

FONTE: Gnadlinger (2001b)

- ✓ construção de sistemas de coleta eficazes;
- ✓ adoção de sistemas de irrigação com menor consumo de água;
- ✓ combinação da coleta de água de chuva com o sistema de produção agrícola altamente eficaz e abrangente;
- ✓ uso da água armazenada para a irrigação de jardins, em vez do uso exclusivamente doméstico.

Na figura 13 mostra-se o esquema do projeto de coleta de água de chuva para irrigação de jardim.

Fig. 13: Projeto de coleta de água de chuva para irrigação

FONTE: Gnadlinger (2001b)

Segundo Campos et al (2001), o uso da barragem subterrânea como alternativa para coleta de água de chuva em aluviões ou riachos no semi-árido brasileiro é outra alternativa que deve ser analisada. Esta alternativa permite o cultivo agrícola e o cultivo de árvores frutíferas e não frutíferas. Além do cultivo agrícola e frutífero, a barragem possibilita o aproveitamento da água represada.

Palmier (2001) descreve que na avaliação do potencial hídrico é analisada a adequação e a eficiência da coleta de água de chuva. Assim, são considerados os seguintes aspectos:

- ✓ disponibilidade atual da oferta de água e perspectiva de aumentá-la no tempo e no espaço;
- ✓ demanda atual de água e gestão adequada para possibilitar uma maior eficiência no uso da água;
- ✓ perspectiva de aumento da produtividade da água, considerando o uso de técnicas agrícolas e de gestão de recursos hídricos mais adequados;
- ✓ preservação da qualidade do meio ambiente.

Segundo Palmier (2001), sistemas alternativos de coleta de água de chuva vêm sendo utilizados em estados nordestinos do país e em Minas Gerais. No entanto, não há uma sistematização no uso dessas técnicas. Muitas dessas aplicações, não apresentam seus resultados monitorados. Segundo Sonda et al (2001), a construção de cisternas no semi-árido trouxe diversos benefícios às pessoas que utilizam esse sistema, a saber:

- ✓ facilitou a vida da dona de casa;
- ✓ diminuiu o índice de doenças onde são efetuadas manutenções adequadas nas cisternas;
- ✓ tempo livre para desenvolver outras atividades;
- ✓ disponibilidade de água para beber, cozinhar e limpeza entre outros.

Apesar de benefícios visíveis e concretos da economia de água e da melhoria da qualidade de vida das famílias que vivem no semi-árido brasileiro, o papel e a importância da coleta da água de chuva são pouco compreendidos pela maioria de nossos técnicos, governantes, e também pela população. Há uma grande necessidade de realizar pesquisas para avaliar o aproveitamento do potencial hídrico em regiões semi-áridas e em outras regiões do Brasil.

Jalfim (2001) relata que para incentivar a coleta e armazenamento de água de chuva, não basta tentar demonstrar a viabilidade dessa proposta pelo efeito visual e pelos relatos de experiências bem sucedidas. É preciso conscientizar as pessoas sobre a importância da coleta de água de chuva para o consumo humano, agrícola e industrial.

3.3. Normas para aproveitamento da água de chuva

Apesar do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva ser utilizado há anos em algumas regiões do Brasil, não são conhecidas

normas técnicas apropriadas para a utilização desse sistema. Um dos motivos da não existência de normas apropriadas para a implantação do sistema de coleta de água de chuva em edifícios é a falta de dados, tais como: qualidade da água de chuva e coeficiente de *Runoff*.

“O Código Sanitário do Estado de São Paulo (Decreto 12.342, de 27/9/78) diz o seguinte:

Artigo 12 – Não será permitida:

III – a interconexão de tubulações ligadas diretamente a sistemas públicos com tubulações que contenham água proveniente de outras fontes de abastecimento.

Artigo 19 – É expressamente proibida a introdução direta ou indireta de águas pluviais ou resultantes de drenagem nos ramais prediais de esgotos.” (TOMAZ, 1998)

Segundo Araújo (2002), a Lei 13.276, de 4 de janeiro de 2002, regulamentada pelo Decreto 41.814, de 16 de março de 2002, obriga a construção de “piscininhas” nas edificações. Esta lei descreve que edificações construídas a partir de 4 de janeiro de 2002 deverão instalar o sistema de piscininhas quando a área impermeabilizada resultar em mais de 500 m². Em caso de reformas, deverá ser instalado o sistema quando o acréscimo da área impermeabilizada for igual ou superior a 100 m².

3.4. Conservação de água

Segundo Tomaz (2001), a conservação da água é um conjunto de atividades com o objetivo de:

- ✓ reduzir a demanda de água;
- ✓ melhorar o uso da água e reduzir as perdas e desperdícios da mesma;
- ✓ implantar práticas para economizar água.

As medidas de conservação de água implantadas no uso urbano (residencial, comercial e industrial) são convencionais ou não convencionais. Na figura 14 são as medidas convencionais implantadas na cidade de Providence, Estados Unidos previstas para o ano 2010.

**ESTIMATIVAS DAS MEDIDAS CONVENCIONAIS PARA
CONSERVAÇÃO DA ÁGUA**

Fig 14: Estimativa das medidas convencionais para conservação de água

FONTE: Tomaz (2001)

Segundo Tomaz (2001), as medidas não convencionais para conservação de água são:

- ✓ reúso de águas cinzas (águas servidas);
- ✓ utilização de excretas de vasos sanitários em compostagem;
- ✓ aproveitamento de água de chuva;
- ✓ dessalinização de água do mar ou salobra;
- ✓ aproveitamento de água de drenagem do subsolo de edifícios.

Um dos maiores problemas das companhias de abastecimento é o desperdício de água. Segundo Leal (2000), o índice de perda física e financeira no Brasil é muito alto, se comparado com outros países. Em São Paulo, por exemplo, as perdas físicas atingem 31% da água produzida, índice parecido com o de Belo Horizonte que é de 32%.

Segundo Tomaz (2001), as questões referentes ao abastecimento de água e ao combate às enchentes, influenciam muito no tema “meio-ambiente”, englobando aspectos sociais, políticos e de segurança pública. Racionalização do consumo, diminuição das perdas físicas nas redes de abastecimento, combate às ligações clandestinas, reciclagem das águas servidas e campanhas de conscientização são medidas necessárias à conservação de água, porém, requerem um certo tempo para surtirem efeito.

Um exemplo positivo referente à conservação de água e ao aproveitamento de água de chuva é o uso da água de chuva para lavagem de tecidos. A lavanderia industrial “Lavanderia da Paz”, localizada na cidade de São Paulo, há 30 anos coleta, filtra e utiliza água de chuva para lavagem de roupas e toalhas. Segundo Montero (2001), são coletados 500 mil l/mês de água de chuva de um telhado de 1,4 mil m² da Lavanderia da Paz.

O consumo mensal da lavanderia da Paz é de 4.000 m³ sendo que desse total, apenas 1.500 m³ são fornecidos pela Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). O restante é extraído de um poço semi-artesiano e da coleta de água de chuva.

Como podemos observar na figura 15, a água de chuva é misturada com a água extraída do poço semi-artesiano. Antes de ser utilizada, a água passa por dois filtros: um de areia, e o outro químico, para retirada de Cálcio e Magnésio. Após a utilização da água na lavagem de roupas, 50% da água é devidamente tratada por meio de coagulação, floculação e filtração, e reutilizada na lavagem de toalhas industriais. O restante da água evapora durante os processos de lavagem e secagem de roupas.

Fig. 15: Esquema do uso de água de chuva na Lavanderia da Paz

3.5. Aproveitamento de água de chuva

Segundo Palmier (2001), a questão dos recursos hídricos em diversos países apresenta um grande desafio para as autoridades responsáveis. De fato, em muitas regiões, a demanda de água excede a quantidade disponível. “Nos últimos anos, tem-se observado o desenvolvimento de novas tecnologias referentes ao manejo de recursos hídricos. Com isso, observam-se novas expansões no uso de técnicas de aproveitamento de água de chuva, tanto em regiões onde já eram

utilizadas, como em locais onde eram desconhecidas” (PETRY; BOERIU, 2000).

Continua o autor descrevendo que técnicas baseadas em práticas antigas e tradicionais, com uso de materiais modernos, ou novas tecnologias são chamadas de “técnicas de gestão de águas de chuva”, sendo as seguintes as mais representativas:

- ✓ redução de evaporação;
- ✓ coleta de água de chuva;
- ✓ coleta de água de escoamento superficial;
- ✓ recarga artificial de aquíferos subterrâneos;
- ✓ conservação da umidade em solos;
- ✓ previsão de água de chuva para a agricultura.

Porém, mais do que as razões operacionais, o maior obstáculo ao uso disseminado dessas técnicas está relacionado com a falta de um gerenciamento eficiente da água. Garantir a disponibilidade de água em quantidade e qualidade, e combater a cultura da abundância, do desperdício e da degradação, torna-se fundamental para viabilizar qualquer proposta de desenvolvimento sócio-econômico sustentável no país. (LEAL; HERRMANN, 1999)

Segundo a *Organization of American States* (1997) apud Palmier (2001), na América do Sul e no Caribe os maiores problemas enfrentados para implementar as técnicas de gestão de águas de chuva são:

- ✓ dificuldade de difusão de informação sobre as técnicas aplicadas com sucesso;
- ✓ falta de conhecimento da existência e importância dessas técnicas nos vários níveis de participação pública e tomada de decisões;
- ✓ limitações econômicas;
- ✓ ausência de coordenação interinstitucional e multidisciplinar;

- ✓ ausência de legislação adequada;
- ✓ incapacidade de avaliar de forma apropriada o impacto da introdução de tecnologias alternativas nas situações existentes.

Soares; Gonçalves (2001) relatam que para a implantação do sistema de reúso de água servida e aproveitamento de água de chuva, será necessário o governo atribuir uma política de incentivo à instalação desses sistemas. Estes incentivos poderão vir como forma de subsidiar taxas ou impostos, tendo como consequência o aumento da oferta e diminuição da demanda de água potável.

Dixon; Butler; Fewkes (1999) descrevem que a coleta e o aproveitamento da água de chuva adicionada à água servida em um só sistema de reúso promovem benefícios na eficiência do sistema. Em épocas de estiagem, o sistema é alimentado por água servida, não havendo a necessidade de armazenar grandes volumes de água. Outra vantagem é que, com a mistura dessas duas águas, diminui a concentração de efluentes existentes na água servida, pois estes se dissolvem com a mistura de água de chuva, sendo seu tratamento menos oneroso.

Segundo Iwanami (1985), é importante fazer o planejamento da utilização do sistema de aproveitamento de água de chuva para verificar a quantidade de água que poderá ser coletada e armazenada, para verificar a necessidade de tratamento da água de chuva e para analisar os benefícios da mistura da água de chuva com a água servida. Certamente é preciso que a água coletada seja devidamente armazenada, filtrada e que garanta uma qualidade compatível com os usos previstos.

Baú (1991) apud Soares et al (1999) relatam que a utilização de água de chuva torna-se atraente nos seguintes casos:

- ✓ áreas de precipitação elevada;
- ✓ áreas com escassez de abastecimento;
- ✓ áreas com alto custo de extração de água subterrânea.

Existem dois fatores positivos no uso de água de chuva em áreas urbanas, a saber:

- ✓ redução do consumo de água e;
- ✓ melhor distribuição da carga de água de chuva imposta ao sistema de drenagem urbana.

Uma desvantagem deste sistema é a diminuição do volume de água coletada em períodos de estiagem.

Soares et al (1999) relataram que o sistema de aproveitamento de água de chuva pode ser aplicado na lavagem de vasos sanitários, sistemas de ar-condicionado, sistemas de controle de incêndio, lavagem de veículos, lavagem de pisos e ainda na irrigação de jardins. Nas indústrias e estabelecimentos comerciais, a água de chuva pode ser utilizada para resfriamento de telhados e máquinas, climatização interna, lavanderia industrial, lava jatos de caminhões, carros e ônibus e limpeza industrial.

3.5.1. Instalação e manutenção do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva

Segundo Leal (2000), o sistema de aproveitamento de água de chuva funciona da seguinte maneira: a água é coletada de áreas impermeáveis, normalmente telhados. Em seguida, é filtrada e armazenada em reservatório(s) de acumulação, que pode ser apoiado, enterrado ou elevado e ser construído de diferentes materiais como: concreto armado, blocos de concreto, alvenaria de tijolos, aço, plástico, poliéster, polietileno e outros.

Segundo Waweru (1999), os parâmetros principais envolvidos no sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva são: área de coleta, quantidade de água a ser armazenada, qualidade da água, capacidade de armazenamento e confiabilidade. Já Vyas (2001), assume a área de coleta, o coeficiente de *Runoff* e o volume do reservatório, como os principais parâmetros a serem considerados.

O sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva em edificações é formado pelos seguintes componentes:

✓ **Área de coleta:** a quantidade de água de chuva que pode ser armazenada depende da área de coleta, da precipitação atmosférica do local e do coeficiente de *Runoff*. A área utilizada para coleta de água de chuva normalmente é o telhado ou a laje da edificação. Dependendo do uso final da água coletada e do tratamento a ser aplicado, a coleta de água de chuva pode ser feita através de superfícies impermeabilizadas, localizadas ao nível do chão tais como pátios, calçadas, estacionamentos, etc. Nas figuras 16, 17 e 18 observam-se as áreas de coleta: telhados, lajes e pátios.

Fig. 16: Área de coleta - telhado: comprimento x largura

FONTE: Waterfall (2002)

Fig. 17: Área de coleta - laje: comprimento x largura

FONTE: Waterfall (2002)

Fig. 18: Área de coleta - telhado e pátio: armazenamento em reservatório subterrâneo

FONTE: Waterfall (2002)

Para não ocorrerem entupimentos nos condutores que levam a água até o reservatório de auto-limpeza ou outro dispositivo, o sistema de coleta de água de chuva deve conter um sistema de peneiras para a retirada de folhas e galhos. Para esse processo pode-se utilizar um dispositivo na saída da calha, uma grade que percorre toda a calha ou ainda uma grade na entrada de água do reservatório de auto-limpeza. Na

figura 19 é mostrada a utilização de grade na calha para retirada de folhas e galhos.

Fig. 19: Sistema de grade localizada sobre a calha

FONTE: Waterfall (2002)

O telhado para coleta da água de chuva pode ser feito de diversos materiais como: cerâmica, fibrocimento, zinco, ferro galvanizado, concreto armado, plástico, vidro, policarbonato, acrílico, manta asfáltica, etc.

✓ **Condutores:** sistema de condutores horizontais (calhas) e condutores verticais que transportam a água de chuva do telhado até o sistema de armazenamento;

✓ **Armazenamento:** sistema composto por reservatório(s) com objetivo de armazenar a água de chuva. Se a área de coleta, a precipitação média da região e a demanda mensal são conhecidas, pode-se calcular o volume mínimo do reservatório de água de chuva. Segundo Soares et al (2000), o problema do tamanho do reservatório pode ser visto de duas maneiras:

- ✓ quantidade de água necessária para suprir a demanda;
- ✓ encontrar a demanda com um grau de confiabilidade alto.

Geralmente, o reservatório de acumulação é o componente mais dispendioso do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva, por isso seu dimensionamento requer um certo cuidado para não tornar a implantação do sistema inviável. Dependendo do volume obtido no cálculo e das condições do local, o armazenamento da água de chuva poderá ser realizado para atender as seguintes situações:

- ✓ armazenar água somente para suprir a demanda por alguns dias;
- ✓ armazenar água para suprir a demanda por 1 a 2 meses;
- ✓ armazenar água para suprir a demanda por 6 meses;
- ✓ armazenar água para suprir a demanda o ano inteiro.

Segundo Soares et al (2000), os métodos utilizados para o cálculo do reservatório de água de chuva podem ser classificados em 4 principais grupos, a saber:

- ✓ métodos determinísticos: os dados referentes à precipitação pluviométrica e a demanda são analisados pela curva de massa;
- ✓ métodos aproximados: baseados em relações empíricas conhecidas;
- ✓ métodos de modelação: são também conhecidos como método de transição probabilística da matriz;
- ✓ método de análise de sistema: sendo linear, não linear ou programação dinâmica.

O cálculo do volume do reservatório de água de chuva que iremos abordar neste trabalho será elaborado pelo método de *Rippl*, ou seja, método de curva de massa das vazões.

Tratamento: o sistema de tratamento da água de chuva depende da qualidade da água coletada e do seu destino final. Para um tratamento simples, pode ser utilizado: sedimentação natural, filtração simples e cloração. Pode-se utilizar também tratamentos complexos como desinfecção por ultravioleta ou osmose reversa.

A coleta de água de chuva é um sistema de fácil manuseio, custo de implantação baixo, dependendo da tecnologia adotada, e retorno de investimento rápido em regiões onde a precipitação anual é relativamente elevada. A água de chuva tratada de maneira simples pode ser aplicada com vantagens quando comparada com o sistema de reutilização de água servida, embora possua a desvantagem de, em tempos de estiagem, diminuir o volume de água coletado.

Para a coleta de água de chuva é necessária a instalação de condutores verticais, condutores horizontais, dispositivos para descarte da água de limpeza do telhado e reservatório(s) de acumulação. Os condutores verticais e horizontais são equipamentos que na maioria dos casos, encontram-se instalados na edificação. Já os outros componentes como dispositivo para descarte e reservatório(s) deverão ser instalados. Na figura 20 é possível observar um esquema de coleta de água de chuva.

Fig. 20: Esquema de coleta de água de chuva com reservatório de auto-limpeza

FONTE: Tomaz (1998)

No sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva alguns cuidados especiais deverão ser tomados com relação à instalação e a manutenção do sistema, a saber:

- ✓ evitar a entrada de luz do sol no reservatório para diminuir a proliferação de microorganismos;
- ✓ a tampa de inspeção deverá estar fechada;
- ✓ a saída do extravasor deverá conter grade para evitar a entrada de pequenos animais;
- ✓ pelo menos uma vez por ano deverá ser feita a limpeza no reservatório, removendo a lama que se acumula no fundo;
- ✓ o reservatório de água de chuva deverá conter uma pequena declividade no fundo para facilitar a limpeza e retirada da lama;
- ✓ é aconselhável localizar o reservatório de acumulação de água de chuva próximo ao condutor vertical, podendo ele ser elevado, enterrado ou apoiado;
- ✓ a água coletada poderá ser utilizada somente para consumo não potável;
- ✓ numa estiagem prolongada, deverá ser previsto o reabastecimento do reservatório de água de chuva com água potável, em quantidades que garantam o consumo diário;
- ✓ deverão ser tomados os devidos cuidados para que a água de chuva não contamine o reservatório de água potável, caso o reservatório de água de chuva esteja ligado a ele;
- ✓ a entrada de água potável no reservatório de água de chuva deverá estar acima da entrada de água de chuva para não retornar água de chuva ao reservatório de água potável;
- ✓ no fundo do reservatório deverá existir um dispositivo para evitar turbulência na água e não agitar o material sedimentado do fundo do reservatório de água de chuva;
- ✓ a tubulação de água de chuva deverá ser de outra cor para realçar uso não potável, além disso poderão ser utilizadas roscas e

torneiras diferentes para evitar uma possível interconexão com o sistema de água potável;

- ✓ próxima à mangueira do jardim ou quintal deverá existir uma placa de aviso “Água não Potável”;
- ✓ deverá ser verificada a necessidade de filtração e cloração da água de chuva armazenada;
- ✓ não deverá ser feita a conexão da rede de água potável com a rede de água de chuva no sistema de distribuição.

3.6. Técnicas de coleta de água de chuva para irrigação de jardins e limpeza de vasos sanitários

O sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva para rega de plantas e jardins pode apresentar simples ou complexa instalação e seu uso pode ser designado a pequenas ou grandes áreas verdes. Segundo Waterfall (2002), o sistema simples apresenta três componentes: área de coleta, condutores verticais e horizontais e área de jardim. Nas figuras 21, 22 e 23 são mostrados alguns exemplos de sistemas simples para rega de plantas e jardins.

Fig. 21: Sistema simples: área de coleta e área de jardim

FONTE: Waterfall (2002)

Fig. 22: Sistema simples: área de coleta, condutor horizontal (calha), condutor vertical e área de jardim

FONTE: Waterfall (2002)

Fig.23: Sistema simples: área de coleta, condutor horizontal (calha), condutor vertical e área de jardim c/ dreno

FONTE: Waterfall (2002)

Como podemos observar a construção do sistema é simples, apresentando área de coleta e condutores que operam por gravidade. A água é lançada diretamente no jardim contendo drenos para eliminar o excesso de água que poderá prejudicar o desenvolvimento sadio da planta. Para essa tecnologia, o *payback* do sistema é quase imediato.

O fator de maior relevância para o sucesso desse tipo de sistema é o cuidado que deve ser tomado ao escolher o tipo de planta que poderá ser cultivada no local. A água que é descartada da limpeza do telhado contém elevada concentração de nutrientes devido a materiais orgânicos que se acumulam nos telhados, como folhas, galhos e fezes de animais, e poderá ser utilizada como adubo para as plantas.

A coleta de água de chuva não pode prover a rega das plantas e jardins em todas as estações do ano, devido a períodos de seca. Para se obter o máximo proveito do sistema de coleta, a água de chuva poderá ser armazenada e utilizada em períodos entre uma chuva e outra. Na figura 24 observa-se o sistema complexo de rega de plantas e jardins.

Fig. 24: Sistema complexo: área de coleta, condutor horizontal (calha), condutor vertical, sistema de armazenamento (reservatório) e sistema de distribuição para rega do jardim

FONTE: Waterfall (2002)

Segundo Waterfall (2002), a construção desse sistema é mais elaborado se comparado com o anterior. Esse sistema difere-se por apresentar reservatório de acumulação e sistema de distribuição. O sistema de distribuição para rega de plantas e jardins pode ser feito através de mangueira de jardim, gotejamento ou ainda *sprinklers*.

Dependendo do volume que pode ser armazenado e a área disponível para o armazenamento da água de chuva pode-se fazer uso de uma bateria de reservatórios interligados. Na figura 25 observa-se o sistema de rega de jardim utilizando uma bateria de reservatórios interligados.

Fig. 25: Sistema complexo: área de coleta, condutor horizontal (calha), condutor vertical, sistema múltiplo de armazenamento e sistema de distribuição para rega do jardim

FONTE: Waterfall (2002)

O uso da água de chuva é benéfico também para a limpeza de vasos sanitários, uma vez que 35% do consumo total de água de uma residência, destina-se a fazer a limpeza do vaso sanitário. O princípio de funcionamento do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva para a limpeza de vasos sanitários é o mesmo utilizado na irrigação de jardins.

O fator de maior relevância para o sucesso desse tipo de sistema é o cuidado que se deve ter no processo de instalação do mesmo. Por motivos de contaminação, a água de chuva não pode estar misturada a água potável no mesmo sistema de distribuição, por isso são necessários dois sistemas separados. Outro fator que influencia o uso da água de chuva para limpeza de vasos sanitários é a necessidade de desinfecção da

água, pois podem ocorrer respingos de água e causar riscos a saúde de seus usuários.

O sistema de armazenamento da água de chuva para a limpeza de vasos sanitários pode estar enterrado, apoiado no nível do chão, havendo a necessidade de recalcar a água para os pontos de utilização, ou pode estar apoiado sobre a laje do edifício. Neste caso é preciso averiguar a disponibilidade de espaço físico e verificar a sobrecarga na estrutura.

3.7. Técnicas de descarte da água de limpeza do telhado

Para coletar água de chuva é necessário fazer uso de áreas impermeáveis. Para o consumo da água de chuva em edificações, é aconselhável que a área de coleta seja o telhado. Como a ele existe acesso pequenos animais como: pássaros, ratos, gatos, entre outros, é grande a probabilidade do telhado conter fezes desses animais ou até mesmo, animais mortos.

