

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

Tobias Marangon Rosa

**REAPROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS: CUSTO DE
IMPLANTAÇÃO DESTE SISTEMA NO PRESÍDIO CENTRAL
DE PORTO ALEGRE**

Porto Alegre
dezembro 2012

TOBIAS MARANGON ROSA

**REAPROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS: CUSTO DE
IMPLANTAÇÃO DESTE SISTEMA NO PRESÍDIO CENTRAL
DE PORTO ALEGRE**

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: Prof. Juan Martín Bravo

Porto Alegre
dezembro 2012

TOBIAS MARANGON ROSA

**REAPROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS: CUSTO DE
IMPLANTAÇÃO DESTE SISTEMA NO PRESÍDIO CENTRAL
DE PORTO ALEGRE**

Este 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, 20 de dezembro de 2012

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

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof. Eder Nonnemacher (UPF)
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Eng. Adalberto Meller (ANA)
Mestre pela Universidade Federal de Santa Maria

Eng. Rodrigo Cauduro Dias de Paiva (UFRGS)
Mestre pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais, Jorge Luiz Rosa e
Márcia Regina Marangon Rosa, que sempre me apoiaram
e especialmente durante o período do meu Curso de
Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Juan Martín Bravo, orientador deste trabalho, pela vontade e empenho em me orientar durante este período.

Agradeço ao representante do Presídio Central de Porto Alegre, local onde foram realizados os estudos, Capitão Hermes Volker, pela imensa ajuda e apreso colocados à disposição em todas as visitas técnicas realizadas no local.

Agradeço a Professora Carin pela dedicação nas disciplinas de trabalho de conclusão.

Agradeço aos membros da banca examinadora por aceitarem o convite.

*Earth provides enough to satisfy every man's need,
but not every man's greed.*

Mahatma Gandhi

RESUMO

Com a crescente preocupação com escassez dos recursos hídricos, os sistemas sustentáveis vêm sendo estudados e aprimorados. O intuito, por parte do Presídio Central de Porto Alegre, de economizar grande quantidade de água potável, que é utilizada na limpeza, motivou a realização do trabalho. Neste trabalho foi realizado um levantamento de custos e o projeto de um sistema de reaproveitamento de águas pluviais no Presídio Central de Porto Alegre, prevendo abastecer a demanda de água para limpeza de dois prédios deste complexo. -. O local é propício à instalação do sistema, por se tratar de uma edificação prioritariamente horizontal com grande área de telhados, variável fundamental no dimensionamento do volume de reservação. Para o levantamento de custo deste sistema de reaproveitamento foi realizado um projeto prevendo o abastecimento da demanda de água de limpeza de apenas dois prédios do Presídio. Na revisão bibliográfica são descritos os principais componentes do sistema e as variáveis de dimensionamento do projeto, o que traz o embasamento teórico para realização desse trabalho. A série de precipitação de Porto Alegre utilizada no dimensionamento é diária e possui 53 anos de extensão. O dimensionamento foi realizado com um método de simulação disposto pela NBR 15.527/2007 – Água de Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis – Requisitos. Após uma avaliação técnica do traçado do projeto foram dimensionadas as calhas e condutores horizontais. Para os mesmos foi proposto um sistema utilizando o sistema atual de esgoto pluvial, dimensionando os condutores com uma chuva de 40 mm/hora, apenas a necessária para o funcionamento do sistema sem perda de eficiência o que resultou em uma significativa diminuição do diâmetro das tubulações. Com um levantamento da quantidade de matérias e o custo dos mesmos foi possível obter o custo total do sistema que ficou em R\$ 25.172,26 reais. Foi possível constatar que os custos de reservação englobam 43% por cento dos custos do sistema, sendo o custo dos reservatórios de R\$ 10.715,13.

Palavras-chave: NBR 15.527. Reaproveitamento de Água Pluvial. Projeto e orçamento de instalações para coleta e armazenamento de água da chuva..

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de etapas da pesquisa.....	18
Figura 2 – Hidrograma hipotético de áreas urbanizadas e não urbanizadas.....	22
Figura 3 – Destino das águas de precipitação nas diversas densidades urbanas.....	23
Figura 4 – Precipitação média mensal de Porto Alegre durante período de 1961 a 1990.....	28
Figura 5 – Sistema de calha com tela horizontal.....	29
Figura 6 – Exemplo de um sistema de reaproveitamento de águas pluviais.....	32
Figura 7 – Dimensões de uma cobertura de superfície inclinada com duas águas.....	33
Figura 8 – Filtro <i>Standpipe</i> para descarte das primeiras chuvas.....	36
Figura 9 – Filtro <i>Standpipe</i> com válvula de esfera flutuante para descarte das primeiras chuvas.....	36
Figura 10 – Detalhe do filtro volumétrico.....	37
Figura 11 – Fachada da entrada do Presídio Central de Porto Alegre.....	42
Figura 12 – Croqui do Presídio Central de Porto Alegre Destaque dos Principais Prédios.....	43
Figura 13 – Destaque dos Prédios do Presídio Central abordados no projeto.....	44
Figura 14 – Vista Lateral do prédio da oficina.....	44
Figura 15 – Média mensal na cidade de Porto Alegre da série obtida.....	45
Figura 16 – Curva eficiência versus volume de reservação.....	47
Figura 17 – Custo de reservatórios de fibra de vidro e concreto armado.....	48
Figura 18 – Traçado do sistema.....	49
Figura 19 – Frequência de chuva acumulada.....	53
Figura 20 – Distribuição de água pluvial.....	56
Figura 21 – Detalhes de um filtro de descarte.....	57
Figura 22 – Custos em percentual do sistema.....	60
Figura 23 – Curva ABC.....	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros de qualidade de água de chuva pra fins restritivos não potáveis.....	29
Quadro 2 – Vantagens e desvantagens da utilização de tanques ou cisternas.....	38
Quadro 3 – Frequência de Manutenção.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção hídrica do mundo por região.....	21
Tabela 2 – Produção hídrica no Brasil por região.....	21
Tabela 3 – Consumo de água residencial na Alemanha no ano 1998.....	31
Tabela 4– Demanda estimada.....	46
Tabela 5 – Capacidade de calhas semicirculares com coeficiente de rugosidade n = 0,011 (vazão em L/min).....	51
Tabela 6 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões L/min).....	52
Tabela 7 – Perdas singulares no recalque.....	55
Tabela 8 – Tabela do fornecedor da bomba de recalque.....	55
Tabela 9 – Tabela simplificada dos resultados das pressões na distribuição.....	57
Tabela 10 – Quantitativos e Preços.....	59
Tabela 11 – Itens com custo mais elevado do sistema.....	60

LISTA DE SIGLAS

DEP – Departamento de Esgoto Pluvial

Inmet – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

NBR – Norma Brasileira

pH – Potencial de Hidrogênio

PVC – Cloreto de Polivinila

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Sinapi – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

LISTA DE SÍMBOLOS

A = área de captação (m^2)

a = largura da água da cobertura (m)

h = altura da cobertura (m)

b = comprimento da cobertura (m)

V = volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável (m^3)

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

A= área de coleta (m^2)

C = coeficiente de escoamento superficial da cobertura (adimensional)

n = 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 (adimensional)

Q = vazão de projeto (L/min)

I = intensidade de chuva (mm)

T = tempo de retorno (anos)

t = duração da chuva (min)

d = diâmetro (m)

X = tempo de funcionamento da bomba (h)

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
2.2.2 Objetivo Secundário	16
2.3 PRESSUPOSTOS	16
2.4 PREMISA	17
2.5 DELIMITAÇÕES	17
2.6 LIMITAÇÕES	17
2.7 DELINEAMENTO	17
3 RECURSOS HÍDRICOS	20
3.1 DISPONIBILIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS	20
3.2 DRENAGEM URBANA	22
3.3 LEGISLAÇÃO	24
4 USO DE ÁGUAS PLUVIAIS	27
4.1 HISTÓRICO DE USO	28
4.2 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DE CHUVA	28
4.3 QUALIDADE DE ÁGUA DE CHUVA	29
4.4 PREVISÃO DE CONSUMO PRA FINS NÃO POTÁVEIS	30
4.5 SISTEMA DE REAPROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	31
4.5.1 INSTALAÇÕES	31
4.5.1.1 Captação	32
4.5.1.1.1 <i>Área de captação</i>	32
4.5.1.1.2 <i>Calhas e condutores</i>	34
4.5.1.2 Filtragem	35
4.5.1.3 Armazenamento	37
4.5.1.3.1 <i>Dimensionamento e custos de reservatórios</i>	39
4.5.1.3.2 <i>Dispositivos utilizados em reservatório.</i>	39
4.5.1.4 Distribuição	40
4.5.2 MANUTENÇÃO	40
5 CASO ESTUDADO	42
5.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO.....	43

5.1.1 Série de Chuvas.....	44
5.1.2 Demanda.....	45
5.1.3 Área de Captação.....	46
5.2 DIMENSIONAMENTO DOS COMPONENTES DO SISTEMA.....	46
5.2.1 Reservatório de armazenamento.....	46
5.2.2 Traçado e condutores horizontais.....	48
5.2.2.1 Calhas.....	50
5.2.2.2 Condutores horizontais.....	51
5.2.3 Tubulações e bombas da recalque.....	55
5.2.4 Filtro de descarte das primeiras águas de chuva.....	56
5.2.5 Tubulações de distribuição.....	56
6 ANÁLISE DE CUSTOS.....	58
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
REFERÊNCIAS	62
APÊNDICE A	64
APÊNDICE B	65
ANEXO A	67

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população e as dificuldades existentes para uma correta gestão dos recursos hídricos aumentam a preocupação quanto à disponibilidade de água para as gerações futuras. A sustentabilidade da água deve se tornar foco dos governos viabilizando água em quantidade e com qualidade para todos.

Uma das principais medidas que pode ser adotada é a diminuição da demanda através de medidas de conscientização do uso racional da água pela população e aumento da eficiência de seu uso. Tomaz (2003, p. 17) reforça que “O aumento da eficiência do uso de água irá liberar os suprimentos de água para outros usos, tais como o crescimento da população, o estabelecimento de novas indústrias e a melhora do meio ambiente.”.

Diferentes medidas vêm sendo tomadas há tempo para minimizar os efeitos de escassez de água, tanto na escala de distribuição de água potável dos sistemas públicos como nas edificações. Tais medidas visam à melhoria tecnológica para evitar perdas, diminuir o consumo e possibilitar a reutilização de água de fontes alternativas, como reaproveitamento de águas cinzas, pluviais e geradas por condensadores.

Sobre aproveitamento de água da chuva, Alves et al. (2008, p. 99) cita alguns benefícios:

- a) diminui a demanda de água potável;
- b) pode contribuir na diminuição das vazões pico quando aplicada em larga escala, de forma planejada, em uma bacia hidrográfica;
- c) pode reduzir as despesas com água potável.

