UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL,
ARQUITETURA E URBANISMO.

Aline Chieka Jó

Balanço hídrico e energético de um sistema predial de aproveitamento de água de chuva.

Campinas - SP.
2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO.

Balanço hídrico e energético de um sistema predial de aproveitamento de água de chuva.

Aline Chieka Jó

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração de Saneamento e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani

Co-orientador: Prof. Dr. Wolney Castilho Alves

Campinas - SP.
2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

Jó, Aline Chieka
J569b Balanço hídrico e energético de um sistema predial de aproveitamento de água de chuva / Aline Chieka Jó. --Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientadores: José Euclides Stipp Paterniani, Wolney Castilho Alves.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Água. 2. Energia. 3. Balanço energético. I. Paterniani, José Euclides Stipp. II. Alves, Wolney Castilho. III. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. IV. Título.

Título em Inglês: Water and energy balance of a rainwater harvesting system for a building gutter
Palavras-chave em Inglês: Water, Energy, Energy balance
Área de concentração: Saneamento e Ambiente
Titulação: Mestre em Engenharia Civil
Banca examinadora: Ricardo de Lima Isaac, Denis Miguel Roston
Data da defesa: 29-04-2011
Programa de Pós Graduação: Engenharia Civil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

BALANÇO HÍDRICO E ENERGÉTICO DE UM SISTEMA PREDIAL DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

Aline Chieka Jó

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani
Presidente e Orientador
FEC/UNICAMP

Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac
FEC/UNICAMP

Prof. Dr. Denis Miguel Roston
FEAGRI/UNICAMP

Campinas, 29 de Abril de 2011

Dedico este trabalho aos meus pais,
Elza Toda e Yukio Jo, pelo amor e compreensão.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela benção da vida.

A minha família, pelo carinho, apoio e compreensão.

Ao Mateus, pela ajuda, incentivo e companherismo.

Ao Prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani, pela orientação e oportunidade que tive durante esta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Wolney Castilho Alves, pela inestimável sabedoria.

Ao Prof. Dr. Luciano Zanella, pela riqueza dos comentários e motivação.

Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT, pela infra-estrutura oferecida.

Aos pesquisadores e funcionários do IPT, pela disposição em sempre ajudar no desenvolvimento deste trabalho.

Aos amigos e colegas que, de certa forma, acabaram contribuindo na realização deste trabalho.

“Se queremos progredir, não devemos repetir a história,
mas fazer uma história nova.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

JÓ, Aline Chieka. **Balanço hídrico e energético de um sistema predial de aproveitamento de água de chuva.** 2011. 151p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área: Saneamento e Ambiente). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Campinas SP.

O uso da água de chuva como fonte alternativa de abastecimento de água é uma prática em grande ascensão, principalmente pela importância no que concerne à conservação dos recursos hídricos. No entanto, comumente o usuário desconsidera o consumo energético que este sistema possa demandar, e dependendo da concepção do mesmo, pode ser considerado um fator relevante na sua aplicação. As concepções e os componentes de um sistema de aproveitamento de água de chuva variam em função da necessidade de cada usuário e da destinação final do uso da água. Existem sistemas simples, que compõem equipamentos básicos de tratamento e reservação, e sistemas complexos que envolvem equipamentos automatizados, estes geralmente demandam energia, como bombas de elevação e sistemas de desinfecção. Diante disso, o presente trabalho apresenta o modelo equacional teórico aplicável para qualquer concepção de sistema predial de aproveitamento de água de chuva, do qual se obtém um índice de valor energético para cada volume de água de chuva efetivamente aproveitada pelo sistema. A partir desse modelo, pode-se também verificar a eficiência e a viabilidade do sistema, tanto na questão conservacionista quanto na econômica. Como exemplo de aplicação do modelo, utilizou-se o sistema predial de aproveitamento de água de chuva instalado no campus do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), que destina a água de chuva para a lavagem de piso da cozinha e do refeitório do referido local. O índice médio obtido foi de 3,17 kWh/m³, considerado alto, se comparado com sistemas públicos de abastecimento que em média o índice é de 0,60 kWh/m³ e outros sistemas de aproveitamento de água de chuva que é de 0,05kWh/m³. Este alto índice está relacionado com o consumo de energia do sistema de desinfecção por ozônio, e não com o da bomba hidráulica, como se havia suposto inicialmente. O período de retorno do investimento foi de cinco a seis anos. Concluindo, o modelo teórico servirá como ferramenta de avaliação do sistema de aproveitamento de água de chuva em estudo, de forma que o projetista ou usuário consiga otimizá-lo, considerando as particularidades de cada situação.

Palavras chaves: água e energia, balanço hídrico, balanço energético, sistemas de aproveitamento de água de chuva.

ABSTRACT

JÓ, Aline Chieka. **Water and energy balance of a rainwater harvesting system for a building gutter.** 2011. 151p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, Área: Saneamento e Ambiente). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Campinas SP.

The use of rainwater as an alternative source of water supply is a practice on the rise, mainly for its importance in conservation of water resources. However, the user often ignores the energy that this system may require, and depending on its design, can be considered a relevant factor in its application. The conceptions and components of a rainwater harvesting system vary depending on the needs of each user and its final destination. There are simple systems made with basic equipaments and reservation processing, and complex systems involving automated equipments, which generally require energy, such as lifting pumps and disinfection systems. Therefore, this paper presents a theoretical and equational model, applicable at any building to realize a rainwater harvesting system, from which you get an energy value index for each volume of rainwater effectively utilized by the system. From this model, it is also possible to check the system's efficiency and viability, both in conservation and economic question. As an example of an applied model, the rainwater harvesting building system installed on the campus of the Institute for Technological Research of São Paulo (IPT) was used, which directs rain water to wash the kitchen floor and the cafeteria of this site. An average rate of 3,17 kWh/m³ was obtained, considered elevated when compared to public supply systems, that on average attains rates of 0,60 kWh/m³, and other systems with 0,05kWh/m³. This high rate is related to the energy consumption of the ozone disinfection system, not with the hydraulic pump, as had been assumed initially. The payback period is five to six years. In conclusion, the theoretical model will serve as an evaluating tool of the rainwater harvesting system in study, so that the designer or user can optimize it, considering the particularities of each situation.

Key words: water and energy, water balance, energy balance, Rainwater harvesting systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Usos múltiplos da água. 24
Figura 3.2 - Distribuição do consumo de água nas residências em São Paulo e na Alemanha. 31
Figura 3.3 - Esquema de coleta de água de chuva com reservatório de auto-limpeza. 47
Figura 3.4 - Formas construtivas de sistemas de aproveitamento de água de chuva. 49
Figura 3.5 - Área de coleta (à esquerda) – telhado e laje (à direita). 51
Figura 3.6 - Área de coleta - telhado e pátio. 52
Figura 3.7 - Grelha para conexão entre calha e tubo de queda. 53
Figura 3.8 - Modelos de separadores simplificados de sólidos grosseiros. 53
Figura 3.9 - Filtros de descida de colocação junto às calhas disponíveis no mercado internacional. 54
Figura 3.10 - Filtros de descida industrializados. 55
Figura 3.11 - Filtros de fluxo horizontal industrializados. 56
Figura 3.12 - Filtros fixos internos da cisterna. 57
Figura 3.13 - Filtros flutuantes de saída da água da cisterna. 58
Figura 3.14 - Reservatório de água de chuva com tonel. 60
Figura 3.15 - Reservatório de auto-limpeza com torneira bóia. 60
Figura 3.16 - Dispositivo de descarte tipo esfera: esquema de funcionamento. 62
Figura 3.17 - Dispositivo de filtração de material grosseiro, descarte tipo comporta flutuante e Armazenamento 63
Figura 4.1 – Fluxograma da composição e configuração dos sistemas de aproveitamento de água de chuva. 72
Figura 4.2 - Configurações genéricas dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, com o Filtro de material grosseiro antes do dispositivo de descarte (a) e seguido do dispositivo de descarte (b). 74
Figura 5.1 - Fluxograma geral de cálculo do balanço hídrico para os sistemas de aproveitamento de água de chuva. 79
Figura 5.2 - Variação da eficiência em relação a vazão de entrada dos filtros de grosseiros com tecnologias de auto-limpeza. 84
Figura 5.3 - Fluxograma de cálculo da terceira etapa do balaço hídrico. 89
Figura 6.1 - Pluviometria média para o município de São Paulo. 95

Figura 6.2 - Representação esquemática do sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT. 96
Figura 6.3 - Superfície de captação da água de chuva do sistema – telhado da cozinha do IPT... 96
Figura 6.4 - Bancada piloto de testes de equipamentos e aproveitamento de água de chuva. 97
Figura 6.5 - Sistema de ozonização instalado em campo (à esquerda) e ilustração de recirculação do ozônio (à direita)..... 98
Figura 6.6 - Reservatórios de armazenamento de água de chuva..... 99
Figura 6.7 - Pluviógrafo em campo, parte interna do equipamento – basculantes e sistema de aquisição de dados (datalogger). 100
Figura 6.8 - Hidrômetros instalados em campo para leitura do consumo de água de chuva (à esquerda) e do consumo de água da rede pública (à direita). 101
Figura 6.9 - Reprentação gráfica da eficiência de aproveitamento do Filtro A conforme vazão aplicada..... 107
Figura 7.1 - Valores dos volumes mensais obtidos para o balanço hídrico do sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT nos meses de janeiro e maio de 2010..... 131
Figura 7.2 - Distribuição dos volumes não aproveitados (área de captação, dispositivo de descarte e extravasão e filtros de grosseiro) nos meses de janeiro e maio no sistema experimental de aproveitamento de água de chuva do IPT nos meses de janeiro e maio de 2010..... 132

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Impactos decorrentes das atividades humanas sobre os corpos d'água 22
Tabela 3.2 - Distribuição do consumo de água em edificações domiciliares..... 32
Tabela 3.3 - Padrões de Potabilidade da Água 45
Tabela 3.4 - Componentes básicos de um sistema predial de aproveitamento de água de chuva. 47
Tabela 3.5 - Coeficiente de *Runoff* adotado por Hofkes (1975) e Frasier (1975) 50
Tabela 3.6 - Coeficiente de *Runoff* utilizado por Tucson e Phoenix 50
Tabela 3.7 - Coeficientes de escoamento superficial adotados para aproveitamento de água de chuva..... 51
Tabela 3.8 - Variação da qualidade da água de chuva devido à área de coleta. 64
Tabela 3.9 - Tipos de tratamento de acordo com a utilização da água..... 65
Tabela 3.10 - Técnicas de tratamento da água da chuva em função da localização..... 66
Tabela 5.1 - Variáveis utilizadas para o cálculo das etapas do Balanço Hídrico. 80
Tabela 5.2 - Relação de eficiência de aproveitamento hidráulico de diversos filtros de grosseiros para cada vazão de referência. 84
Tabela 6.1 - Registro de chuvas do dia 05 de Janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57. . 103
Tabela 6.2 - Resultados do balanço hídrico da primeira etapa, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57..... 105
Resultados do balanço hídrico da primeira etapa, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57 (Continuação). 106
Tabela 6.3 - Resultados do balanço hídrico da segunda etapa, referente ao Filtro de material grosseiro, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57. 109
Tabela 6.3 - Resultados do balanço hídrico da segunda etapa, referente ao Filtro de material grosseiro, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57 (Continuação)..... 110
Tabela 6.4 - Resultados do balanço hídrico da segunda etapa, referente ao Dispositivo de Descarte de Primeira Chuva, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57. 112

Tabela 6.4 - Resultados do balanço hídrico da segunda etapa, referente ao Dispositivo de Descarte de Primeira Chuva, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57 (Continuação). 113
Tabela 6.5 - Resultados do balanço hídrico da terceira etapa, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 13h32 a 23h57 116
Tabela 6.5 - Resultados do balanço hídrico da terceira etapa, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 13h32 a 23h57 (Continuação). 117
Tabela 6.5 - Resultados do balanço hídrico da terceira etapa, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 13h32 a 23h57 (Continuação). 118
Tabela 6.6 - Resultados finais do balanço hídrico dia a dia para o mês de Janeiro de 2011. 120
Tabela 6.7 - Resultados finais do balanço hídrico dia a dia para o mês de Maio de 2010. 121
Tabela 6.8 - Resultados de consumo de energia pela bomba hidráulica para o mês de Janeiro de 2011. 124
Tabela 6.9 - Resultados de consumo de energia pela bomba hidráulica para o mês de Maio de 2010. 125
Tabela 6.10 - Resultados de consumo de energia pelo sistema de desinfecção para mês de Janeiro de 2011. 127
Tabela 6.11 - Resultados de consumo de energia pelo sistema de desinfecção para mês de Maio de 2010. 128
Tabela 6.12 - Valores do balanço energético, hídrico e o ILE do sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT. 129
Tabela 7.1 - Partes constituintes do sistema experimental do IPT, classificação e observação de eventos 133
Tabela 7.2 - Índices volumétricos de avaliação do sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT nos meses de janeiro e maio de 2010. 136

LISTA DE SIGLAS

A	Área de captação do sistema (m²)
C	Coeficiente de runoff da cobertura
CTE	Consumo total de energia no sistema de aproveitamento de água de chuva (kWh)
ε	Eficiência de aproveitamento do filtro de grosseiro (%).
E	Energia consumida (kWh)
E_{BOMBA}	Energia consumida pela bomba hidráulica (kWh)
E_{SD}	Energia consumida pelo sistema de desinfecção (kWh)
i	Intensidade de chuva
IBR	Índice bruto de aproveitamento de água de chuva
ILE	Índice líquido de consumo energético (kWh/m³)
INA	Índice de não aproveitamento de água de chuva
IPS	Índice de perdas de água na instalação predial de aproveitamento
ISF	Índice de substituição de fontes ou de substituição de água potável
P	Altura pluviométrica (mm)
PD	Altura pluviométrica de lavagem do telhado (mm).
PO	Potência do equipamento (kW)
PO_B	Potência da bomba hidráulica (kW)
PO_{SD}	Potência do sistema de desinfecção (kW)
QA_1	Vazão aproveitada de água da primeira etapa
QA_{2F}	Vazão aproveitado da segunda etapa – Filtro de grosseiros
QE_1	Vazão de precipitação ou Vazão de entrada de água no sistema da primeira etapa
QE_{2F}	Vazão de entrada de água no sistema da segunda etapa – Filtro de grosseiros
T	Tempo de operação do equipamento (horas)
VA	Volume efetivamente aproveitado
VA_1	Volume aproveitado de água da primeira etapa
VA_{2D}	Volume aproveitado da segunda etapa – Dispositivo de descarte
VA_{2F}	Volume aproveitado da segunda etapa – Filtro de grosseiros
VA_3	Volume aproveitado da terceira etapa ou Volume efetivamente aproveitado para consumo
VC	Volume de demanda ou de consumo
VD	Volume de déficit
VE	Volume de entrada de água no sistema
VE_1	Volume precipitado ou Volume de entrada de água no sistema da primeira etapa
VE_{2D}	Volume de entrada de água no sistema da segunda etapa – Dispositivo de descarte

VE_{2F} Volume de entrada de água no sistema da segunda etapa – Filtro de grosseiros

VE_3 Volume de entrada para armazenamento – terceira etapa

VNA Volume não aproveitado

VNA_{2D} Volume não aproveitado da segunda etapa – Dispositivo de descarte

VNA_{2F} Volume não aproveitado da segunda etapa – Filtro de grosseiros

VNA_3 Volume não aproveitado da terceira etapa

VTA Volume total de água de chuva efetivamente aproveitado (m^3)

VU Volume de reservação ou útil do reservatório

SUMÁRIO

RESUMO **7**

LISTA DE FIGURAS **9**

LISTA DE TABELAS **11**

LISTA DE SIGLAS **13**

1. INTRODUÇÃO **17**

2. OBJETIVO **19**

2.1. Objetivos específicos 19

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **21**

3.1. O ciclo urbano da água 21

3.2. Usos múltiplos da água 23

3.3. Princípios alternativos para o uso urbano das águas 26

3.4. Água e Energia 27

3.5. Sistemas de abastecimento públicos 29

3.6. Sistemas Prediais 30

3.7. Sistemas de aproveitamento de água de chuva 35

3.7.1. Histórico do aproveitamento de água de chuva 36

3.7.2. Experiências no Brasil 40

3.7.3. Qualidade da água de chuva 42

3.7.4. Componentes do sistema de aproveitamento de água de chuva 46

3.7.5. Perdas de água e consumo de energia 68

4. METODOLOGIA **71**

5. **DESENVOLVIMENTO DO MODELO TEÓRICO 77**

5.1. Procedimento de Cálculo do Balanço Hídrico 78

5.2. Procedimento de Cálculo do Balanço Energético.....90

5.3. Balanço hídrico e energético.....93

6. APLICAÇÃO DO MODELO TEÓRICO 95

6.1. Cálculo do Balanço hídrico.....102

6.1.1. Primeira etapa.....102

6.1.2. Segunda Etapa 107

6.1.3. Terceira Etapa 114

6.2. Cálculo do Balanço Energético 122

6.3. Resultado final – Balanço hídrico e energético.....129

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO 131

7.1. Eficiências do Sistema de Aproveitamento de água de chuva do IPT 134

7.2. Análise de viabilidade econômica 140

8. CONCLUSÕES E RECOMEDAÇÕES.....143

9. REFERÊNCIAS 147

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade da água tornou-se limitada pelo comprometimento de sua qualidade, pelos períodos de maior escassez hídrica e demanda excessiva. Contudo, a escassez da água não deve ser considerada um problema exclusivo da sociedade atual, principalmente pela intensa dependência dos recursos energéticos para exercer qualquer atividade cotidiana. E assim como o abastecimento de água, o acesso a energia é um serviço que faz parte da necessidade básica da população, fato que tem impulsionado a preocupação com a preservação destes recursos, especialmente para garantir sua disponibilidade para gerações futuras.

Os esforços para conservar água e energia podem ser vistos como complementares e sinérgicos, especialmente quando se analisam os sistemas públicos de abastecimento de água. A energia necessária para mover a água através dos sistemas de água municipais representa quase que a totalidade do consumo energético de um sistema de abastecimento de água. Cada litro de água consumido ou desperdiçado também representa um consumo específico de energia.

O consumo de energia elétrica apresenta relação direta com as quantidades de água consumidas em uma cidade, evidenciando o interesse dos programas de conservação de água e de energia. Assim, as atividades implantadas para economizar água e energia podem ter um impacto positivo maior se planejadas conjuntamente.

Os programas de conservação de águas são constituídos de uma ampla gama de medidas possíveis de ação tanto interna quanto externa à edificação. São exemplos de ações que visam à conservação de águas: o combate aos vazamentos nas redes de distribuição, programas de educação ambiental visando o consumo consciente, utilização de equipamentos economizadores de água e a substituição de fontes. Destacando esta última ação, trata-se, basicamente, em utilizar recursos hídricos provenientes de fontes alternativas como o reuso de água ou a água coletada da chuva em substituição às fontes existentes em usos onde a qualidade da água tenha padrões de uso menos exigentes que aqueles da potabilidade. Nesta categoria enquadra-se o aproveitamento de água da chuva captada a partir das edificações do meio urbano.

Sendo assim as tecnologias de conservação envolvidas com o uso e manejo de águas, esgotamento ou reciclo associados à redução do consumo de energia, implicam em uma conservação de benefícios líquidos positivos. Considera-se que o benefício líquido é positivo quando a agregação de todos os ganhos de uma ação ou de um programa de conservação excede a agregação de todos os efeitos adversos (custos e benefícios negativos) ocasionados por ela. Dessa forma, se a conservação de um recurso implica na dilapidação de outro, não existe uma ação verdadeiramente conservacionista (BAUMANN et al.,1984 apud MONTENEGRO & SILVA, 1987).

Os sistemas de aproveitamento de água da chuva possuem características próprias e individualizadas, determinadas conforme sua destinação final e demanda. Ainda assim, geralmente, os sistemas apresentam componentes básicos, a saber: superfície de captação, filtro de material grosseiro, dispositivo de descarte das águas de primeira chuva, reservatório para armazenamento (superior e/ou inferior). Em certos casos, também possuem algum tipo de sistema de desinfecção e bomba hidráulica, caso seja necessário elevar a água para reservatórios superiores.

Frente a essas considerações, faz-se necessário realizar o estudo de balanço hídrico e energético de sistemas de aproveitamento de água de chuva, na qual se avaliam as perdas de água pelos componentes, o volume efetivamente aproveitado e o consumo de energia, e se estabelece um modelo teórico genérico relacionando os aspectos hídrico e energético dos sistemas prediais de aproveitamento de água de chuva. O resultado desse modelo é a relação entre a energia consumida pelo sistema e o volume aproveitado de água de chuva, fixando um índice energético para cada metro cúbico de água de chuva efetivamente aproveitado.

A partir dos resultados desse modelo, avalia-se também a contribuição na redução dos custos com o uso da água de chuva em substituição da água vinda da rede pública incrementando os custos de energia consumidos pelo sistema. Deve-se analisar cada caso considerando as particularidades dos sistemas em estudo, visando a otimização do funcionamento do mesmo.

Seguido da demonstração do modelo teórico, para exemplificar sua aplicação, fez-se uso do sistema piloto de aproveitamento de água de chuva instalado no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo para realização dos estudos de balanço hídrico e energético.

2. OBJETIVO

Desenvolver um modelo equacional teórico aplicável a qualquer sistema predial de aproveitamento de água de chuva, indicando as principais variáveis do balanço hídrico e energético do sistema obtendo o índice do custo energético para cada metro cúbico de água de chuva aproveitada (kWh/m³).

2.1. Objetivos específicos

- ✓ Aplicação do modelo teórico para um sistema de aproveitamento de água de chuva em refeitório industrial.
- ✓ Avaliar o desempenho e eficiência do exemplo de sistema de captação e aproveitamento de água de chuva a partir dos resultados do modelo teórico.
- ✓ Avaliar o diferencial financeiro entre o uso de águas de chuva em substituição da água potável considerando a incidência do custo de energia e realizar o procedimento de cálculo do período de retorno do investimento.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O ciclo urbano da água

A circulação da água em uma área urbana, nos seus diversos usos e formas, na realidade é apenas uma etapa de um sistema muito maior representado pelo ciclo da água na natureza. A intervenção humana no ciclo natural da água originou um ciclo menor, de natureza antrópica, que acontece dentro das cidades, denominado ciclo urbano das águas, que compreende, na sua forma atual, os sistemas públicos de abastecimento de água, de esgotamento sanitário e de gerenciamento de águas pluviais. Na verdade, podem-se considerar sub-ciclos antrópicos diversos vinculados ao uso urbano da água. Em geral, esses sub-ciclos se associa às ações estruturais do homem visando o uso da água.

Um dos sub-ciclos urbanos mais importantes para a existência do meio urbano é formado pela captação da água nos mananciais, adução de água bruta, tratamento para potabilização, distribuição de água na área urbana, uso da água potável e geração de águas residuárias, coleta das águas residuárias, tratamento dessas águas em estações de tratamento de esgotos e disposição das águas residuárias tratadas no corpo receptor, fechando o ciclo.

Deve-se também considerar o manejo de águas pluviais nas áreas urbanas que, segundo o novo paradigma instaurado internacionalmente, visa adequar os fenômenos de precipitação e escoamento ao novo meio físico criado pela ocupação urbana, incluindo entre seus objetivos a prevenção ou minimização de danos causados por inundações, bem como a manutenção de condições adequadas aos ecossistemas aquáticos e outros a eles associados.

A Tabela 3.1 apresenta um conjunto de impactos sobre os corpos d'água decorrentes de atividades humanas. Esses impactos afetam de maneira direta o ciclo natural das águas colocando tanto o ambiente quanto as próprias atividades humanas em risco.

Tabela 3.1 - Impactos decorrentes das atividades humanas sobre os corpos d'água

Atividade humana	Impacto potencial	Função ameaçada
Crescimento populacional e do consumo	Aumenta a captação de água e a superfície de áreas cultiváveis através da drenagem de áreas alagadas; aumenta a demanda para todos os outras atividades, com conseqüentes riscos.	Virtualmente todas as funções dos ecossistemas, inclusive habitat, produção e regulação.
Desenvolvimento de infra-estruturas (barragens, diques, represas, derivações, etc.)	A perda de integridade altera o regime de vazões (quantidade e tempo), a temperatura da água, nutrientes e transporte de sedimentos, causando assoreamento dos estuários e bloqueando a migração de peixes.	Quantidade e qualidade da água, habitats, fertilidade do solo, pesca e economia dos estuários.
Conversão de terras	Elimina elementos chave dos ambientes aquáticos; perda de funções; integridade, biodiversidade e habitat; altera o escoamento; inibe a recarga natural de aqüíferos; assoreamento de corpos d'água.	Controle natural de inundações; abastecimento de água; quantidade e qualidade de água.
Exploração excessiva	Escasseia os recursos vivos, as funções dos ecossistemas, e a biodiversidade (esgotamento da água subterrânea, colapso da Ictofauna	Produção de alimentos, abastecimento de água, quantidade e qualidade de água.
Introdução espécies exóticas	Competição entre espécies; alteração da produção e da ciclagem de nutrientes; perda de diversidade entre as espécies naturais.	Produção de alimentos; habitat da fauna, recreação.
Descarte de poluentes no solo, no ar e na água	Poluição dos corpos d'água altera a química e a ecologia dos rios, lagos e alagados. O efeito estufa modifica dramaticamente o comportamento das chuvas e do escoamento.	Abastecimento de água, qualidade de água; produção de alimentos; modificações climáticas podem impactar a produção de energia hidroelétrica, capacidade de diluição, transporte e controle de inundações.

Fonte: UNESCO (2003) - Water for People, Water for Life - UN World Water Development Report (WWDR).

O modelo de serviços públicos associados ao abastecimento e manejo de águas residuárias e pluviais tem sido desenvolvido com base no atendimento das necessidades humanas e, de certa maneira, ignorando que o ciclo urbano é apenas um sub-ciclo do ciclo da água na natureza.

Sob essa ótica de atendimento às necessidades humanas, os sistemas públicos de abastecimento de água potável, o de esgotamento sanitário e o de manejo urbano das águas pluviais, na sua concepção clássica, obedecem primordialmente a critérios de manutenção e melhoria da saúde pública, do conforto, da economicidade e da provisão de bases para o desenvolvimento econômico. Entretanto, a insuficiência desses critérios, ou de outra forma, as limitações de sua natureza intrínseca, induziram ao estabelecimento de estruturas físicas e práticas de funcionamento de sistemas públicos urbanos que não respeitam, ou respeitam apenas parcialmente, os requisitos necessários à sustentação ambiental.

A fragilidade estrutural dessa concepção, historicamente desenvolvida, se apresenta hoje como obstáculo ao próprio desenvolvimento do meio urbano, através dos problemas de escassez de água, degradação de mananciais, disseminação de doenças, prejuízos crescentes causados por inundações, altos custos para o desenvolvimento econômico, entre uma série de problemas que fazem parte do cotidiano de um grande número de cidades brasileiras e de outros países.

3.2. Usos múltiplos da água

Na terminologia consagrada na área dos recursos hídricos a utilização da água é abordada sobre a forma dos usos múltiplos que se faz desse recurso natural. A Figura 3.1 ilustra contextos de usos múltiplos das águas, onde fica patente a natureza indissociável entre os diversos usos.

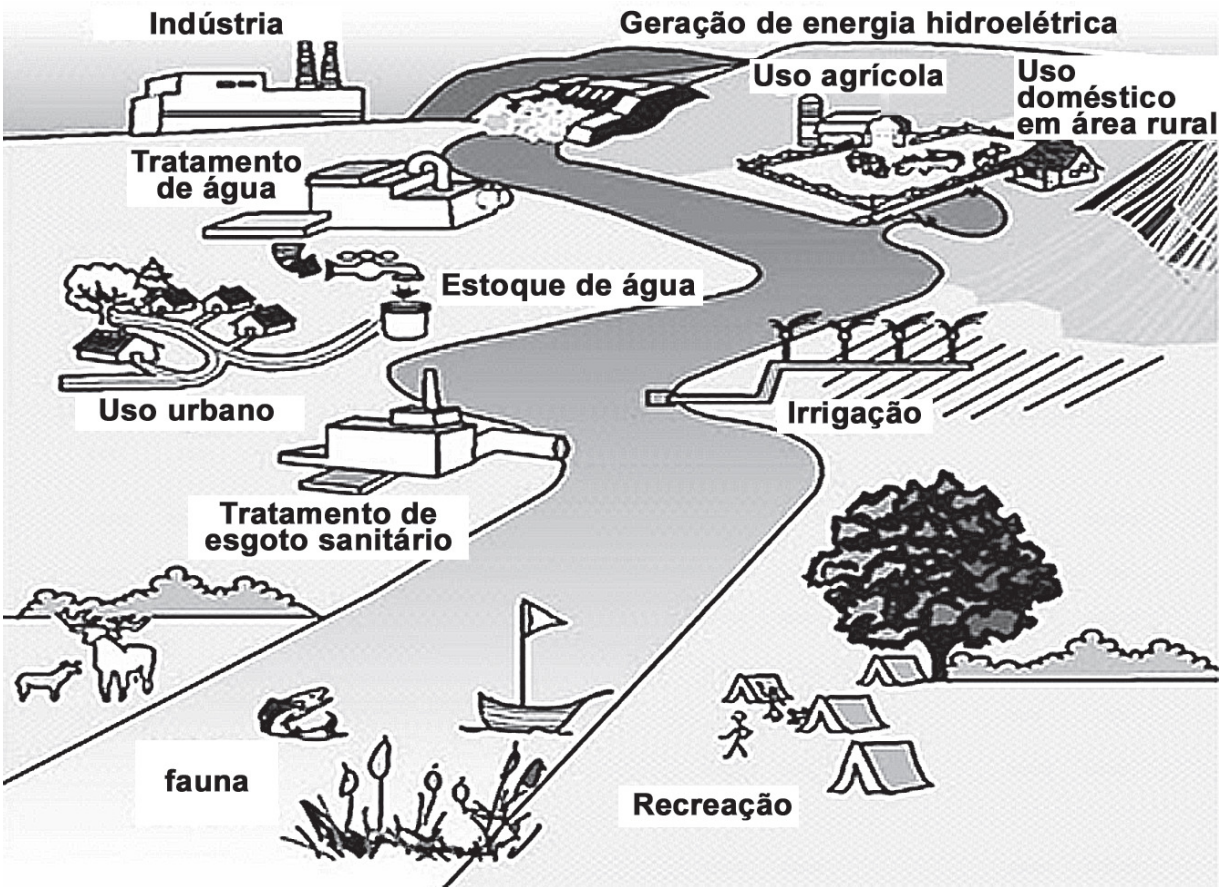

Figura 3.1 - Usos múltiplos da água.
Fonte: GONÇALVES *et al.*(2006).

A água é utilizada em todos os segmentos da sociedade e está presente no uso doméstico, comercial, industrial, público e agrícola. A maior parte da água doce do mundo é consumida na agricultura, responsável pela utilização de aproximadamente 70% de toda a água consumida. O consumo doméstico está em segundo lugar com 23% e tem aumentado durante a última década numa média de 4% por ano (TERPSTRA, 1999). A indústria apresenta um consumo de água de cerca de 7% (IDEC, 2002). A agricultura está na dianteira no consumo de água principalmente devido à contínua expansão da fronteira agrícola, mas também devido ao desperdício.

No Brasil, 46% da água são utilizados na agricultura (irrigação), 26% para fins urbanos, 18% para a indústria, 7% no consumo rural e 3% para a dessedentação de animais (ANA, 2006).

Nas áreas urbanas, o consumo de água residencial pode constituir mais da metade do consumo total de água. Na região metropolitana de São Paulo, o consumo de água residencial corresponde a 84,4% do consumo total urbano (incluindo também o consumo em pequenas

indústrias). Na cidade de Vitória, a porcentagem desse consumo é bem similar, correspondendo a aproximadamente 85% desse total (RODRIGUES, 2005).

Evidentemente, o consumo de água nas diferentes regiões do planeta é muito diversificado e depende de uma série de fatores, que vão desde variáveis comportamentais até variáveis físicas e econômicas, tais como:

- Clima da região,
- Renda familiar,
- Número de habitantes da residência,
- Características culturais da comunidade,
- Desperdício domiciliar,
- Valor da tarifa de água,
- Estrutura e forma de gerenciamento do sistema de abastecimento.

TSUTIYA (2006) estima um consumo médio de água nas residências de 200L/hab.dia, com oscilações que podem ir de 50L/hab.dia a 600L/hab.dia. Estudos realizados pelo Ministério das Cidades no âmbito do Programa de Modernização do Setor de Saneamento mostraram no Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto de 2003 que o consumo per capita médio no Brasil é de 141 L/hab.dia (PMSS, 2003). Naquele estudo, a região Sudeste apresentou um consumo per capita de 174L/hab.dia, superior a média do país. Os valores de consumo per capita médio das regiões Norte e Nordeste são muito inferiores, denotando que a melhoria do padrão de vida das populações traz como conseqüência um aumento na demanda de água.

A água destinada ao consumo humano pode ter dois fins distintos:

- Usos potáveis - higiene pessoal, para beber e na preparação de alimentos, que exigem água de acordo com os padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação.
- Usos não potáveis - lavagem de roupas, carros, calçadas, irrigação de jardins, descarga de vasos sanitários, piscinas, etc.

Esses usos podem prever a utilização de fontes alternativas de água, independentes do sistema público de abastecimento de água.

3.3. Princípios alternativos para o uso urbano das águas

Os requisitos de sustentabilidade apontam para a necessidade de uma série de modificações referentes à relação do homem com os recursos hídricos, em especial nos centros urbanos. A busca pela sustentabilidade no ciclo urbano da água compreende o uso das mais variadas práticas possíveis de conservação e novas medidas orientadas por critérios que confiram sustentação ambiental. Um esforço recente vem sendo empreendido no sentido de se adaptar os conceitos de produção mais limpa, originados no setor industrial, ao ciclo urbano da água. Esses princípios quando aplicados à utilização de recursos hídricos balizam algumas das formas possíveis de intervenção positiva no ciclo urbano da água, que podem ser resumidas da seguinte forma (GONÇALVES *et al.*, 2006):

Minimização

- Utilizar a água de melhor qualidade somente para os usos que a exijam.
- Buscar fontes alternativas de água, tais como águas residuárias para reúso ou aproveitamento de águas pluviais.
- Utilizar menor quantidade de água para executar as mesmas atividades, quer seja por mudança de processos ou formas de uso como pelo emprego de aparelhos economizadores ou tecnologias apropriadas.

Separação

- Não misturar águas que exijam graus diferenciados de tratamento como águas contendo gorduras, águas contendo material fecal e águas contendo nutrientes. Sob esse princípio vislumbram-se possibilidades diversas de simplificação do tratamento, diminuição de custos de tratamento, reaproveitamento facilitado de substâncias, realocação de recursos para investimentos, etc.
- Não misturar efluentes de origem doméstica com efluentes de origem industrial, medida que se apóia no fato de que as características do esgoto doméstico variam em faixas bem mais delimitadas que aquelas observadas para os esgotos industriais.

Reutilização

- Exploração das diversas formas de reúso de esgotos, desde as formas mais simples, como utilização direta da água residuária gerada até o reúso após tratamento e pós-tratamento de esgoto. Um simples exemplo ilustra o princípio: a água utilizada na máquina de lavar roupas pode ser utilizada na lavagem de pátios e veículos e após algum grau de tratamento servir à descarga de bacias sanitárias. Ou seja, a mesma quantidade de água é usada diversas vezes.
- Tirar vantagem das possibilidades de utilização dos efluentes em usos que requeiram características nele presentes. Por exemplo: utilização de esgotos ricos em nutrientes para irrigação controlada.
- Hierarquizar ciclos de utilização da água, separando-os segundo a qualidade e quantidade exigidas em cada um deles. Dessa forma é possível estabelecer procedimentos para tratar e dispor corretamente no próximo ciclo, apenas a água que não puder ser utilizada em um ciclo de grau superior de exigência.