Além disso, poeira, galhos e folhas de árvores são trazidos pelo vento. Por isso, é recomendável o descarte da porção inicial da água que faz a limpeza do(s) telhado(s), sobretudo após longo período de estiagem.

Serão apresentadas a seguir algumas técnicas utilizadas para o descarte da água de limpeza do telhado. Técnicas essas que podem ser manuais ou automáticas.

3.7.1. Tonel para descarte da água de limpeza do telhado

Segundo Dacach (1990), o funcionamento do tonel no sistema de coleta de água de chuva ocorre da seguinte maneira: a água do telhado passa pela calha e desce pelo condutor vertical chegando até um tonel com

capacidade de 50 litros. Dependendo da área de coleta, o tonel pode ser de maior volume, porém, deve ser provido de um pequeno orifício na parede inferior, com cerca de 0,5 cm de diâmetro.

No condutor vertical é conectado um ramal horizontal para alimentar o reservatório de água de chuva. Na figura 26, verifica-se o esquema do funcionamento do tonel para descarte da água de limpeza do telhado.

Fig. 26: Reservatório de água de chuva com tonel

FONTE: Dacach (1990)

Segundo Dacach (1990), ao iniciar a chuva, a água desce até o tonel, onde sai parcialmente pelo orifício. Por ser relativamente pequena a vazão do orifício, a água coletada vai subindo no tonel e, posteriormente, no trecho inferior do condutor até a conexão com o ramal horizontal. À medida que a vazão do orifício vai crescendo, pelo aumento de carga, até atingir seu valor máximo, a água começa a escoar para o reservatório de água de chuva pelo ramal horizontal.

A descarga do orifício só desaparece minutos após a cessação da chuva, com o total esvaziamento do tonel. A quantidade de água que é

descartada é maior que a capacidade do tonel. As chuvas de pequena intensidade não apresentam condições de aproveitamento, pois apenas atendem à vazão do orifício.

3.7.2. Reservatório de auto-limpeza com torneira bóia

Para o descarte da água de limpeza do telhado, pode-se fazer uso de um reservatório de auto-limpeza munido de uma bóia de nível. O volume do reservatório de auto-limpeza é calculado através da área de telhado e do volume de água necessário para fazer a limpeza do telhado.

Segundo Tomaz (1998), na Flórida, utilizam-se 40 litros para cada 100m² de telhado ou seja, o volume do reservatório de auto-limpeza deverá ter capacidade de 0,4 l/m². Dacach (1990), considera que o reservatório de auto-limpeza deva ter de 0,8 a 1,5 l/m² de telhado.

O funcionamento do sistema ocorre da seguinte maneira: a água de chuva passa pela calha, em seguida pelo condutor vertical, chegando ao reservatório de auto-limpeza situado sobre o reservatório de água de chuva. A entrada de água no reservatório de auto-limpeza é provida de uma bóia de nível.

Ao iniciar a chuva, o reservatório de auto-limpeza que está vazio recebe a água de chuva e o nível d'água sobe até atingir a posição-limite, implicando no fechamento automático da torneira bóia. Só, então, a água começa a escoar para o reservatório de água de chuva. Cessada a chuva, o registro de descarte da água do reservatório de auto-limpeza deve ser aberto para esvaziá-lo e retornar às condições de funcionamento. Na figura 27, é mostrado o esquema do reservatório de auto-limpeza com torneira bóia.

Fig. 27: Reservatório de auto-limpeza com torneira bóia

FONTE: Dacach L. N. (1990)

Segundo Tomaz (1998), o reservatório de auto-limpeza poderá apresentar grades removíveis para retirada de materiais que poderão entupir as tubulações de entrada e saída de água do reservatório. Poderá também ser utilizada uma grade ou dispositivo na saída da calha.

Em substituição aos dispositivos automáticos descritos anteriormente, pode-se utilizar registro de controle manual. Seu uso é restrito porque fica condicionado à presença de uma pessoa para manuseá-lo logo que a chuva iniciar.

3.7.3. Reservatório de água de chuva com filtro de areia

Segundo Garcez; Alvares (1988), o reservatório utilizado para armazenar a água de chuva, pode também filtrar a água através de um filtro de areia. O funcionamento do sistema ocorre da seguinte maneira: a entrada de água de chuva no reservatório é munida de um dispositivo para descarte de folhas e galhos provenientes do telhado.

Entre a entrada e a saída de água existe uma camada de areia e uma camada de pedregulho que serve como material filtrante. Passando pela areia e pelo pedregulho, a água é direcionada a um poço de sucção, onde é bombeada até um segundo reservatório que fará a alimentação do sistema de distribuição. O filtro de areia apresenta também um dispositivo de retrolavagem do sistema.

3.7.4. Dispositivos de descarte da água de limpeza do telhado

Segundo 3Ptechnik (2001), o funcionamento do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva utilizando um filtro VF1 (ver figura 28) ocorre da seguinte maneira: a água de chuva passa pelo condutor horizontal e desce pelo condutor vertical, passa pelo filtro VF1 onde ocorre a separação dos detritos como folhas e galhos.

A água que sai do filtro VF1 é lançada no reservatório de água de chuva que está munido de um amortecedor de ondas para evitar marolas e não agitar a sedimentação no fundo do reservatório.

O sistema é composto por um conjunto flutuante de sucção que faz com que sempre a água mais limpa seja bombeada para o reservatório que abastece o sistema de distribuição. A água localizada entre o fundo do reservatório e a superfície da água é considerada mais limpa. Na figura 28 observa-se o esquema de um filtro VF1.

Fig. 28: Filtro VF1 de água de chuva

FONTE: 3PTéchnik

Segundo 3Ptechnik (2001), o filtro VF1 funciona da seguinte maneira: a água de chuva, ao chegar no filtro entra nos vãos entre as ripas da cascata. As sujeiras mais grosseiras como folhas e galhos, passam por cima das ripas onde são direcionadas ao descarte. A água de chuva passa então por uma tela com malha de 0,26mm, abaixo das ripas, e direcionada ao reservatório de água de chuva.

Na Austrália é utilizado um dispositivo bastante simples para o descarte da água de limpeza do telhado. Segundo Marks (2001), o funcionamento desse dispositivo ocorre da seguinte maneira: a água de limpeza do telhado é direcionada ao dispositivo através do condutor vertical e armazenada em um pequeno reservatório.

Este reservatório contém um pequeno orifício na parte inferior para descarte da água de limpeza do telhado e fundo removível para limpeza. No instante em que o reservatório estiver cheio, a água começa a

escoar para o reservatório de água de chuva. O uso desse equipamento é aconselhável para pequenas áreas de coleta. A figura 29 mostra o esquema do dispositivo para descarte da água de limpeza do telhado utilizado na Austrália.

Fig. 29: Dispositivo de descarte da água de limpeza do telhado utilizado na Austrália

FONTE: <http://www.eng.newcastle.edu.au/~cegak/Coombes/RainwaterScales.htm>

3.8. Coeficiente de *Runoff*

Segundo Tomaz (2003), para efeito de cálculo, o volume de água de chuva que pode ser aproveitado não é o mesmo que o precipitado. Assim, são estimadas perdas que vão de 10% a 33% do volume precipitado. Coeficiente de *Runoff* é a perda de água por evaporação, vazamentos, lavagem do telhado, etc.

Utiliza-se a letra C para indicar o coeficiente de *Runoff*. Os coeficientes de *Runoff* adotados por Hofkes (1981); Frasier (1975) para telhas cerâmicas e telhas corrugadas de metal são os indicados na tabela 6:

TABELA 6: COEFICIENTE DE *RUNOFF* ADOTADO POR HOFKES (1975) E FRASIER (1975)

MATERIAL	COEFICIENTE DE <i>RUNOFF</i>
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas corrugadas de metal	0,7 a 0,9

FONTE: Hofkes (1981); Frasier (1975)

Segundo Tucson; Phoenix apud Waterfall (2002), os coeficientes de *Runoff* utilizados no Arizona para telhado, pavimentação, solo e gramado são os seguintes:

TABELA 7: COEFICIENTE DE *RUNOFF* UTILIZADO POR TUCSON E PHOENIX

MATERIAL	MÁXIMO	MÍNIMO
<i>Telhado:</i> metal, cascalho, asfalto, fibra de vidro	0.95	0.90
<i>Pavimentação:</i> concreto, asfalto	1.00	0.90
<i>Solo:</i> c/ vegetação	0.75	0.20
s/ vegetação	0.60	0.10
<i>Gramado:</i> c/ solo arenoso	0.10	0.05
c/ solo barrento	0.17	0.13

FONTE: Tucson; Phoenix apud Waterfall (2002)

Segundo Vaes; Berlamont (1999), a área de coleta é muito importante para o sistema de aproveitamento de água de chuva, porém, o coeficiente de *Runoff* da água de chuva é influenciado por muitos parâmetros locais, que são difíceis de avaliar. Primeiramente tem-se que avaliar a projeção horizontal da superfície de contribuição. Os telhados que são projetados no sentido dominante do vento podem coletar maior quantidade de chuva do que aqueles projetados no sentido oposto.

Conseqüentemente, um coeficiente de correção na área de contribuição pode ser atribuído em função da projeção e da inclinação do telhado. Na tabela 8 observa-se o coeficiente de *Runoff* considerado em

função da declividade e da projeção do telhado, conforme o utilizado na Bélgica.

TABELA 8: COEFICIENTE DE CONTRIBUIÇÃO REFERENTE À DECLIVIDADE E PROJEÇÃO DO TELHADO UTILIZADO NA BÉLGICA

DECLIVIDADE DO TELHADO	PROJEÇÃO DO TELHADO			
	NORDESTE	NOROESTE	SUDOESTE	SUDESTE
30°	0,75	1	1,25	1
35°	0,70	1	1,30	1
40°	0,64	1	1,36	1
45°	0,57	1	1,43	1
50°	0,48	1	1,52	1
≥55°	0,45	1	1,55	1

FONTE: Simons (1995) apud Vaes; Berlamont (1999)

Segundo Guanghai (2001), outro parâmetro local que apresenta grande influência no coeficiente de *Runoff* é o tipo de telhado onde a água será coletada. Se a superfície é impermeável o *Runoff* acontece imediatamente. Se a superfície é permeável, então o *Runoff* acontecerá após a saturação da superfície. Na tabela abaixo estão relacionados os coeficientes de *Runoff* de alguns tipos de telhados para a Bélgica.

TABELA 9: COEFICIENTE DE *RUNOFF* UTILIZADO NA BÉLGICA

TIPO DE TELHADO	COEFICIENTE DE <i>RUNOFF</i>
Cobertura plana com argila expandida	0.6
Cobertura plana com betume (carbolástico)	0.7 a 0.8
Telhado inclinado com telha cerâmica	0.75 a 0.9
Telhado inclinado com telha esmaltada	0.9 a 0.95
Telhado inclinado com betume (carbolástico)	0.8 a 0.95

FONTE: Van den Bossche (1997) apud Vaes; Berlamont (1999)

Segundo Khan (2001), os coeficientes de *Runoff* para áreas cobertas e não cobertas estão indicados na tabela 10:

TABELA 10: COEFICIENTE DE *RUNOFF* UTILIZADO POR KHAN PARA A ÍNDIA

MATERIAL	COEFICIENTE DE <i>RUNOFF</i>
Telhas cerâmicas	0,56
Chapas corrugadas	0,85
Plástico	0,94
Superfície pavimentada	0,68
Metálica	0,52
Telhados verdes	0,27

FONTE: Khan (2001)

Segundo Pacey apud Tomaz (2003), os coeficientes de *Runoff* utilizados em alguns países são os seguintes:

TABELA 11: COEFICIENTE DE *RUNOFF* UTILIZADO EM ALGUNS PAÍSES

LOCAIS	COEFICIENTE DE <i>RUNOFF</i>
Flórida	0,67
Alemanha	0,75
Austrália	0,80
Ilhas Virgens	0,85

FONTE: Pacey apud Tomaz (2003)

A verificação do coeficiente de *Runoff* para o Brasil será descrita no Capítulo 4 – Qualidade da água de chuva.

3.9. Estimativa da demanda residencial de água potável

Segundo Tomaz (2000), a água destinada para consumo humano pode ser classificada como potável e não potável. A água classificada como potável é utilizada para beber, preparação de alimentos e higiene pessoal. A água classificada como não-potável é utilizada para irrigação de jardins, lavagem de veículos e descarga de vasos sanitários.

Na tabela 12 são apresentados os parâmetros relativos a usos internos e externos de uma residência nos Estados Unidos.

TABELA 12: PARÂMETROS INTERNOS E EXTERNOS DE UMA RESIDÊNCIA NOS EUA

USO INTERNO
Uma pessoa utiliza o vaso sanitário de 4 a 6 vezes por dia
Um vaso sanitário consome cerca de 6 a 15 litros por descarga

USO EXTERNO
Na manutenção de uma piscina são consumidos de 2,5 litros/dia/m ² até 5,75 litros/dia/m ²
Lava-se o carro uma a duas vezes por semana, sendo gastos cerca de 150 litros em cada lavagem
No gramado ou na limpeza de calçadas ou cimentados, gastam-se cerca de 2 litros/dia/m ²

FONTE: Tomaz (1998)

3.9.1. Consumo residencial

Segundo Brow (1986); Caldwell (1986) apud Tomaz (2000), na estimativa de consumo interno em uma residência, o vaso sanitário é o aparelho que consome maior volume de água, ou seja, cerca de 35% do consumo total. O segundo equipamento que consome maior volume é a máquina de lavar roupas, que corresponde a 22% do consumo residencial. Na tabela 13 é apresentada a estimativa de consumo interno residencial nos EUA.

TABELA 13: ESTIMATIVA DE CONSUMO INTERNO RESIDENCIAL NOS EUA

CONSUMO INTERNO EM UMA RESIDÊNCIA	PORCENTAGEM DE CONSUMO EM UMA RESIDÊNCIA
Vaso Sanitário	35%
Lavagem de Roupa	22%
Chuveiros	18%
Torneiras	13%
Banhos	10%
Lavagem de Pratos	2%
TOTAL	100%

FONTE: Brow (1986); Caldwell (1986) apud Tomaz (2000)

Segundo Qasim (1994) apud Tomaz (2000), na Holanda, o vaso sanitário representa o maior consumo de água residencial, atingindo 41%

do consumo total. Na tabela 14 é apresentada a estimativa de consumo residencial para a Holanda.

TABELA 14: ESTIMATIVA DE CONSUMO RESIDENCIAL PARA A HOLANDA

CONSUMO DE ÁGUA NUMA RESIDÊNCIA	PORCENTAGEM DE CONSUMO EM UMA RESIDÊNCIA
Descarga do vaso sanitário	41%
Banho e lavagem de roupa	37%
Cozinha – água para beber e cozinhar	2 a 6%
Cozinha – lavagem de pratos	3 a 5%
Cozinha – Disposição de lixos	0 a 6%
Lavanderia	4%
Limpeza e arrumação geral na casa	3%
Rega de jardim com sprinkler	3%
Lavagem de carros	1%
TOTAL	100%

FONTE: Qasim (1994) apud Tomaz (2000)

Nas tabelas 15 e 16, são apresentadas as estimativas da demanda residencial de água potável para uso interno e externo nos EUA.

TABELA 15: ESTIMATIVAS DA DEMANDA RESIDENCIAL DE ÁGUA POTÁVEL PARA USO INTERNO NOS EUA

USO INTERNO	UNIDADES	FAIXA	
Gasto mensal	m ³ /pessoa/mês	3	5
Nº de pessoas na casa	m ³ /pessoa/mês	3	5
Descarga do vaso sanitário	Descarga/pessoa/dia	4	6
Volume de descarga	Litros/descarga	6,8	18
Vazamentos nas toilets	Porcentagem	0	30
Frequência de banho	Banho/pessoa/dia	0	1
Duração do banho	Minutos	5	15
Vazão nos chuveiros	Litros/segundo	0,08	0,30
Uso da banheira	Banho/pessoa/dia	0	0,2
Volume de água	Litros/banho	113	189
Máquina de lavar pratos	Carga/pessoa/dia	0,1	0,3
Volume de água	Litro/ciclo	18	70
Máquina de lavar roupa	Carga/pessoa/dia	0,2	0,37
Volume de água	Litros/ciclo	108	189
Torneira de cozinha	Minuto/pessoa/dia	0,5	4
Vazão da torneira	Litros/segundo	0,126	0,189
Torneira de banheiro	Minuto/pessoa/dia	0,5	4
Vazão da torneira	Litros/segundo	0,126	0,189

FONTE: Brow (1984); Caldwell (1984) apud Tomaz (2003)

TABELA 16: ESTIMATIVAS DE DEMANDA RESIDENCIAL DE ÁGUA POTÁVEL PARA USO EXTERNO NOS EUA

USO EXTERNO	UNIDADES	FAIXA
Casa com piscina	Porcentagem (%)	0,1
Gramado ou jardim	Litros/dia/m ²	2
Lavagem de carros	Litros/lavagem/carro	150
Lavagem de carro: frequência	Lavagem/mês	4
Mangueira de jardim 1/2" x 20m"	Litros/dia	50
Manutenção de piscina	Litros/dia/m ²	3
Perdas por evaporação em piscina	Litros/dia/m ²	5,75
Reenchimento de piscina	anos	10
Tamanho da casa	m ²	30 a 450
Tamanho do lote	m ²	125 a 750

FONTE: Brow (1984); Caldwell (1984) apud Tomaz (2003)

Segundo Vickers (2001), a estimativa de consumo de água para a torneira de jardim por tempo de rega é a seguinte:

TABELA 17: ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ÁGUA NA TORNEIRA DE JARDINS POR TEMPO DE REGA

DIÂMETRO DA MANGUEIRA	VOLUME EM LITROS DE ACORDO COM O TEMPO DE ESCOAMENTO DE UMA MANGUEIRA COM 15M DE COMPRIMENTO E PRESSÃO DE 28 M.C.A.			
	15 min.	30 min.	45 min.	60min.
1/2"	284	568	852	1134
5/8"	363	726	1089	1452
3/4"	499	998	1497	1996

FONTE: Vickers (2001)

4. PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA USUALMENTE AVALIADOS E METODOLOGIA DE PESQUISA

*“Por que atrai para si as gotas de água que de seu vapor
destilam em chuva, a qual as nuvens derramam e gotejam
sobre o homem abundantemente”*

Jó 36, 27- 28

4. PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA USUALMENTE AVALIADOS E METODOLOGIA DE PESQUISA

Para a verificação da qualidade da água de chuva, um sistema experimental de coleta e aproveitamento de água de chuva foi construído no CTCC – Centro de Técnicas de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. A instalação do sistema teve como objetivo coletar amostras de água de chuva para realização de análises físicas, químicas e bacteriológicas, e assim averiguar a necessidade e o tipo de tratamento para que a água de chuva possa ser utilizada para consumo não potável.

O sistema experimental de coleta de águas de chuvas é constituído pelos seguintes componentes:

- ✓ coletor automático de amostras sequenciais de água de chuva;
- ✓ sistema de descarte de folhas e galhos;
- ✓ medidor de vazão por pressão diferencial;
- ✓ armazenamento da água de chuva;
- ✓ recalque da água de chuva e pontos de alimentação.

4.1. Poluição atmosférica

Segundo Thomas (2001a), considera-se poluição, a alteração das propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente (ar, água e solo), causada por qualquer forma de energia ou por qualquer substância sólida, líquida, gasosa ou combinação de elementos despejados no meio ambiente em níveis capazes de, direta ou indiretamente:

- ✓ ser prejudicial à saúde, à segurança e ao bem estar das populações;
- ✓ criar condições inadequadas para fins domésticos, agropecuários, industriais e outros, prejudicando assim as atividades sociais ou econômicas;

- ✓ ocasionar danos relevantes à fauna, à flora e a outros recursos naturais.

Fornaro (1991) descreve que as fontes emissoras de poluentes podem ser naturais ou antropogênicas. As fontes de poluição do ar são classificadas como fontes estacionárias (indústrias em geral, vulcões, etc.) e fontes móveis (veículos, aviões, etc.). Alguns dos principais poluentes originados desses emissores são: material particulado, monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrocarbonetos, aldeídos, óxidos de nitrogênio (NO e NO₂) e de enxofre (SO₂ e SO₃), O₃, H₂O₂, ácidos orgânicos, traços de metais, etc.

Na atmosfera pode estar presente uma grande variedade de poluentes, a saber:

- ✓ poluentes primários: são poluentes emitidos diretamente pelas fontes de emissão. Os principais poluentes desta categoria são: partículas finas, partículas grosseiras, compostos de nitrogênio, óxidos de carbono, compostos de enxofre, compostos halogenados e compostos orgânicos;
- ✓ poluentes secundários: são poluentes formados na atmosfera através de reação química entre poluentes primários e constituintes naturais da atmosfera. Ex: oxidantes, névoas ácidas, etc.

Algumas das principais fontes de poluentes atmosféricas são:

- ✓ combustão: carvão, gás natural, gasolina, óleos combustíveis, etc;
- ✓ processo industrial: fundições, refinarias de petróleo, fábrica de ácido sulfúrico, fertilizantes, papel, etc;
- ✓ queimadas: florestas, plantações;
- ✓ dejetos estocados a céu aberto;

- ✓ sal marinho;
- ✓ erupção vulcânica; suspensão de material particulado do solo;
- ✓ reações químicas na atmosfera.

Segundo Moreira-Nordemann (1994), o efeito da poluição afeta a saúde humana através da ingestão de águas contaminadas ou pela absorção de alimentos cultivados em solos poluídos. No entanto, os seres vivos podem ser diretamente afetados pelo efeito da poluição, a saber:

- ✓ o dióxido de enxofre é muito solúvel no trato respiratório;
- ✓ o dióxido de nitrogênio afeta principalmente os pulmões;
- ✓ o ozônio e o excesso de poeira em suspensão no ar ou excesso de aerossóis igualmente causam doenças respiratórias sendo que estes últimos acarretam problemas de visibilidade.

O autor descreve ainda que sulfato e nitrato são íons indicadores de poluição. Fábricas, veículos, usinas térmicas são as grandes fontes artificiais de óxidos de enxofre e nitrogênio na atmosfera. Infelizmente, no Brasil, pesquisas sobre emissões de compostos de qualquer tipo são restritas. Na tabela 18 são apresentados dados de precipitação úmida anual de alguns íons para diferentes regiões do Brasil.

TABELA 18: PRECIPITAÇÃO ÚMIDA ANUAL DE ALGUNS ÍONS PARA DIFERENTES REGIÕES DO BRASIL em mg/m³

LOCALIDADE	CÁLCIO mg/m ³	MAGNÉSIO mg/m ³	SULFATO mg/m ³	NITRATO mg/m ³	ANO	REFERÊNCIAS
São José dos Campos	250	75	2289	1226	1990 a 1992	Moreira-Nordemann et al, 1994
São Paulo	1150	331	3314	2680	1983 a 1985	Forti et al, 1990
Cubatão	3660	1370	8630	2660	1984 a 1985	Moreira-Nordemann et al, 1985
Caraguatatuba	368	201	1670	800	1988 a 1989	Moreira-Nordemann et al, 1994
Natal	149	149	350	70	1988 a 1989	Moreira-Nordemann et al, 1994

FONTE: Moreira-Nordemann (1994)

Observa-se, nos dados da tabela 18 que a proximidade do oceano influencia no alto teor de magnésio das águas de chuva de Natal. Porém, em São Paulo e Cubatão o magnésio apresenta excesso de concentração em decorrência de atividades antrópicas, o mesmo acontece com o Cálcio em todas as cidades, excetuando-se Natal.