O presente trabalho está focado na análise econômica de implementação de um sistema de reaproveitamento de águas pluviais no Presídio Central de Porto Alegre. Para uma contextualização do problema são abordados temas como regimes pluviométricos da cidade de Porto Alegre, dimensionamento de reservatórios para águas pluviais com métodos normatizados e definições de demanda para uso desejado no local do estudo.

A motivação, que surgiu por parte da administração do presídio, vem da preocupação com o elevado gasto de água potável com a limpeza das celas, além da visão de possível redução de

gastos com o serviço de distribuição dessa água. Com esta economia, o investimento de recursos poderá resultar em melhores condições ambientais e de higiene, beneficiando a própria população carcerária.

Foram abordados, neste trabalho, a descrição de sistemas de reaproveitamento de águas pluviais, um breve histórico de sua utilização e a legislação que o rege na localidade em estudo. Estes temas se fazem muito importante para o entendimento do projeto e levantamento de custos realizados no trabalho.

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: qual o custo de implantação de um sistema de reaproveitamento de águas pluviais no Presídio Central de Porto Alegre?

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 do custo de implantação de um sistema de reaproveitamento pluvial no Presídio Central de Porto Alegre.

2.2.2 Objetivo secundário

O objetivo secundário do trabalho é projeto de um sistema de reaproveitamento de águas pluviais no Presídio Central de Porto Alegre.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que o método de simulação de dimensionamento de reservatórios apresentado em anexo da NBR 15.527/2007 – Água de Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis – Requisitos – é considerado válido e é um método utilizado para o cálculo do volume de um reservatório. O método utilizado para dimensionamento dos elementos do sistema de captação abordado pela NBR 10.844/1989 – Instalações Prediais de Águas Pluviais – e o método utilizado para

dimensionamento do sistema de distribuição de água, segundo NBR 5626/1998 – Instalação Predial de Água Fria –, são considerados válidos, para a situação.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa a preocupação com escassez de água potável que deve ser traduzida em ações visando à economia deste bem através de uso racional.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao Presídio Central localizado na cidade de Porto Alegre.

2.6 LIMITAÇÕES

São limitações do trabalho:

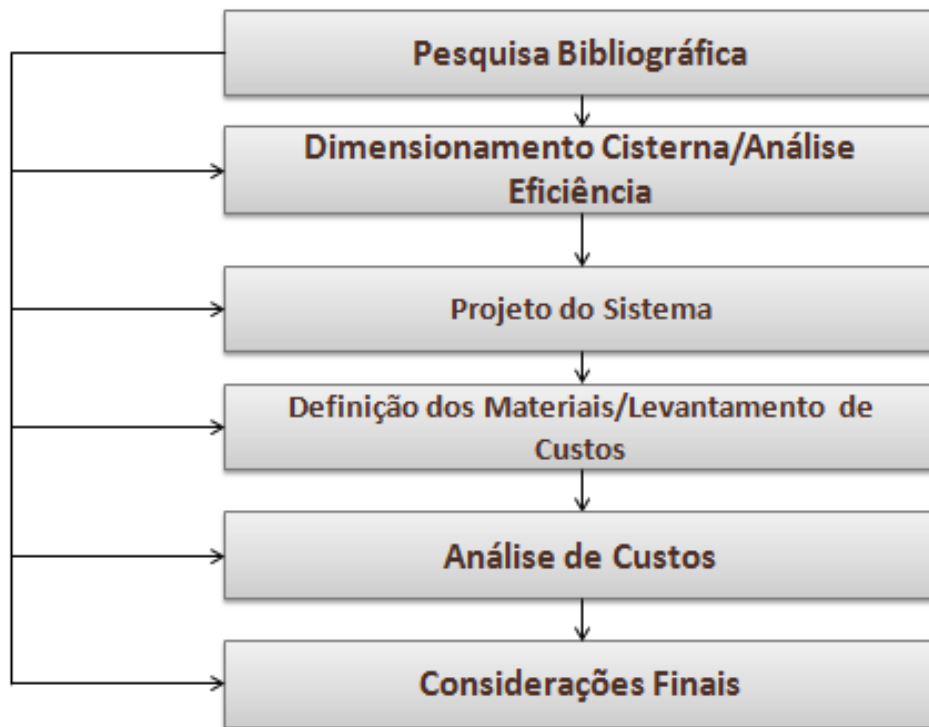
- a) a consideração da área de captação de uma das edificações do conjunto estabelecida por exigência de um representante do presídio;
- b) o uso de uma única série diária de chuva de 52 anos (1961 à 2012) de Porto Alegre para os cálculos de oferta de água de chuva;
- c) os custos estimados para o sistema correspondem à cidade de Porto Alegre;
- d) o desenvolvimento de um projeto básico das instalações;
- e) os custos não incluem mão de obra, pois estes operários prestam serviços no local de estudo.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas descritas a seguir, apresentadas em forma esquemática na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) dimensionamento da cisterna e análise de eficiência da mesma;
- c) projeto do sistema;
- d) definição dos materiais e levantamento de custos;
- e) análise de custos;
- f) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama de etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Na etapa de pesquisa bibliográfica foram abordados temas como: situação atual dos recursos hídricos, reaproveitamento de águas para fins não potáveis, legislação sobre o tema, método de simulação para dimensionamento do volume de reservação, principais elementos e características de um sistema de aproveitamento de águas pluviais.

A etapa dimensionamento do reservatório consistiu, primeiramente, em definições dos parâmetros básicos do projeto, como área de captação de água pluvial e definição das perdas de projeto. Posteriormente, foi realizada entrevista para obtenção das características do local, necessidades a serem atendidas e a demanda estimada que o Presídio Central deseja suprir com o projeto de reaproveitamento de águas pluviais.

A partir dos dados de chuva para local, a área de captação e a demanda foram elaborados gráficos de volumes de reservação *versus* garantia de atendimento. Esses gráficos foram apresentados aos representantes do presídio para auxílio a tomada de decisão enquanto ao tamanho da cisterna.

Na próxima etapa foram realizadas diferentes propostas de traçado do sistema e então dimensionados os diferentes componentes do sistema de reaproveitamento de água de chuva

incluindo a captação, recalque e distribuição da água. Na penúltima etapa foram estimados os custos do sistema proposto. A última etapa do trabalho está dedicada às considerações finais.

3 RECURSOS HÍDRICOS

Atualmente, os recursos hídricos têm tido atenção especial por parte da população, devido à sua disponibilidade. Sabe-se que os recursos hídricos não são uniformemente distribuídos no Planeta tornando algumas áreas mais suscetíveis à sua escassez. Este capítulo trata da disponibilidade dos recursos hídricos e a sua gestão por parte governamental. Nos itens a seguir, são apresentados o panorama mundial e do Brasil, bem como aspectos relacionados a drenagem urbana e a legislação sobre o tema.

3.1 DISPONIBILIDADE DE RECURSOS HÍDRICOS

A situação mundial frente à disponibilidade de recursos hídricos é um problema, Gonçalves (2009, p. 22) afirma que:

[...] essa é também uma realidade brasileira: apesar da grande disponibilidade bruta de recursos hídricos no país, diversas regiões se encontram atualmente sob estresse hídrico. Tanto quanto em outras regiões do mundo, a escassez pode ser origem quantitativa, decorrente de períodos de maior escassez hídrica, ou de origem qualitativa, resultante, por exemplo, de modificações da qualidade da água pela poluição.

Tomaz (2003, p. 19-20) apresenta como é a distribuição hídrica no mundo:

No mundo, 97,5% da água é salgada. Água doce somente corresponde a 2,5%. Porém 68,9% da água doce estão congelados nas calotas polares do Ártico, Antártica e nas regiões montanhosas.

A água subterrânea compreende 29,9% do volume da de água doce do planeta. Somente 0,266% da água doce representa toda a água dos lagos rios e reservatórios (significa 0,007% do total de água doce e salgada existente no planeta).

O restante da água doce esta na biomassa e na atmosfera sob forma de vapor.

A tabela 1 mostra a produção hídrica gerada pela chuva no mundo dividida por regiões, estando a América do Sul em segundo lugar. Tomaz (2003, p. 20) indica que na América do Sul, o Brasil representa 53% da produção hídrica com valor médio de 177.900 m³/s. Na tabela 2, é apresentada a produção hídrica no Brasil por região, sendo destacada a região Sul, a qual possui 7% do total.

Tabela 1 – Produção hídrica do mundo por região

Regiões do Mundo	Vazão Média (m ³ /s)	Porcentagem (%)
Ásia	458.000	32%
América do Sul	334.000	23%
América do Norte	260.000	18%
África	145.000	10%
Europa	102.000	7%
Antártida	73.000	5%
Oceania	65.000	4%
Austrália e Tasmânia	11.000	1%
Total	1.448.000	100%

(fonte: adaptado de TOMAZ, 2003, p. 21)

Tabela 2 – Produção hídrica no Brasil por região

Regiões do Brasil	Vazão Média (km ³ /ano)	Porcentagem (%)
Norte	3845,5	69%
Nordeste	186,2	3%
Sudeste	334,2	6%
Sul	365,4	7%
Centro-Oeste	878,7	16%
Total	5610	100%

(fonte: adaptado de TOMAZ, 2003, p. 21)

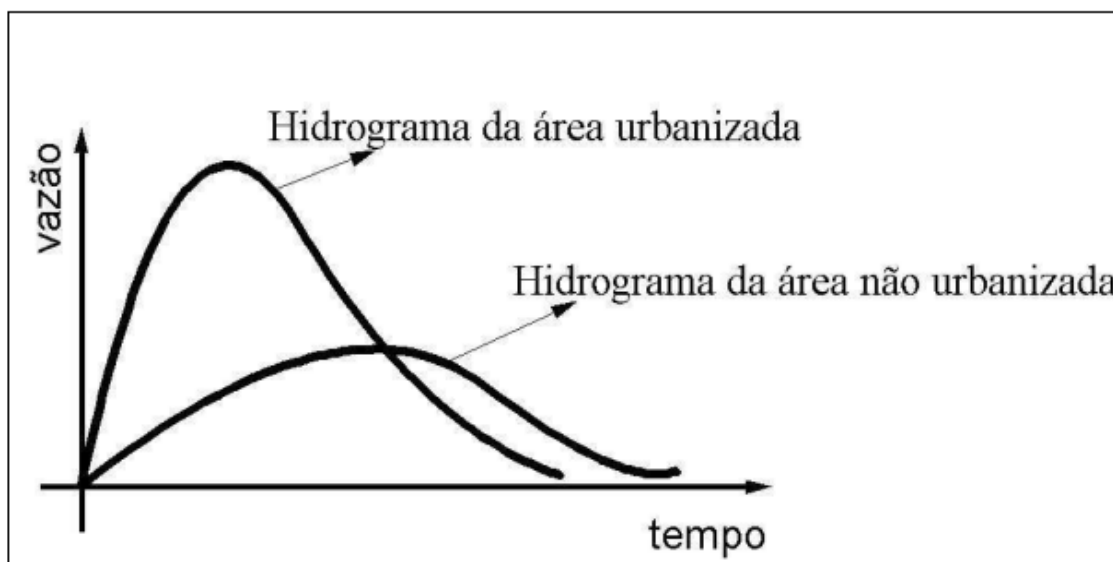
Gonçalves (2009, p. 26) explica:

O consumo de água residencial inclui tanto uso interno quanto o uso externo às residências. As atividades de limpeza e higiene são as principais responsáveis pelo uso interno, enquanto o externo deve-se à irrigação de jardins, lavagem de áreas externas, lavagem de veículos e piscina, entre outros. Estudos realizados no Brasil e no exterior mostram que dentro de uma residência o maior consumo de água concentra-se na descarga dos vasos sanitários, na lavagem de roupas e nos banhos. Em média, 40% do total de água consumida em uma residência são destinados aos usos não potáveis.