Para MARCKA (2004), tratam-se de medidas complementares ou alternativas à ampliação da oferta de água a médio e longo prazos, bastante viável do ponto de vista técnico e econômico e que experimenta crescente aceitação social pelo seu caráter ecológico. Sua implementação por parte das instituições responsáveis pelos serviços de saneamento básico e o gerenciamento de recursos hídricos deve ser permanente nas esferas federal, estadual e, sobretudo, local e regional. Ressalte-se ainda que, além de economizar água, um programa de conservação de água bem sucedido resulta em menor produção de esgoto sanitário, proteção dos mananciais de água e conservação de energia.

3.4. Água e Energia

Contrariamente ao que se afirma, o limite para o uso da água doce em nível planetário pode não ser a capacidade do planeta e da sociedade de promover a sua renovação nos ciclos

hídricos, antrópicos ou naturais, sejam estes locais regionais ou globais, mas o gasto energético necessário para tanto é o impacto causado pela energia despendida.

Na medida em que a água de qualidade adequada para o consumo se torna mais escassa, mais energia é necessária para o atendimento das demandas da sociedade e dos ecossistemas. O exemplo de países que levaram a níveis extremos a exploração do seu ciclo hídrico levanta o alarme do impacto energético que isto pode causar. Afinal os avanços nos processos de dessalinização da água do mar apontam para limites energéticos e econômicos e não hídricos, para a denominada "crise da água".

TAMBO (2005, 2006) indica que o conteúdo energético médio da água consumida em Tóquio (transporte e tratamento) é de 0,38 kWh por metro cúbico. Para o transporte e tratamento do esgoto são utilizados 0,44 kWh.m³ adicionais. No Brasil as empresas estaduais de saneamento praticam um consumo específico de energia elétrica nos sistemas de distribuição de água entre 0,33 kWh/m³ e 1,24 kWh/m³. Isso sem se considerar os altos níveis de perdas. O consumo da maior unidade de dessalinização de água do mundo (Ashkelon, Israel) é de 3,6 kWh/m³ podendo chegar até a 5 kWh/m³.

Os valores acima citados permitem uma primeira aproximação do impacto da degradação da qualidade da água e do desperdício. Consumindo em torno de seis vezes a média atual da energia contida por metro cúbico (apenas para o tratamento), a dessalinização pode representar uma alternativa para regiões com mananciais muito distantes ou profundos, mas não uma alternativa global. Esta, considerada uma opção de adaptação de algumas regiões ao efeito das mudanças climáticas, poderá se tornar um fator de agravamento deste fenômeno.

3.5. Sistemas de abastecimento públicos

A média das perdas de água reais e aparentes nos sistemas públicos de abastecimento no Brasil é de aproximadamente 40% do volume total produzido (PMSS, 2003). Associado a esse importante volume de água perdido ao longo das atividades de captação, tratamento, transporte e distribuição, encontra-se um significativo desperdício de energia necessária ao tratamento e transporte da água.

Os consumos de água e energia devem ser visualizados como dados interligados e não de forma separada. A energia é necessária para mover a água através dos sistemas de água municipal, tornando a água potável. Cada litro de água que se move pelo sistema representa um significante custo de energia. As perdas de água na forma de vazamentos, furtos, desperdícios do consumidor e distribuição ineficiente afetam diretamente a quantidade de energia necessária para fazer a água chegar ao consumidor. O desperdício de água leva ao desperdício de energia.

Entre 2% a 3% do consumo de energia do mundo são usados no bombeamento e tratamento de água para residências urbanas e indústrias, sendo o bombeamento de água responsável por cerca de 90% a 95% do total. A eliminação de vazamentos e furtos de água em muitas grandes cidades, mais que duplicaria a quantidade de água disponível e reduziria muito o uso de energia, visto que os países em desenvolvimento têm perdas de água no sistema entre 30% e 60%, nos países desenvolvidos as perdas variam de 15% a 25% (GONÇALVES *et al*., 2009).

Embora o consumo energia elétrica seja muito variável dependendo do sistema de abastecimento considerado, TSUTYIA (2001) apresenta um índice médio de referência de 0,6kWh/m³ de água produzida.

Para dar uma idéia do peso do setor de saneamento brasileiro, apesar do importante déficit de cobertura dos serviços de abastecimento de água e, em especial de esgotamento sanitário, no

ano de 2008 o consumo total de energia elétrica dos prestadores de serviços do setor aproximou-se de 10 bilhões de kWh/ano (PROCEL SANEAR, 2008).

Em termos econômicos, a energia elétrica representou em media 12,2% das despesas totais das empresas prestadoras de serviços de saneamento, tendo sido o segundo maior item de dispêndio (o primeiro foram as despesas com recursos humanos) (ELETROBRAS PROCEL, 2001).

Os programas voltados para o controle de perdas em sistemas de abastecimento não deixam de ser parte da gestão integrada dos recursos hídricos. Tais programas têm foco específico nos sistemas de abastecimento, mas, por sua natureza, atingem um contexto mais amplo por obterem resultados importantes na conservação da água na escala da bacia hidrográfica. Também assumem importância estratégica, na medida em que reduzem o consumo energético do setor de saneamento, diminuindo concomitantemente sua dependência pelo insumo "energia elétrica".

3.6. Sistemas Prediais

Sistemas prediais podem se referir a edificações dos setores residencial, comercial ou público. Edificações com finalidade tipicamente de escritórios, como prédios comerciais e públicos, apresentam comportamento da carga elétrica similares. Já os edifícios residenciais, apresentam comportamento de carga diferente.

O consumo de água residencial inclui tanto o uso interno quanto o uso externo as residências. As atividades de limpeza e higiene são as principais responsáveis pelo uso interno, enquanto o externo deve-se a irrigação de jardins, lavagem de áreas externas, lavagem de veículos e piscinas, entre outros.

Estudos realizados no Brasil e no exterior mostram que dentro de uma residência os maiores consumos de água são a descarga nos vasos sanitários, a lavagem de roupas e banho (Figura 3.2).

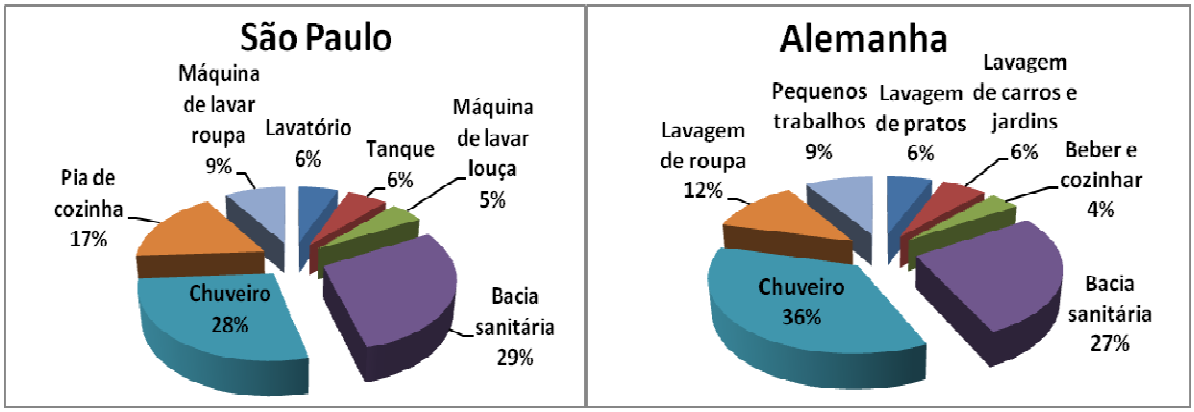

Figura 3.2 - Distribuição do consumo de água nas residências em São Paulo e na Alemanha.
Fonte: GONÇALVES *et al.,* 2009.

Pela análise da Tabela 3.2, é possível identificar que o banheiro é o ponto de maior consumo de água independente da região onde se encontra a edificação, representando mais da metade do consumo de água nas residências. A bacia sanitária e o chuveiro, em alguns locais, possuem um consumo relativamente semelhante, justificando a necessidade de se investir esforços e recursos em pesquisas sobre práticas de reúso.

Tabela 3.2 - Distribuição do consumo de água em edificações domiciliares

Setor da residência	Simulação Deca	Prédio USP	PNCDA (Brasil, 1998)	Austrália (NSWhealth, 2000)	Dinamarca (Jesen, 1991)	EUA (USEPA, 1992)
Banheiro	72%	63%	68%	70%	50%	74%
Bacia sanitária	14%	29%	5%	32%	20%	41%
Pia	12%	6%	8%	5%	10%	-
Chuveiro	47%	28%	55%	33%	20%	33%
Banheira	-	-	-		-	-
Cozinha	15%	22%	18%	7%	25%	5%
Pia da cozinha	15%	17%	18%	7%	5%	5%
Máq. de lavar louça	-	5%	-		20%	-
Área de serviço	13%	15%	14%	23%	15%	21%
Máq. de lavar roupa	8%	9%	11%	23%	15%	21%
Tanque	-	6%	3%	-	-	-
Torneira de uso geral	5%	-	-	-	-	-
Limpeza	-	-	-	-	-	-
Outros	-	0%	0%	0%	10%	0%
Outros	-	-	-	-	-	-
Lavagem de carro	-	-	-	-	-	-
Vazamentos	-	-	-	-	-	-

Fonte: GONÇALVES *et al.,* 2006.

Em média, 40% do total de água consumida em uma residência são destinados aos usos não potáveis. Desta forma, estabelecendo um modelo de abastecimento de rede dupla de água, sendo uma rede de água potável e outra de aproveitamento de água de chuva ou de reúso, a conservação da água, através da redução do consumo de água potável, seria garantida (GONÇALVES *et al*., 2006).

Um estudo detalhado dos usos finais de água em um edifício, realizado pela equipe da Universidade Federal do Espírito Santo (BAZZARELLA, 2005), mostrou a contribuição do consumo de eletricidade em bombas de recalque (8% do consumo total do edifício) e o impacto devido a reciclagem de parte da água utilizada pelos moradores. Comparando dois edifícios

similares, o estudo mostrou que enquanto um edifício convencional consome 1,40 kWh/m³, o edifício dotado de sistema de reuso de água consome 0,86 kWh/m³. Maiores análises são necessárias, no entanto, para entender as implicações da disseminação dessas práticas incluindo os gastos energéticos das estações de tratamento de esgoto. Ficou evidente nesses estudos a dificuldade de caracterização da demanda de água segundo diversos usos finais e várias estimativas de potencial de redução do consumo, seja pela diminuição de desperdícios ou com a introdução de tecnologias mais poupadoras de água.

Em que pesem o cenário atual e os padrões construtivos vigentes por décadas no Brasil, uma tendência nítida do setor da construção civil habitacional é a construção de edifícios sustentáveis, conceito decorrente da intensificação sobre o debate sobre o desenvolvimento sustentável do planeta. Uma nova geração de edifícios surge principalmente países industrializados, focando a melhoria da qualidade de vida do usuário final e a qualidade do ambiente. Trata-se dos *green buildings* ("edifícios verdes"), objetos de certificação através de sistemas existentes em diversos países, dentre os quais cita-se o mais conhecido internacionalmente: LEED1 (sigla em inglês para "Liderança em Energia e *Design* Ambiental"), que apresentam características que potencializam a eficiência ambiental da edificação, destacando-se o uso racional da água e a conservação da energia.

Soluções como estas exigem uma profunda revisão do uso da água nas residências, tendo como meta primária a redução do consumo de água potável e como metas secundárias reduzir a produção de águas residuárias e minimizar o consumo de energia elétrica na edificação. Atualmente, critérios de etiquetagem ou selos verdes vêm sendo atribuídos a edifícios como mecanismo de incentivo a eficiência energética, sendo considerado um diferencial importante no segmento.

A eficiência energética em prédios residenciais está vinculada ainda aos padrões tecnológicos dos sistemas e equipamentos instalados, as suas características arquitetônicas, ao clima local e ao grau de consciência dos usuários para o uso racional da energia (ELETROBRAS, 2001).

Embora o sistema de bombeamento represente uma parcela menor, medidas sobre a configuração, o funcionamento e a manutenção podem reduzir os custos com energia elétrica e

com a própria água, eliminando perdas e desperdício. A caracterização do sistema hidráulico predial depende da fonte de abastecimento e do sistema de distribuição.

O abastecimento da água pode ser feito a partir da rede pública ou por fonte particular de captação por poços ou nascentes. As formas de distribuição da água consideram as garantias de regularidade e atendimento de pressão e vazão e podem ser assim classificadas:

• direta da rede pública até os pontos de uso (sem reservatório): considera se como uma continuidade da rede pública, expondo o consumidor as deficiências da rede;

• indireto sem bombeamento (com reservatório): usa a pressão da rede para encher o reservatório superior, distribuindo por gravidade;

• indireto com bombeamento (com reservatório): quando não há pressão suficiente na rede ou e feita captação em poço. O abastecimento é realizado a partir de um reservatório inferior, de onde a água é bombeada para outro reservatório superior;

• indireto hidropneumático: cria-se um sistema de pressão para distribuir a água a partir do reservatório inferior (não ha reservatório superior);

• misto: comum para residências onde parte do uso que ocorre no nível da rua e feito diretamente da rede e outra parte é feita indiretamente sem bombeamento.

No caso do conjunto elevatório indireto com bombeamento, configuração mais comum, a instalação caracteriza-se pelos seguintes componentes (GONÇALVES *et al*., 2009):

• 2 bombas centrifugas (uma reserva)

• 2 motores elétricos (um reserva)

• Tubulações de sucção

• Tubulação de recalque

• Registro de gaveta

• Válvulas de retenção na tubulação de sucção e na tubulação de recalque

• Comando automático (automático da bóia)

• Quadro elétrico de comando

• Eventualmente uma válvula anti-golpe de aríete

Como os motores usados para o acionamento de bombas de recalque em edifícios são geralmente de baixa potência, é comum que o acionamento seja direto, comandado por bóias

indicadoras de nível dos reservatórios superior e inferior. Como regra de funcionamento do comando liga-desliga, o motor é ligado quando o reservatório superior esta com nível baixo e é desligado quando o reservatório superior esta com nível máximo ou quando o reservatório inferior esta com nível baixo. A manutenção adequada do sistema de comando, incluindo o ajuste das bóias, faz com que o reservatório não extravase, não desperdiçando água e energia.

3.7. Sistemas de aproveitamento de água de chuva

Pode-se dizer que um sistema de aproveitamento de água de chuva é um sistema auto-suficiente, descentralizado e alternativo de suprimento de água visando entre outros a conservação dos recursos hídricos reduzindo a demanda e o consumo de água potável.

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva consistem basicamente em coletar as águas de chuva escoadas em superfícies impermeáveis, geralmente telhados, destinando-as para usos que demandem níveis de qualidade de água menos exigentes, como em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e veículos e irrigação de jardins. A restrição da utilização da água de chuva aos usos não potáveis ocorre em regiões servidas por sistemas públicos de abastecimento (áreas urbanas), de forma a evitar danos a equipamentos e dar garantia sanitária a população usuária. A utilização de água de chuva como fonte única para o abastecimento doméstico, pode ser encontrada em situações em que não existe fornecimento de água potável por serviços públicos.

Com o aumento nas taxas de urbanização e da contaminação do ar, fornecem indícios da necessidade da inserção de elementos de segurança nos sistemas de aproveitamento quanto à qualidade da água. Esses elementos não se restringem a remoção de poeira ou galhos e folhas, mas incorporam também equipamentos de descarte de água de primeira chuva, filtros e sistemas de desinfecção, tendo como plano de fundo a garantia sanitária, de forma a obter águas com qualidades adequadas aos usos pretendidos. Um sistema de aproveitamento da água da chuva,

portanto, possui características próprias e individualizadas e atende ao princípio do saneamento ecológico.

O sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva, quando corretamente dimensionado e executado, propiciara a obtenção de água de qualidade adequada aos usos previstos, preservando os recursos hídricos e energéticos do meio.

3.7.1. Histórico do aproveitamento de água de chuva

O manejo e o aproveitamento da água de chuva tem sido uma prática exercida por diferentes civilizações e culturas ao longo do tempo. Passando pelo Oriente, Oriente Médio, Europa, e pelos Incas, Maias e Astecas na América Latina, relatos de dispositivos de coleta e armazenamento de água de chuva remontam a sistemas construídos e operados há mais de 2.000 anos. Países como a China, Índia, Sri Lanka, já se utilizavam da água da chuva para diferentes usos.

Uma das inscrições mais antigas do mundo é a conhecida Pedra Moabita, encontrada no Oriente Médio, datada de 850 a.C. Nela, o rei Mesha dos Moabitas, sugere que seja feita um reservatório em cada casa para aproveitamento de água de chuva (TOMAZ, 2003).

Em Istambul na Turquia, durante o governo de César Justinian (a.C. 527-565), foi construído um dos maiores reservatórios do mundo denominado de Yerebatan Sarayi, cujas dimensões eram de 140 por 70m totalizando um volume de 80.000 m³ com objetivo de armazenar água da chuva. (OLIVEIRA, 2004).

Na ilha de Creta são encontrados inúmeros reservatórios escavados em rochas anteriores a 3000 a.C. com a finalidade de aproveitamento da água da chuva para o consumo humano (TOMAZ, 2003).

Na Europa, as vilas Romanas eram cidades projetadas prevendo a utilização da água de chuva para consumo humano e uso doméstico, anterior a 2000 a.C. (RAINWATER HARVESTING AND UTILISATION, 2002).

Pelo mundo são encontrados inúmeros reservatórios, muitos escavados em rochas com a finalidade de armazenar água de chuva para consumo humano, como por exemplo, na famosa fortaleza de Masada (Israel), na Península de Iucatã (México), em Monturque – Roma (Itália).

Na França em 1703, Philippe La Hire desenvolveu equipamentos como um filtro de areia e um reservatório que tratava e armazenava água das chuvas de Paris para uso residencial (VIDAL, 2002 *apud* GONÇALVES *et al*., 2006).

Conforme SILVA *et al. (*1988 *apud* GONÇALVES *et al*. 2006), verdadeiras obras de arte referente à captação de águas da chuva são encontradas nas regiões semi-áridas do mundo como na Ásia e no Norte da África. Estas instalações, ainda em atividade, captam a água de chuva dos telhados ou da superfície da terra e são transportadas para grandes cisternas.

DILLAHA E ZOLAN (1985) relatam a existência de um sistema integrado de manejo de água de chuva há 2.000 anos, no deserto de Negev, atualmente território de Israel. No período romano, esta prática também já era conhecida e utilizada em diversas regiões como na ilha da Sardenha e no norte da África (RAINWATER HARVESTING AND UTILISATION, 2002).

Esta prática, como um conjunto de outras, pouco a pouco foram sendo substituídas e esquecidas pela população. Na medida em que novos e mais modernos sistemas de abastecimento público foram sendo disponibilizados, estas práticas de coleta e aproveitamento da água de chuva perderam força. Novas tecnologias para construção de barragens ou a implantação de sistemas de abastecimento contribuíram fortemente para o relativo abandono destas técnicas.

No entanto com a escassez, a perda da qualidade dos mananciais pela crescente poluição, associadas a serviços de abastecimento públicos ineficientes, têm-se despertado diversos setores da sociedade para a necessidade da conservação da água, sendo assim ressurge o uso das práticas do aproveitamento da água da chuva.

Atualmente a água da chuva faz parte da gestão urbana dos recursos hídricos. Vários países da Europa, Ásia, Oceania e da América utilizam água da chuva em residências, indústrias, comércios e irrigação de agriculturas. A literatura técnica internacional tem mostrado a ênfase de muitos países desenvolvidos em programas e pesquisas visando o melhor aproveitamento da água da chuva. Estes trabalhos apresentam experiências na Alemanha, Reino Unido, Japão, Singapura, Hong Kong, China, Indonésia, Tailândia, Índia, Austrália, EUA e muitos outros, além de alguns países da África.

Nesta mesma direção são os sistemas utilizados em Berlim, na Alemanha, onde o aproveitamento da água da chuva captada em praças e grandes edifícios é destinada a recompor a paisagem urbana, alimenta lagos artificiais resultando em melhora do micro clima local, além de ser usada nos edifícios para descarga de sanitários.

KENYON, 1929 *apud* GONÇALVES *et al*., 2006, relata estudos sobre o aproveitamento de água de chuva através de cisternas para um sistema de armazenamento de água de chuva para consumo humano e animal em uma região com precipitação média anual de 350 mm. DIXON et al., 1999 *apud* GONÇALVES *et al*., 2006, identificaram que a utilização da água da chuva possui uma longa história e foi difundida mundialmente. Os autores apontam que atualmente muitas sociedades aplicam como uma importante fonte de água para irrigação e mais recentemente para suprir demandas de vasos sanitários e lavagem de roupa.

No Japão, onde em muitas cidades se pratica o aproveitamento da água da chuva em larga escala, exemplos como os estádios e os gigantescos domos de ginásios com áreas de captação da ordem de milhares de m², utilizam esta água para descarga de sanitários e no sistema de ar condicionado. Exemplos são citados como os estádios de Tóquio, Nagoya e Fukuoka, com áreas de captação de 16, 26 e 35 mil m² e reservatórios de armazenamento com capacidade de 1.000, 1.800 e 1.500 m³, respectivamente (ZAIZEN *et al*.). No Japão, dado as condições específicas de urbanização e de território, a coleta da água da chuva é uma prática corrente e muito difundida.

Antigamente, havia nas comunidades japonesas, recipientes para coletar a água da chuva. A água da chuva coletada era geralmente armazenada em reservatórios que podiam ser tanto individuais como comunitários. Estes últimos denominados de “Tensuison”, que significa “respeito à abençoada água da chuva”, eram colocados apoiados no chão e a água armazenada era usada para irrigação de plantas e, em emergências, para combater incêndios e como alternativa

nas estiagens. Eram equipados com bombas manuais e torneiras para que a água ficasse disponível para qualquer pessoa. A água excedente era direcionada para canais de infiltração, garantindo assim a recarga de aqüíferos e evitando enchentes (GONÇALVES *et al.*,2006).

Em muitos países, o armazenamento da água da chuva inicialmente objetivou a sua retenção na parcela, para controle de cheias e inundações, ou para mitigar a falta de um abastecimento regular de água; e posteriormente seu uso foi sendo estendido para os mais diversos fins. Este é o caso do Japão onde em muitas cidades se pratica o aproveitamento da água de chuva em larga escala.

No Japão, na cidade de Kitakyushu, em 1995, foi construído um edifício com 14 pavimentos prevendo-se a utilização de água de chuva e, para isso, havendo um reservatório enterrado com 1 milhão de litros. Neste prédio, as águas cinzas, isto é, as águas de pias, torneiras, máquina de lavar roupa, com exceção das águas da bacia sanitária e da pia da cozinha, são também reaproveitadas e juntadas à água de chuva. Todas as bacias sanitárias possuem alimentação com água não potável de chuva e servida. Estão em construção mais de 30 prédios com as características citadas.

A cidade de Sumida, que fica na área metropolitana de Tóquio, no Japão, tem precipitação média anual de 1400mm e mesmo assim é aproveitada a água de chuva devido à segurança no abastecimento de água em caso de emergência (SILVA, 2008).

Na Austrália, foi traçado o objetivo na Gold Coast para que as residências economizem 25% da água do serviço público usando água de chuva. O custo estimado para aproveitamento de água de chuva e das águas cinzas é de US$6000,00 com despesas anuais de US$215,00. Gibraltar tem 10% de seu consumo relativo a águas de chuvas, que são captadas nas encostas impermeabilizadas das montanhas (SILVA, 2008).

Estudos provenientes da Austrália denotam que os sistemas de aproveitamento da água de chuva proporcionam uma economia no consumo de água nas residências de 45% e até 60% na agricultura (HEYWORTH *et al*., 1998). Este mesmo estudo mostra que no sul da Austrália, 82% da população rural utilizam à água da chuva como fonte primária de abastecimento, enquanto que apenas 28% da população urbana o fazem. Da análise da literatura disponível identifica-se, e alguns autores corroboram esta perspectiva que em muitos países existem incentivos financeiros para a construção e instalação de sistemas de coleta e aproveitamento da água da chuva.

TOMAZ (2003) cita o caso de Hamburgo na Alemanha onde se concede ajuda de US$ 1.500,00 a 2.000,00 para quem utiliza água de chuva. No Texas a cidade de Austin, que tem média pluviométrica anual de 810mm, fornece US$500,00 de bônus a quem instalar um sistema de captação de água de chuva. O valor de US$500,00 corresponde a US$40/m³ da capacidade de armazenamento do reservatório. Ainda no Texas a cidade de San Antonio fornece US$200,00 para quem economizar 1230m³ de água da rede pública usando água de chuva, durante o período de 10 anos. As casas com área de 185m² a 277m² são comuns e se usam reservatórios de fibra de vidro. O custo do reservatório de fibra de vidro é de US$260,00m³ de água reservada no reservatório. Incluindo os filtros, o custo total do reservatório variará de US$260,00/m³ a US$330,00/m³. Este incentivo apresenta como retorno ao poder público no controle dos picos de cheia durante períodos chuvosos.

FEWKES (1999) em estudo realizado no Reino Unido sobre a utilização de água da chuva em descargas de vasos sanitários, relata que este uso é incentivado, uma vez que 30% do consumo de água nas residências é gasto nesta função.

Atualmente, algumas cidades, estados e países têm adotado legislação específica para a conservação da água, particularmente o reúso em grandes edificações e o aproveitamento da água da chuva. Exemplos notórios são as cidades de Tóquio, Berlim, Sidney, entre outras, estados como Califórnia, Flórida e Texas nos EUA ou ainda países como Austrália, Alemanha, Reino Unido entre outros.

3.7.2.Experiências no Brasil

Diferentemente de outros países e culturas, o aproveitamento da água de chuva no Brasil não acompanha o desenvolvimento do país, e só nas últimas décadas que esta prática tem ganhado destaque, principalmente na região do semi-árido nordestino. A não utilização desta tecnologia em períodos anteriores, talvez se deva a abundância de água encontrada principalmente em se considerando a ocupação litorânea do território, quase todo inscrito sobre o

ecossistema da Mata Atlântica, e, portanto, de florestas ombrófilas úmidas, no qual a média de precipitação varia entre 2.000 a 2.500 mm/ano (GONÇALVES *et al*., 2006).

Ao se ampliar o recorte para todo o território brasileiro, identifica-se um significativo volume de chuvas que pode variar de 3.000 mm/ano na Amazônia e 1.300 mm/ano na região central do país, e isso se caracteriza pelo predomínio dos climas equatorial e tropical. Já no sertão nordestino este índice varia entre 250 mm/ano a 600 mm/ano (TOMAZ, 2003).

O primeiro relato de aproveitamento da água de chuva é provavelmente o da Ilha Fernando de Noronha. Este sistema foi construído pelo exército norte-americano em 1943. Mesmo atualmente a água da chuva é utilizada para o abastecimento da população. Mas foi apenas nas últimas décadas do século passado que a utilização da água da chuva passou a fazer parte de programas governamentais e de organizações não governamentais, como as religiosas, particularmente no nordeste brasileiro inscrito na região do semi-árido (GONÇALVES *et al*., 2006).

Um destes esforços foi a criação em 1975 do Centro de Pesquisas Agropecuárias do Trópico Semi-Árido (CPTASA), que tinha entre seus objetivos a coleta da água de chuva e a construção de cisternas para armazenamento da água para posterior consumo. Dentre outros usos o sistema de aproveitamento de água da chuva proposto para o semi-árido é simples e consiste em aproveitar telhados das casas como área de captação para armazenar a água da chuva em cisternas.

Alguma destas experiências tem sido financiada e incentivada por Organizações Não Governamentais (ONGs) muitas delas em parceria com o governo. Exemplo disto é o trabalho desenvolvido pelo Cáritas, instituição de assistência social de âmbito internacional e criada no Brasil em 1957. Atualmente esta organização do 3º setor desenvolve projetos tais como o "Programa de Convivência com o Semi Árido", orientando e incentivando a construção de cisternas para o armazenamento da água de chuva. Segundo relatos da EMBRAPA, mais de 50.000 cisternas foram construídas no semi-árido brasileiro nestes últimos anos (PORTO *et al.,* 1999).

Mais recentemente, o governo federal instituiu o programa 1 milhão de cisternas (P1MC) para o semi-árido, com o financiamento destas através de órgãos governamentais como o Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome (MDS) que viabilizou em 2004 a

construção de 30 mil cisternas na região do semi-árido, destinando investimentos na ordem de R$ 45,8 milhões para o programa. No mesmo período, o MDS contratou a construção de outras 20 mil unidades. Para 2005, o Ministério trabalhou com a construção de 50 mil novas cisternas, com investimentos de R$ 77,4 milhões (MDS, 2006). As águas das cisternas rurais são empregadas quase que exclusivamente para usos domésticos, inclusive para cozinhar e para beber.

Por outro lado, em muitas cidades brasileiras a exemplo de São Paulo, Rio de Janeiro, Curitiba, Porto Alegre, tem sido adotadas legislações especificas sobre a coleta da água da chuva, visando à redução de enchentes. Nestas cidades, alguns novos empreendimentos passaram a ser obrigados a coletar a água da chuva, não apenas para reduzir o 'pico de cheias' como também visando sua utilização para fins não potáveis. Alguns estudos apontam para diferentes experiências com a finalidade de aproveitamento a água de chuva, sejam em lavanderias industriais, indústrias e outras atividades comerciais (SICKERMANN, 2003).

3.7.3.Qualidade da água de chuva

A qualidade da água da chuva deve ser considerada nos três momentos distintos de um sistema de aproveitamento de água da chuva, qual seja: a chuva atmosférica, a chuva após passagem pela área de captação e na cisterna ou reservatório de armazenamento. Para cada nível, a qualidade estará associada a fatores ambientais como a localização geográfica (proximidade do oceano, áreas urbanas ou rurais), a presença de vegetação, as condições meteorológicas (intensidade, duração e tipo de chuva, regime de ventos), a estação do ano e a presença de carga poluidora, o tipo e condição da área de captação, material da cisterna e condições de manutenção desta última.

As atividades industriais e de processamento, veículos, a construção civil e pedreiras de maneira geral, liberam substâncias usualmente consideradas poluentes do ar com compostos de enxofre e nitrogênio, compostos orgânicos de carbono, monóxido e dióxido de carbono, compostos halogenados e material particulado, e a chuva atua na dispersão desses poluentes. Ela funciona também como agente agregador, capturando os particulados, que agem como núcleos de

condensação ou são englobados pelas gotas de nuvens, que ao se colidirem aumentarão de dimensão, até precipitarem. A este processo de remoção dos poluentes por carreamento denomina-se deposição úmida (DANNI-OLIVEIRA e BAKONYI, 2003).

Pode-se citar o fenômeno das chuvas ácidas que podem causar efeitos danosos aos rios e lagos, às florestas e vegetação, além dos materiais e estruturas. A acidificação da chuva está associada, principalmente, a presença de compostos NOx e SO_2, provenientes de processos de combustão, que na atmosfera oxidam-se a nitrato e sulfato. Além disso, a radiação solar e as reações desses gases com a água da chuva formam o ácido nítrico e sulfúrico que respondem pela diminuição do pH da água da chuva. Segundo JAQUES (2005 *apud* GONÇALVES *et al.*,2006) mesmo em áreas inalteradas pela ação do homem, o pH encontra-se próximo de 5,0 devido à presença de CO_2 e SO_4 que reagem com a água da chuva formando ácidos que diminuem o pH.

MAY (2004) detectou tal comportamento com relação ao pH na chuva de São Paulo. Em seu estudo, as amostras da chuva da atmosfera apresentaram pH médio de 4,9 e as amostras de chuva coletadas do telhado apresentaram uma variação de pH de 5,8 a 7,6. Essa variação foi causada pela presença de limo e bactérias na água que passa pelo telhado e pela composição dos materiais da edificação. A presença de sólidos em suspensão ou dissolvidos na água de chuva, em sua maioria, está associada à presença de poluentes atmosféricos, poeiras e fuligens que entram em contato com a água através da superfície de captação.

Como foi visto, portanto, a própria utilização de superfícies para a coleta da água também altera as características naturais da água da chuva. Fenômenos de deposição seca dos compostos presentes na atmosfera são devidos a sedimentação gravitacional e interceptação de particulados ou ainda da absorção de gases por superfícies. Este é o caso dos períodos de estiagem. Assim, a qualidade da água da chuva, na maioria das vezes, diminui ao passar pela superfície de captação, o que leva a recomendação de descartar a água da primeira chuva.

REBELLO (2004) aponta que entre os diversos materiais e substâncias presentes que podem contaminar a água de chuva encontram-se nestas superfícies: fezes de aves e roedores, artrópodes e outros animais mortos em decomposição, poeira, folhas e galhos de árvores, revestimento do telhado, fibras de amianto, resíduos de tintas, entre outros que ocasionam tanto a

contaminação por compostos químicos quanto por agentes patogênicos. Isso reforça a ação de eliminar-se a primeira água de chuva ou água de descarte.

Para que se possa fazer o aproveitamento seguro da água da chuva, é necessário estabelecer os padrões de qualidade que a água de chuva captada deve atender, sendo que estes devem estar de acordo com os usos que se pretende fazer da mesma.

Na ausência de uma legislação especifica para o aproveitamento da água da chuva de maneira a estabelecer os padrões de qualidade que esta água deva atender em função dos diferentes usos, torna-se necessário adotar, mesmo em caráter temporário, a legislação disponível atualmente.

A legislação federal brasileira estabelece padrões de qualidade para a água tratada e destinada ao consumo humano, através da Portaria Nº 518/04 do Ministério da Saúde. Dois outros instrumentos legais podem servir de base para esta avaliação, quais sejam a Resoluções do CONAMA de Nº 357/05 que estabelece os padrões de qualidade para corpos d'água e a de Nº 274/00, a qual define os padrões de balneabilidade.

Segundo a Portaria Nº 518 de 25 de março de 2004 do Ministério da Saúde que regulamenta os padrões de potabilidade para água de consumo humano no Brasil, a água potável é definida como a água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde.

A água potável deve ter sabor e odor agradáveis isto é, não objetáveis, ter baixas unidades de cor aparente e turbidez, ausência de *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes (em 100 ml) e não conter substâncias químicas em concentrações que possam causar mal à saúde humana. A Tabela 3.3 estabelece alguns padrões de potabilidade exigidos pela Portaria Nº 518/2004.

Tabela 3.3 - Padrões de Potabilidade da Água

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo Permitido
Alumínio	mg/L	0,2
Amônia (como NH3)	mg/L	1,5
Cloreto	mg/L	250
Coliformes Termotolerantes	NMP	Ausência em 100 ml
Coliformes totais	NMP	Ausência em 100 ml
Cor aparente	mg PtCo/L	15
Dureza	mg/L CaCO3	500
Etilbenzeno	mg/L	0,2
Ferro	mg/L	0,3
Manganês	mg/L	0,1
Monoclobenzeno	mg/L	0,12
pH		6,0 a 9,5
Sódio	mg/L	200
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1000
Sulfato	mg/L	250
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,05
Surfactantes	mg/L	0,5
Tolueno	mg/L	0,17
Turbidez	UT	5
Zinco	mg/L	5
Xileno	mg/L	0,3

Fonte: MINISTÉRIO DA SAÚDE – PORTARIA Nº 518 DE 2004.

O CONAMA Nº 357/05 refere-se às águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e à criação natural e/ou intensiva de espécies destinadas à alimentação humana. As diretrizes do Ministério da Saúde referem-se à norma de qualidade da água para consumo humano e o USEPA refere-se à água de reuso para consumo não potável.