4.2. Poluição da água

A água poluída apresenta alterações nas suas características que a torna inadequada para o consumo. Dificilmente encontra-se água na natureza em estado absoluto de pureza, por apresentar gases, sais e sólidos dissolvidos em sua composição. Segundo Fornaro 1999, os processos de poluição mais comuns da água são:

- ✓ contaminação: introdução de elementos nocivos à saúde do homem e à vida aquática;
- ✓ assoreamento: acúmulo de substâncias minerais ou orgânicas em um corpo d'água provocando a redução da profundidade e do volume útil;
- ✓ eutrofização: fertilização excessiva da água devido à introdução de nutrientes (nitrogênio e fósforo), causando o crescimento descontrolado de algas e plantas aquáticas;
- ✓ acidificação: diminuição do pH devido à chuva ácida ou pelo processo de degradação de matéria orgânica.

Jordão; Pessoa (1995) descrevem que as principais fontes de poluição de água superficial são:

- ✓ esgotos pluviais e escoamento urbano: poluição oriunda da superfície de solos e de esgoto lançado nas galerias pluviais;
- ✓ esgotos industriais: poluição oriunda de fábricas que produzem papel, produtos químicos, têxteis, produtos alimentares, etc;
- ✓ esgotos domésticos;

- ✓ resíduos sólidos;
- ✓ agrotóxicos;
- ✓ fertilizantes;
- ✓ detergentes;
- ✓ precipitação de poluentes atmosféricos;
- ✓ alterações nas margens dos mananciais, provocando arraste de solo, como consequência da erosão.

Os autores descrevem ainda que as principais fontes de poluição de águas subterrâneas são:

- ✓ infiltração de esgoto através de sumidouros ou valas de infiltração;
- ✓ infiltração de esgotos depositados em lagos de estabilização ou em sistemas de tratamento que utilizam disposição de solo;
- ✓ infiltração de esgotos aplicados no solo em sistemas de infiltração;
- ✓ percolação do chorume de depósitos de lixo no solo;
- ✓ infiltração de agrotóxicos, fertilizantes, detergentes e poluentes atmosféricos depositados no solo;
- ✓ vazamentos de tubulações ou depósitos subterrâneos;
- ✓ injeção de esgoto no subsolo;
- ✓ intrusão de água salgada.

A poluição da água está associada às alterações provocadas no solo ou no ar. O arraste de poluentes do solo e a precipitação de impurezas do ar (deposição seca e úmida) constituem mecanismos de poluição da água. A concentração de poluentes existentes na atmosfera influencia também na caracterização da água de chuva, pois a chuva é o principal agente de limpeza da atmosfera.

A água de chuva ao atravessar a atmosfera, absorve as partículas ali existentes. Por isso, as características de impureza da chuva e da composição da atmosfera estão relacionadas com as atividades

predominantes da região. Segundo Tomaz (1998), próximo ao oceano, a água de chuva apresenta elementos como sódio, potássio, magnésio, cloro e cálcio em concentrações proporcionais às encontradas na água do mar.

Villiers (2002) explica que, quando as gotas de chuva atingem a superfície do oceano, elas lançam pequenas bolhas. Assim que essas bolhas arrebentam, finos “aerossóis marinhos” são lançados no ar. Estes aerossóis evaporam, e os sais são levados para longe sob a forma de partículas até a atmosfera.

Estas partículas normalmente transformam-se em chuva, embora na ausência de umidade elas podem cair na Terra de qualquer forma. Assim, 35% do sódio, 55% do cloro, 15% do potássio e 37% do sulfato das águas dos rios podem vir do oceano via aerossóis.

Segundo Tomaz (1998), distante da costa, os elementos presentes na água de chuva são de origem terrestre, a saber: partículas de solo, alumínio, ferro, nitrogênio, fósforo e enxofre. Em áreas de centros urbanos e pólos industriais, encontram-se alterações nas concentrações naturais da água da chuva devido a poluentes do ar, como o dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio, chumbo, zinco e outros.

4.2.1. Deposição seca e deposição úmida

A remoção de produtos das reações atmosféricas envolvendo compostos de enxofre e nitrogênio ocorre através dos seguintes processos:

- ✓ deposição seca;
- ✓ deposição úmida.

4.2.1.1. Deposição seca

Segundo Fornaro (1991), deposição seca corresponde à sedimentação gravitacional e à interceptação do material particulado ou absorção de gases por superfícies como solo, água e vegetação. Este processo tende a predominar em relação à deposição úmida nas proximidades das fontes poluidoras, especialmente em regiões secas.

Twort et al, (1974) descrevem que as principais espécies gasosas depositadas são: SO_2 , no caso do enxofre, NO_2 , HNO_3 e nitrato de peroxiacetila. A velocidade e extensão da deposição de gases dependem da espécie química, das condições meteorológicas e do ambiente receptor.

4.2.1.2. Deposição úmida

A deposição úmida é caracterizada por dois processos designados por “*rainout*” e “*washout*”, a saber:

✓ ***Rainout***

Segundo Fornaro (1991), no *rainout* ocorre a remoção de gases e partículas por gotas de água nas nuvens.

✓ ***Washout***

No *washout* os gases e partículas químicas são removidos da atmosfera por arraste através das gotas de chuva. Segundo Fornaro (1991), a eficiência da remoção de SO_2 depende da intensidade da chuva, do tamanho das gotas, do pH da chuva e da concentração de SO_2 no ar.

Partículas de aerossol com 2 μm são removidas com aproximadamente o dobro da eficiência que partículas de 1 μm , tanto por

gotas de chuva grandes como pequenas. Segundo Charlson et al (1985), a contribuição média do *washout* em processos de remoção de sulfatos da atmosfera em regiões industriais, marítimas ou continentais é pequena.

É importante salientar que fatores meteorológicos como ventos, temperatura, umidade relativa, intensidade de radiação solar, percurso das nuvens, altitude das nuvens, intensidade da chuva e, tamanho das gotas são muito importantes nos processos de transformação, dispersão e remoção de poluentes atmosféricos.

4.3. Chuva ácida

Segundo Monticeli et al (1993), a reação de certos gases na atmosfera, como dióxido de carbono, dióxido de enxofre e óxidos de nitrogênio, com a chuva, formam ácidos que diminuem o pH da água de chuva. Cowling (1992) descreve que nas últimas décadas tem-se observado um aumento de acidez da água de chuva, associada, predominantemente, à presença de:

- ✓ ácidos fortes: sulfúrico e nítrico;
- ✓ ácidos fracos (orgânicos): acético e fórmico.

Um valor de pH em torno de 5,0 pode ocorrer em regiões não poluídas, variando consideravelmente em função da eficiência da “limpeza” da atmosfera pela água de chuva, bem como condições geográficas do local.

Segundo Twort et al, (1974), alguns exemplos dos efeitos da chuva ácida são:

- ✓ os efeitos diretos à saúde ocorrem devido ao aumento dos níveis de poluentes durante períodos de inversão térmica, ocorrendo estagnação de massas de ar altamente poluídas e produção

fotoquímica de oxidantes como nitratos de peroxiacila, O_3 , SO_2 , SO_3 e NO_x . Essas espécies químicas atacam as camadas sensíveis de células expostas ao ar, como a conjuntiva ocular e especialmente o revestimento epitelial dos alvéolos pulmonares, gerando deficiência das funções pulmonares. Em áreas poluídas, observa-se aumento dos casos de asma, bronquite, pneumonias, gripes e resfriados na população, principalmente crianças e idosos.

- ✓ os efeitos indiretos à saúde referem-se à capacidade de a chuva ácida dissolver metais tóxicos, como alumínio, cobre, chumbo e mercúrio a partir de solos e rochas, chegando até sistemas de distribuição de água para beber.
- ✓ nas florestas, observa-se aspecto amarelado e queda de folhas e brotos das árvores, com redução ou desaparecimento das copas, até que as árvores morram. As árvores que aparentemente não sofrem danos, freqüentemente diminuem seu crescimento e sua produtividade. A liberação de alumínio no solo, facilita a destruição das pequenas raízes das árvores pela ação de bactérias. Assim as árvores perdem a vitalidade, tornando-se vulneráveis às doenças e tempestades.
- ✓ culturas agrícolas e florestas, também sofrem danos com a chuva ácida. Estes danos podem ser: aumento na lixiviação de elementos químicos como K, Ca, Na e Mg das folhas, erosão da cutícula foliar, necrose das folhas, decréscimo da taxa respiratória e fotossintética, decréscimo na produção, etc.
- ✓ as águas superficiais naturais em geral têm pH variando entre 6,0 e 8,0 e as chuvas ácidas causam o abaixamento do pH de lagos para valores até menores que 4,0. Estudos relativamente recentes

mostram, que lagos com baixo pH exercem impacto negativo sobre espécies sensíveis de peixes, como salmão e truta.

- ✓ a acidificação do solo irá acelerar a substituição e lixiviação de cátions fundamentais, como cálcio, magnésio, sódio e potássio, com conseqüente aumento da solubilização do alumínio, manganês, ferro, zinco, cobre, silício, flúor e metais pesados.

4.3.1. Caracterização do pH da água de chuva para a cidade de São Paulo

Segundo Fornaro (1991), na cidade de São Paulo, foram realizadas análises da água de chuva para determinar a acidez livre e a acidez total no período: novembro de 1983 a fevereiro de 1985. O valor médio do pH das chuvas para o período foi de 4,5.

Em outro estudo realizado por Fornaro (1991), no início de novembro de 1988, com duração de 20 meses, a chuva de São Paulo coletada no campus da Universidade de São Paulo teve como pH médio anual ponderado por volume o valor de 4,6.

Tarifa; Castro (1991) descrevem que a acidez da água de chuva em São Paulo foi avaliada entre o outono e o inverno de 1984 e a primavera e o verão de 1990, através de 448 amostras. A medida do pH de 404 amostras indicou o caráter predominantemente ácido das chuvas, com valor médio de 4,74, variando entre os extremos de 3,50 e 7,20. No gráfico da figura 30 verificam-se os valores de pH para a cidade de São Paulo entre 1984 a 1990.

Fig. 30: Variação dos níveis de acidez pelo número de ocorrências de pH das 448 amostras de água de chuva coletadas na cidade de São Paulo entre 1984 e 1990.

FONTE: Tarifa; Castro, (1991)

Segundo Sobral (1996), análises de água de chuva realizadas na cidade de São Paulo no período de 1984 a 1990 apresentaram como parâmetros de pH os valores entre 4,2 e 4,5. Na tabela 19 verificam-se os índices de pH para algumas regiões próximas a Cubatão e em São Paulo.

TABELA 19 – CARACTERIZAÇÃO DO pH DA ÁGUA DE CHUVA PARA CUBATÃO , VILA PARISI, SANTOS, RIO DAS PEDRAS E SÃO PAULO.

VALORES DE pH		
LOCAL	MÁXIMO	MÍNIMO
Cubatão (Centro)	4,7	3,7
Vila Parisi	6,8	4,4
Santos	6,25	4,63
Rio das Pedras	4,45	4,45
São Paulo	6,3	2,7

FONTE: Forti et al, (1990).

Paiva et al, (1994) coletaram amostras de água de chuva no período de setembro de 1993 a maio de 1994 no Instituto Geográfico e Astronômico da Universidade de São Paulo. Os resultados obtidos verificam-se na tabela 20.

TABELA 20: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DE CHUVA PARA SÃO PAULO NO PERÍODO DE SETEMBRO DE 1993 A MAIO DE 1994.

	MÉDIA ARITMÉTICA E DESVIO PADRÃO	MÉDIA PONDERADA PELO VOLUME
pH	4.54(±0.50)	4.47
Na ⁺	11.47(±13.48)	10.45
NH ₄ ⁺	34.85(±78.70)	26.13
K ⁺	10.74(±14.19)	8.51
Mg ²⁺	6.75(±10.00)	4.83
Ca ²⁺	22.44(±54.23)	12.06
F ⁻	3.65(±4.68)	2.44
CL ⁻	21.85(±47.40)	17.07
NO ₃ ⁻	28.37(±16.67)	26.14
SO ₄ ²⁻	38.73(±21.32)	34.59

FONTE: Paiva et al, (1994)

Segundo Rocha et al (1998), análises físico-químicas da água de chuva foram realizadas na cidade de São Paulo, para o período de abril de 1997 a março de 1998. Os resultados dos valores máximos, mínimos, mediana, média aritmética, desvio padrão e média ponderada pelo volume verificam-se na tabela 21. As unidades das concentrações estão em $\mu\text{mol L}^{-1}$.

TABELA 21: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DE CHUVA PARA A CIDADE DE SÃO PAULO NO PERÍODO DE ABRIL DE 1997 A MARÇO DE 1998.

	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIANA	MÉDIA ARITMÉTICA E DESVIO PADRÃO	MÉDIA PONDERADA PELO VOLUME
NH ₄ ⁺	2.4	178	28	36(±41)	28
K ⁺	<DL	51	3.5	7.8(±12)	5.8
Ca ²⁺	2.5	73	22	25(±17)	23
Na ⁺	<DL	91	6.1	12(±19)	12
CL ⁻	14	84	25	32(±17)	29
NO ₃ ⁻	7.5	106	20	27(±21)	22
SO ₄ ²⁻	8.0	81	15	21(±15)	17
HCO ₃ ⁻	0.2	33	2.4	5.0(±8.2)	6.0
H ⁺	0.23	46	6.9	7.1(±8)	7.0
pH	6.6	4.4	5.1	5.2	5.1
Condutividade	3.2	55	13	14(±7)	12

<DL = abaixo do limite de detecção.

FONTE: Rocha et al (1998)

Segundo Fornaro; Gutz (2000), no período de fevereiro a outubro de 2000 foram coletadas amostras de água de chuva no Instituto de

Química da Universidade de São Paulo. A média aritmética, o desvio padrão e a média ponderada pelo volume encontram-se na tabela abaixo.

TABELA 22: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA ÁGUA DE CHUVA PARA A CIDADE DE SÃO PAULO NO PERÍODO DE FEVEREIRO A OUTUBRO DE 2000.

	<i>MÉDIA ARITMÉTICA E DESVIO PADRÃO</i>	<i>MÉDIA PONDERADA PELO VOLUME</i>
pH	4.75	4.77
H ⁺	17.7(22.4)	16.9
CL ⁻	6.5(10.7)	5.1
NO ₃ ⁻	22.2(21.1)	15.6
SO ₄ ²⁻	16.0(23.7)	9.5
For ⁻	21.2(20.0)	17.1
Ac ⁻	10.3(8.3)	9.0
Na ⁺	7.5(21.4)	3.6
NH ₄ ⁺	46.8(52.1)	27.9
K ⁺	4.7(4.6)	3.7
Mg ²⁺	2.9(4.8)	1.7
Ca ²⁺	10.0(12.0)	5.5
Condutividade	16.4(15.1)	12.4

FONTE: Fornaro; Gutz (2000)

Observa-se nas tabelas 20, 21 e 22 que o pH da água de chuva apresentou-se ácido nas três situações. Já o nitrato, indicador de presença de despejos orgânicos recentes, esteve dentro dos padrões do CONAMA (1986), na resolução nº 20 de 18 de junho de 1986, artigo 4º e do Ministério da Saúde, portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000, artigo 16º.

Os parâmetros de sódio, cloretos e sulfatos, este último, quando presente na água, dependendo da concentração, apresenta propriedade laxativa, apresentaram valores aceitáveis aos padrões do CONAMA (1986) e do Ministério da Saúde (2000).

4.4. Análises físico-químicas e bacteriológicas

A qualidade da água é definida por sua composição física, química e bacteriológica. Para o consumo humano é necessário que a água seja potável, isto é, livre de matéria suspensa visível, cor, sabor e odor, de quaisquer organismos capazes de provocar enfermidades e de quaisquer substâncias orgânicas ou inorgânicas que possam produzir efeitos fisiológicos prejudiciais (MINISTÉRIO DA SAÚDE, PORTARIA Nº 1469).

Segundo Richter; Netto (2000), as principais características físicas analisadas da água são as que seguem: cor, turbidez, pH, sabor, odor, temperatura e condutividade elétrica. As principais características químicas da água são: pH, alcalinidade, dureza, ferro, magnésio, cloretos, sulfatos, sólidos totais, impurezas orgânicas, nitratos, oxigênio dissolvido, demanda de oxigênio, fenóis, detergentes e substâncias tóxicas. Já as características biológicas da água são coliformes fecais, coliformes totais, entre outros e são determinadas através de exames bacteriológicos e hidrobiológicos.

Segundo Pushpangadan; Sivanandan (2001), os parâmetros analisados de água de chuva para Kerala, na Índia são os descritos na tabela abaixo:

TABELA 23: PARÂMETROS ANALISADOS DE ÁGUA DE CHUVA PARA KERALA, NA ÍNDIA.

<i>PARÂMETROS: ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E BACTERIOLÓGICAS</i>			
Cor	pH	Ferro	Sólidos dissolvidos totais
Turbidez	Dureza	Sulfatos	Oxigênio dissolvido (OD)
Sabor	Cálcio	Nitratos	Residuais de cloro
Odor	Magnésio	Fluoretos	Coliformes fecais
Alcalinidade			

FONTE: Pushpangadan; Sivanandan (2001)

Neste estudo serão considerados os parâmetros analisados na Índia, tendo em vista alguns outros parâmetros que cabem ao destino

final da água que será utilizada para consumo não potável. Na tabela 24 constam os parâmetros analisados neste trabalho com o experimento de qualidade da água de chuva.

TABELA 24: PARÂMETROS ANALISADOS NO PROJETO: ESTUDO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA CONSUMO NÃO POTÁVEL EM EDIFICAÇÕES.

<i>PARÂMETROS: ANÁLISES FÍSICAS, QUÍMICAS E BACTERIOLÓGICAS</i>		
Cor	Cloretos	Oxigênio dissolvido(OD)
Turbidez	Sulfatos	Coliformes totais
Odor	Fluoretos	Coliformes fecais
Alcalinidade	Sólidos dissolvidos	Nitrato
PH	Sólidos dissolvidos fixos	Nitrito
Dureza	Sólidos dissolvidos totais	DBO _{5,20}
Cálcio	Sólidos em suspensão totais	<i>Clostrídio Sulfito Redutor</i>
Magnésio	Sólidos em suspensão voláteis	<i>Enterococos</i>
Ferro	Sólidos sedimentares	<i>Pseudomonas aeruginosas</i>
Manganês	Sólidos totais	

A seguir será apresentada a descrição e a importância da análise dos parâmetros relacionados anteriormente nas amostras de água obtidas no experimento de qualidade da água de chuva.

4.4.1. Análises físicas da água de chuva: parâmetros analisados

Cor: é determinada pela alteração na aparência da água através de substâncias dissolvidas ou em suspensão, dependendo da quantidade e da natureza do material presente. A cor pode ser facilmente removida da água por coagulação química. Sendo sensível ao pH, a sua remoção torna-se mais acessível em pH baixo, ou seja, em meio ácido.

A cor da água de chuva deverá apresentar aspecto cristalino. Segundo o CONAMA (1986), na resolução nº 20 de 18 de junho de 1986,

artigo 4º, as classificações das águas doces dividem-se em quatro categorias, a saber: classe 1, 2, 3 e 4. Para este trabalho serão consideradas águas de classe 2. As águas de classe 2 são destinadas:

- ✓ ao abastecimento doméstico após tratamento convencional;
- ✓ à proteção das comunidades aquáticas;
- ✓ à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho);
- ✓ à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas;
- ✓ à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana.

Segundo o CONAMA (1986), o parâmetro cor é de 75 uH (Unidade Hazen). Segundo Hespanhol (2003), na preparação de uma nova resolução do CONAMA para reúso de efluente, a cor na água será ≤ 10 UC (Unidade de Cor). O reúso do efluente será utilizado para:

- ✓ descarga de toaletes;
- ✓ irrigação de campos esportivos;
- ✓ irrigação de parques e jardins com acesso público irrestrito;
- ✓ lavagem de ruas e veículos;
- ✓ lavagem de agregados;
- ✓ construção civil em preparação de concreto, compactação do solo, controle de poeira, etc.

Segundo o Ministério da Saúde, portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000, artigo 16º, o valor máximo permitido para o parâmetro cor é de 15 uH.

Turbidez: é caracterizada pela presença de partículas suspensas na água podendo ser de tamanhos variados. A presença dessas partículas provoca a dispersão e a absorção da luz, dando à água uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa.

Segundo o Ministério da Saúde, portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000, artigo 16º, o valor máximo permitido para o parâmetro turbidez é de 5 UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez). Segundo o USEPA (1992) e Hespanhol (2003), para a água de reúso urbano a turbidez é ≤ 2 UNT. Na tabela 25 verificam-se os resultados de turbidez da primeira e segunda amostragem realizadas em 14 cisternas na comunidade de Volta do Riacho, Petrolina-PE.

TABELA 25– TURBIDEZ ENCONTRADA NAS AMOSTRAGENS DAS ÁGUAS DAS CISTERNAS DE VOLTA DO RIACHO, PETROLINA EM uT.

<i>CISTERNAS</i>	<i>1ª AMOSTRAGEM</i>	<i>2ª AMOSTRAGEM</i>	<i>CISTERNAS</i>	<i>1ª AMOSTRAGEM</i>	<i>2ª AMOSTRAGEM</i>
1	3,0	4,0	8	0,7	2,0
2	100	86	9	30	70
3	0,4	0,4	10	0,3	0,3
4	2,5	3,0	11	0,4	0,4
5	0,6	1,5	12	0,5	0,5
6	0,3	0,2	13	0,5	2,5
7	0,3	0,3	14	0,6	0,3

FONTE: Amorim (2001)

Podemos observar na tabela 25 que a maioria dos valores de turbidez nas cisternas são considerados baixos. Segundo Amorim (2001), foi detectada a presença de coliformes em todas as amostras de água de chuva coletadas da primeira e segunda amostragem, o que reflete a ausência de cloro e conseqüentemente a determinação da concentração de cloro residual.

O cloro deverá ser aplicado da forma mais homogênea possível, e a água só deverá ser consumida após 30 minutos, devendo-se repetir a operação sempre que o teor de cloro na água for menor que 0,5 mg/L. A desinfecção é um tratamento essencial e prioritário para qualquer água

que esteja ou possa vir a estar contaminada por microrganismos patogênicos.

Odor: é uma característica de difícil avaliação, por apresentar sensação subjetiva, causada por impurezas dissolvidas, freqüentemente de natureza orgânica, como fenóis e clorofenóis, resíduos industriais, gases dissolvidos etc. O tratamento por aeração pode ser eficaz em alguns casos. Em outros, pode ser necessária a utilização de carvão ativo para a adsorção dos compostos causadores de odor.

Para o Ministério da Saúde, portaria nº 1469, o parâmetro odor é estabelecido como virtualmente ausente, permitindo-se, porém, um leve odor de cloro proveniente da desinfecção. Segundo Hespanhol (2003), o odor não pode ser desagradável.

Sólidos dissolvidos e Sólidos em Suspensão: Segundo Jordão; Pessoa (1995), a matéria sólida em suspensão, isto é, sólidos em suspensão compõem a parte que é retida, quando um certo volume da amostra de efluente é filtrada através de um filtro apropriado. A fração que passa pelo filtro compõe a matéria sólida dissolvida, isto é, sólidos dissolvidos. Sua principal influência é na diminuição da transparência da água, impedindo a penetração da luz. Segundo Hespanhol (2003), sólidos em suspensão totais deverá ser $\leq 5 \text{ mg/L}$.

Sólidos Totais: Segundo Jordão; Pessoa (1995), a matéria sólida do efluente é definida como a matéria que permanece como resíduo após evaporação a 103°C. Se este resíduo é calcinado a 600°C, as substâncias orgânicas se volatilizam e as minerais permanecem em forma de cinza, compõem assim, representativamente, a matéria sólida volátil, isto é, sólidos voláteis e a matéria fixa, isto é, sólidos fixos.