3.2 DRENAGEM URBANA

Com o surgimento dos grandes centros urbanos, as superfícies das cidades têm se tornado cada vez mais impermeáveis, fazendo com que grande parte da água da chuva, que antes poderia infiltrar no solo, escoe pela superfície. Juntamente com a remoção de vegetação, ocorre um aumento do coeficiente de escoamento nas superfícies, tendo como consequência problemas relacionados com a drenagem urbana como, por exemplo, as enchentes. Outras causas também estão relacionadas como a consciência da população quanto ao lixo e entupimento de bueiros. A figura 2 apresenta um diagrama hipotético de como se comporta a vazão das águas de chuva em áreas urbanizadas e não urbanizadas.

Figura 2 – Hidrograma hipotético de áreas urbanizadas e não urbanizadas



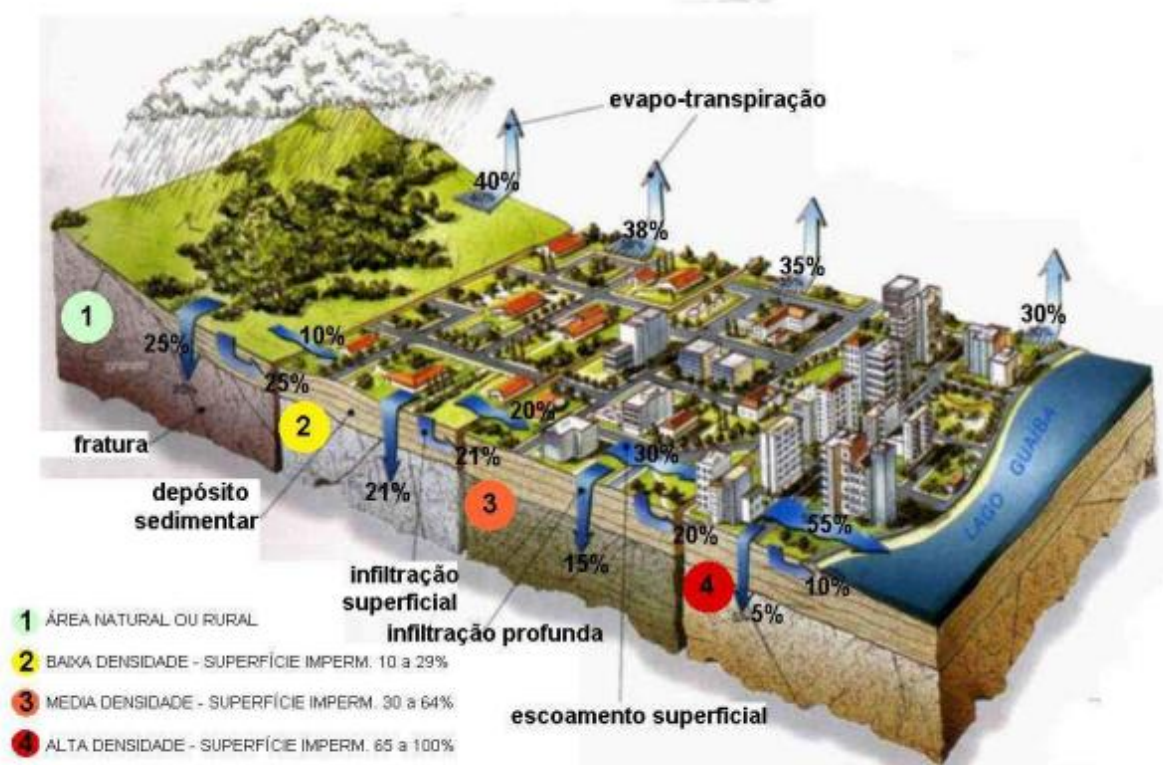
(fonte: TUCCI¹ et al., 1995, p. 35 apud MANO, 2004)

Segundo Mano (2004, p. 34), “[...] o balanço hídrico em uma bacia altera-se com o aumento do volume de escoamento superficial e com a redução da recarga natural dos aquíferos e evapotranspiração.”. Menegat et al.² (1988 apud MANO, 2004, p. 34) apresenta uma ilustração (figura 3) que demonstra essas alterações, considerando apenas as entradas d’água pela precipitação.

¹ TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. (Org.) **Drenagem Urbana**. 1. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade, 1995.

² MENEGAT, R.; PORTO, M. L.; CARRARO, C. C.; FERNANDES, L. A. D. (Coord.) **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1988.

Figura 3 – Destino das águas de precipitação nas diversas densidades urbanas



(fonte: MENEGAT³ et al., 1988 apud MANO, 2004, p. 34)

Tucci⁴ et al. (1995 apud MANO, 2004, p. 37) apresentam dados que mostram um gasto de um bilhão de dólares anuais, no Brasil, com as enchentes urbanas e rurais. Outro dado similar mostra que nos Estados Unidos estes gastos podem chegar a cinco bilhões de dólares.

Um bom gerenciamento das cidades frente à drenagem urbana e a possível utilização de medidas de controle de escoamento. Embora o sistema de reaproveitamento de águas de chuva não seja originalmente projetado como uma medida de controle de escoamento, este sistema pode contribuir na redução das vazões de pico. O próximo item apresenta a legislação vigente no Brasil sobre aproveitamento de águas de chuva.

³ MENEGAT, R.; PORTO, M. L.; CARRARO, C. C.; FERNANDES, L. A. D. (Coord.) **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, 1988.

⁴ TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. (Org.) **Drenagem Urbana**. 1.ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade, 1995.

3.3 LEGISLAÇÃO

No Brasil, a legislação, no nível da federação, ainda não trata especificamente do reaproveitamento de água da chuva, ficando a cargo dos estados e municípios regulamentarem o seu uso. No futuro, é possível, que existam regulamentações e incentivos quanto ao reaproveitamento de águas pluviais.

Em âmbito nacional, o Decreto Federal n. 24.642 (BRASIL, 1934, p. 13) que trata do Código de Águas, indica:

Art. 102. Consideram-se águas pluviais, as que procedem imediatamente das chuvas.

Art. 103. As águas pluviais pertencem ao dono do prédio onde caírem diretamente, podendo o mesmo dispor delas a vontade, salvo existindo direito em sentido contrário.

[...]

Art. 107. São de domínio público de uso comum as águas pluviais que caírem em lugares ou terrenos públicos de uso comum.

Art. 108. A todos é lícito apanhar estas águas.

Parágrafo único. Não se poderão, porém, construir nestes lugares ou terrenos, reservatórios para o aproveitamento das mesmas águas sem licença da administração.

Em caráter municipal, Porto Alegre já possui o Decreto n. 15731 que tem por objetivo prevenir inundações devido à impermeabilização do solo (PORTO ALEGRE, 2006, p. 1). Este é muito claro quanto a suas especificações:

Art. 1º Toda ocupação que resulte em superfície impermeável, deverá possuir uma vazão máxima específica de saída para a rede pública de pluviais igual a 20,8 l/(s.ha).

§ 1º A vazão máxima de saída é calculada multiplicando-se a vazão específica pela área total do terreno.

§ 2º Serão consideradas áreas impermeáveis todas as superfícies que não permitam a infiltração da água para o subsolo.

§ 3º A água precipitada sobre o terreno não pode ser drenada diretamente para ruas, sarjetas e/ou redes de drenagem excetuando-se o previsto no § 4º, deste artigo.

§ 4º As áreas de recuo mantidas como áreas verdes poderão ser drenadas diretamente para o sistema de drenagem.

§ 5º Para terrenos com área inferior a 600m² e para habitações unifamiliares, a limitação de vazão referida no *caput* deste artigo poderá ser desconsiderada, a critério do Departamento de Esgoto Pluviais - DEP.

Art. 2º Todo parcelamento do solo deverá prever na sua implantação o limite de vazão máxima específica disposto no art. 1º.

Art. 3º A comprovação da manutenção das condições de pré-ocupação no lote ou no parcelamento do solo deve ser apresentada ao DEP (Departamento de Esgoto Pluvial).

§ 1º Para terrenos com área inferior a 100 (cem) hectares, quando o controle adotado pelo empreendedor for o reservatório, o volume necessário do reservatório deve ser determinado através da equação:

$$v = 4,25 AI$$

Onde *v* é o volume por unidade de área de terreno em m³/hectare e *AI* é a área impermeável do terreno em %.

§ 2º O volume de reservação necessário para áreas superiores a 100 (cem) hectares deve ser determinado através de estudo hidrológico específico, com precipitação de projeto com probabilidade de ocorrência de 10% (dez por cento) em qualquer ano (Tempo de retorno = 10 (dez) anos).

O mesmo Decreto cita que a área computada para cálculo do volume de reservação pode ser diminuída caso algumas medidas sejam tomadas, como por exemplo, a utilização de pavimentos permeáveis ou aplicação de trincheiras de infiltração (PORTO ALEGRE, 2006, p. 1). Este Decreto regula a vazão máxima de saída de um lote e indica utilização de reservatório para este fim.

Há alguns anos, a Lei n. 10.506 (PORTO ALEGRE, 2008, p. 3) instituiu o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas, que tem por objetivo promover medidas que visem à conservação, a redução de desperdício e a utilização de fontes alternativas de água para captação e utilização nas edificações. Determinando a utilização de reaproveitamento de águas das chuvas, a Lei define:

Art. 7º O reaproveitamento das águas destina-se a diminuir a demanda de água, aumentando as condições de atendimento e reduzindo a possibilidade de inundações.

