

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Guilherme Pozzer Pedroni

**APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA EM UMA
ESCOLA PÚBLICA DE CAXIAS DO SUL**

Porto Alegre
julho 2013

GUILHERME POZZER PEDRONI

**APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA EM UMA
ESCOLA PÚBLICA DE CAXIAS DO SUL**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Juan Martín Bravo

Porto Alegre
julho 2013

GUILHERME POZZER PEDRONI

**APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA EM UMA
ESCOLA PÚBLICA DE CAXIAS DO SUL**

Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 02 de julho de 2013

Prof. Juan Martín Bravo
Dr. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Fernando Mainardi Fan (UFRGS)
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Rosane Barbosa Lopes Cavalcante (UFRGS)
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Rodrigo Cauduro Dias de Paiva (UFRGS)
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Inês Maria Pozzer Pedroni e João Carlos Pedroni, que sempre me apoiaram, investiram em mim e acreditaram no meu potencial.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Juan Martín Bravo, orientador deste trabalho, pela disponibilidade de tempo em esclarecer minhas dúvidas, e pelo conhecimento transmitido ao longo de todo período de elaboração deste trabalho.

Agradeço à Profa. Carin Maria Schmitt pelas sugestões das melhores formas de abordagem do assunto escolhido, de forma a transmitir a informação da maneira mais compreensível possível e também por todas as explicações técnicas de uma forma geral.

Ama-se mais o que se conquista com esforço.

Benjamin Disraeli

RESUMO

Este trabalho consiste na realização de um projeto de um sistema de aproveitamento de água da chuva para uma escola pública do município de Caxias do Sul, chamada Olga Maria Kayser. O projeto citado visa apenas atender as necessidades de água no que se refere à limpeza da escola e irrigação de uma futura horta, ainda por ser construída. O dimensionamento foi executado com base em diferentes garantias de atendimento à demanda, a fim de obter um comparativo entre as estimativas do tempo de retorno do investimento para cada uma das situações. Em um primeiro momento, buscou-se informações do local onde o sistema seria dimensionado, como as características da edificação (telhado) e o consumo de água utilizado nas atividades de irrigação e limpeza em períodos de tempo conhecidos. Posteriormente, verificou-se qual a intensidade de chuvas na região a partir do levantamento pluviométrico de uma estação próxima ao local. Dadas as características das chuvas locais e da demanda de água a ser atendida, adotaram-se alguns percentuais de atendimento à demanda que se julgou mais adequados (80%, 90% e 95%). Então se partiu para o dimensionamento propriamente dito. Através do Método da Simulação apresentado na NBR 15527/2007 – Água da Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis – Requisitos, e considerando perdas de captação de 15%, realizaram-se cálculos dos comprimentos e bitolas de tubulações, escolha de calhas, bem como tamanhos de reservatórios, para cada uma das possibilidades definidas previamente. Vale salientar que restrições impostas pelos insumos disponíveis no mercado, como a capacidade volumétrica de reservatórios que é limitada a alguns valores foram também levadas em consideração neste trabalho. Na parte final do trabalho, obteve-se o valor do custo total de implantação, ficando na faixa de R\$ 27.000,00 a R\$ 33.000,00, conforme a garantia de atendimento em questão. Também se encontrou o tempo de retorno do investimento, que foi aproximadamente o mesmo para as três diferentes garantias de atendimento à demanda adotadas, em torno de 6 anos.

Palavras-chave: Aproveitamento de Água da Chuva. Dimensionamento para uma Escola Pública. Tempo de Retorno do Investimento.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das etapas do trabalho	18
Figura 2 – Redução do consumo de água de uma escola após conserto de vazamento no ramal predial	23
Figura 3 – Consumo mundial dos recursos hídricos	24
Figura 4 – Analogia do volume de água do Planeta com o de um reservatório de 1.000 litros	25
Figura 5 – Distribuição dos recursos hídricos da superfície e da população – em % do total do Brasil	26
Figura 6 – Uso Doméstico da Água em Porto Alegre.....	31
Figura 7 – Funcionamento da coleta de água da chuva	34
Figura 8 – Indicação da fórmula da área conforme a geometria da área de contribuição	43
Figura 9 – Calha com saída em aresta viva	44
Figura 10 – Calha com saída do tipo funil	45
Figura 11 – Vista da rua da escola Olga Maria Kayser.....	47
Figura 12 – Vista aérea da escola Olga Maria Kayser.....	48
Figura 13 – Vista aérea da escola com definições dos prédios.....	51
Figura 14 – Vista do ginásio da escola (lado direito).....	52
Figura 15 – Média da chuva mensal em Caxias do Sul.....	53
Figura 16 – Gráfico da relação entre garantia de atendimento à demanda e volume do reservatório.....	55
Figura 17 – Subdivisão da área total de captação.....	56
Figura 18 – Diâmetros e posições das calhas escolhidas.....	59
Figura 19 – Distribuição dos condutos horizontais.....	60
Figura 20 – Sistema de captação através de uma vista em corte.....	61
Figura 21 – Filtro de água VF6 para telhados de até 1500m ²	62
Figura 22 – Caixa de instalação do filtro.....	62
Figura 23 – Separador das primeiras chuvas.....	63
Figura 24 – Bomba escolhida.....	66
Figura 25 – Vista superior do traçado da rede de abastecimento aos pontos de consumo.....	67
Figura 26 – Distribuições de custos entre os componentes do sistema em função do % de garantia de atendimento à demanda.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicação dos níveis de limpeza e as possibilidades de utilização da água conforme a área de coleta	37
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazão em L/min)	45
Tabela 2 – Coeficientes de rugosidade dos materiais	46
Tabela 3 – Vazão nos pontos de utilização em função do aparelho sanitário e da peça de utilização	46
Tabela 4 – Serviços de limpeza da escola.....	49
Tabela 5 – Consumo de água na limpeza da escola durante a semana.....	49
Tabela 6 – Consumo de água na irrigação da horta durante a semana.....	50
Tabela 7 – Demanda semanal de água no sistema.....	51
Tabela 8 – Valores das áreas de cada região de captação com as vazões de projeto.....	58
Tabela 9 – Perda de carga em conexões – comprimentos equivalentes.....	65
Tabela 10 – Vazão nos pontos de utilização com destaque para o tipo de peça de utilização existente no sistema de distribuição.....	68
Tabela 11 – Planilha de dimensionamento da rede de distribuição.....	69
Tabela 12 – Custos com materiais.....	71
Tabela 13 – Estimativa do custo total do sistema para s três garantias de atendimento à demanda.....	73
Tabela 14 – Estimativa do tempo de retorno do investimento.....	73

LISTA DE SÍMBOLOS

V – volume anual, mensal ou diário de água da chuva aproveitável (L)

P – precipitação média anual, mensal ou diária (mm)

A – área (m²)

C – coeficiente de escoamento superficial da cobertura

$\eta_{\text{fator de captação}}$ – eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e o desvio de escoamento inicial, caso este último seja utilizado

$S_{(t)}$ – volume de água no reservatório no tempo t

$S_{(t-1)}$ – volume de água no reservatório no tempo t-1

$Q_{(t)}$ – volume de chuva no tempo t

$D_{(t)}$ – consumo ou demanda no tempo t

Q – vazão de projeto (L/min)

I – intensidade pluviométrica (mm/h)

S – área da seção molhada (m²)

n – coeficiente de rugosidade

R_H – raio hidráulico (m)

i – declividade da calha (m/m)

K – 60000 – coeficiente de transformação em m³/s para L/min

A_t – garantia de atendimento à demanda (%)

f – total de dias com falhas (dias)

d – total de dias com demanda (dias)

A_c – área de contribuição (m²)

a – largura da água da cobertura (m)

h – altura da cobertura (m)

b – comprimento da cobertura (m)

d' – diâmetro (m)

Q_r – vazão de recalque (m^3/s)

X – tempo de funcionamento da bomba (horas)

H_m – altura manométrica (m)

H_g – desnível geométrico (m)

h_f – perda de carga (m)

J – perda de carga unitária (KPa/m)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DIRETRIZES DA PESQUISA	16
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	16
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA	16
2.2.1 Objetivo Principal	16
2.2.1 Objetivo Secundário	16
2.3 PRESSUPOSTOS	17
2.4 PREMISA	17
2.5 DELIMITAÇÕES	17
2.6 LIMITAÇÕES	17
2.7 DELINEAMENTO	18
2.7.1 Pesquisa Bibliográfica	19
2.7.2 Estudo de caso da escola	19
2.7.3 Dimensionamento do reservatório	20
2.7.4 Projeto das instalações hidráulicas	20
2.7.5 Cálculos de custos e indicadores econômicos	20
2.7.6 Considerações finais	20
3 CENÁRIO ATUAL DA ÁGUA	22
3.1 DISPONIBILIDADE DA ÁGUA NO MUNDO	22
3.2 MEDIDAS PREVENTIVAS	27
3.3 IMPORTÂNCIA DADA AO TEMA	27
4 SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	29
4.1 ORIGEM DO SISTEMA E A ADESÃO ATUALMENTE.....	29
4.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA	30
5 ETAPAS DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	33
5.1 COLETA	33
5.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO	35
5.3 ARMAZENAMENTO	37
5.4 DISTRIBUIÇÃO	39
6 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO	41
7 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA.....	47
7.1 DADOS DA ESCOLA.....	47

7.2 DADOS DE DEMANDA.....	48
7.3 ÁREA DE CAPTAÇÃO.....	51
7.4 CARACTERIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO.....	52
8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO.....	54
8.1 RESERVATÓRIO.....	54
8.2 CALHAS.....	56
8.3 CONDUTORES VERTICAIS.....	59
8.4 CONDUTORES HORIZONTAIS.....	60
8.5 FILTRO DE ÁGUA.....	61
8.6 SEPARADOR DAS ÁGUAS DAS PRIMEIRAS CHUVAS.....	63
8.7 BOMBA DE RECALQUE.....	64
9 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO.....	67
10 ANÁLISE DE CUSTOS.....	70
11 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	75
REFERÊNCIAS.....	77
APÊNDICE A.....	79
APÊNDICE B.....	81
APÊNDICE C.....	83

1 INTRODUÇÃO

Hoje em dia é visível o aumento do interesse mundial nas questões ambientais. Ainda que não se dê a valorização necessária aos recursos naturais, percebe-se um aumento da mesma, com os frequentes congressos e fóruns que colocam em pauta, entre outros assuntos, a sensível redução e possível extinção desses recursos. A partir da constatação do problema da redução dos referidos recursos e da percepção da necessidade de mudanças, deve-se buscar conhecimento para colaborar com esse propósito. Uma das alternativas de contribuir com a redução do consumo de água, um bem natural que muitas vezes já é e tende a ser ainda mais escasso, é o aproveitamento de água da chuva. Estima-se que no Brasil o preço da água aumente bastante nos próximos anos devido à crescente dificuldade de sua obtenção. Esse panorama futuro já é realidade em diversos países europeus que não foram dotados de um potencial de água doce tão abundante quanto o do Brasil. Porém, a médio e longo prazo, todos tendem a ter esse problema.

O aproveitamento de água da chuva consiste em utilizar superfícies expostas ao ar livre, como telhados e sacadas para realizar a coleta dessa água, que posteriormente será tratada, armazenada e distribuída aos pontos de utilização. Conforme o tipo de uso que se dá à água, pode-se ou não, utilizar essa água assim captada. Para os casos de torneiras de banheiro ou chuveiros, por exemplo, a água que abastece os mesmos requer um tratamento mais refinado do que esse realizado através do sistema de aproveitamento de água da chuva. Isto se deve ao fato das pessoas ingerirem essa água quando usam esses aparelhos. Geralmente a utilização da água da chuva se restringe ao atendimento das demandas por água não potável, como por exemplo:

- a) máquina de lavar roupas;
- b) lavagem de carros;
- c) limpeza das áreas de uso comum de um prédio;
- d) rega de jardim;
- e) descargas de vasos sanitários.

Considerando o exposto até aqui, o trabalho busca uma forma de aplicação de um sistema de aproveitamento de água da chuva na edificação de uma Escola já existente. Visualiza-se nessa

edificação uma oportunidade de tornar esse sistema viável, considerando que suas características reúnem uma série de aspectos importantes para a implantação de um sistema desse tipo, ou seja:

- a) trata-se de uma edificação com um bom nível de horizontalidade, ou seja, possui uma grande área de coleta em seu telhado;
- b) em função das elevadas demandas de água em atividades que não requerem água potável, que estão presentes na escola, a aplicação do sistema propiciará com que a água vinda do mesmo tenha uma grande aplicabilidade;
- c) em comparação com um prédio residencial, partindo do princípio que o percentual economizado incide sobre um montante bem maior, a economia é muito mais significativa;
- d) o fato de ser uma escola proporciona algo interessante, a aplicação do conhecimento adquirido, enquanto a uso racional da água, justamente em um local que é sede de transmissão de conhecimento para diversos alunos.

Desenvolveu-se este trabalho a partir do conhecimento de certos parâmetros como o consumo de água na escola e o levantamento de chuvas diárias no local. A quantidade de água consumida nas atividades nas quais se pretendia atender a demanda com a implantação do sistema de aproveitamento de água da chuva, foi obtida através de pesquisas realizadas junto às pessoas responsáveis pelo complexo escolar. Já o levantamento pluviométrico da região foi obtido através da consulta aos dados de uma estação pluviométrica posicionada próxima ao local da escola. A partir disso, se desenvolveu cálculos de dimensionamento para algumas garantias de atendimento à demanda pré-estabelecidas e por fim se comparou essas situações projetadas.

Além deste capítulo inicial que trata de introduzir o assunto, o trabalho traz no segundo capítulo, as diretrizes da pesquisa, no qual são abordados objetivos do trabalho, bem como restrições e pressupostos entre outros tópicos.

Já, no capítulo 3, trata-se do panorama que a situação da água se encontra hoje a fim de deixar clara a importância do tema e cuidados a serem tomados. No capítulo 4, apresenta-se características de um sistema de aproveitamento de água da chuva e um pouco da evolução do sistema ao longo do tempo. No capítulo 5, entra-se um pouco mais no universo de como funciona o sistema estudado, indicando suas etapas constituintes. No capítulo 6, trata-se mais da questão de cálculo, mostrando algumas fórmulas e tabelas necessárias para o dimensionamento.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: dadas diferentes garantias de atendimento à demanda de utilização no sistema de aproveitamento de água da chuva aplicado à escola pública Olga Maria Kayser, quais os respectivos tempos de retorno do investimento dessas situações?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é o cálculo dos períodos de retorno do investimento de um sistema de aproveitamento de água da chuva aplicado a uma escola pública de Caxias do Sul, com base em diferentes garantias de atendimento a demanda.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário do trabalho é a realização de um anteprojeto que contempla alternativas de sistemas de aproveitamento de água da chuva para a escola Olga Maria Kayser, variando-se a demanda atendida.

2.3 PRESSUPOSTOS

O trabalho tem por pressupostos os seguintes itens indicados a seguir:

- a) a série temporal de precipitações diárias observadas no local da estação pluviométrica adotada para realização dos cálculos é representativa do comportamento das chuvas no local da escola analisada;
- b) não existem erros na série pluviométrica analisada;
- c) o Método da Simulação, apresentado na NBR 15527/2007 – Água da Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis – Requisitos, é válido para os cálculos de dimensionamento realizados ao longo do trabalho.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa, que há a necessidade de garantir o uso racional da água, diante da crescente escassez desse recurso natural.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a realização de um dimensionamento de sistema de aproveitamento de água de chuva, bem como suas análises de variáveis, voltadas exclusivamente à Escola Olga Maria Kayser, localizada na cidade de Caxias do Sul no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

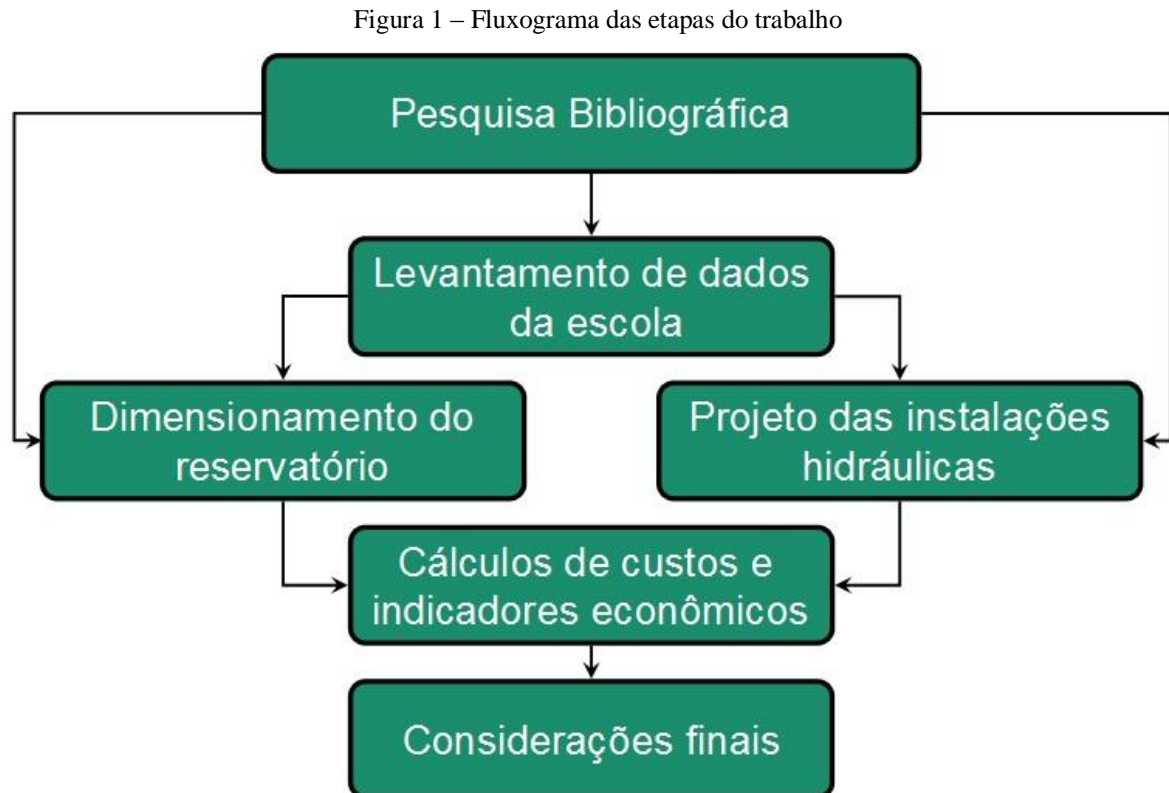
- a) a utilização de apenas um método (método da Simulação), para a realização dos cálculos de dimensionamento;
- b) a fixação dos valores de perdas de captação existentes, em 15%;
- c) a adoção de apenas uma única série de chuvas diárias na consideração do levantamento pluviométrico da região em análise, para a realização dos cálculos de dimensionamento;
- d) a adoção de um único material para os reservatórios trabalhados (fibra de vidro);
- e) preço do m³ da água fixado em R\$ 9,50 para a análise de custos do projeto;

- f) fixação do custo com mão de obra em 30% do custo que se tem com materiais para uma garantia de atendimento demanda de 90%;
- g) a intensidade das chuvas para cálculo da vazão de projeto fixada em 54,20mm/h.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas nas alíneas a seguir e representadas através de um fluxograma na figura 1:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) levantamento de dados da escola;
- c) dimensionamento do reservatório;
- d) projeto das instalações hidráulicas;
- e) cálculos de custos e indicadores econômicos;
- f) considerações finais.