A utilização da água da chuva requer um controle de sua qualidade e a verificação da necessidade de tratamento, a fim de propiciar segurança à saúde do usuário e o não comprometimento da vida útil dos componentes do sistema de aproveitamento. Deste modo, definir o uso que será dado à água da chuva, vai depender da qualidade obtida para essa água. De

maneira geral, e principalmente nas áreas urbanas, deve-se direcionar o uso da água da chuva para fins não potáveis, como lavagem de roupas, descarga de sanitários, rega de jardins, lavagem de pisos e automóveis, podendo inclusive ser aproveitada pela indústria. Em situações na qual esta será utilizada para fins potáveis, como em regiões de escassez de água, recomenda-se desinfecção por cloro, por radiação ultravioleta ou por aplicação de ozônio.

3.7.4. Componentes do sistema de aproveitamento de água de chuva

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 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.

As técnicas para captação e aproveitamento de água pluvial para abastecimento podem apresentar instalações de tamanho e complexidade variadas. Na Figura 3.3 observa-se um esquema de coleta de água de chuva.

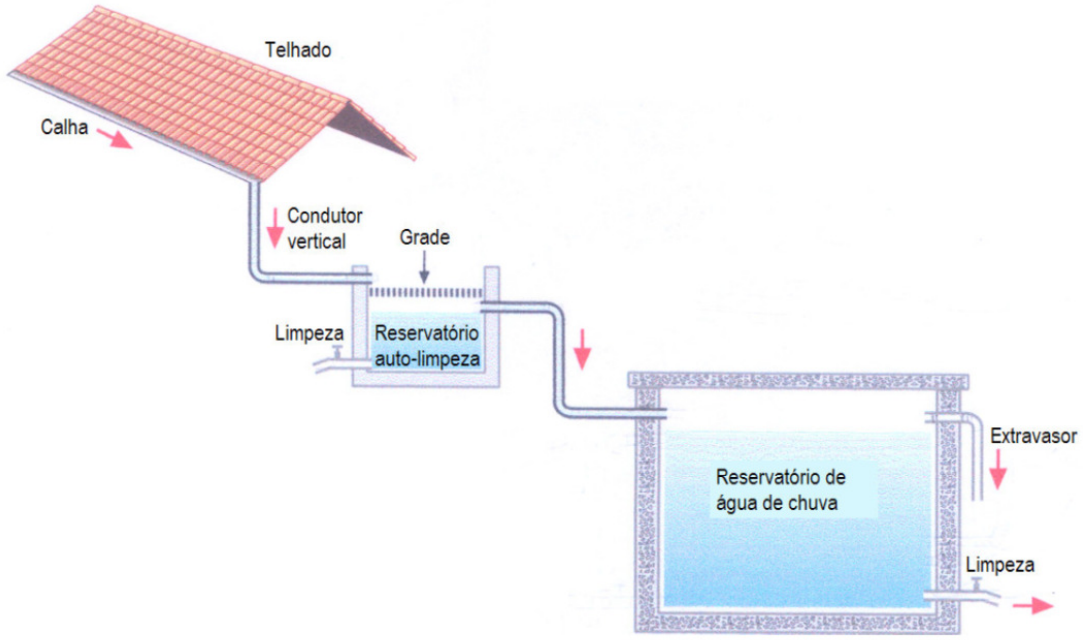

Figura 3.3 - Esquema de coleta de água de chuva com reservatório de auto-limpeza.
Fonte: MAY (2004).

Tabela 3.4 - Componentes básicos de um sistema predial de aproveitamento de água de chuva

SUBSISTEMAS DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA				
Captação	**Condução**	**Tratamento**	**Armazenamento**	**Distribuição**
Telhados	Calhas	Filtros de material grosseiro	Reservatórios ou cisternas	Tubulações, conexões e pecas de utilização
Lajes	Caixas de amortecimento	Filtros de material fino	-	-
Toldos	Tubos de queda, conexões e condutores horizontais	Dispositivos de descarte de primeira chuva	-	-
Pátios específicos	Caixas de desvio e inspeção	Equipamento de desinfecção	-	-

Fonte: GONÇALVES *et al.*, 2009.

Ainda, segundo a necessidade ou disponibilidade no mercado, existem diferentes concepções de sistemas de aproveitamento de água de chuva. HERRMANN e SCHMIDA (1999) destacam quatro formas construtivas de sistemas de aproveitamento de água de chuva:

(a) Sistema de fluxo total: toda a chuva coletada pela superfície de captação é dirigida ao reservatório de armazenamento, passando antes por um filtro ou por uma tela. O escoamento para o sistema de drenagem ocorre quando o reservatório está cheio (Figura 3.4a).

(b) Sistema com derivação: neste caso, uma derivação é instalada na tubulação vertical de descida da água da chuva, com o objetivo de descartar a primeira chuva, direcionando-a ao sistema de drenagem. Este sistema é também denominado de sistema autolimpante (Figura 3.4b). Em muitos casos instala-se um filtro ou tela na derivação. A água que extravasa do reservatório é encaminhada ao sistema de drenagem.

(c) Sistema com volume adicional de retenção: o reservatório de armazenamento é capaz de armazenar um volume adicional, garantindo o suprimento da demanda e a retenção de água com o objetivo de evitar inundações. Neste sistema uma válvula regula a saída de água correspondente ao volume adicional de retenção para o sistema de drenagem (Figura 3.4c).

(d) Sistema com infiltração no solo: o volume de água que extravasa do reservatório é direcionado a um sistema de infiltração no solo (Figura 3.4d). O exemplo dos tipos de sistemas configurados em a e c, toda a água da chuva coletada é direcionada ao reservatório de armazenamento, passando antes por um filtro ou tela.

Segundo HERMANN e SCHMIDA (1999), os sistemas a e c são mais eficientes quando se objetiva a retenção do pico de chuva.

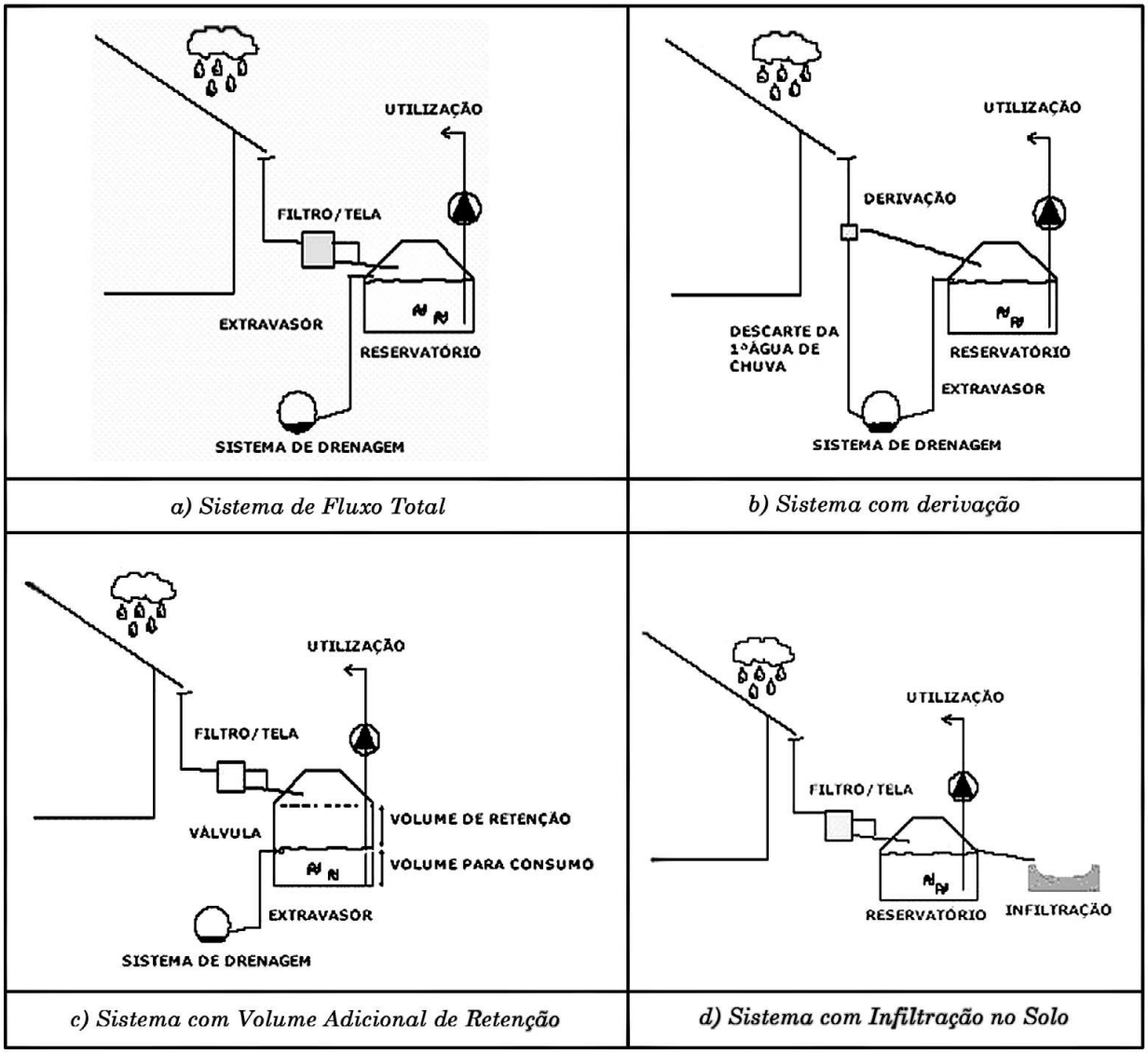

Figura 3.4 - Formas construtivas de sistemas de aproveitamento de água de chuva.
Fonte*:* HERRMANN E SCHMIDA, 1999.

Independentemente da complexidade de tamanho, o sistema de aproveitamento de água de chuva é composto por:

- **Área de captação**

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. Dentre as possibilidades de coleta da água de chuva utiliza-se como área de captação o telhado ou a superfície do solo. O mais comum é a utilização da captação nos telhados que podem ser de diferentes materiais, como de

telha cerâmica, fibrocimento, de zinco, aço galvanizado, plástico, vidro, acrílico, ou ainda de concreto armado ou manta asfáltica. Os telhados podem ser inclinados, pouco inclinados ou planos. A coleta de água de chuva feita através de superfícies impermeabilizadas é localizada ao nível do chão tais como pátios, calçadas, estacionamentos. O sistema de coleta através da superfície do solo pode ser empregado em locais e situações com grande área superficial, sendo necessário que as mesmas apresentem uma pequena inclinação, para o escoamento da água. Nestes sistemas é comum a construção de rampas ou canais para direcionar a água da chuva para o reservatório. O sistema de coleta da chuva através dos telhados quase sempre produz uma água de melhor qualidade.

O tipo de revestimento interfere no sistema de aproveitamento de água de chuva, devendo-se dar preferência, quando for o caso, para os de menor absorção de água, ou seja, as telhas que tenham um coeficiente de escoamento (C) maior, para minimizar as perdas, uma vez que nem toda água precipitada é coletada. O coeficiente de runoff é utilizado para fazer uma correção entre o volume de água da chuva e o volume que efetivamente é aproveitado. Assim, são estimadas perdas que vão de 10% a 33% do volume precipitado. Usa-se a letra C para o coeficiente de *runoff*. As Tabela 3.5 e Tabela 3.6 mostram os valores encontrados para C de acordo com o material empregado.

Tabela 3.5 - Coeficiente de *Runoff* adotado por Hofkes (1975) e Frasier (1975)

Material	Coeficiente de *Runoff*
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas corrugados de metal	0,7 a 0,9

Fonte: HOFKES (1981), FRASIER (1975) *apud* TOMAZ (2003).

Tabela 3.6 - Coeficiente de *Runoff* utilizado por Tucson e Phoenix

Material	Máximo	Mínimo
Telhado: metal, asfalto, fibra de vidro	0,95	0,90
Pavimentação: concreto, asfalto	1,00	0,90
Solo: c/ vegetação,	0,75	0,20
s/ vegetação	0,60	0,10
Gramado: c/ solo arenoso,	0,10	0,05
c/ solo barrento	0,17	0,13

Fonte: TUCSON, PHOENIX *apud* TOMAZ (2003).

PACEY et al. (1996 *apud* TOMAZ, 2003) apresentam vários coeficientes de escoamento (Tabela 3.7) utilizados por alguns países no dimensionamento de sistemas de água de chuva. Adotaram como boa estimativa, C igual a 0,80, que significa uma perda de 20% de toda a água precipitada. Tomaz (2003), também salienta que o melhor valor a ser adotado como coeficiente de escoamento superficial para o Brasil é C=0,80.

Tabela 3.7 - Coeficientes de escoamento superficial adotados para aproveitamento de água de chuva.

Local	Coeficiente de Escoamento Superficial
Flórida	0,67
Alemanha	0,75
Austrália	0,80
Ilhas Virgens	0,85

Fonte: PACEY et al. (1996) *apud* GONÇALVES *et. al.* (2006)

As Figura 3.5 e Figura 3.6 apresentam esquemas do aproveitamento da água em três configurações distintas: a) telhado; b) área impermeabilizada e c) telhado e pátio.

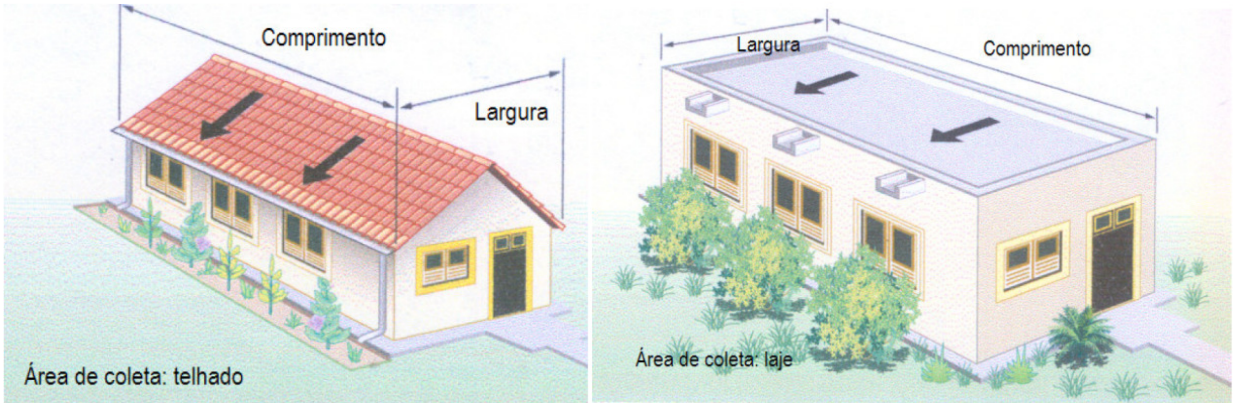

Figura 3.5 - Área de coleta (à esquerda) – telhado e laje (à direita).
Fonte: PETERS (2006).

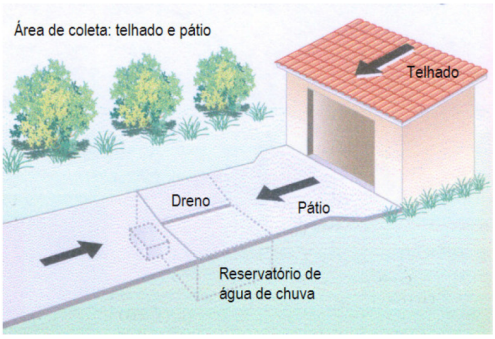

Figura 3.6 - Área de coleta - telhado e pátio.
Fonte: PETERS (2006).

A área de coleta está sempre vulnerável à contaminação de diversas origens, como poluentes atmosféricos, folhas, galhos, pequenos animais e seus excrementos, entre outros contaminantes. Em função da sua qualidade, mesmo com o emprego de grade nos coletores, deve-se sempre descartar os primeiros litros da água pluvial a cada chuva, chamando de água de limpeza do telhado;

- **Dispositivos de remoção de materiais grosseiros**

Conforme a norma brasileira NBR 15527/2007, que diz respeito ao aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis, os dispositivos para remoção de detritos devem ser instalados em sistemas de captação. Estes dispositivos podem ser, por exemplo, grades e telas que atendam à ABNT NBR 12213 (Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público). Independente do sistema adotado para a coleta da água da chuva deve-se evitar a entrada de matérias como folhas, gravetos ou outros materiais grosseiros no interior do reservatório de armazenamento final, uma vez que a decomposição dessas substâncias pode prejudicar a qualidade da água armazenada.

Com o aumento da prática do aproveitamento de água de chuva diversas empresas desenvolveram uma série de componentes de sistemas prediais específicos. Firma-se a tendência de mercado quanto a introdução de equipamentos industrializados para o aproveitamento dessa fonte alternativa de água. Alguns dispositivos produzidos com a finalidade de evitar o entupimento de calhas e tubos de queda podem ser adequados ao sistema de coleta de chuva como as grelhas flexíveis que evitam a entrada de folhas nas cisternas (Figura 3.7).

Figura 3.7 - Grelha para conexão entre calha e tubo de queda.
Fonte: IPT (2009).

Os equipamentos conhecidos como “rain barrels”, que consiste na captação de água dos telhados e a conduz diretamente aos reservatórios, muitas vezes improvisados em barris ou caixas d’água colocados diretamente sob o telhado, deram origem a equipamentos industrializados onde a tela que realiza a separação dos sólidos discretos da água de chuva já vem incorporada ao corpo do reservatório, sem a necessidade de adaptações, como ilustrado na Figura 3.8.

Figura 3.8 - Modelos de separadores simplificados de sólidos grosseiros.
Fonte: IPT (2009).

A maioria dos filtros industrializados é projetada para acoplamento ao tubo de queda de águas pluviais ou imediatamente após seu término. As principais posições assumidas são:

- vertical: colocado em secção do tubo de queda nas proximidades do nível do solo;
- horizontal: colocado acoplado à tubulação horizontal abaixo do nível do solo, em caixa ou poço apropriado, logo após o final do tubo de queda.

A classe de filtros representada na Figura 3.9 destina-se a remoção principalmente de folhas e gravetos que venham a se acumular sobre o telhado e que são arrastados pelas chuvas. Devem ser instalados nas calhas ou na interface entre a calha e tubo de queda, quando seu desenho permite a remoção não assistida das folhas retidas na tela, ou em altura suficiente para facilitar sua manutenção, no caso de necessitar de remoção manual periódica do material retido.

Figura 3.9 - Filtros de descida de colocação junto às calhas disponíveis no mercado internacional.
Fonte: IPT (2009).

A Figura 3.10 ilustra alguns tipos de filtro de descida destinados à instalação em tubos de queda. Os principais exemplares desses equipamentos encontrados no mercado, assim como para os filtros horizontais, são fabricados por empresas alemãs e exportados pelo mundo. Além da aparência dos filtros a Figura 3.10 ilustra seu esquema de funcionamento.

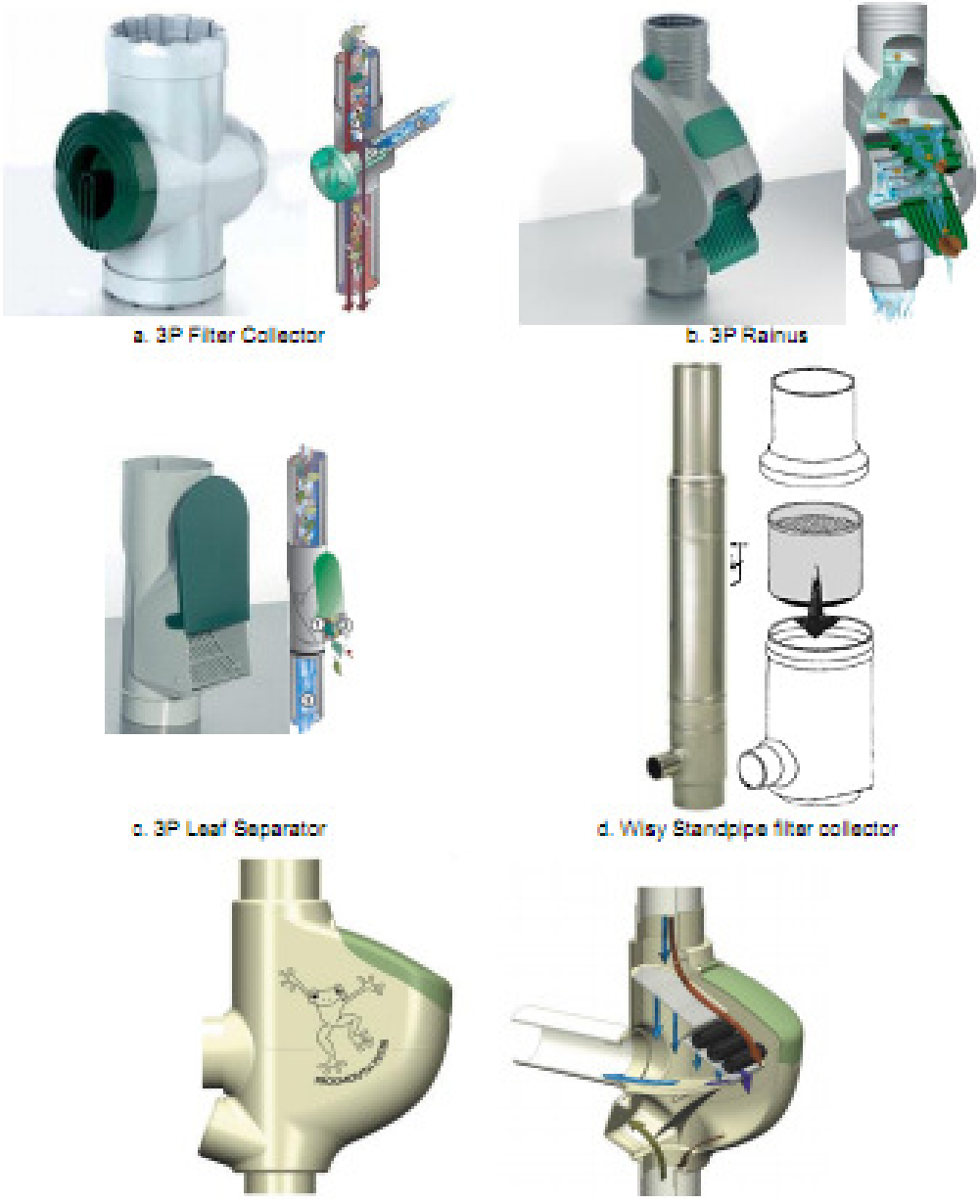

Figura 3.10 - Filtros de descida industrializados.
Fonte: IPT (2009).

A Figura 3.11 apresenta alguns modelos de filtros industrializados de fluxo horizontal. Esses filtros deve ser colocados abaixo do piso, enterrados, em caixas de alvenaria ou nichos especialmente projetados para comportar os equipamentos necessários ao sistema de filtragem de águas pluviais.

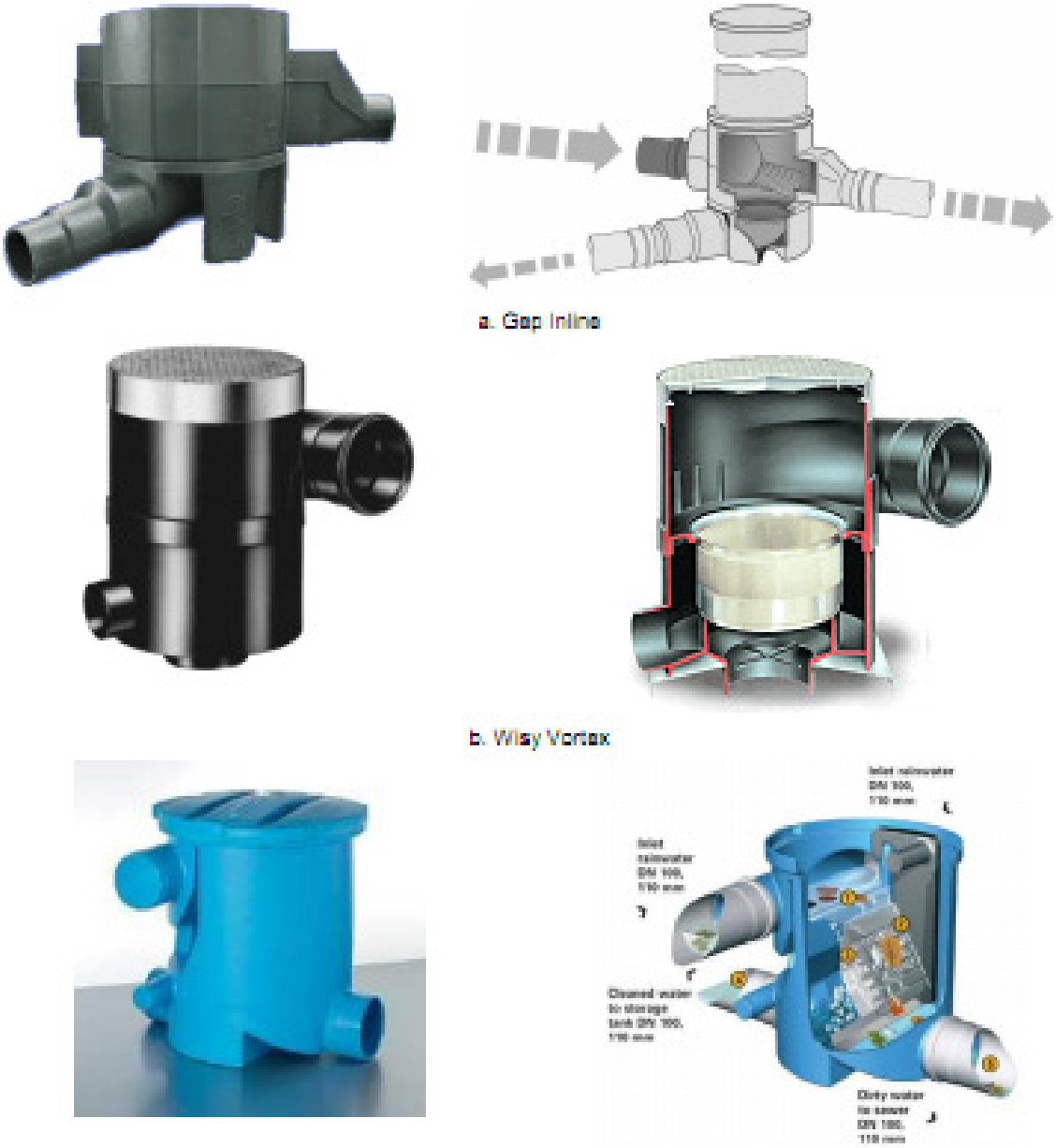

Figura 3.11 - Filtros de fluxo horizontal industrializados.
Fonte: IPT (2009).

Alguns fabricantes também disponibilizam filtros e equipamentos para serem instalados no interior das cisternas de forma a reduzir o espaço empregado nas instalações de captação de

águas de chuva para uso. Alguns modelos de filtros de cisterna podem ser observados nas Figura 3.12 e Figura 3.13.

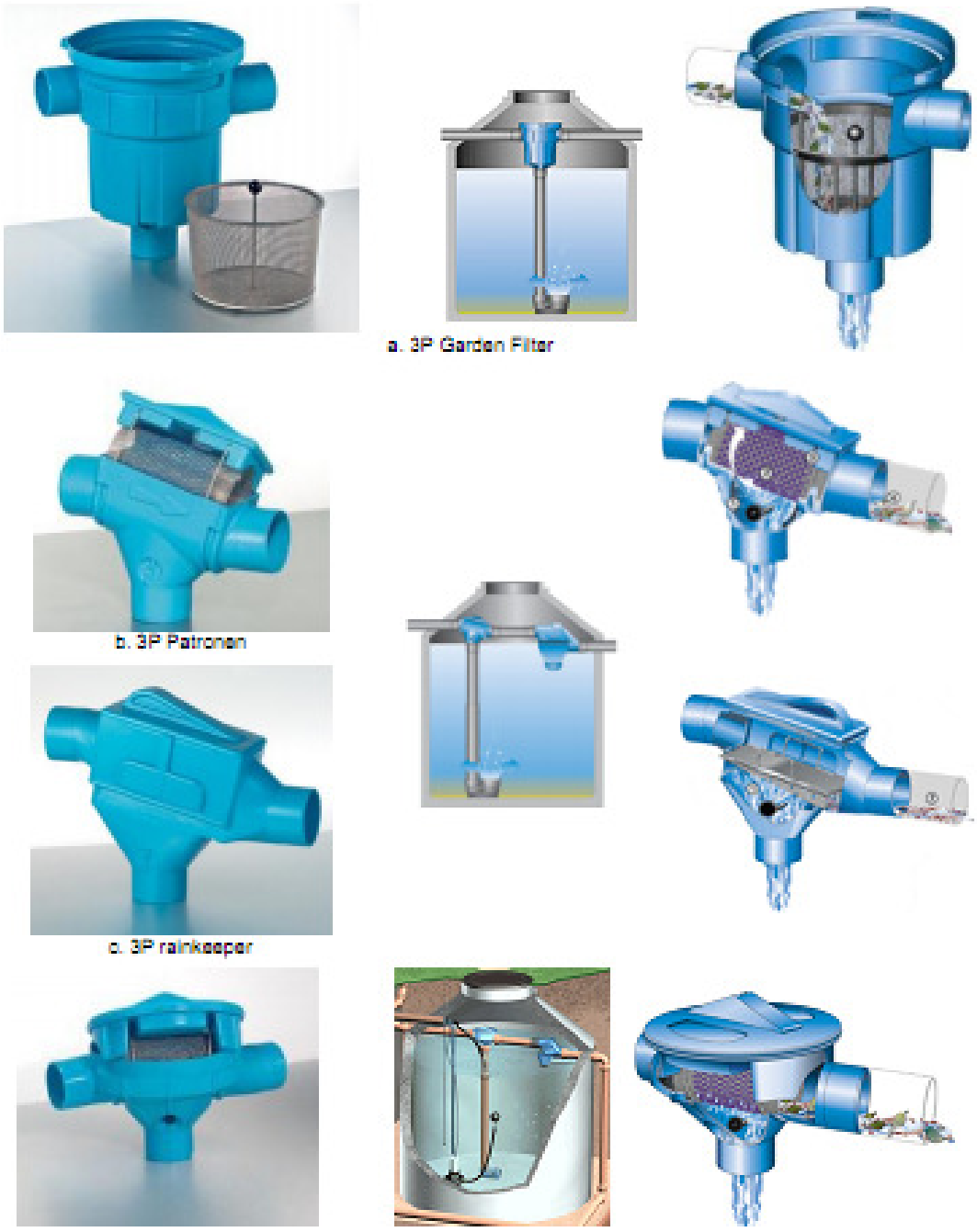

Figura 3.12 - Filtros fixos internos da cisterna.
Fonte: IPT (2009).

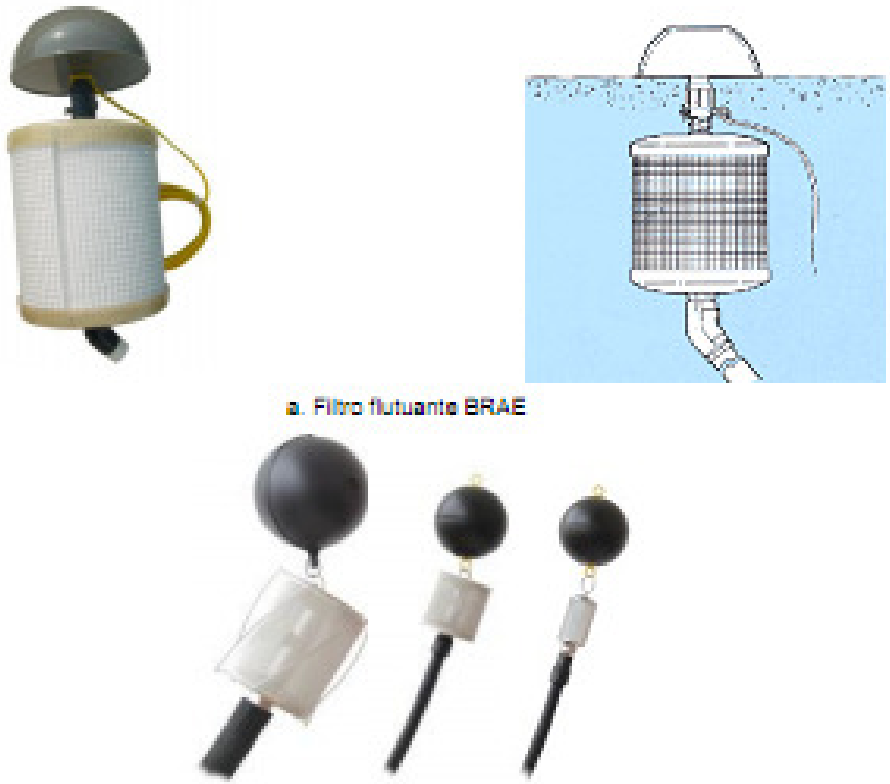

Figura 3.13 - Filtros flutuantes de saída da água da cisterna.
Fonte: IPT (2009).

- **Dispositivo de Descarte da primeira água de chuva**

Além da filtração, é imprescindível contar com dispositivo de descarte da água escoada nos primeiros momentos da precipitação, ou como vem sendo denominada, água de primeira chuva. Essa necessidade decorre do fato de que, após um período sem ocorrência de precipitações, o telhado ou cobertura terá recebido uma carga de substâncias e materiais diversos que ficam sobre eles depositados. Eles têm origem na poluição atmosférica, na presença de animais, em eventual vegetação, entre outras. Quando do evento da precipitação pluvial todo esse material será arrastado pelo escoamento das águas, ocorrendo uma lavagem natural. Tem particular importância aquela decorrente dos primeiros milímetros de chuva precipitada.

O reservatório de descarte destina-se à retenção temporária e posterior descarte da água coletada na fase inicial da precipitação e os volumes descartados são determinados em função da qualidade da água durante as fases iniciais de precipitação, que ocorrem após diferentes períodos

de estiagem. Esta água da chuva inicial pode ser desviada do reservatório de forma manual através do uso de tubulações ou ainda de forma automática através de dispositivos de auto-limpeza.

Para o dimensionamento do sistema de descarte utiliza-se uma regra prática. Por exemplo, na Flórida (EUA), para cada 100 m² de área de telhado, descarta-se 40 litros, ou seja, 0,4 l/m², entretanto, no Brasil, mais especificamente na região de Guarulhos usa-se 1,0 l/m² ou 1mm de chuva por metro quadrado (TOMAZ, 2003).

A NBR 15527/2007, que normatiza o aproveitamento de água de chuva coletada de telhados, sugere que os dois primeiros milímetros de água precipitado a cada chuva sejam descartados.

Nos estudos apresentados por ANNECHINI (2005), analisaram-se parâmetros de qualidade da água de águas de primeira chuva apos 0,5 mm, 1,0 mm e 1,5 mm de precipitação. Constatou-se que o descarte após o primeiro milímetro (1,0 mm) de chuva constitui-se em valor adequado para projeto.

Há diversas técnicas manuais ou automáticas para descarte desta água de limpeza do telhado, entre os quais, sistemas mais simples utilizam tonéis com sistema de registro de gaveta (Figura 3.14) até o uso de reservatório de auto-limpeza com torneira de bóia de fechamento (Figura 3.15) para assegurar uma água de chuva de melhor qualidade.