Art. 8º As ações de reaproveitamento das águas compreendem basicamente:

I - a captação, o armazenamento e a utilização de água proveniente das chuvas; e

II - a captação, o armazenamento e a utilização de águas servidas.

Art. 9º A água das chuvas será captada na cobertura das edificações e encaminhada a uma cisterna ou tanque para ser utilizada em atividades que não requeiram o uso de água potável proveniente do Serviço de Abastecimento Público de Água, tais como a lavagem de roupas, vidros, calçadas, pisos, veículos e a irrigação de hortas e jardins.

Art. 10 As águas servidas serão captadas, direcionadas por meio de encanamento próprio e conduzidas a reservatórios destinados a abastecer as descargas de vasos sanitários ou mictórios.

Como um sistema de reaproveitamento de águas pluviais pode beneficiar indiretamente toda uma população, medidas de incentivo podem ser propostas pelo governo. Em cidades como Hamburgo, na Alemanha, é concedida ajuda financeira de cerca de US\$ 1.500,00 a US\$ 2.000,00 a quem aproveitar a água de chuvas. Também, na Califórnia, são oferecidos financiamentos para construção de captação de água de chuva, e o mesmo acontece no Japão (TOMAZ, 2003, p. 26).

Muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas na área de uso de águas pluviais, tornando este ambiente favorável a projetos de maior eficiência e segurança. No próximo capítulo, é apresentado um breve histórico do sistema e os parâmetros básicos de dimensionamento do mesmo.

4 USO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Historicamente, águas pluviais são utilizadas como fonte de abastecimento para diversas populações. Alguns locais possuem este sistema com tecnologia mais avançada, enquanto outros ainda não tiveram um amadurecimento sobre o assunto.

Conforme Gonçalves (2009, p. 5), o aproveitamento de águas pluviais pode ganhar uma maior importância com avanços do conhecimento e da padronização da qualidade das águas para fins não potáveis. Entretanto, considerando apenas o emprego em fins não potáveis, como princípio de precaução, o aproveitamento de águas pluviais vem se tornando uma importante ação para economia e uso racional da água.

Krishina⁵ (2003 apud TEXAS, 2005, p. 1, tradução nossa) aponta as vantagens e benefícios do uso de águas pluviais:

- a) água é de graça, o único custo é para coleta e uso;
- b) o uso final da água reaproveitada é localizado junto à fonte, eliminando a necessidade de complexos e caros sistemas de distribuição;
- c) água de chuva provém de uma fonte de água quando outras fontes são indisponíveis ou inaceitáveis, ou pode ampliar a disponibilidade de outras fontes;
- d) a dureza zero da água de chuva ajuda prevenir manutenção em equipamentos, estendendo o seu uso;
- e) elimina o uso de neutralizantes e sais adicionados durante o processo de neutralização da água;
- f) água da chuva é livre de sódio, importante para pessoas em dietas com baixos percentuais de sódio;
- g) água da chuva é superior para utilização em irrigação de vegetações;
- h) reaproveitamento de águas de chuvas reduz picos de inundações e também reduz fonte não pontual de poluição;
- i) sistema de reaproveitamento de águas de chuva ajuda na redução pico demanda de água no verão e adia a expansão de centrais de tratamento de água;
- j) reduz a conta de água dos usuários.

⁵ KRISHNA, H. **An overview of rainwater harversting systems and guidelines in the United States**. In: AMERICAN RAINWATER HAVERSTING CONFERENCE, 1st, 2003, Austin, Texas. **Proceedings...** Austin: American Rainwater Catchment Systems Association, 2003. Outras informações não foram disponibilizadas.

4.1 HISTÓRICO DE USO

Diversos casos históricos de utilização de águas pluviais são relatados na literatura. Segundo Tomaz (2003, p. 25), “Um das inscrições mais antigas do mundo é a conhecida Pedra Moabita, encontrada no Oriente Médio, datada de 850 a. C. Nela, o rei Mesha dos Moabitas sugere que seja feito um reservatório em cada casa para reaproveitamento de água de chuva.”.

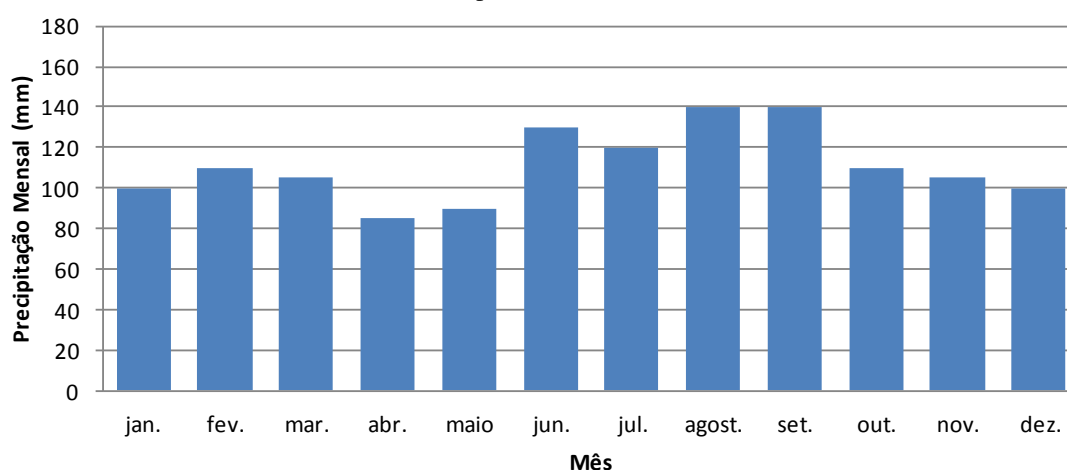
Conforme Tomaz (2003, p. 26), na Alemanha:

[...] o aproveitamento da água de chuva é destinado à irrigação (jardins), descarga de bacias sanitárias, máquinas de lavar roupa e uso comercial e industrial e vem sendo feito desde o ano de 1980. Sempre a água de chuva é usada para fins não potáveis.

4.2 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA DE CHUVA

A oferta de água de chuva é função da distribuição das precipitações ao longo do ano nas cidades. A figura 4 apresenta a precipitação média mensal, de Porto Alegre, durante o período de 1961 a 1990. Dados mensais ou diários são utilizados como *input* no método de simulação utilizado para dimensionamento de um reservatório. Porto Alegre possui uma distribuição anual de chuva mais uniforme que outras cidades do Brasil, sendo mais favorável a utilização de sistemas de reaproveitamento.

Figura 4 – Precipitação média mensal de Porto Alegre durante o período de 1961 a 1990



(fonte: adaptado de BRASIL, 2001)

4.3 QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA

Segundo a NBR 15.527, os padrões de qualidade da água devem ser definidos pelo projetista, levando em consideração a utilização final prevista. Para usos não potáveis mais restritivos, deve-se utilizar o quadro 1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 4).

Quadro 1 – Parâmetros de qualidade de água de chuva para fins restritivos não potáveis

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre*	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,9 uT**, para usos menos restritivos < 5 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH***
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a ,80 no caso de tubulações de aço carbono ou galvanizado
NOTA Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.		
* No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção		
** uT é a unidade de turbidez.		
*** uH é a unidade Hazen.		

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 2)

Segundo Tomaz (2003, p. 37), a qualidade da água de chuva pode ser simplificada em quatro etapas:

- a) antes de atingir o solo;
- b) após escorrer pelo telhado;
- c) dentro do reservatório;
- d) no ponto de uso.

Após escorrer pelo telhado, a água pode se contaminar com, por exemplo, fezes de animais, poeiras, folhas de árvores. Por este motivo, é aconselhável a utilização de telas, equipamentos de descarte das primeiras águas de chuva, filtros volumétricos. Para qualidade dentro de reservatórios, devem-se tomar algumas precauções como: manutenção, evitar entrada de luz, a tampa de inspeção deve ser hermeticamente fechada, a saída do extravasor deve conter grade para evitar a entrada de pequenos animais (TOMAZ, 2003, p. 37). A figura 5 mostra um

exemplo de sistema de calha com tela de proteção horizontal, que serve como filtro para esta água recém escoada pelo telhado.

Figura 5 – Sistema de calha com tela horizontal



(fonte: MANO, 2004, p. 57)

Como no Brasil não são estabelecidas regras concretas de qualidade, Tomaz (2003, p. 45) cita que no Japão foram estabelecidas regras para água no ponto de uso, que é geralmente a bacia sanitária. Estas exigências são relacionadas a odor, pH, cloro residual, coliformes totais e sólidos em suspensão. No Japão, a exigência de cloro residual está se tornando prática corrente.

4.4 PREVISÃO DE CONSUMO PRA FINS NÃO POTÁVEIS

Conforme Tomaz (2003, p. 51), existem maneiras de estimar o consumo de água em uma edificação usando parâmetros de Engenharia. Porém, é necessário um grande volume de informações, que nem sempre estão disponíveis.

O mesmo autor propõe uma alternativa de estimativa, explicando que o consumo médio residencial na Alemanha é de 127 L/dia.habitante, muito semelhante ao Brasil. A tabela 3 apresenta estes dados.

Tabela 3 – Consumo de água residencial na Alemanha no ano 1998

Uso da água	Consumo	
	Litros/habitante	Porcetagem
Água gasta em banho ou chuveiro e para fins higênicos	46	36%
Descarga nas bacias sanitárias	34	27%
Lavagem de roupa	15	12%
Lavagem de pratos	8	6%
Limpeza e lavagem de carro e uso no jardim	8	6%
Pequenos trabalhos	11	9%
Preparação de comida e para beber	5	4%
Total	127	100%

(fonte: KLAUS⁶, 2001 apud TOMAZ, 2003, p. 54)

4.5 SISTEMA DE REAPROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

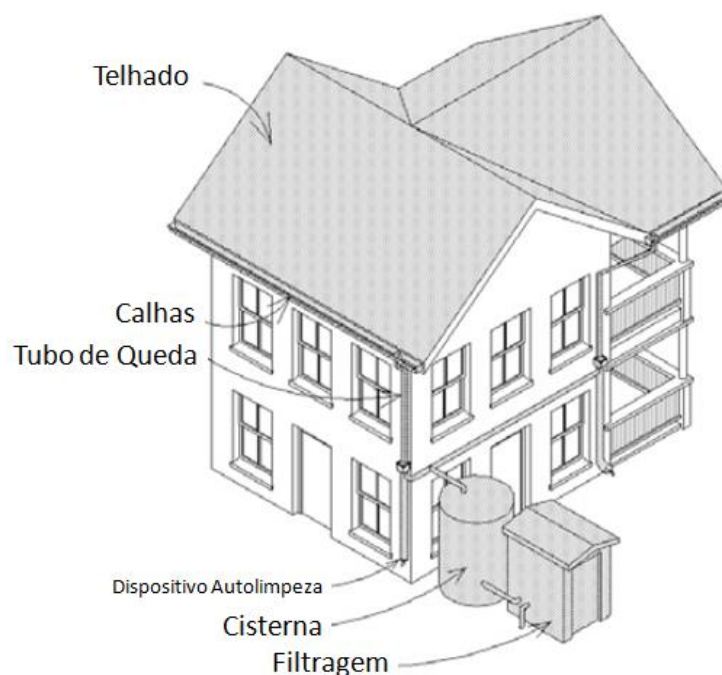
Um sistema de reaproveitamento de água da chuva consiste em uma série de componentes projetados por um profissional responsável, com objetivo de utilização de água de fonte renovável. Os próximos itens descrevem as instalações de um sistema com essa finalidade e o dimensionamento dos principais dispositivos utilizados nestas instalações.