(fonte: elaborado pelo autor)

Essas etapas do trabalho foram desenvolvidas em períodos de tempo específicos durante o tempo total de elaboração do trabalho, seguindo uma ordem cronológica.

2.7.1 Pesquisa Bibliográfica

Essa primeira fase do trabalho persistiu até a conclusão do mesmo. Ela serviu para a aquisição de conhecimento sobre o sistema de aproveitamento de água da chuva, num primeiro momento mais superficialmente, e após, num estudo mais aprofundado. Através da consulta a livros, artigos e trabalhos acadêmicos, buscou-se entender o funcionamento de um sistema de aproveitamento de águas pluviais. Nesse sentido, foram estudados os principais componentes do sistema, o método de dimensionamento, bem como as tecnologias disponíveis no mercado, possíveis de serem utilizadas.

2.7.2 Levantamento de dados da escola

Nessa etapa buscaram-se informações da escola para que se soubessem quais as características do meio no qual se estava trabalhando. Foram levantados também, dados da escola que se fizeram necessários para o posterior desenvolvimento do trabalho. Entre essas informações e dados estão:

- a) demanda por usos não potáveis da água;
- b) número de alunos da escola;
- c) despesa mensal da escola com água potável;
- d) área das superfícies de coleta;
- e) índice de chuvas no local da escola;
- f) local onde se teria espaço físico para a colocação de um reservatório sem interferência de eventuais instalações já existentes.

O trabalho se baseou em dimensionar sistemas de aproveitamento de água da chuva voltados a atender a demanda de algumas atividades específicas, como a rega de jardim e, principalmente, a limpeza da escola. Sendo assim, também foi necessário nessa fase de caracterização da escola estudada, informações do tipo:

- a) número de limpezas realizadas na escola num determinado período fixo (mês);

b) volume de água despendido em cada limpeza.

2.7.3 Dimensionamento do reservatório

Nessa etapa, a partir da demanda que o sistema atende exclusivamente com água de origem pluvial, foram estimadas as dimensões e por consequência as capacidades volumétricas dos reservatórios, associados a diferentes garantias de atendimento à demanda. Além disso, também foi analisado o material no qual o reservatório se constitui, bem como a melhor posição de colocação do reservatório dentro do complexo escolar.

2.7.4 Projeto das instalações hidráulicas

Esta etapa se desenvolveu em paralelo com a etapa de dimensionamento do reservatório. Nela foram desenvolvidos cálculos de tamanhos de bitola e comprimentos das instalações presentes no sistema, como tubulações, calhas, condutores verticais e horizontais, registros, entre outros. Nessa fase do trabalho, também calcularam-se as perdas ao longo do processo além de definir-se um método de tratamento da água coletada, mais adequado para a situação.

2.7.5 Cálculos de custos e indicadores econômicos

Nesse ponto de desenvolvimento do trabalho, está em foco a análise financeira de situações abordadas no trabalho. Foram indicados os tempos de retorno do investimento que se teve em cada uma das alternativas das garantias de atendimento à demanda tratadas ao longo do trabalho. Também foi feito o levantamento da economia anual que o sistema gera, bem como uma série de comparativos, entre eles, o de custos entre o valor gasto com água potável mensalmente antes de o sistema entrar em execução e o valor da conta de água após a implantação do sistema.

2.7.6 Considerações finais

Aqui foram abordadas as conclusões que se obteve com a realização do trabalho. A partir do que foi feito nas fases anteriores foram analisados se os objetivos propostos foram atingidos e

foram feitas análises e comentários de quais das diferentes alternativas de garantias de atendimento à demanda que seriam mais interessantes para o caso dessa escola. Também foram mencionadas eventuais dificuldades na implantação do sistema dimensionado que não haviam sido visualizadas no período anterior ao desenvolvimento do projeto.

3 CENÁRIO ATUAL DA ÁGUA

A água é de vital importância para os seres vivos. Ela se faz necessária nas mais variadas atividades do dia-a-dia, desde o preparo da comida, passando pela higiene pessoal, produção de equipamentos na indústria, até a rega de plantas. De acordo com a Lei n. 9.433 (BRASIL, 1997), no seu art. 1., tem-se as seguintes definições sobre a água:

- a) a água é um bem de domínio público;
- b) a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- c) em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- d) a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- e) a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- f) a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

3.1 DISPONIBILIDADE DA ÁGUA NO MUNDO

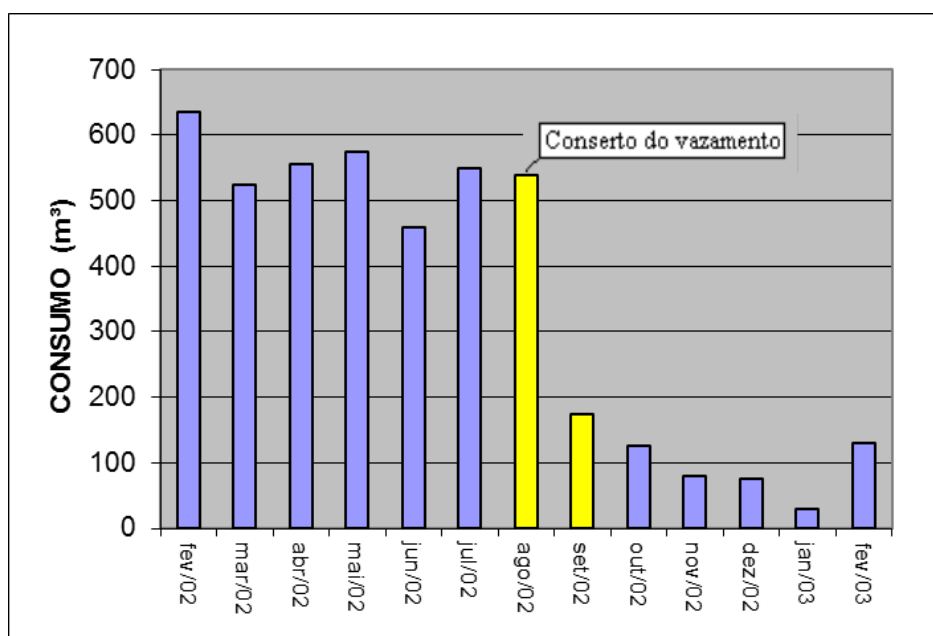
Hoje em dia nota-se uma redução da disponibilidade da água no mundo. O fato de que de uma forma geral, só se dá o devido valor a algo quando se corre o risco de perdê-lo contribui para essa redução. Isso porque como ainda se tem uma quantidade considerável de água disponível, o uso desse recurso natural vai muito além do que de fato é necessário para atender as necessidades dos usuários, ocorrendo assim, muitos desperdícios. Também contribui para essa escassez de água, o crescimento populacional, que em certas regiões é desenfreado, com taxas de natalidade muito elevadas. Esse aumento do número de habitantes acarreta em um sensível crescimento da demanda mundial de água. O referido crescimento populacional é ainda mais grave quando concentrado em poucas regiões e não de maneira distribuída. Buffon (2010, p. 24) salienta isso:

O processo de urbanização gera o aumento da concentração populacional, e que por consequência gera um rápido crescimento na demanda de água nas cidades tanto para usos domésticos quanto para fins industriais. Essa aglomeração populacional

impacta também sobre a qualidade dos mananciais de abastecimento, exigindo uma grande infraestrutura para o tratamento das águas poluídas.

Além disso, existem situações que devido à negligência ou à falta de atenção também acontecem perdas consideráveis de água. Atitudes simples como a fiscalização da conta de água regularmente podem contribuir para a percepção de alguns problemas mais rapidamente. Na figura 2, pode-se visualizar o consumo mensal de água de uma escola antes e depois do conserto de um vazamento de um ramal predial. Nessa figura, constata-se que o vazamento já estava presente a diversos meses, portanto, demorou bastante para se perceber a sua existência. Também nota-se, um grande volume de água desperdiçado dada a enorme diferença de consumo entre os meses de agosto e setembro.

Figura 2 – Redução do consumo de água de uma escola após conserto de vazamento no ramal predial



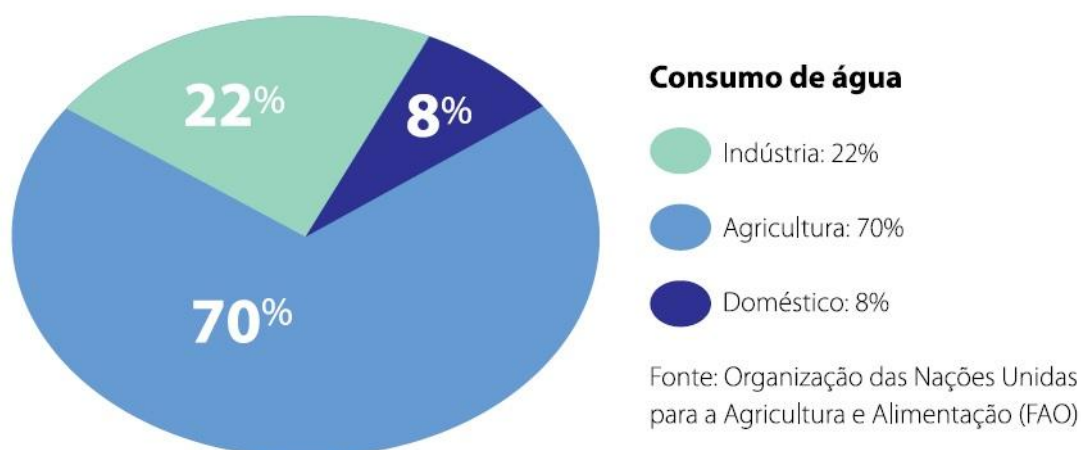
(fonte: adaptado de ARAUJO¹, 2004 apud PIO et al., 2005, p. 37)

Embora ocorra um grande consumo e desperdício de água pelo segmento doméstico, existem outros setores que apresentam consumos consideráveis de água. A maior parte da água doce do mundo é consumida na agricultura, que corresponde a 70% do total utilizado, em segundo lugar vem a indústria com 22% e depois o uso doméstico com 8% (figura 3) (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E

¹ A referência deste trabalho não foi disponibilizada pelo autor.

ALIMENTAÇÃO², [20--?] apud INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR, 2005).

Figura 3 – Consumo mundial dos recursos hídricos



(fonte: ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO³, [20--?] apud INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR, 2005)

Essa realidade preocupante da diminuição da água no Planeta adquire ares de dramaticidade quando se faz uma perspectiva futura. Tucci (2005, p. 22) faz um prognóstico de como estará essa situação daqui alguns anos:

Em nosso planeta, o total de água globalmente retirado de rios, aquíferos e outras fontes aumentou cerca de nove vezes, enquanto o uso por pessoa dobrou e a população está três vezes maior. Em 1950, as reservas mundiais representavam 16,8m³/pessoa; atualmente esta reserva reduziu-se para 7,3 mil m³/pessoa, e espera-se que venha a se reduzir para 4,8 mil m³/pessoa nos próximos 25 anos, como resultado do aumento da população, da industrialização, da agricultura e da contaminação.

Segundo a *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNITED NATIONS⁴, 2003 apud MANO, 2004, p. 26), “[...] 20% da população do planeta não tem

² O Autor indica que as informações são provenientes da ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A AGRICULTURA E ALIMENTAÇÃO, mas não indica maiores informações.

³ op. cit.

⁴ UNITED NATIONS. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. World Water Assessment Programme. **Water for People, Water for Life**. [S. l.]. 2003. The World Water Development Report. Executive Summary.

acesso à água potável para beber e 50% sofrem com problemas sanitários, sendo que as projeções para 2020 são de que dois terços da população sofrerão com a carência de água.”.

A enorme quantidade de água existente no Planeta, que é de conhecimento público, pode passar uma falsa ideia de que a fonte de água é algo quase inesgotável, porém faz-se necessário a citação das formas nas quais se encontra essa água na natureza. A quase totalidade dos três quartos do Planeta, que são compostos por água, é de água salgada, e por esse fato não entra no montante utilizado no abastecimento à população. No relatório *The Pollution of Lakes and Reservoirs*, da *United Nations Environment Programme* (UNITED NATIONS⁵, 1994 apud MANO, 2004, p. 25) detalha-se essas proporções das diferentes formas em que se pode encontrar água, “[...] mais de 97% da água do planeta é salgada e a maior parte restante está na forma de gelo polar ou se encontra em camadas profundas e inacessíveis, sendo que a quantidade de água potável que está acessível em lagos, rios ou represas, representa menos de 0,01% do total.”. Na figura 4 é feita uma comparação das proporções em que a água se apresenta na natureza, com outros volumes definidos, para facilitar o entendimento.

Figura 4 – Analogia do volume de água do Planeta com o de um reservatório de 1.000 litros



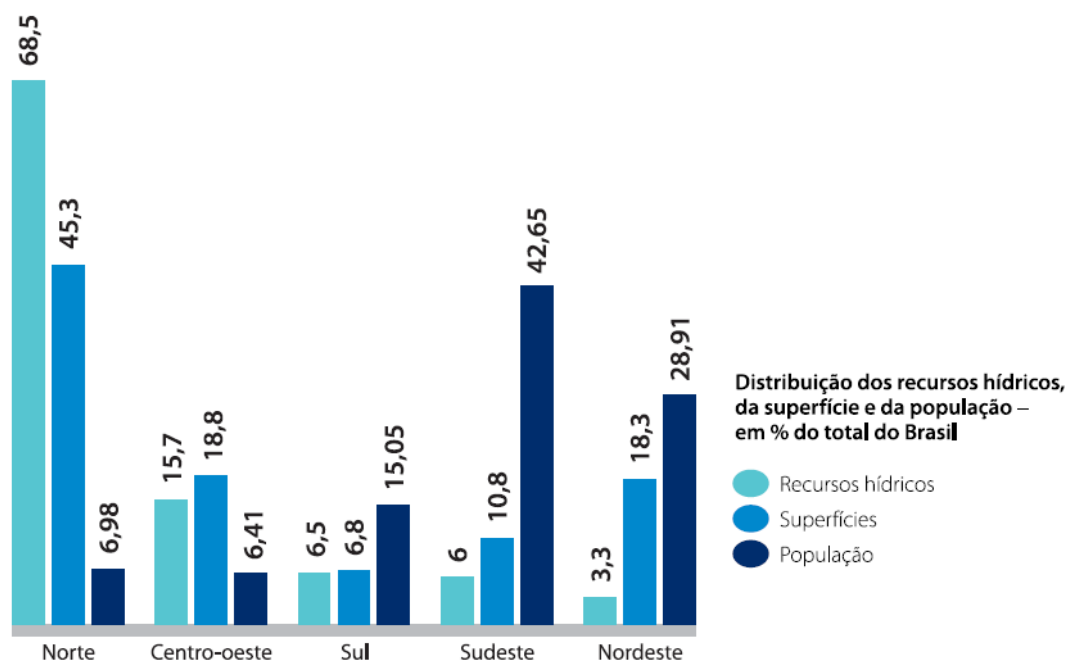
(fonte: MANO, 2004, p. 25)

⁵ UNITED NATIONS. United Nations Environment Programme. Internacional Lake Environment Committee. **The pollution of lakes and reservoirs**. [S. l.], 1994.

Outro complicador da disponibilidade de água para a população mundial consiste no fato de que as fontes de água, bacias hidrográficas, mananciais, estão distribuídas de maneira não uniforme. Isso expõe determinadas regiões a terem problemas de escassez com frequência e intensidade muito maior. Assim, “Existem várias regiões vulneráveis, onde cerca de 460 milhões de pessoas (aproximadamente 8% da população mundial) estão vulneráveis a falta frequente de água e cerca de 25% estão indo para o mesmo caminho.” (TUCCI, 2005, p. 22).

No Brasil, é bastante visível essa disparidade no que se refere à oferta de água que cada uma das cinco regiões possui. A região Norte, onde se concentra o rio Amazonas, é detentora de mais da metade das reservas de água doce que estão presentes no País. Por outro lado, a região Nordeste padece bastante com a escassez de água nos períodos de seca. O Instituto Brasileiro de Defesa do Consumidor (2005) aborda que na bacia Amazônica estão presentes aproximadamente 70% da água doce existente no Brasil, justamente em uma região pouco populosa, com apenas 5% da população total do território nacional (figura 5).

Figura 5 – Distribuição dos recursos hídricos da superfície e da população (em % do total do Brasil)



(fonte: INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR, 2005)

3.2 MEDIDAS PREVENTIVAS

Diante este futuro panorama apresentado, faz-se necessário identificar medidas para o combate a esse problema de escassez de água. Uma alternativa bastante utilizada tem sido a implementação de sistemas de reaproveitamento de água da chuva. No Nordeste, os governos tentam criar alternativas para combater o problema da falta de água na Região. Uma das mais simples, e já consagrada, que se não resolve ao menos ameniza as dificuldades de falta de água nesse local, é a construção de cisternas. Cisternas são grandes tanques que servem para armazenar a água da chuva e essa água vai sendo utilizada pela população ao longo dos períodos de estiagem.

O *Group Raindrops* (2002, p. 87) faz alguns alertas e indica certas atitudes de prevenção a serem tomadas:

É estimado que, no século XXI, aproximadamente 60% da população mundial viverá em áreas urbanas. Isto indica que as cidades precisam promover o aproveitamento e a infiltração da água da chuva para assegurar a autossuficiência na provisão de água. Um passo para o desenvolvimento sustentável das cidades é obter a independência das fontes e o restabelecimento e a conservação do ciclo regional da água.

Outra forma de colaborar com a conservação da água é através da criação de um Programa de Conservação da Água (PCA), “Um PCA implantado de forma sistêmica, implica em otimizar o consumo de água com a conseqüente redução do volume dos efluentes gerados [...]” (PIO et al., 2005, p. 21). Pio et al. (2005, p. 19) ainda define que:

A conservação da água pode ser definida como qualquer ação que:

- a) reduza a quantidade de água extraída em fontes de suprimento;
- b) reduza o consumo de água;
- c) reduza o desperdício de água;
- d) aumente a eficiência do uso de água; ou, ainda;
- e) aumente a reciclagem e o reuso de água.

3.3 IMPORTÂNCIA DADA AO TEMA

Nos mais variados ramos de trabalho, buscam-se maneiras de desempenhar suas atividades de forma que não agrida a natureza, através do desenvolvimento de novos produtos ou

tecnologias de construção, formas de reaproveitamento de materiais, entre outros. Dentre esses ramos, sem dúvida está inserida a indústria da construção civil. Dreher (2008, p. 17) trata dessa questão quando afirma:

Entre as várias abordagens e ações que visam uma construção mais sustentável, no que se trata de consumo de recursos, ressalta-se a preocupação de construir visando a redução do consumo de energia e de água. Construir com estas preocupações já é muito comum no EUA e Europa, desde 1970, quando surgiu o conceito de *Green Building*. No Brasil, a situação é diferente, estudos e medidas neste sentido são mais recentes.