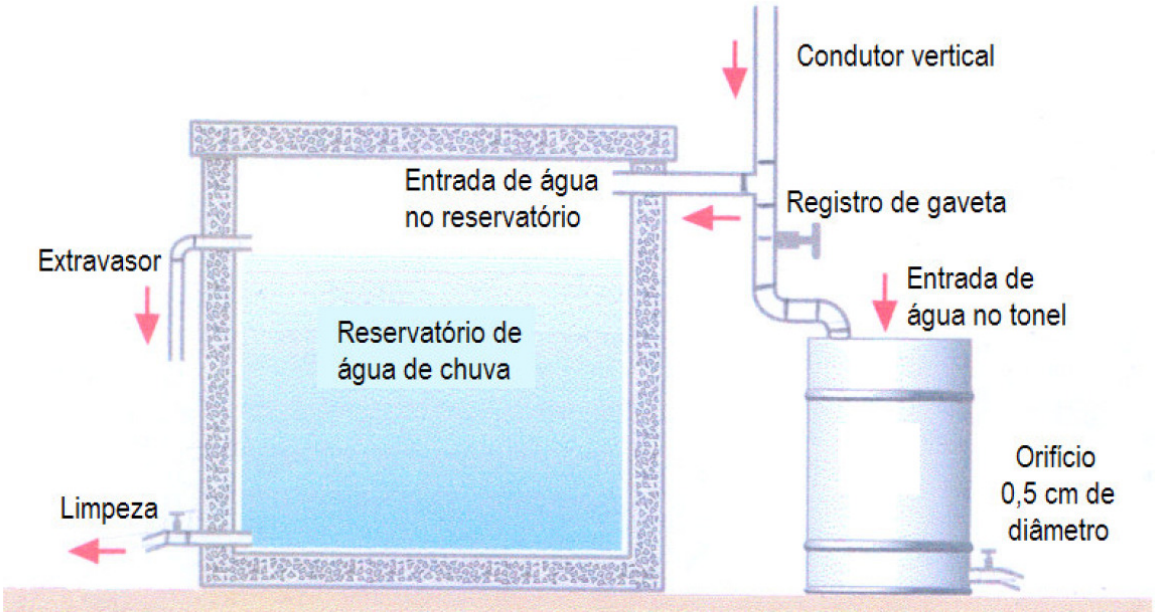

Figura 3.14 - Reservatório de água de chuva com tonel.
Fonte: Dacach , 1990.

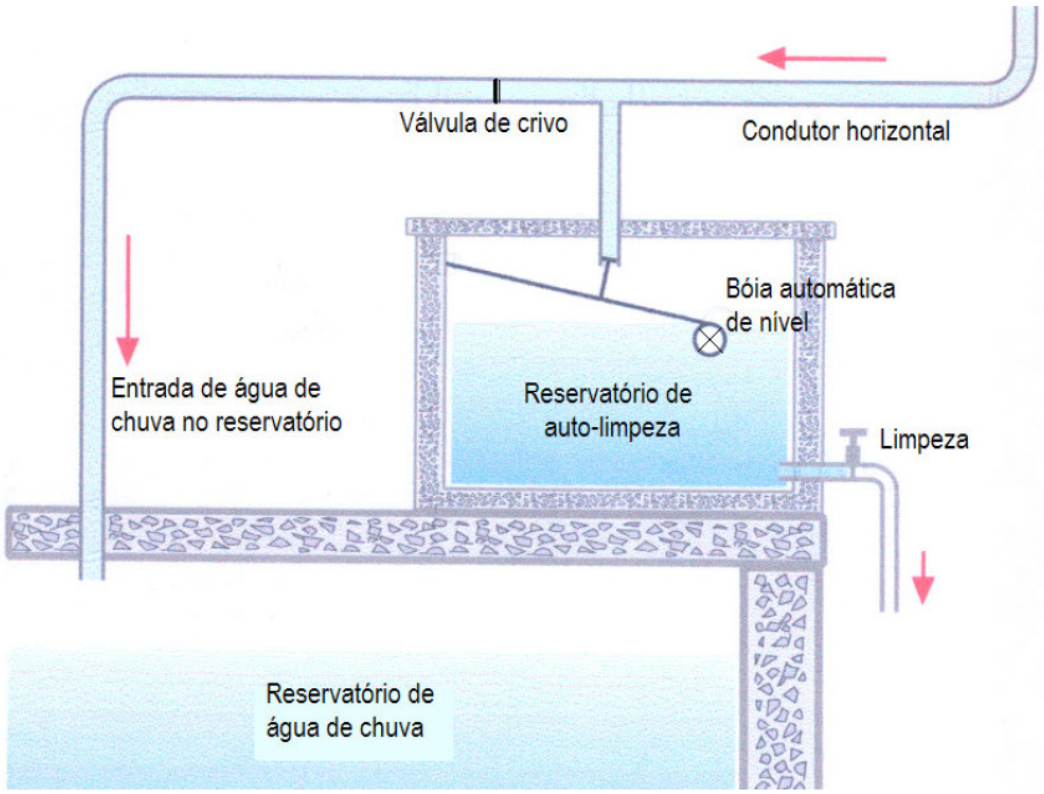

Figura 3.15 - Reservatório de auto-limpeza com torneira bóia.
Fonte: Dacach , 1990.

No sistema de descarte da Figura 3.14, 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 tonal. 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.

O funcionamento do sistema apresentado da Figura 3.16 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 de água sobe até atingir a posição limite, implicando no fechamento automático da torneira bóia. Só, então, a água que continua a adentrar ao sistema começa a escoar para o reservatório de água de chuva. Cessada a chuva, o registro de descarte do reservatório de auto-limpeza deve ser aberto para esvaziá-lo e retornar às condições de funcionamento.

Além destas, o dispositivo mais difundido para o descarte é esquematizado na Figura 3.16. É constituído de um reservatório com capacidade adequada ao armazenamento da água de primeira chuva a ser descartada. No interior do reservatório de água de descarte e colocada uma esfera de densidade inferior a da água, com diâmetro maior que o da entrada do reservatório. Assim que o nível da água de descarte atinge o limite de projeto, a esfera impede a passagem da água, desviando-a para o reservatório de aproveitamento.

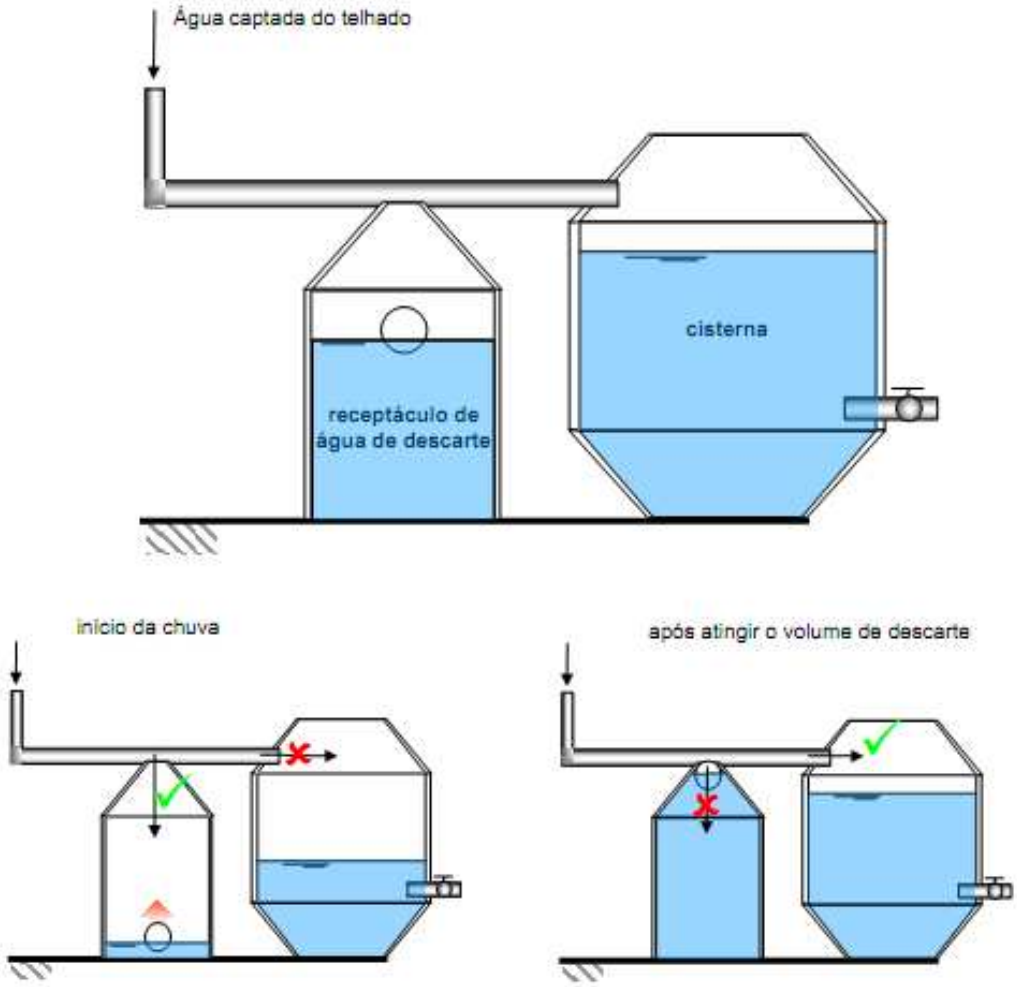

Figura 3.16 - Dispositivo de descarte tipo esfera: esquema de funcionamento.
Fonte: IPT (2009).

Outra solução bastante prática é apresentada por MELO e ANDRADE (2007) em aproveitamento experimental realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Trata-se de uma configuração simples, pois pode ser construída simplesmente com a derivação da tubulação que conduz a água captada na cobertura. Preenchido o reservatório para o armazenamento da água de primeira chuva, as águas posteriormente precipitadas seguem para o reservatório de água de chuva a ser aproveitada.

CILENTO (2008) desenvolveu e patenteou um dispositivo que conjuga filtração de material grosseiro, descarte de primeira água e armazenamento de água de chuva. O dispositivo (Figura 3.17) foi projetado de forma a ser compacto o suficiente para ser utilizado em edificações

já existentes sem a necessidade de intervenções nas instalações hidráulicas de captação e condução de água pluvial. O sistema conta com duas telas inclinadas sobrepostas responsáveis pela remoção dos sólidos da água, posicionadas sobre um reservatório de acumulação de água de primeira chuva. O funcionamento do separador de água de primeira chuva baseia-se em uma comporta móvel que possui em sua extremidade livre uma barra de elemento flutuante. Assim que o nível do reservatório de água de primeira chuva atinge seu nível máximo de projeto a comporta é fechada, encaminhando a água para o reservatório de água a ser aproveitada. O uso previsto para a água coletada por esse sistema é a limpeza de pisos e rega de jardins.

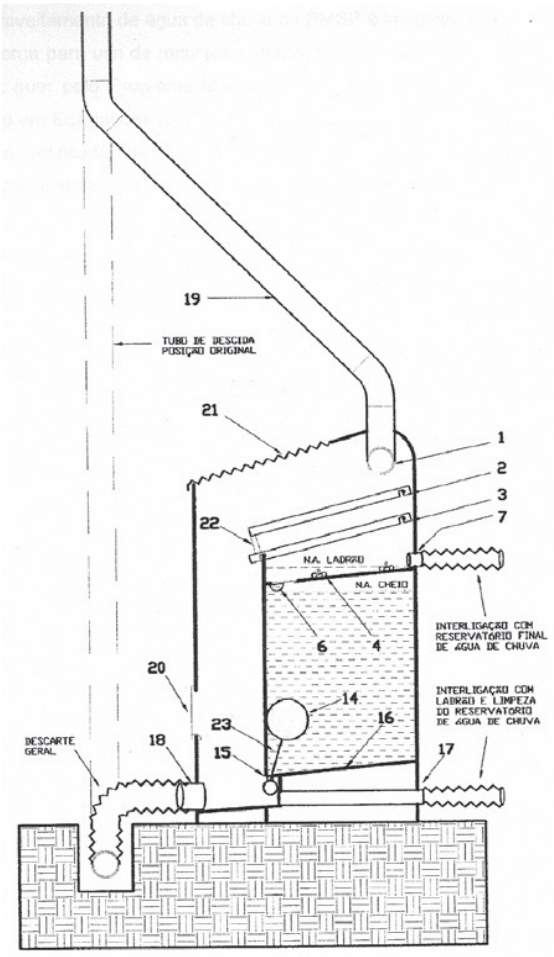

Figura 3.17 - Dispositivo de filtração de material grosseiro, descarte tipo comporta flutuante e Armazenamento
Fonte: CILENTO (2008).

- **Tratamento da água da chuva**

O sistema de tratamento depende da qualidade da água coletada e do seu destino final. Por isso, faz-se necessária as análises de composição física, química e bacteriológica da água de chuva para caracterizá-la, determinar seus parâmetros de qualidade e verificar a necessidade e o tipo de tratamento mais adequado ao uso pretendido. De maneira geral, considerando os usos mais comuns (irrigação de áreas verdes, torres de resfriamento de sistemas de ar condicionado, lavagens de pisos, descarga em toaletes, etc.) são empregados sistemas de tratamento composto de unidades de sedimentação natural, filtração simples e desinfecção.

Após o descarte da primeira chuva algumas substâncias ainda permanecem na água da chuva onde, em alguns casos, faz-se necessário a utilização de dispositivos para a sua eliminação. Eventualmente podem-se utilizar sistemas mais complexos que proporcionem níveis de qualidade mais elevados. A qualidade da água de chuva pode variar de acordo com o local onde é feita a coleta interferindo diretamente nas necessidades do sistema e usos pretendidos (Tabela 3.8).

Tabela 3.8 - Variação da qualidade da água de chuva devido à área de coleta.

Grau de Pureza	Área de coleta	Observações
A	Telhados (locais não utilizados por pessoas e animais)	Se a água for tratada pode ser consumida
B	Telhado (locais utilizados por pessoas e animais)	Usos não potáveis
C	Jardins artificiais Estacionamentos	Mesmo para usos não potáveis, necessita tratamento
D	Estradas, estradas elevadas (viadutos, ferrovias e rodovias).	Mesmo para usos não potáveis, necessita tratamento

Fonte: GROUP RAINDROPS (1995).

Segundo o GROUP RAINDROPS (1995 *apud* GONÇALVES *et al*., 2009), deve-se levar em conta estes requisitos de qualidade dependendo das aplicações que se fizer, como observado na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Tipos de tratamento de acordo com a utilização da água

Uso requerido da água	Tratamento necessário
Rega de Jardins	Nenhum Tratamento
Aspersores de Irrigação **Combate a Incêndio,** **Ar-condicionado**	Tratamento necessário para manter o armazenamento e equipamentos em boas condições
Lago / Fonte **Descarga no Vaso Sanitário** **Lavar roupas / Lavar carros**	Tratamento higiênico é necessário devido ao possível contato humano com a água Piscina / Banho
Beber / Cozinhar	A desinfecção, para a água ser ingerida direta ou indiretamente

Fonte: GROUP RAINDROPS, 1995.

O guia de aproveitamento de água de chuva do Texas, EUA, (Texas Guide to Rainwater Haversting, 1997 *apud* GONÇALVES *et al*., 2009), propõe medidas de proteção para o uso da água da chuva antes de seu consumo (Tabela 3.10), sendo que uma filtração e alguma forma de desinfecção é o mínimo necessário quando esta água for utilizada para consumo humano (beber, escovar os dentes, cozinhar).

Tabela 3.10 - Técnicas de tratamento da água da chuva em função da localização.

Técnicas de tratamento		
Método	**Local**	**Resultado**
Telas e grades	Calhas e tubo de queda	Previne entrada de folhas e galhos no sistema
Sedimentação	No reservatório	Sedimenta matéria particulada
Filtração		
-Na linha de água	Após bombeamento	Filtra sedimentos
-Carvão ativado	Na torneira	Remove cloro
-Osmose reversa	Na torneira	Remove contaminantes
-Camadas mistas	Tanque separado	Captura material particulado
-Filtro lento	Tanque separado	Captura material particulado
Desinfecção		
-Fervura/destilação	Antes do uso	Elimina microorganismos
-Tratamento químico (cloro ou iodo)	No reservatório ou no bombeamento (líquido, tablete/pastilha ou granulado)	Elimina microorganismos
-Radiação ultravioleta	Sistemas de luz ultravioleta devem estar localizados após passagem por filtro	Elimina microorganismos
-Ozonização	Antes da torneira	Elimina microorganismos

Fonte: Texas Guide to Rainwater Harvesting, 1997 *apud* GONÇALVES *et al*., 2009.

- **Condutores/Tubulações para condução da água:**

Para a utilização da água de chuva, é necessário que as edificações sejam dotadas de calhas coletoras e condutores verticais para o direcionamento da água da chuva do telhado ao reservatório. O dimensionamento adequado das calhas e condutores verticais, bem com sua instalação, são elementos importantes para o funcionamento de todo o sistema. Pode-se utilizar como referência para o dimensionamento desses componentes a NBR 10.844/89, Instalações Prediais de Águas Pluviais da ABNT. As calhas e coletores de águas pluviais podem ser de PVC ou metálicos.

- **Reservatório de armazenamento/cisterna**

Realizado o processo de tratamento da água da chuva, a mesma é direcionada ao reservatório de armazenamento final, também conhecido como cisterna.

A estimativa da demanda que se deseja atender é um fator que irá influenciar diretamente no cálculo da cisterna de água de chuva. Obter os seus valores de forma coerente e precisa influenciará diretamente no volume do reservatório e conseqüentemente na economia do sistema.

A escolha do local de instalação do reservatório, do modelo e do material a ser utilizado deve levar em consideração as condições do terreno e da disponibilidade de área. Os reservatórios superficiais devem ser instalados em locais que disponham de área livre, apresentando a vantagem de possibilitar alguns usos sem a necessidade de bombeamento, como para a lavagem de áreas impermeáveis e a rega de jardins.

Já os reservatórios semi-enterrados ou enterrados geralmente necessitam de bombeamento, seja ele manual ou mecânico. Em algumas situações, como no nordeste do Brasil, muitas vezes a população utiliza baldes para a retirada da água da cisterna, o que pode levar a contaminação da água em seu interior.

Em situações onde o aproveitamento de água da chuva está sendo estudado e previsto, particularmente no caso de novas edificações, é possível instalar o reservatório logo abaixo do telhado, de maneira a evitar os gastos com o bombeamento da água.

O armazenamento da água da chuva por alguns dias proporciona uma separação de fases sólido-líquido, fazendo com que o reservatório funcione como um decantador. Entretanto, em termos químicos e microbiológicos, não se observou grandes alteração na qualidade da água da chuva com o armazenamento. Desta forma é importante a utilização de "freios-d'água" na entrada do reservatório, com o objetivo de evitar a suspensão dos sólidos sedimentados em seu fundo.

Os sistemas de coleta e aproveitamento de águas pluviais requerem cuidados gerais e características construtivas que permitam a segurança do abastecimento, a manutenção da qualidade da água armazenada e níveis operacionais adequados e econômicos. Entre estes podem ser ressaltados (GONÇALVES *et al*., 2006).:

- Evitar a entrada de luz do sol no reservatório para diminuir a proliferação de algas e microrganismos;

- Manter a tampa de inspeção fechada;
- Colocar grade ou tela na extremidade de saída do tubo extravasor, para evitar a entrada de pequenos animais;
- Realizar a limpeza anual do reservatório, removendo os depósitos de sedimentos;
- Projetar o reservatório de armazenamento com declividade no fundo na direção da tubulação de drenagem, para facilitar a limpeza e retirada de sedimentos;
- Assegurar que a água coletada seja utilizada somente para fins não-potáveis;
- Prever a conexão (sem possibilidade de contaminação) de água potável com o reservatório de armazenamento assegurando o consumo diário por ocasião de estiagens prolongadas;
- Prever dispositivo no fundo do reservatório de armazenamento para evitar turbulência evitando a suspensão do material sedimentado;
- Pintar de cor diferenciada as linhas de coleta e de distribuição de águas pluviais. Conexões e sistemas de roscas também devem ser diferenciados para evitar a possibilidade de ocorrência de conexão cruzada com o sistema de distribuição de água potável. As torneiras externas deverão ser operadas com sistemas de chaves destacáveis para evitar o consumo como água potável;
- Deverão ser colocadas placas indicativas junto das torneiras de acesso geral, com inscrição "Água não-potável"; e
- A qualidade da água distribuída deverá ser submetida a um processo de monitoramento programado.

3.7.5. Perdas de água e consumo de energia

O aproveitamento de água de chuva é visto pelos diferentes setores da sociedade como rentável, buscando na água de chuva um retorno na economia da água consumida. No entanto deve-se ficar atento quanto às perdas de água que ocorrem nas etapas do sistema de água de

chuva. Os componentes utilizados no sistema de captação e armazenamento dessas águas levam a uma diferença volumétrica entre a quantidade de água que cai em um telhado sob a forma de precipitação e aquela efetivamente a ser captada e armazenada para utilização. Essas perdas de volume estão ligadas, entre outros fatores, a evaporação da água quando atinge o telhado, a absorção pelas telhas, ao volume descartado como água de primeira chuva e a eficiência dos equipamentos utilizados antes do reservatório de armazenamento.

Estes componentes específicos para o aproveitamento de água de chuva, como por exemplo, os filtros de remoção de grosseiros, têm a capacidade de melhorar a qualidade da água, porém as empresas fabricantes desses equipamentos não especificam exatamente de quanto seria a capacidade e a eficiência de aproveitamento de água.

Geralmente, quando se faz uso de energia elétrica em sistemas de aproveitamento de água de chuva o consumo ocorrerá nos sistemas de bombeamento para elevação e distribuição da água, e em um eventual tratamento, caso o uso final demande uma qualidade melhor da água, como os sistemas de tratamento por ozônio, e luz ultravioleta.

A água produzida pela concessionária estadual de saneamento da Bahia tem uma intensidade energética de 0,82 kWh/m³ (BRASIL, 2007). Se considerarmos uma perda (água não contabilizada) de 40%, o teor energético da água sobe para 1,4 kWh/m³. Para o aproveitamento de água de chuva com reservatório enterrado (cisterna) esse indicador seria da ordem de 0,05 kWh/m³ e zero para o caso do reservatório elevado, aproveitando a energia potencial disponível na água de chuva (KIPERSTOK, 2008).

Para casos de sistemas de aproveitamento de água de chuva instalados no meio urbano, as perdas de água e o consumo de energia tornam-se fatores que devem ser criteriosamente analisados, tendo em vista que estes podem afetar na viabilidade do sistema. A ineficiência do sistema quanto a esses aspectos pode elevar a relação de gasto energético por água de chuva aproveitada equiparando aos dos sistemas de abastecimento público, e o sistema em si que visava a conservação de energia torna-se dispendioso. Com relação ao fator hídrico, apesar do gasto energético, o sistema ainda poderá ser considerado como rentável, pois ainda se preserva a água de melhor qualidade utilizando-a somente para higiene pessoal e alimentação obtendo uma economia na conta final de água. No entanto existe a possibilidade de uma perda de água

significativa no sistema a ponto de prejudicar o suprimento de água de chuva para o uso previsto demandando o uso da água vinda da rede pública.

Além disso, para a concepção de um sistema de aproveitamento de água de chuva, considera-se o custo de investimento, que está relacionado aos gastos com a instalação, equipamentos e manutenção do sistema, e em quanto tempo esse investimento teria retorno ("Payback") pela economia nos gastos da conta de água fornecida pelos sistemas públicos de abastecimento. Porém diante da disponibilidade limitada de recursos naturais, os custos de investimento e o período de retorno ("payback") deveriam torna-se algo de menor relevância quanto a escolha de qualquer projeto de natureza conservacionista, e sim a ação de preservação dos recursos naturais, do meio e que garanta a sustentabilidade ambiental deve-se encontrar em primeiro plano. Percebe-se, portanto, que mesmo que os sistemas de água de chuva não seja vantajoso quanto ao aspecto financeiro ou o período de retorno seja longo, o ato de conservação do recurso hídrico possui maior importância na adoção de projetos como esse.

4. METODOLOGIA

A elaboração do modelo teórico se baseou nas configurações e componentes comumente aplicados em sistemas de aproveitamento de água de chuva instalados nas edificações. Para o desenvolvimento do modelo de balanço hídrico e energético dos sistemas de aproveitamento de água de chuva foram considerados os seguintes componentes: superfície de captação, filtro de material grosseiro, dispositivo de descarte de primeira chuva, sistemas de desinfecção, reservatórios de armazenamento e bombas hidráulicas.

Pelo fluxograma apresentado na Figura 4.1 verifica-se as possibilidades de composição e configuração dos sistemas de aproveitamento de água de chuva. Ressalta-se que, apesar do fluxograma apresentar as opções de uso ou não do filtro de material grosseiro e dispositivo de descarte de primeira chuva, estes são equipamentos essenciais para o tratamento adequado da água de chuva e recomenda-se fortemente a aplicação dos mesmos.

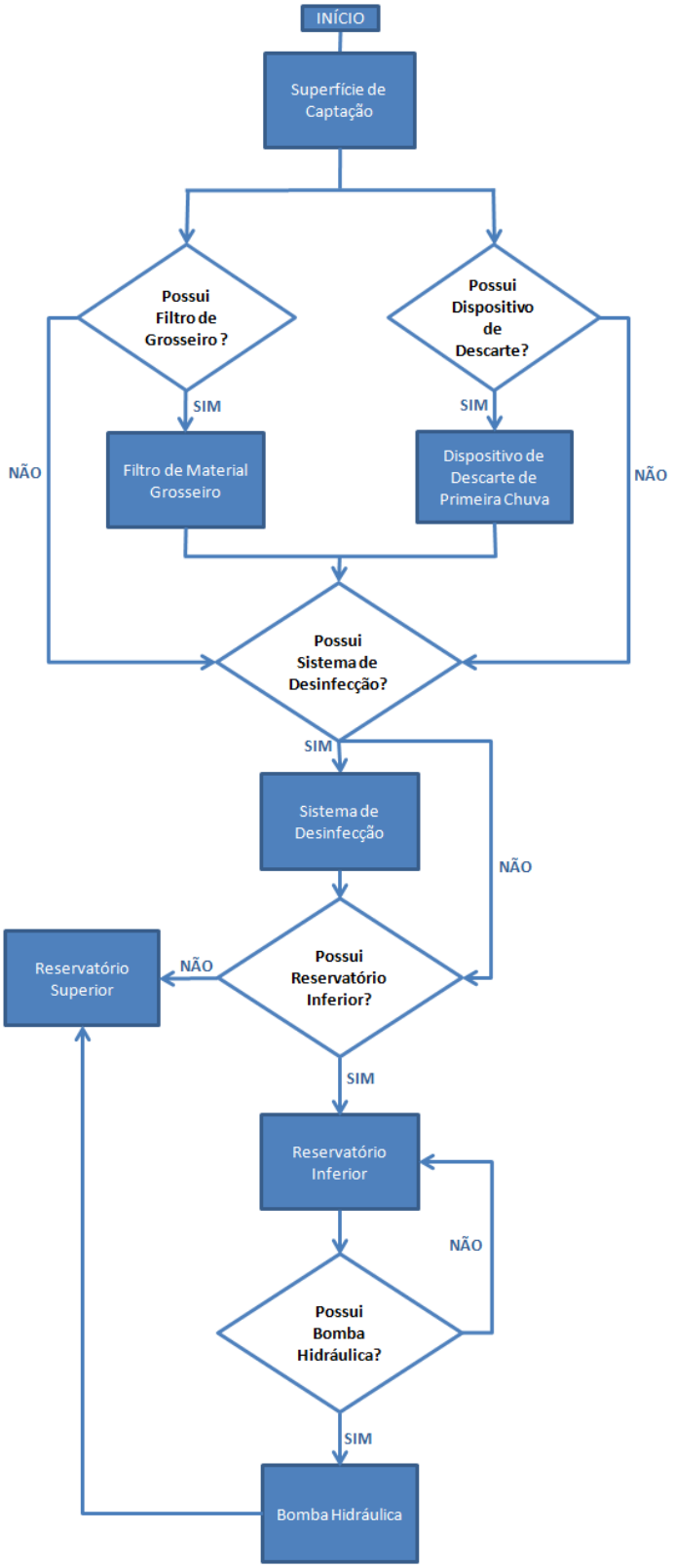

Figura 4.1 – Fluxograma da composição e configuração dos sistemas de aproveitamento de água de chuva.

A Figura 4.2 ilustra de forma genérica e esquemática as possibilidades de configuração do sistema de aproveitamento de água de chuva obtidas a partir do fluxograma (Figura 4.1). Verifica-se que a ordem do filtro de material grosseiro e do dispositivo de descarte podem ser alternadas conforme a preferência do usuário/projetista. Assim como o sistema de desinfecção, a bomba hidráulica e os reservatórios superior e inferior são componentes opcionais, e dependendo da escolha, o fluxo de água do sistema seguirá um direcionamento diferente. Apesar dos reservatórios estarem representados como componentes opcionais, a participação do mesmo se faz necessária, e ao considerá-los como opcionais refere-se apenas a sua posição, se inferior, superior ou ambos.

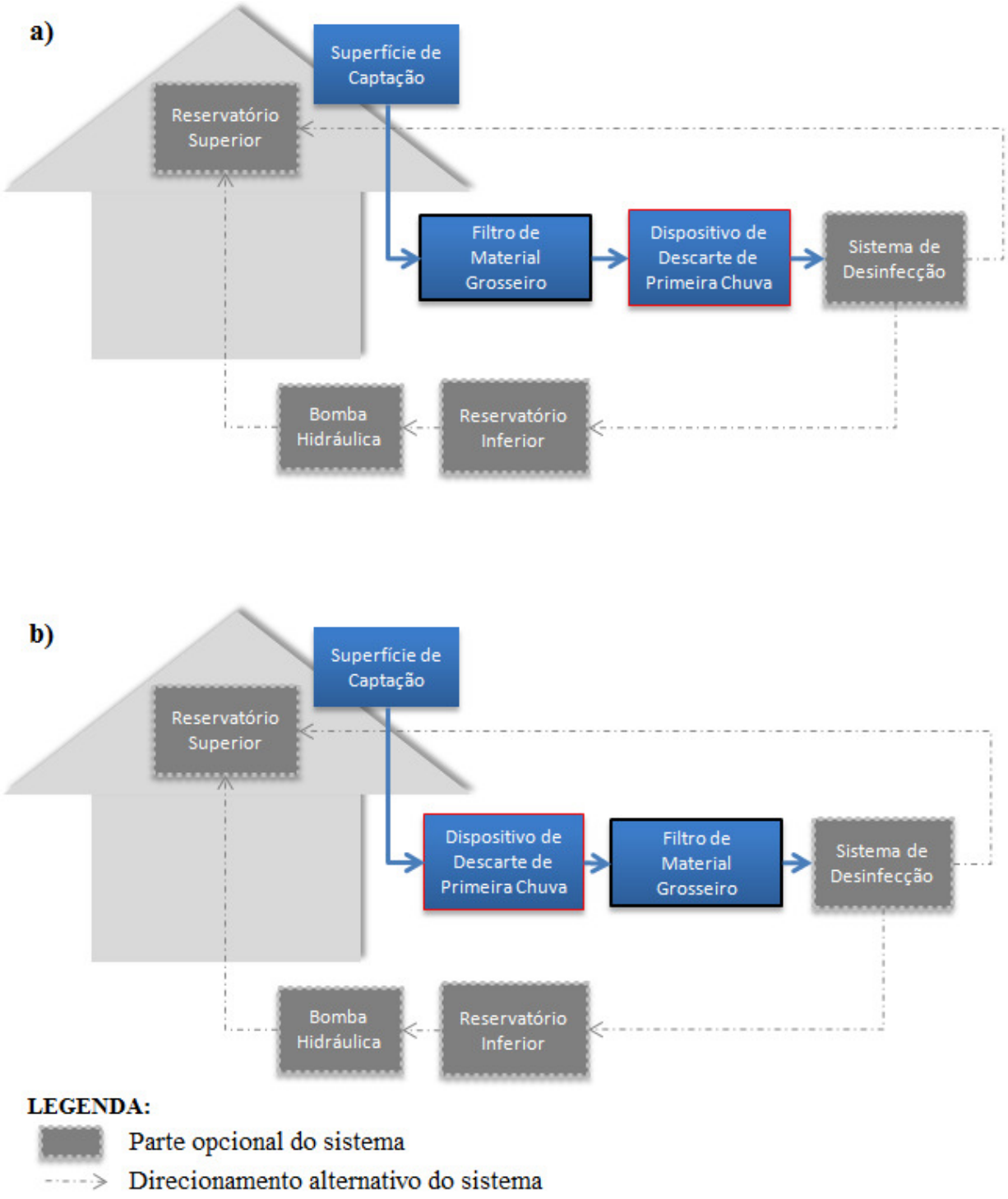

Figura 4.2 - Configurações genéricas dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, com o Filtro de material grosseiro antes do dispositivo de descarte (a) e seguido do dispositivo de descarte (b).

Com a concepção definida do sistema de aproveitamento de água de chuva, obtêm-se os dados de balanço hídrico e energético para o cálculo do modelo teórico, os quais divide-se em dois grupos de grandezas:

a) Volumes de águas:

- ✓ **Pluvial** (Sistema de aproveitamento de água de chuva): precipitado, não aproveitado e aproveitado;
- ✓ **Potável** (Rede pública de abastecimento): consumido para complementação do volume de água de chuva insuficiente para a demanda.

b) Consumo energético: quantidade de energia consumida pelos componentes do sistema de aproveitamento de água de chuva em função dos volumes de água de chuva armazenado e consumido.

5. DESENVOLVIMENTO DO MODELO TEÓRICO

Da resolução do modelo teórico, tem-se o índice de avaliação hídrico-energético do sistema que corresponde à incidência de consumo de energia por volume de água de chuva aproveitada, o qual foi denominado como *índice líquido de consumo energético* (ILE). Sendo assim, este índice é obtido pela relação do balanço energético (CTE) e balanço hídrico (VTA) do sistema predial de aproveitamento de água de chuva. A Equação 5.1 representa a fórmula base fundamental do modelo teórico.

$$ILE = \frac{CTE}{VTA}$$ **Equação 5.1**

Onde:

ILE = *Índice líquido de consumo energético (kWh/m^3);*

CTE = *Consumo total de energia no sistema de aproveitamento de água de chuva (kWh); e*

VTA = *Volume total de água de chuva efetivamente aproveitado (m^3).*

Os elementos de balanço hídrico e energético da Equação 5.1 são calculados separadamente, visto que para cada procedimento de cálculo dos balanços as variáveis envolvidas são incompatíveis. Dessa forma, inicialmente se desenvolve as equações para o cálculo do balanço hídrico e balanço energético, para que em seguida, substituem-se os valores obtidos na equação geral.

5.1. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO

A Equação 5.2 é a expressão geral que orienta a determinação do balanço hídrico de água de chuva, associando a oferta de água, o volume aproveitado e o volume não aproveitado. A oferta corresponde ao volume de entrada (VE) de água de chuva no sistema. Desse volume é deduzida a parcela de volume não aproveitado (VNA) pelos componentes do sistema. A subtração desses elementos expressa o volume efetivamente aproveitado (VA).

VA = VE – VNA **Equação 5.2**

Tem-se o conhecimento que os sistemas de aproveitamento de água de chuva são compostos por diferentes equipamentos, e para cada parte, as porções volumétricas sofrem alterações. Assim, o cálculo do balanço hídrico dividiu-se em três etapas, representando fases do sistema de aproveitamento de água de chuva:

- **Primeira Etapa:** Captação de água de chuva;
- **Segunda Etapa:** Sistema de Tratamento de água de chuva; e
- **Terceira Etapa:** Armazenamento da água de chuva.

Seguindo o mesmo conceito da Equação 5.2, adaptaram-se os elementos volumétricos do balanço (volume de entrada - VE, volume aproveitado - VA e não aproveitado - VNA) para as etapas de cálculo. O fluxograma geral do cálculo do balanço hídrico está representado na Figura 5.1, e neste identificam-se os componentes envolvidos em cada etapa e os respectivos dados de volume.

A primeira etapa do cálculo do balanço hídrico é constituído pela superfície de captação. Os filtros de material grosseiro e dispositivos de descarte de primeira chuva representam os componentes da segunda etapa de cálculo. E os reservatórios de armazenamento pertencem à terceira etapa.