4.4.2. Análises químicas da água de chuva: parâmetros analisados

pH: o pH é utilizado universalmente para expressar o caráter ácido ou alcalino de uma solução. O parâmetro pH mede a concentração do íon hidrogênio, podendo ser analisado colorimetricamente ou eletrometricamente. Com a análise do potencial hidrogeniônico da água é possível verificar a ocorrência de corrosividade quando o pH é baixo ou incrustações nas tubulações do sistema de distribuição com o pH alto.

Segundo o CONAMA (1986), na resolução nº 20 de 18 de junho de 1986, artigo 26º, o parâmetro pH pode variar entre 6 e 9,0. Segundo USEPA (1992) e Hespanhol (2003), o pH deverá estar entre 6-9. O Ministério da Saúde, portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000, artigo 16º recomenda que o pH da água esteja entre 6 e 9,5.

Alcalinidade: a alcalinidade representa a capacidade que um sistema aquoso tem de neutralizar ácidos a ele adicionados. Esta capacidade depende de alguns compostos, como: bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

Dureza, Cálcio e Magnésio: característica conferida à água pela presença de alguns íons metálicos principalmente cálcio (Ca^{++}) e magnésio (Mg^{++}) e, em menor grau os íons ferrosos (Fe^{++}) e do estrôncio (S^{++}). A dureza é reconhecida pela sua propriedade de impedir a formação de espuma no uso de sabão. Além disso, produz incrustações nos sistemas de água quente. Segundo Oliveira (1976), em geral, a água de chuva é “mole”, sendo ótima para ser utilizada em processos industriais.

Segundo Richter; Netto (1991), as águas podem ser classificadas em termos do grau de dureza em:

- ✓ moles – dureza inferior a 50 mg/l em CaCO_3 ;
- ✓ dureza moderada – dureza entre 50 a 150 mg/l em CaCO_3 ;
- ✓ duras – dureza entre 150 a 300 mg/l em CaCO_3 ;
- ✓ muito duras – dureza superior a 300 mg/l em CaCO_3 .

Segundo o Ministério da Saúde, portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000, artigo 16º, o valor máximo permitido para o parâmetro dureza é de 500 mg/L.

Ferro e Manganês: o ferro, muitas vezes associado ao manganês, confere à água um sabor amargo adstringente e coloração amarelada e turva, decorrente da precipitação do mesmo quando oxidado. O manganês é semelhante ao ferro, porém menos comum, e a sua coloração característica é marrom.

Segundo o CONAMA (1986), na resolução nº 20 de 18 de junho de 1986, artigo 26º e o Ministério da Saúde, portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000, artigo 16º, o valor máximo permitido para o parâmetro Ferro é de 0,3 mg/L e para o parâmetro Manganês é de 0,1 mg/L.

Cloretos e Sulfatos: o conjunto de sais normalmente dissolvidos na água, formados pelos bicarbonatos, cloretos, sulfatos e em menor concentração que outros sais, pode conferir à água sabor salino e propriedade laxativa. Variações do teor de cloretos em águas naturais deve ser investigada, pois é indicação de provável poluição.

O íon sulfato, quando presente na água, dependendo da concentração, apresenta propriedade laxativa e, associado a íons de cálcio

e magnésio, promove dureza permanente e pode ser um indicador de poluição de uma das fases da decomposição da matéria orgânica.

Segundo o CONAMA (1986), na resolução nº 20 de 18 de junho de 1986, artigo 26º e o Ministério da Saúde, portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000, artigo 16º, o valor máximo permitido para os parâmetros Cloretos e Sulfatos é de 250 mg/L.

Oxigênio Dissolvido (OD): a determinação do oxigênio dissolvido é de fundamental importância para avaliar as condições naturais da água e detectar impactos ambientais como eutrofização e poluição orgânica. Do ponto de vista ecológico, o oxigênio dissolvido é necessário para a respiração da maioria dos organismos que habitam o meio aquático.

Geralmente o oxigênio dissolvido reduz ou desaparece, quando a água recebe grandes quantidades de substâncias orgânicas biodegradáveis, por exemplo, esgoto doméstico, resíduo industrial, vinhoto e outros. Os resíduos orgânicos despejados nos corpos d'água são decompostos por microorganismos que utilizam o oxigênio na respiração. Assim, quanto maior a carga de matéria orgânica, maior o número de microorganismos decompositores e, conseqüentemente, maior o consumo de oxigênio.

Segundo o CONAMA (1986), na resolução nº 20 de 18 de junho de 1986, o parâmetro oxigênio dissolvido deve ser ≤ 5 mg/L.

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): a expressão Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), utilizada para expressar o valor da poluição produzida por matéria orgânica oxidável biologicamente. Corresponde à quantidade de oxigênio que é consumida pelos microorganismos do esgoto ou águas poluídas na oxidação biológica,

quando mantida a uma dada temperatura por um espaço de tempo convencionado.

Essa demanda pode ser suficientemente grande, para consumir todo o oxigênio dissolvido da água, o que condiciona a morte de todos os organismos aeróbios de respiração subaquática. Segundo USEPA (1992) e Hespanhol (2003), a demanda bioquímica de oxigênio deve ser ≤ 10 mg/L. CONAMA (1986), na resolução nº 20 de 18 de junho de 1986 considera que a demanda bioquímica de oxigênio deve ser ≤ 5 mg/L.

Nitrato e Nitrito: as águas naturais, em geral, contêm nitratos em solução e, principalmente águas que recebem esgotos, podem conter quantidades variáveis de compostos mais complexos, ou menos oxidados, tais como: compostos orgânicos, amônia e nitritos.

Em geral, a presença destes representa a existência de poluição recente, uma vez que essas substâncias são oxidadas rapidamente na água. Por essa razão, constituem um importante índice da presença de despejos orgânicos recentes. Segundo Hespanhol (2003), CONAMA (1986) e o Ministério da Saúde (2000), o parâmetro nitrato deve ser ≤ 10 mg/L e o parâmetro nitrito deve ser $\leq 1,0$ mg/L.

4.4.3. Análises bacteriológicas da água de chuva: parâmetros analisados

Coliformes Fecais: Segundo Expolabor (2002), coliformes fecais são bactérias pertencentes ao grupo dos coliformes totais. São caracterizadas pela presença de enzima β -galactosidade e pela capacidade de fermentar a lactose com produção de gás em 24 horas à temperatura de 44-45°C, em meios contendo sais biliares ou outros agentes tenso-ativos com propriedades inibidoras semelhantes.

Além de presentes em fezes humanas e de animais podem, também, podem ser encontradas em solos, plantas ou quaisquer efluentes contendo matéria orgânica. Segundo o USEPA (1992) e Hespanhol (2003), a presença de coliformes fecais não pode ser detectada.

Segundo Expolabor (2002), o método utilizado para verificar a presença de coliformes fecais baseia-se na filtração de volumes adequados de água, através de uma membrana filtrante com porosidade de 0,45 µm. Com a contagem das colônias permite-se calcular a densidade de bactérias presentes na amostra de água. A contagem dos coliformes fecais (colônia) serve para determinar:

- ✓ avaliação e controle da qualidade bacteriológica de águas minerais e potáveis de mesa, na origem, no processo e no produto de mesa;
- ✓ avaliação e controle de águas tratadas;
- ✓ avaliação e controle de qualidade de mananciais e corpos d'água;
- ✓ avaliação e controle das condições higiênicas de sistemas industriais.

Segundo Amorim (2001), foi analisada a qualidade bacteriológica da água de chuva de 14 cisternas da comunidade de Volta do Riacho localizada no município de Petrolina-PE. Os resultados obtidos indicaram contaminação de origem fecal em todas as cisternas e ausência de medidas de prevenção da contaminação.

Coliformes Totais: Segundo Expolabor (2002), o grupo dos coliformes totais inclui todas as bactérias na forma de bastonetes gram-negativos, não esporogênicos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24 a 48 horas a 35°C.

O índice de coliformes totais avalia as condições higiênicas, já o índice de coliformes fecais é empregado como indicador de contaminação

fecal, avaliando as condições higiênico-sanitárias deficientes, visto presumir-se que a população deste grupo é constituída de uma alta proporção de *E. Coli*. (*Escherichia coli*). Bactérias que pertencem ao grupo coliforme, têm como habitat o trato intestinal do homem e de outros animais.

Enterococos: Segundo Expolabor (2002), são bactérias do grupo dos estreptococos fecais, pertencentes ao gênero enterococcus, o qual se caracteriza pela alta tolerância às condições adversas de crescimento, tais como: capacidade de crescer na presença de 6,5% de cloreto de sódio, a pH 9,6 e nas temperaturas de 10° e 45°C. A maioria das espécies dos Enterococos é de origem fecal humana, embora possam ser encontrados em fezes de animais. Esse tipo de bactéria pode causar diarreia aguda e infecção urinária e intestinal.

Clostrídio Sulfito Redutor: Pertencente ao grupo de bactérias de *Clostridium Perfringens*, a análise desse tipo de bactéria tem sido usada como indicador bacteriológico de contaminação fecal, pois sua incidência no meio aquático está constantemente associada a dejetos humanos, sendo sua presença detectada em fezes, esgotos e águas poluídas. Essas bactérias apresentam elevado potencial patogênico, com morbidade elevada devido a várias toxinas e enzimas produzidas por este microorganismo. A presença dessas bactérias na água pode causar intoxicações alimentares, gastroenterites, gangrena gasosa (doença letal) e enterite necrosante.

Segundo Expolabor (2002), a análise de presença desse tipo de bactéria é importante nas seguintes situações:

- ✓ avaliação e controle da qualidade da água bacteriológica de águas minerais e potáveis de mesa, na origem e no processo envasado;
- ✓ avaliação e controle da qualidade de mananciais e corpos d'água;

- ✓ avaliação e controle de águas tratadas;
- ✓ avaliação e monitoramento das condições higiênicas de sistemas industriais;
- ✓ determinação de contaminação fecal remota.

Pseudomonas Aeruginosas: Segundo Expolabor (2002), esse tipo de bactéria assume importância em sua capacidade de formar limo na água. Em indivíduos com baixa resistência, como idosos e crianças esse tipo de bactéria quando ingerido pode causar infecções do trato intestinal e urinário.

A análise de presença desse tipo de bactéria é importante nas seguintes situações:

- ✓ avaliação e controle da qualidade da água bacteriológica de águas minerais e potáveis de mesa, na origem e no processo envasado;
- ✓ avaliação e controle de águas tratadas;
- ✓ avaliação e controle de qualidade de águas destinadas à recreação, principalmente em piscinas;
- ✓ avaliação e monitoramento das condições higiênicas de sistemas industriais;

4.5. Sistema experimental de coleta de água de chuva

O sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva foi instalado no edifício do Centro de Técnicas de Construção Civil – CTCC da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo com o objetivo de coletar e qualificar a água de chuva. Os motivos da instalação do sistema nesse edifício são:

- ✓ fácil acesso aos coletores verticais de água pluvial;
- ✓ condições satisfatórias do telhado, calhas e condutores;

- ✓ localização próxima à marginal do Rio Pinheiros, onde o tráfego automobilístico é bastante intenso;
- ✓ a região é densamente arborizada, com frequência de pequenos animais e pássaros;
- ✓ facilidade de acesso ao local do experimento para manutenção e manuseio dos equipamentos;
- ✓ uso da água de chuva nos vasos sanitários do edifício.

Para qualificar a água de chuva, as coletas das amostras de água de chuva foram realizadas em dois pontos de amostragem, a saber:

- ✓ coleta de água de chuva com área de captação, condutor horizontal, condutor vertical e coletor automático de água (ver Fig. 31), e;

Fig. 31: Sistema de coleta de amostras do primeiro ponto de amostragem com a utilização do coletor automático

- ✓ coleta de água de chuva com área de captação, condutor horizontal, condutor vertical, sistema de retirada de folhas e galhos e armazenamento em reservatórios de acumulação (ver Fig 32).

Fig. 32: Sistema de coleta de amostras do segundo ponto de amostragem com a utilização de reservatórios de água de chuva

As amostras coletadas do condutor vertical com a utilização do coletor automático foram efetuadas em uma área de telhado de 82 m². Nessa série de amostras, foram verificadas as características físicas, químicas e bacteriológicas da água de chuva que escoa pelo telhado, juntamente com o tempo necessário para efetuar a limpeza do telhado.

No segundo grupo de amostras, também efetuada em uma área de telhado de 82 m², fez-se uso de um filtro VF1 para retirada de folhas e galhos que eventualmente estivessem sobre o telhado.

Em seguida, a água foi armazenada em dois reservatórios de polietileno com volume de 500 litros. Os reservatórios de acumulação de água de chuva estavam ligados por dutos comunicantes. Foram efetuadas coletas de água de chuva dos reservatórios de acumulação para acompanhar a qualidade da água de chuva armazenada.

Na figura 33 observa-se o esquema do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva instalado no CTCC.

Fig. 33: Esquema do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva instalado no CTCC – Centro de Técnicas de Construção Civil

As instalações foram efetuadas com reservatórios inferiores e superior por motivos de espaço sobre a laje do edifício e melhor manuseio do sistema para a coleta de amostras. Em edificações que estejam em fase de projeto ou construção, o reservatório de acumulação de água de chuva pode estar localizado na edificação de tal forma que resultem menos gastos com tubulações, reservatórios, energia elétrica, entre outros.

Para evitar que a sedimentação do fundo dos reservatórios de acumulação se misture com a água, um amortecedor de ondas foi instalado na entrada de água do reservatório, minimizando ondulações na água.

O volume de água de chuva utilizada em substituição à água potável foi medido da seguinte maneira: uma bomba de recalque foi

utilizada para recalcar a água de chuva a um terceiro reservatório de polietileno de 500 litros, localizado sobre a laje do edifício.

Esse reservatório destinava-se a fazer a alimentação de duas válvulas de descarga do edifício. No trajeto entre a bomba de recalque e a entrada de água no reservatório superior, foi instalado um hidrômetro para fazer a leitura do consumo de água de chuva.

A alimentação do reservatório superior com água potável em tempos de estiagem foi realizada por uma derivação da alimentação predial, evitando-se interligações com o reservatório de água potável e eventualmente contaminações do mesmo.

O controle de entrada de água potável no reservatório de água de chuva foi efetuado através de uma válvula redutora de pressão, de uma válvula solenóide e uma bóia automática de nível. No trecho entre a entrada de água potável no reservatório de água de chuva e a válvula solenóide, foi instalado um hidrômetro para fazer a leitura do consumo de água potável no sistema (ver Fig.34).

Fig. 34: Controle da entrada de água potável no reservatório de água de chuva

O volume de água de chuva que poderia ser armazenado utilizando reservatórios com maior capacidade de armazenamento, foi

medido através de um transmissor de vazão com sensor capacitivo de nível de pressão diferencial acoplado a um registrador numérico totalizador (ver Fig 35).

Fig. 35: Medidor de vazão

O transmissor de vazão emitia sinais de medição a um totalizador que estava ligado a um computador onde os dados eram registrados.

Para a precisão de leitura do volume de água de chuva que poderia ser armazenado foi instalado um vertedouro tipo “V” acoplado ao transmissor de vazão. O vertedouro tipo “V” foi construído em acrílico e, para o cálculo de suas dimensões foram utilizadas as seguintes expressões:

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$\frac{b}{h} = \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$$

$$dQ = v dA = v 2b dh = v 2tg\left(\frac{\theta}{2}\right) h dh \quad \Rightarrow \quad dQ_r = \sqrt{2gh} \left(2tg\left(\frac{\theta}{2}\right) \right) h dh$$

$$Q = C \int_0^H \left[2tg\left(\frac{\theta}{2}\right) \right] \sqrt{2gh}^{3/2} dh \quad \Rightarrow \quad Q = \frac{2}{5} 2tg\left(\frac{\theta}{2}\right) \sqrt{2g} C_\varrho H^{5/2}$$

$$Q = C_\varrho \frac{4}{5} tg\left(\frac{\theta}{2}\right) \sqrt{2g} H^{5/2}$$

Dados:

$$C_Q = 0,62$$

$$I = 150 \text{ mm/h}$$

$$A = 80 \text{ m}^2$$

$$C = 1$$

$$Q_{proj.} = C_i A \quad \Rightarrow \quad Q_{proj.} = \frac{1 * 0,15 * 80}{3600} = 3,4 \text{ l / s}$$

Adoção $\theta = 60^\circ$

Então:

$$H = \left[\frac{0,0034}{0,62 \left(\frac{4}{5} \right) \sqrt{2 * 9,8066} tg \frac{\pi}{6}} \right]^{2/5}$$

$$H = 0,093 \text{ m} = 9,3 \text{ cm} \quad \longrightarrow \quad \text{adotou-se } H = 12 \text{ cm}$$

4.5.1. Coletor automático de água de chuva

Para evitar contaminação e erros humanos na coleta de amostras de água de chuva é aconselhável a utilização de um coletor automático. Segundo Fornaro (1991), a operação automática de coleta de amostras de água oferece as seguintes vantagens:

- ✓ pode ser utilizada com mais flexibilidade (dispensa a presença de pessoas por 24h no local da amostragem);
- ✓ elimina erros humanos;

- ✓ reduz a possibilidade de contaminação humana;
- ✓ evita a contaminação das amostras com o crescimento de algas e fungos, uma vez que a amostra é mantida a uma temperatura que varia de 5°C a 15°C.

As amostras de água de chuva obtidas após terem passado pelo telhado, condutor horizontal (calha) e condutor vertical foram coletadas através de um coletor automático de amostragem seqüencial (ver Fig 36).

Fig. 36: Coletor automático de amostragem seqüencial

A operação de coleta das amostras foi realizada em intervalos variados de 0 a 40 minutos durante um período que se estendeu de novembro de 2003 a março de 2004.

O coletor automático de amostras de água de chuva utilizado no experimento apresenta os seguintes componentes:

- ✓ peneira na saída do condutor para evitar entupimento das tubulações do coletor automático com folhas;
- ✓ abertura para limpeza do condutor e da peneira;
- ✓ sensor de presença de chuva para detectar o início do evento de precipitação;

- ✓ sensor de nível para detectar o limite de enchimento de cada recipiente;
- ✓ sistema *stand by* para descartar o excesso de água entre o enchimento de um recipiente e outro, no tempo determinado pelo operador do equipamento;
- ✓ liberdade de programação para o tempo de enchimento dos recipientes;
- ✓ liberdade de programação para verificação e confirmação do enchimento de todos os recipientes;
- ✓ se o equipamento estiver coletando amostras e ocorrer uma estiagem, o equipamento aguarda novamente o início da chuva para encher os recipientes restantes;
- ✓ programação do número de amostras a serem coletadas;
- ✓ programação do tempo de funcionamento do equipamento;
- ✓ sistema de alarme para avisar o enchimento do último recipiente;
- ✓ sistema de interrupção do funcionamento do equipamento, caso a porta interna de vidro do coletor seja aberta;
- ✓ sistema de auto-limpeza do equipamento, podendo ser acionado entre uma seqüência de coleta e outra;
- ✓ liberdade de programação do tempo de auto-limpeza do equipamento;
- ✓ display de data e hora no painel de controle;
- ✓ display de início de ciclo de coleta indicando “aguardando chuva”;
- ✓ display de término de ciclo de coleta indicando “ciclo completo”;
- ✓ sistema de refrigeração com termostato eletrônico permitindo que as amostras sejam controladas e mantidas a uma temperatura de 5 a 15°C, evitando assim proliferação de algas e fungos;
- ✓ senha de acesso à programação do coletor;
- ✓ memória de armazenamento de dados como data e hora do enchimento de cada recipiente;
- ✓ saída RS232 para armazenamento de dados em computador.

As amostras de água de chuva foram coletadas em frascos de polipropileno de alta densidade, previamente esterilizados em autoclave, a uma temperatura de 121°C. Foram coletadas 60 amostras de água com volume de 2 litros cada. As amostras coletadas foram analisadas num prazo máximo de 24 horas após a coleta.

Durante a manipulação do equipamento automático de coleta, todas as possibilidades de contaminação foram evitadas, pois qualquer contaminação adicional devido negligência na manipulação poderia facilmente levar a resultados errôneos. Ao preparar as amostras de água para serem levadas ao Instituto Adolfo Lutz, onde foram analisadas, alguns cuidados foram tomados, a saber:

- ✓ as mãos foram lavadas e enxugadas antes de manipular os recipientes;
- ✓ foram utilizadas luvas de látex devidamente esterilizadas para evitar contato direto com a amostra;
- ✓ foi evitado tocar no interior do gargalo do frasco coletor;
- ✓ todos os recipientes foram esterilizados em autoclave e utilizados antes do prazo limite de utilização que é de 30 dias;
- ✓ os recipientes foram mantidos fechados na ausência de precipitação para evitar deposição de material e outras impurezas de origem diversa em seu interior;
- ✓ entre uma seqüência de coleta e outra foi acionado o dispositivo de auto-limpeza do equipamento coletor;
- ✓ o tempo determinado para a auto-limpeza do equipamento foi $\geq$ a 3 minutos;
- ✓ as amostras foram mantidas refrigeradas a uma temperatura de 5°C;

- ✓ as amostras foram transportadas ao laboratório em uma caixa térmica devidamente higienizada, para manter a temperatura das amostras;

4.5.2. Amostragem seqüencial de água de chuva

Segundo Harrison (1995), a amostragem seqüencial dos eventos de chuva permite avaliar a variabilidade da composição química ao longo dos eventos de precipitação. Este processo é influenciado pela poluição atmosférica e pela contribuição relativa do “*rainout*” e “*washout*”.

A amostragem seqüencial permite o conhecimento de diferentes porções da chuva, como a fase inicial da coleta e a fase final da coleta. Serão consideradas para este estudo medidas seqüenciais de coleta águas de chuva. O intervalo entre um evento de amostragem e outro é no mínimo dois dias sem precipitação, para que ocorram novas sedimentações no telhado.

A qualidade da água, sujeita a inúmeros fatores, pode apresentar grande variação no decorrer do tempo, sendo portanto, necessário realizar uma série de coletas e análises em diferentes meses do ano. Para elaborar a coleta das amostras de água de chuva com objetivo de qualificar as mesmas, é preciso efetuar o planejamento e o controle das amostras coletadas. Foram considerados alguns critérios de planejamento e controle para evitar erros na seqüência de coletas de amostras de água de chuva, a saber:

- ✓ definição da metodologia de coleta;
- ✓ tipos de amostras;
- ✓ quantidade de amostras;
- ✓ pontos de amostragem;
- ✓ tempo de coleta de cada amostra;

- ✓ prevenção com relação à contaminação da amostra;
- ✓ transporte das amostras ao laboratório;
- ✓ equipamentos necessários para coletar as amostras;
- ✓ coletor de amostras automático;
- ✓ medições de volume efetuadas no local do experimento;
- ✓ parâmetros a serem analisados.
- ✓ verificação da necessidade de tratamento da água de chuva acumulada.

Para registrar as informações referentes às amostras coletadas foi efetuada uma ficha para cada coleta sequencial de amostragem. Essas fichas contêm as seguintes informações:

- ✓ coleta de amostras;
- ✓ estado, município, localidade e endereço do local de coleta;
- ✓ tipo de amostra;
- ✓ registro de ocorrência de chuva;
- ✓ data da coleta;
- ✓ horário de início da coleta;
- ✓ horário de término da coleta;
- ✓ tempo de coleta entre uma amostra e outra;

A ficha utilizada para registrar as amostras de água de chuva coletadas é a apresentada na tabela 26. Todos as fixas de registros de coleta de água de chuva que foram realizadas estão em Anexo 1.