Pode-se notar a atenção que os órgãos de governo têm dado às questões ambientais através do número de fóruns e debates tratando desse tópico, desde níveis regionais até proporções mundiais. Dentre essas questões ambientais, a água é tema recorrente, frequentemente havendo eventos específicos tratando da mesma. Gomes et al. (2010, p. 90) citam o aumento do interesse no que se refere ao dimensionamento de reservatórios de água da chuva, “Atualmente, tem-se despertado na comunidade técnica-científica o interesse em estudos e pesquisas para a definição de critérios de dimensionamento de reservatórios para a acumulação de água de chuva.”.

4 SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

4.1 ORIGEM DO SISTEMA E A ADESÃO ATUALMENTE

Embora as tecnologias tenham sido mudadas, novos equipamentos tenham surgido e processos de tratamento aprimorados, o sistema de aproveitamento de água da chuva não pode ser classificado como uma novidade. Smet e Moriarty⁶ (2001 apud MANO, 2004, p. 48) indicam surpreendentes registros de adesão a sistemas dessa natureza há muitos anos atrás:

Centenas de anos antes do nascimento de Cristo a coleta de água da chuva já era uma técnica comum em todo Mediterrâneo e Oriente Médio, sendo usada por exemplo, pelos egípcios, palestinos, iranianos, iraquianos, gregos e romanos. A água era coletada dos telhados e outras superfícies impermeáveis e armazenadas em tanques subterrâneos e reservatórios enterrados (cisternas), na forma de cúpulas de alvenaria.

Atualmente, na natureza, já não se tem mais a mesma quantidade de água com níveis de qualidade aceitáveis, do que outrora, por isso mais do que nunca é preciso a aderência de novos adeptos ao sistema de aproveitamento de águas pluviais. Sabe-se que “Hoje, a coleta e utilização de água da chuva é a única fonte de água em muitas localidades, principalmente rurais, sendo uma tecnologia muito aplicada em diversas partes do mundo.” (MANO, 2004, p. 48).

No Havaí existe a cultura de aproveitamento de água da chuva. Isto acontece devido à ocorrência de um elevado índice de chuvas, juntamente com a boa qualidade dessa água da chuva decorrente da pureza do ar da região. O *Group Raindrops* (2002, p. 140) trata da alta adesão do sistema de aproveitamento de águas pluviais pelos habitantes de uma ilha do Havaí:

Na Ilha de *Oahu*, a água da chuva também está sendo coletada e utilizada nas colinas onde não há abastecimento de água da cidade e a água subterrânea não está disponível nas regiões do lado oeste das montanhas onde a precipitação é escassa. Nessas regiões a água da chuva está sendo utilizada para o dia-a-dia, inclusive para beber; 110 casas individuais estão utilizando a água da chuva.

⁶ SMET, J.; MORIARTY, P. (Coord.). **Rooftop Rainwater Harvesting**. Delft: Internacional Water Sanitation Center, 2001. DGIS Policy Supporting Paper. Disponível em: <<http://www.irc.nl/pdf.php?file=pprainwater.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2003.

Já no que se refere à adesão do sistema a nível nacional, Mano (2004, p. 49) aborda:

No Brasil a água da chuva torna-se cada vez mais um recurso importante, principalmente na região do Semi-Árido. No sertão, a periódica falta de água vem sendo a muito tempo um assunto de crucial importância política, econômica, mas sobretudo pessoal para os brasileiros que sofrem com a falta d'água.

4.2 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

Além de contribuir com a preservação desse recurso natural, visualizam-se nesse sistema outros aspectos positivos, como por exemplo:

- a) oportunidade de autossuficiência em alguns aspectos;
- b) forma de colaborar com a rede pública no abastecimento a algumas localidades;
- c) representa economia de dinheiro.

A indicação apresentada, relativa à autossuficiência **em alguns aspectos** decorre do fato de que certas atividades ligadas a ingestão oral das pessoas, necessitam de água potável, mesmo que em determinadas localidades pela extrema necessidade de água, se use água de origem pluvial, inclusive para essas atividades. Segundo *Group Raindrops* (2002, p. 98):

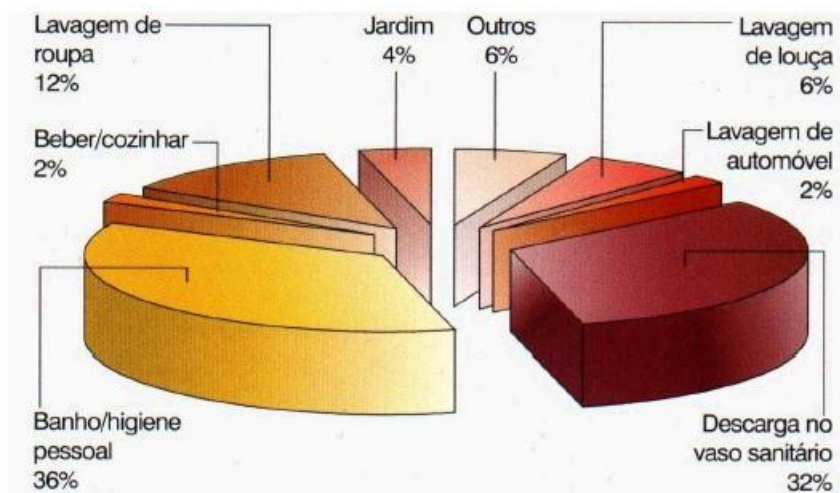
Pode-se obter água da chuva com uma qualidade relativamente alta se ela for coletada onde pessoas e animais não consigam se aproximar, e removendo o lixo e a poeira existentes. Dessa maneira pode-se utilizá-la como potável. De fato, a água chuva vem sendo utilizada como potável e no uso doméstico em geral nas áreas onde não há fontes naturais, poços ou sistemas de abastecimento de água. Também pode-se obter água de chuva relativamente limpa das paredes e superfícies de vidro. A água da chuva coletada em telhados, sacadas ou terraços, onde pessoas e animais podem se aproximar, não é tão limpa. No entanto, não há nenhum problema se a finalidade desta água for para descarga nos banheiros ou para regar plantas.

Mano (2004, p. 73), também tratando desta questão, indica, “Para alcançar a potabilidade, o sistema torna-se mais complexo, exigindo uma forma de filtragem mais rigorosa, que elimine contaminantes e elementos patogênicos, de forma a que se possibilite o uso em todos os pontos de consumo da edificação.”.

Para os casos em que não se tem por objetivo utilizar a água de origem pluvial para todas as atividades e sim somente para algumas, faz-se necessário saber qual a demanda de água associada. Na figura 6, visualiza-se a porcentagem de consumo de água para diversas

atividades de uso doméstico referente a cidade de Porto Alegre. Percebe-se com facilidade quais as atividades que consomem a maior parte da água em uma residência.

Figura 6 – Uso Doméstico da Água em Porto Alegre



(fonte: MENEGAT⁷ et al., 1998
apud MANO, 2004, p. 78)

Já em locais públicos, como escolas, que representam o estudo de caso desse trabalho, o consumo de água em cada atividade apresenta algumas diferenças. Edificações públicas, como escolas, universidades, hospitais, terminais de aeroportos, entre outros, o uso de ambientes sanitários é bastante significativo, variando de 35% a 50% do consumo total (PIO et al., 2005, p. 19).

Bohara⁸ (1999 apud MANO, 2004, p. 51) ressalta alguns aspectos positivos desse tipo de sistema:

- a) o mínimo esforço exigido para obter e manter a qualidade desta água para o uso;
- b) a independência dos sistemas de captação no nível doméstico;
- c) a simplicidade para construção e manutenção dos sistemas;

⁷ MENEGAT, R. (Coord.). **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: UFRGS; PMPA; INPE. 1998.

⁸ BOHARA, R. C. Rainwater Catchment in Nepal: an answer to the water scarcity problem of the next millennium. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA, 2.; CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA, 9. 1999, Petrolina. **Anais eletrônicos...** Petrolina: ABCMAC; EMBRAPA; IRPAA; Universidade Estadual da Bahia, 1999. Disponível em: <http://www.cpsa.embrapa.br/doc/strategy/1_7_Ramesh_Bohara.doc>. Acesso em: 7 mar. 2003. Não é possível mais o acesso ao *site*.

- d) os baixos níveis de impacto ambiental exigidos;
- e) a redução da erosão do solo e dos riscos de enchente pela interceptação da força das águas de chuva;
- f) o incremento dos lençóis pela redução na extração de água dos mesmos.

Já Silva (2012, p. 28) apresenta vantagens que fogem às convencionalmente abordadas, o autor apresenta benefícios que um sistema de aproveitamento da água da chuva causa na redução do consumo de energia elétrica da rede abastecedora:

Muitas zonas necessitam que bombas sejam utilizadas para a distribuição de água a toda população. Em virtude desse recalque necessário é demandado então um alto **consumo com energia elétrica** que pode ser reduzido com o emprego de sistemas de reservação de águas da chuva. Partindo da linha de pensamento que com a diminuição de demanda de água potável pela população a fonte provedora necessita fornecer menos água se conclui que ela opera menos e, portanto, gasta menos energia, podendo também atender o aumento da demanda sem a necessidade de ampliação do sistema.

5 ETAPAS DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Group Raindrops (2002, p. 92) faz um levantamento das etapas e técnicas que o sistema contempla:

A tecnologia que dá suporte para o aproveitamento da água da chuva é uma somatória das seguintes técnicas:

- a) coleta da água da chuva que cai do telhado, além de outros locais;
- b) armazenamento da água da chuva em tanques e reservatórios;
- c) tratamento e melhora da qualidade da água da chuva;
- d) abastecimento da água da chuva aos locais de seu uso;
- e) drenagem do excesso da água da chuva no caso de chuvas intensas;
- f) completar a falta de água da chuva com água de abastecimento em tempo seco;
- g) eliminação da água do início da chuva, quando esta estiver suja.

De forma resumida pode-se dividir as fases constituintes de um sistema de aproveitamento de água da chuva em quatro etapas:

- a) coleta;
- b) processos de tratamento;
- c) armazenamento;
- d) distribuição.

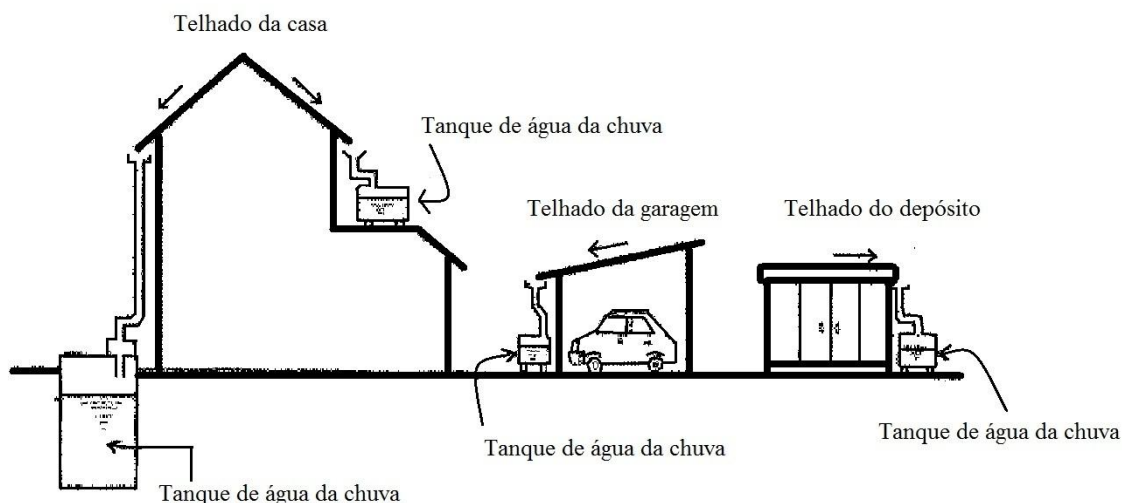
5.1 COLETA

Inicialmente acontece a coleta da água da chuva. Essa etapa consiste em, através de superfícies expostas ao ar livre, captar a água da chuva. O mais usual é a adoção de telhados como área de coleta (figura 7), porém há também outras maneiras. O *Group Raindrops* (2002, p. 94) aponta:

Nas casas, a coleta da água da chuva é feita normalmente dos telhados, qualquer que seja o tipo de sua estrutura; isto é fácil de pôr em prática. O que deveria ser feito é

coletar a água da chuva que passa na calha, sem drenar para a rede. Se na residência houver depósitos, despensas e garagens, pode-se coletar a água desses telhados, assim como da proteção das janelas, toldos e piso da sacada. O objetivo é assegurar a maior superfície de coleta de chuva [...].

Figura 7 – Funcionamento da coleta de água da chuva



A água da chuva pode ser coletada do telhado das casas, arcadas, armazéns, fábricas, etc.

(fonte: adaptado de GROUP RAINDROPS, 2002, p. 94)

As superfícies de coleta são constituídas dos mais variados materiais, porém existem materiais mais recomendáveis e menos ou não recomendáveis. Silva (2012, p. 36) cita alguns desses materiais:

Os telhados devem ser construídos de materiais que não liberem toxinas para água da chuva, assim como serem preferencialmente lisos, limpos e impermeáveis para contribuir para qualidade e o aumento da quantidade de água coletada. Alguns materiais como concreto e asfalto, seixo e piche conferem perdas à captação de 10% e 15% respectivamente, enquanto que as perdas são negligenciáveis no uso de metal.

A água da chuva incide sobre as superfícies de coleta e posteriormente escoar por gravidade até as calhas, “Nas calhas, ou tubos condutores da água até a cisterna se faz necessário a inclusão de barreiras à passagem de poluentes.” (MANO, 2004, p. 57). Silva (2012, p. 37) aprofunda essas recomendações para evitar a entrada de resíduos, não só grandes quanto pequenos também, no uso de calhas:

As calhas devem preferencialmente serem protegidas para que seja evitada a contaminação das águas da chuva por poluentes maiores. É recomendado, então, o

uso de telas para a proteção. Há também o risco de materiais menores entrarem no canal da calha e serem conduzidos para o reservatório, em vista disso é recomendada uma manutenção regular da área da cobertura.

Posteriormente ao trajeto nas calhas, a água segue para os condutores verticais, que encaminham a água para tanques ou reservatórios. Nesse trajeto entre calhas e reservatórios, em determinadas situações a água pode passar por filtros ou drenos (SILVA, 2012, p. 38).

5.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO

A segunda etapa após a coleta é o tratamento da água. Nessa fase se realiza a limpeza e se retiram sujeiras desde folhas secas até impurezas mais finas de mais difícil remoção. Mano (2004, p. 71) define o tratamento como um conjunto de escolhas, “O tratamento, a partir da água bruta da chuva, é determinado desde a escolha do material componente do telhado, passando pelas telas, as calhas e *first flush diverters*, até chegar nas cisternas, habilitando a água aos usos não potáveis.”. O *first flush diverters* mencionado, significa o descarte das primeiras chuvas.

Esse descarte das chuvas iniciais é algo relativamente simples, sendo assim, é uma amostra de que existem procedimentos que podem ser implantados sem muita complexidade e sem a adição de produtos químicos e que mesmo assim, tem significativa relevância na quantidade de impurezas retiradas da água, “A água da chuva que cai no início de uma tempestade se chama ‘chuva inicial’, e é bastante suja. Então, se a chuva inicial for eliminada e o resto da chuva for coletado pelo processo de sedimentação, sua qualidade pode aproximar-se da água encanada.” (GROUP RAINDROPS, 2002, p. 47).

Outra medida simples de ser tomada é a inserção de anteparos que barram as sujeiras. O *Group Raindrops* (2002, p. 104) cita:

Folhas, sujeiras ou areia que se depositam ao redor de um dreno no telhado ou em calhas, não chegam a poluir a água da chuva, mas sujam-na. Além disso, prejudicam o escoamento, que podem causar vazamentos indevidos. A limpeza frequente não é uma prática comum para telhados de casas ou parte superior dos prédios. Então, é necessário prevenir o entupimento com obstáculos, impedindo a entrada de sujeiras nas calhas.

Cuidados relativos a mistura da água que já passou por tratamento com a água ainda não tratada também são importantes. O *Group Raindrops* (2002, p. 136) menciona esses cuidados:

Deve-se tomar o cuidado para que um tubo de provisão de água da chuva nunca seja conectado diretamente a um tubo de provisão de água tratada. A conexão direta entre eles, conhecida como 'conexão em cruz', causa a contaminação da água tratada, pois a água da chuva pode fluir para os tubos da água tratada. São recomendadas medidas para prevenir a conexão em cruz, como a pintura dos tubos da água da chuva para sua fácil identificação.

O *Group Raindrops* (2002, p. 98) aborda o fato que a qualidade obtida ao final do processo, não é somente dependente do tratamento:

A qualidade da água da chuva é determinada pelo local de coleta. E o nível de qualidade exigido está relacionado com a finalidade de uso. Dessa maneira, o local de coleta deve ser limitado pela finalidade de uso, ou atingir o nível exigido de qualidade utilizando certos sistemas de tratamentos, como, por exemplo, a filtração.

Conforme mencionado anteriormente, a partir da escolha da área que servirá como coleta, é importante se estar atento aos materiais da composição dessas superfícies de coleta e também ao que aquela área está exposta no dia-a-dia (pessoas, animais, carros, produtos químicos), para que assim se possa ter uma ideia dos tipos e níveis de impurezas as quais as águas, por ali escoadas, estão expostas. Mano (2004, p. 56) faz alguns alertas nesse sentido:

A captação é, na maior parte das vezes, realizada nos telhados, mas pode ocorrer nas áreas pavimentadas dos terrenos. Porém, neste caso, o sistema deve possuir mecanismos que removam os sedimentos que contenham metais pesados, hidrocarbonos, e seus resíduos flutuantes. Dependendo do uso do terreno também é recomendado um separador de óleo.

O quadro 1 apresenta uma relação da área de captação com o nível de limpeza e os possíveis usos dessas águas.

Os processos de tratamento da água de origem pluvial, bem como mecanismos utilizados nesses processos são abordados por Silva (2012, p. 40):

Existem vários sistemas para o tratamento como usos de filtros, raios UV, reservatórios que funcionam como decantadores entre outros, cada qual com o seu nível de eficiência. Entretanto, para atender os fins não potáveis, a água da chuva deve passar por um filtro para a remoção dos materiais sólido em suspensão, sendo este o único processo necessário para atender esses usos.