4.5.1 Instalações

As instalações de um sistema de reaproveitamento podem ser divididas em equipamentos de: captação, filtragem, armazenamento e distribuição. Em grande parte dos sistemas implantados a captação é realizada através das coberturas dos edifícios. A figura 6 apresenta um sistema de reaproveitamento de águas pluviais em que a captação é feita no telhado e a água é conduzida até o reservatório para armazenagem através de calhas. Nos próximos itens são abordados especificamente cada subdivisão de instalação deste sistema.

⁶ KLAUS, W. **The Rain Water Technology Handbook**: rain haversting in buildings. Dortmund, De: Wilo-brain, 2001.

Figura 6 – Exemplo de um sistema de reaproveitamento de águas pluviais



(fonte: adaptada de TEXAS, 2005, p. 5)

4.5.1.1 Captação

Geralmente, a captação da água de chuva é feita por telhados das casas, edifícios de múltiplos pavimentos ou industriais.

Para o cálculo do volume armazenado em um evento de chuva é preciso definir a área de captação. Nos próximos itens são abordados esses temas, além da definição e descrição dos condutores verticais e horizontais.

4.5.1.1.1 Área de Captação

Segundo NBR 15.527, a área de captação a ser utilizada no dimensionamento do reservatório de um sistema de reaproveitamento de águas de chuva é definida por “[...] área, em metros quadrados, projetada na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 2).

Conforme a NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 5), a área de contribuição que deve ser utilizada no dimensionamento de calhas, condutores verticais e horizontais para um telhado tradicional com superfície inclinada, como apresentado na figura 7, é dada pela fórmula 1:

(fórmula 1)

Onde:

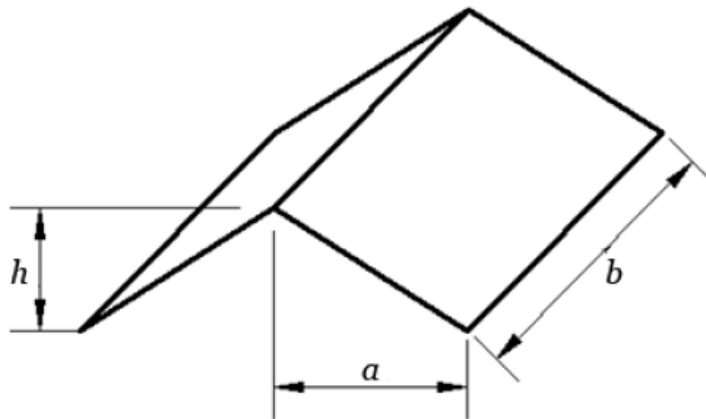
A = área de captação;

a = largura da água da cobertura;

h = altura da cobertura;

b = comprimento da cobertura.

Figura 7 – Dimensões de uma cobertura de superfície inclinada com duas águas



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

Segundo a NBR 15.527, o volume de água de chuva aproveitável depende do coeficiente de escoamento superficial da cobertura, bem como da eficiência do sistema de descarte do escoamento inicial, sendo calculado pela seguinte fórmula (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 2):

(fórmula 2)

Onde:

V = volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável (m^3);

P = precipitação média anual, mensal ou diária (mm);

A = área de coleta (m^2);

C = coeficiente de escoamento superficial da cobertura;

= 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.

Segundo Tomaz (2003, p. 79), sobre o volume utilizado e o coeficiente de escoamento superficial da cobertura:

[...] o volume de água de chuva que pode ser aproveitado não é o mesmo que o precipitado. Para isto, usa-se um coeficiente de escoamento superficial chamado de coeficiente de *runoff*, que é o quociente entre a água que escoou superficialmente pelo total de água precipitada. Usa-se a letra C para o coeficiente de *runoff*.

[...]

Portanto, a perda de água de chuva que irá ser considerada é devida à limpeza do telhado, perda por evaporação, perdas na autolimpeza e outras.

Smith⁷ (1984 apud RUSKIN, 2001, p. 12, tradução nossa) sugere valor de coeficiente de *runoff* de 0,85 baseado em sua pesquisa realizada em 1984 na Universidade das Ilhas Virgens. Usualmente, na literatura este coeficiente varia entre 0,7 e 0,9.

4.5.1.1.2 Calhas e condutores

Calhas e condutores fazem parte do sistema de captação de água pluvial conduzindo vertical e horizontalmente a água captada nos telhados até o reservatório para armazenagem. Conforme NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 2), estes componentes devem ser projetados baseados na norma de águas pluviais NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989).

Tomaz (2003, p. 68) complementa que o material das calhas deve ter as seguintes características:

- a) ser resistentes à corrosão;
- b) ter longa durabilidade;
- c) não deve ser afetada por mudanças climáticas;
- d) lisa, leve e rígida;

⁷ SMITH, H. **Effects of various factors on the sizing of rainwater cistern systems**. St Thomas: University of the Virgin Islands, 1984. Technical Report 18th.

4.5.1.2 Filtragem

A filtragem é de suma importância para o aumento da qualidade da água do telhado, pois nele se encontram sujeiras. Esta pode acontecer em diferentes etapas do sistema de reaproveitamento de águas pluviais. O *Texas Water Development Board* (TEXAS, 2005, p. 7, tradução nossa) sugere a utilização de uma série de filtros para remoção dos detritos acumulados na superfície de captação, tanto pra uso potável quando para uso não potável.

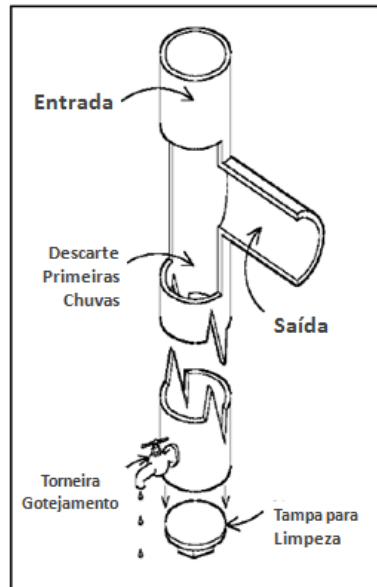
Logo após cair e escoar sobre os telhados, a água da chuva vai em direção aos condutores horizontais (calhas) e, neste instante, já é possível adicionar um tipo de dispositivo para filtragem. De acordo com a NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 2), é exigida a instalação destes dispositivos para remoção de detritos, como grades e telas. Esta solução exige manutenção periódica para o não entupimento das tubulações.

No sistema de condutores, durante o escoamento até o reservatório, pode ser utilizado filtro de descarte das primeiras águas da chuva. Tomaz (2003, p. 7) sugere dispositivos do tipo *by pass* que removem manual ou automaticamente, sem que o homem precise fazer nenhuma operação, a água proveniente dos primeiros instantes de chuva, pois esta contém muita sujeira dos telhados.

O *Texas Water Development Board* (TEXAS, 2005, p. 8, tradução nossa) traz uma regra prática: que sejam descartados no mínimo dez galões (37,85 litros) de água para cada mil pés quadrados (92,9 metros quadrados) de área de captação. Contudo, volumes de limpeza da primeira chuva variam conforme a quantidade de sujeira sobre área de telhado, que é função da quantidade de dias sem chuva, do tipo de detritos, vegetação circundante e temporada.

O dispositivo de descarte das primeiras chuvas mais simples é chamado *standpipe*, e este é demonstrado na figura 8. Um *standpipe* é simplesmente um tubo de PVC com diâmetro de 15 a 20 centímetros. O dispositivo se enche de água primeiramente, e após completamente preenchido permite a continuação da água pelo sistema. Estes dispositivos usualmente possuem a torneira ou furo na extremidade inferior para manutenção, que devem ser feitas a cada evento de chuva. A água de descarte pode ser utilizada para uma pequena irrigação. Este pequeno furo feito no fundo do tubo ou uma torneira fixada na parte lateral levemente aberta permitem que a água vaze gradualmente (TEXAS, 2005, p. 9, tradução nossa).

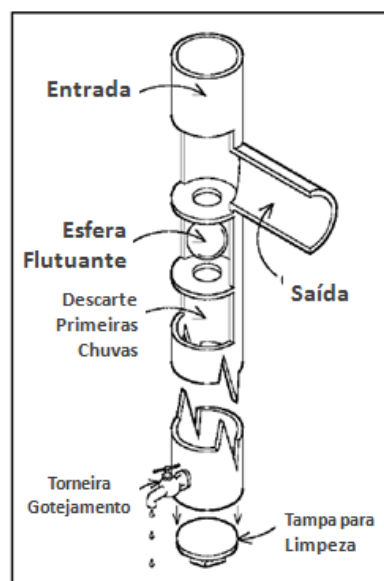
Figura 8 – Filtro *standpipe* para descarte das primeiras chuvas



(fonte: adaptada de TEXAS, 2005, p. 9)

Uma variação do filtro *standpipe*, apresentado na figura 9, possui uma tecnologia mais avançada que o primeiro. Este filtro possui uma válvula de esfera flutuante, que sobe quando este tubo é preenchido, bloqueando a entrada de água no tubo permitindo a continuação da água no sistema (TEXAS, 2005, p. 9, tradução nossa).