TABELA 26 – FICHA DE REGISTRO DAS AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA

ESTUDO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA CONSUMO POTÁVEL EM EDIFICAÇÕES	
QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA	
Coleta de amostras:	
Estado:	
Município:	
Localidade:	
Endereço:	
Tipo de amostra:	

Registro de ocorrência de chuva:	
Data da coleta:	
Horário de início da coleta:	
Horário de término da coleta:	
Tempo de coleta entre uma amostra e outra:	

5. RESULTADOS OBTIDOS COM AS ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA

*“ Ó Deus perdoa este pobre coitado, que de joelhos rezou
um bocado, pedindo pra chuva cair sem parar ”*

Luiz Gonzaga

5. RESULTADOS OBTIDOS COM AS ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA

Neste capítulo é mostrado à média e o desvio padrão dos resultados obtidos com as análises físicas, químicas e bacteriológicas das amostras de água de chuva, para o período que se estendeu de novembro de 2003 a março de 2004. Os resultados de todas as análises são mostrados no Anexo 1.

Para o período de coleta indicado anteriormente, o volume de água de chuva que poderia ser coletado se a capacidade de armazenamento fosse maior foi de 21 m³, registrados após o descarte da água de chuva provocado pelo sistema de retirada de folhas e galhos.

O volume de água de chuva que foi utilizado neste período para alimentar os dois vasos sanitários do edifício foi de 17 m³. Já o volume de água potável utilizado para suprir a demanda em dias de estiagem foi de 18 m³.

Baseado nos resultados das análises das amostras de água de chuva é aconselhável o descarte dos primeiros 15 a 20 minutos de chuva para que seja feita a limpeza do telhado, devido à concentração elevada de poluentes depositados sobre o mesmo. Na tabela 27 estão descritos os resultados da média e do desvio padrão para as análises das amostras de água de chuva.

TABELA 27: MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM AS ANÁLISES DAS AMOSTRAS DE ÁGUA DE CHUVA

PARÂMETROS	MÉDIA E DESVIO PADRÃO										DIRETRIZ ¹
	Nº 1 ²	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV. 1	RESERV. 2	
Cor uH	98.7 (± 60)	59.3 (± 26)	52.8 (± 19)	43.7 (± 16)	41.0 (± 16)	40.8 (± 16)	37.8 (± 16)	45.7 (± 24)	25.2 (± 14)	20.8 (± 5)	CONAMA → 75 uH MS → 15 uH
Turbidez UNT	3.6 (± 2)	1.9 (± 1)	1.9 (± 1)	1.3 (± 1)	0.9 (± 0.2)	1.2 (± 0.5)	1.2 (± 1)	1.1 (± 0.4)	0.9 (± 1)	0.7 (± 0.3)	MS → 5 UNT USEPA → ≤ 2 UNT
Alcalinidade mg/L	35.3 (± 12)	33.0 (± 15)	30.0 (± 16)	27.0 (± 10)	30.3 (± 14)	31.7 (± 15)	30.0 (± 16)	27.7 (± 16)	19.6 (± 6)	18.0 (± 7)	SEM INDICAÇÃO
pH	7.1 (± 0.4)	7.1 (± 0.3)	7.0 (± 0.4)	6.9 (± 0.6)	6.9 (± 0.5)	6.9 (± 0.6)	6.9 (± 0.7)	6.9 (± 0.6)	6.7 (± 0.3)	6.7 (± 0.4)	CONAMA → 6,0 A 9,0 MS → 6,0 a 9,5 USEPA → 6,0 A 9,0
Condutividade µS/cm	88.6 (± 30)	60.8 (± 25)	57.9 (± 25)	54.2 (± 29)	57.5 (± 33)	61.8 (± 38)	59.6 (± 43)	66.9 (± 45)	26.6 (± 18)	24.8 (± 11)	SEM INDICAÇÃO
Dureza mg/L	55.7 (± 13)	38.0 (± 13)	39.0 (± 10)	37.3 (± 13)	34.0 (± 19)	37.7 (± 22)	37.0 (± 26)	36.7 (± 25)	21.6 (± 5)	17.6 (± 4)	MS → 500 mg/L
Cálcio mg/L	18.0 (± 6)	13.9 (± 6)	10.3 (± 5)	20.0 (± 22)	23.0 (± 23)	11.8 (± 8)	11.5 (± 9)	11.2 (± 9)	5.3 (± 2)	4.0 (± 2)	SEM INDICAÇÃO
Magnésio mg/L	1.6 (± 1)	1.2 (± 0.4)	1.0 (± 0.5)	0.9 (± 0.7)	0.8 (± 1)	1.1 (± 1)	1.0 (± 1)	1.0 (± 1)	0.5 (± 0.5)	0.4 (± 0.3)	SEM INDICAÇÃO
Ferro mg/L	0.4 (± 1)	0.4 (± 1)	0.05 (± 0.1)	0.1 (± 0.1)	0.04 (± 0.1)	0.05 (± 0.1)	0.04 (± 0.1)	0.03 (± 0.04)	0.1 (± 0.2)	0.02 (± 0.02)	CONAMA → 0,3 mg/L MS → 0,3 mg/L
Cloretos mg/L	10.5 (± 5)	7.8 (± 5)	8.3 (± 4)	8.0 (± 4)	10.7 (± 8)	8.0 (± 4)	8.9 (± 4)	7.8 (± 3)	13.0 (± 10)	11.4 (± 8)	CONAMA → 250 mg/L MS → 250 mg/L
Sulfatos mg/L	14.0 (± 7)	8.8 (± 6)	10.4 (± 6)	7.4 (± 6)	6.4 (± 6)	6.4 (± 6)	6.4 (± 6)	6.4 (± 6)	5.6 (± 7)	4.6 (± 6)	CONAMA → 250 mg/L MS → 250 mg/L

¹ Diretrizes:

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 20 de 18 de junho de 1986, artigo nº 4.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000, artigo 16°.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Manual: Guidelines for water reuse. (EPA/625/R-92/004).

² As colunas de indicação Nº 1, Nº 2, Nº 3, etc são referentes ao número de amostras de água de chuva coletadas no coletor automático nos tempos indicados em anexo 1. As colunas de indicação reserv. 1 e reserv. 2 são referentes às amostras coletadas nos reservatórios de acumulação.

PARÂMETROS	MÉDIA E DESVIO PADRÃO										DIRETRIZ
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV. 1	RESERV. 2	
Fluoretos mg/L	1.0 (± 0.02)	1.0 (± 0.02)	1.0 (± 0.02)	1.0 (± 0.03)	1.0 (± 0.04)	1.0 (± 0.03)	1.0 (± 0.02)	1.0 (± 0.03)	1.0 (± 0.03)	1.0 (± 0.03)	CONAMA → 1,4 mg/L MS → 1,5 mg/L
Sólidos totais mg/L	187 (± 100)	104 (± 49)	65 (± 21)	67 (± 34)	77 (± 44)	65 (± 49)	65 (± 47)	73 (± 55)	30 (± 28)	20 (± 12)	SEM INDICAÇÃO
Sólidos totais fixos mg/L	78 (± 65)	48 (± 42)	29 (± 16)	25 (± 18)	25 (± 23)	20 (± 21)	20 (± 19)	18 (± 21)	0	0	SEM INDICAÇÃO
Sólidos totais voláteis mg/L	108 (± 69)	47 (± 26)	35 (± 27)	42 (± 34)	53 (± 34)	45 (± 39)	45 (± 40)	55 (± 47)	30 (± 28)	20 (± 12)	SEM INDICAÇÃO
Sólidos suspensão totais mg/L	75 (± 65)	46 (± 46)	19 (± 11)	21 (± 16)	19 (± 17)	28 (± 33)	14 (± 12)	21 (± 24)	2 (± 2)	1 (± 1)	SEM INDICAÇÃO
Sólidos suspensão fixos mg/L	35 (± 41)	24 (± 34)	11 (± 6)	9 (± 8)	10 (± 12)	14 (± 19)	6 (± 9)	9 (± 14)	0	0	SEM INDICAÇÃO
Sólidos suspensão voláteis mg/L	39 (± 27)	22 (± 16)	9 (± 8)	12 (± 9)	9 (± 6)	14 (± 16)	8 (± 4)	12 (± 11)	2 (± 2)	1 (± 1)	SEM INDICAÇÃO
Sólidos dissolvidos totais mg/L	112 (± 45)	58 (± 29)	44 (± 19)	46 (± 31)	58 (± 41)	37 (± 38)	52 (± 51)	53 (± 51)	28 (± 28)	19 (± 13)	CONAMA → 500 mg/L MS → 1000 mg/L
Sólidos dissolvidos fixos mg/L	43 (± 33)	24 (± 17)	18 (± 15)	16 (± 14)	15 (± 16)	6 (± 5)	15 (± 14)	10 (± 10)	0	0	SEM INDICAÇÃO
Sólidos dissolvidos voláteis mg/L	65 (± 39)	34 (± 28)	27 (± 30)	30 (± 33)	44 (± 37)	31 (± 36)	38 (± 42)	43 (± 48)	28 (± 28)	19 (± 13)	SEM INDICAÇÃO
Oxigênio dissolvido (OD) mg/L	22,6 (± 15)	24 (± 14)	19 (± 11)	19,1 (± 12)	23,3 (± 15)	19,7 (± 15)	18,2 (± 11)	16,7 (± 13)	17,7 (± 14)	17,4 (± 14)	CONAMA → ≤ 5 mg/L
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)_{5.20} mg/L de O ₂	3,7 (± 2)	3,1 (± 2)	2,5 (± 1)	2,1 (± 1)	2,2 (± 1)	2,6 (± 1)	2,1 (± 1)	1,8 (± 1)	1,6 (± 1)	1,4 (± 1)	CONAMA → ≤ 5 mg/L USEPA → ≤ 10 mg/L
Nitrato mg/L	6,9 (± 7)	6,5 (± 4)	5,0 (± 3)	4,4 (± 3)	4,8 (± 4)	3,6 (± 3)	3,4 (± 3)	3,1 (± 3)	3,1 (± 2)	3,1 (± 2)	CONAMA → 10 mg/L MS → 10 mg/L
Nitrato mg/L	1,1 (± 1)	1,4 (± 2)	1,0 (± 1)	0,6 (± 1)	0,5 (± 0,4)	0,7 (± 1)	0,4 (± 0,5)	0,3 (± 0,3)	0,1 (± 0,1)	0,1 (± 0,1)	CONAMA → 1,0 mg/L MS → 1,0 mg/L

ESTUDO DA VIABILIDADE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA CONSUMO NÃO POTÁVEL EM EDIFICAÇÕES

Nas análises de água de chuva realizadas, o parâmetro odor apresentou-se ausente em todas as amostras. Já o parâmetro manganês foi encontrado em 10,3 % das amostras de água de chuva.

Nas análises bacteriológicas, a concentração de coliformes totais nas amostras foi bastante elevada. Foram encontrados coliformes totais em mais de 89% das amostras. Já a presença de coliformes fecais resultou positiva em 50% das amostras.

Bactérias do tipo Clostrídio Sulfito Redutor foram encontradas em mais de 91% das amostras. Bactérias do tipo enterococos foram encontradas em mais de 98% das amostras. Já bactérias do tipo *Pseudomonas aeruginosas* foram encontradas em poucas amostras coletadas, aproximadamente 17%.

Como podemos observar na tabela 27, a média e o desvio padrão dos parâmetros turbidez, odor, pH, dureza, ferro, manganês, cloretos, sulfatos, fluoretos e sólidos dissolvidos totais atendem aos padrões do CONAMA (1986) e do Ministério da saúde (2000).

A análise de pH das amostras de água de chuva após terem passado pelo telhado, no coletor automático e nos reservatórios de acumulação apresentaram variações de 5,8 a 7,6. Já a análise do pH da água de chuva sem ter passado pelo telhado apresentou média de 4,9, indicando maior acidez.

Para a verificação da variação do pH, foi adicionada a duas amostras de 20 ml de água destilada fuligem do telhado e fuligem sem ter contato com o telhado edifício. O pH da água destilada foi de 5,3, o pH da água com o acréscimo da fuligem sem ter passado pelo telhado foi de 5,7 e o pH da água com o acréscimo da fuligem do telhado foi de 6,4. Tudo

ESTUDO DA VIABILIDADE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA CONSUMO NÃO POTÁVEL EM EDIFICAÇÕES

indica que essa variação é causada pelos seguintes fatores: presença elevada de limo e bactérias na água que passa pelo telhado e pela composição dos materiais da edificação.

Nos parâmetros bacteriológicos como coliformes fecais, clostrídio sulfito redutor e enterococos, a concentração de bactérias mostrou-se bastante elevada. A indicação de contaminação bacteriológica também pode ser observada no parâmetro $DBO_{5,20}$ que indicou valores baixos devido ao consumo de oxigênio pelas bactérias para decompor a matéria orgânica existente na água de chuva.

A presença de bactérias na água de chuva indica que essa água deve ser tratada antes de ser utilizada. A desinfecção da água de chuva pode ser realizada através de métodos simples, desde que esse processo seja feito de forma segura e que não inviabilize economicamente o sistema.

Para analisar a viabilidade econômica da utilização de um sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva é necessário conhecer alguns fatores que influenciam diretamente nos custos de implantação e operação do sistema, como manutenção. Um dos fatores é a qualidade da água de chuva pois, conhecendo-se a qualidade da mesma é possível adotar o tratamento adequado e saber o custo envolvido no processo.

6. PROGRAMA DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

*“ E caiu a chuva sobre a terra quarenta dias e quarenta
noites ”*

Gênesis 7, 12

6. PROGRAMA COMPUTACIONAL DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

O programa de análise econômica do sistema foi elaborado na linguagem C de programação, sendo dividido em três etapas, a saber: dimensionamento do volume do reservatório de água de chuva pelo método de *Rippl*, verificação do volume do reservatório obtido no cálculo anterior, e análise econômica do sistema. Serão apresentados inicialmente, a tela de abertura do programa e o dimensionamento do volume do reservatório de água de chuva.

A seguir, será apresentado o cálculo de verificação do volume do reservatório obtido pelo método de *Rippl*. Na verificação do volume do reservatório de água de chuva é possível calcular os dados referentes à necessidade de suprimento do sistema com água potável em períodos de estiagem, a ocorrência de *overflow* no sistema, a confiança e a eficiência do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva.

Por fim, será apresentada a análise econômica do sistema. Na análise econômica o empreendedor poderá optar pela implantação do sistema sem ou com financiamento, sendo possível calcular o fluxo de investimento / retorno, a taxa interna de retorno e o *payback* do sistema.

6.1. Tela inicial do programa de viabilidade econômica

Na tela de abertura do programa de viabilidade econômica indicada na tabela 28 é possível acessar as seguintes planilhas: dimensionamento do reservatório de água de chuva pelo método de *Rippl*, verificação do volume do reservatório de água de chuva, análise econômica do sistema sem financiamento, análise econômica do sistema com financiamento.

TABELA 28: TELA INICIAL DO PROGRAMA DE VIABILIDADE ECONÔMICA

ESTUDO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA CONSUMO NÃO POTÁVEL EM EDIFICAÇÕES	
1 – Dimensionamento do volume do reservatório pelo método de <i>Rippl</i>	
<div>Método Analítico</div>	
2 – Verificação do volume do reservatório de água de chuva	
<div>Método do balanço Hídrico</div>	
3 – Análise econômica do sistema	
<div>Cenário Referencial – sem financiamento</div>	<div>Cenário Referencial – com financiamento</div>

6.2. Dimensionamento do reservatório de água de chuva

✓ Método de *Rippl*

Um dos grandes problemas encontrados na implantação do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva é a determinação do volume do reservatório de acumulação. Existem vários métodos para calcular o volume do reservatório, como vimos no capítulo 3. Neste trabalho o reservatório de água de chuva será dimensionado através do método de *Rippl*.

Existem duas maneiras de verificar o volume do reservatório através do método de *Rippl*, a saber: método analítico e método gráfico. O programa de viabilidade econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva apresentará somente o método analítico. Foi adotado o Método de *Rippl* para o cálculo do volume do reservatório de água de chuva por apresentar a vantagem de ser flexível com relação aos dados de

entrada para o cálculo. Por exemplo, pode-se utilizar demanda constante ou demanda variável, chuva média mensal, chuva mensal ou chuva diária, bastando para isso verificar a disponibilidade de dados pluviométricos.

Os principais fatores que influenciam no dimensionamento do reservatório de água de chuva são:

- ✓ área do telhado;
- ✓ quantidade de água necessária para atender a demanda;
- ✓ definição do tipo de reservatório que será utilizado em termos de custos, recursos e métodos construtivos.

Serão apresentados a seguir, os dados de entrada e saída da planilha de dimensionamento do volume do reservatório de água de chuva. O desenvolvimento desta pesquisa será exemplificado através de um estudo de caso, apresentado no exame de qualificação, em apoio às premissas conceituais discutidas no presente trabalho.

6.2.1. Planilha de dimensionamento do volume do reservatório de água de chuva – Método Analítico

Segundo Tomaz (2003), para o dimensionamento do volume do reservatório de água de chuva serão necessários os seguintes dados de entrada: precipitação média mensal, demanda mensal constante ou variável, área de coleta e coeficiente de *Runoff*. Já os dados de saída do programa são: volume de chuva mensal, volume de chuva mensal acumulado, volume de chuva menos a demanda e volume do reservatório. A seguir serão descritos os dados de entrada e saída da planilha de dimensionamento do reservatório de água de chuva.

DADOS DE ENTRADA:

✓ **Chuva média mensal (mm):** para um cálculo mais preciso da precipitação média mensal é aconselhável à utilização dos seguintes dados: índices pluviométricos mensais dos últimos 10 anos ou mais e índices pluviométricos do local de instalação do sistema ou o mais próximo possível. No programa de viabilidade econômica do sistema será permitida somente a entrada de precipitação média mensal.

✓ **Demanda mensal (m³):** a demanda mensal refere-se ao volume de água potável que pode ser substituído por água de chuva, ou seja, o volume de água necessário para alimentar os pontos onde não há necessidade da utilização de água potável no intervalo de um mês. Em uma residência a água de chuva poderá ser utilizada para limpeza do vaso sanitário, lavagem de roupas, rega de jardim, lavagem de carro, lavagem de calçadas etc. Em indústrias, a água de chuva poderá ser utilizada para resfriamento em torres, ar-condicionado, limpeza da empresa, vasos sanitários etc.

✓ **Área de coleta (m²):** soma das áreas destinadas a coletar água de chuva.

✓ **Coefficiente de *Runoff*:** coeficiente referente à perda de água por evaporação, vazamentos, lavagem do telhado, etc.

DADOS DE SAÍDA:

✓ **Volume de chuva mensal (m³):** é o volume máximo de água de chuva que poderá ser coletado no intervalo de um mês. Segundo Tomaz (1998), o volume máximo de chuva mensal que poderá ser armazenado é calculado pela seguinte equação:

$$Q = P * A * C$$

Onde:

Q = Volume anual de água de chuva (m³)

P = Precipitação média mensal (mm)

A = Área de coleta (m²)

C = Coeficiente de *Runoff*

✓ **Volume acumulado (m³):** é a somatória do volume de chuva mensal nos meses de janeiro a dezembro.

✓ **Volume de chuva – demanda (m³):** é a diferença entre o volume de água de chuva disponível e o volume da demanda a ser atendida.

✓ **Volume do reservatório de água de chuva (m³):** é o volume adquirido na somatória da diferença negativa do volume de chuva e da demanda.

✓ **Número de dias que haverá suprimento com água de chuva:** é o número de dias em que o volume do reservatório sustenta a demanda do sistema sem utilizar água de outra fonte de alimentação em períodos de estiagem. Segundo Tomaz (1998), o número de dias de seca em que será suprido com água de chuva é calculado da seguinte maneira: volume do reservatório / volume da demanda.

Na tabela 29 verifica-se a planilha de dimensionamento do reservatório de água de chuva pelo Método de Rippl.

TABELA 29: DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE CHUVA PELO MÉTODO DE RIPPL³

MESES	CHUVA MÉDIA MENSAL	DEMANDA MENSAL	VOLUME ACUMULADO	ÁREA DE COLETA	COEFICIENTE DE RUNOFF	VOLUME DE CHUVA MENSAL	VOLUME ACUMULADO	VOLUME DE CHUVA - DEMANDA	VOLUME DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE CHUVA
	mm	m³	m³	m²		m³	m³	m³	m³
JANEIRO									
FEVEREIRO									
MARÇO									
ABRIL									
MAIO									
JUNHO									
JULHO									
AGOSTO									
SETEMBRO									
OUTUBRO									
NOVEMBRO									
DEZEMBRO									
TOTAL									

Número de dias que haverá suprimento com água de chuva: dias

³ As colunas que estão grifadas em amarelo são referentes aos dados de entrada do programa, as demais são referentes aos dados de saída do programa.

6.2.2. Dimensionamento do volume do reservatório de água de chuva - Método Gráfico

Segundo Tomaz (2003), no método do gráfico são utilizados os volumes de chuva acumulada de janeiro a dezembro, bem como a demanda acumulada de janeiro a dezembro. Para o volume acumulado os dados são representados por uma curva e para a demanda constante os dados são representados por uma reta, como demonstra do gráfico da figura abaixo.

Fig. 37: Cálculo do volume do reservatório de água de chuva - Método gráfico

No gráfico acima estão indicados, no eixo das abscissas, os meses de janeiro a dezembro. No eixo das ordenadas estão os volumes acumulados mensais de água de chuva. O volume acumulado da demanda mensal está representado pela reta. Para obter-se o volume do reservatório, traça-se paralelas pela curva acumulada do consumo tangenciando-a pelo ponto mais alto e pelo ponto mais baixo. A distância vertical entre as duas paralelas será o volume do reservatório.

6.3. Verificação do volume do reservatório de água de chuva

Segundo Chu et al. (1999), no aproveitamento de água de chuva o reservatório é o componente mais dispendioso do sistema. Sua capacidade de armazenamento influencia não somente o custo, mas também a capacidade de atendimento da demanda. Segundo Cheng (2000), é extremamente importante fazer a análise do volume de água de chuva a ser coletada, para que o custo final não inviabilize o uso do sistema. Na figura abaixo verifica-se o esquema de funcionamento de entradas e saídas de água do reservatório de acumulação.

Fig. 38: Balanço de entrada e saída de água de chuva no reservatório

FONTE: Cheng (2000)

6.3.1. Planilha de verificação do volume do reservatório de água de chuva

Segundo McMahon (1993) apud Tomaz (2003), na verificação do volume do reservatório são necessários os seguintes dados: precipitação média mensal, demanda mensal, área de coleta, coeficiente de *Runoff* e volume do reservatório obtido no cálculo anterior. Esses dados serão os dados de entrada do programa de viabilidade econômica. Já os dados de saída do programa são: volume de chuva mensal, volume no reservatório no T-1, volume no reservatório no T, *overflow* e suprimento de água de outra fonte de alimentação. A seguir serão descritos os dados de entrada e saída da planilha de verificação do volume do reservatório.

DADOS DE ENTRADA⁴:

Chuva média mensal (mm);

Demanda mensal (m³);

Área de coleta (m²);

Coeficiente de *Runoff*;

Volume do reservatório (m³): o volume do reservatório é obtido no cálculo anterior pelo método de Rippl. Pode-se também adotar um volume para o reservatório conforme necessidade de projeto e condições do local de instalação do sistema.

DADOS DE SAÍDA:

- ✓ **Volume de chuva mensal (m³);**
- ✓ **Volume no reservatório no início do mês⁵ (T – 1) (m³):** é o volume de água no reservatório no início de cada mês.

⁴ Os dados de entrada não descritos já foram citados anteriormente.

⁵ O primeiro mês é considerado zero, pois supõe-se que o reservatório está vazio.

✓ **Volume no reservatório no final do mês (T)(m³):** é o volume de água de chuva no reservatório no final do mês.

✓ **Overflow (m³):** relativo ao extravasamento de água do reservatório.

✓ **Suprimento (m³):** água que pode vir do abastecimento público, de caminhão-tanque ou de outra procedência, caso o volume de água de chuva no reservatório não tenha atendido a demanda.