Quadro 1 – Indicação dos níveis de limpeza e as possibilidades de utilização da água conforme a área de coleta

GRAU DE LIMPEZA	REGIÕES DE COLETA DA ÁGUA DA CHUVA	USOS DA ÁGUA DA CHUVA
A	Telhados (lugares não frequentados por pessoas nem por animais)	Lavar banheiros, regar as plantas, a água filtrada é potável.
B	Telhados (lugares frequentados por pessoas e animais)	Lavar banheiros, regar as plantas, não pode ser usada para beber.
C	Pisos e Estacionamentos	(Necessita tratamento)
D	Estradas, Vias Férreas Elevadas	(Necessita tratamento)

(fonte: adaptado de GROUP RAINDROPS, 2002, p. 99)

5.3 ARMAZENAMENTO

Depois de tratada a água segue para o armazenamento até que se inicie a distribuição aos pontos de consumo. O armazenamento consiste no acondicionamento da água em tanques de tamanhos variáveis conforme a demanda. Um cuidado que se deve ter quanto ao tamanho é alertado pelo *Group Raindrops* (2002, p. 113):

Um tanque com uma capacidade muito grande afeta adversamente a estrutura de moradia e possui um alto custo. Instalar o tanque de armazenamento debaixo do telhado ou no sótão pode ser adequado à maioria, com o simples propósito de colecionar e aproveitar a água da chuva. Porém, a estrutura da casa como vigas, colunas e fundação devem ser suficientemente sólidas e firmes.

Por vezes, constata-se a utilização de recipientes inadequados como reservatórios. É importante salientar que existem algumas restrições a serem respeitadas quanto à condição na qual o tanque adotado como reservatório se encontra. O *Group Raindrops* (2002, p. 110) aborda essas restrições:

Qualquer recipiente pode ser utilizado como um tanque para armazenamento de água da chuva, desde que cumpra as três condições:

- a) não há nenhum vazamento;
- b) é feito de um material que não contenha nenhum ingrediente que possa contaminar a água armazenada, e também não permite a entrada de luz para prevenir o desenvolvimento de algas;
- c) possui uma tampa para prevenir a evaporação e entrada de sujeiras; além disso, é projetado de uma forma que o seu interior possa ser limpo facilmente.

Ainda sobre essa questão sobre o material constituinte dos reservatórios, Mano (2004, p. 69) indica que, “Reservatórios para água da chuva, podem ser de qualquer material que retenha água e não seja tóxico. Caixas d’água de fabricação industrial, por exemplo, podem ser perfeitamente adaptadas para o uso com a água da chuva, sendo constituídas dos mais diversos materiais.”.

Mas os cuidados a serem tomados com o armazenamento vão muito além de somente o tanque propriamente dito. *The University of Warwick*⁹ (1999 apud MANO, 2004, p. 60-61) lista alguns aspectos importantes a serem considerados no momento da adoção de um reservatório:

- a) disponibilidade de espaço;
- b) tipos disponíveis localmente;
- c) tradições locais para armazenagem de água;
- d) custo de compra: reservatório novo;
- e) custo de material e mão de obra: construção do reservatório em obra;
- f) materiais e especialidade de mão de obra: disponíveis localmente;
- g) condições do solo.

Dentre as opções de armazenamento possíveis, pode-se ter um sistema composto por apenas um reservatório inferior, ou apenas por um reservatório superior, ou ainda composto de dois reservatórios, um inferior e outro superior. Mano (2004, p. 61) cita prós e contras de algumas dessas opções:

O reservatório elevado dispensa a utilização de bombeamento da água para o abastecimento da edificação. Porém exige uma estrutura para sustentação. Nos

⁹ THE UNIVERSITY OF WARWICK. Domestic Roofwater Harvesting Research Programme. Report A1: current technology for storing domestic Rainwater (part 1). Warwick, 1999. Disponível em <<http://www.eng.warwick.ac.uk/dtu/rhw/eudocs/al.pdf>>. Acesso em: 5 jul. 2003. Não é possível mais o acesso ao *site*.

reservatórios sobre o chão e sob o chão tal estrutura não é necessária, mas o abastecimento exige bombeamento ou acesso facilitado à água.

5.4 DISTRIBUIÇÃO

No fim desse processo está o abastecimento aos pontos de consumo. No momento em que o usuário usa a descarga do vaso sanitário, a água sai do tanque de armazenamento e através das tubulações do sistema, chega até o ponto de utilização, suprimindo as necessidades do usuário. O *Group Raindrops* (2002, p. 94), apresenta diversos tipos de pontos de consumo, variando conforme o que se busca com o sistema, “[...] a água da chuva é coletada em tanques de armazenamento e é utilizada para dar descarga nos banheiros, regar as plantas do quintal, lavar carros e limpar a casa.”.

Muitas vezes, para implantar um sistema de aproveitamento de águas pluviais que atenda à demanda de utilização 100% das vezes, ou próximo a isso, é preciso um tanque de armazenamento muito grande, o que torna o sistema inviável, não só economicamente quanto também ao espaço físico e às restrições de tamanhos de reservatórios fornecidos pelos fabricantes. Dessa forma se faz necessária, a construção de um reservatório menor, o que acarreta em um reservatório por vezes vazio, resultando em ocasiões nas quais para o atendimento à demanda total, se utiliza a água potável do abastecimento convencional e não a água de origem pluvial. Essa condição é apresentada pelo *Group Raindrops* (2002, p. 130) inclusive citando mecanismos para facilitar a funcionalidade do sistema na situação em questão:

Quando a água da chuva é usada para descarga, se faltar água no tanque de armazenamento os banheiros tornam-se inutilizáveis. É necessário completar o tanque de água da chuva com água encanada e assegurar uma certa quantidade no tanque de armazenamento quando não houver chuvas. São projetadas amplas instalações de aproveitamento de água da chuva que possuam dispositivos automáticos de complementação com água encanada, através de uma barra flutuante ou barra de eletrodo que reage para abrir a válvula do tubo de água de complementação quando o nível do tanque baixa até certo ponto. A água do tanque também pode ser completada simplesmente abrindo-se a válvula manual quando necessário.

A parceria entre o abastecimento por água de origem pluvial e potável da rede pública é abordada por Mano (2004, p. 55):

É importante ressaltar, que o sistema de captação de água da chuva pode atuar complementarmente ao sistema de abastecimento convencional da rede, ou cobrir o total da demanda, para qualquer abrangência de uso de água. Sua utilização como única fonte de água acontece principalmente em regiões áridas e semiáridas, em países pobres e localidades com dificuldades para redes de abastecimento.

6 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

O Anexo A da NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007) apresenta seis métodos diferentes, os quais podem ser utilizados para realização de cálculos de dimensionamento de reservatórios. São os métodos:

- a) de Rippl;
- b) da Simulação;
- c) de Azevedo Neto;
- d) prático alemão;
- e) prático inglês;
- f) prático australiano.

Neste trabalho se aplicou o método da Simulação.

O volume de água possível de ser utilizado a partir da coleta de um sistema de aproveitamento de águas pluviais depende, entre outros fatores, das características da superfície de coleta, como a área e o tipo de material, aliado as características pluviométricas da região. Sendo assim, a NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 3) define esse volume através da fórmula:

$$V = P \times A \times C \times \eta_{\text{fator de captação}} \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

V = volume anual, mensal ou diário de água da chuva aproveitável;

P = precipitação média anual, mensal ou diária;

A = área de coleta;

C = coeficiente de escoamento superficial da cobertura;

$\eta_{\text{fator de captação}}$ = eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e o desvio de escoamento inicial, caso este último seja utilizado.

A precipitação média indicada na fórmula 1 é obtida através de dados coletados em estações pluviométricas. Silva (2012, p. 27) indica de que forma se adquire os dados pluviométricos:

Dentre os vários intervenientes do sistema, está a precipitação, que pode ser medida através do uso de um pluviômetro, aparelho este que tem por finalidade registrar os valores precipitados em um ponto ao longo de intervalos de leitura sucessivos, tipicamente espaçados em um dia. Com os dados recolhidos pelo pluviômetro é possível obter uma série histórica de chuvas e, então, realizar análises e previsões sobre o seu comportamento.

É importante salientar que o volume definido na fórmula 1, é o volume de água aproveitável médio que o sistema consegue captar num determinado período de tempo (dia, mês, ano) e não o volume de água presente no reservatório. Para definir-se qual o volume de água no reservatório leva-se em consideração, juntamente com esse volume referido na fórmula 1, a demanda de utilização dos usuários do sistema.

Sendo assim, para o método da Simulação, de acordo com a NBR 15527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 6), o volume de água presente no reservatório pode ser calculado com a seguinte fórmula:

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

$S_{(t)}$ = volume de água no reservatório no tempo t;

$S_{(t-1)}$ = volume de água no reservatório no tempo t-1;

$Q_{(t)}$ = volume de chuva no tempo t;

$D_{(t)}$ = consumo ou demanda no tempo t.

Mas, antes da água chegar ao reservatório, ela passa pelas calhas, condutores verticais e horizontais. Dessa maneira, faz-se necessário a realização do dimensionamento da rede de águas pluviais. Para a escolha adequada das dimensões dessas tubulações, é preciso tomar conhecimento da vazão de água no sistema. A NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3) estabelece:

$$Q = (I \times A)/60 \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

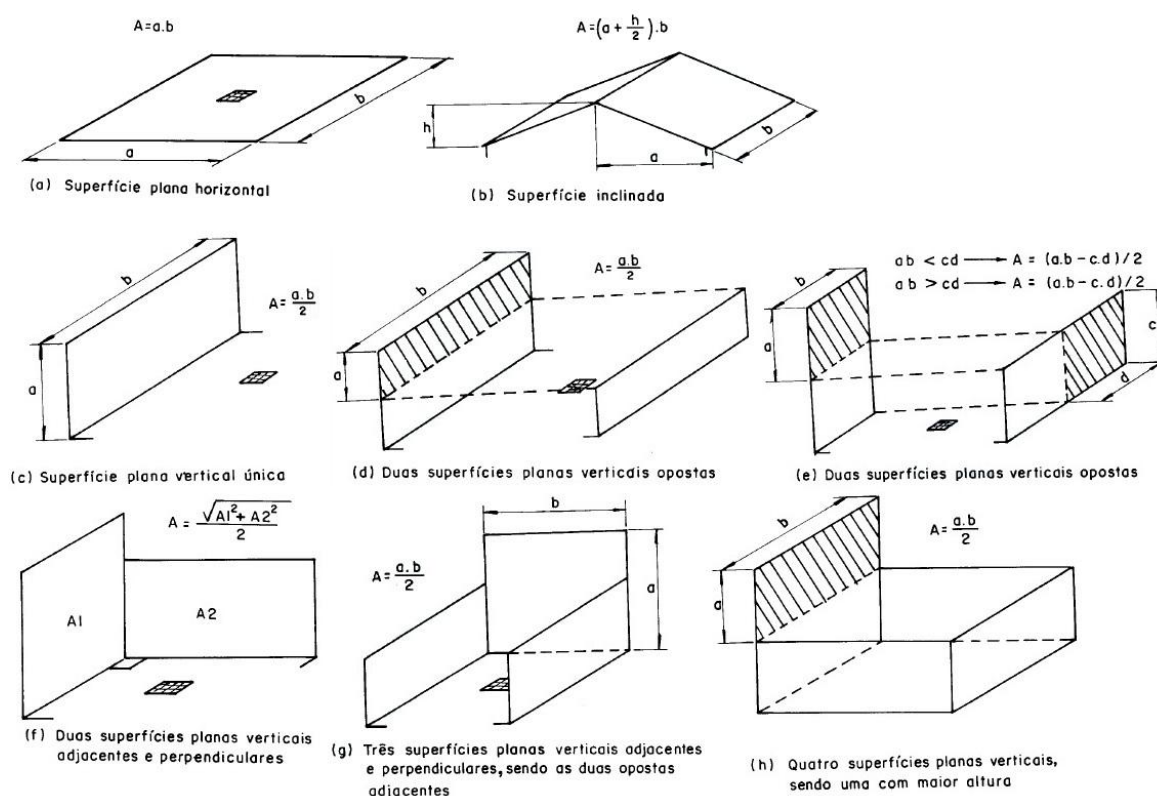
Q = vazão de projeto (L/min);

I = intensidade pluviométrica (mm/h);

A = área de contribuição (m^2).

A área, uma das variáveis indicadas na fórmula 3s é obtida com base nas características da superfície de coleta, existindo diferentes fórmulas para a obtenção da área conforme a geometria do local de captação (figura 8).

Figura 8 – Indicações para cálculos da área de contribuição



(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 5)

A NBR 10844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6) ainda indica:

$$Q = K \times (S/n) \times R_H^{2/3} \times i^{1/2} \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde:

Q = Vazão de projeto (L/min);

S = área da seção molhada (m²);

n = coeficiente de rugosidade;

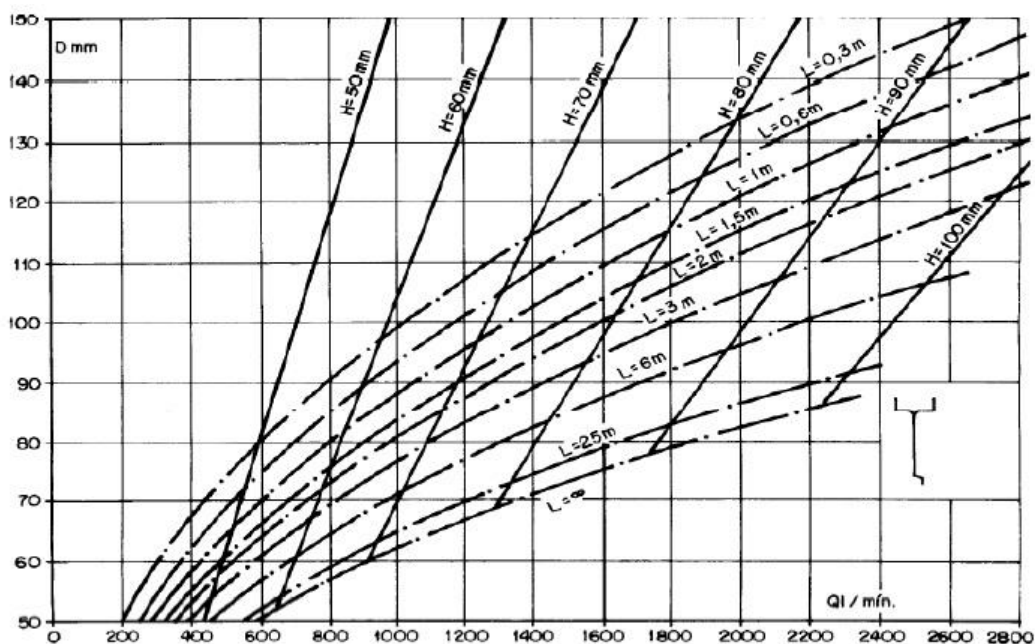
R_H = raio hidráulico (m);

i = declividade da calha (m/m);

K = coeficiente de Strickler fixado em 60000 (m^{1/3}/s).

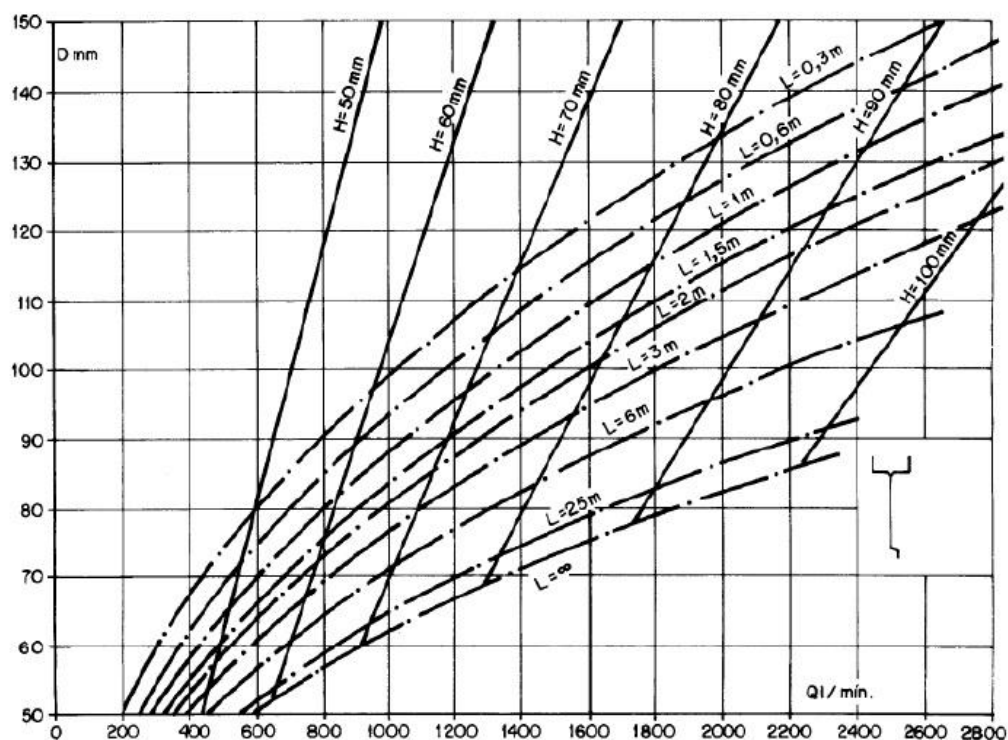
Posteriormente à água ter escoado pela calha, ela passa pelo condutor vertical, o qual suas dimensões dependem do tipo de calha que se faz presente. Pode ser calha com saída do tipo aresta viva (figura 9), ou calha com saída do tipo funil (figura 10). Por este motivo existem dois ábacos que relacionam a vazão que um condutor vertical escoar com a altura da lâmina d'água na calha e com o comprimento e diâmetro do condutor vertical, um desses ábacos é caso se esteja lidando com calhas do tipo aresta viva e o outro é caso a calha seja do tipo funil.

Figura 9 – Ábaco para determinação de diâmetros de condutores verticais a partir de calha com saída em aresta viva



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 8)

Figura 10 – Ábaco para determinação de diâmetros de condutores verticais a partir de calha com saída do tipo funil



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 8)

Já para os condutores horizontais, existe na tabela 1 a relação entre a vazão que os mesmos devem escoar, com o diâmetro e o coeficiente de rugosidade da tubulação. Os coeficientes de rugosidades dependem do material no qual o condutor ou a calha é constituído (tabela 2).

Tabela 1 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular
(vazões em L/min)

Diâmetro interno (mm)	n = 0,011				n = 0,012				n = 0,012			
	0,50%	1%	2%	4%	0,50%	1%	2%	4%	0,50%	1%	2%	4%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
125	370	521	735	1040	339	478	674	956	313	441	622	882
150	602	847	1190	1690	552	777	1100	1550	509	717	1010	1430
200	1300	1820	2570	3650	1190	1670	2360	3350	1100	1540	2180	3040
250	2350	3310	4660	6620	2150	3030	4280	6070	1990	2800	3950	5600
300	3820	5380	7590	10800	3500	4930	6960	9870	3230	4550	6420	9110

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 9)

Tabela 2 – Coeficientes de rugosidade

Material	Coefficiente de rugosidade (n)
Plástico, Fibrocimento, Aço, Metais não ferrosos	0,011
Ferro fundido, Concreto alisado, Alvenaria revestida	0,012
Cerâmica, Concreto não alisado	0,013
Alvenaria de tijolos não revestida	0,015

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6)

A última etapa de um sistema de aproveitamento de águas pluviais é o abastecimento aos pontos de consumo. Para tanto, se faz necessário a consulta à NBR 5626 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998) que estabelece vazões de projeto para seus respectivos pontos de abastecimento (tabela 3).