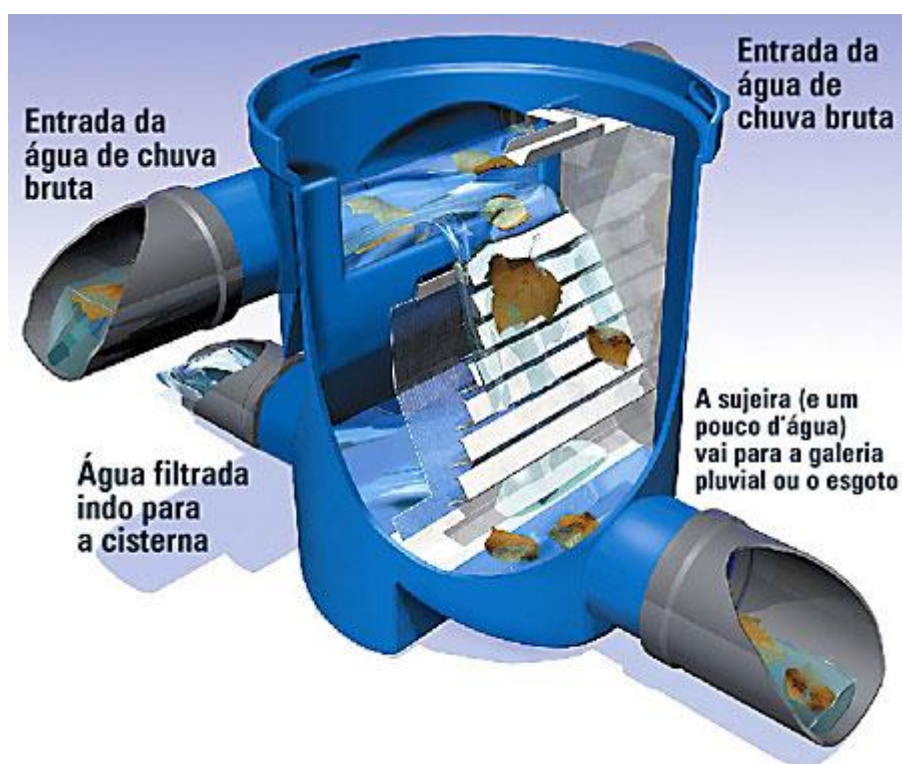
Figura 9 – Filtro *standpipe* com válvula de esfera flutuante para descarte das primeiras chuvas



(fonte: adaptada de TEXAS, 2005, p. 9)

Tomaz (2003, p. 85) também recomenda a utilização de um filtro volumétrico, visto na figura 10, que possui alto grau de eficiência de filtragem, independentemente do volume passante. Suas vantagens são quanto aos intervalos de tempo entre manutenções, que é muito elevado, pois possui um sistema autolimpante. Este dispositivo é facilmente encontrado no Brasil, o que se torna uma vantagem na sua utilização. Este dispositivo deve ser instalado antes da entrada da água no reservatório.

Figura 10 – Detalhes de um filtro volumétrico



(fonte: adaptado de TOMAZ, 2003, p. 86)

4.5.1.3 Armazenamento

O armazenamento de águas pluviais é realizado através de reservatórios. Estes são muito importantes, pois definem a capacidade do sistema e grande parte do custo. Tomaz (2003, p. 103) cita que os mesmos podem ser basicamente de concreto armado, plástico, aço, fibrocimento ou alvenaria de bloco armado e podem estar apoiados, enterrados ou elevados. Usualmente, tanques são chamados os reservatórios elevados e cisternas são chamadas os reservatórios enterrados. O quadro 2 apresenta vantagens e desvantagens da utilização de tanques ou cisternas no projeto de um sistema de reaproveitamento de água de chuva.

Quadro 2 – Vantagens e desvantagens da utilização de tanques ou cisternas

	Vantagens	Desvantagens
Tanques	<ul style="list-style-type: none"> • por estar fora do solo facilita inspeções de rachaduras e vazamentos • facilidade e maior variedade de opções de matérias e tecnologias • fácil construção em materiais tradicionais • pode ser levantado acima do nível do solo, permite o abastecimento por gravidade 	<ul style="list-style-type: none"> • normalmente de custo mais elevado • requer espaço para implantação • mais sujeito à ação do clima • erros são potencialmente mais perigosos
Cisternas	<ul style="list-style-type: none"> • geralmente os custos são menores • requer menor ou nenhum espaço acima do solo desobstruindo-o • permite menos espessura das paredes pois solo auxilia na estruturação 	<ul style="list-style-type: none"> • a extração da água é mais problemática, frequentemente necessitando de bombeamento • rachaduras e vazamentos são mais difíceis de detectar • contaminação do reservatório pelas águas subterrâneas é mais comum • raízes de árvores podem danificar a estrutura • maiores riscos de acidente como crianças e animais caírem dentro do reservatório • atenção ao trânsito de veículos pesados

(fonte: baseado em CURRENT..., 1999)

Em relação ao posicionamento horizontal de um reservatório, o *Texas Water Development Board* (TEXAS, 2005, p. 11), recomenda que o reservatório seja instalado o mais próximo possível das calhas e pontos de consumo, simultaneamente, além de procurar um posicionamento com sombra a fim de evitar condições favoráveis ao crescimento de bactérias e algas, pela ação direta do sol sobre o reservatório de armazenagem.

Os próximos itens discorrem sobre dimensionamento, custos de reservatórios e dispositivos neles utilizados. Algumas recomendações de Norma ainda são salientadas, pois são julgadas fundamentais para um bom entendimento do assunto.

4.5.1.3.1 Dimensionamento e custos de reservatórios

Sobre o dimensionamento do reservatório a NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 2) apresenta a seguinte recomendação:

4.3.5 O volume dos reservatórios deve ser dimensionado com base em critérios técnicos, econômicos e ambientais, levando em conta as boas práticas da engenharia, podendo, a critério do projetista, ser utilizados os métodos contidos no Anexo A ou outro desde que devidamente justificado.

A Norma ainda descreve em seu anexo, sendo reproduzidos no anexo A deste trabalho, diversos métodos para dimensionamento de reservatórios:

- a) de *rippl*;
- b) de simulação;
- c) Azevedo Neto;
- d) prático alemão;
- e) prático inglês;
- f) prático australiano.

Sobre o método de simulação, apresentado neste anexo da Norma, há a indicação que neste método a evaporação da água não deve ser levada em conta, e que, para um determinado mês, aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 2).

Tomaz (2003, p. 104) indica que reservatórios de fibrocimento custavam, em média, US\$ 154,00/m³, enquanto reservatórios feitos em anéis de concreto, cerca de US\$835/m³ e, reservatórios de fibra de vidro, em média US\$ 137,00/m³. Conforme Mano (2004, p. 60), a correta escolha do material, bem como um bom dimensionamento do mesmo, é de grande importância na busca da viabilidade técnico e econômica do sistema.

4.5.1.3.2 Dispositivos utilizados em reservatórios

Tomaz (2003, p. 88-89) cita outros componentes que devem ser incorporados no projeto do reservatório:

- a) boia para sucção de água: “A água a ser retirada do reservatório não pode ser retirada do fundo e, sim, próxima à superfície.”;
- b) extravasor: “O extravasor é feito de polietileno na cor preta e tem diâmetro de 100 milímetros. Existe um sifonamento para manter sempre um fecho hídrico. Na parte externa, existe estrutura de aço para impedir acesso de ratos.”;
- c) peça direcionadora de fluxo: “Feita em polietileno de cor preta. Serve para direcionar o fluxo que os sedimentos depositados no fundo do reservatório sejam removidos com a entrada de água de chuva.”.

4.5.1.4 Distribuição

Na NBR 5626 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 14) tem-se que:

Não deve haver interligação entre tubulação que conduza água fornecida por redes públicas de concessionárias e tubulação que conduza água proveniente de sistema particular de abastecimento (conexão cruzada), seja esta última com água potável ou não.

Segundo NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 4), o sistema de distribuição de água de reaproveitamento deve ser projetado da mesma forma que as instalações prediais de água potável seguindo as orientações da NBR 5626, que traz o assunto de instalações prediais de água fria. A NBR 15.527 traz as seguintes exigências:

As tubulações e demais componentes devem ser claramente diferenciados das tubulações de água potável.

[...]

Os pontos de consumo, como, por exemplo, uma torneira de jardim, devem ser de uso restrito e identificados com placa de advertência com a seguinte inscrição (água não potável) e identificação gráfica.

Os reservatórios de água de distribuição de água potável e de água de chuva devem ser separados.

4.5.2 Manutenção

Todo sistema, para um bom funcionamento, deve ser submetido a manutenções conforme recomendações normativas e dos fabricantes. Um bom projeto deve fornecer um plano de manutenções para os dispositivos visando ao melhor potencial de funcionamento do sistema.

Para determinar como deverão ser feitas as manutenções ou prever os custos gerados pelas mesmas, o projetista pode utilizar a NBR 15.527, que apresenta uma série de recomendações.

O quadro 3 indica os componentes e a frequência de manutenção recomendada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 3).

Quadro 3 – Frequência de manutenção

Componentes	Frequência de Manutenção
Dispositivo e descarte de detritos	Inspeção mensal
	Limpeza trimestral
Dispositivo de descarte do escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, condutores verticais e horizontais	Semestral
Dispositivos de desinfecção	Mensal
Bombas	Mensal
Reservatórios	Limpeza e desinfecção anual

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRAS DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 5)

5 CASO ESTUDADO

O estudo foi realizado no Presídio Central de Porto Alegre, localizado no bairro Aparício Borges. A figura 11 mostra a fachada do prédio administrativo, primeiro prédio após entrada do presídio. O mesmo possui uma população carcerária de 4.300 pessoas distribuídas em sete pavilhões maiores e três menores.

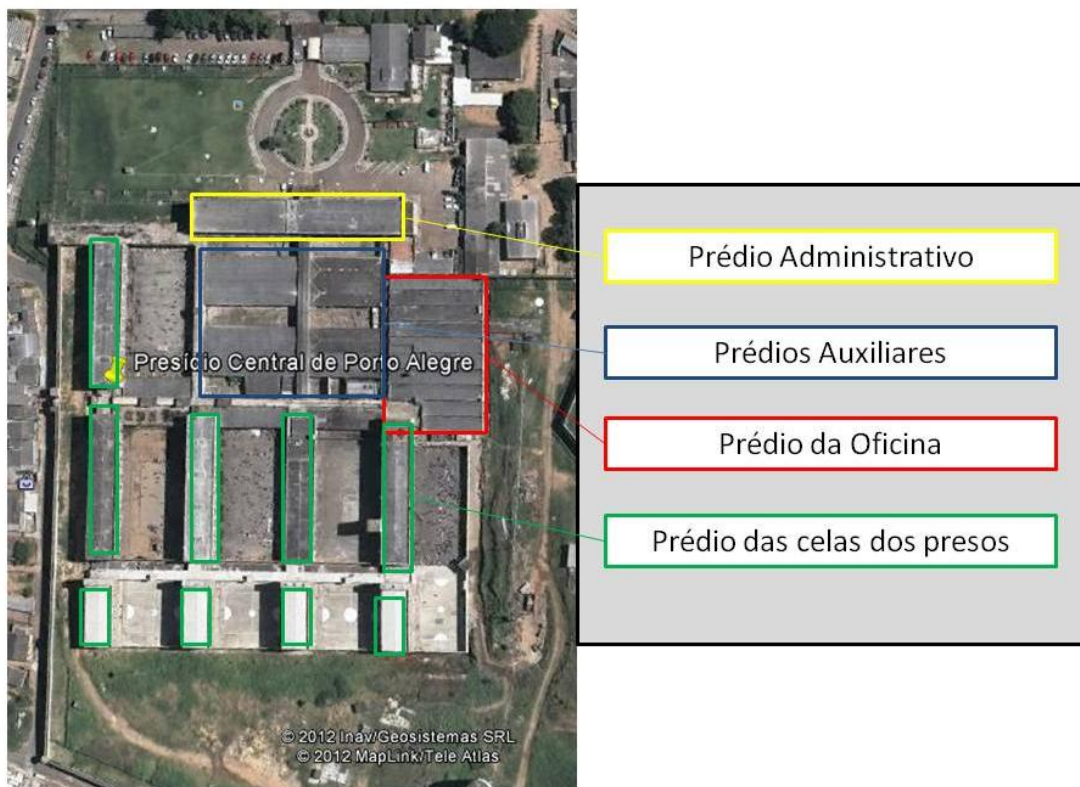
Figura 11 – Fachada da entrada do Presídio Central de Porto Alegre



(fonte: foto do autor)

Os pavilhões que foram previstos no projeto para alimentação com o sistema de reaproveitamento de águas pluviais são o A e F que contém, respectivamente, quinhentas e oitocentas pessoas. A água de demanda do projeto é destinada a limpeza das celas que é realizada duas vezes por semana em cada pavilhão, sempre um dia antes dos dois dias de visita para cada pavilhão. A figura 12 apresenta uma vista do Presídio Central, bem como a denominação de alguns prédios.