✓ **Confiança do sistema (%):** Segundo McMahon (1993) apud Tomaz (2003), a confiança do sistema é determinado pela seguinte expressão:

$$Rf = (1 - Fr)$$

Onde: $Fr = \frac{Nr}{N}$

Rf = Confiança do sistema; (%)

Fr = Falha do sistema; (%)

Nr = Número de meses que o reservatório não atendeu a demanda;

N = Número total de meses.

✓ **Eficiência do sistema (%):** Segundo McMahon (1993) apud Tomaz (2003), a eficiência do sistema é determinada da seguinte maneira:

$$\text{Eficiência do sistema} = 100 \frac{\text{volume anual de chuva utilizada}}{\text{volume anual de chuva}}$$

Na tabela 30 consta a planilha de avaliação do volume do reservatório de água de chuva.

TABELA 30: VERIFICAÇÃO DO VOLUME DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE CHUVA⁶

MESES	CHUVA MÉDIA MENSAL	DEMANDA MENSAL	ÁREA DE COLETA	COEFICIENTE DE RUNOFF	VOLUME DE CHUVA MENSAL	VOLUME DO RESERVATÓRIO	VOLUME DO RESERVATÓRIO T-1	VOLUME DO RESERVATÓRIO T	OVERFLOW	SUPRIMENTO
	mm	m³	m²		m³	m³	m³	m³	m³	m³
JANEIRO										
FEVEREIRO										
MARÇO										
ABRIL										
MAIO										
JUNHO										
JULHO										
AGOSTO										
SETEMBRO										
OUTUBRO										
NOVEMBRO										
DEZEMBRO										
TOTAL										

Número de meses que o reservatório não atendeu a demanda:

Confiança do sistema: %

Eficiência do sistema: %

⁶ As colunas que estão grifadas em amarelo são referentes aos dados de entrada do programa, as demais são referentes aos dados de saída do programa.

6.4. Análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva

Tradicionalmente, quando se usa a terminologia “análise de investimentos”, o que se pretende é estudar o comportamento do empreendimento naquilo que é próprio dele e que o fará mais ou menos atraente através da análise de indicadores de qualidade que somente a ele estarão presos, que são os econômicos. (ROCHA LIMA, 1993)

A análise econômica do sistema de aproveitamento de água de chuva será baseada em dois cenários: com financiamento e sem financiamento. Para ambos, os dados de entrada e saída estão relacionados abaixo.

6.4.1. Planilha de análise econômica do sistema sem financiamento

DADOS DE ENTRADA:

✓ **Prazo de implantação (ano):** é o período no qual se faz investimentos sem a contrapartida de retorno de caixa, mas com a consolidação do lastro (ROCHA LIMA, 1995). Foi considerado para o programa de viabilidade econômica do sistema de coleta de água de chuva o prazo de implantação de 1 ano.

✓ **Prazo de operação (anos):** é o horizonte no qual se pode identificar a possibilidade de que o empreendimento mantenha sua qualidade, no sentido de ser capaz de gerar renda nos padrões para os quais foi planejado (Rocha Lima, 1995). Foi considerado para o programa de

viabilidade econômica do sistema de coleta de água de chuva o prazo de operação de 20 anos

✓ **Início de implantação (ano):** é o ano em que ocorre o aporte de capital para a implantação do sistema, convencionado no programa como o 1º ano.

✓ **Início de operação (ano):** é o ano em que se inicia o ciclo de operação do sistema, podendo ser no 1º ano ou no 2º ano.

INDICADORES:

✓ **Índice de inflação geral (% aa):** é o índice de inflação que se arbitra para o horizonte do projeto e que indexa as planilhas, por traduzir a variação nos preços internos do sistema.

✓ **Índice setorial (% aa):** é o índice que reajusta as despesas com operação e manutenção do sistema, após o início de operação. A escolha é definida pelo usuário em função da cesta de preços que compõem o índice na região considerada, pela sua alta variabilidade.

DADOS DE ENTRADA:

✓ **Custeio com implantação (R\$ [0])⁷:** é o montante total do custo de implantação, considerando todas as movimentações com custeio na data do primeiro desembolso (1º mês do 1º ano), a uma taxa de desconto (custo de oportunidade) que reflete uma aplicação de alta liquidez e risco 'zero'.

⁷ (R\$[0]) = Valores em reais da data base da análise

✓ **Custeio com operação e manutenção (R\$ [0]):** são as despesas consolidadas no ciclo de operação, por ano, já considerando o efeito inflacionário no período de um ano.

✓ **Receita gerada pela economia de água (R\$ [0]):** é o benefício, em termos de valor, na redução do consumo de água potável (pela substituição pela água de chuva), por ano, no ciclo de operação.

DADOS DE SAÍDA:

✓ **Descolamento de custos com operação e manutenção (% aa, equivalente, efetivo, acima da inflação):** é a razão entre a variação do índice setorial e a variação do índice de inflação considerada, para ajuste dos custos (descolamento) na fase de operação do sistema. O descolamento de custos com operação e manutenção é obtido através da seguinte equação:

$$DC\% = \left[\left(\frac{1 + IS\%}{1 + IG\%} \right) - 1 \right] \times 100$$

Onde:

DC = Fator de descolamento de custos;

IS = Índice setorial;

IG = Índice geral.

✓ **Movimentação financeira (R\$ [0]):** resultado mensal de todas as movimentações financeiras com desencaixes de custeios/despesas e encaixes de receitas/liberações.

✓ **Fluxo acumulado (R\$ [0]):** é o resultado acumulado mês a mês das movimentações financeiras.

✓ **Investimento (R\$ [0]):** em função do critério adotado no custeio com implantação, o investimento é considerado no conceito de Investimento pronto (Ip), isto é, com todos os investimentos na data do primeiro desembolso (1º mês do 1º ano), a uma taxa de desconto (custo de oportunidade) que reflete uma aplicação de alta liquidez e risco ‘zero’.

✓ **Fluxo acumulado após investimento (R\$ [0]):** é o resultado acumulado mês a mês das movimentações financeiras, considerando o fluxo de investimento.

✓ **Retorno (R\$ [0]):** é o fluxo mensal de recursos livres do sistema, ou seja, aqueles recursos que não estão vinculados a nenhum despesa futura, no horizonte do projeto.

✓ **Fluxo investimento/retorno (R\$ [0]):** é o resultado mensal do fluxo de investimento e do fluxo de retorno, para suporte à formação da taxa interna de retorno.

✓ **Formação da taxa interna de retorno (% aa, equivalente, efetivo, acima da inflação):** a taxa interna de retorno mede a alavancagem de poder de compra oferecida pelo empreendimento ao empreendedor, considerados os fluxos de imobilização (investimento) e os de retomada de poder de compra (retorno), no prazo em que se dão os ganhos. (ROCHA LIMA, 1993). A taxa interna de retorno é calculada pela seguinte equação:

$$\sum_1^q \frac{i_K}{(1+tir)^{K-1}} = \sum_{q+1}^n \frac{r_K}{(1+tir)^{K-1}}$$

$$I = \sum_{K=q+1}^n \frac{r_K}{(1+tir)^{K-1}}$$

Onde:

I = Investimento aplicado no início do empreendimento (R\$ [0]);

i_K = Parcela de investimento, igual a 1 (1º ano);

r_K = Parcela de retorno ('k-ésimo' ano);

tir = Taxa interna de retorno (% aa equivalente, efetivo, acima do indexador da planilha, a inflação considerada);

n = Período total do fluxo financeiro (anos);

q+1 = Ano do início do fluxo de retorno.

✓ **Payback Primário (ano):** é o prazo de recuperação da capacidade de investimento.

Na tabela 31 encontram-se os dados de entrada na planilha de análise econômica sem financiamento. Na tabela 32 encontram-se os fluxos de implantação e operação e na tabela 33 encontram-se os fluxos de investimento, retorno e formação da taxa interna de retorno do programa de viabilidade econômica.

TABELA 31: ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA SEM FINANCIAMENTO

ANÁLISE ECONOMICA DO SISTEMA	
(SEM FINANCIAMENTO)	
IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE COLETA DE ÁGUA DE CHUVA	
Valores em R\$ da data base da análise [0]	
Taxas efetivas consideradas acima do índice de inflação geral	
✓	Prazo de 1 ano para implantação
✓	Ciclo de 20 anos de operação
✓	Início de implantação no 1º ano
✓	Início de operação no 1º ou no 2º ano
INDICADORES	
✓	Índice de inflação geral: <input type="text"/> % aa
✓	Índice de inflação setorial: <input type="text"/> % aa

TABELA 32: FLUXOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO SEM FINANCIAMENTO⁸

ANO	CUSTEIO COM IMPLANTAÇÃO	CUSTEIO COM OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO		DESCOLAMENTO DE CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	RECEITA GERADA PELA ECONOMIA DE ÁGUA		MOVIMENTAÇÃO FINANCEIRA	FLUXO ACUMULADO
		1º ANO	DEMAIS ANOS		1º ANO	DEMAIS ANOS		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

⁸ As colunas que estão grifadas em amarelo são referentes aos dados de entrada do programa, as demais são referentes aos dados de saída do programa.

TABELA 33: FLUXOS DE INVESTIMENTO, RETORNO E FORMAÇÃO DA TAXA INTERNA DE RETORNO SEM FINANCIAMENTO

ANO	FLUXO ACUMULADO	INVESTIMENTO	FLUXO ACUMULADO APÓS INVESTIMENTO	RETORNO	FLUXO INVESTIMENTO/ RETORNO	FORMAÇÃO DA TAXA INTERNA DE RETORNO
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

6.4.2. Planilha de análise econômica do sistema com financiamento

DADOS DE ENTRADA⁹:

- ✓ Prazo de implantação (ano);
- ✓ Prazo de operação (anos);
- ✓ Início de implantação (ano);
- ✓ Início de operação (ano);

FINANCIAMENTO:

✓ **Porcentagem da implantação a financiar (%):** é a parcela do custo da implantação que será financiada.

✓ **Juros do financiamento (% aa, equivalente, efetivo, acima da inflação):** é a remuneração do capital, a debitar do saldo devedor do financiamento.

INDICADORES:

- ✓ Índice de inflação geral (% aa);
- ✓ Índice setorial (% aa);

DADOS DE ENTRADA:

- ✓ Custeio com implantação (R\$ [0]);
- ✓ Custeio com operação e manutenção (R\$ [0]);
- ✓ Receita gerada pela economia de água (R\$ [0]);

⁹ Os dados de entrada não descritos já foram citados anteriormente.

DADOS DE SAÍDA¹⁰:

- ✓ **Descolamento de custos com operação e manutenção (% aa, equivalente, efetivo, acima da inflação);**
- ✓ **Movimentação financeira (R\$ [0]);**
- ✓ **Fluxo acumulado (R\$ [0]);**

- ✓ **Financiamento – Liberações (R\$ [0]):** é a parcela do custo de implantação que será financiada.

- ✓ **Investimento (R\$ [0]);**
- ✓ **Fluxo acumulado após investimento (R\$ [0]);**

- ✓ **Recursos livres antes do pagamento do financiamento (R\$ [0]):** recursos disponíveis para pagamento do financiamento.

- ✓ **Financiamento – saldo devedor e pagamento (R\$ [0]):** pagamento do saldo devedor vinculado ao fluxo da receita gerada no ciclo operacional.

- ✓ **Retorno após pagamento financiamento (R\$ [0]):** é o fluxo mensal de recursos livres do sistema, ou seja, aqueles recursos que não estão vinculados a nenhum descaixe futuro, no horizonte do projeto.

- ✓ **Fluxo investimento/retorno (R\$ [0]);**
- ✓ **Formação da taxa interna de retorno (% aa, equivalente, efetivo, acima da inflação);**
- ✓ ***Payback* Primário (ano).**

¹⁰ Os dados de saída não descritos já foram citados anteriormente.

Na tabela 34 observam-se os dados de entrada na planilha de análise econômica com financiamento. Na tabela 35 observam-se os fluxos de implantação e operação e na tabela 36 observam-se os fluxos de investimento, retorno e formação da taxa de retorno do programa de viabilidade econômica.

TABELA 34: ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA COM FINANCIAMENTO

ANÁLISE ECONOMICA DO SISTEMA	
(COM FINANCIAMENTO)	
IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA DE COLETA DE ÁGUA DE CHUVA	
Valores em R\$ da data base da análise [0]	
Taxas efetivas consideradas acima do índice de inflação geral	
✓	Prazo de 1 ano para implantação
✓	Ciclo de 20 anos de operação
✓	Início de implantação no 1º ano
✓	Início de operação no 1º ou no 2º ano
FINANCIAMENTO	
✓	Porcentagem dos custos de implantação a financiar: <input type="text"/> %
✓	Juros do financiamento (% aa, equivalente, taxa efetiva): <input type="text"/> %
INDICADORES	
✓	Índice de inflação geral: <input type="text"/> % aa
✓	Índice de inflação setorial: <input type="text"/> % aa

TABELA 35: FLUXOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO COM FINANCIAMENTO¹¹

ANO	CUSTEIO COM IMPLANTAÇÃO	CUSTEIO COM OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO		DESCOLAMENTO DE CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	RECEITA GERADA PELA ECONOMIA DE ÁGUA		MOVIMENTAÇÃO FINANCEIRA	FLUXO ACUMULADO
		1º ANO	DEMAIS ANOS		1º ANO	DEMAIS ANOS		
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

¹¹ As colunas que estão grifadas em amarelo são referentes aos dados de entrada do programa, as demais são referentes aos dados de saída do programa.

Através de um estudo de caso encontrado no Anexo 2, foi efetuada a análise da viabilidade econômica da coleta e aproveitamento de água de chuva para um posto de gasolina.

Para o estudo de caso, foram considerados dados reais de precipitação, área de coleta, demanda, custos com operação e manutenção do sistema. Foram efetuados os cálculos referentes ao volume do reservatório de acumulação, ao volume do reservatório quanto ao suprimento de água potável e ao *overflow*, a análise econômica do sistema sem e com financiamento onde foram verificados o fluxo de investimento retorno, a formação da taxa interna de retorno e o prazo de recuperação do investimento.

7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

*“São as águas de março fechando o verão e a promessa de
vida no teu coração”*

Tom Jobim, Águas de Março

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A água é imprescindível para qualquer tipo de vida e sua disponibilidade em quantidade e em qualidade pode constituir elemento motivador ou redutor de qualquer proposta de desenvolvimento sustentável de uma cidade, região ou país.

Apesar do país contar com grande disponibilidade de recursos hídricos, verificam-se ainda grandes problemas de falta de água em muitas cidades brasileiras. A conscientização da população sobre a importância da economia e conservação de água requer uma mudança cultural ampla. Sistemas como reúso de água servida e aproveitamento de água de chuva contribuem para a conservação de água, seja ela utilizada na indústria, residência ou na agricultura.

O estudo procurou mostrar a viabilidade da instalação de um sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva, juntamente com a caracterização da água para verificar sua qualidade. A viabilidade do sistema depende basicamente de três fatores: precipitação, área de coleta e demanda. Se esses fatores forem elevados, o prazo de recuperação do investimento é curto, por exemplo, a utilização de água de chuva em postos de gasolina, em lavanderias, em indústrias, etc.

O reservatório de acumulação de água de chuva, por ser um dos componentes mais caros do sistema deve ser calculado levando-se em consideração não somente os fatores citados anteriormente, como também a disponibilidade de área para instalação. Em edificações que estejam em fase de projeto ou construção, o reservatório de acumulação de água de chuva pode estar localizado na edificação de tal forma que resultem menos gastos

com tubulações, reservatórios, energia elétrica, bomba de recalque, entre outros.

A água de chuva tem potencial para ser utilizada na irrigação de jardins em parques, escolas, praças, estacionamentos, residências e condomínios, na lavagem de veículos, na lavagem de calçadas e pátios, na limpeza de vasos sanitários, em sistemas de ar-condicionado e em sistemas de combate de incêndios. Não havendo a necessidade da utilização de água potável para tais atividades, a coleta e o aproveitamento de água de chuva dispõem de uma série de benefícios, a saber:

- ✓ redução do consumo de água potável fornecida pela companhia de saneamento;
- ✓ conservação de água;
- ✓ redução do risco de enchentes.

A água de chuva pode ser utilizada somente para consumo não potável. Antes de sua utilização, a verificação da qualidade e da necessidade de tratamento da água de chuva é fundamental para que não ocorram riscos de saúde em seus usuários.

O parâmetro cor indica uma alteração na aparência da água através de substâncias dissolvidas ou em suspensão. Devido à presença elevada de sólidos dissolvidos e em suspensão, a cor da água de chuva não apresenta aspecto cristalino, principalmente no início da limpeza do telhado.

A análise física da cor realizada nas amostras de água de chuva retiradas dos reservatórios de acumulação apresentou diminuição significativa se comparada às amostras retiradas do coletor automático, onde são coletadas após passarem pelo telhado limpando-o.

Parâmetros como: turbidez, odor, pH, dureza, ferro, manganês, cloretos, sulfatos, fluoretos e sólidos dissolvidos totais atendem os padrões do CONAMA (1986), na resolução nº 20 de 18 de junho de 1986, artigo 4º, para água de classe 2 e do Ministério da saúde, portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000, artigo 16º.

No parâmetro referente à dureza, a água de chuva apresentou-se mole, indicando que a água de chuva pode ser utilizada em processos em que é adicionado sabão.

Em amostras de água de chuva retiradas sem passarem pelo telhado o pH da água de chuva apresentou-se ácido, tendo como valor médio 4.9.

O pH das amostras de água de chuva após ter passado pelo telhado, e amostras de água de chuva dos reservatórios de acumulação tiveram variações de 5,8 a 7,6. Tudo indica que essa variação é causada pelos seguintes fatores: presença elevada de limo e bactérias na água que passa pelo telhado e pela composição dos materiais da edificação.

A série de sólidos analisada nas amostras indicou uma diminuição pouco significativa em sua concentração nas primeiras amostras da sequência coletada, devido ao grande acúmulo de poluentes no telhado. Antes da água de chuva ser utilizada é necessário que ela seja submetida a um processo de sedimentação de partículas e de matéria orgânica.

Em meses onde a frequência de precipitação é maior ou em dias consecutivos de chuva, a tendência é que a concentração de sólidos na água de chuva diminua consideravelmente. Quando isso ocorre, o tempo de descarte da água de limpeza do telhado pode ser menor, uma vez que o telhado encontra-se com baixo acúmulo partículas.

A utilização de um sistema de peneiras para fazer a retirada de folhas e galhos da água de chuva, diminui a concentração de material orgânico no reservatório de acumulação e evita o entupimento de conexões e tubulações que fazem parte do sistema.

Grande parte das amostras de água de chuva coletada apresentou DBO_{5,20} dentro dos padrões do USEPA 1992, menor ou igual a 10.

Para amostras coletadas com 2, 3, 5 ou 7 dias sem precipitação, o grau de contaminação bacteriológica da água de chuva apresentou-se bastante elevado.

A concentração de coliformes totais foi encontrada em mais de 89% das amostras de água de chuva, indicando que as condições higiênicas do ambiente onde o experimento está instalado são prejudicadas por contaminantes encontrados no ar, na chuva ou no telhado.

Para uma seqüência de amostras de água de chuva em 40 minutos de precipitação, a presença de coliformes fecais resultou positiva em 50% das amostras, indicando contaminação por animais de sangue quente como pássaros.

Bactérias do tipo Clostrídio Sulfito Redutor foram encontradas em mais de 91% das análises de água de chuva. Se ingerido, esse tipo de bactéria pode causar intoxicações alimentares, gastroenterites, gangrena gasosa (doença letal) e enterite necrosante. Por isso, a necessidade de efetuar tratamento na água antes de sua utilização.

Bactérias do tipo enterococos foram encontradas em mais de 98% das amostras de água de chuva coletada. Se ingerido, esse tipo de bactéria pode causar diarreia aguda e infecção urinária e intestinal.

Já bactérias do tipo *Pseudomonas aeruginosas* foram encontradas em poucas amostras coletadas, aproximadamente 17%. Esse tipo de bactéria pode causar infecções do trato intestinal e urinário.

Devido à grande concentração de bactérias na água de chuva, é necessário que esta seja submetida a uma desinfecção para que sua utilização não proporcione riscos a saúde de seus usuários.

A desinfecção da água de chuva poderá ser realizada através de sistemas simples, como através de adição de cloro, para não inviabilizar economicamente o sistema.

As amostras de água coletadas nos reservatórios de acumulação apresentaram melhores resultados em relação às amostras coletadas diretamente do coletor de água de chuva. Isso ocorre devido aos seguintes fatores: descarte da água de limpeza do telhado, retirada do material orgânico grosseiro como folhas e galhos, sedimentação do material particulado proveniente do telhado.

Com a análise das amostras de água de chuva, obteve-se a confirmação através de seus resultados de que a água de chuva pode ser utilizada após desinfecção, no consumo não potável e que seu uso deve ser estimulado.

Estudos devem ser realizados no sentido de se verificar as particularidades do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva

para diferentes tipologias de edifícios e telhados, e em diferentes regiões quanto ao regime de chuvas.

ANEXOS

ANEXO 1: TABELAS DAS ANÁLISES DAS AMOSTRAS SEQUENCIAIS DE ÁGUA DE CHUVA

ESTUDO DA VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA CONSUMO POTÁVEL EM EDIFICAÇÕES	
QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA	
Coleta de amostras:	Chuva
Estado:	São Paulo
Município:	São Paulo
Localidade:	Cidade Universitária USP
Endereço:	CTCC – Centro de Técnicas de Construção Civil. Av. Prof. Almeida Prado. 83
Tipo de amostra:	Proveniente do coletor automático de amostras e dos reservatórios de acumulação de água de chuva

1ª Coleta:

Registro de ocorrência de chuva:	Ausente – 5 dias
Data da coleta:	13/11/2003
Horário de início da coleta:	8:30 h
Horário de término da coleta:	8:55 h
Tempo de coleta entre uma amostra e outra:	3 min.

2ª Coleta:

Registro de ocorrência de chuva:	Ausente – 7 dias
Data da coleta:	24/11/2003
Horário de início da coleta:	16:50 h
Horário de término da coleta:	17:30 h
Tempo de coleta entre uma amostra e outra:	5 min.

3ª Coleta:

Registro de ocorrência de chuva:	Ausente – 5 dias
Data da coleta:	21/01/2004
Horário de início da coleta:	15:30 h
Horário de término da coleta:	16:10 h
Tempo de coleta entre uma amostra e outra:	5 min.

4ª Coleta:

Registro de ocorrência de chuva:	Presente – 2 dias
Data da coleta:	05/02/2004
Horário de início da coleta:	13:30 h
Horário de término da coleta:	14:10 h
Tempo de coleta entre uma amostra e outra:	5 min.

5ª Coleta:

Registro de ocorrência de chuva:	Ausente – 7 dias
Data da coleta:	12/02/2004
Horário de início da coleta:	18:30 h
Horário de término da coleta:	19:10 h
Tempo de coleta entre uma amostra e outra:	5 min.

6ª Coleta:

Registro de ocorrência de chuva:	Ausente – 5 dias
Data da coleta:	05/03/2004
Horário de início da coleta:	17:30 h
Horário de término da coleta:	18:10 h
Tempo de coleta entre uma amostra e outra:	5 min.

PARÂMETROS	NÚMEROS DAS AMOSTRAS										DIRETRIZES ¹²	DIAS DE COLETA	DURAÇÃO DA COLETA ¹³	DIAS SEM CHUVA
	Nº 1 ¹⁴	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV 1	RESERV 2				
Cor uH	67	34	41	36	45	39	28	78	–	–	CONAMA → 75 uH MS → 15 uH	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	74	66	58	64	68	64	58	48	15	15		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	99	77	72	42	40	38	30	31	17	23		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	63	23	21	20	22	25	24	23	19	22		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	71	65	56	61	43	55	58	71	48	16		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	218	91	69	39	28	24	29	23	27	28		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Turbidez UNT	1.4	0.8	1.7	1.2	1.2	0.9	1.0	1.4	–	–	MS → 5 UNT USEPA → ≤ 2 UNT	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	1.5	1.0	0.7	0.7	0.8	1.2	1.2	0.8	0.3	0.3		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	4.3	3.4	3.2	2.2	1.1	1.8	2.2	1.3	0.7	1.0		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	3.5	1.4	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.9	0.8		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	3.5	2.3	2.2	2.0	0.9	1.6	1.4	1.7	2.0	0.7		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	7.1	2.4	3.1	1.3	0.8	0.8	0.9	0.6	0.7	0.7		05/03/2004	5 minutos	5 dias

¹²

Diretrizes:

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução nº 20 de 18 de junho de 1986, artigo nº 4.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000, artigo 16º.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Manual: Guidelines for water reuse. (EPA/625/R-92/004).