Tabela 3 – Vazão nos pontos de utilização em função do aparelho sanitário e da peça de utilização

aparelho sanitário		peça de utilização	vazão de projeto L/s
bacia sanitária		caixa de descarga	0,15
		válvula de descarga	1,70
banheira		misturador (água fria)	0,30
bebedouro		registro de pressão	0,10
bidê		misturador (água fria)	0,10
chuveiro ou ducha		misturador (água fria)	0,20
chuveiro elétrico		registro de pressão	0,10
lavadora de pratos ou de roupas		registro de pressão	0,30
lavatório		torneira ou misturador (água fria)	0,15
mictório cerâmico	com sifão integrado	válvula de descarga	0,50
	sem sifão integrado	caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15
mictório tipo calha		caixa de descarga ou registro de pressão	0,15 por metro de calha
pia		torneira ou misturador (água fria)	0,25
		torneira elétrica	0,10
tanque		torneira	0,25
torneira de jardim ou lavagem em geral		torneira	0,20

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 13)

7 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA

O presente trabalho consiste em realizar um projeto de aproveitamento de água da chuva para a Escola Olga Maria Kayser, com sede em Caxias do Sul no bairro Kayser. A vista da escola a partir da rua é apresentada na figura 11.

Figura 11 – Vista da rua da escola Olga Maria Kayser



(fonte: GOOGLE MAPS, 2012)

7.1 DADOS DA ESCOLA

A escola abordada ao longo do trabalho, é uma escola de ensino médio e ensino fundamental com atividades nos turnos da manhã, tarde e noite com aproximadamente 1000 alunos e 50 professores.

A vista aérea, com a delimitação na cor vermelha, do terreno onde o complexo escolar se encontra, pode ser vista na figura 12.

Figura 12 – Vista aérea da escola Olga Maria Kayser



(fonte: adaptado de GOOGLE MAPS, 2012)

Como pode-se visualizar na figura 12, a escola possui uma grande área para captação de água da chuva. Isto se deve ao alto grau de horizontalidade da edificação. A edificação se desenvolve praticamente em um único pavimento ao longo de sua extensão.

7.2 DADOS DE DEMANDA

Os destinos das águas pluviais captadas no sistema de aproveitamento de água da chuva são para fins de limpeza da escola, e para a irrigação de uma futura horta com hortaliças utilizadas nas refeições dos alunos.

Para se realizar a estimativa da quantidade de água demandada nas atividades de limpeza da escola, foi consultado o funcionário responsável pela execução desses serviços. Através dessa consulta obteve-se a frequência de realização dos serviços de limpeza na escola, bem como o volume de água gasto em cada uma das vezes. Esse volume, para as diversas salas da escola é sempre múltiplo de 15L. Isso acontece devido ao fato de o critério adotado na consulta ao funcionário ter sido o número de baldes utilizados (15L cada um) para a limpeza de cada uma das diversas peças da escola. A relação desses dados se encontra na tabela 4.

O volume de água gasto na limpeza dos diversos locais da escola, distribuídos nos dias da semana está apresentado na tabela 5.

Tabela 4 – Serviços de limpeza da escola

Peças/Objetos	Quantidade (unid.)	Volume de água gasto por limpeza (L)	Frequência de limpeza
Banheiros	10	30	2 vezes por dia
Salas de aula (Piso e Classes)	13	60	1 vez por semana
Refeitório	1	30	diário
Cozinha	1	45	diário
Secretaria	1	30	1 vez por semana
Sala dos Professores	1	30	1 vez por semana
Sala da Direção	1	30	1 vez por semana
Biblioteca	1	30	1 vez por semana
Sala da Coordenação	1	30	1 vez por semana
Sala do SOE	1	30	1 vez por semana
Sala de Informática	1	30	1 vez por semana
Sala da Classe Especial	1	30	1 vez por semana
Corredores	-	75	1 vez por semana

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 5 – Consumo de água na limpeza da escola durante a semana

Dia	Volume de água (L)
Segunda-feira	975
Terça-feira	975
Quarta-feira	930
Quinta-feira	795
Sexta-feira	795
Sábado	0
Domingo	0

(fonte: elaborada pelo autor)

Já para saber a quantidade de água utilizada na irrigação da horta, como a horta ainda não está pronta, e por enquanto trata-se apenas de uma intenção do diretor escolar, as pessoas responsáveis pelo colégio não sabiam transmitir esse tipo de informação. Sendo assim, realizaram-se diversas pesquisas para se pudesse estabelecer um volume de água adequado para a irrigação da horta. A água empregada na irrigação da alface pode ser de em torno 7L/m² por dia (SIMÃO, 2013, p. 122). Puderam ser constatadas variações bastante grandes no que se referem aos volumes de água na irrigação, dependendo do tipo de hortaliças em questão e principalmente devido à forma na qual essa água é fornecida à horta. Conforme o método de irrigação pode-se reduzir consideravelmente a água gasta.

Para o caso estudado, como a horta não está sendo projetada para utilização de algum método de irrigação e sim apenas para uma rega manual, o volume de água demandado na irrigação acaba sendo um pouco maior. Então, através da consulta de um especialista em irrigação de um estabelecimento comercial definiu-se que o recomendável seria uma irrigação de 30L/m², com uma frequência de dias alternados de segunda-feira a sexta-feira e sendo nula nos finais de semana. Isso porque, nos sábados e domingos existem limitações no que se refere à disponibilidade de funcionários para tomar conta da irrigação.

É importante destacar que a horta em questão, é considerada como coberta, ou seja, o volume de água oriundo da chuva incidente diretamente no local da horta não é considerado.

A área da horta do projeto é de 100m². Vale salientar que não existiam muitas possibilidades de área para implementação de uma horta no terreno. Isso porque a maior parte da área do terreno encontra-se com algum tipo de pavimentação ou calçamento. Sendo assim, uma das poucas regiões com grama, em meio à pavimentação predominante, possuía aproximadamente 100m², sendo essa a razão do tamanho escolhido para horta. A tabela 6 indica o volume de água demandado na irrigação ao longo da semana.

Tabela 6 – Consumo de água na irrigação da horta durante a semana

Dia	Irrigação	Volume de água (L)
Segunda-feira	X	3000
Terça-feira		
Quarta-feira	X	3000
Quinta-feira		
Sexta-feira	X	3000
Sábado		
Domingo		

(fonte: elaborada pelo autor)

Sendo assim, num período de uma semana a demanda total diária de água para as atividades abrangidas pelo sistema está representada na tabela 7.

Tabela 7 – Demanda semanal de água no sistema

Dia	Volume de água (L)
Segunda-feira	3975
Terça-feira	975
Quarta-feira	3930
Quinta-feira	795
Sexta-feira	3795
Sábado	0
Domingo	0

(fonte: elaborada pelo autor)

7.3 ÁREA DE CAPTAÇÃO

Foi adotada para captação a área do telhado do ginásio da escola representado em amarelo na figura 13. A edificação correspondente ao ginásio tem uma área construída de 1008,32m², e pode ser visualizada na figura 14. Escolheu-se o ginásio como a edificação responsável pela captação da água da chuva, pois além do mesmo possuir uma área de captação suficiente para atender as necessidades do sistema, também fica próximo ao local onde seria mais conveniente de se posicionar os reservatórios. A posição dos reservatórios foi adotada de forma que não roubasse espaço de locais importantes da escola, como a quadra de esportes dos alunos por exemplo. Dessa forma, os reservatórios ficaram posicionados ocupando uma pequena parte do estacionamento, que fica logo ao lado do ginásio.

Figura 13 – Vista aérea da escola com definições dos prédios



(fonte: adaptado de GOOGLE MAPS, 2012)

Figura 14 – Vista do ginásio da escola (lado direito)



(fonte: foto do autor)

7.4 CARACTERIZAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO

A fase do trabalho que sucedeu a reunião de dados de demanda de água da escola, foi a realização do levantamento dos dados de precipitação existentes na região onde se localiza a escola em questão.

Através do site da Agência Nacional das Águas¹⁰, puderam-se visualizar dados de estações pluviométricas de Caxias do Sul. Dentre as estações presentes na cidade, a partir da latitude e longitude da escola Olga Maria Kayser, escolheu-se a estação pluviométrica com coordenadas geográficas mais próximas às da escola. A estação pluviométrica escolhida fica bastante próxima da escola (aproximadamente 1,8Km), e os totais precipitados são representativos do local em análise. A latitude e longitude dessa estação estão indicadas abaixo:

a) latitude: -29° 11' 30";

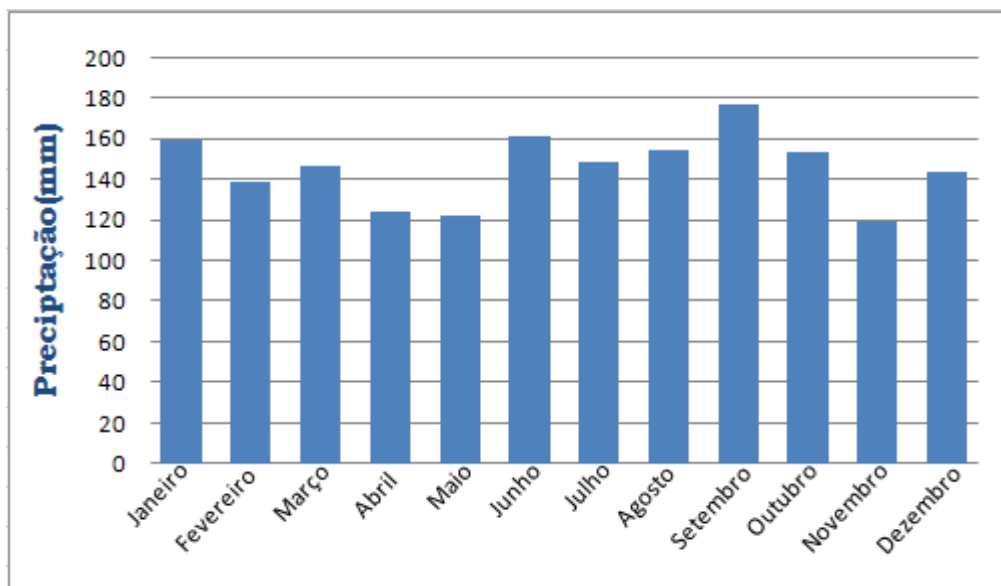
¹⁰ Acessar o site <<http://hidroweb.gov.br>>. Posteriormente acessar o link “Mapas”, e em seguida “Brasil”. Então ficarão disponíveis algumas ferramentas que possibilitarão a visualização dos dados da estação pluviométrica a partir das coordenadas de latitude e longitude.

b) longitude: $-51^{\circ} 11' 09''$.

Devido ao fato da série de chuvas diárias presente nos dados da estação pluviométrica escolhida ser bastante extensa, o que proporciona uma boa precisão dos resultados, deu-se como suficiente a adoção de apenas uma série de chuvas diárias para realização do trabalho. Esse posto pluviométrico se encontra próximo do local de estudo, e em consequência, as informações fornecidas são representativas do comportamento da precipitação. Os restantes postos pluviométricos que se encontravam mais distantes do local de estudo ainda apresentaram série de dados curtas e com muitas falhas e por isso também não foram considerados. Trata-se de uma série com 87 anos de dados, se estendendo de janeiro/1912 à dezembro/1998, porém existindo muitos dias com dados ausentes também. Somando todos os dias com dados ausentes, se totaliza aproximadamente 25 anos de falta de dados. Sendo assim, todo estudo desenvolvido foi com base nos dias restantes, ou seja, 22640 dias.

As médias das chuvas mensais ao longo do período da série analisada estão representadas na figura 15.

Figura 15 – Média da chuva mensal em Caxias do Sul



(fonte: elaborado pelo autor)

8 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE CAPTAÇÃO

Este capítulo trata das características dos componentes do sistema, incluindo desde as tubulações de condução da água captada, passando pelos equipamentos de tratamento e descarte, até o reservatório final. São abordados critérios e normas que foram levados em consideração no dimensionamento desses componentes.

8.1 RESERVATÓRIO

De posse dos dados da demanda de água gasta e dos dados de precipitação diária do local, partiu-se para o dimensionamento do reservatório, através do método da Simulação exposto na NBR 15527: Água da Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins não Potáveis – Requisitos.

O dimensionamento do reservatório foi realizado através de uma planilha de *excel*. Nesse processo, as perdas de captação foram fixadas em 15%, por ser um percentual típico adotado em dimensionamentos como este. Foram propostas diversas alternativas de garantia de atendimento a demanda, dentre elas selecionou-se três, cada uma delas acarretou em diferentes reservatórios no que se refere à capacidade volumétrica. Os percentuais de atendimento a demanda escolhidos foram:

- a) 80%;
- b) 90%;
- c) 95%.

Os percentuais que representam a garantia de atendimento à demanda foram definidos a partir do conhecimento do número de falhas do sistema ao longo do período da simulação diária (22640 dias). Se configura uma falha a cada dia que existe uma demanda de água superior ao volume da mesma dentro do reservatório. A partir do total de falhas ao longo do período de simulação, se calcula o atendimento à demanda conforme a fórmula 5:

$$At = [1 - (f/d)] \times 100 \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

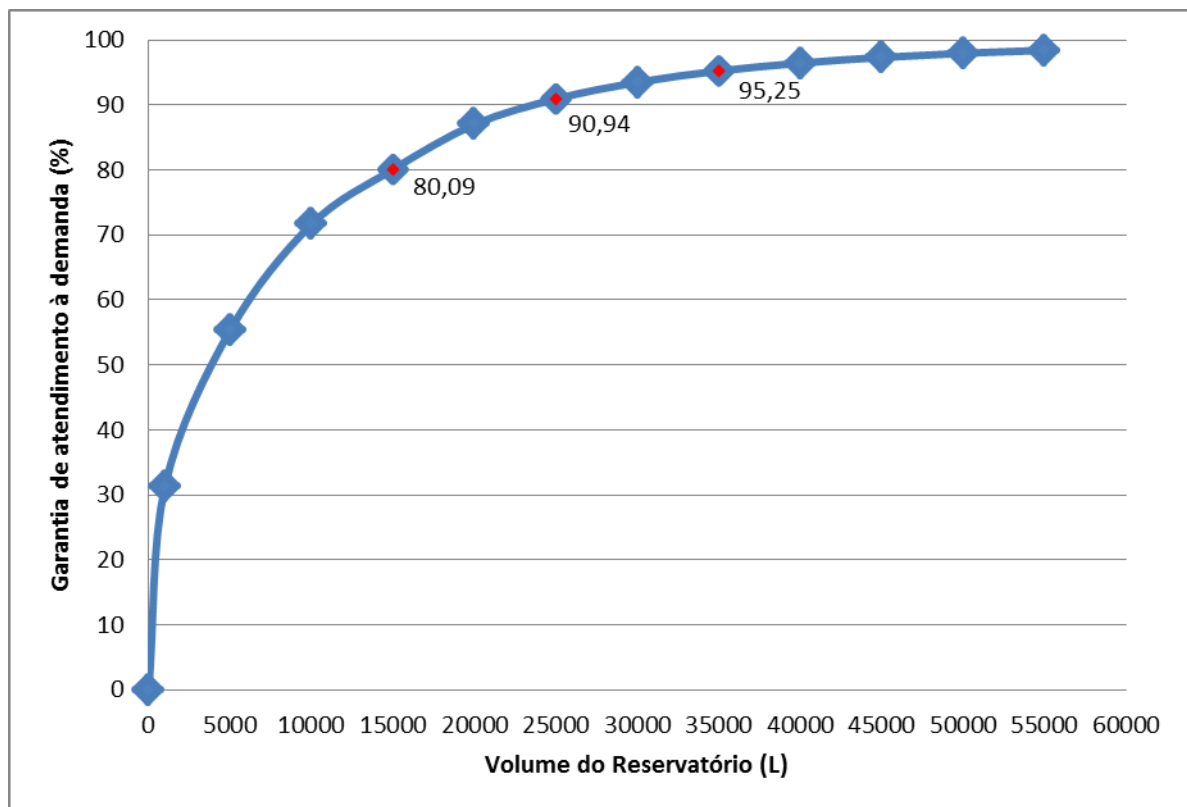
At = garantia de atendimento à demanda (%);

f = total de dias com falhas (dias);

d = total de dias com demanda (dias);

A relação entre garantia de atendimento à demanda e volume do reservatório pode ser vista no gráfico da figura 16. Na mesma figura ainda é dado destaque aos percentuais de garantia de atendimento à demanda adotados. Os percentuais escolhidos não foram exatamente os que haviam sido pré-estabelecidos inicialmente, pois como se lidou com reservatórios de fibra de vidro com tamanhos definidos pelo mercado, as capacidades dos reservatórios foram escolhidas de forma a se chegar o mais próximo da intenção inicial.

Figura 16 – Gráfico da relação entre garantia de atendimento à demanda e volume do reservatório

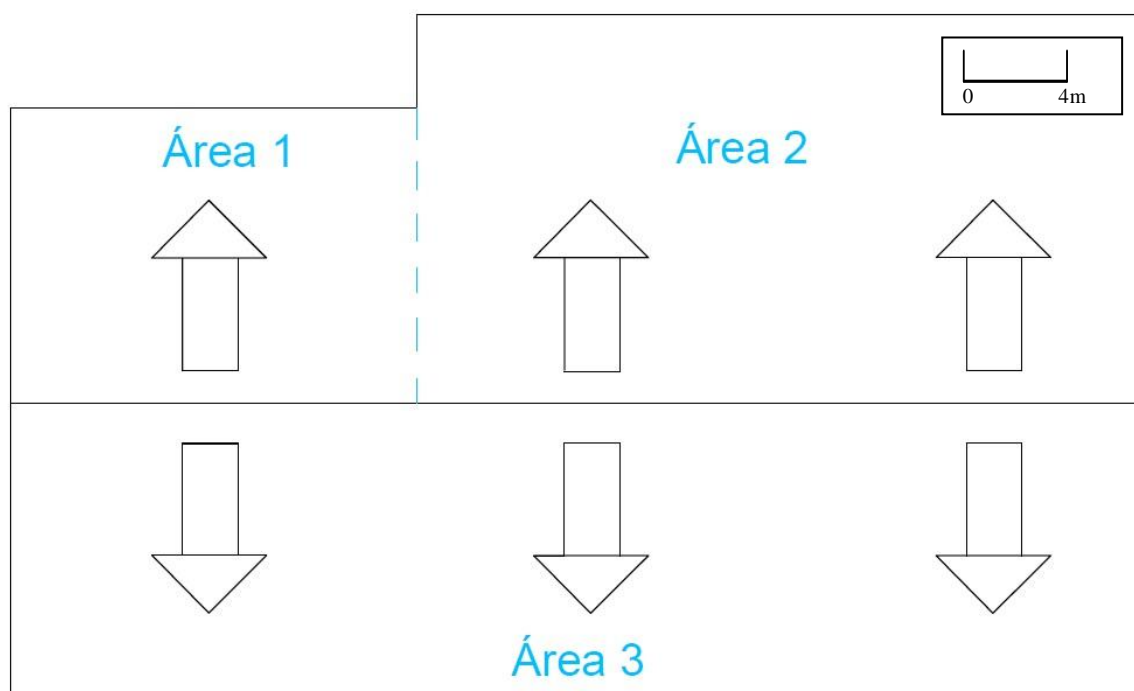


(fonte: elaborado pelo autor)

8.2 CALHAS

Para o dimensionamento das calhas, primeiro se subdividiu a área do telhado em regiões, ficando cada calha responsável pelo escoamento da água proveniente de sua respectiva área de captação. A área total do telhado foi dividida em três regiões, conforme apresentado na figura 17.