Figura 12 – Croqui do Presídio Central de Porto Alegre
Destaque dos Principais Prédios



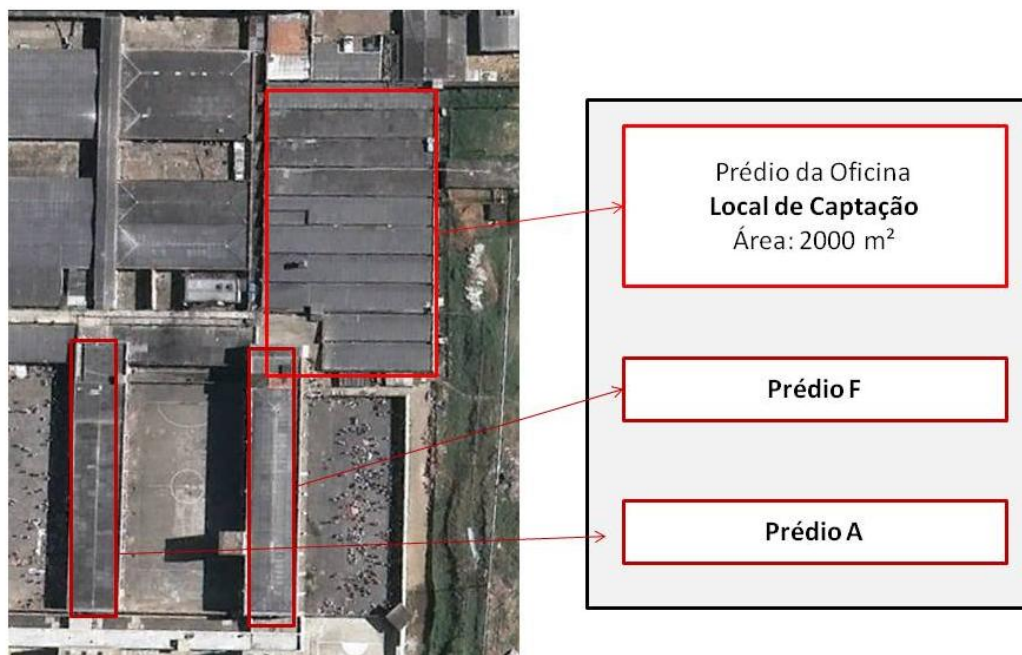
(fonte: baseado de GOOGLE, 2012)

5.1 CARACTERÍSTICAS DO PROJETO

Os próximos itens foram descritos para dar o entendimento sobre desenvolvimento do projeto do sistema de reaproveitamento de águas pluviais, desde a parte de concepção até o dimensionamento dos elementos. A figura 13 apresenta um croqui do Presídio Central de Porto Alegre, destacando o telhado da oficina utilizado como área de captação do projeto e os dois prédios cujas demandas para limpeza de pisos serão atendidas pelo sistema proposto.

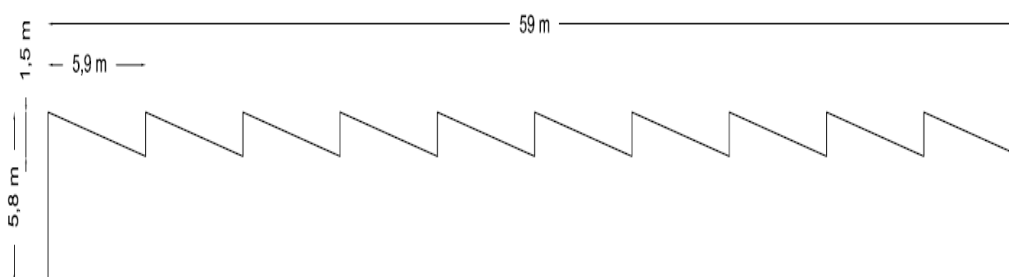
Foi realizado um levantamento das plantas do local, e foi obtida uma planta baixa arquitetônica de presídio. Os prédios englobados no projeto foram desenhados em meio eletrônico no programa *autocad*, porém, devido algumas modificações no presídio ao longo de tempo, medidas foram tomadas no local. A figura 14 apresenta uma vista lateral do prédio da oficina. Nesta é possível observar como é o formato do telhado, com diversas águas com inclinação para o mesmo lado.

Figura 13 – Destaque dos Prédios do Presídio Central abordados no projeto



(fonte: baseado em GOOGLE, 2012)

Figura 14 – Vista lateral direita do prédio da oficina



(fonte: elaborada pelo autor)

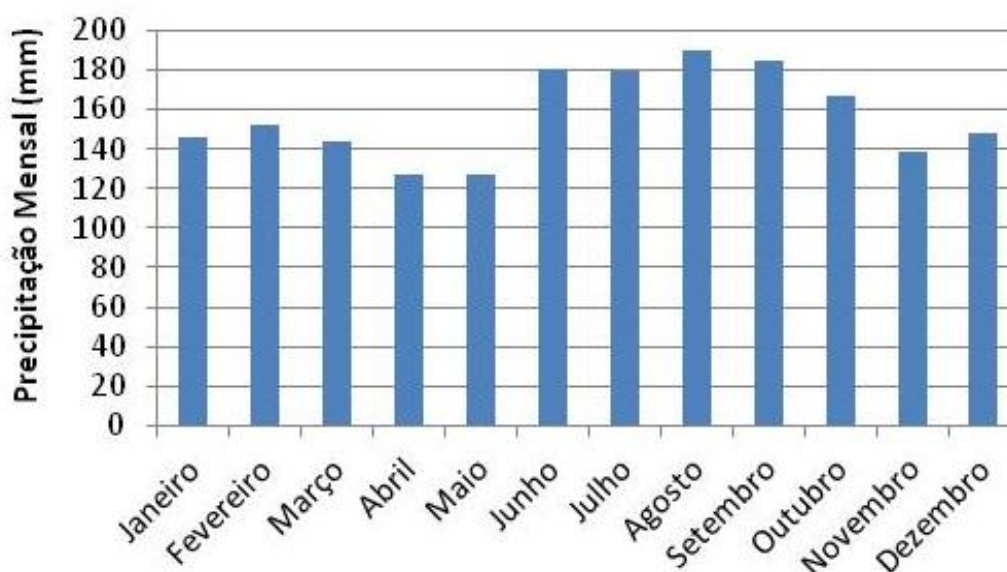
5.1.1 Série de chuvas

A série de chuvas utilizada foi diária com duração de 53 anos (01/02/1961 até 31/08/2012), obtidos da estação pluviométrica denominada Porto Alegre - RS (OMM: 83687) operada pelo Instituto Nacional de Meteorologia. As coordenadas geográficas da estação são:

- a) latitude: -30,05 graus;
- b) longitude: -51,16 graus;
- c) altitude: 46,97 metros.

A série possui uma falha de três anos consecutivos, de 1985 à 1987 e alguns outros dias da série temporal. Portanto, de um total de 18.870, a quantidade de dias considerada na série utilizada é de 17.114 dias. Com o intuito de caracterizar a série de chuva utilizada no desenvolvimento deste trabalho, a figura 15 apresenta valores das médias totais mensais durante os anos de 1961 à 2012. Com esta é possível constatar uma distribuição de chuvas mensal mais uniforme na região do que em outras com climas diversos.

Figura 15 – Media mensal na cidade de Porto Alegre da série obtida



(fonte: elaborada pelo autor)

5.1.2 Demanda

A demanda de projeto foi fornecida pelos responsáveis do Presídio, embasadas na experiência dos mesmos, obtida pela observação da utilização da água pelos presos para limpeza, visto que, os mesmos utilizam reservatórios de duzentos litros de água para captar e levar a água até local de limpeza, facilitando a observação e obtenção da demanda. A demanda estimada é de 20.000 litros por semana para os prédios A e F, sendo estes, divididos em quatro dias da semana, dias que precedem a visita aos presos em cada prédio, ou seja, cada prédio recebe visita duas vezes por semana. A tabela 4 mostra como os dados de demanda foram inseridos no modelo.

Não é possível retirar esta demanda de medições de contas de água, pois o gasto no local inclui diversos usos e é muito elevado, chegando a contas mensais de até R\$ 500.000,00.

Tabela 4 – Demanda estimada

Série	Demanda(Litros)
Dia 1	5000
Dia 2	5000
Dia 3	0
Dia 4	5000
Dia 5	5000
Dia 6	0
Dia 7	0
..	...

(fonte: elaborada pelo autor)

5.1.3 Área de captação

O local escolhido, pelos responsáveis do local, para captação da água no projeto foi prédio da oficina, este é um local mais indicado dentro do universo do presídio, pois as interferências de obras na teriam pouco impacto no cotidiano dos presos, possui uma grande área de cobertura e se localiza em uma parte periférica possibilitando instalação dos reservatórios próximos da área de coleta. A área de captação, utilizada no modelo de dimensionamento do reservatório, foi calculada por projeção resultando em uma área de 2.000 m² (dois mil metros quadrados).

5.2 DIMENSIONAMENTOS DOS COMPONENTES DO SISTEMA

Nos próximos itens, é apresentado o dimensionamento dos componentes do sistema de reaproveitamento de água de chuva. No dimensionamento de reservatório foi realizada ainda uma avaliação de custo para definição do material do mesmo, visando oferecer ao cliente o menor preço final do projeto, a partir de avaliação técnica do tipo do reservatório para o local.