¹³ A duração da coleta refere-se ao tempo de enchimento de um recipiente de coleta e outro para a sequência de amostras.¹⁴ As colunas de indicação Nº 1, Nº 2, Nº 3, etc são referentes ao número de amostras de água de chuva coletadas no coletor automático nos tempos indicados acima. As colunas de indicação reserv. 1 e reserv. 2 são referentes às amostras coletadas nos reservatórios de acumulação.

PARÂMETROS	NÚMEROS DAS AMOSTRAS										DIRETRIZES	DIAS DE COLETA	DURAÇÃO DA COLETA	DIAS SEM CHUVA
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV 1	RESERV 2				
Odor	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	–	–	CONAMA → AUSENTE MS → AUSENTE	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ	ñ		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Alcalinidade mg/L	34	38	24	24	24	32	30	26	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	30	32	32	32	40	50	52	48	20	20		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	60	60	60	40	50	40	20	20	30	30		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	32	24	28	26	28	26	28	26	14	12		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	30	22	26	30	32	36	44	42	18	16		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	26	22	10	10	8	6	6	4	16	12		05/03/2004	5 minutos	5 dias
pH	7.4	7.0	6.9	6.7	6.7	6.5	6.5	6.7	–	–	CONAMA → 6.0 A 9.0 MS → 6.0 a 9.5 USEPA → 6.0 A 9.0	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	6.9	6.8	6.8	6.8	6.9	6.7	6.6	6.6	6.6	6.7		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	6.5	6.8	6.9	7.0	7.0	7.1	7.2	7.3	7.2	7.2		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	7.4	7.3	7.7	7.6	7.6	7.6	7.6	7.4	6.4	6.2		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	7.2	7.3	7.4	7.4	7.3	7.5	7.5	7.5	6.8	6.5		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	7.4	7.4	6.5	6.0	6.0	5.9	5.9	5.8	6.7	6.7		05/03/2004	5 minutos	5 dias

PARÂMETROS	NÚMEROS DAS AMOSTRAS										DIRETRIZES	DIAS DE COLETA	DURAÇÃO DA COLETA	DIAS SEM CHUVA
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV 1	RESERV 2				
Conductividade µS/cm	69.5	41.4	55.2	36.1	37.7	56.3	47.7	103.0	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	126.2	104.0	100.1	99.6	106.2	117.7	122.5	107.1	38.8	38.2		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	124.3	77.5	54.1	49.2	56.5	47.5	30.3	31.5	7.2	7.2		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	56.0	40.0	46.0	46.0	45.0	46.0	45.0	45.0	22.0	27.0		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	86.7	56.9	66.1	76.4	85.6	92.0	102.2	107.9	51.1	28.7		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	69.0	45.0	26.0	18.0	14.0	11.0	10.0	7.0	14.0	23.0		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Dureza mg/L	42.0	30.0	30.0	24.0	20.0	16.0	28.0	26.0	–	–	MS → 500 mg/L	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	68.0	60.0	56.0	54.0	58.0	64.0	62.0	60.0	18.0	18.0		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	66.0	44.0	32.0	34.0	36.0	32.0	22.0	26.0	20.0	22.0		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	40.0	24.0	36.0	32.0	28.0	44.0	30.0	32.0	18.0	12.0		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	50.0	34.0	44.0	52.0	52.0	60.0	74.0	72.0	30.0	20.0		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	68.0	36.0	36.0	28.0	10.0	10.0	6.0	4.0	22.0	16.0		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Cálcio mg/L	13.5	21.3	8.8	64	67	9.6	8.5	7.5	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	23.5	20.6	20.2	20.1	21.0	23.7	23.0	21.5	6.1	6.0		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	24.3	15.2	9.1	7.8	22.5	8.0	5.6	5.7	5.9	5.0		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	9.4	6.9	8.2	8.1	7.8	7.7	8.2	7.8	3.6	4.5		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	16.9	10.0	10.9	16.3	17.1	19.6	22.0	23.5	8.1	ND		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	17.4	9.2	4.7	3.4	2.6	1.9	1.9	1.1	2.7	4.3		05/03/2004	5 minutos	5 dias

PARÂMETROS	NÚMEROS DAS AMOSTRAS										DIRETRIZES	DIAS DE COLETA	DURAÇÃO DA COLETA	DIAS SEM CHUVA
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV 1	RESERV 2				
Magnésio mg/L	1.3	1.97	1.0	0.7	0.7	1.1	0.95	0.8	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	2.1	1.8	1.8	1.8	1.9	2.1	2.1	1.9	0.8	0.7		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	2.2	1.3	1.1	0.9	ND	0.9	0.7	0.7	0.7	0.6		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	1.0	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	ND	0.5		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	1.3	1.3	1.0	1.2	1.5	1.5	1.6	1.7	1.0	ND		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	1.6	1.0	0.4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.4		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Ferro mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	–	–	CONAMA → 0.3 mg/L MS → 0.3 mg/L	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	0.12	0.06	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	0.1	0.05	0.05	0.05	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	0.09	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	0.21	1.02	0.05	0.05	0.02	0.05	0.05	0.05	0.52	0.01		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	1.65	1.04	0.18	0.18	0.15	0.18	0.15	0.10	0.02	0.05		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Manganês mg/L	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	–	–	CONAMA → 0.1 mg/L MS → 0.1 mg/L	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	ND	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	ND	0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.01	ND		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	0.07	0.04	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		05/03/2004	5 minutos	5 dias

PARÂMETROS	NÚMEROS DAS AMOSTRAS										DIRETRIZES	DIAS DE COLETA	DURAÇÃO DA COLETA	DIAS SEM CHUVA
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV 1	RESERV 2				
Cloretos mg/L	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	–	–	CONAMA → 250 mg/L MS → 250 mg/L	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	13.0	7.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	30.0	26.0		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	11.0	16.0	12.0	10.0	25.0	11.0	13.0	9.0	6.0	10.0		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	14.0	7.0	9.0	10.0	12.0	9.0	11.0	9.0	6.0	6.0		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	14.0	9.0	10.0	11.0	10.0	10.0	11.0	11.0	12.0	8.0		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	9.0	6.0	12.0	10.0	10.0	11.0	11.0	10.0	11.0	7.0		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Sulfatos mg/L	3.0	11.0	7.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	–	–	CONAMA → 250 mg/L MS → 250 mg/L	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	20.0	17.0	16.0	17.0	14.0	12.0	12.0	12.0	1.0	1.0		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	21.0	13.0	9.0	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0	10.0	2.0		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	5.0	3.0	3.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	9.0	2.0	17.0	10.0	12.0	13.0	13.0	13.0	15.0	16.0		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	16.0	9.0	7.0	4.0	2.0	3.0	3.0	3.0	0	2.0		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Fluoretos mg/L	0.07	0.09	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05	–	–	CONAMA → 1.4 mg/L MS → 1.5 mg/L	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	0.09	0.09	0.09	0.10	0.11	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	0.12	0.10	0.09	0.09	0.02	0.08	0.06	0.05	0.06	0.06		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	0.06	0.05	0.07	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.04	0.03		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	0.09	0.06	0.09	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.1		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	0.09	0.07	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03	0.03		05/03/2004	5 minutos	5 dias

PARÂMETROS	NÚMEROS DAS AMOSTRAS										DIRETRIZES	DIAS DE COLETA	DURAÇÃO DA COLETA	DIAS SEM CHUVA
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV 1	RESERV 2				
Sólidos totais mg/L	110	110	50	40	110	60	70	90	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	170	92	80	120	120	140	110	130	20	20		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	140	70	50	40	30	20	10	10	20	10		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	80	40	50	50	40	30	40	50	20	20		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	300	130	100	100	120	110	130	140	80	40		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	320	180	60	50	40	30	30	20	10	10		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Sólidos totais fixos mg/L	60	30	30	30	40	40	50	50	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	20	28	30	50	60	50	20	40	0	0		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	80	50	40	30	10	0	0	0	0	0		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	30	10	5	0	0	0	0	0	0	0		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	80	40	20	10	10	10	30	10	0	0		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	200	130	50	30	30	20	20	10	0	0		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Sólidos totais voláteis mg/L	50	30	20	10	70	20	20	40	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	150	64	50	70	60	90	90	90	20	20		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	60	20	10	10	20	20	10	10	20	10		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	50	30	40	50	40	30	40	50	20	20		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	220	90	80	90	110	100	100	130	80	40		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	120	50	10	20	20	10	10	10	10	10		05/03/2004	5 minutos	5 dias

PARÂMETROS	NÚMEROS DAS AMOSTRAS										DIRETRIZES	DIAS DE COLETA	DURAÇÃO DA COLETA	DIAS SEM CHUVA
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV 1	RESERV 2				
Sólidos suspensão totais mg/L	25	10	19	20	41	50	32	59	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	60	62	37	42	28	86	10	44	0	1		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	21	10	14	6	4	9	8	6	1	1		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	36	15	5	4	3	3	3	4	2	2		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	123	50	19	13	5	3	4	2	3	0		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	183	129	22	38	33	19	24	10	5	2		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Sólidos suspensão fixos mg/L	13	4	12	13	29	36	19	35	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	13	21	14	14	13	40	1	15	0	0		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	7	2	7	0	0	0	0	0	0	0		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	14	3	1	0	0	0	0	0	0	0		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	54	26	19	5	2	0	0	0	0	0		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	111	90	12	20	16	9	16	3	0	0		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Sólidos suspensão voláteis mg/L	12	6	7	7	12	14	13	24	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	47	41	23	28	15	46	9	29	0	1		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	14	8	7	6	4	9	8	6	1	1		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	22	12	4	4	3	3	3	4	2	2		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	69	24	0	8	3	3	4	2	3	0		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	72	39	10	18	17	10	8	7	5	2		05/03/2004	5 minutos	5 dias

PARÂMETROS	NÚMEROS DAS AMOSTRAS										DIRETRIZES	DIAS DE COLETA	DURAÇÃO DA COLETA	DIAS SEM CHUVA
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV 1	RESERV 2				
Sólidos dissolvidos totais mg/L	85	100	31	20	69	10	38	31	–	–	CONAMA → 500 mg/L MS → 1000 mg/L	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	110	30	43	78	92	54	100	86	20	19		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	119	60	26	34	26	11	2	4	19	9		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	44	25	45	46	37	27	37	46	18	18		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	177	80	81	87	115	107	126	138	77	40		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	137	51	38	12	7	11	6	10	5	8		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Sólidos dissolvidos fixos mg/L	47	26	18	17	11	4	31	15	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	7	7	16	36	47	10	19	25	0	0		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	73	48	33	30	10	0	0	0	0	0		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	16	7	4	0	0	0	0	0	0	0		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	26	14	1	5	8	10	30	10	0	0		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	89	40	38	10	14	11	10	7	0	0		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Sólidos dissolvidos voláteis mg/L	38	74	13	3	58	6	7	16	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	103	23	27	42	45	44	81	61	20	19		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	46	12	3	4	16	11	2	4	19	9		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	28	18	36	46	37	27	37	46	18	18		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	124	66	80	82	107	97	96	128	77	40		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	48	11	0	2	3	0	2	3	5	8		05/03/2004	5 minutos	5 dias

PARÂMETROS	NÚMEROS DAS AMOSTRAS										DIRETRIZES	DIAS DE COLETA	DURAÇÃO DA COLETA	DIAS SEM CHUVA
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV 1	RESERV 2				
Oxigênio dissolvido (OD) mg/L	5.0	7.5	5.0	5.0	5.0	2.5	1.6	1.6	–	–	CONAMA → ≤ 5 mg/L	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	12.0	8.0	8.0	7.0	6.0	6.0	7.5	5.0	1.7	1.5		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	33.5	30.8	28.0	32.8	36.8	18.4	23.5	36.8	18.4	21.6		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	12.0	22.0	16.4	16.8	21.2	20.4	20.0	19.0	5.2	4.1		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	32.8	31.6	30.4	31.6	31.2	28.8	28.0	18.4	34.0	25.6		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	40.0	44.0	26.0	21.6	39.6	42.0	28.8	19.6	29.2	34.4		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Demanda Biológica de Oxigênio (DBO)₅₋₂₀ mg/L O ₂	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	CONAMA → ≤ 5 mg/L USEPA → ≤ 10 mg/L	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	5.2	3.6	3.2	2.4	2.5	2.0	1.9	2.5	1.4	0.8		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	3.9	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	0.4	0.3		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	1.0	3.9	2.9	2.6	4.0	2.4	3.0	2.8	3.3	2.7		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	4.8	3.6	2.9	2.4	1.4	1.0	1.3	1.0	1.1	1.7		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Nitrato em N mg/L	1.5	2.4	1.3	0.7	0.7	0.8	0.7	0.5	–	–	CONAMA → 10 mg/L MS → 10 mg/L	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	3.3	2.9	2.7	2.7	2.9	2.7	2.7	2.5	0.39	0.38		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	20.0	14.0	6.0	3.6	3.6	3.0	1.8	2.0	3.9	4.7		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	8.6	8.3	9.8	9.4	8.2	6.0	5.9	5.7	4.0	4.7		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	1.0	6.5	6.9	7.7	11.8	8.1	8.1	7.4	5.9	3.7		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	7.22	4.91	3.0	2.0	1.39	1.07	1.14	0.75	1.23	1.93		05/03/2004	5 minutos	5 dias

PARÂMETROS	NÚMEROS DAS AMOSTRAS										DIRETRIZES	DIAS DE COLETA	DURAÇÃO DA COLETA	DIAS SEM CHUVA
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV 1	RESERV 2				
Nitrito em N mg/L	2.2	3.8	2.6	0.8	0.8	2.1	0.9	0.64	–	–	CONAMA → 1.0 mg/L MS → 1.0 mg/L	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	1.83	0.76	0.73	1.9	1.13	1.0	1.13	0.61	0.04	0.26		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	1.1	2.8	1.8	0.21	0.26	0.19	0.07	0.07	0.01	0.04		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	0.8	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.19	0.18	0.19	0.11		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	0.15	0.13	0.18	0.22	0.23	0.24	0.27	0.34	0.07	0.01		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	0.28	0.21	0.1	0.13	0.11	0.11	0.10	0.09	0.05	0.04		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Coliformes totais UFC/ 100ml	>80	>80	>80	>80	<1	10	>80	>80	–	–	MS → AUSÊNCIA	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	>80	>80	>80	>80	>80	>80	<1	<1	<1	>80		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	>80	>80	>80	>80	>80	>80	>80	>80	>80	>80		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	>80	>80	>80	>80	>80	>80	<1	>80	>80	<1		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	>80	24	>80	>80	>80	>80	>80	>80	>80	>80		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	>80	>80	>80	>80	>80	>80	>80	42	>80	>80		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Coliformes fecais em 100 ml	Aus.	Aus.	Pres.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	–	–	USEPA→ AUSÊNCIA	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	Pres.	Pres.	Pres.	Pres.	Pres.	Pres.	Aus.	Aus.	Aus.	Pres.		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	Pres.	Pres.	Pres.	Pres.	Pres.	Pres.	Pres.	Pres.	Aus.	Aus.		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	Pres.	Pres.	Pres.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Pres.	Aus.	Aus.		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	Pres.	Aus.	Aus.	Aus.	Pres.	Aus.	Aus.	Pres.	Aus.	Aus.		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	Pres.	Aus.	Aus.	Aus.	Pres.	Aus.	Pres.	Pres.	Pres.	Pres.		05/03/2004	5 minutos	5 dias

PARÂMETROS	NÚMEROS DAS AMOSTRAS										DIRETRIZES	DIAS DE COLETA	DURAÇÃO DA COLETA	DIAS SEM CHUVA
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	Nº 6	Nº 7	Nº 8	RESERV 1	RESERV 2				
Clostrídio sulfito redor NMP/100ml	23	1.1	<1.1	1.1	<1.1	1.1	1.1	3.6	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	16.1	>23	5.1	12	23	>23	12	12	2.2	2.2		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	16.1	23	16.1	5.1	6.9	16.1	16.1	6.9	<1.1	<1.1		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	>23	>23	12	>23	12	6.9	6.9	16.1	23	3.6		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	>23	23	5.1	12	9.2	16.1	12	3.6	1.1	2.2		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Enterococos NMP/100ml	23	>23	23	>23	>23	>23	>23	>23	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	23	>23	>23	23	>23	23	>23	>23	12	6.9		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	>23	23	>23	>23	>23	>23	>23	>23	<1.1	2.2		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	2.2	9.2	11	2.2	9.2	1.1	5.1	5.1	23	9.2		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	>23	>23	>23	>23	>23	>23	>23	>23	23	5.1		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	16.1	6.9	12	23	23	16.1	12	3.6	16.1	2.2		05/03/2004	5 minutos	5 dias
Pseudomonas Aeruginosas UFC/ 100ml	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	–	–	SEM INDICAÇÃO	13/11/2003	3 minutos	3 dias
	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1		24/11/2003	5 minutos	7 dias
	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1		21/01/2004	5 minutos	5 dias
	<1	<1	<1	<1	10	<1	<1	28	52	54		05/02/2004	5 minutos	2 dias
	<1	<1	>80	<1	<1	12	6	<1	1	41		12/02/2004	5 minutos	7 dias
	<1	<1	>80	<1	<1	<1	<1	<1	>80	>80		05/03/2004	5 minutos	5 dias

ANEXO 2: ESTUDO DE CASO: ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA UM POSTO DE GASOLINA

Para o estudo de caso de implantação do sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva para um posto de gasolina foram utilizados dados reais de consumo e área de telhado.

- ✓ localização: Lapa – São Paulo;
- ✓ posto de gasolina;
- ✓ área do terreno: 450 m²;
- ✓ número médio de carros lavados por mês: 180 carros;
- ✓ consumo de água por carro: 100 litros.

Então:

Consumo mensal de água: 180 carros x 100 l/carro = 18.000 l/mês

Foram utilizados para o cálculo do reservatório, índices pluviométricos dos últimos 40 anos do bairro Lapa – São Paulo. Para o cálculo do reservatório de água de chuva pelo método de *Rippel* foi adotado um consumo mensal de 18 m³, então teremos:

DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE CHUVA PELO MÉTODO DE RIPPL

MESES	CHUVA MÉDIA MENSAL	DEMANDA MENSAL	VOLUME ACUMULADO	ÁREA DE COLETA	COEFICIENTE DE RUNOFF	VOLUME DE CHUVA MENSAL	VOLUME ACUMULADO	VOLUME DE CHUVA - DEMANDA	VOLUME DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE CHUVA
	Mm	m³	m³	m²		m³	m³	m³	m³
JANEIRO	229	18	18	450	0.8	82.44	82.44	64.44	0.00
FEVEREIRO	226	18	36	450	0.8	81.36	163.80	63.36	0.00
MARÇO	174	18	54	450	0.8	62.64	226.44	44.64	0.00
ABRIL	77	18	72	450	0.8	27.72	254.16	9.72	0.00
MAIO	73	18	90	450	0.8	26.28	280.44	8.28	0.00
JUNHO	53	18	108	450	0.8	19.08	299.52	1.08	0.00
JULHO	39	18	126	450	0.8	14.04	313.56	-3.96	3.96
AGOSTO	38	18	144	450	0.8	13.68	327.24	-4.32	8.28
SETEMBRO	82	18	162	450	0.8	29.52	356.76	11.52	0.00
OUTUBRO	130	18	180	450	0.8	46.80	403.56	28.80	0.00
NOVEMBRO	123	18	198	450	0.8	44.28	447.84	26.28	0.00
DEZEMBRO	186	18	216	450	0.8	66.96	514.80	48.96	0.00
TOTAL	1430								

Número de dias que haverá suprimento com água de chuva: dias

VERIFICAÇÃO DO VOLUME DO RESERVATÓRIO DE ÁGUA DE CHUVA: 10m³

MESES	CHUVA MÉDIA MENSAL	DEMANDA MENSAL	ÁREA DE COLETA	COEFICIENTE DE RUNOFF	VOLUME DE CHUVA MENSAL	VOLUME DO RESERVATÓRIO	VOLUME DO RESERVATÓRIO T-1	VOLUME DO RESERVATÓRIO T	OVERFLOW	SUPRIMENTO
	mm	m ³	m ²		m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
JANEIRO	229	18	450	0.8	82.44	10	0	10	54.44	0.00
FEVEREIRO	226	18	450	0.8	81.36	10	10	10	63.36	0.00
MARÇO	174	18	450	0.8	62.64	10	10	10	44.64	0.00
ABRIL	77	18	450	0.8	27.72	10	10	10	9.72	0.00
MAIO	73	18	450	0.8	26.28	10	10	10	8.28	0.00
JUNHO	53	18	450	0.8	19.08	10	10	10	1.08	0.00
JULHO	39	18	450	0.8	14.04	10	10	6.04	0.00	0.00
AGOSTO	38	18	450	0.8	13.68	10	6.04	1.72	0.00	0.00
SETEMBRO	82	18	450	0.8	29.52	10	1.72	10	3.24	0.00
OUTUBRO	130	18	450	0.8	46.80	10	10	10	28.80	0.00
NOVEMBRO	123	18	450	0.8	44.28	10	10	10	26.28	0.00
DEZEMBRO	186	18	450	0.8	66.96	10	10	10	48.96	0.00
TOTAL	1430				514.80				288.80	0.00

Número de meses que o reservatório não atendeu a demanda: **0**Confiança do sistema: **100** %Eficiência do sistema: **43.90** %

FLUXOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO SEM FINANCIAMENTO

ANO	CUSTEIO COM IMPLANTAÇÃO	CUSTEIO COM OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO		DESCOLAMENTO DE CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	RECEITA GERADA PELA ECONOMIA DE ÁGUA		MOVIMENTAÇÃO FINANCEIRA	FLUXO ACUMULADO
		1º ANO	DEMAIS ANOS		1º ANO	DEMAIS ANOS		
1	-3.500,00	-250,00	-	-3,46	795,00	-	-2.958,46	-2.958,46
2	-	-	-500,00	-13,93	-	1.590,00	1.076,07	-1.882,39
3	-	-	-500,00	-21,03	-	1.590,00	1.068,97	-813,42
4	-	-	-500,00	-28,23	-	1.590,00	1.061,77	248,35
5	-	-	-500,00	-35,54	-	1.590,00	1.054,46	1.302,81
6	-	-	-500,00	-42,94	-	1.590,00	1.047,06	2.349,87
7	-	-	-500,00	-50,45	-	1.590,00	1.039,55	3.389,42
8	-	-	-500,00	-58,06	-	1.590,00	1.031,94	4.421,36
9	-	-	-500,00	-65,77	-	1.590,00	1.024,23	5.445,59
10	-	-	-500,00	-73,59	-	1.590,00	1.016,41	6.462,00
11	-	-	-500,00	-81,52	-	1.590,00	1.008,48	7.470,48
12	-	-	-500,00	-89,56	-	1.590,00	1.000,44	8.470,92
13	-	-	-500,00	-97,71	-	1.590,00	992,29	9.463,21
14	-	-	-500,00	-105,98	-	1.590,00	984,02	10.447,23
15	-	-	-500,00	-114,35	-	1.590,00	975,65	11.422,88
16	-	-	-500,00	-122,84	-	1.590,00	967,15	12.390,03
17	-	-	-500,00	-131,45	-	1.590,00	958,54	13.348,57
18	-	-	-500,00	-140,18	-	1.590,00	949,81	14.298,38
19	-	-	-500,00	-149,03	-	1.590,00	940,96	15.239,34
20	-	-	-500,00	-158,00	-	1.590,00	931,99	16.171,33