Figura 17 – Subdivisão da área total de captação



(fonte: elaborada pelo autor)

Dentre os diversos tipos de coberturas existentes, apresentados na figura 8, aquele que representa a cobertura da edificação do ginásio da escola, possui uma área de contribuição obtida com base na fórmula 6, apresentada na NBR 10844 – Instalações Prediais de Águas Pluviais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998):

$$A_c = [a + (h/2)] \times b \quad (\text{fórmula 6})$$

Onde:

A_c = área de contribuição (m^2);

a = largura da água da cobertura (m);

h = altura da cobertura (m);

b = comprimento da cobertura (m);

Cada uma das três regiões do telhado do ginásio possuem diferentes áreas de contribuição, essas áreas de contribuição foram levadas em consideração para o dimensionamento de suas respectivas calhas.

Então se definiu uma intensidade pluviométrica para ser aplicada no dimensionamento. Para se obter o valor dessa intensidade, inicialmente verificou-se que a precipitação em 99% dos dias que chovem, é menor que 54,20mm. A partir dessa informação, apesar de não se conhecer a distribuição temporal desses totais diários, adotou-se esse valor como sendo a intensidade, ou seja, como se o todo o evento diário acontecesse no período de uma hora. Assim, ficando a intensidade sendo 54,20mm/h.

De posse da intensidade pluviométrica e da área de contribuição de cada calha, pôde-se calcular a vazão de projeto através da fórmula abaixo, já apresentada no início do trabalho (fórmula 3):

$$Q = (I \times A)/60$$

Onde:

Q = vazão de projeto (L/min);

I = intensidade pluviométrica (mm/h);

A = área de contribuição (m²).

Os valores das áreas indicadas na figura 17, com suas respectivas vazões de projeto estão representadas na tabela 8.

Tabela 8 – Valores das áreas de cada região de captação com as vazões de projeto

Região do telhado	Área (m²)	Vazão de projeto (L/min)
Área 1	181,88	164,29
Área 2	418,97	378,47
Área 3	508,04	458,93

(fonte: elaborada pelo autor)

Por fim, calculou-se a vazão de projeto através da fórmula 4, que a partir de um comparativo com o valor da vazão de projeto obtido pela fórmula 3, pôde-se verificar se o diâmetro da calha escolhida era capaz de atender ao sistema. A fórmula 4 é rerepresentada a seguir:

$$Q = K \times (S/n) \times R_H^{2/3} \times i^{1/2}$$

Onde:

Q = Vazão de projeto (L/min);

S = área da seção molhada (m²);

n = coeficiente de rugosidade;

R_H = raio hidráulico (m);

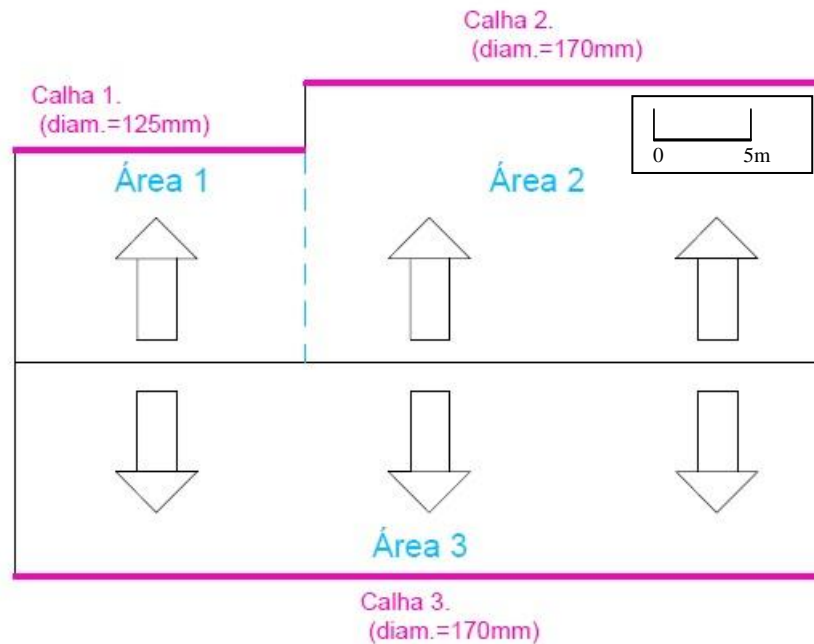
i = declividade da calha (m/m);

K = coeficiente de Strickler fixado em 60000 (m^{1/3}/s).

As calhas escolhidas foram do tipo aresta viva, semicirculares de PVC, ou seja, o coeficiente de rugosidade adotado foi 0,011. Os valores dos coeficientes de rugosidade a partir do material nas quais as calhas são constituídas estão indicados na tabela 2. Já as declividades das calhas foram de 0,005m/m, pois como foram dimensionadas calhas para comprimentos consideráveis de telhado, como 41,90m, se fossem adotadas declividades maiores, uma das pontas das calhas ficaria muito baixa.

Os diâmetros das calhas adotadas podem ser vistos na figura 18.

Figura 18 – Diâmetros e posições das calhas escolhidas



(fonte: elaborada pelo autor)

É importante deixar claro, que a escola como se encontra atualmente, não dispõe de calhas, nem qualquer rede pluvial, sendo assim, o sistema projetado não prevê destino adequado, em rede pluvial, para a água excedente que possa vir a extrapolar as dimensões de reservatórios e calhas.

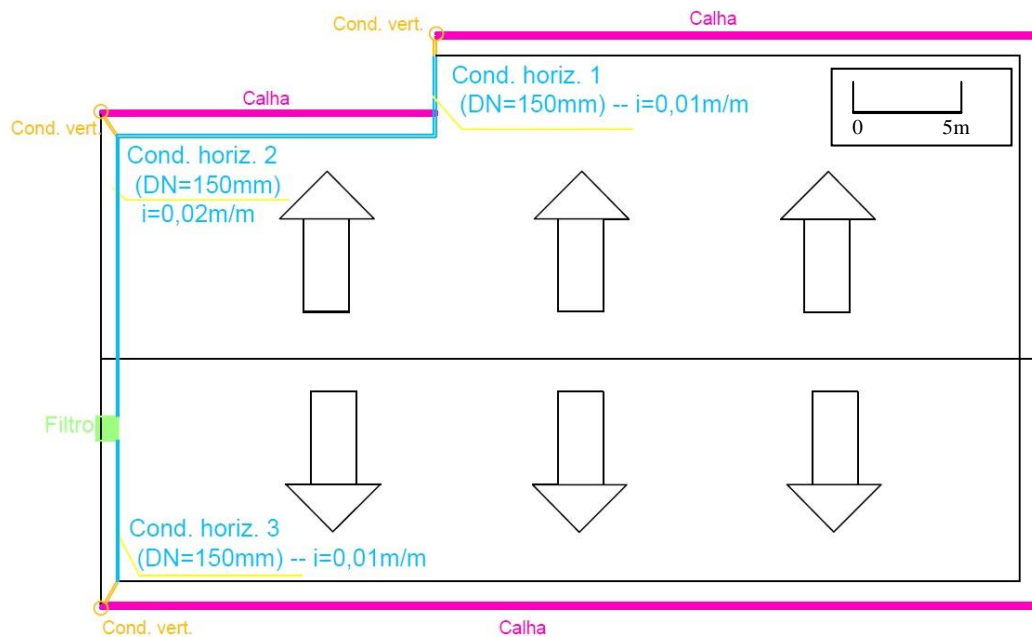
8.3 CONDUTORES VERTICAIS

Para o dimensionamento dos condutores verticais, primeiramente definiu-se o comprimento necessário. Para que não fosse preciso a colocação de um reservatório inferior enterrado, definiu-se que os condutores verticais não desceriam até o nível do chão e sim somente até uma determinada altura. De posse do comprimento do conduto vertical, da vazão de projeto e da altura da lâmina d'água na calha, através do ábaco apresentado na figura 9, pôde-se obter o diâmetro necessário do conduto vertical em cada uma das situações. Porém, para todos os condutos verticais, o diâmetro encontrado no ábaco foi inferior ao mínimo indicado por norma. Sendo assim adotou-se o mínimo estabelecido, que é de 70mm de diâmetro interno, para todos condutos verticais.

8.4 CONDUTORES HORIZONTAIS

Devido ao fato de os condutores verticais não descenderem até o nível do piso, o mesmo acontece com os condutores horizontais. Foram adotados condutos horizontais de PVC de seção circular. Os condutores horizontais foram divididos em três partes conforme indicado na figura 19.

Figura 19 – Distribuição dos condutos horizontais

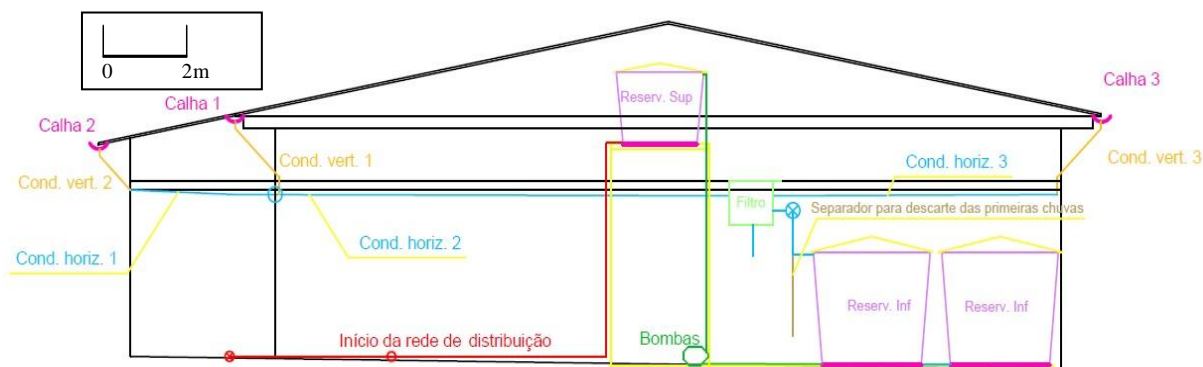


(fonte: elaborada pelo autor)

Para a escolha dos diâmetros dos condutos horizontais, utilizou-se a tabela 1. Tomou-se o cuidado para escolher condutos horizontais, que para o coeficiente de rugosidade em questão (0,011) e a declividade adotada de 0,01m/m e 0,02m/m conforme o conduto, permitissem vazões iguais ou superiores as vazões necessárias.

As posições das calhas e condutores e dos reservatórios podem ser visualizadas em uma vista em corte na figura 20, esta mesma figura pode ser vista no apêndice A com mais facilidade.

Figura 20 – Sistema de captação através de uma vista em corte



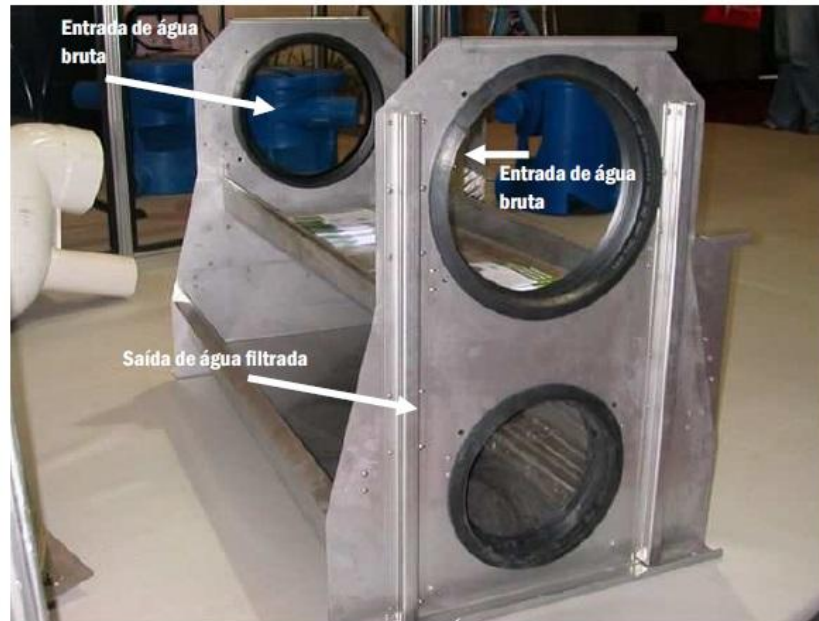
(fonte: elaborada pelo autor)

8.5 FILTRO DE ÁGUA

Após a captação da água através das calhas, o volume de água é conduzido pelos condutores para um filtro. O filtro escolhido foi o filtro VF6, da empresa Ecoracional, com capacidade de até 1500m² de área de captação, portanto suficiente para a área de telhado de captação do projeto.

O filtro é constituído de duas entradas laterais com 250mm de diâmetro para conexão de tubulações que trazem água bruta. Essa água bruta se acumula em um patamar presente no filtro, até que atinge uma altura onde a água começa a escoar para o lado passando por diversas palhetas que funcionam como uma peneira, permitindo a passagem da água limpa para parte inferior do filtro. A água com impurezas que não passam por essas palhetas é descartada. Na parte inferior do filtro existe uma saída com 200mm de diâmetro para conduzir a água filtrada em direção ao reservatório. O filtro pode ser visto na figura 21.

Figura 21 – Filtro de água VF6 para telhados de até 1500m²



(fonte: ECORACIONAL, 2013)

O filtro deve ficar instalado dentro de uma caixa de 1,1 m de comprimento por 1,0 m de largura, com uma altura de 1,0 m (ECORACIONAL, 2013). A empresa ainda indica que esta caixa, que pode ser de alvenaria, polipropileno ou metálica, deve ter uma saída no fundo, com 250 mm de diâmetro, por onde é direcionada a água com as impurezas que não passaram pelo filtro. Uma amostra de como deve ser a caixa que envolve o filtro pode ser vista na figura 22.

Figura 22 – Caixa de instalação do filtro



(fonte: ECORACIONAL, 2013)

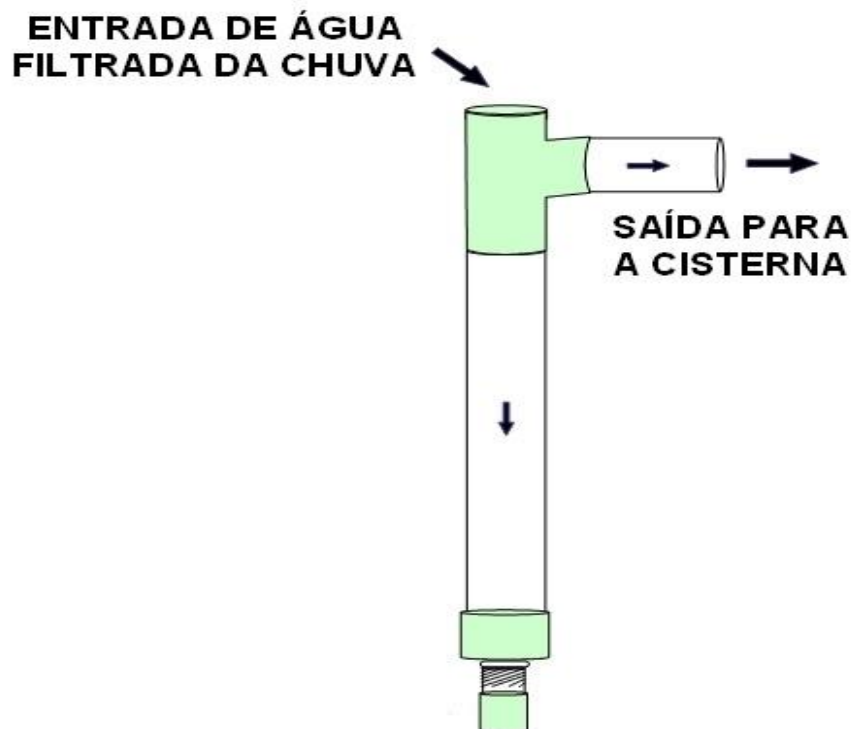
8.6 SEPARADOR DAS ÁGUAS DAS PRIMEIRAS CHUVAS

A água que passou pelo filtro segue para o separador das águas da chuva, o separador tem a função de descartar as primeiras águas da chuva que são as que carregam a maior quantidade de sujeiras. O separador foi projetado para um descarte dos primeiros 0,08mm de chuva, para a área de captação em questão (1108,88m²), isso resulta em 88,71 litros descartados de chuva.

O processo de descarte funciona da seguinte forma: a água que sai do filtro é encaminhada verticalmente para um tubo fechado na ponta. Dessa forma o tubo começa a encher. Quando a água chega a uma determinada altura ela começa a escoar em uma saída lateral que direciona a água até o reservatório. O volume de água retido na parcela vertical de tubulação fechada é o volume de água descartado. Quando a chuva cessa deve-se abrir a parte inferior da tubulação fechada, para escoar a água ali retida e assim, quando voltar a chover possa ocorrer o descarte de novas chuvas.

A imagem do separador das primeiras chuvas pode ser visto na figura 23.

Figura 23 – Separador das primeiras chuvas



(fonte: URBANO, 2013)

8.7 BOMBA DE RECALQUE

Após o armazenamento da água no reservatório inferior, acontece o bombeamento da água para um reservatório superior. Independente da capacidade do reservatório inferior, que varia para cada uma das garantias de atendimento analisadas, o reservatório superior foi fixado com uma capacidade de 5000L.

Para se ter conhecimento das características das tubulações e bomba de recalque que se fizeram necessárias, foi utilizada a fórmula 7.

$$d' = 1,3 \times Q_r^{1/2} \times (X/24)^{0,25} \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde:

d' = diâmetro (m);

Q_r = vazão de recalque (m^3/s);

X = tempo de funcionamento da bomba (horas);

Na fórmula 7, se estipulou uma vazão capaz de encher o reservatório superior em duas horas e meia. Dessa forma se obteve o diâmetro da tubulação de recalque, o diâmetro que se fez necessário foi de 20mm.

Então, foi verificada a altura manométrica sob a qual a bomba teria que ser capaz de recalcar a água. A altura manométrica é dada pela fórmula 8.

$$H_{\text{man}} = H_g + h_f \quad (\text{fórmula 8})$$

Onde:

H_{man} = altura manométrica (m);

H_g = desnível geométrico (m);

h_f = perda de carga (m);

A referida perda de carga em questão é obtida multiplicando o valor da perda de carga unitária, pelo somatório das perdas lineares e das perdas localizadas (peças e conexões) ao

longo da sucção e do recalque. Para tanto é feita a conversão das conexões existentes em comprimentos de tubulações equivalentes de forma a se obter valor da perda de carga em questão. Essa conversão foi realizada através da tabela 9.