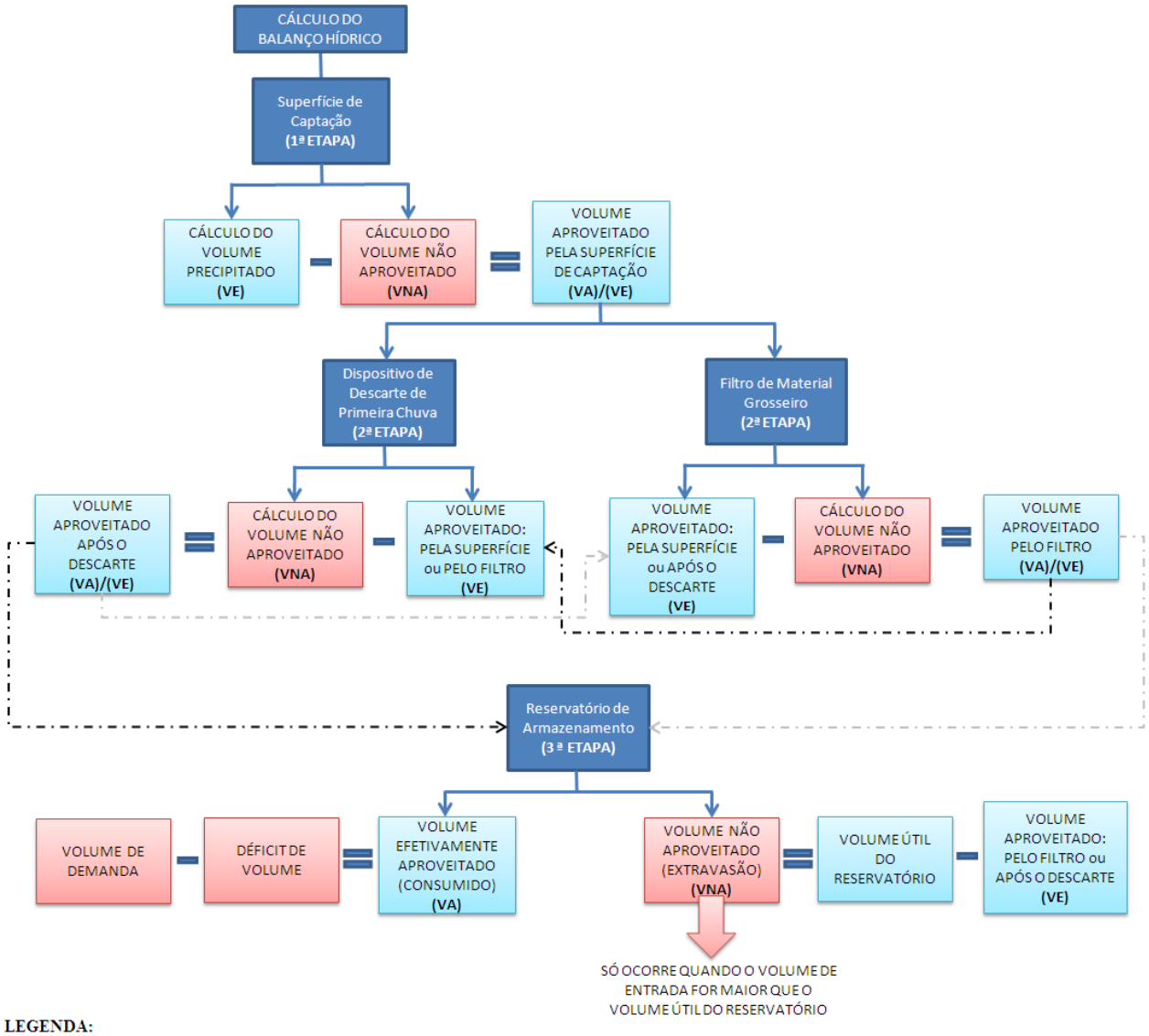

Figura 5.1 - Fluxograma geral de cálculo do balanço hídrico para os sistemas de aproveitamento de água de chuva.

Nota-se que o Volume aproveitado (VA) obtido da primeira etapa corresponde também ao Volume de entrada (VE) da segunda etapa. Assim como, o VA calculado na segunda etapa equivale ao VE da terceira etapa, ou seja, existe uma inter-relação entre os resultados das etapas antecedentes com as posteriores, de forma que a continuidade do cálculo para a obtenção do resultado final de balanço hídrico dependerá sempre do resultado que o antecede. Frente ao

procedimento de cálculo do balanço hídrico elaborado, faz-se necessário obter os valores dos elementos volumétricos (VE, VA e VNA) para cada etapa. Para isso, primeiramente identifica-se as variáveis de demanda e oferta de água para as respectivas etapas, como mostra a Tabela 5.1. A partir desses dados calcula-se os referidos volumes do balanço hídrico.

Tabela 5.1 - Variáveis utilizadas para o cálculo das etapas do Balanço Hídrico.

PRIMEIRA ETAPA	SEGUNDA ETAPA	TERCEIRA ETAPA
⇨ Dados de precipitação pluviométrica (Altura pluviométrica e/ou Intensidade de chuva); ⇨ Área de captação; e ⇨ Coeficiente de *Runoff*.	⇨ Volume Aproveitado da Primeira Etapa ou do equipamento antecedente (conforme configuração do sistema); ⇨ Eficiência de aproveitamento do filtro; ⇨ Altura pluviométrica de lavagem do telhado; e ⇨ Área de captação.	⇨ Volume Aproveitado da segunda etapa; ⇨ Volume de demanda; ⇨ Volume de reservação; e ⇨ Consumo de água potável (Déficit de água de chuva para abastecimento).
⇨ Intervalo de tempo da coleta de dados (minutos, horas, dias ou mês).		

5.1.1. Primeira Etapa

A precipitação na sua forma de chuva representa o volume de entrada de água na primeira etapa do cálculo (VE_1), denominado como volume precipitado. Para o cálculo do VE_1 deve-se considerar as seguintes variáveis:

✓ **Dados pluviométricos:** podem ser quantitativos, que diz respeito a altura pluviométrica de chuva, geralmente dado em milímetro (mm), ou de intensidade, seria o quanto de chuva precipitou em um determinado período. Esses dados são obtidos por equipamentos específicos, como o pluviômetro e o pluviógrafo, e podem registrar chuvas para cada hora ou minuto do dia, ou para o total de um dia, dependendo das possibilidades tecnológicas do equipamento utilizado, ou fornecidos por centros meteorológicos da região onde se encontra o sistema; e

- ✓ **Área de superfície de captação:** existe diversas possibilidade de coleta de água de chuva, dentre elas, telhados, lajes ou pátios são opções de área de captação. Usualmente, utilizam-se os telhados de edificações. O tamanho dessa superfície influenciará na quantidade de água de chuva a ser coleta, quanto maior a área de captação maior será o volume de chuva coletado.

O volume precipitado (VE_1) é obtido conforme a equação a seguir:

$$VE_1 = A \times P \qquad \textbf{Equação 5.3}$$

Onde:

VE_1 = Volume precipitado ou Volume de entrada no sistema (L);

A = Área de captação do sistema (m²); e

P = Altura pluviométrica (mm). Sabe-se que 1mm equivale a 1L/m².

O VE_1 também pode ser dado em vazão (QE_1), substituindo a variável de precipitação (P) da Equação 5.3 pelo dado de intensidade da chuva (i), quando deter de tal informação.

$$QE_1 = A \times i \qquad \textbf{Equação 5.4}$$

A parcela de volume não aproveitada correspondente a essa etapa (VNA_1) é representada pela seguinte variável:

- ✓ **Coeficiente de *runoff*:** o volume aproveitado de água de chuva que escoa pelo telhado dependerá do material que reveste essas superfícies, visto que alguns apresentam um potencial maior ou menor de absorção e de evaporação da água, assim nem toda a água precipitada é aproveitada. Este valor varia de 0 a 1, indicando um aproveitamento nulo a total da água que escoa pela área de captação, respectivamente.

Sendo assim, o volume aproveitado (VA_1) é dado pela seguinte equação:

$VA_1 = VE_1 \times C$ **Equação 5.5**

Onde:

VE_1 = Volume precipitado ou Volume de entrada no sistema (L); e

C = coeficiente de runoff da cobertura.

Assim como o VE_1, o VA_1 também poderá ser obtido em vazão (QA_1), como mostra a Equação 5.6:

$QA_1 = QE_1 \times C$ **Equação 5.6**

Onde:

QE_1 = Vazão de precipitação ou Vazão de entrada no sistema; e

C = Coeficiente de runoff da cobertura.

A unidade de tempo da vazão dependerá do intervalo de coleta do dado de intensidade de chuva (mm/min, mm/hora, mm/dia ou mm/mês).

Este volume e/ou vazão aproveitado (VA_1 e/ou QA_1) passará pelas calhas e tubulações e será encaminhado para a próxima etapa do sistema. Considera-se que durante este trajeto não haverá quaisquer vazamentos ou ganho de água.

5.1.2. Segunda Etapa

A segunda etapa do cálculo do balanço hídrico quantifica o volume não aproveitado (VNA_2) e o aproveitado (VA_2) pelo sistema de tratamento de água de chuva, que consiste, geralmente, em filtros de material grosseiro e dispositivos de descarte de primeira chuva. Considerando que a ordem desses componentes na configuração do sistema pode ser organizados de forma aleatória conforme o projetista, o volume de entrada (VE_2) para o cálculo de cada componente seguirá a mesma ordem dos mesmos.

Dessa forma, os volumes de entrada, o não aproveitado e o aproveitado para o Filtro de material grosseiro será representados pelas siglas $VE_{2F,}VNA_{2F}$ e VA_{2F}, respectivamente. E para o dispositivo de descarte de primeira chuva, as siglas serão $VE_{2D,}VNA_{2D}$ e VA_{2D}.

5.1.2.1. Filtro de Material Grosseiro

A principal variável para o cálculo do balanço hídrico dessa etapa é a eficiência do referido equipamento. Existem diversos aparelhos de filtração com tecnologias diferentes, algumas dessas tecnologias possuem uma eficiência de 100% de aproveitamento da água, enquanto que outros aparelhos detêm de certa tecnologia, chamada de auto-limpeza, com o princípio de arraste do material acumulado no filtro utilizando a própria água de chuva. Nesses casos ocorrem perdas de água, e a eficiência de aproveitamento de água variam dependendo da vazão de entrada de água no filtro. Estes tipos de filtros são produtos exclusivamente importados, e poucos foram adaptados para o mercado nacional, e não informam a eficiência de aproveitamento de água.

Diante dessas colocações, baseado em ensaios realizados pelo IPT de eficiência de aproveitamento hidráulico de alguns filtros de material grosseiro disponíveis no mercado brasileiro, obteve-se os seguintes resultados de eficiência (Tabela 5.2):

Tabela 5.2 - Relação de eficiência de aproveitamento hidráulico de diversos filtros de grosseiros para cada vazão de referência.

Vazão (L/min)	FILTROS DE MATERIAL GROSSEIROS				
	A Eficiência (%)	B Eficiência (%)	C Eficiência (%)	D Eficiência (%)	E Eficiência (%)
1	91	100	38	100	93
10	99	100	81	99	75
80	72	10	51	71	0
170	47	3	42	61	0

Fonte: IPT, 2009.

A partir desses dados de eficiência, elaborou-se um gráfico genérico utilizando as médias das eficiências dos filtros (A a E) correspondentes de cada vazão de referência (Figura 5.2).

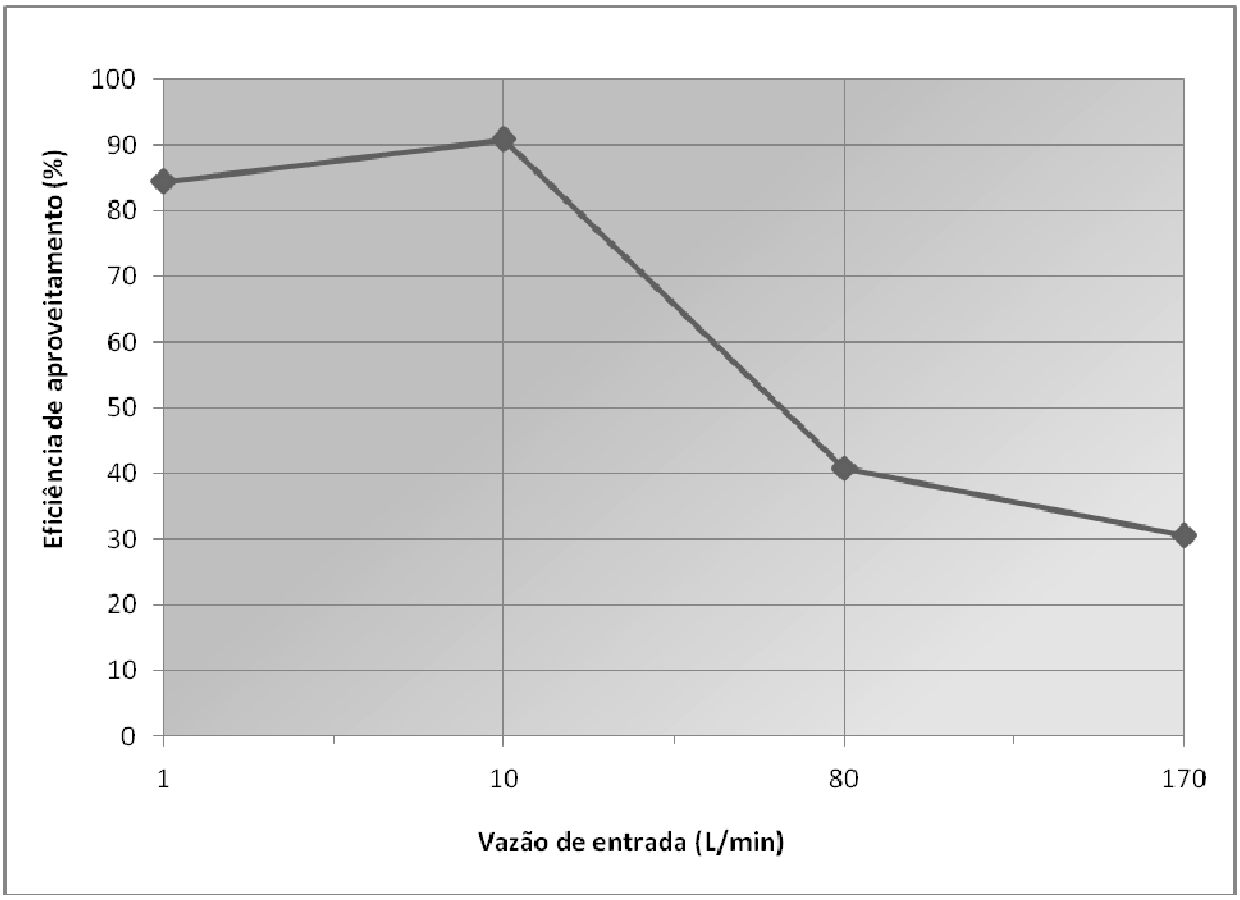

Figura 5.2 - Variação da eficiência em relação a vazão de entrada dos filtros de grosseiros com tecnologias de auto-limpeza.

A eficiência do equipamento é uma variável que se relaciona com a vazão de entrada de água. Assim, pelo gráfico e a Equação 5.7 desenvolvida obtém-se a vazão aproveitada do processo de filtração (QA_{2F}).

$$\mathbf{QA_{2F} = QE_{2F} \ x \ \varepsilon} \qquad \textbf{Equação 5.7}$$

Onde:

QA_{2F} = Vazão aproveitado do Filtro;

QE_{2F} = Vazão de entrada de água no Filtro; e

ε = Eficiência de aproveitamento do filtro de material grosseiro (%).

Este resultado poderá ser convertido para VA_{2F} (volume aproveitado pela filtração), pela multiplicação do QA_{2F} com o período de ocorrência da precipitação (t), ou seja, o mesmo tempo atribuído aos dados de intensidade de chuva coletados.

$$\mathbf{VA_{2F} = QA_{2F} \ x \ t} \qquad \textbf{Equação 5.8}$$

Essas equações serão utilizadas somente para sistemas de filtração baseado nos filtros com tecnologias de auto-limpeza. E para vazões de entrada (QE_{2F}) maiores que 170L/min considerar uma eficiência de aproveitamento de 5%, percebido que a eficiência decresce com o aumento da vazão chegando ao aproveitamento nulo.

Na ausência de dados de vazão de entrada (QE_{2F}), adota-se um ε médio de 60%, valor baseado nos mesmos estudos realizados pelo IPT, para o volume de entrada que será filtrada (VE_{2F}). E ao invés de obter o QA_{2F}, o resultado será dado em volume VA_{2F}.

5.1.2.2. Dispositivo de Descarte de Primeira Chuva

As sujeiras acumuladas na área de captação dos sistemas de água de chuva podem ser dos mais diversos tipos, desde folhas, flores e galhos até poeiras, fuligem e dejetos de pequenos animais, isso dependerá do ambiente em torno onde o sistema encontra-se instalado. Entretanto, independente do local, sempre haverá o acumulo de algum poluente nessas superfícies e os dispositivos de descarte de primeiras chuvas devem ser considerados um elemento essencial dos sistemas prediais de aproveitamento de água de chuva, garantindo a segurança quando à qualidade da água de chuva armazenada. As primeiras águas de chuva que escoam pela área de captação possuem a função de remover todo o material acumulado na mesma, e tornam-se inadequada para aproveitamento, por isso deve ser descartada. Essas águas dos primeiros milímetros de chuva podem ser denominadas como água de lavagem do telhado.

Os dispositivos de descarte de primeira chuva essencialmente são constituídos de um reservatório com volume projetado para armazenar os primeiros milímetros de água de chuva que escoam pelo telhado e ao atingir esse volume, o restante da água de chuva é desviado para a próxima etapa do sistema. Estes dispositivos somente apresentarão um bom desempenho quando o reservatório de descarte de primeira chuva estiver com sua capacidade total volumétrica disponível para cada início de uma precipitação, assegurando que toda a água de lavagem será descartada e não comprometerá a qualidade da água a ser armazenada.

O esvaziamento dos reservatórios de descarte pode ser realizado manualmente ou remotamente, ou seja, a cada ocorrência de chuva um operador esvazia o reservatório, ou o registro é aberto automaticamente por um comando acionado remotamente, ou ainda o dispositivo de descarte pode ser automático, no qual a saída da água ocorre continuamente durante uma precipitação através de uma abertura de pequeno diâmetro no reservatório de descarte. Este tipo de dispositivo de descarte tenderá a descartar uma quantidade maior de água de chuva daquela determinada para realizar a lavagem do telhado, devido a esta saída constantemente aberta. Principalmente em chuvas de pequena intensidade, a vazão de entrada no reservatório de descarte atenderá somente a vazão de saída pelo orifício.

A partir das variáveis de área de captação e da altura pluviométrica de lavagem de telhado, ou seja, a quantidade de milímetros de chuva que se deseja descartar determina-se o volume não aproveitado pelo referente equipamento (VNA_{2D}), denominado também como volume

descartado. Foram constatados que o descarte do primeiro milímetro (1,0 mm) de chuva constitui-se em valor adequado para projeto. Em algumas regiões, ou até mesmo dependendo do regime de chuvas, seria necessário descartar apenas 0,5 primeiro milímetro de chuva que escoa pelos telhados, ou nenhum milímetro de chuva, nos casos de épocas de cheias.

O cálculo do volume de descarte (VNA_{2D}) é expresso a seguir:

VNA_{2D} (litros) = A x PD **Equação 5.9**

Onde:

VNA_{2D} = Volume de descarte ou Volume não aproveitado pelo dispositivo (L);

A = Área de captação do sistema (m²); e

PD = Altura pluviométrica de lavagem do telhado (mm).

O volume aproveitado (VA_{2D}) é obtido pela diferença do VE_{2D}, que poderá ser o volume aproveitado vindo da primeira etapa ou do filtro de material de grosseiro, dependendo da configuração do sistema, com o volume não aproveitado pelo dispositivo de descarte (VNA_{2D}), conforme Equação 5.10:

$VA_{2D} = VE_{2D} - VNA_{2D}$ **Equação 5.10**

Essa equação é válida somente para dispositivos de descarte com esvaziamento manual ou por comando remoto. Os volumes de descarte para os dispositivos automáticos serão maiores que o determinado.

Ressalta-se a possibilidade de ocorrer situações em que o volume de entrada (VE_{2D}) não atinja o volume máximo de descarte (VNA_{2D}), portanto nesses casos não haverá aproveitamento de água de chuva ($VA_{2D} = 0$).

5.1.3. Terceira Etapa

Nesta etapa verifica-se a situação de armazenamento de água no reservatório e o volume efetivamente aproveitado para consumo (VA_3), o qual se trata do resultado final do balanço hídrico do sistema. No entanto, mesmo na reservação as perdas de água podem ocorrer devido ao excesso de água vinda da etapa anterior do sistema (VNA_3). Desse modo, para o cômputo final do balanço hídrico consideram-se as seguintes variáveis:

- ✓ **Volume de entrada para armazenamento (VE_3):** dependendo da ordem de configuração do sistema de tratamento da água de chuva, o VE_3 corresponderá ao volume aproveitado do processo de filtração (VA_{2F}) ou após o dispositivo de descarte de primeira chuva (VA_{2D});
- ✓ **Volume de reservação ou útil do reservatório (VU):** capacidade máxima de armazenamento da água de chuva coletada;
- ✓ **Volume de demanda ou de consumo (VC):** quantidade de água necessária para determinado fim, previsto pelo usuário, geralmente no caso da água de chuva para fins não-potáveis; e
- ✓ **Volume de déficit (VD):** quantidade de água potável consumida, devido à insuficiência de atendimento pela água de chuva para o fim previsto.

Faz-se uma análise simultânea das variáveis apresentadas acima, da qual surgem diversas situações possíveis que levam a diferentes resultados de balanço hídrico, conforme é apresentado no fluxograma da Figura 5.3.

A partir do volume de entrada no reservatório (VE_3), verifica se este excederá o volume útil do mesmo (VU) e se há consumo de água (VC). Para cada situação, obtêm-se o volume remanescente no reservatório (VR), considerando o consumo de água de chuva, o volume extravasado ou não aproveitado (VNA_3) e o volume de déficit (VD). E desses dados, têm-se o resultado final de volume efetivamente aproveitado (VA_3).

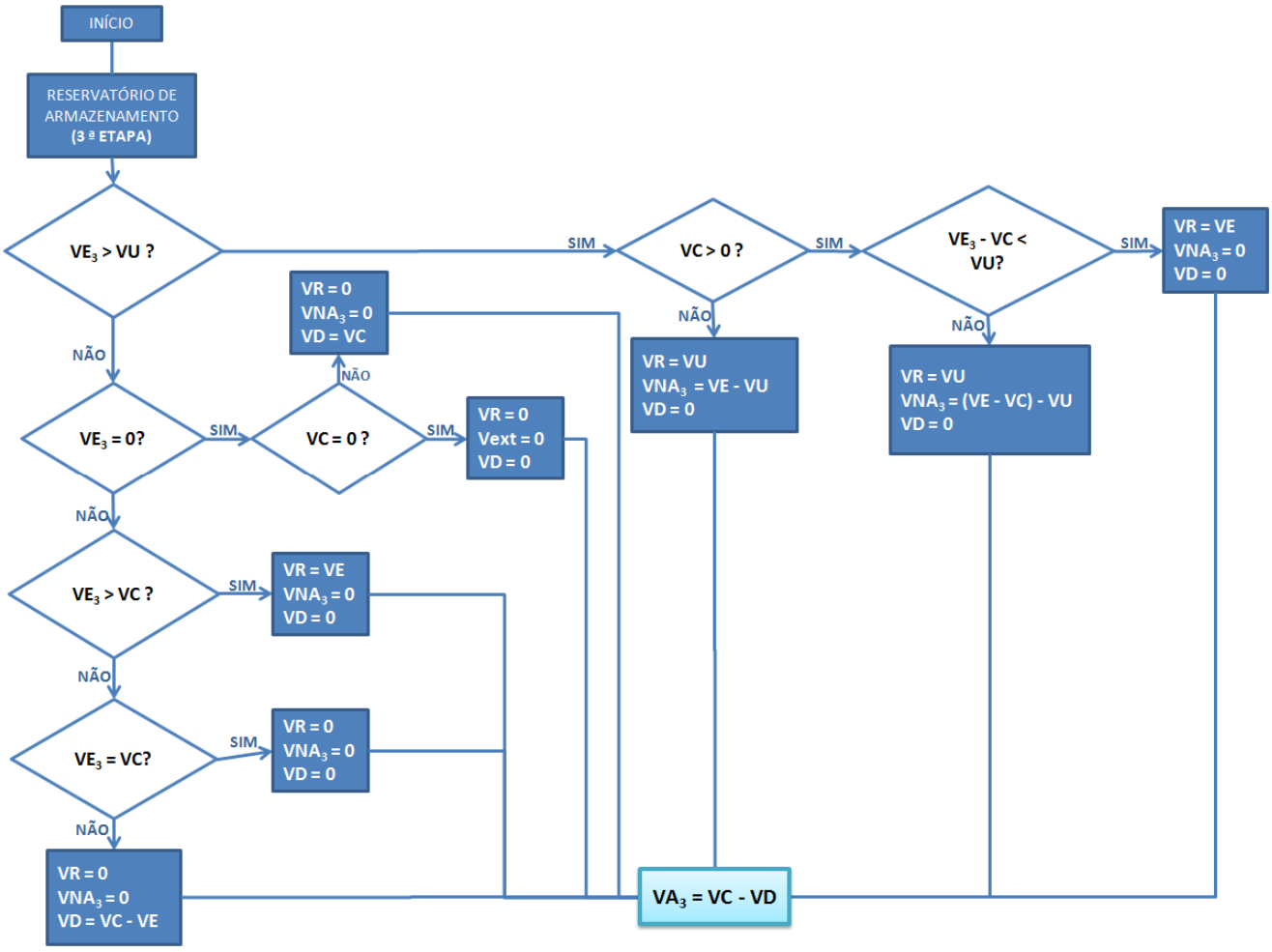

Figura 5.3 - Fluxograma de cálculo da terceira etapa do balaço hídrico.

Recomenda-se que este procedimento de cálculo seja realizado em uma planilha eletrônica visto que as variáveis para o cálculo dessa etapa possuem uma interdependência que reflete no resultado final.

Deve-se atentar, no início do cálculo, para os casos em que haja a existência de um volume remanescente no reservatório (VR), o qual dever ser somada ao volume de entrada (VE_3).

Para resultados mais precisos, são necessários dados da curva de demanda da água no decorrer do dia e intensidade de chuva com um intervalo de no máximo quinze minutos. A partir desses dados, obtêm-se o volume de entrada de água no sistema (VE_3) com maior detalhamento para realizar a associação simultânea com a curva de demanda e a capacidade do reservatório, verificando o volume extravasado (VNA_3) e o consumido (VA_3). Nesses casos, realiza-se o mesmo procedimento de cálculo ilustrado na Figura 5.3 para cada intervalo de tempo

estabelecido conforme a aquisição de dados da intensidade de chuva, e acumulam-se esses valores até o último intervalo.

5.2. PROCEDIMENTO DE CÁLCULO DO BALANÇO ENERGÉTICO

Para a determinação do balanço energético, o primeiro passo é identificar os componentes do sistema de aproveitamento de água de chuva que necessitam de energia elétrica. Os principais componentes de um sistema de água de chuva que consomem energia são as bombas hidráulicas e o sistema de desinfecção. A presença desses componentes no sistema depende da configuração do sistema e da qualidade da água exigida pelo usuário.

As bombas hidráulicas têm a função de elevar a água de um reservatório inferior para o superior, de forma que, se o sistema não necessitar de um reservatório superior ou este for configurado para encaminhar a água de chuva direto do telhado para um reservatório superior, a bomba hidráulica não é necessária para o sistema e não haverá consumo de energia por esse aparelho.

Os sistemas de desinfecção são equipamentos utilizados para eliminar os organismos patogênicos presentes na água, e dependendo da destinação final da água, na qual exista um contato primário ou secundário do usuário, deve-se providenciar um sistema de desinfecção. Existem diversas tecnologias para desinfecção da água, as mais conhecidas são a cloração, a utilização de luz ultra-violeta e ozonização. Os sistemas de desinfecção por luz ultra-violeta e pelo ozônio precisam de energia elétrica para funcionar, enquanto que o sistema de desinfecção por cloração não necessariamente demanda energia elétrica.

Diante disso, ao verificar que o sistema não compõe nenhum equipamento que demande energia, o balanço energético do sistema será nulo. Ao contrário disso, o consumo de energia (E) é obtido mediante a fórmula geral (Equação 5.11), envolvendo as variáveis de potência do equipamento e tempo de operação.

$$E = PO \times T$$ **Equação 5.11**

Onde:

E = Energia consumida (kWh);

PO = Potência do equipamento (kW); e

T = Tempo de operação do equipamento (horas).

Os dados de potência, geralmente, são conhecidos e especificados pelo fabricante dos equipamentos. Para o caso das bombas hidráulicas, o fabricante fornece as curvas características da bomba, na qual se relaciona a vazão da bomba com a sua potência real. O cálculo da potência consumida pela bomba é função da vazão efetiva de funcionamento da bomba.

Para determinar o tempo de funcionamento dos equipamentos, este dependerá do consumo de água, da vazão da bomba (para o caso do tempo de funcionamento da bomba hidráulica) e do volume presente no reservatório de armazenamento. Existem três condições que mantêm a bomba hidráulica e o sistema de desinfecção ligados ou desligados, a saber:

1º. Quando o reservatório estiver abaixo do nível mínimo e não houver consumo de água de chuva: a bomba hidráulica e o sistema de desinfecção permanecerão desligados.

2º. Quando o reservatório estiver acima do nível mínimo e não houver consumo de água de chuva (em casos em que o consumo não é contínuo): a bomba hidráulica permanecerá desligada e o sistema de desinfecção ligado.

3º. Quando o reservatório estiver acima do nível mínimo e houver consumo de água de chuva: bomba hidráulica e o sistema de desinfecção permanecerão ligados.

Essas condições são fundamentadas, com o pressuposto de que o sistema apresente dispositivos automáticos ou manuais pelos quais o controle do bombeamento seja possível.

Diante dessas considerações e conforme a Equação 5.11, o consumo de energia das bombas hidráulicas (E_{BOMBA}) e do sistema de desinfecção (E_{SD}) são obtidos pelas Equações 5.12 e 5.13, respectivamente.

$$E_{BOMBA} = PO_B \; x \left(\frac{VA_3}{Q_B}\right)$$

Equação 5.12

Onde:

E_{BOMBA} = Energia consumida pela bomba hidráulica (kWh);

PO_B = Potência da bomba hidráulica (kW);

VA_3 = Volume efetivamente aproveitado para consumo (Litros); e

Q_B = Vazão da bomba hidráulica (L/h).

Essa equação será aplicada somente nas condições em que o reservatório de armazenamento apresentar volume suficiente para atender a demanda (VR ≥ VC – Terceira etapa do cálculo do balanço hídrico) e quando houver consumo de água de chuva (dependendo da freqüência do uso da água para o fim previsto). Em condições diferentes disso, não haverá consumo de energia pela bomba.

$$\mathbf{E_{SD} = PO_{SD} \; x \; T}$$ **Equação 5.13**

Onde:

E_{SD} = Energia consumida pelo sistema de desinfecção (kWh);

PO_{SD} = Potência do sistema de desinfecção (kW); e

T = Tempo de funcionamento do sistema de desinfecção (h).

O tempo de funcionamento dos sistemas de desinfecção, à base de ozônio e luz ultra-violeta são conhecidos, pois geralmente possuem temporizadores que liga e desliga o equipamento automaticamente, o qual é programado pelo operador conforme a necessidade de tratamento e da qualidade da água.

A Equação 5.13 será empregada apenas na condição em que o reservatório possuir um nível mínimo de água no momento em que o equipamento estiver programado para funcionar. Do contrário, não haverá consumo de energia pelo sistema de desinfecção.

5.3. BALANÇO HÍDRICO E ENERGÉTICO

Com os resultados finais obtidos dos cálculos de balanço hídrico e energético, faz-se a substituição dos termos da equação do modelo teórico geral (Equação 5.1 **Equação 5.1**). O volume efetivamente aproveitado obtido na terceira etapa do procedimento de cálculo do balanço hídrico (VA_3), e a somatória do consumo energético dos equipamentos do sistema de água de chuva (E_{BOMBA} e E_{SD}) obtidos no cálculo do balanço energético correspondem ao VTA e CTE, respectivamente, da Equação geral do modelo teórico.

Segue o desmembramento da Equação 5.1 relacionando os resultados finais de balanço hídrico e energético:

$$ILE = \frac{CTE}{VTA} = \frac{\sum Energia}{VA_3} = \frac{(E_{BOMBA} + E_{SD})}{VA_3} \left(kWh/m^3\right)$$

6. APLICAÇÃO DO MODELO TEÓRICO

Para a aplicação do modelo teórico de balanço hídrico e energético desenvolvido neste trabalho, utilizou-se como exemplo a instalação experimental de aproveitamento de água de chuva do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) situado na região oeste do município de São Paulo, na Cidade Universitária da USP.

O IPT está próximo a uma das principais vias de escoamento de veículos da região – a marginal do Rio Pinheiros. Segundo a classificação climática de Koeppen, baseada em dados mensais pluviométricos e termométricos, o município de São Paulo enquadra-se na classe Cwa, caracterizada por clima tropical de altitude com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, chuvas no verão e seca no inverno e precipitação anual em torno dos 1370 mm. A precipitação média para o município de São Paulo pode ser vista na Figura 6.1 (CEPAGRI, 2010).

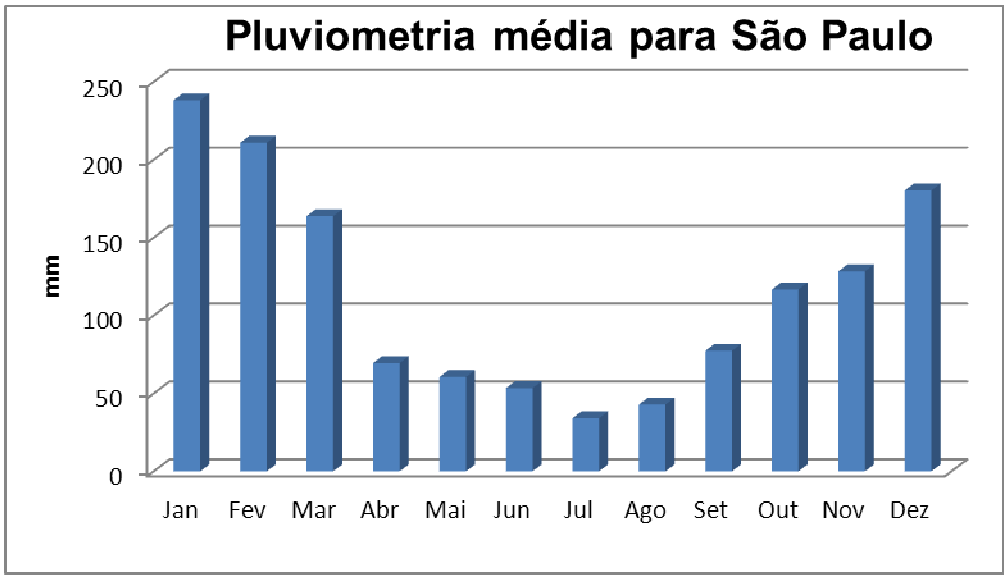

Figura 6.1 - Pluviometria média para o município de São Paulo.
Fonte: CEPAGRI - modificado de http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_565.html. Acesso: março, 2011.

A Figura 6.2 demonstra o fluxograma físico do sistema de aproveitamento de água de chuva em questão.