Índice de inflação geral – 8,5% aa

Índice setorial – 10% aa

FLUXOS DE INVESTIMENTO, RETORNO E FORMAÇÃO DA TAXA INTERNA DE RETORNO SEM FINANCIAMENTO

ANO	INVESTIMENTO	FLUXO ACUMULADO APÓS INVESTIMENTO	RETORNO	FLUXO INVESTIMENTO/RETORNO	FORMAÇÃO DA TAXA INTERNA DE RETORNO %
1	2.968,46	-	-	2.958,46	-
2	-	1.076,07	-1.076,07	-1.076,07	-
3	-	2.145,04	-1.068,97	-1.068,97	-
4	-	3.206,81	-1.061,77	-1.061,77	4,15%
5	-	4.261,27	-1.054,46	-1.054,46	16,44%
6	-	5.308,33	-1.047,06	-1.047,06	23,42%
7	-	6.347,88	-1.039,55	-1.039,55	27,61%
8	-	7.379,82	-1.031,94	-1.031,94	30,24%
9	-	8.404,05	-1.024,23	-1.024,23	31,94%
10	-	9.420,46	-1.016,41	-1.016,41	33,08%
11	-	10.428,94	-1.008,48	-1.008,48	33,85%
12	-	11.429,38	-1.000,44	-1.000,44	34,38%
13	-	12.421,67	-992,29	-992,29	34,75%
14	-	13.405,69	-984,02	-984,02	35,01%
15	-	14.381,34	-975,65	-975,65	35,20%
16	-	15.348,49	-967,15	-967,15	35,33%
17	-	16.307,03	-958,54	-958,54	35,42%
18	-	17.256,84	-949,81	-949,81	35,49%
19	-	18.197,80	-940,96	-940,96	35,54%
20	-	19.129,79	-931,99	-931,99	35,58%

FLUXOS DE IMPLANTAÇÃO E OPERAÇÃO COM FINANCIAMENTO

ANO	CUSTEIO COM IMPLANTAÇÃO	CUSTEIO COM OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO		DESCOLAMENTO DE CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	RECEITA GERADA PELA ECONOMIA DE ÁGUA		MOVIMENTAÇÃO FINANCEIRA	FLUXO ACUMULADO
		1º ANO	DEMAIS ANOS		1º ANO	DEMAIS ANOS		
1	-3500,00	-250,00	-	-3,46	795,00	-	-2.958,46	-2.958,46
2	-	-	-500,00	-13,93	-	1.590,00	1.076,07	-1.882,39
3	-	-	-500,00	-21,03	-	1.590,00	1.068,97	-813,42
4	-	-	-500,00	-28,23	-	1.590,00	1.061,77	248,35
5	-	-	-500,00	-35,54	-	1.590,00	1.054,46	1.302,81
6	-	-	-500,00	-42,94	-	1.590,00	1.047,06	2.349,87
7	-	-	-500,00	-50,45	-	1.590,00	1.039,55	3.389,42
8	-	-	-500,00	-58,06	-	1.590,00	1.031,94	4.421,36
9	-	-	-500,00	-65,77	-	1.590,00	1.024,23	5.445,59
10	-	-	-500,00	-73,59	-	1.590,00	1.016,41	6.462,00
11	-	-	-500,00	-81,52	-	1.590,00	1.008,48	7.470,48
12	-	-	-500,00	-89,56	-	1.590,00	1.000,44	8.470,92
13	-	-	-500,00	-97,71	-	1.590,00	992,29	9.463,21
14	-	-	-500,00	-105,98	-	1.590,00	984,02	10.447,23
15	-	-	-500,00	-114,35	-	1.590,00	975,65	11.422,88
16	-	-	-500,00	-122,84	-	1.590,00	967,15	12.390,03
17	-	-	-500,00	-131,45	-	1.590,00	958,54	13.348,57
18	-	-	-500,00	-140,18	-	1.590,00	949,81	14.298,38
19	-	-	-500,00	-149,03	-	1.590,00	940,96	15.239,34
20	-	-	-500,00	-158,00	-	1.590,00	931,99	16.171,33

✓ Índice de inflação geral – 8.5% aa

Porcentagem dos custos de implantação a financiar – 50%

✓ Índice setorial – 10% aa

Juros do financiamento (%aa, equivalente, taxa efetiva) – 15%

FLUXOS DE INVESTIMENTO, RETORNO E FORMAÇÃO DA TAXA INTERNA DE RETORNO COM FINANCIAMENTO

ANO	FINANCIAMENTO	INVESTIMENTO	FLUXO ACUMULADO APÓS INVESTIMENTO	RECURSOS LIVRES ANTES DO PGTO FINANCIAMENTO	FINANCIAMENTO		RETORNO APÓS PGTO FINANCIAMENTO	FLUXO INVESTIMENTO / RETORNO	FORMAÇÃO DA TAXA INTERNA DE RETORNO
	LIBERAÇÕES				SALDO DEVEDOR	PAGAMENTO			
1	1.750,00	1208,46	-	-	1.750,00	-	-	1.208,46	-
2	-	-	1.076,07	-1.076,07	2.012,50	-1.076,07	-	-	-
3	-	-	2.145,04	-1.068,97	1.076,90	-1.068,97	-	-	-
4	-	-	3.206,81	-1.061,77	9,12	-9,12	-1.052,65	-1.052,65	-
5	-	-	4.261,27	-1.054,46	-	-	-1.054,46	-1.054,46	17,32%
6	-	-	5.308,33	-1.047,06	-	-	-1.047,06	-1.047,06	27,75%
7	-	-	6.347,88	-1.039,55	-	-	-1.039,55	-1.039,55	33,41%
8	-	-	7.379,82	-1.031,94	-	-	-1.031,94	-1.031,94	36,70%
9	-	-	8.404,05	-1.024,23	-	-	-1.024,23	-1.024,23	38,71%
10	-	-	9.420,46	-1.016,41	-	-	-1.016,41	-1.016,41	39,97%
11	-	-	10.428,94	-1.008,48	-	-	-1.008,48	-1.008,48	40,79%
12	-	-	11.429,38	-1.000,44	-	-	-1.000,44	-1.000,44	41,33%
13	-	-	12.421,67	-992,29	-	-	-992,29	-992,29	41,69%
14	-	-	13.405,69	-984,02	-	-	-984,02	-984,02	41,93%
15	-	-	14.381,34	-975,65	-	-	-975,65	-975,65	42,10%
16	-	-	15.348,49	-967,15	-	-	-967,15	-967,15	42,21%
17	-	-	16.307,03	-958,54	-	-	-958,54	-958,54	42,29%
18	-	-	17.256,84	-949,81	-	-	-949,81	-949,81	42,34%
19	-	-	18.197,80	-940,96	-	-	-940,96	-940,96	42,38%
20	-	-	19.129,79	-931,99	-	-	-931,99	-931,99	42,40%

Para o posto de gasolina, o volume do reservatório calculado pelo método de Rippl foi de 8.28 m³. Adotou-se um volume de 10 m³ para a verificação do overflow e do suprimento de água potável em tempos de estiagem. O overflow do sistema foi de 288.80 m³ e o suprimento de água potável foi zero. Esses valores foram alcançados devido à precipitação, a área de coleta e a demanda serem bastante elevados.

No custeio de operação e manutenção foram considerados somente custos de mão de obra e acessórios referentes a reparos no sistema. Foram desconsiderados custos com bomba para lavagem de carro e energia elétrica, pois o posto de gasolina já estava em funcionamento e havia lava-jato. A receita gerada pela economia de água, foi de R\$ 1.590,00 ao ano. Foi considerando que o posto de gasolina gasta em torno de 20 m³/mês com água potável, para outros fins. O consumo de 18 m³ utilizado para o cálculo do reservatório, refere-se ao consumo com água de lavagem de carros, substituída por água de chuva. O cálculo da receita foi efetuado da seguinte maneira:

TARIFA DE ÁGUA COMERCIAL – NORMAL	
Custo do consumo de água na faixa de 21 a 50 m ³ = 7,23 R\$/m ³	
Custo do consumo na faixa acima de 50 m ³ = 7,52 R\$/m ³	
Consumo mensal = 18 m ³	
10 x 7,23 = 72,30	8 x 7,52 = 60,16
Total = 132,46 x 12 = 1.590,00 reais	

Percebe-se que, para o posto de gasolina, quanto maior o aproveitamento de água de chuva maior é o ganho do sistema. Na implantação do sistema sem a utilização de financiamento, a taxa interna de retorno foi de 35,58% ao ano e o payback ocorreu no 4º ano de operação. Na implantação do sistema com a utilização de financiamento, a taxa interna de retorno foi de 42,40% ao ano e o payback ocorreu no 5º ano de operação.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3P TECHNIK. **Informações sobre o aproveitamento das águas de chuva.** Disponível em: <<http://www.água-de-chuva.com/>>. Acesso em: 24 março de 2001.

ANCCT - AGÊNCIA NACIONAL PARA A CULTURA CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA. **Precipitação.** Disponível em: <<http://atelier.uarte.mct.pt/rota-do-tempo/Umidade/Precipitacao.htm>>. Acesso em 31 jul. 2003.

AMORIM, M. C. C.. Avaliação da qualidade bacteriológica das águas de cisternas: Estudo de caso no município de Petrolina - PE In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, Paraíba, 2001. **Anais.** Paraba: ABRH, 2001. p.9. 1 CD – ROM.

ARAÚJO, A.. **Novas construções terão de incluir piscininhas.** O Estado de São Paulo, 20 mar. 2002. Cidades, Caderno C, p. C6.

CAMPOS, J. D. et. al.. Barragem subterrânea de captação e barramento de água da chuva no semi-árido. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, Paraíba, 2001. **Anais.** Paraba: ABRH, 2001. p.8. 1 CD – ROM.

CHARLSON, R. J. et. al.. **The effects on the atmosphere of a major nuclear exchange to 1985. Atmospheric effects and interactions.** Disponível em: <<http://www.nap.edu/books/0309035287/html/127.html>>. Acesso em 11/06/2003.

CHENG, C. L.. Rainwater use system in building design. In: CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. **Proceedings.** CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro, v.1, p. D4-1D1-13, 2000.

CHENG, C. L.. The evaluation of water conservation for green building in Taiwan. In: CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. **Proceedings.** CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro, v.1, p.B5-1B5-10, 2001.

CHU. S. C. et al.. The study for influencing factors of rainwater catchment system capacity. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 9., Petrolina, 1999. **Proceedings.** Petrolina: ABRH, 1999. p. 8.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 20 de 18 de junho de 1986, artigo nº 4.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res99/res25299.html>>. Acesso em 06.03.2003.

COWLING, E.. **Acid precipitation in historical perspective**, Environ. Sci. Technol., 16 (2), p.110A-123A, 1992.

DACACH, N. G.. **Saneamento básico**. 3 ed. Rio de Janeiro: Didática e Científica, 1990.

DACACH, N. G.. **Sistemas urbanos de esgoto**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1984.

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

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. **Manual: Guidelines for water reuse**. Washington, DC: 1992 (EPA/625/R-92/004).

EXPOLABOR. **Análises microbiológicas de águas – significado e aplicação**. Seminário Expolabor. São Paulo, 2002.

FEITOSA, N. B.; MEDEIROS FILHO, C. F. M.. **Abastecimento de água no meio rural**. Universidade Federal da Paraíba – Centro de ciências e tecnologia. Disponível em <<http://www.saneamento10.hpg.ig.com.br/A0.html?submit=Anterior>> Acesso em: 09 outubro 2003.

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.. **Chuva ácida em São Paulo: Caracterização química de amostras integradas e seqüenciais de deposição úmida**. São Paulo, 1991. 119 f. Dissertação (Mestrado em Química Fundamental) – Instituto de Química, Universidade de São Paulo.

FORNARO, A.; GUTZ, I. G. R.. Acid Deposition and Related Atmospheric Chemistry at the São Paulo Metropolis, Brazil: Part II – Contribution of Formic and Acetic Acids. São Paulo, 2000. **Proceedings**: São Paulo: FRG 2000.

FORTI, M. C. et. al.. **Elements in the precipitation of São Paulo city (Brazil)**. Atm. Environ. 1999. 24B, p.355-366.

FRASIER, G. W.. **Proceedings of water harvesting symposium**. Berkeley: USDA (United states agricultural research service), 1975.

GARCEZ, L. N.; ALVARES, G. A.. **Hidrologia**, 2 ed., São Paulo: Edgard Blucher, 1988.

GARDNER, T.; COOMBES, P; MARKS, R.. **Use of rainwater at a rang of scales in Australian urban environments**. Disponível em: <<http://www.eng.Newcastle.edu.au/~cegak/Coombes/RainwaterScales.htm>>. Acesso em: 26 agosto 2002.

GELT, J.. **Home use of gray water, rainwater conserves water and may save money**. Disponível em: <<http://www.ag.Arizona.Edu/AZWATER/Arroyo/071rain.html>>. Acesso em: 13 dezembro 2002.

GHANAYEM, M.. Environmental considerations with respect to rainwater harvesting. Palestine, Applied Research Institute-Jerusalem. In: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS, Manheim, 2001. **Proceedings**. Germany, 2001. p11.

GNADLINGER, J.. A contribuição da captação de água de chuva para o desenvolvimento sustentável do semi-árido brasileiro: Uma abordagem focalizando o povo. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, Paraíba, 2001. **Anais**. Paraíba: ABRH, 2001. p.10. 1 CD – ROM.

GNADLINGER, J.. Captação de água de chuva para uso doméstico e produção de alimentos: A experiência do estado de Gangu no norte da China. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, Paraíba, 2001. **Anais**. Paraíba: ABRH, 2001. p.13. 1 CD – ROM.

GNADLINGER, J.. **Coleta de água de chuva em áreas rurais**. Associação Internacional de Sistemas de Coleta de Água de Chuva. 2º Fórum Mundial da Água, Holanda, 2000. Disponível em: <<http://irpaa.org.br/colheita/indexb.htm>> Acesso em 31 jul. 2003.

GUANGHUI, M. et. al.. The quality and major influencing factors of runoff in Beijing's urban area. In: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS, Manheim, 2001. **Proceedings**. Germany, 2001. p10.

HARRISON, R. M.. **Understanding our environment: An Introduction to Environmental Chemistry and Pollution**. 2 ed. University of Birmingham. The Royal Society of Chemistry, 1995.

HESPANHOL, I. **Revisão da resolução em elaboração do CONAMA para efluente classe III**. São Paulo, 4 nov. 2003. Anotações pessoais, São Paulo, 2003.

HOFKES, E. H.. **Rainwater harvesting for drinking water supply and sanitation**. Londres: International reference center for communing water supply, 1981.

INAMINE, M. et al.. Rainwater catchment availability for building in drought-prone Okinawa and proposed numerical appraisal. In: CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. **Proceedings**. CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro, v.1, p.D6-1D1-6, 2000.

PNUMA - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **Informativo do comitê brasileiro do programa das nações unidas para o meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.unilivre.org.br/>>. Acesso em: 26 março 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA DA FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (IBRE-FGV). **Índices Gerais IGP/DI**. Disponível em: <<http://www.fgv.br/IBRE/DGD/ceputi04.cfm#IGPDI>>. Acesso em 11.02.2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico 2000**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 11.02.2003.

IWANAMI, H.. Rainwater utilization system in building. In CIBW62 SEMINAR, Tokyo Japan. **Proceeding**. 1985.

JALFIM, F. T.. Considerações sobre a viabilidade técnica e social da captação e armazenamento da água da chuva em cisternas rurais na região semi-árida brasileira. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, Paraíba, 2001. **Anais**. Paraíba: ABRH, 2001. p.6. 1 CD – ROM.

JOHN, L.. **O mundo discute água e sobrevivência**. O estado de São Paulo, 16 mar. 2003. Geral, Caderno A, p.A16.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A.. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 1995.

KHAN, I. A.. **Domestic roof water harvesting technology in that desert, Índia**. RWH Conference, IITD, New Delhi, abril de 2001. Disponível em: <http://www.rainwaterharvesting.com/paperslnPDF/App2.pdf>>. Acesso em 1 ago. 2001.

KITA, I. et al.. Local government's financial assistance for rainwater utilization in Japan. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 9., Petrolina, 1999. **Proceedings**. Petrolina: ABRH, 1999. p. 5.

LEAL, A. C.; Herrmann, H.. Gestão dos recursos hídricos e a construção das cidades construtoras para o próximo milênio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13, Belo Horizonte, 1999. **Anais**. Belo Horizonte: ABRH, 1999. p. 12. 1 CD-ROM.

LEAL, U.. **Ciclo da água na edificação**. Técnica, v. 9, n. 48, p.45-6, set/out. 2000.

MARKS, R. et. al. **Use of rainwater in Australian urban environments**. In: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS, Mannheim, 2001. **Proceedings**. Germany, 2001. p9.

MATIAS, J. A. B.. Cisterna de placas pré-moldadas. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, Paraíba, 2001. **Anais**. Paraíba: ABRH, 2001. p.6. 1 CD – ROM.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 1469 de 29 de dezembro de 2000, artigo 16º**. Disponível em: <<http://www.springway.com.br/asau/legi.html>>. Acesso em 12.04.2003.

MOFFA, P. E.. **The control and treatment of industrial and municipal storm water**. United states of America, Van Nostrand Reinhold, 1996.

MONTERO, F. A.. **Capital pode economizar 70% da água com reúso da chuva**. [Depoimento a Rodrigo Pinotti]. Gazeta Mercantil, São Paulo, 21 junho, 2001. p.7.

MONTICELI, J. J. et.al.. **A luta pela água**. São Paulo. Ed. Eme, 1993.

MOREIRA-NORDEMANN, L. M.. **Mudanças Globais e Desenvolvimento Sustentável**. Serie ciências Ambientais – 20. Universidade de São Paulo, 1994.

OLIVEIRA, W. E.. **Abastecimento de água**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 1976.

PAIVA, R. P. et al.. A Preliminary Study of the Anthropogenic Contribution to São Paulo Rainfall São Paulo, 1994. **Proceedings**: São Paulo: FRG 1994.

PALMIER, L. R.. A necessidade das bacias experimentais para a avaliação da eficiência de técnicas alternativas de captação de água na região semi-árida do Brasil. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, Paraíba, 2001. **Anais.** Paraíba: ABRH, 2001. p.8. 1 CD – ROM.

PETRY, B.; BOERIU, P.. **Environmental Impact Assessment. Water Quality Management Strategies for Sustainable Use of Water Resources 2000.** International Institute for Infrastructural, Hydraulic and Environmental Engineering. 2000.

PUSHPANGAGAN, K.; SIVANANDAN, P. K.. Technology, quality and cost of water from DRWH: A case study of Kerala, India. In: RWH Conference, IITD, New Delhi. **Proceedings.** RWH Conference, IITD, New Delhi, v.1, p.E3-1E1-9, 2001.

RICHTER, A. C.; NETTO, J. M. A.. **Tratamento de água:** tecnologia atualizada. São Paulo: Edgard Blucher, 2000. v.1.

ROCHA, F. R. et al.. Wet deposition and related atmospheric chemistry in the São Paulo Metropolis, Brazil: Part I. Capillary electrophoresis of rainwater. São Paulo, 1998. **Proceedings:** São Paulo: FRG 1998.

ROCHA LIMA JÚNIOR, J.. **Análise de Investimentos: Princípios e Técnicas para Empreendimentos do Setor da Construção Civil.** TT/PCC/06. 1993. 52 p.

ROCHA LIMA JÚNIOR, J.. **Princípios para Análise de Qualidade de Empreendimentos: o Caso dos Empreendimentos de Base Imobiliária.** BT/PCC/153. 1995. 76 p.

SCHIMIDT, M.. Captação de água de chuva na Alemanha. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, Paraíba, 2001. **Anais.** Paraíba: ABRH, 2001. p.8. 1 CD – ROM.

SCHISTEK, H.. A cisterna de tela e cimento. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, Paraíba, 2001. **Anais.** Paraíba: ABRH, 2001. p.10. 1 CD – ROM.

SHIKLOMANOV, I. A.. **World Water Resources. A new appraisal and assessment for the 21st century.** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, 1998. Disponível em: <<http://unesdoc.unesco.org/images/0011/001126/112671eo.pdf>>. Acesso em 21 set. 2001.

SOARES, D. A. F. et al.. Considerações a respeito da reutilização das águas residuárias e aproveitamento das águas pluviais em edificações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., Vitória, 1999. **Anais**. Vitória: ABRH, 1999. p.7. 1 CD – ROM.

SOARES, D. A. F. et al.. Sizing a rainwater reservoir to assist toilet flushing. In: CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. **Proceedings**. CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro, v.1, p.D11-1D1-12, 2000.

SOARES, D. A. F; GONÇALVES, O. M.. Fuzzy sets applied to the building reuse systems design. In: CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. **Proceedings**. CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro, v.1, p.B3-1B1-8, 2001.

SOBRAL, H. R.. **O meio ambiente e a cidade de São Paulo**. São Paulo, Makron Books, 1996.

SONDA, C. et. al.. A convivência da mulher com o semi-árido: A vida antes e depois das cisternas. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, Paraíba, 2001. **Anais**. Paraíba: ABRH, 2001. p.8. 1 CD – ROM.

SOUZA, M. M.. **Relatório da água faz alerta sobre inércia política**. O estado de São Paulo, 06 mar. 2003. Geral, Caderno A, p.A8.

TARIFA, J.R.; CASTRO M. G. S.. **Acidez da chuva na cidade de São Paulo**, São Paulo, n. 3, 1990. Disponível em: <<http://www.qualidade da água .com.br/>>. Acesso em 30 outubro 2001.

THOMAS, T. et. al.. Bacteriological quality of water in DRWH – Rural Development. In: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS, Manheim, 2001. **Proceedings**. Germany, 2001. p14.

THOMAS, T.. Escolha de cisternas para captação de água de chuva no sertão. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA NO SEMI-ÁRIDO, Paraíba, 2001. **Anais**. Paraíba: ABRH, 2001. p.7. 1 CD – ROM.

TOMAZ, P.. **Aproveitamento de água de chuva**: Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar, 2003.

TOMAZ, P.. **Conservação da água**. 1. ed. São Paulo: Parma, 1998.

TOMAZ, P.. **Economia de água**: Para empresas e residências. São Paulo: Navegar, 2001. 112p.

TOMAZ, P.. **Previsão de consumo de água**: Interface das instalações prediais de água e esgoto com os serviços públicos. São Paulo: Navegar, 2000. p. 15-71.

TWORT A. C. et al.. **Water Supply**. 2 ed. London. Cox & Wyman Ltd, 1974.

UNESCO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. **Water availability of the world**. Disponível em: <http://webworld.unesco.org/water/ihp/shiklomanov/html>. Acesso em: 06.04.2003.

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

VICKERS, A.. **Handbook of water use and conservation**. Massachusetts, 2001.

VILLIERS, M.. **Água: Como o uso deste precioso recurso natural poderá acarretar a mais séria crise do século XXI**. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002.

VYAS, V.. **Modelling temporal variability in natural resorces – Rainwater harvesting systems as example**. RWH. Conference, IITD, New Delhi, abril de 2001. Disponível em: <http://www.gardenwatersaver.com/02inskit.htm>>. Acesso em 1 ago. 2001.

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 13 dez. 2002.

WAWERU, D. W.. Influence of rainfall amount and distribution on rainwater catchment system design. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA, 9., Petrolina, 1999. **Proceedings**. Petrolina: ABRH, 1999. p 4.