Tabela 9 – Perda de carga em conexões – comprimentos equivalentes

DE (mm)	D. ref. (pol.)	Joelho 90°	Joelho 45°	Curva 90°	Curva 45°	TE 90° Passagem Direita	TE 90° Saída de lado	TE 90° Saída Bilateral	Entrada Normal	Entrada de Lenda	Saída de Canalização	Válvula de Pé e Crivo	Válvula de Retenção Tipo Leve	Válvula de Retenção Tipo Pesado	Registro de Globo Aberto	Registro de Gaveta Aberto	Registro de Ângulo Aberto
20	3/8"	1,1	0,4	0,4	0,2	0,7	2,3	2,3	0,3	0,9	0,8	8,1	2,5	3,6	11,1	0,1	5,9
25	1/4"	1,2	0,5	0,5	0,3	0,8	2,4	2,4	0,4	1,0	0,9	9,5	2,7	4,1	11,4	0,2	6,1
32	1"	1,5	0,7	0,6	0,4	0,9	3,1	3,1	0,5	1,2	1,3	13,3	3,8	5,8	15,0	0,3	8,4
40	1 1/4"	2,0	1,0	0,7	0,5	1,5	4,6	4,6	0,6	1,8	1,4	15,5	4,9	7,4	22,0	0,4	10,5
50	1 1/2"	3,2	1,3	1,2	0,6	2,2	7,3	7,3	1,0	2,3	3,2	18,3	6,8	9,1	35,8	0,7	17,0
60	2"	3,4	1,5	1,3	0,7	2,3	7,6	7,6	1,5	2,8	3,3	23,7	7,1	10,8	37,9	0,8	18,5
75	2 1/2"	3,7	1,7	1,4	0,8	2,4	7,8	7,8	1,6	3,3	3,5	25,0	8,2	12,5	38,0	0,9	19,0
85	3"	3,9	1,8	1,5	0,9	2,5	8,0	8,0	2,0	3,7	3,7	26,8	9,3	14,2	40,0	0,9	20,0
110	4"	4,3	1,9	1,6	1,0	2,6	8,3	8,3	2,2	4,0	3,9	28,6	10,4	16,0	42,3	1,0	22,1

(fonte: trabalho não publicado¹¹)

De posse da perda de carga, juntamente com a diferença de altura entre bomba e reservatório superior, encontrou-se a altura manométrica. Com isso adotou-se uma bomba com altura máxima de recalque superior à altura manométrica.

Adotaram-se para o sistema duas bombas, porém sempre mantendo apenas uma delas em funcionamento, ou seja, apesar de serem duas bombas, basta uma só para realizar o bombeamento da água. A existência de duas bombas acontece por uma questão de segurança, na hipótese de uma delas sofrer algum problema.

A bomba escolhida, com sua potência, suas capacidades de vazão e de altura máxima de recalque estão representadas na figura 24.

Adotando a bomba em questão, para sua vazão tabelada de 35L/min, o tempo para encher o reservatório acaba sendo ainda menor que as duas horas e meia definidas inicialmente.

¹¹ Apostila Instalações prediais de águas pluviais da disciplina IPH 209 – Instalações Hidrosanitárias do professor Juan Martin Bravo disponível para alunos que cursavam a disciplina no ano de 2012 do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Figura 24 – Bomba escolhida

BOMBAS D'ÁGUA PERIFÉRICAS AMANCO

MODELO: QB60
Q = 35 L/min.
Hmáx. = 22 m
½ HP - 0,37 Kw
110/220 V - 60Hz
Sucção máx. = 7m

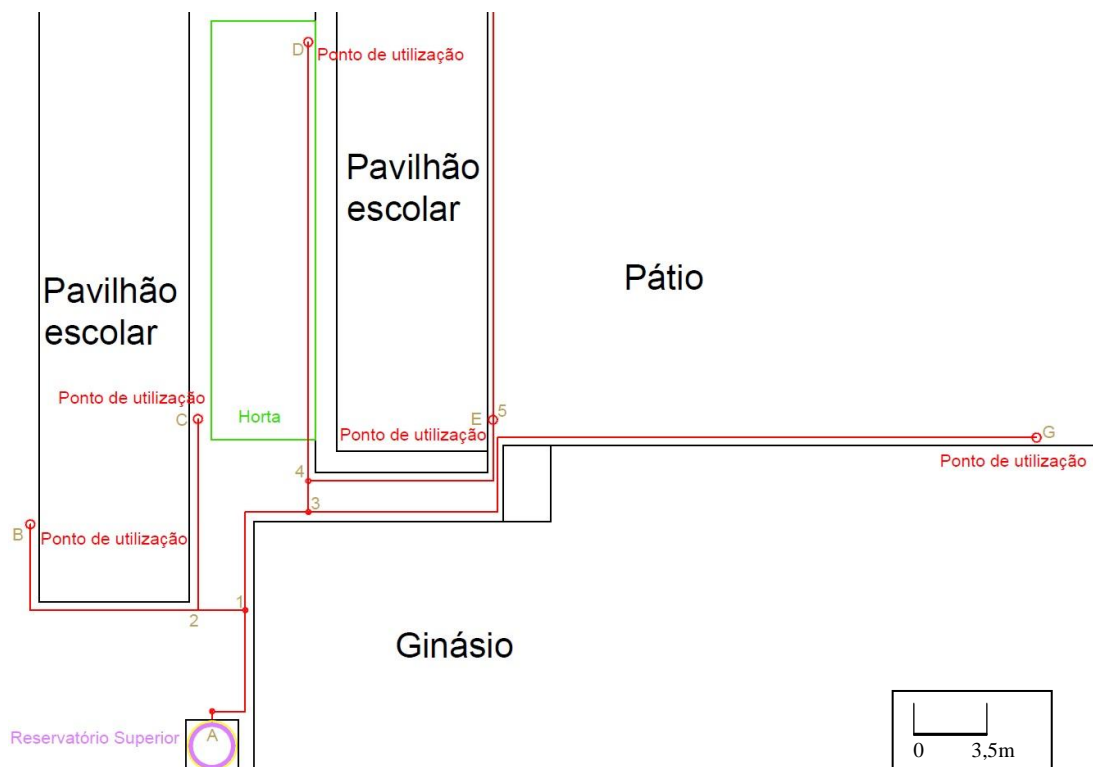
(fonte: AMANCO, 2013)

9 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

Para o dimensionamento do sistema de distribuição, foi adotado um traçado das tubulações ao longo do espaço disponível no terreno de maneira a se obter a distribuição mais adequada para que as necessidades fossem atendidas simultaneamente à não interferência nas funcionalidades do local. Também é importante salientar, que o sistema convencional já existente, de abastecimento aos pontos de consumo, não foi modificado. Na hipótese de o sistema de aproveitamento de água da chuva projetado, não conseguir atender à demanda, o reservatório do sistema de aproveitamento de água da chuva não terá acréscimo de água potável. Se essa situação ocorrer, a escola terá que utilizar o sistema anteriormente existente, pois o mesmo não sofreu prejuízo algum.

Um croqui do traçado das tubulações da rede de distribuição pode ser visto na figura 25, já uma planta mais detalhada pode ser visualizada no apêndice B.

Figura 25 – Vista superior do traçado da rede de abastecimento aos pontos de consumo



(fonte: elaborada pelo autor)

O dimensionamento das tubulações de distribuição foi realizado seguindo os critérios da NBR 5626 – Instalações Prediais de Água Fria (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998).

Ficaram estabelecidos seis pontos de consumo, todos eles a serem abastecidos com a água advinda do reservatório superior. Todos os pontos de consumo foram considerados sendo torneiras de jardim ou lavagem, que possuem vazão de projeto tabelado em norma no valor de 0,2L/s, como pode-se visualizar em destaque na tabela 10.

Tabela 10 – Vazão nos pontos de utilização com destaque para o tipo de peça de utilização existente no sistema de distribuição

Aparelho Sanitário		Peça de utilização	Vazão de projeto L/s
Bacia Sanitária		Caixa de descarga	0,15
		Válvula de descarga	1,70
Banheira		Misturador (água fria)	0,30
Bebedouro		Registro de pressão	0,10
Bidê		Misturador (água fria)	0,10
Chuveiro ou ducha		Misturador (água fria)	0,20
Chuveiro elétrico		Registro de pressão	0,10
Lavadora de pratos ou de roupas		Registro de pressão	0,30
Lavatório		Torneira ou misturador (água fria)	0,15
Mictório cerâmico	com sifão	Válvula de descarga	0,50
	sem sifão	Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15
Mictório tipo calha		Caixa de descarga ou registro de pressão	0,15 por metro de calha
Pia		Torneira ou misturador (água fria)	0,25
		Torneira elétrica	0,10
Tanque		Torneira	0,25
Torneira de jardim ou lavagem em geral		Torneira	0,20

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 13)

As tubulações que abastecem os pontos de consumo foram subdivididas em trechos, para cada trecho, a partir do número de pontos que o mesmo abasteceria, se calculou a vazão necessária. Vale salientar que para esse sistema, é possível que todos os pontos de consumo sejam utilizados simultaneamente, isso foi levado em consideração no momento do cálculo da vazão. A partir das vazões, obtiveram-se os diâmetros necessários, de forma a respeitar as velocidades máximas e as pressões mínimas especificadas na norma.

A partir de então, se calculou a perda de carga unitária, ou seja, a perda de carga que o sistema gera por metro de tubulação. Essa perda unitária está representada através da fórmula 9.

$$J = 8,69 \times 10^6 \times Q^{1,75} \times d^{-4,75} \quad (\text{fórmula 9})$$

Onde:

J = perda de carga unitária (KPa/m);

Q = vazão (L/s);

d = diâmetro (mm);

Com a perda de carga unitária, obteve-se a perda de carga total através do produto da perda de carga unitária vezes o somatório dos comprimentos lineares dos trechos, juntamente com o somatório dos comprimentos equivalentes das singularidades representadas na tabela 9.

Tendo as diferenças de cotas, descobriu-se a pressão existente, que descontadas as perdas de carga, chegou-se aos valores das pressões disponíveis. Neste momento, foi tomado o cuidado para que as pressões disponíveis fossem maiores que as pressões mínimas requeridas em norma.

Um resumo dos resultados da planilha que se encontra na forma integral no apêndice C, pode ser visto na tabela 11.

Tabela 11 – Planilha de dimensionamento da rede de distribuição

Trecho	Vazão (L/S)	Diâmetro Nominal (mm)	Comprimento Total (m)	Perda de Carga total (KPa)	Pressão Disponível (KPa)	Pressão requerida (KPa)	Atendimento
A-1	1,20	50,00	22,72	6,67	41,83	5,00	ok
1-2	0,40	32,00	7,96	3,19	50,31	5,00	ok
2-B	0,20	32,00	17,01	2,02	37,48	10,00	ok
2-C	0,20	32,00	15,04	1,79	37,71	10,00	ok
1-3	0,80	40,00	11,00	4,59	43,91	5,00	ok
3-4	0,60	40,00	9,19	2,32	51,18	5,00	ok
4-D	0,20	32,00	25,26	3,01	36,49	10,00	ok
3-G	0,20	32,00	43,63	5,19	43,31	10,00	ok
4-5	0,40	32,00	17,59	7,04	41,46	5,00	ok
5-E	0,20	32,00	4,50	0,54	38,96	10,00	ok
5-F	0,20	32,00	32,10	3,82	35,68	10,00	ok

(fonte:elaborada pelo autor)

10 ANÁLISE DE CUSTOS

Para o sistema dimensionado, é apresentada na tabela 12 uma estimativa do custo total do material envolvido no sistema para cada uma das alternativas de atendimento à demanda. Para a obtenção dos preços unitários das peças referidas na tabela 12, foram consultadas algumas lojas do ramo. Portanto, trata-se de um valor aproximado, já que os preços dos diversos componentes do sistema têm variação conforme o fabricante ou a loja pesquisada. Além disso, vale salientar que obras como a construção da torre necessária para a colocação do reservatório a nível superior, a construção da caixa que envolve o filtro de água, ou ainda custos com limpezas dos reservatórios não estão inclusas no orçamento.

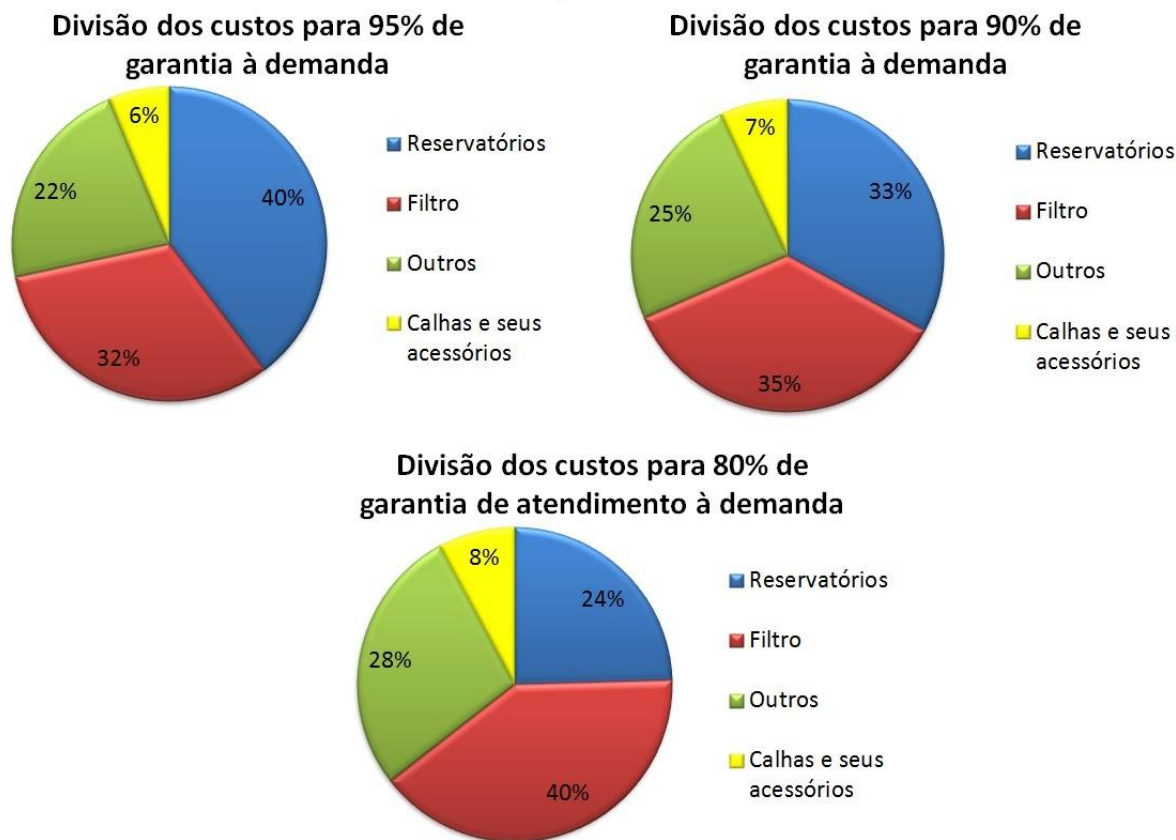
Visualiza-se na tabela 12, que alguns itens concentram a maior parte do custo. Tal situação é ainda mais perceptível na figura 26, que mostra a distribuição dos gastos em cada uma das diferentes situações de atendimento.

Tabela 12 – Custos com materiais

Peças	Preço unitário	Quantidade (unid.)	Custo total
Joelho 90° soldável - água fria - 32mm	R\$ 1,60	17	R\$ 27,20
Joelho 90° soldável - água fria - 40mm	R\$ 2,15	2	R\$ 4,30
Joelho 90° soldável - água fria - 50mm	R\$ 4,10	3	R\$ 12,30
Tê redução soldável - água fria - 50x32mm	R\$ 10,41	1	R\$ 10,41
Tê redução soldável - água fria - 40x32mm	R\$ 7,00	1	R\$ 7,00
Luva de redução soldável - água fria - 40x32mm	R\$ 1,81	2	R\$ 3,62
Bucha de redução 50 x 40mm	R\$ 1,85	1	R\$ 1,85
Tê soldável - água fria - 32mm	R\$ 2,00	2	R\$ 4,00
Tê soldável - água fria - 40mm	R\$ 5,20	1	R\$ 5,20
Luva soldável 32mm	R\$ 1,23	33	R\$ 40,59
Luva soldável 40mm	R\$ 2,71	2	R\$ 5,42
Luva soldável 50mm	R\$ 16,47	2	R\$ 32,94
Tubo soldável 32mm (3m)	R\$ 15,60	47	R\$ 733,20
Tubo soldável 40mm (3m)	R\$ 22,50	5	R\$ 112,50
Tubo soldável 50mm (3m)	R\$ 26,89	5	R\$ 134,45
Tubo soldável 20mm (6m)	R\$ 9,90	3	R\$ 29,70
Luva soldável 20mm	R\$ 0,51	1	R\$ 0,51
Joelho 90° soldável - água fria - 20mm	R\$ 0,35	5	R\$ 1,75
Registro de gaveta 1/2"	R\$ 14,90	2	R\$ 29,80
Tê soldável - água fria - 20mm	R\$ 0,70	2	R\$ 1,40
Válvula de pé com crivo	R\$ 15,90	1	R\$ 15,90
Adaptador soldável com flange anel para caixa d'água 50mm	R\$ 22,85	1	R\$ 22,85
Adaptador soldável para caixa d'água 20mm	R\$ 4,61	5	R\$ 23,05
Adaptador soldável para caixa d'água 110mm	R\$ 220,00	2	R\$ 440,00
Aquapluv Bocal Saída 125mm X 88mm	R\$ 15,90	3	R\$ 47,70
Aquapluv acoplamento para condutor 88mm para 75mm	R\$ 3,90	3	R\$ 11,70
Aquapluv Cabeceira 125mm direita ou esquerda	R\$ 5,90	6	R\$ 35,40
Aquapluv emenda para calha 125mm X 88mm	R\$ 9,90	13	R\$ 128,70
Registro Gaveta Bruto 2" - DN 50mm	R\$ 81,36	1	R\$ 81,36
Registro Gaveta Bruto 1 1/2" - DN40mm	R\$ 42,11	1	R\$ 42,11
Valvula Retenção 20mm	R\$ 16,40	1	R\$ 16,40
Joelho 45° Esgoto 75mm	R\$ 4,18	6	R\$ 25,08
Joelho 90° Esgoto 75mm	R\$ 4,50	4	R\$ 18,00
Calha Aquapluv Beiral 125mm (3m)	R\$ 51,32	5	R\$ 256,60
Calha Pluvial 170mm (3m)	R\$ 49,99	23	R\$ 1.149,77
Tubo Esgoto 75mm (3m)	R\$ 17,90	3	R\$ 53,70
Tubo Esgoto 100mm (1,5m)	R\$ 11,71	3	R\$ 35,13
Tubo Esgoto 150mm (3m)	R\$ 74,95	2	R\$ 149,90
Tubo Esgoto 150mm (6m)	R\$ 142,70	6	R\$ 856,20
Tubo Esgoto 200mm (6m)	R\$ 228,14	2	R\$ 456,28
Tubo Esgoto 250mm (6m)	R\$ 223,03	1	R\$ 223,03
Joelho 90° Esgoto 200mm	R\$ 93,50	4	R\$ 374,00
Tê 90° Esgoto 200mm	R\$ 142,65	1	R\$ 142,65
Tê Esgoto 150mm	R\$ 38,10	1	R\$ 38,10
Joelho 90° Esgoto 150mm	R\$ 36,35	3	R\$ 109,05
Luva esgoto 150mm	R\$ 15,33	5	R\$ 76,65
Redução excêntrica 250x200mm	R\$ 362,00	2	R\$ 724,00
Redução excêntrica 200x150mm	R\$ 43,40	2	R\$ 86,80
Redução excêntrica 150x100mm	R\$ 13,54	3	R\$ 40,62
Redução excêntrica 100x75mm	R\$ 6,16	3	R\$ 18,48
Filtro de água VF6	R\$ 8.280,00	1	R\$ 8.280,00
Cap Esgoto 200mm	R\$ 111,42	1	R\$ 111,42
Cap soldável 40mm	R\$ 1,67	1	R\$ 1,67
Adaptador de válvula de tanque de 1 1/4" x 1"	R\$ 0,90	1	R\$ 0,90
Bucha de redução 1 1/4 x 1"	R\$ 2,34	1	R\$ 2,34
Bomba d'água 1/2 HP	R\$ 175,90	2	R\$ 351,80
Reservatório Superior de fibra de vidro 5000L	R\$ 1.699,00	1	R\$ 1.699,00
Reservatório inferior 15000 L (garantia de 95% de atendimento)	R\$ 4.299,00	2	R\$ 8.598,00
Reservatório inferior 10000 L (garantia de 90% de atendimento)	R\$ 2.999,00	2	R\$ 5.998,00
Reservatório inferior 5000 L (garantia de 80% de atendimento)	R\$ 1.699,00	2	R\$ 3.398,00
Total sistema garantia de atendimento à demanda 95%			R\$ 25.942,48
Total sistema garantia de atendimento à demanda 90%			R\$ 23.342,48
Total sistema garantia de atendimento à demanda 80%			R\$ 20.742,48

(fonte:elaborada pelo autor)

Figura 26 – Distribuições de custos entre os componentes do sistema em função do % de garantia de atendimento à demanda



(fonte: elaborada pelo autor)

Nesse processo de levantamento do custo total do sistema se estimou de forma aproximada um custo oriundo da mão de obra para a execução dos serviços. Como para as três garantias de atendimento o que muda é apenas o tamanho do reservatório e o restante do sistema é todo igual, considerou-se o mesmo custo com mão de obra para todas as possibilidades de atendimento à demanda. Esse valor ficou fixado em 30% do custo com o material, isso com base nos 90% de garantia de atendimento à demanda. Os valores finais para cada uma das garantias de atendimento à demanda estão apresentados na tabela 13.