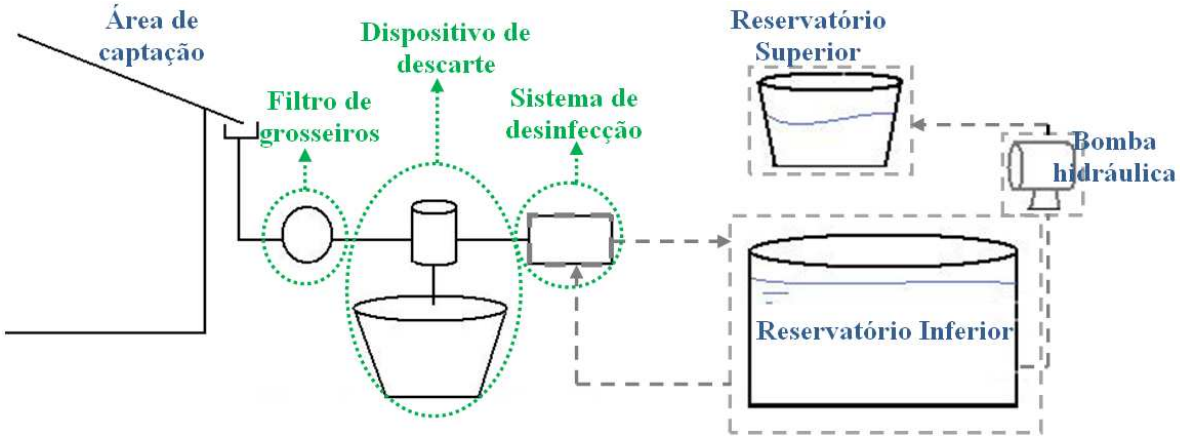

Figura 6.2 - Representação esquemática do sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT.

Conforme a Figura 6.2, segue a descrição dos componentes do sistema de aproveitamento de água de chuva em estudo:

- *Sistema de captação de água de chuva:* superfície de captação elevada formada por área de cerca de 400m² revestida com telhas de cimento amianto tipo calhetão (Figura 6.3);

Figura 6.3 - Superfície de captação da água de chuva do sistema – telhado da cozinha do IPT.

- *Sistema de tratamento de água de chuva:* conta com um filtro para remoção de sólidos grosseiros, dispositivo de descarte de água de primeira chuva (Figura 6.4) e sistema de desinfecção por ozônio (Figura 6.5). A aplicação do ozônio ocorre no reservatório inferior de 7.000 litros, onde, de uma bomba hidráulica a água contida do reservatório passa por uma recirculação entrando em contato com o ozônio (Figura 6.5). A aplicação se dá em intervalos de duas horas, com uma hora de funcionamento, entre as 5h às 18h. Como as atividades de limpeza se iniciam por volta das 14h com término às 16h, o período determinado para a circulação do ozônio mantém a água segura e adequada para uso;

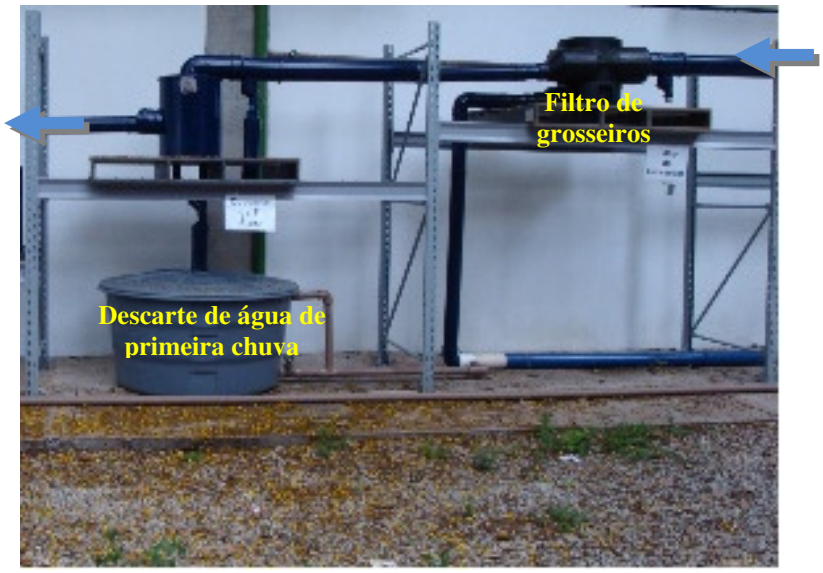

Figura 6.4 - Bancada piloto de testes de equipamentos e aproveitamento de água de chuva.

Figura 6.5 - Sistema de ozonização instalado em campo (à esquerda) e ilustração de recirculação do ozônio (à direita).

- Sistema de estocagem de água de chuva: capacidade de reserva de 8.500 L dividida em dois reservatórios ao nível do solo, de 1000L e 7000L, e um reservatório elevado de 500L (Figura 6.6).

Figura 6.6 - Reservatórios de armazenamento de água de chuva.

- Sistema de distribuição de água de utilidade: Sistema de distribuição de água de utilidade: tubulações, bombas e unidade de controle automatizado responsáveis pelo transporte da água entre os reservatórios apoiados, dos reservatórios apoiados ao reservatório elevado e do reservatório elevado ao ponto de consumo. O sistema de bombeamento é formado por 2 bombas de ½ CV cada uma.

A água de chuva coletada e tratada é fornecida para a lavagem de piso do restaurante e cozinha do referido local de estudo. A área de lavagem do ambiente apresenta aproximadamente 1400m².

O sistema de aproveitamento de água de chuva ainda possui aparelhos auxiliares para aquisição de dados na aplicação do modelo teórico, a citar:

- Pluviógrafo com sistema *datalogger*: fornece informações do volume precipitado e em que período ocorreu. O pluviógrafo funciona por meio de basculantes que ao abaixarem devido ao peso da água precipitada, encostam-se aos sensores abaixo deles e emitem um pulso para o *datalogger*. Cada pulso é contabilizado e registrado, e corresponde a 0,23mm de precipitação. O período de registro dos dados foi fixado para cada cinco minutos corridos, determinado para otimizar a duração da bateria do aparelho. O datalogger tem a capacidade de armazenar até 80.000 dados. Estes dados são transferidos para o computador liberando espaço para novas aquisições.

A Figura 6.7 mostra o equipamento instalado em campo e o seu sistema de basculante e datalogger.

Figura 6.7 - Pluviógrafo em campo, parte interna do equipamento – basculantes e sistema de aquisição de dados (datalogger).

- Hidrômetros: verificam o consumo da água de chuva para o fim previsto e o consumo de água da rede caso falte água do sistema de aproveitamento de água da chuva. A Figura 6.8 ilustra os hidrômetros instalados em campo.

Figura 6.8 - Hidrômetros instalados em campo para leitura do consumo de água de chuva (à esquerda) e do consumo de água da rede pública (à direita).

Empregando o modelo teórico apresentado no presente trabalho, desenvolveu-se o procedimento de cálculo para o estabelecimento do balanço hídrico e energético do sistema de aproveitamento de água de chuva. Os resultados do balanço permitiram calcular índices de eficiência relativos aos volumes de águas envolvidos e a incidência energética por unidade de volume de água de chuva (kWh/m³) aportada, aproveitada e não aproveitada, para o referido sistema de aproveitamento de água de chuva em estudo.

6.1. CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO

O cálculo do balanço hídrico do sistema de aproveitamento em estudo seguiu o mesmo procedimento desenvolvido neste trabalho (Capítulo 5.1). Foram levantados dados de precipitação pluviométrica relativos aos meses de maio de 2010 e janeiro de 2011, de forma que o mês de maio represente o período de seca e janeiro, o período de chuva.

6.1.1. Primeira etapa

Os valores das variáveis referentes ao cálculo do volume de entrada de água (VE_1) no sistema são:

- ✓ **Área de captação:** 400 m²
- ✓ **Dados pluviométricos:** pelo pluviógrafo instalado no campus do IPT, têm-se registros das alturas pluviométricas a cada cinco minutos, consequentemente têm-se dados de intensidade de chuva. A Tabela 6.1 demonstra como são registrados os dados de chuva, este apresenta os dados do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57.

Tabela 6.1 - Registro de chuvas do dia 05 de Janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57.

DATA	HORA	mm
05/01/2011	18:27:45	0
05/01/2011	18:32:45	2,3
05/01/2011	18:37:45	3,45
05/01/2011	18:42:45	5,06
05/01/2011	18:47:45	7,36
05/01/2011	18:52:45	12,88
05/01/2011	18:57:45	8,05
05/01/2011	19:02:45	3,45
05/01/2011	19:07:45	4,14
05/01/2011	19:12:45	4,6
05/01/2011	19:17:45	4,6
05/01/2011	19:22:45	1,61
05/01/2011	19:27:45	0,23
05/01/2011	19:32:45	0,92
05/01/2011	19:37:45	1,61
05/01/2011	19:42:45	0,92
05/01/2011	19:47:45	0,46
05/01/2011	19:52:45	0,46
05/01/2011	19:57:45	0,69
05/01/2011	20:02:45	0,46
05/01/2011	20:07:45	0,69
05/01/2011	20:12:45	0
05/01/2011	20:17:45	0
05/01/2011	20:22:45	0
05/01/2011	20:27:45	0
05/01/2011	20:32:45	0,23
05/01/2011	20:37:45	0
05/01/2011	20:42:45	0
05/01/2011	20:47:45	0
05/01/2011	20:52:45	0
05/01/2011	20:57:45	0
05/01/2011	21:02:45	0
05/01/2011	21:07:45	0
05/01/2011	21:12:45	0

DATA	HORA	mm
05/01/2011	21:17:45	0
05/01/2011	21:22:45	0
05/01/2011	21:27:45	0
05/01/2011	21:32:45	0
05/01/2011	21:37:45	0
05/01/2011	21:42:45	0
05/01/2011	21:47:45	0,23
05/01/2011	21:52:45	0
05/01/2011	21:57:45	0
05/01/2011	22:02:45	0
05/01/2011	22:07:45	0,23
05/01/2011	22:12:45	4,14
05/01/2011	22:17:45	0,92
05/01/2011	22:22:45	0,46
05/01/2011	22:27:45	1,38
05/01/2011	22:32:45	0,23
05/01/2011	22:37:45	0,23
05/01/2011	22:42:45	0,46
05/01/2011	22:47:45	0,46
05/01/2011	22:52:45	0,69
05/01/2011	22:57:45	0,69
05/01/2011	23:02:45	1,84
05/01/2011	23:07:45	4,14
05/01/2011	23:12:45	5,52
05/01/2011	23:17:45	5,06
05/01/2011	23:22:45	2,76
05/01/2011	23:27:45	1,38
05/01/2011	23:32:45	0,46
05/01/2011	23:37:45	0,46
05/01/2011	23:42:45	0,46
05/01/2011	23:47:45	0,23
05/01/2011	23:52:45	0,46
05/01/2011	23:57:45	0,23

A partir dessas informações, respeitando as unidades das variáveis, substitui os valores na Equação 5.2 para cada intervalo de tempo dos registros de altura pluviométrica. Segue como exemplificação, o cálculo do VE_1 para o registro do intervalo da 18h27 a 18h32:

$$VE_1 = A \times P$$
$$VE_1 = 400m^2 \times 2,3L/m^2$$
$$\boldsymbol{VE_1 = 920L}$$

Neste instante o volume precipitado (VE_1) foi de 920 litros de água de chuva. Pode-se ainda, com as informações fornecidas pelo pluviógrafo, obter a vazão de entrada de água no sistema (QE_1) para cada intervalo de registro pela Equação 5.4. Sabe-se que o intervalo de registro se dá a cada cinco minutos (t = 5min), dividindo o valor de precipitação pelo intervalo de cinco minutos, tem-se a intensidade da chuva (*i*).

$$QE_1 = A \times i$$
$$QE_1 = 400m^2 \times 0,46mm/min$$
$$\boldsymbol{QE_1 = 184\ L/min}$$

Para o cálculo da parcela de água de chuva não aproveitada foi adotado o valor de coeficiente de *runoff* de 0,90, conforme o material do telhado da superfície de captação do sistema de aproveitamento de água de chuva em questão. Este valor indica que o 10% do volume/vazão de entrada (VE_1/QE_1) calculada nesta etapa não foi aproveitada, e o restante foi encaminhado para a etapa seguinte, o sistema de tratamento de água de chuva.

A Tabela 6.2 apresenta, resumidamente, os resultados obtidos da primeira etapa de cálculo do balanço hídrico para cada registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57.

Tabela 6.2 - Resultados do balanço hídrico da primeira etapa, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57.

DATA	HORA	P (mm)	i (mm/min)	VE_1 (L)	QE_1 (L/min)	VNA_1 (L/min)	QNA_1 (L/min)	VA_1 (L)	QA_1 (L/min)
05/01/2011	18:27:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	18:32:45	2,3	0,5	920,0	184,0	92,0	18,4	828,0	165,6
05/01/2011	18:37:45	3,5	0,7	1380,0	276,0	138,0	27,6	1242,0	248,4
05/01/2011	18:42:45	5,1	1,0	2024,0	404,8	202,4	40,5	1821,6	364,3
05/01/2011	18:47:45	7,4	1,5	2944,0	588,8	294,4	58,9	2649,6	529,9
05/01/2011	18:52:45	12,9	2,6	5152,0	1030,4	515,2	103,0	4636,8	927,4
05/01/2011	18:57:45	8,1	1,6	3220,0	644,0	322,0	64,4	2898,0	579,6
05/01/2011	19:02:45	3,5	0,7	1380,0	276,0	138,0	27,6	1242,0	248,4
05/01/2011	19:07:45	4,1	0,8	1656,0	331,2	165,6	33,1	1490,4	298,1
05/01/2011	19:12:45	4,6	0,9	1840,0	368,0	184,0	36,8	1656,0	331,2
05/01/2011	19:17:45	4,6	0,9	1840,0	368,0	184,0	36,8	1656,0	331,2
05/01/2011	19:22:45	1,6	0,3	644,0	128,8	64,4	12,9	579,6	115,9
05/01/2011	19:27:45	0,2	0,0	92,0	18,4	9,2	1,8	82,8	16,6
05/01/2011	19:32:45	0,9	0,2	368,0	73,6	36,8	7,4	331,2	66,2
05/01/2011	19:37:45	1,6	0,3	644,0	128,8	64,4	12,9	579,6	115,9
05/01/2011	19:42:45	0,9	0,2	368,0	73,6	36,8	7,4	331,2	66,2
05/01/2011	19:47:45	0,5	0,1	184,0	36,8	18,4	3,7	165,6	33,1
05/01/2011	19:52:45	0,5	0,1	184,0	36,8	18,4	3,7	165,6	33,1
05/01/2011	19:57:45	0,7	0,1	276,0	55,2	27,6	5,5	248,4	49,7
05/01/2011	20:02:45	0,5	0,1	184,0	36,8	18,4	3,7	165,6	33,1
05/01/2011	20:07:45	0,7	0,1	276,0	55,2	27,6	5,5	248,4	49,7
05/01/2011	20:12:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:17:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:22:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:27:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:32:45	0,2	0,0	92,0	18,4	9,2	1,8	82,8	16,6
05/01/2011	20:37:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:42:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:47:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:52:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:57:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:02:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:07:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:12:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

(Continua)

Tabela 6.2 - Resultados do balanço hídrico da primeira etapa, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57 (Continuação).

DATA	HORA	P (mm)	i (mm/min)	VE_1 (L)	QE_1 (L/min)	VNA_1 (L/min)	QNA_1 (L/min)	VA_1 (L)	QA_1 (L/min)
05/01/2011	21:17:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:22:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:27:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:32:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:37:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:42:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:47:45	0,2	0,0	92,0	18,4	9,2	1,8	82,8	16,6
05/01/2011	21:52:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:57:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	22:02:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	22:07:45	0,2	0,0	92,0	18,4	9,2	1,8	82,8	16,6
05/01/2011	22:12:45	4,1	0,8	1656,0	331,2	165,6	33,1	1490,4	298,1
05/01/2011	22:17:45	0,9	0,2	368,0	73,6	36,8	7,4	331,2	66,2
05/01/2011	22:22:45	0,5	0,1	184,0	36,8	18,4	3,7	165,6	33,1
05/01/2011	22:27:45	1,4	0,3	552,0	110,4	55,2	11,0	496,8	99,4
05/01/2011	22:32:45	0,2	0,0	92,0	18,4	9,2	1,8	82,8	16,6
05/01/2011	22:37:45	0,2	0,0	92,0	18,4	9,2	1,8	82,8	16,6
05/01/2011	22:42:45	0,5	0,1	184,0	36,8	18,4	3,7	165,6	33,1
05/01/2011	22:47:45	0,5	0,1	184,0	36,8	18,4	3,7	165,6	33,1
05/01/2011	22:52:45	0,7	0,1	276,0	55,2	27,6	5,5	248,4	49,7
05/01/2011	22:57:45	0,7	0,1	276,0	55,2	27,6	5,5	248,4	49,7
05/01/2011	23:02:45	1,8	0,4	736,0	147,2	73,6	14,7	662,4	132,5
05/01/2011	23:07:45	4,1	0,8	1656,0	331,2	165,6	33,1	1490,4	298,1
05/01/2011	23:12:45	5,5	1,1	2208,0	441,6	220,8	44,2	1987,2	397,4
05/01/2011	23:17:45	5,1	1,0	2024,0	404,8	202,4	40,5	1821,6	364,3
05/01/2011	23:22:45	2,8	0,6	1104,0	220,8	110,4	22,1	993,6	198,7
05/01/2011	23:27:45	1,4	0,3	552,0	110,4	55,2	11,0	496,8	99,4
05/01/2011	23:32:45	0,5	0,1	184,0	36,8	18,4	3,7	165,6	33,1
05/01/2011	23:37:45	0,5	0,1	184,0	36,8	18,4	3,7	165,6	33,1
05/01/2011	23:42:45	0,5	0,1	184,0	36,8	18,4	3,7	165,6	33,1
05/01/2011	23:47:45	0,2	0,0	92,0	18,4	9,2	1,8	82,8	16,6
05/01/2011	23:52:45	0,5	0,1	184,0	36,8	18,4	3,7	165,6	33,1
05/01/2011	23:57:45	0,2	0,0	92,0	18,4	9,2	1,8	82,8	16,6

6.1.2. Segunda Etapa

O sistema de tratamento de aproveitamento de água de chuva instalado no campus do IPT é constituído de um filtro de material grosseiro, de um dispositivo de descarte de primeira chuva e de um sistema de desinfecção por ozônio, dispostos nessa ordem. Sendo assim, inicia-se o cálculo do balanço hídrico pelo filtro de material grosseiro.

- **Filtro de Material Grosseiro:**

O primeiro passo do procedimento é verificar a eficiência de aproveitamento volumétrico do filtro. No caso da instalação experimental do IPT, o filtro apresenta uma tecnologia de auto-limpeza, e a sua eficiência de aproveitamento de água varia com a vazão de entrada (VE_{2F}). O filtro instalado no sistema em questão foi ensaiado pelo IPT, e corresponde ao Filtro A da Tabela 5.2. Com base nesses resultados de eficiência concebe-se um gráfico de eficiência x vazão de entrada. Esboçou-se uma linha de tendência e obteve a equação de eficiência correspondente ao Filtro A (Figura 6.9).

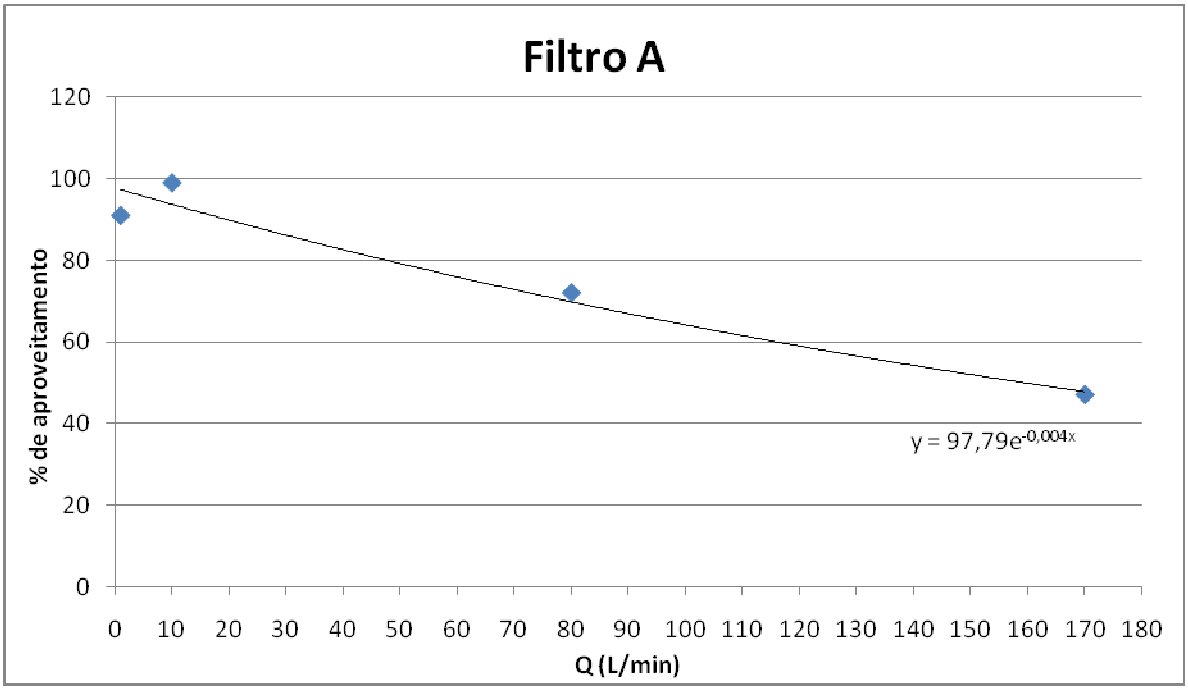

Figura 6.9 - Reprentação gráfica da eficiência de aproveitamento do Filtro A conforme vazão aplicada.

A equação de eficiência do filtro pode ser expressa da seguinte forma:

$$\varepsilon = 97{,}79e^{(-0{,}004 \times QE_{2F})} \qquad \textbf{Equação 6.1}$$

Onde:

ε = Eficiência de aproveitamento do Filtro de material grosseiro A (%); e

QE_{2F} = Vazão de entrada de água no Filtro.

O QE_{2F} para este exemplo de aplicação do modelo teórico equivale ao QA_1 obtido na primeira etapa. Assim, a eficiência do filtro é calculada baseada na vazão QA_1.

Determinado o valor de ε, calcula-se o QA_{2F} e o VA_{2F} pelas Equações 5.7 e 5.8, respectivamente. A Tabela 6.3 apresenta os resultados de ε, QNA_{2F} ,VNA_{2F}, QA_{2F} e VA_{2F}.

Tabela 6.3 - Resultados do balanço hídrico da segunda etapa, referente ao Filtro de material grosseiro, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57.

DATA	HORA	P (mm)	i (mm/min)	QE_{2F}/QA_1 (L/min)	ε (%)	QNA_{2F} (L/min)	QA_{2F} (L/min)	VA_{2F} (L)
05/01/2011	18:27:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	18:32:45	2,3	0,5	165,6	50,4	82,1	83,5	417,5
05/01/2011	18:37:45	3,5	0,7	248,4	36,2	158,5	89,9	449,7
05/01/2011	18:42:45	5,1	1,0	364,3	22,8	281,4	83,0	414,8
05/01/2011	18:47:45	7,4	1,5	529,9	11,7	467,7	62,2	311,1
05/01/2011	18:52:45	12,9	2,6	927,4	2,4	905,2	22,2	111,1
05/01/2011	18:57:45	8,1	1,6	579,6	9,6	523,8	55,8	279,0
05/01/2011	19:02:45	3,5	0,7	248,4	36,2	158,5	89,9	449,7
05/01/2011	19:07:45	4,1	0,8	298,1	29,7	209,6	88,5	442,4
05/01/2011	19:12:45	4,6	0,9	331,2	26,0	245,1	86,1	430,5
05/01/2011	19:17:45	4,6	0,9	331,2	26,0	245,1	86,1	430,5
05/01/2011	19:22:45	1,6	0,3	115,9	61,5	44,6	71,3	356,5
05/01/2011	19:27:45	0,2	0,0	16,6	91,5	1,4	15,2	75,8
05/01/2011	19:32:45	0,9	0,2	66,2	75,0	16,5	49,7	248,5
05/01/2011	19:37:45	1,6	0,3	115,9	61,5	44,6	71,3	356,5
05/01/2011	19:42:45	0,9	0,2	66,2	75,0	16,5	49,7	248,5
05/01/2011	19:47:45	0,5	0,1	33,1	85,7	4,7	28,4	141,9
05/01/2011	19:52:45	0,5	0,1	33,1	85,7	4,7	28,4	141,9
05/01/2011	19:57:45	0,7	0,1	49,7	80,2	9,9	39,8	199,1
05/01/2011	20:02:45	0,5	0,1	33,1	85,7	4,7	28,4	141,9
05/01/2011	20:07:45	0,7	0,1	49,7	80,2	9,9	39,8	199,1
05/01/2011	20:12:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:17:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:22:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:27:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:32:45	0,2	0,0	16,6	91,5	1,4	15,2	75,8
05/01/2011	20:37:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:42:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:47:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:52:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	20:57:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:02:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:07:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:12:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

(Continua)

Tabela 6.3 - Resultados do balanço hídrico da segunda etapa, referente ao Filtro de material grosseiro, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57 (Continuação).

DATA	HORA	P (mm)	i (mm/min)	QE_{2F}/QA_1 (L/min)	ε (%)	QNA_{2F} (L/min)	QA_{2F} (L/min)	VA_{2F} (L)
05/01/2011	21:17:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:22:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:27:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:32:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:37:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:42:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:47:45	0,2	0,0	16,6	91,5	1,4	15,2	75,8
05/01/2011	21:52:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	21:57:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	22:02:45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
05/01/2011	22:07:45	0,2	0,0	16,6	91,5	1,4	15,2	75,8
05/01/2011	22:12:45	4,1	0,8	298,1	29,7	209,6	88,5	442,4
05/01/2011	22:17:45	0,9	0,2	66,2	75,0	16,5	49,7	248,5
05/01/2011	22:22:45	0,5	0,1	33,1	85,7	4,7	28,4	141,9
05/01/2011	22:27:45	1,4	0,3	99,4	65,7	34,1	65,3	326,5
05/01/2011	22:32:45	0,2	0,0	16,6	91,5	1,4	15,2	75,8
05/01/2011	22:37:45	0,2	0,0	16,6	91,5	1,4	15,2	75,8
05/01/2011	22:42:45	0,5	0,1	33,1	85,7	4,7	28,4	141,9
05/01/2011	22:47:45	0,5	0,1	33,1	85,7	4,7	28,4	141,9
05/01/2011	22:52:45	0,7	0,1	49,7	80,2	9,9	39,8	199,1
05/01/2011	22:57:45	0,7	0,1	49,7	80,2	9,9	39,8	199,1
05/01/2011	23:02:45	1,8	0,4	132,5	57,6	56,2	76,3	381,3
05/01/2011	23:07:45	4,1	0,8	298,1	29,7	209,6	88,5	442,4
05/01/2011	23:12:45	5,5	1,1	397,4	20,0	318,2	79,3	396,4
05/01/2011	23:17:45	5,1	1,0	364,3	22,8	281,4	83,0	414,8
05/01/2011	23:22:45	2,8	0,6	198,7	44,2	110,9	87,8	438,8
05/01/2011	23:27:45	1,4	0,3	99,4	65,7	34,1	65,3	326,5
05/01/2011	23:32:45	0,5	0,1	33,1	85,7	4,7	28,4	141,9
05/01/2011	23:37:45	0,5	0,1	33,1	85,7	4,7	28,4	141,9
05/01/2011	23:42:45	0,5	0,1	33,1	85,7	4,7	28,4	141,9
05/01/2011	23:47:45	0,2	0,0	16,6	91,5	1,4	15,2	75,8
05/01/2011	23:52:45	0,5	0,1	33,1	85,7	4,7	28,4	141,9
05/01/2011	23:57:45	0,2	0,0	16,6	91,5	1,4	15,2	75,8

- **Dispositivo de Descarte de Primeira Chuva:**

O dispositivo de descarte que compõe o sistema de aproveitamento de água de chuva foi dimensionado para descartar o primeiro milímetro de água de chuva que escoa pelo telhado, ou seja, a altura pluviométrica de lavagem do telhado (PD) é de 1mm. O sistema de esvaziamento é feito manualmente, dessa forma pela Equação 5.9 o volume de descarte (VNA_{2D}) obtido foi de 400 litros.

O volume aproveitado após o descarte da primeira chuva é calculado conforme a Equação 5.10, onde o volume de entrada do dispositivo corresponde ao volume aproveitado de água de chuva pelo filtro de material grosseiro (VA_{2F}). Entretanto, devido ao refinamento dos dados, deve-se analisar o volume de entrada no dispositivo para cada intervalo de tempo dos registros pluviométricos, de forma que este volume de entrada acumulado (VE_{2D} Acumulado) atinja o volume máximo de descarte (VNA_{2D} = 400L). A partir desse ponto, se subtrai do volume acumulado o valor de descarte resultando no volume aproveitado acumulado (VA_{2D} Acumulado).

A Tabela 6.4 apresenta os resultados obtidos da segunda etapa de cálculo do balanço hídrico, referente ao dispositivo de descarte de primeira chuva, para cada registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57.

Tabela 6.4 - Resultados do balanço hídrico da segunda etapa, referente ao Dispositivo de Descarte de Primeira Chuva, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57.

DATA	HORA	P (mm)	i (mm/min)	VE_{2D}/VA_{2F} (L)	VE_{2D} Acumulado (L)	VNA_{2D} (L)	VA_{2D} (L)
05/01/2011	18:27:45	0,0	0,0	0,0	0,0	400,0	0,0
05/01/2011	18:32:45	2,3	0,5	417,5	417,5	400,0	17,5
05/01/2011	18:37:45	3,5	0,7	449,7	867,2	400,0	467,2
05/01/2011	18:42:45	5,1	1,0	414,8	1282,0	400,0	882,0
05/01/2011	18:47:45	7,4	1,5	311,1	1593,1	400,0	1193,1
05/01/2011	18:52:45	12,9	2,6	111,1	1704,2	400,0	1304,2
05/01/2011	18:57:45	8,1	1,6	279,0	1983,1	400,0	1583,1
05/01/2011	19:02:45	3,5	0,7	449,7	2432,8	400,0	2032,8
05/01/2011	19:07:45	4,1	0,8	442,4	2875,1	400,0	2475,1
05/01/2011	19:12:45	4,6	0,9	430,5	3305,7	400,0	2905,7
05/01/2011	19:17:45	4,6	0,9	430,5	3736,2	400,0	3336,2
05/01/2011	19:22:45	1,6	0,3	356,5	4092,7	400,0	3692,7
05/01/2011	19:27:45	0,2	0,0	75,8	4168,5	400,0	3768,5
05/01/2011	19:32:45	0,9	0,2	248,5	4417,0	400,0	4017,0
05/01/2011	19:37:45	1,6	0,3	356,5	4773,5	400,0	4373,5
05/01/2011	19:42:45	0,9	0,2	248,5	5021,9	400,0	4621,9
05/01/2011	19:47:45	0,5	0,1	141,9	5163,8	400,0	4763,8
05/01/2011	19:52:45	0,5	0,1	141,9	5305,6	400,0	4905,6
05/01/2011	19:57:45	0,7	0,1	199,1	5504,8	400,0	5104,8
05/01/2011	20:02:45	0,5	0,1	141,9	5646,6	400,0	5246,6
05/01/2011	20:07:45	0,7	0,1	199,1	5845,8	400,0	5445,8
05/01/2011	20:12:45	0,0	0,0	0,0	5845,8	400,0	5445,8
05/01/2011	20:17:45	0,0	0,0	0,0	5845,8	400,0	5445,8
05/01/2011	20:22:45	0,0	0,0	0,0	5845,8	400,0	5445,8
05/01/2011	20:27:45	0,0	0,0	0,0	5845,8	400,0	5445,8
05/01/2011	20:32:45	0,2	0,0	75,8	5921,5	400,0	5521,5
05/01/2011	20:37:45	0,0	0,0	0,0	5921,5	400,0	5521,5
05/01/2011	20:42:45	0,0	0,0	0,0	5921,5	400,0	5521,5
05/01/2011	20:47:45	0,0	0,0	0,0	5921,5	400,0	5521,5
05/01/2011	20:52:45	0,0	0,0	0,0	5921,5	400,0	5521,5
05/01/2011	20:57:45	0,0	0,0	0,0	5921,5	400,0	5521,5
05/01/2011	21:02:45	0,0	0,0	0,0	5921,5	400,0	5521,5
05/01/2011	21:07:45	0,0	0,0	0,0	5921,5	400,0	5521,5
05/01/2011	21:12:45	0,0	0,0	0,0	5921,5	400,0	5521,5

(Continua)

Tabela 6.4 - Resultados do balanço hídrico da segunda etapa, referente ao Dispositivo de Descarte de Primeira Chuva, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 18h27 a 23h57 (Continuação).

DATA	HORA	P (mm)	i (mm/min)	VE_{2D}/VA_{2F} (L)	VE_{2D} Acumulado (L)	VNA_{2D} (L)	VA_{2D} (L)
05/01/2011	21:17:45	0,0	0,0	0,0	5921,5	400,0	5521,5
05/01/2011	21:22:45	0,0	0,0	0,0	5921,5	400,0	5521,5
05/01/2011	21:27:45	0,0	0,0	0,0	5921,5	400,0	5521,5
05/01/2011	21:32:45	0,0	0,0	0,0	5921,5	400,0	5521,5
05/01/2011	21:37:45	0,0	0,0	0,0	5921,5	400,0	5521,5
05/01/2011	21:42:45	0,0	0,0	0,0	5921,5	400,0	5521,5
05/01/2011	21:47:45	0,2	0,0	75,8	5997,3	400,0	5597,3
05/01/2011	21:52:45	0,0	0,0	0,0	5997,3	400,0	5597,3
05/01/2011	21:57:45	0,0	0,0	0,0	5997,3	400,0	5597,3
05/01/2011	22:02:45	0,0	0,0	0,0	5997,3	400,0	5597,3
05/01/2011	22:07:45	0,2	0,0	75,8	6073,1	400,0	5673,1
05/01/2011	22:12:45	4,1	0,8	442,4	6515,5	400,0	6115,5
05/01/2011	22:17:45	0,9	0,2	248,5	6764,0	400,0	6364,0
05/01/2011	22:22:45	0,5	0,1	141,9	6905,8	400,0	6505,8
05/01/2011	22:27:45	1,4	0,3	326,5	7232,3	400,0	6832,3
05/01/2011	22:32:45	0,2	0,0	75,8	7308,1	400,0	6908,1
05/01/2011	22:37:45	0,2	0,0	75,8	7383,8	400,0	6983,8
05/01/2011	22:42:45	0,5	0,1	141,9	7525,7	400,0	7125,7
05/01/2011	22:47:45	0,5	0,1	141,9	7667,5	400,0	7267,5
05/01/2011	22:52:45	0,7	0,1	199,1	7866,7	400,0	7466,7
05/01/2011	22:57:45	0,7	0,1	199,1	8065,8	400,0	7665,8
05/01/2011	23:02:45	1,8	0,4	381,3	8447,1	400,0	8047,1
05/01/2011	23:07:45	4,1	0,8	442,4	8889,5	400,0	8489,5
05/01/2011	23:12:45	5,5	1,1	396,4	9285,9	400,0	8885,9
05/01/2011	23:17:45	5,1	1,0	414,8	9700,7	400,0	9300,7
05/01/2011	23:22:45	2,8	0,6	438,8	10139,5	400,0	9739,5
05/01/2011	23:27:45	1,4	0,3	326,5	10466,0	400,0	10066,0
05/01/2011	23:32:45	0,5	0,1	141,9	10607,8	400,0	10207,8
05/01/2011	23:37:45	0,5	0,1	141,9	10749,7	400,0	10349,7
05/01/2011	23:42:45	0,5	0,1	141,9	10891,5	400,0	10491,5
05/01/2011	23:47:45	0,2	0,0	75,8	10967,3	400,0	10567,3
05/01/2011	23:52:45	0,5	0,1	141,9	11109,2	400,0	10709,2
05/01/2011	23:57:45	0,2	0,0	75,8	11184,9	400,0	10784,9

6.1.3. Terceira Etapa

A água de chuva coletada é destinada para a lavagem de piso da cozinha e do refeitório do IPT. Em média, o consumo de água para a limpeza somente do piso do local é de 2000 litros por dia. O período de limpeza do local acontece das 14h às 16h diariamente, exceto nos finais de semana. A Figura 6.10 exibe a curva de consumo de água para lavagem do piso no restaurante em dias úteis.

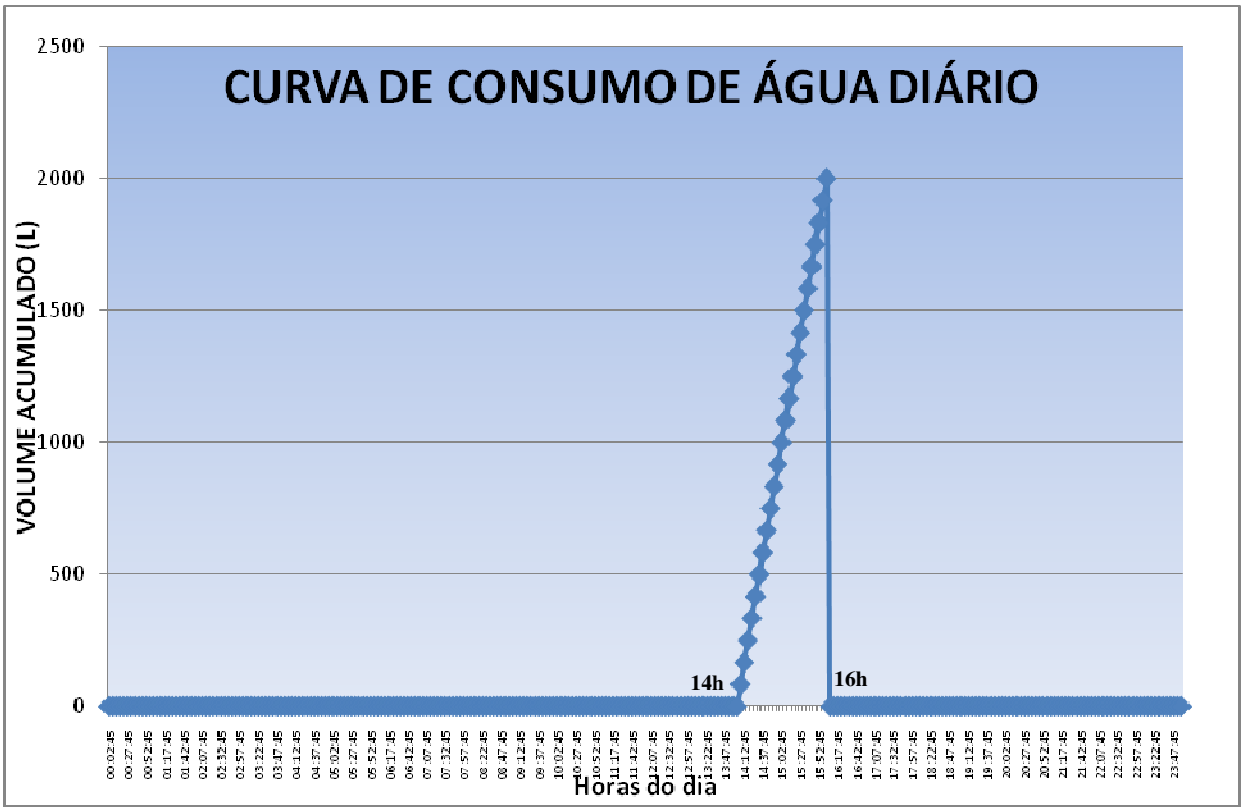

Figura 6.10 - Curva de demanda de água de chuva diário para limpeza do piso do restaurante do IPT.

Tendo conhecimento da curva de demanda, ou seja, do volume de demanda de água acumulado no decorrer do dia (VC Acumulado), e dos dados a seguir, pode-se concluir o cálculo de balanço hídrico:

✓ **Volume acumulado de entrada de água no reservatório (VA_{2D} Acumulado/VE_3):** quantidade de água vinda do etapa anterior, para o presente exemplo, do dispositivo de descarte de primeira chuva;

- ✓ **Volume remanescente no reservatório (VR):** água de chuva presente no reservatório após o consumo, obtido do cálculo do balanço hídrico dos dias anteriores; e
- ✓ **Volume útil do reservatório (VU):** capacidade de armazenamento de 8500 litros.

Os dados apresentam um refinamento de amostragem que possibilita avaliar o comportamento imediato do sistema de aproveitamento de água de chuva estudado no decorrer de um dia, devido ao pequeno intervalo de coleta de dados, principalmente em relação a intensidade de chuva e curva de demanda. Assim, o cálculo do balanço hídrico desta etapa foram determinados para cada instante *t* da intensidade de chuva coletada (*t* = 5min), conforme o procedimento de cálculo descrito para a terceira etapa deste trabalho (Figura 5.3).

A Tabela 6.5 exibe os resultados obtidos de volume remanescente (VR), volume aproveitado para consumo (VA_3), volume de déficit (VD) e volume extravasado (VNA_3) para o dia 05 de janeiro de 2011. O valor de VA_3 no último instante de registros de chuva é o resultado final do balanço hídrico, que será aplicado no modelo teórico.

Os valores referentes ao periodo que antecede às 13:32:45 foram omitidos, pois não foram registrados nenhum evento de chuva, dessa forma não há volume de entrada de água no sistema.

Tabela 6.5 - Resultados do balanço hídrico da terceira etapa, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 13h32 a 23h57

DATA	HORA	P (mm)	i (mm/min)	$VR_{anterior}$ (L)	$VE_3 + VR$ (L)	VU (L)	VC Acumulado (L)	VD Acumulado (L)	VNA_3 Acumulado (L)	VR_{obtido} Acumulado (L)	VA_3 Acumulado (L)
05/01/2011	13:32:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	13:37:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	13:42:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	13:47:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	13:52:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	13:57:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	14:02:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	14:07:45	0,0	0,0	0	0	8500	83,35	83,35	0	0	0
05/01/2011	14:12:45	0,0	0,0	0	0	8500	166,7	166,70	0	0	0
05/01/2011	14:17:45	0,0	0,0	0	0	8500	250,05	250,05	0	0	0
05/01/2011	14:22:45	0,0	0,0	0	0	8500	333,4	333,40	0	0	0
05/01/2011	14:27:45	0,0	0,0	0	0	8500	416,75	416,75	0	0	0
05/01/2011	14:32:45	0,0	0,0	0	0	8500	500,1	500,1	0	0	0
05/01/2011	14:37:45	0,0	0,0	0	0	8500	583,45	583,45	0	0	0
05/01/2011	14:42:45	0,0	0,0	0	0	8500	666,8	666,8	0	0	0
05/01/2011	14:47:45	0,0	0,0	0	0	8500	750,15	750,15	0	0	0
05/01/2011	14:52:45	0,0	0,0	0	0	8500	833,5	833,5	0	0	0
05/01/2011	14:57:45	0,0	0,0	0	0	8500	916,85	916,85	0	0	0
05/01/2011	15:02:45	0,0	0,0	0	0	8500	1000,2	1000,2	0	0	0
05/01/2011	15:07:45	0,0	0,0	0	0	8500	1083,55	1083,55	0	0	0
05/01/2011	15:12:45	0,0	0,0	0	0	8500	1166,9	1166,9	0	0	0
05/01/2011	15:17:45	0,0	0,0	0	0	8500	1250,25	1250,25	0	0	0
05/01/2011	15:22:45	0,0	0,0	0	0	8500	1333,6	1333,6	0	0	0
05/01/2011	15:27:45	0,0	0,0	0	0	8500	1416,95	1416,95	0	0	0
05/01/2011	15:32:45	0,0	0,0	0	0	8500	1500,3	1500,3	0	0	0
05/01/2011	15:37:45	0,0	0,0	0	0	8500	1583,65	1583,65	0	0	0
05/01/2011	15:42:45	0,0	0,0	0	0	8500	1667	1667	0	0	0
05/01/2011	15:47:45	0,0	0,0	0	0	8500	1750,35	1750,35	0	0	0
05/01/2011	15:52:45	0,0	0,0	0	0	8500	1833,7	1833,7	0	0	0
05/01/2011	15:57:45	0,0	0,0	0	0	8500	1917,05	1917,05	0	0	0
05/01/2011	16:02:45	0,0	0,0	0	0	8500	2000,4	2000,4	0	0	0
05/01/2011	16:07:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	16:12:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	16:17:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	16:22:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	16:27:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	16:32:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	16:37:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	16:42:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	16:47:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	16:52:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0
05/01/2011	16:57:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0

(Continua)

Tabela 6.5 - Resultados do balanço hídrico da terceira etapa, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 13h32 a 23h57 (Continuação).

DATA	HORA	P (mm)	i (mm/min)	$VR_{anterior}$ (L)	$VE_3 + VR$ (L)	VU (L)	VC Acumulado (L)	VD Acumulado (L)	VD (L)	VNA_3 Acumulado (L)	VR_{obtido} Acumulado (L)	VA_3 Acumulado (L)
05/01/2011	17:02:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	17:07:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	17:12:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	17:17:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	17:22:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	17:27:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	17:32:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	17:37:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	17:42:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	17:47:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	17:52:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	17:57:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	18:02:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	18:07:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	18:12:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	18:17:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	18:22:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	18:27:45	0,0	0,0	0	0	8500	0	0	0	0	0	0
05/01/2011	18:32:45	2,3	0,5	0	17,49	8500	0	0	0	0	17,49	0
05/01/2011	18:37:45	3,5	0,7	0	467,17	8500	0	0	0	0	467,17	0
05/01/2011	18:42:45	5,1	1,0	0	881,99	8500	0	0	0	0	881,99	0
05/01/2011	18:47:45	7,4	1,5	0	1193,1	8500	0	0	0	0	1193,1	0
05/01/2011	18:52:45	12,9	2,6	0	1304,15	8500	0	0	0	0	1304,15	0
05/01/2011	18:57:45	8,1	1,6	0	1583,1	8500	0	0	0	0	1583,1	0
05/01/2011	19:02:45	3,5	0,7	0	2032,77	8500	0	0	0	0	2032,77	0
05/01/2011	19:07:45	4,1	0,8	0	2475,14	8500	0	0	0	0	2475,14	0
05/01/2011	19:12:45	4,6	0,9	0	2905,66	8500	0	0	0	0	2905,66	0
05/01/2011	19:17:45	4,6	0,9	0	3336,19	8500	0	0	0	0	3336,19	0
05/01/2011	19:22:45	1,6	0,3	0	3692,68	8500	0	0	0	0	3692,68	0
05/01/2011	19:27:45	0,2	0,0	0	3768,46	8500	0	0	0	0	3768,46	0
05/01/2011	19:32:45	0,9	0,2	0	4016,96	8500	0	0	0	0	4016,96	0
05/01/2011	19:37:45	1,6	0,3	0	4373,45	8500	0	0	0	0	4373,45	0
05/01/2011	19:42:45	0,9	0,2	0	4621,94	8500	0	0	0	0	4621,94	0
05/01/2011	19:47:45	0,5	0,1	0	4763,79	8500	0	0	0	0	4763,79	0
05/01/2011	19:52:45	0,5	0,1	0	4905,64	8500	0	0	0	0	4905,64	0
05/01/2011	19:57:45	0,7	0,1	0	5104,77	8500	0	0	0	0	5104,77	0
05/01/2011	20:02:45	0,5	0,1	0	5246,61	8500	0	0	0	0	5246,61	0
05/01/2011	20:07:45	0,7	0,1	0	5445,75	8500	0	0	0	0	5445,75	0
05/01/2011	20:12:45	0,0	0,0	0	5445,75	8500	0	0	0	0	5445,75	0
05/01/2011	20:17:45	0,0	0,0	0	5445,75	8500	0	0	0	0	5445,75	0
05/01/2011	20:22:45	0,0	0,0	0	5445,75	8500	0	0	0	0	5445,75	0
05/01/2011	20:27:45	0,0	0,0	0	5445,75	8500	0	0	0	0	5445,75	0

(Continua)

Tabela 6.5 - Resultados do balanço hídrico da terceira etapa, correspondentes aos registro de chuva do dia 05 de janeiro de 2011 do período das 13h32 a 23h57 (Continuação).

DATA	HORA	P (mm)	i (mm/min)	$VR_{anterior}$ (L)	$VE_3 + VR$ (L)	VU (L)	VC Acumulado (L)	VD Acumulado (L)	VD (L)	VNA_3 Acumulado (L)	VR_{obtido} Acumulado (L)	VA_3 Acumulado (L)
05/01/2011	20:32:45	0,2	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	20:37:45	0,0	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	20:42:45	0,0	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	20:47:45	0,0	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	20:52:45	0,0	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	20:57:45	0,0	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	21:02:45	0,0	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	21:07:45	0,0	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	21:12:45	0,0	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	21:17:45	0,0	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	21:22:45	0,0	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	21:27:45	0,0	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	21:32:45	0,0	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	21:37:45	0,0	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	21:42:45	0,0	0,0	0	5521,53	8500	0	0	0	0	5521,53	0
05/01/2011	21:47:45	0,2	0,0	0	5597,31	8500	0	0	0	0	5597,31	0
05/01/2011	21:52:45	0,0	0,0	0	5597,31	8500	0	0	0	0	5597,31	0
05/01/2011	21:57:45	0,0	0,0	0	5597,31	8500	0	0	0	0	5597,31	0
05/01/2011	22:02:45	0,0	0,0	0	5597,31	8500	0	0	0	0	5597,31	0
05/01/2011	22:07:45	0,2	0,0	0	5673,09	8500	0	0	0	0	5673,09	0
05/01/2011	22:12:45	4,1	0,8	0	6115,45	8500	0	0	0	0	6115,45	0
05/01/2011	22:17:45	0,9	0,2	0	6363,95	8500	0	0	0	0	6363,95	0
05/01/2011	22:22:45	0,5	0,1	0	6505,79	8500	0	0	0	0	6505,79	0
05/01/2011	22:27:45	1,4	0,3	0	6832,28	8500	0	0	0	0	6832,28	0
05/01/2011	22:32:45	0,2	0,0	0	6908,06	8500	0	0	0	0	6908,06	0
05/01/2011	22:37:45	0,2	0,0	0	6983,84	8500	0	0	0	0	6983,84	0
05/01/2011	22:42:45	0,5	0,1	0	7125,69	8500	0	0	0	0	7125,69	0
05/01/2011	22:47:45	0,5	0,1	0	7267,54	8500	0	0	0	0	7267,54	0
05/01/2011	22:52:45	0,7	0,1	0	7466,67	8500	0	0	0	0	7466,67	0
05/01/2011	22:57:45	0,7	0,1	0	7665,8	8500	0	0	0	0	7665,8	0
05/01/2011	23:02:45	1,8	0,4	0	8047,11	8500	0	0	0	0	8047,11	0
05/01/2011	23:07:45	4,1	0,8	0	8489,47	8500	0	0	0	0	8489,47	0
05/01/2011	23:12:45	5,5	1,1	0	8885,85	8500	0	0	0	385,85	8500	0
05/01/2011	23:17:45	5,1	1,0	0	9300,67	8500	0	0	0	800,67	8500	0
05/01/2011	23:22:45	2,8	0,6	0	9739,5	8500	0	0	0	1239,5	8500	0
05/01/2011	23:27:45	1,4	0,3	0	10065,99	8500	0	0	0	1565,99	8500	0
05/01/2011	23:32:45	0,5	0,1	0	10207,84	8500	0	0	0	1707,84	8500	0
05/01/2011	23:37:45	0,5	0,1	0	10349,68	8500	0	0	0	1849,68	8500	0
05/01/2011	23:42:45	0,5	0,1	0	10491,53	8500	0	0	0	1991,53	8500	0
05/01/2011	23:47:45	0,2	0,0	0	10567,31	8500	0	0	0	2067,31	8500	0
05/01/2011	23:52:45	0,5	0,1	0	10709,16	8500	0	0	0	2209,16	8500	0
05/01/2011	23:57:45	0,2	0,0	0	10784,94	8500	0	0	0	2284,94	8500	0

O resultado final do balanço hídrico para esse dia foi nulo ($VA_3 = 0$ para o t = 23h57). Verificou-se ainda que durante o período de demanda de água, o reservatório de armazenamento estava vazio, indicado pelos dados de déficit (VD). Isso demonstra que foi necessário utilizar a água da rede pública para atender a demanda.

Contudo, no final da tarde foi registrado início de chuva que perdurou até o final do dia. Neste período conseguiu atingir a capacidade máxima de reservação de 8500 litros, com uma perda de 2284,94 litros de água por extravasão ($VNA_3 = 2284,94$ L para o t = 23h57).

Esse fato aponta para a necessidade da realização de uma análise dia a dia do aproveitamento de água pelo sistema, reiterando o resultado final de VR do dia anterior para o próximo dia, visualizando um funcionamento mais realista do sistema.

De forma resumida, as Tabelas 6.6 e 6.7 mostram os resultados finais de balanço hídrico (volume de água de chuva armazenados (VR), o extravasado (VNA_3), o déficit (VD) e o volume efetivamente aproveitado (VA_3) para os dias dos meses de Janeiro de 2011 e Maio de 2010, respectivamente. Escolheu-se estes meses para efeito de comparação dos respectivos volumes aproveitado pelo sistema, já que o mês de janeiro pertence à época chuvosa e o mês de maio à época de estiagem.

Tabela 6.6 - Resultados finais do balanço hídrico dia a dia para o mês de Janeiro de 2011.

	DIA	PRECIP.	VR (L)	VNA_3 (L)	VD (L)	VA_3 (L)
Sábado	1	0,23	0	0	0	0
Domingo	2	41,86	8500	1553,45	0	0
Segunda	3	22,54	8500	4126,18	0	2000,4
Terça	4	10,58	8500	453,67	0	2000,4
Quarta	5	97,29	8500	8520,81	0	2000,4
Quinta	6	14,26	8500	1569,56	0	2000,4
Sexta	7	1,38	6506,75	0	0	2000,4
Sábado	8	42,09	8500	2226,43	0	0
Domingo	9	11,73	8500	2566,07	0	0
Segunda	10	42,78	8500	4882,98	0	2000,4
Terça	11	25,76	8500	3620,37	0	2000,4
Quarta	12	8,74	7998,32	0	0	2000,4
Quinta	13	4,6	6876,12	0	0	2000,4
Sexta	14	35,19	8500	1863,17	0	2000,4
Sábado	15	0	8500	0	0	0
Domingo	16	3,68	8500	700,54	0	0
Segunda	17	5,75	7796,05	0	0	2000,4
Terça	18	12,88	8500	172,91	0	2000,4
Quarta	19	1,84	6634,7	0	0	2000,4
Quinta	20	3,45	4973,04	0	0	2000,4
Sexta	21	5,29	3767,22	0	0	2000,4
Sábado	22	67,85	8428,83	0	0	0
Domingo	23	26,45	8500	5492,5	0	0
Segunda	24	0,23	6499,6	0	0	2000,4
Terça	25	8,74	5936,44	0	0	2000,4
Quarta	26	0,46	3936,04	0	0	2000,4
Quinta	27	0	1953,64	0	0	2000,4
Sexta	28	0	0	0	46,76	1953,64
Sábado	29	0,23	0	0	0	0
Domingo	30	9,2	1426,61	0	0	0
Segunda	31	0	0	0	573,79	1426,61
			TOTAL:	37748,6	620,55	41387,9

Tabela 6.7 - Resultados finais do balanço hídrico dia a dia para o mês de Maio de 2010.

	DIA	PRECIP.	VR (L)	VNA_3 (L)	VD (L)	VA_3 (L)
Sábado	1	0	0	0	0	0
Domingo	2	0	0	0	0	0
Segunda	3	0	0	0	2000,4	0
Terça	4	0	0	0	2000,4	0
Quarta	5	0,69	0	0	2000,4	0
Quinta	6	0	0	0	2000,4	0
Sexta	7	0,23	0	0	2000,4	0
Sábado	8	36,57	7401,34	0	0	0
Domingo	9	9,66	8500	1266,01	0	0
Segunda	10	2,07	6710,32	0	0	2000,4
Terça	11	0	4709,92	0	0	2000,4
Quarta	12	0	2709,52	0	0	2000,4
Quinta	13	0	709,12	0	0	2000,4
Sexta	14	0,23	0	0	1291,28	709,12
Sábado	15	0	0	0	0	0
Domingo	16	0	0	0	0	0
Segunda	17	0	0	0	2000,4	0
Terça	18	0	0	0	2000,4	0
Quarta	19	6,44	0	0	744,5	1255,9
Quinta	20	0	0	0	2000,4	0
Sexta	21	0,23	0	0	2000,4	0
Sábado	22	0	0	0	0	0
Domingo	23	0,46	0	0	0	0
Segunda	24	0	0	0	2000,4	0
Terça	25	0,23	0	0	2000,4	0
Quarta	26	0,69	0	0	2000,4	0
Quinta	27	0	0	0	2000,4	0
Sexta	28	2,3	0	0	1730,4	270
Sábado	29	0	0	0	0	0
Domingo	30	0,46	0	0	0	0
Segunda	31	1,38	0	0	2000,4	0
			TOTAL:	1266,01	31771,8	10236,6

Como já previsto o volume efetivamente aproveitado pelo sistema foi bem menor para o mês de maio do que para o mês de janeiro, em razão da baixa pluviosidade. E devido a esse pouco armazenamento de água de chuva, o mês de maio apresentou um déficit de 31771,8 litros de água, ou seja, todo esse volume foi abastecido pela água vinda da rede pública. Em um mês que se consome um volume total de 42000 litros aproximado para realizar a limpeza somente do piso do restaurante do IPT, apenas 24% (10236,6 litros) desse total correspondeu ao uso de água de chuva.

No entanto, para o mês de janeiro, com a alta frequência de precipitações a situação foi de abundância. No geral, o sistema conseguiu armazenar um volume de 41388 litros de água de chuva, ou seja, 98% da demanda de água foi atendida por água de chuva. Do ponto de vista do atendimento à demanda, o sistema apresentou uma boa eficiência, porém com relação às perdas de água o sistema deixou a desejar.

6.2. CÁLCULO DO BALANÇO ENERGÉTICO

A água de chuva coletada pelo sistema em questão é armazenada em reservatórios inferior e superior, sendo necessária uma bomba hidráulica para conduzir a água do reservatório inferior para o superior. O sistema ainda dispõe de um sistema de desinfecção à base de ozônio. Frente a essas informações, calcula-se o consumo de energia desses equipamentos.

6.2.1. Consumo de energia pela bomba hidráulica

Os valores das variáveis relativas ao cálculo do consumo de energia da bomba são:

- ✓ **Q_B:** de 2,8 m³/h, obtida através de medições em campo.
- ✓ **Potência de funcionamento (PO_B):** 0,45kW conforme a vazão medida e a curva da bomba, fornecida pelo fabricante.

✓ **Consumo efetivo (VA_3):** 2 m³ de água para lavagem do piso. Este valor poderá ser menor em casos de pouca água de chuva presente no reservatório.

Antes de aplicar a equação do consumo de energia da bomba (Equação 5.12), devem-se verificar as condições impostas para o funcionamento da bomba. Primeiro, se há volume de água de chuva no reservatório, e em caso positivo, verificar se há consumo no dia avaliado. Se o reservatório estiver vazio, não haverá consumo de energia pela bomba hidráulica. Os resultados da terceira etapa do cálculo do balanço hídrico demonstram em que condições o sistema se encontra.

Utilizando os dados das Tabelas 6.6 e 6.7, calculou-se o consumo de energia pela bomba hidráulica. As Tabelas 6.8 e 6.9 expõem os resultados de E_{BOMBA} (kWh) referente aos dias dos meses de janeiro e maio, respectivamente.

Tabela 6.8 - Resultados de consumo de energia pela bomba hidráulica para o mês de Janeiro de 2011.

	DIA	PRECIP.	VR (L)	VNA_3 (L)	VD (L)	VA_3 (L)	E_{BOMBA} (kWh)
Sábado	1	0,23	0	0	0	0	0
Domingo	2	41,86	8500	1553,45	0	0	0
Segunda	3	22,54	8500	4126,18	0	2000,4	0,32
Terça	4	10,58	8500	453,67	0	2000,4	0,32
Quarta	5	97,29	8500	8520,81	0	2000,4	0,32
Quinta	6	14,26	8500	1569,56	0	2000,4	0,32
Sexta	7	1,38	6506,75	0	0	2000,4	0,32
Sábado	8	42,09	8500	2226,43	0	0	0
Domingo	9	11,73	8500	2566,07	0	0	0
Segunda	10	42,78	8500	4882,98	0	2000,4	0,32
Terça	11	25,76	8500	3620,37	0	2000,4	0,32
Quarta	12	8,74	7998,32	0	0	2000,4	0,32
Quinta	13	4,6	6876,12	0	0	2000,4	0,32
Sexta	14	35,19	8500	1863,17	0	2000,4	0,32
Sábado	15	0	8500	0	0	0	0
Domingo	16	3,68	8500	700,54	0	0	0
Segunda	17	5,75	7796,05	0	0	2000,4	0,32
Terça	18	12,88	8500	172,91	0	2000,4	0,32
Quarta	19	1,84	6634,7	0	0	2000,4	0,32
Quinta	20	3,45	4973,04	0	0	2000,4	0,32
Sexta	21	5,29	3767,22	0	0	2000,4	0,32
Sábado	22	67,85	8428,83	0	0	0	0
Domingo	23	26,45	8500	5492,5	0	0	0
Segunda	24	0,23	6499,6	0	0	2000,4	0,32
Terça	25	8,74	5936,44	0	0	2000,4	0,32
Quarta	26	0,46	3936,04	0	0	2000,4	0,32
Quinta	27	0	1953,64	0	0	2000,4	0,32
Sexta	28	0	0	0	46,76	1953,64	0,31
Sábado	29	0,23	0	0	0	0	0
Domingo	30	9,2	1426,61	0	0	0	0
Segunda	31	0	0	0	573,79	1426,61	0,23
						TOTAL:	6,65

Tabela 6.9 - Resultados de consumo de energia pela bomba hidráulica para o mês de Maio de 2010.

	DIA	PRECIP.	VR (L)	VNA_3 (L)	VD (L)	VA_3 (L)	E_{BOMBA} (kWh)
Sábado	1	0	0	0	0	0	0
Domingo	2	0	0	0	0	0	0
Segunda	3	0	0	0	2000,4	0	0
Terça	4	0	0	0	2000,4	0	0
Quarta	5	0,69	0	0	2000,4	0	0
Quinta	6	0	0	0	2000,4	0	0
Sexta	7	0,23	0	0	2000,4	0	0
Sábado	8	36,57	7401,34	0	0	0	0
Domingo	9	9,66	8500	1266,01	0	0	0
Segunda	10	2,07	6710,32	0	0	2000,4	0,32
Terça	11	0	4709,92	0	0	2000,4	0,32
Quarta	12	0	2709,52	0	0	2000,4	0,32
Quinta	13	0	709,12	0	0	2000,4	0,32
Sexta	14	0,23	0	0	1291,28	709,12	0,11
Sábado	15	0	0	0	0	0	0
Domingo	16	0	0	0	0	0	0
Segunda	17	0	0	0	2000,4	0	0
Terça	18	0	0	0	2000,4	0	0
Quarta	19	6,44	0	0	744,5	1255,9	0,2
Quinta	20	0	0	0	2000,4	0	0
Sexta	21	0,23	0	0	2000,4	0	0
Sábado	22	0	0	0	0	0	0
Domingo	23	0,46	0	0	0	0	0
Segunda	24	0	0	0	2000,4	0	0
Terça	25	0,23	0	0	2000,4	0	0
Quarta	26	0,69	0	0	2000,4	0	0
Quinta	27	0	0	0	2000,4	0	0
Sexta	28	2,3	0	0	1730,4	270	0,04
Sábado	29	0	0	0	0	0	0
Domingo	30	0,46	0	0	0	0	0
Segunda	31	1,38	0	0	2000,4	0	0
						TOTAL:	1,64

6.2.2. Consumo de energia pelo sistema de desinfecção – ozonização

Os valores das variáveis relativas ao cálculo do consumo de energia do sistema de desinfecção são:

- ✓ **Potência de funcionamento (PO_{SD}):** o sistema de desinfecção possui aparelhos para geração do ozônio de 0,45kW informado pelo fabricante, e uma bomba de circulação da água de 1CV, que equivale à 0,75kW. A potência de funcionamento do equipamento é de 1,2kW.
- ✓ **Tempo de operação:** foi estabelecido cinco períodos para que o aparelho funcione durante 1 hora (das 5-6h, 8-9h, 11-12h, 14-15h e 17-18h), totalizando em 5 horas para cada dia útil.

Da mesma forma que a bomba hidráulica, o sistema de desinfecção apresenta uma condição para que o equipamento funcione, o reservatório deve possuir um nível mínimo de água no momento programado para funcionar. Do contrário, não haverá consumo de energia pelo sistema de desinfecção.

Para o cálculo do consumo de energia dos sistemas de desinfecção, fez-se uso também dos dados das Tabelas 6.6 e 6.7, e da Equação 5.13. Nas Tabelas 6.9 e 6.10 são apresentados os resultados de E_{SD} (kWh) referente aos dias dos meses de janeiro e maio.

Tabela 6.10 - Resultados de consumo de energia pelo sistema de desinfecção para mês de Janeiro de 2011.

	DIA	PRECIP.	VR (L)	VNA_3 (L)	VD (L)	VA_3 (L)	E_{SD} (kWh)
Sábado	1	0,23	0	0	0	0	0
Domingo	2	41,86	8500	1553,45	0	0	0
Segunda	3	22,54	8500	4126,18	0	2000,4	6
Terça	4	10,58	8500	453,67	0	2000,4	6
Quarta	5	97,29	8500	8520,81	0	2000,4	6
Quinta	6	14,26	8500	1569,56	0	2000,4	6
Sexta	7	1,38	6506,75	0	0	2000,4	6
Sábado	8	42,09	8500	2226,43	0	0	0
Domingo	9	11,73	8500	2566,07	0	0	0
Segunda	10	42,78	8500	4882,98	0	2000,4	6
Terça	11	25,76	8500	3620,37	0	2000,4	6
Quarta	12	8,74	7998,32	0	0	2000,4	6
Quinta	13	4,6	6876,12	0	0	2000,4	6
Sexta	14	35,19	8500	1863,17	0	2000,4	6
Sábado	15	0	8500	0	0	0	0
Domingo	16	3,68	8500	700,54	0	0	0
Segunda	17	5,75	7796,05	0	0	2000,4	6
Terça	18	12,88	8500	172,91	0	2000,4	6
Quarta	19	1,84	6634,7	0	0	2000,4	6
Quinta	20	3,45	4973,04	0	0	2000,4	6
Sexta	21	5,29	3767,22	0	0	2000,4	6
Sábado	22	67,85	8428,83	0	0	0	0
Domingo	23	26,45	8500	5492,5	0	0	0
Segunda	24	0,23	6499,6	0	0	2000,4	6
Terça	25	8,74	5936,44	0	0	2000,4	6
Quarta	26	0,46	3936,04	0	0	2000,4	6
Quinta	27	0	1953,64	0	0	2000,4	6
Sexta	28	0	0	0	46,76	1953,64	3,6
Sábado	29	0,23	0	0	0	0	0
Domingo	30	9,2	1426,61	0	0	0	0
Segunda	31	0	0	0	573,79	1426,61	3,6
						TOTAL:	121,2

Tabela 6.11 - Resultados de consumo de energia pelo sistema de desinfecção para mês de Maio de 2010.

	DIA	PRECIP.	VR (L)	VNA_3 (L)	VD (L)	VA_3 (L)	E_{SD} (kWh)
Sábado	1	0	0	0	0	0	0
Domingo	2	0	0	0	0	0	0
Segunda	3	0	0	0	2000,4	0	0
Terça	4	0	0	0	2000,4	0	0
Quarta	5	0,69	0	0	2000,4	0	0
Quinta	6	0	0	0	2000,4	0	0
Sexta	7	0,23	0	0	2000,4	0	0
Sábado	8	36,57	7401,34	0	0	0	0
Domingo	9	9,66	8500	1266,01	0	0	0
Segunda	10	2,07	6710,32	0	0	2000,4	6
Terça	11	0	4709,92	0	0	2000,4	6
Quarta	12	0	2709,52	0	0	2000,4	6
Quinta	13	0	709,12	0	0	2000,4	6
Sexta	14	0,23	0	0	1291,28	709,12	4,2
Sábado	15	0	0	0	0	0	0
Domingo	16	0	0	0	0	0	0
Segunda	17	0	0	0	2000,4	0	0
Terça	18	0	0	0	2000,4	0	0
Quarta	19	6,44	0	0	744,5	1255,9	0
Quinta	20	0	0	0	2000,4	0	0
Sexta	21	0,23	0	0	2000,4	0	0
Sábado	22	0	0	0	0	0	0
Domingo	23	0,46	0	0	0	0	0
Segunda	24	0	0	0	2000,4	0	0
Terça	25	0,23	0	0	2000,4	0	0
Quarta	26	0,69	0	0	2000,4	0	0
Quinta	27	0	0	0	2000,4	0	0
Sexta	28	2,3	0	0	1730,4	270	3,6
Sábado	29	0	0	0	0	0	0
Domingo	30	0,46	0	0	0	0	0
Segunda	31	1,38	0	0	2000,4	0	0
						TOTAL:	31,8

O total de consumo de energia demandada pela bomba hidráulica e pelo sistema de desinfecção por ozônio foi de 127,85kWh para o mês de janeiro de 2011 e de 33,44kWh para o mês de maio de 2010. Observa-se que o consumo de energia do mês de janeiro é quase quatro vezes a mais que o consumo do mês de maio, isso decorre do maior consumo e aproveitamento de água de chuva no mês de Janeiro.

6.3. RESULTADO FINAL – BALANÇO HÍDRICO E ENERGÉTICO

Diante dos resultados de balanço hídrico e energético do sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT, avalia-se a relação entre a energia consumida e o volume de água de chuva efetivamente consumido por intermédio da Equação **5.1**, substituindo os valores alcançados na equação. O produto final é o índice líquido de consumo energético (ILE).

$$ILE = \frac{CTE}{VTA} = \frac{\sum Energia}{VA_3} = \frac{(E_{BOMBA} + E_{SD})}{VA_3} \left(kWh/m^3\right)$$

A Tabela 6.12 resume os resultados obtidos do balanço hídrico e energético do sistema de aproveitamento de água de chuva instalado no IPT, e o índice kWh/m³ referentes aos meses de Janeiro e Maio.

Tabela 6.12 - Valores do balanço energético, hídrico e o ILE do sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT.

	Balanço Energético (kWh)	Balanço Hídrico (m³)	ILE (kWh/m³)
Jan/11	127,85	41,388	**3,09**
Maio/10	33,44	10,236	**3,26**
		ILE médio	***3,17***

Os índices obtidos para os meses de janeiro e maio não apresentam uma diferença significativa, apesar das disparidades entre os valores hídricos e energéticos. Pode-se deduzir que mesmo para baixos consumos de água de chuva, o índice mantém as mesmas proporcionalidades

para casos em que o consumo de água de chuva é quase que predominante, em razão da compatibilidade do gasto energético para cada ocasião de consumo de água. Portanto, foi atribuído ao sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT um índice médio de 3,17 kWh/m³.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 7.1 são apresentados os resultados relativos aos volumes de água envolvidos. As barras constantes da Figura 7.1 são representativas dos volumes precipitados, não aproveitados e efetivamente consumidos (água de chuva e água potável) obtidos para o sistema experimental de aproveitamento de água de chuva do IPT, referentes aos meses de janeiro e maio.