Tabela 13 – Estimativa do custo total do sistema para as três garantias de atendimento à demanda

Garantia de atendimento	Custo com material	Custo com mão de obra (30% do custo com material com base em 90% de garantia)	Custo total
95%	R\$ 25.943,48	R\$ 7.002,74	R\$ 32.946,22
90%	R\$ 23.342,48	R\$ 7.002,74	R\$ 30.345,22
80%	R\$ 20.742,48	R\$ 7.002,74	R\$ 27.745,22

(fonte:elaborada pelo autor)

A partir do levantamento do custo total de implantação do projeto para as diferentes garantias de atendimento à demanda, pode-se estimar o tempo de retorno do investimento em cada uma das situações.

Fixando um custo de R\$ 9,50 por m³ de água, e tendo por base o consumo de água semanal para as atividades que o sistema atende, já exposto no início do trabalho, o período em que se obterá de volta o valor investido, em cada uma das situações, é apresentado na tabela 14. Para a obtenção do tempo de retorno do investimento apresentado na tabela 14, fez-se uso do VPL (Valor Presente Líquido), para que o valor economizado mensalmente com o sistema fosse sendo atualizado ao longo do período em questão com base em uma taxa. A taxa referida foi obtida com base nos juros de poupança. Para a definição da taxa de juros, se fez uma média dos valores da taxa de juros mensal da poupança referente o período de janeiro a julho de 2013, chegando a um valor de 0,4213% ao mês, correspondente a 5,17% ao ano.

Tabela 14 – Estimativa do tempo de retorno do investimento

Garantia de atendimento	Volume de água consumido mensalmente (m ³)	Preço do m ³ d'água	Custo mensal com água	Valor economizado mensalmente com o sistema	Custo total de implantação do sistema	Período de retorno do investimento
95%	57,73	R\$ 9,50	R\$ 548,42	R\$ 521,00	R\$ 32.946,22	74 meses
90%	57,73	R\$ 9,50	R\$ 548,42	R\$ 493,58	R\$ 30.345,22	72 meses
80%	57,73	R\$ 9,50	R\$ 548,42	R\$ 438,74	R\$ 27.745,22	74 meses

(fonte:elaborada pelo autor)

Observando a tabela 14 constata-se que o período de retorno do investimento é de 74 meses (6 anos e 2 meses) para as garantias de 95% e 80%, e de 72 meses (6 anos) para a garantia de 90%. Logo, os tempos de retorno do investimento para as três garantias de atendimento à demanda não são tão elevados, se forem levados em conta os consideráveis capitais investidos. Também é importante salientar que esse tempo de retorno do investimento

relativamente pequeno, está diretamente ligado à atividade de irrigação da horta escolar. Caso o projeto se destinasse exclusivamente a atender as atividades de limpeza, o tempo de retorno do investimento seria bem diferente.

11 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um sistema de aproveitamento de água da chuva é uma alternativa bastante interessante, pois além de representar uma forma de economia a ser alcançada num horizonte de médio e longo prazo, não possui um nível de complexidade de implantação muito grande, apesar de existirem alguns critérios importantes com os quais se deve estar atento na fase de projeto. Dessa forma, a colocação em prática de um sistema de aproveitamento de água da chuva é algo que pode ser tranquilamente mais difundido do que se encontra atualmente.

Nesse caso específico o sistema foi projetado para uma escola, para atender as atividades de limpeza e irrigação da horta da mesma. Sobre essa questão é importante frisar que a atividade de irrigação demanda uma grande quantidade de água, sendo ela a maior responsável pela demanda total de água, sendo esse fator o responsável pelo tempo de retorno do investimento ter ficado relativamente pequeno, na faixa de 6 anos dentro da faixa de garantia de atendimento trabalhada.

Notou-se que na distribuição dos custos do sistema, os componentes de maior custo foram os reservatórios e o filtro. Esse custo elevado do filtro, que em duas das três opções de garantia de atendimento à demanda ficou superior ao custo dos reservatórios, deveu-se ao fato de ser um filtro de grande porte, para atender à grande área de captação de projeto.

O tempo de retorno do investimento ficou na faixa de 6 anos, com isso pode-se dizer que é um investimento bastante interessante, principalmente pelo fato de se tratar de uma escola relativamente nova, com um grande horizonte de vida útil, ou seja, com muitos anos para usufruir dos benefícios do sistema.

Percebe-se que dentre as três alternativas de garantia de atendimento à demanda, a mais aconselhável de se optar é a de 95%. Isso porque, se for analisada a diferença entre o custo de implantação do sistema para uma garantia de atendimento à demanda de 80% (27.745,22 reais) e para uma garantia de 95% (32.946,22 reais), percebe-se que a diferença de custo não é tão significativa, dado o valor a ser investido mesmo na opção mais barata. Enquanto que um acréscimo de 15% na garantia de atendimento à demanda é bem considerável. Além disso, a diferença de tempo de retorno do investimento entre as duas garantias mencionadas é nula, ou

seja, ambas as opções se pagam em um mesmo período. Já em relação à garantia de 90%, a garantia de 95% tem um tempo de retorno de 2 meses a mais, o que não representa um longo período e reforça ainda mais a vantagem da escolha pela garantia de 95%.

REFERÊNCIAS

AMANCO. **Manual de instalação**: bomba d'água amanco. [S.l.], 2013. Disponível em: <http://www.amanco.com.br/web/image/texto/manual_bomba_dagua_2012.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 5626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 15527**: água da chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei n. 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1 da Lei n. 8011, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n. 7990, 28 de dezembro de 1989. Brasília, DF, 1997. Não Paginado Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm>. Acesso em: 26 nov. 2012.

BUFFON, F. T. **Aproveitamento de águas pluviais**: efeito sobre o sistema de drenagem urbana. 2010. 59 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

DREHER, V. L. P. **Possíveis soluções para o uso racional da água na edificação da câmara municipal de Porto Alegre**. 2008. 102 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

ECORACIONAL. **Manual de instalação**. Tekenge Engenharia. [S.l.], 2013. Disponível em: <http://www.ecoracional.com.br/media/Manuais/Manual_kit_VF6.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2013.

GOOGLE MAPS. [Av. Perimetral Bruno Segalla, 177 – Escola Olga Maria Kayser, Caxias do Sul]. [S.l.], 2012. . Disponível em: <<http://www.googlemaps.com.br>>. Acesso em: 10 out. 2012.

GOMES, J.; WEBER, D. C.; DELONG, C. M. Dimensionamento de Reservatório de Armazenamento de Águas Pluviais, usando um Critério Financeiro. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 89-100, jan./mar. 2010.

GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da água da chuva**. Curitiba: Organic Trading, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR. **Consumo sustentável**: manual de educação. Brasília. 2005. Disponível em: <http://www.idec.org.br/uploads/publicacoes/Manual_completo.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2013.

MANO, R. S. **A captação residencial de água da chuva para fins não potáveis em Porto Alegre**: aspectos básicos da viabilidade e benefícios do sistema. 2004. 175 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

PIO, A. A. B.; DOMINGUES, A. F.; SARROUF, L.; PINA, R. S.; GUSMAN JÚNIOR, U. (Coord.). **Conservação e Reúso da Água em Edificações**. São Paulo: ANA; FIESP; SINDUSCON/SP, 2005.

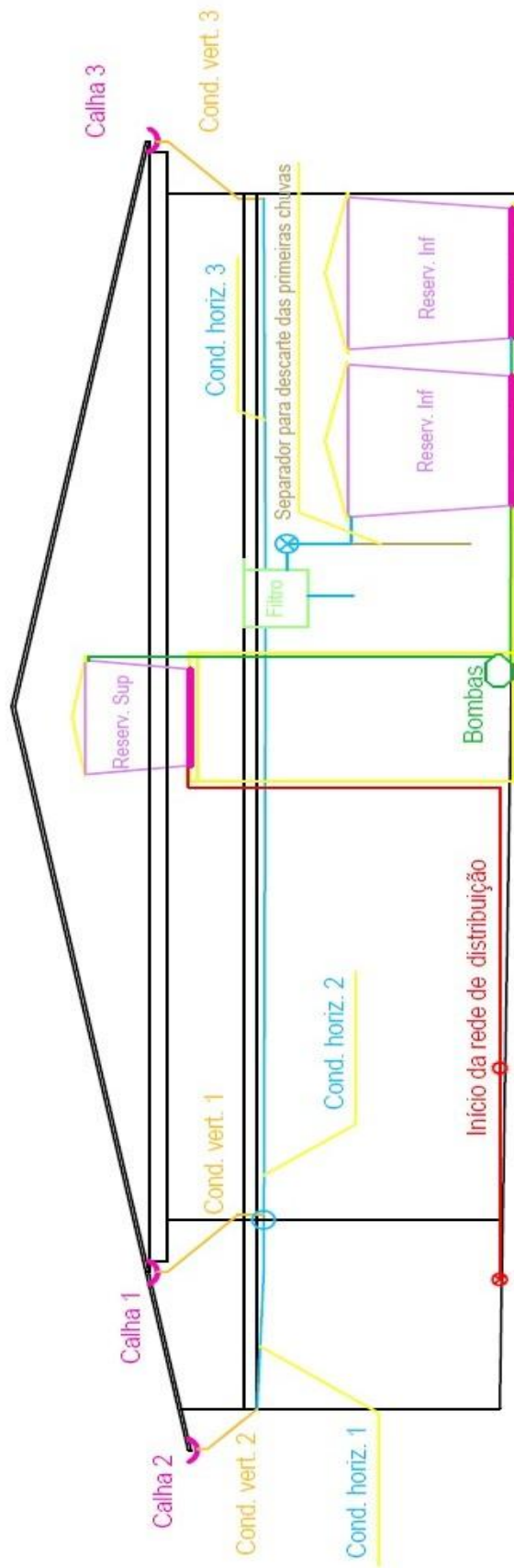
SALIM, S. **Irrigação de alface**. Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2013. p. 122-128. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/aesalq/v12-13/10.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2013.

SILVA, L. F. S. da. **Aproveitamento de águas pluviais**: ferramentas para tomadas de decisões em projetos. 2012. 121 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

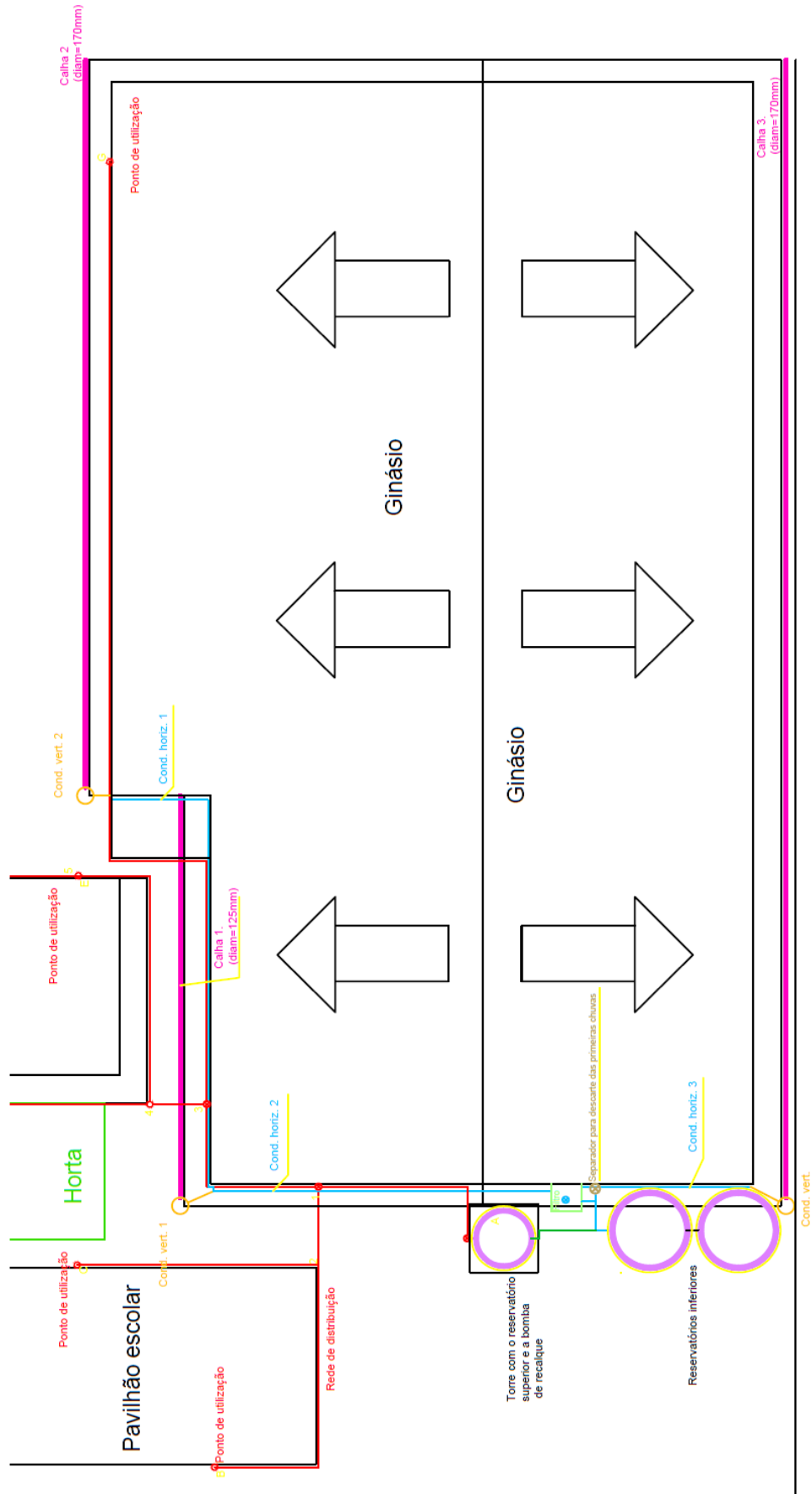
TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**: saneamento para todos. Brasília: Ministério das Cidades, 2005. v. 4.

URBANO, E. **Separador de águas de chuva de baixo custo para casa popular**. [S.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/minicisterna/separador-de-agua-de-chuva.htm>>. Acesso em: 25 abr. 2013.

APÊNDICE A – Vista em corte
(elaborado pelo autor)



APÊNDICE B – Planta de Cobertura do Sistema
(elaborado pelo autor)



**APÊNDICE C – Tabela de Dimensionamento da Rede de Distribuição
(elaborado pelo autor)**

Trecho	Vazão (L/S)	J (kpa/m)	D(mm) ábaco	Dímetro Nominal (mm)	V<3m/s e V<14D^{0,5}	Comp. Real (m)	Comp. equiv. (m)	Comprimento Total (m)	Perda de Carga real (KPa)	Perda de Carga equiv. (KPa)	Perda de Carga total (KPa)	Diferença de cota (m)	Pressão Disponível (KPa)	Pressão requerida (KPa)	Atendimento
A-1	1,20	0,29	40,00	50,00	2,80	12,42	10,30	22,72	3,65	3,02	6,67	4,85	41,83	5,00	ok
1-2	0,40	0,40	25,00	32,00	2,21	3,36	4,60	7,96	1,35	1,84	3,19	0,50	50,31	5,00	ok
2-8	0,20	0,12	25,00	32,00	2,21	12,61	4,40	17,01	1,50	0,52	2,02	-1,40	37,48	10,00	ok
2-C	0,20	0,12	25,00	32,00	2,21	10,24	4,80	15,04	1,22	0,57	1,79	-1,40	37,71	10,00	ok
1-3	0,80	0,42	32,00	40,00	2,50	7,10	3,90	11,00	2,96	1,63	4,59	0,00	43,91	5,00	ok
3-4	0,60	0,25	32,00	40,00	2,50	2,59	6,60	9,19	0,65	1,66	2,32	0,50	51,18	5,00	ok
4-0	0,20	0,12	25,00	32,00	2,21	22,06	3,20	25,26	2,63	0,38	3,01	-1,40	36,49	10,00	ok
3-6	0,20	0,12	25,00	32,00	2,21	38,03	5,60	43,63	4,53	0,67	5,19	0,00	43,31	10,00	ok
4-5	0,40	0,40	25,00	32,00	2,21	11,49	6,10	17,59	4,60	2,44	7,04	-0,50	41,46	5,00	ok
5-E	0,20	0,12	25,00	32,00	2,21	0,90	3,60	4,50	0,11	0,43	0,54	-0,90	38,96	10,00	ok
5-F	0,20	0,12	25,00	32,00	2,21	28,90	3,20	32,10	3,44	0,38	3,82	-0,90	35,68	10,00	ok