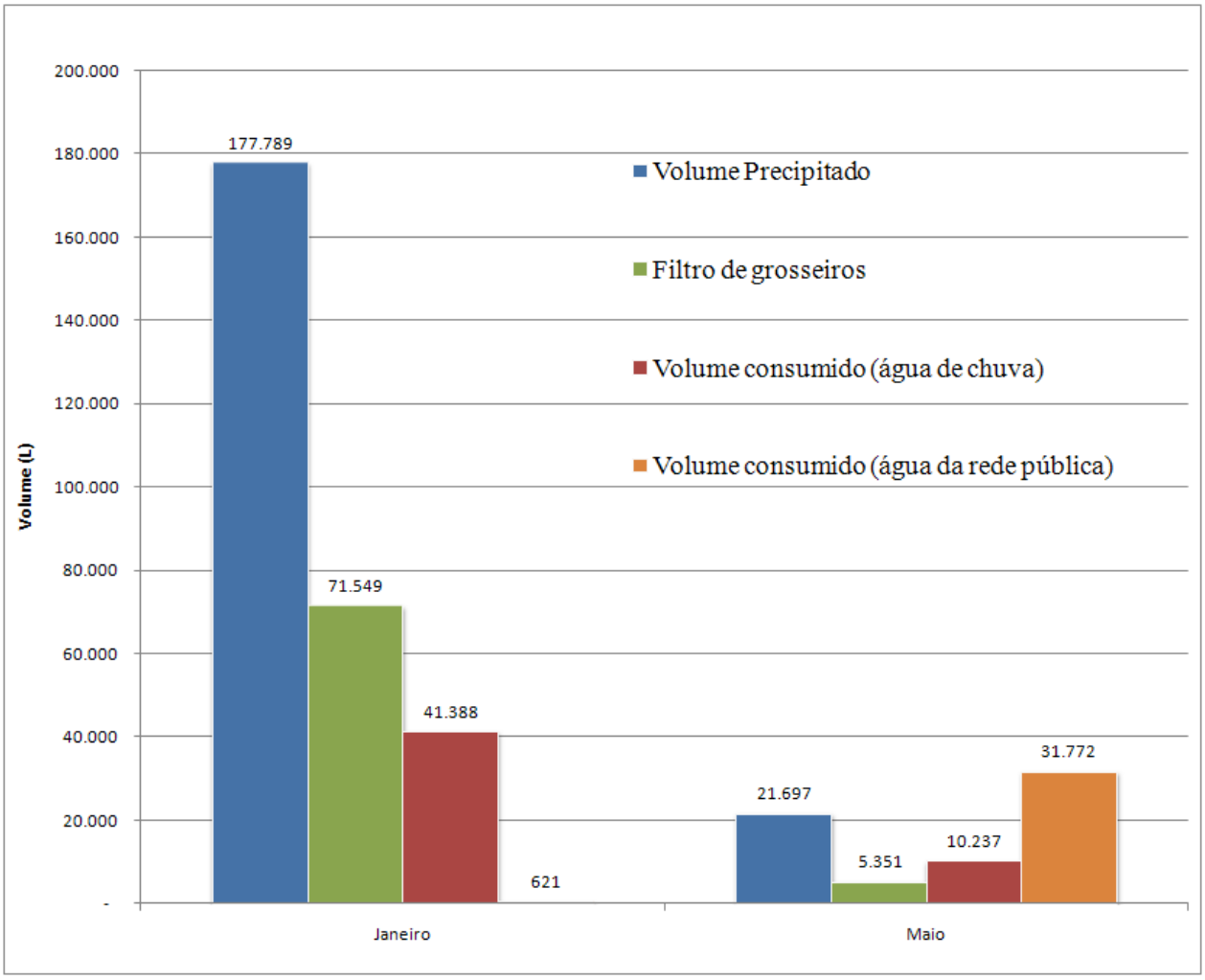

Figura 7.1 - Valores dos volumes mensais obtidos para o balanço hídrico do sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT nos meses de janeiro e maio de 2010.

Observa-se que uma grande quantidade de volume não foi aproveitado (perdido pelo filtro de grosseiros) para o mês de janeiro, representando uma porcentagem de 74% de perda do volume total precipitado, e para o mês de maio, a porcentagem de perda foi de apenas 24%. Em contrapartida, apesar das perdas, no mês de janeiro a maior parte da demanda de água corresponde ao consumo de água de chuva, e uma pouca quantidade de água potável foi necessária para complementar a demanda. Tais comportamentos de aproveitamento do sistema para os meses de janeiro e maio são típicos dos períodos de chuva e de estiagem, respectivamente.

No que diz respeito às perdas de água no sistema, a Figura 7.2 apresenta a distribuição percentual das parcelas de água não aproveitadas pelas etapas do sistema experimental de aproveitamento de água de chuva do IPT.

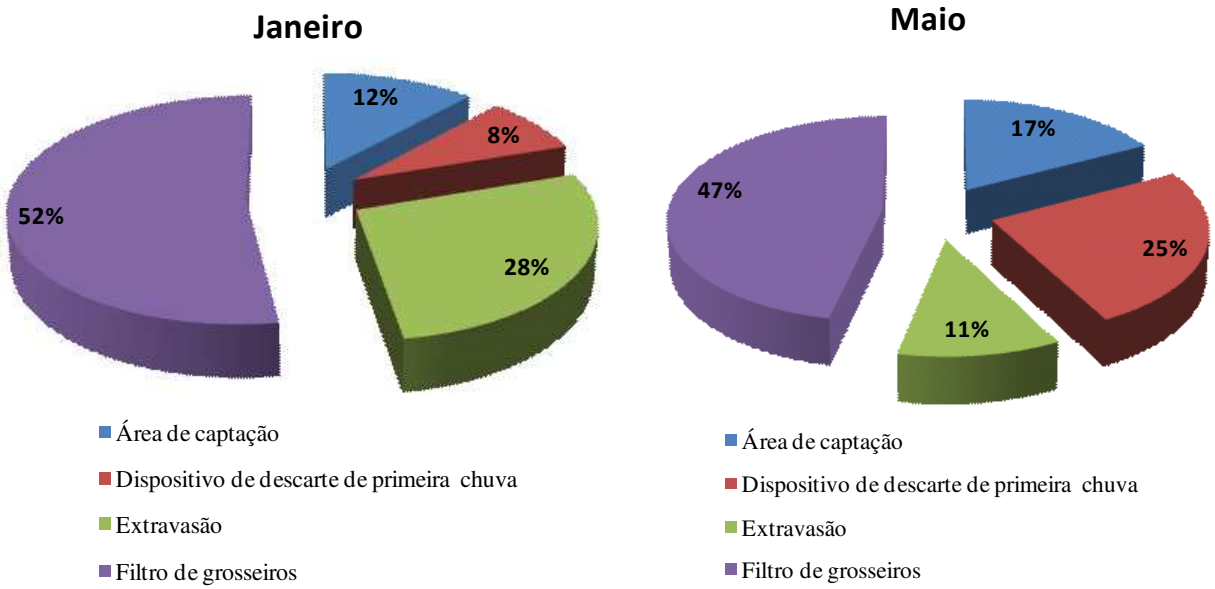

Figura 7.2 - Distribuição dos volumes não aproveitados (área de captação, dispositivo de descarte e extravasão e filtros de grosseiro) nos meses de janeiro e maio no sistema experimental de aproveitamento de água de chuva do IPT nos meses de janeiro e maio de 2010.

Verifica-se uma participação significativa do filtro de grosseiro no volume não aproveitado pelo sistema, representa perdas de 52% em janeiro e 47% em maio, seguido da extravasão pelos reservatórios, o dispositivo de descarte e por último a área de captação. Dado que o filtro de grosseiros tem uma curva de eficiência que varia com a vazão por ele escoada,

infere-se que mesmo sob menores valores de vazão, ocorridas em maio, a capacidade de aproveitamento do equipamento é baixa.

A Tabela 7.1 apresenta as partes componentes do sistema experimental de aproveitamento de água de chuva do IPT classificando quanto à sua natureza do não aproveitamento (evitáveis e inevitáveis) e a observação da ocorrência de eventos de não aproveitamento na instalação durante os períodos de monitoramento em situação real de uso.

O volume não aproveitado foi desmembrado em duas parcelas: *perdas no filtro de material grosseiro e extravasão* (eventos evitáveis) e volumes não aproveitados na *captação e descarte* (eventos inevitáveis).

Tabela 7.1 - Partes constituintes do sistema experimental do IPT, classificação e observação de eventos

Partes constituintes	Classificação quanto ao não aproveitamento		Ocorrência de eventos de não aproveitamento
	Inevitável	Evitável (perda)	
Captação (telhado, calha e condutor vertical)	*(evaporação, retenção e infiltração)*		*Ocorreu e foi computado*
Filtro de material grosseiro		*(ineficiência de funcionamento frente à vazão)*	*Ocorreu e foi computado*
Dispositivo de descarte	*(volume correspondente ao primeiro milímetro de chuva)*		*Ocorreu e foi computado*
Sistema de desinfecção			*Não ocorreu*
Reservatório inferior		*(extravasão de água de chuva em quantidade que superou a capacidade de reservação)*	*Ocorreu e foi computado*
Reservatório superior			*Não ocorreu*
Tubos, conexões e juntas diversas			*Não ocorreu*

A Capacidade de reservação inadequada pode dar lugar a volumes extravasados que podem ser considerados perdas propriamente ditas, ou seja, eventos evitáveis. Nesse caso a quantidade de água de chuva que extravasa os reservatórios constitui-se em evento evitável, devido a contribuição nas perdas de água do sistema. A extravasão de água de chuva na instalação experimental ocorreu apenas no reservatório inferior.

Para a água de chuva perdida pelo dispositivo de descarte de primeira chuva pode ser considerado um evento inevitável, visto que o tratamento adequado da água de chuva prevê tal descarte. Caso o dimensionamento, ou as características operacionais do equipamento de descarte dêem lugar a volumes maiores que o efetivamente necessário, poderão ser computados volumes efetivamente perdidos (eventos evitáveis).

A quantidade de água não aproveitada devida à evaporação, retenção e infiltração da chuva que cai sobre o telhado não foi considerada como perda, pois se trata de fenômeno inevitável.

Já no caso do filtro de grosseiros observa-se que dado o princípio de funcionamento do equipamento ocorrem perdas cujos valores variam com o valor da vazão do escoamento de água de chuva que passa pelo equipamento. Entende-se que o volume não aproveitado nesse caso é uma perda cuja origem é própria à concepção e dimensionamento do equipamento.

7.1.EFICIÊNCIAS DO SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA DO IPT

Os valores medidos e calculados permitem calcular índices úteis à avaliação de sistemas de aproveitamento a partir da grandeza volume. No que respeita os volumes, a avaliação se desenvolveu sobre quatro índices:

✓ **IBR** é o *índice bruto de aproveitamento de água de chuva* definido pela razão entre o volume de água de chuva efetivamente aproveitado no período T e a precipitação pluvial total ocorrida nesse período, em termos percentuais. Trata-se de índice estritamente local, ou seja, aplica-se a comparações da mesma instalação ao longo do tempo e segundo usos não potáveis pré-definidos, ou constantes. Não se presta a comparações entre sistemas em localidades diferentes e/ou usos não potáveis diversos. Considerada a sua definição e adotando a hipótese de que no período ocorre precipitação pluvial, por menor que seja, o índice IBR varia, teoricamente, entre 0% e 100% sendo o limite superior a meta ideal a ser atingida;

✓ **INA** é o *índice de não aproveitamento de água de chuva* definido pela razão entre o volume de água de chuva não aproveitado total (evitáveis mais não evitáveis) em um período T e o volume total de águas de chuva precipitado no mesmo período. A exemplo do índice anterior, trata-se de índice estritamente local, ou seja, aplica-se a comparações da mesma instalação ao longo do tempo e segundo usos não potáveis pré-definidos, ou constantes. Não se presta a comparações entre sistemas em localidades diferentes e/ou usos não potáveis diversos. Considerada a sua definição e adotando a hipótese de que no período ocorre precipitação pluvial, por menor que seja, o índice INA varia, teoricamente, entre 0% e 100% sendo o limite infeior a meta ideal a ser atingida;

✓ **IPS** é o *índice de perdas de água na instalação predial de aproveitamento* definido pela razão entre o volume de perdas (eventos evitáveis) nos componentes da instalação em um período T e o volume total de águas de chuva efetivamente utilizado em usos não potáveis nesse período. Esse índice presta-se a comparações entre sistemas, pois é relativo a perdas específicas em componentes empregados na instalação, segundo volume efetivamente aproveitado. Considerada a sua definição, o índice IPS tem limite inferior de 0% e máximo de 100% sendo o limite inferior a meta ideal a ser atingida; e

✓ **ISF** é o *índice de substituição de fontes ou de substituição de água potável*. Pode ser também chamado de índice de sucesso na substituição de fontes, definido pela razão entre o volume total de águas de chuva efetivamente utilizado em usos não potáveis no período T e o volume máximo potencial de usos não potáveis no mesmo período. Esse índice tem caráter global

e universal e pode se constituir em indicador para sistemas e usos não potáveis específicos instalados em localidades diversas. Considerada a sua definição, o índice ISF tem limite inferior de 0% e máximo de 100% sendo o limite superior a meta ideal a ser atingida.

Deve ser observado que o ISF não deve ser utilizado isoladamente na avaliação da eficiência do sistema, pois ele não leva em conta a ineficiência de aproveitamento no que concerne às perdas. Índices de substituição de fontes de mesmo valor podem ocorrer segundo volumes diferenciados de água de chuva aportados ao sistema devidos às perdas. Portanto o índice ISF deve ser usado em conjunto com o índice de perdas IPS.

Os índices apresentados na Tabela 7.2 foram definidos como instrumento auxiliar na análise do desempenho do sistema experimental do IPT. Têm caráter preliminar e se constituem em proposta inicial para discussão visando o estabelecimento de índices e indicadores uniformes para auxiliar na avaliação de sistemas de aproveitamento diversos. Os valores dos índices volumétricos calculados com base nos dados obtidos em campo e que propiciaram a construção dos gráficos das Figuras 7.1 e 7.2.

Tabela 7.2 - Índices volumétricos de avaliação do sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT nos meses de janeiro e maio de 2010.

IBR		***INA***		***IPS***		***ISF***	
janeiro	**maio**	**janeiro**	**maio**	**janeiro**	**maio**	**janeiro**	**maio**
23,3%	**47,2%**	**76,7%**	**52,8%**	**171,4%**	**47,0%**	**98,5%**	**24,4%**

A observação inicial dos valores apresentados na Figura 7.1 relativos ao mês de janeiro impressiona pelos altos valores precipitados e perdidos e pelo baixo valor de água de chuva efetivamente aproveitado. A análise desse fato poderia levar a concluir que o critério de dimensionamento do sistema teria privilegiado o atendimento da demanda mesmo em meses de estiagem. Isso acarreta não aproveitamentos de maior magnitude nos meses de cheias. No entanto, não é esse o caso, pois o volume não aproveitado e a parcela de perdas evitáveis no filtro

de material grosseiro são altos também em maio como atestam os dados da Figura 7.2. A despeito dessas considerações, a Tabela 7.2 mostra que em janeiro o índice de substituição de fontes (ISF) é de 98,5 %, ou seja, o sistema atendeu praticamente a toda demanda por substituição de água potável. Porém isso ocorreu sob enorme ineficiência, pois o índice de perdas (IPS) nesse mês foi de 171,4%.

No mês de maio, início da estiagem na cidade de São Paulo, chama à atenção a necessidade do uso de água potável da rede pública frente ao volume precipitado e o não aproveitado. Esse último teria sido suficiente para atendimento da demanda caso o sistema fosse mais eficiente. Resulta desses valores um índice de substituição de fontes (ISF) de apenas 24,4 %, valor que é ainda mais negativamente avaliado ao se observar também na Tabela 7.2 que o índice de perdas (IPS) nesse mês foi de 47 %, ou seja, quase metade da água de chuva aportada ao sistema foi perdida por ineficiência (evento evitável).

Independentemente das observações anteriores, uma conclusão importante é que o sistema tem a particularidade de exibir altos volumes não aproveitados de água de chuva, com o agravante de ser essa condição passível de intervenção já que o não aproveitamento é dado majoritariamente por perdas evitáveis, ou seja, perdas efetivas que, no caso, ocorreram pela ineficiência de funcionamento do filtro de grosseiros.

Finalizando a análise dos índices volumétricos a observação do índice bruto de aproveitamento (IBR) mostra que em janeiro teria sido aproveitar cerca de 4,3 vezes a demanda (100/23,3) caso não ocorressem não aproveitamentos, evitáveis e não evitáveis. O mesmo raciocínio aplicado a maio resultaria em atendimento de aproximadamente metade da demanda.

O consumo de energia pelos componentes do sistema está relacionado diretamente com volume de água armazenado e o volume consumido de água de chuva. Isso ocorre porque a demanda de energia se dá por bomba centrífuga necessária à recirculação de água do reservatório inferior para a desinfecção e por bomba centrífuga que promove o recalque do reservatório inferior para o superior. Os demais componentes do sistema experimental do IPT não consomem energia, pois funcionam sob gravidade (ALVES et al., 2008). O consumo de energia total foi de

127,85kWh e 33,44kWh, referentes aos meses de janeiro e maio, nesta ordem, resultando em um índice médio ILE de 3,17kWh/m³. Estes dados estão expostos na Tabela 6.12.

Ao simular a retirada do sistema de desinfecção do sistema o índice médio obtido de 3,17 kWh/m³ sofre uma redução para 0,14kWh/m³. O sistema de desinfecção existente é adequado ao fim proposto, principalmente por se tratar de uma instalação experimental que prevê a avaliação de diversos sistemas de desinfecção. O elevado consumo de energia, no caso aqui sob análise, deve-se ao fato de que o sistema de desinfecção requer a recirculação da água armazenada praticamente de forma contínua para atender a requisitos de qualidade da água no uso não potável previsto, considerando que se trata de lavagem de pisos de cozinha e refeitório industrial.

Cumpre destacar um aspecto particular que tem repercussão significativa na eficiência energética de sistema de aproveitamento de água de chuva que requeira o uso de bombas hidráulicas. Em sistemas prediais o uso de bombas é condicionado às disponibilidades de modelos e potências de bombas dos diversos fabricantes. Ocorre com frequência a contingência da escolha de bombas, especialmente as de pequena potência, que operam sob baixíssimos níveis de eficiência ou de rendimento global. Níveis globais de rendimento na faixa de 20 % a 30% são comuns em bombas centrífugas de baixa potência, mesmo que o par (altura manométrica total x vazão), utilizado na escolha de bombas, esteja bem ajustado. Essa realidade impõe aportes globais de energia para o sistema com baixíssimos níveis de eficiência. Esse problema se apresentou nos cálculos de consumo energético do sistema experimental do IPT, pois a instalação contava com 2 bombas centrífugas que ostentam esse problema. Trata-se de problema de difícil solução prática e que não diz respeito somente às instalações de aproveitamento de água de chuva, visto que tais bombas são largamente empregadas em instalações prediais de água potável, de esgoto e águas pluviais.

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva permitem uma série de combinações de equipamentos, componentes e sistemas, além de diversas configurações e arranjos entre os sistemas de captação, tratamento, armazenamento e distribuição. Esse número possível de opções de sistemas permite, inclusive, a utilização de configurações onde a utilização de energia elétrica seja desnecessária, aproveitando-se da energia gravitacional para o transporte da água da área de captação até o ponto de consumo. A sofisticação das instalações a necessidade de equipamentos

de tratamento implicam, na maioria das vezes, no aporte de energia elétrica ao sistema elevando a relação de consumo de energia por volume de água aproveitado.

Segundo estimativas realizadas por KIPERSTOK (2008), a relação de consumo de energia elétrica para o volume aproveitado em sistemas de pequeno porte que utilizem bomba para a elevação de água até um reservatório superior gira em torno de 0,05kWh/m³.

A relação entre a quantidade de água aproveitada, obtida pelo balanço hídrico do sistema, e a energia elétrica consumida para possibilitar a adequação quali-quantitativa de água e permitir seu transporte até o ponto de consumo, dada pelo índice líquido de consumo energético (ILE) permite que seja feita uma avaliação da eficiência do sistema. O conceito de balanço hídrico-energético pode ser aplicado durante a etapa de projeto para possibilitar a análise comparativa entre diferentes sistemas ou entre diversas possibilidades de implantação para um mesmo sistema de forma que se possa estimar à eficiência hídrico-energética possível.

De forma análoga à comparação de sistemas pela metodologia proposta, o conceito pode ser extrapolado e comparar um sistema alternativo de abastecimento parcial de utilização de água de chuva com os sistemas convencionais de abastecimento de água de modo a direcionar e fomentar políticas públicas de incentivo á esses sistemas quando conveniente.

Para os sistemas públicos de abastecimento, o índice líquido de consumo energético (ILE) varia de 0,33 kWh/m³ a 1,24 kWh/m³ (GONÇALVES *et al*, 2009). Comparando esse valor com o índice médio do sistema experimental do IPT, este se demonstra em desvantagem. No entanto, a presente aplicação sobre instalação experimental de aproveitamento mostra claramente os aspectos de maior importância para se avançar em preceitos de sustentabilidade na edificação, aqui, especificamente, aqueles que relacionam os recursos naturais água e energia.

7.2. ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Determina-se o período de retorno dos gastos com a implantação, ou seja, o período de retorno de investimento realizado. Para isso é preciso contabilizar os custos de implantação, incluindo material e mão de obra, e custos com despesas de operação e manutenção do sistema, incluindo, os custos de energia elétrica. Em contrapartida, contabliza-se o beneficio gerado pela economia de água potável.

A título de simplificação do cálculo do valor economizado e devida as complicações do contrato entre as companhias de água e energia com o IPT, adotou-se as taxas de cobrança residencial. A tarifa de água cobrada pela Sabesp para residência normal, com consumo acima de 50m³/mês, é de R$ 6,10 (seis reais e dez centavos) por m³. Além disso, a companhia cobra uma taxa de esgoto em função do volume de água consumido de R$ 6,10 (seis reais e dez centavos) por m³ também. Totalizando o custo por m³ de água economizada de R$ 12,20. A tarifa de energia cobrada pela Eletropaulo para uma residência norma, é de R$ 0,30/kWh.

O volume total de água economizada no mês de janeiro foi de 41,4m³, obtendo uma economia de R$ 466,73, incluindo as despesas com a energia. Já para o mês de maio, o volume de água economizada foi menor, de 10,2 m³, logo a economia também foi menor, de R$ 114,40.

Para o sistema em questão o custo de investimento total foi de R$ 17.500,00 aproximadamente, incluindo mão de obra, materiais e equipamentos. Deve-se acrescentar um custo de manutenção de R$ 200,00 por ano.

Os volumes de água economizados no decorrer de um ano sofrem variações decorrentes da sazonalidade de ocorrência de chuva, como pode ser visualizado na Figura .2, onde mostra a pluviometria média, no caso para o município de São Paulo. Sendo assim, admitiu-se o volume de água economizado do mês de janeiro para os meses de período mais chuvosos, dezembro, janeiro, fevereiro e março. O volume de água economizado do mês de maio foi adotado para os meses de abril, maio, junho, julho e agosto, ou seja, o período de seca. Os meses restantes, setembro, outubro e novembro, assumiram um valor médio dos volumes de água economizado dos meses de janeiro e maio. As economias relativas aos meses de janeiro e maio serão as mesmas para os meses correspondentes a cada uma, com exceção de setembro, outubro e

novembro, que teve uma economia de R$ 290,46, obtido pela média das economias dos meses de janeiro e maio. Da média ponderada das economias obtidas no ano, tem-se um ganho de R$ 275,82 por mês. Em um ano, o ganho chega a R$ 3.309,90. Sabendo disso, o período de retorno do investimento será de 5 anos e 6 meses.

O sistema em questão consome uma quantidade razoável de energia que pode prejudicar na viabilidade econômica do sistema, considerando isso, analisaram-se duas situações: primeiro, o sistema não necessite de bomba hidráulica e a desinfecção não consuma energia, e segundo, o sistema possui bomba hidráulica e a desinfecção também não consome energia. Para a primeira situação, o período de retorno do investimento, este que também sofreu diminuição devida a retirada dos equipamentos citados, reduziu para 3 anos e 7 meses. Para a segunda situação, o período de retorno foi de 3 anos e 8 meses. O uso da bomba hidráulica tem pouca influência na viabilização econômica, ao contrário do sistema de desinfecção por ozônio, que aumenta o período de retorno em mais de 1 ano.

Diante da insignificância do consumo de água de chuva em relação ao consumo total de água demandada pelo restaurante, esse período de retorno de investimento calculado pode ser considerado longo e não atrativo para o usuário. Trata-se de um investimento e custos de manutenção altos para um aproveitamento mínimo do sistema. No entanto, fica a critério do usuário da aplicação ou não do investimento considerando quais os fatores, ambientais ou financeiros, tem maior relevância para ele.

8. CONCLUSÕES E RECOMEDAÇÕES

Conclui-se do trabalho realizado, com relação ao modelo teórico de balanço hídrico-energético do sistema predial de aproveitamento de água de chuva o seguinte:

✓ O modelo poderá ser aplicado para concepções de sistemas prediais de aproveitamento de água de chuva constituídas de área de captação, filtro de material grosseiro, dispositivo de descarte de primeira chuva, reservatórios de armazenamento, sistema de desinfecção e bombas de hidráulicas para elevação da água. Sistemas de água de chuva que são compostos por itens a mais que os citados, o modelo não se aplica.

✓ As variáveis identificadas e integradas no modelo são: regime de dados pluviométricos, a área de captação, o coeficiente de *runoff* da cobertura de captação de água de chuva, o consumo de água para o fim previsto, a eficiência do componente de filtração, a altura pluviométrica de lavagem da superfície de captação, a capacidade total de reservação, e as perdas de água nos componentes do sistema.

✓ A aplicação do modelo é utilizada para usuários prediais (residências, condomínios e edificações, comerciais, industriais e públicos).

✓ Os resultados do modelo serão mais precisos quando se detêm de variáveis refinadas, principalmente dados de pluviometria e do perfil de consumo predial para usos não potáveis. No entanto, o mesmo também trabalha com fatores de segurança na falta de dados mais refinados. Esses resultados serão superdimensionados, dispendiosos e de menor eficiência.

✓ A utilização do balanço hídrico em conjunto com os índices volumétricos é uma ferramenta interessante para a quantificação do volume de água que realmente é aproveitado por

um sistema já que a concepção do sistema, a introdução de equipamentos e componentes ocasiona perdas de volume significativo de água durante o tratamento, transporte e efetivo uso.

✓ A composição de índice que relacione os gastos energéticos necessários ao funcionamento do sistema com a quantidade de água possível de se aproveitar permite a comparação entre as eficiências alcançáveis por concepções diversas de um mesmo sistema ou comparação de sistemas diferentes. Ressaltando a importância da concepção do sistema e escolha de soluções tecnológicas como um fator decisivo na eficiência hídrica-energética alcançada.

Frente a essas considerações e com base nos dados apresentados até aqui no presente trabalho, é possível depreender que o projeto e a escolha dos equipamentos do sistema de aproveitamento de água de chuva é um fator importante na eficiência hídrico-elétrica, não só pelo consumo absoluto de energia necessário ao funcionamento do sistema, mas também pelas perdas de água que podem ocorrer devido às características intrínsecas dos equipamentos ou do projeto.

Da aplicação do modelo teórico para o caso concreto do sistema de aproveitamento de água de chuva do IPT, pode-se concluir que:

✓ O dimensionamento do reservatório é um fator relevante para a otimização do sistema quanto ao aproveitamento efetivo de água de chuva.

✓ Os dados de eficiência de atendimento a demanda é um critério importante também no dimensionamento do reservatório.

✓ A participação do consumo energético eleva o tempo de retorno do investimento do sistema de aproveitamento de água de chuva.

✓ A incidência do sistema de desinfecção no indicador de conteúdo energético (kWh/m³) foi maior que a da bomba hidráulica.

✓ A bomba de elevação para a aplicação se mostrou insgnificante com relação a elevação do período de retorno do investimento.

✓ A escolha do tipo de sistema de desinfecção se demonstra relevante no período de retorno financeiro, tornando mais ou menos vantajoso a adoção do sistema de aproveitamento de água de chuva.

Diante do exposto, recomenda-se:

✓ Realizar um estudo mais aprofundado da aplicação do modelo para casos em que o projetista não detêm de dados mais refinados para o cálculo, de forma que os fatores de segurança sugeridos no trabalho sejam confiáveis.

✓ Empregar o modelo de estudo hídrico-energético desenvolvido neste trabalho para diversas concepções de sistemas de aproveitamento de água de chuva, reais ou teóricas, assim criar uma base de dados criteriosa relacionada a eficiência dos sistemas de água de chuva e conservação dos recursos hídrico e energéticos.

✓ Desenvolver estudos e aplicação com diversos tipos de sistemas de desinfecção correlacionando a qualidade necessária para os usos não potáveis previstos e o impacto financeiro causado.

Vislumbra-se que o adequado tratamento dos pontos críticos apontados no presente trabalho contribuam para a solução de problemas e para a elevação dos níveis de sustentabilidade associados ao uso da água em edificações prediais com rebatimentos que podem se tornar significativos na eficiência do manejo de recursos hídricos.

9. REFERÊNCIAS

ALVES, W.C., ZANELLA, L. et SANTOS, M.F.L. *Sistema de aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis*. São Paulo. Revista Techne, 133, abril de 2008, p. 99 a 104.

Agência Nacional das Águas (ANA). *Águas: fatos e tendências.* Brasília: ANA; CEBDS, 2006. 36p.

ANA, FIESP e SindusCon-SP. *Conservação e reuso de água em edificações.* São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005. 152p.

ANNECHINI, K.P.V. *Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Região Metropolitana de Vitória-ES*. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – CT – Universidade Federal do Espírito Santo) Vitória – ES, 2005. 155p.

BAZZARELLA, B. B. *Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações.* Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória. 2005.

BRASIL, CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.

BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos*, *2006*. Vol.1. Brasil, 2007.

CILENTO, F.C. *Soluções para o aproveitamento de água pluvial em edificações existentes por meio do desenvolvimento de reservatórios de descarte e armazenamento*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental do IPT) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2008.

DACACH, N. G. *Saneamento básico.* 3a. edição revisada. Rio de Janeiro: EDC-Ed. Didática e científica. 1990.

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

DILLAHA III, T. A., ZOLAN, W. J. *Rainwater catchment water quality in Micronesia*. Water Research. v. 19, n. 6, p. 741-746, 1985.

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.

GONÇALVES, R.F. (Org.). *Uso Racional da Água em Edificações.* Prosab-Finep Edital 4. Rio de Janeiro: Abes, 2006, 332 p.

GONÇALVES, R.F. (Org.). *Uso racional de água e energia: Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água*. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 354p.

GROUP RAINDROPS. Aproveitamento da Água da Chuva. In: KOBIYAMA, M.;USHIWATA, C.T.; AFONSO, M.A.. Editora Organic Trading – Curitiba/PR. 2002.

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

IDEC (2002) - *Consumo sustentável: Manual de educação.* Brasília: Consumers International/ MMA/IDEC.
Disponível em: http://www.idec.org.br/esp_ma_manualconsumo.asp. Acesso: 20 abril 2010.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. *Alternativas de aproveitamento de água de chuva visando a conservação de água e energia.* Relatório técnico interno, Centro Tecnológico do Ambiente Construído (CETAC), 2009. 123p.

KIPERSTOK A. (Org.) *Prata da casa: construindo produção limpa na Bahia.* Salvador: [s.n.]. 446 p. Rede de Tecnologias Limpas-Teclim/Universidade Federal da Bahia-UFBA, 2008.

MACÊDO, J.A.B. *Águas e Águas.* 3ª Ed. Belo horizonte- MG: CRQ-MG, 2007. 1048p.

MARCKA, E. *Planos regionais de combate ao desperdício de água – Documento Técnico de Apoio DTA A5 – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água*. PNCDA. (2004)

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

MELO, L.R.C. & ANDRADE NETO, C.O. *Um Amostrador Automático Simples para Captação de Água de Chuva em Seus Diferentes Estágios*. In: ANAIS DO 24º CONGRESSO BRASILEIRO DE EN- GENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, BELO HORIZONTE, 2007. Rio de Janeiro: Abes, 2007.

MONTENEGRO, M.H.F. & SILVA, R.T. *Economia de Água: quadro de necessidades e linhas de ação*. In: ANAIS DO SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ECONOMIA DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO. São Paulo, 28 a 30 de outubro de 1986. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), 1987. p. 7–26.

MDS - Ministério do Desenvolvimento Social (2006).
Disponível em: <http://www.mds.gov.br/ascom/revistas/cisternas/cisternas.htm> Acesso em abril, 2010.

OLIVEIRA, Y.V. *Uso do balanço hídrico seriado para o dimensionamento de estrutura de armazenamento de água das chuvas: estudos de casos.* Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina) Florianópolis - SC, 2004. 145p.

PETERS M.R. *Potencialidade de uso de Fontes Alternativas de Água para Fins Não Potáveis em uma Unidade Residencial.* Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Santa Catarina). Florianópolis – SC, 2006. 109p.

PORTO, E. R. *Captação e Aproveitamento de Água de Chuva na Produção dos Pequenos Produtores do Semi-árido Brasileiro: O Que Tem Sido Feito e como Ampliar sua Aplicação no Campo.* Centro de Pesquisa do Trópico Semi-Árido (CPATSA), 1999.
Disponível em: http://www.cpatsa.embrapa.br/catalogo/doc/agriculture/8 4 everaldo Rocha Porto.doc. Acesso em novembro de 2010.

PMSS (Programa de Modernização do Setor de Saneamento). *Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento: visão geral da prestação dos serviços de água e esgotos.* Ministério das Cidades: Brasília, 2003. 142p.

PROCEL ELETROBRAS. *Orientações Gerais para Conservação de Energia Elétrica em Prédios Públicos*. 1ª Ed. Rio de Janeiro, 2001. 53p.

PROCEL SANEAR. *Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica no Setor de Saneamento*. Disponível em: http://www.eletrobras.com/procel/site/areadeatuacao/saneamento>. Acesso: 15 abril, 2010.

RAINWATER HARVESTING AND UTILISATION. *An environmentally sound approach for sustainable urban water management-an introductory guide for decision-makers.* UNEP-DTIE-IETC/Sumida City Government/ People for Promoting Rainwater Utilization. Japan, 2002.

REBELLO, G. A. O. *Conservação da água em edificações: estudo das características de qualidade da água pluvial aproveitada em instalações prediais residenciais.* Dissertação de Mestrado (Tecnologia Ambiental – IPT) São Paulo - SP, 2004. 96p.

RODRIGUES, L. C. S. *Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória-ES*. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo) Vitória - ES, 2005. 89p.

SICKERMANN, J. M. *Gerenciamento das águas de chuva – Imprescindível para o futuro das grandes cidades do Brasil*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA. 4, 2003. Juazeiro.

SILVA, G. *Aproveitamento de água de chuva em um prédio industrial e numa escola pública: estudo de caso.* Dissertação de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia civil da Universidade Estadual de Campinas) Campinas – SP, 2008. 103p.

SILVA, R.T., CONEJO, J.G.L.; GONÇALVES, O.M. *Apresentação do Programa – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água*. PNCDA (1999).

TAMBO, N. Technology in the high entropy world. Water Science & Technology, v. 53, n. 9, p. 1. 2006.

TERPSTRA, P.M.J. *Sustainable water usage systems – Models for the sustainable utilization of*

domestic water in urban areas. Water Science & Technology, v. 39, n.5, p. 65–72, 1999.

TOMAZ P. Aproveitamento de Água de Chuva para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis. 2ª ed. Navegar Editora. São Paulo, 2003. 174p.

TSUTIYA, M. T. *Abastecimento de água.* 3ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006. 643p.

TSUTYIA, M. T. *Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água*. São Paulo: Abes, 2001. 185p.

UNESCO. *Water for People, Water for Life* - UN World Water Development Report (WWDR). Ed. UNESCO, Paris. ISBN: 92-3-103881-8, 2003. 35p.

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