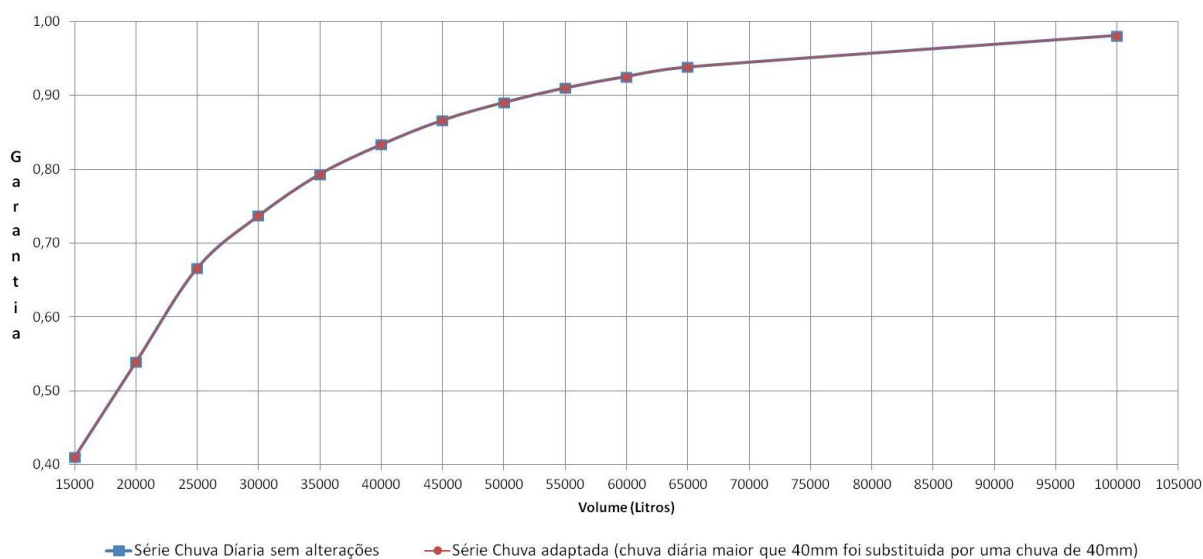
5.2.1 Reservatório de Armazenamento

Foi desenvolvido um modelo, em forma de planilha de *excel*, embasado no método de simulação disposto pela NBR 15.527: água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos. Foi utilizado um coeficiente de perdas de quinze por cento para realização dos cálculos e também que uma precipitação diária inferior a 0,2 milímetros poderia ser descartada, sendo tratada como uma chuva não significativa. A

planilha tem como variável o volume de armazenamento e com ela foi possível elaborar um gráfico de garantia do atendimento da demanda em função deste volume. A garantia de atendimento representa o percentual do tempo em que a demanda é atendida pelo sistema. Na figura 16 é possível analisar os resultados obtidos. O modelo criado na planilha em *excel* para dimensionamento do reservatório utilizou uma série de chuva diária apresentada em item anterior.

Visto na literatura que o reservatório engloba grande parte do custo do sistema, foi realizado o um levantamento de custo para reservatório de fibra de vidro e para reservatório em concreto armado com preços locais de Porto Alegre e elaborado o gráfico apresentado na figura 17. Juntamente com responsáveis do local estes gráficos foram utilizados como tomada de decisão enquanto à escolha do material e volume do reservatório, que foi acertado como 60.000 litros com garantia de 0,93.

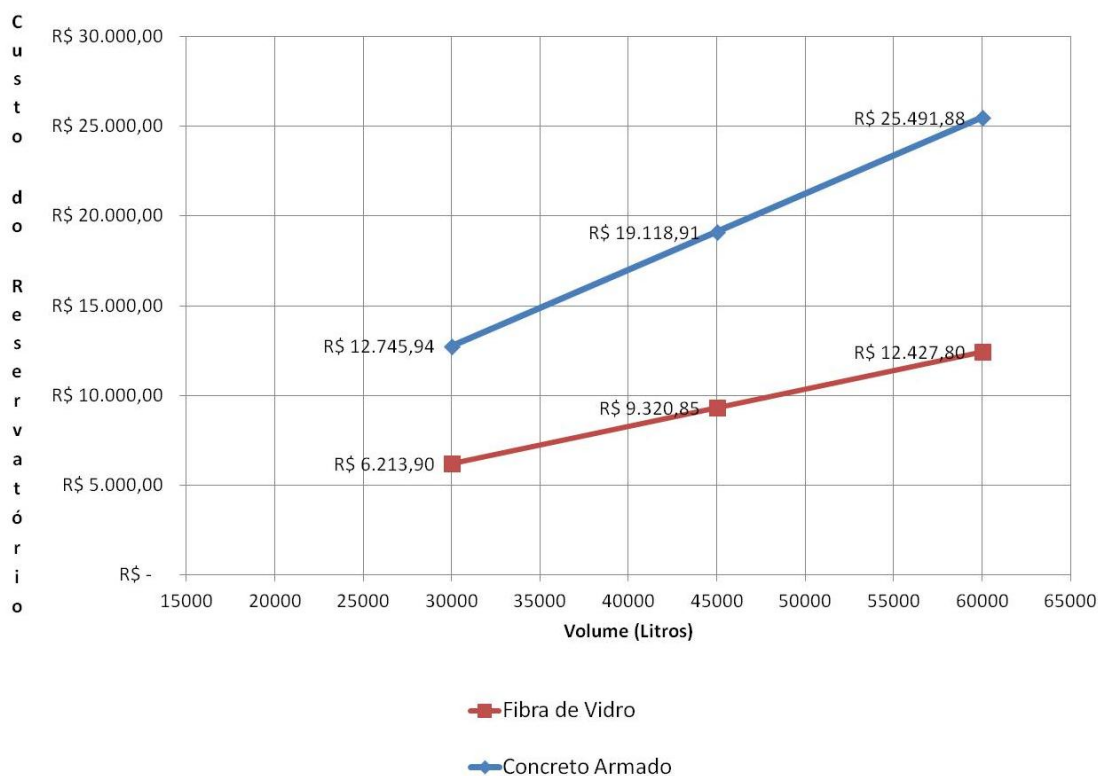
Figura 16 – Curva Eficiência *versus* Volume de Reservação



(fonte: elaborada pelo autor)

Realizando uma análise técnica para decisão do tipo material do reservatório, foram levantadas seguintes vantagens para utilização dos mesmos em fibra de vidro: existe uma área suficiente para implantação, ao lado do prédio de captação da água de chuva, e os mesmos podem ficar ao nível do terreno, pois o prédio possui altura suficiente para a condução da água com inclinação necessária.

Figura 17 – Custo de reservatório de fibra e concreto armado



(fonte: elaborada pelo autor)

5.2.2 Traçado e Condutores horizontais

O traçado do sistema e o dimensionamento dos condutores horizontais são duas caracterizações que estão intimamente ligadas. Conforme se realiza o traçado, diferentes diâmetros de tubulação podem ser obtidos. A figura 18 apresenta um esquema de instalação do sistema de reaproveitamento. No apêndice A, é apresentada a planta de cobertura do sistema, com os diâmetros obtidos, traçado e localização dos equipamentos. O material utilizado no projeto foi metálico para calhas e PVC para demais os condutores.

É possível observar nessa figura que a área de captação foi dividida em duas partes, com objetivo de equilibrar os volumes propagados para o reservatório, realizando a mesma com duas tubulações. Com este traçado, foi calculada a área de captação englobada em cada trecho do traçado. A área de captação, para o dimensionamento dos condutores, foi calculada pela fórmula 3, definida pela NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989).

Figura 18 – Traçado do sistema



(fonte: baseado em GOOGLE, 2012)

(fórmula 3)

Onde:

A = área de contribuição;

a = largura da água da cobertura;

h = altura da cobertura;

b = comprimento da cobertura.

Para cálculo da vazão de projeto, apresentada na fórmula 4, resta a definição da intensidade de chuva, visto que a vazão é estimada pelo método racional. Nos próximos itens é descrito o dimensionamento das calhas e condutores horizontais e o evento de projeto que foi utilizado para o cálculo dos mesmos.

(fórmula 4)

Onde:

Q = vazão de projeto (litros/min);

I = Intensidade pluviométrica (mm/hora);

A = área de contribuição (m²).

5.2.2.1 Calhas

Para o sistema de calhas, o projeto prevê uma adequação do sistema existente, substituindo as calhas metálicas semicirculares atuais com diâmetro aproximado de 150 milímetros por calhas metálicas com 200 milímetros. Isto se dá, devido a sistema atual possuir três condutores verticais de coleta em cada água do telhado. No novo sistema toda água deve ser recolhida para uma extremidade do telhado onde será direcionada para os reservatórios.

A NBR 10.844 Instalações de água pluviais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989) estabelece que as calhas devem ser dimensionadas com um evento de chuva crítico para região com duração cinco minutos e com tempo de retorno cinco anos. A fórmula 5, apresenta a equação da IDF para o bairro no qual o presídio se encontra (TUCCI, 2005, p. 24):

(fórmula 5)

Onde:

I = Intensidade pluviométrica (mm);

T = Tempo de retorno (anos);

t = duração da chuva (min).

A intensidade obtida para tempo de retorno de cinco anos e duração da chuva de cinco minutos foi 156 milímetros/hora. Com o cálculo da vazão de projeto foram dimensionadas as

calhas conforme a tabela 3, de calhas semicirculares, disposta na NBR 10.844 – Instalações de água pluviais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989). O resultado obtido foram calhas com diâmetro de 200 milímetros e declividade de 0,5 por cento, sendo este caimento mínimo permitido por norma, e utilizado no trabalho devido ao comprimento do prédio e localização das calhas.

Tabela 5 – Capacidade de calhas semicirculares com coeficiente de rugosidade $n = 0,011$ (vazão em L/min)

Diâmetro Interno (D) (mm)	Declividades		
	0,5%	1%	2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1.167	1.634

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

5.2.2.1 Condutores horizontais

O sistema atual possui um sistema de condutores de águas pluvial em operação. Foram analisadas duas possíveis soluções, a primeira não considerando no projeto este sistema existente e dimensionando as tubulações captando para os reservatórios o evento de chuva com maior intensidade. Este evento é o mesmo calculado para as calhas, sendo de intensidade de 156 milímetros/hora. Com esta premissa, foram dimensionados os condutores horizontais conforme tabela 4, disposta pela NBR 10.844 - Instalações de água pluviais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989).

O material dos condutores é de PVC, cujo coeficiente de rugosidade é igual a 0,011. Para esta situação, com escolha de inclinação igual a 1%, condizentes com alturas necessárias no projeto foram obtidos diâmetros da ordem de 200 milímetros e 250 milímetros. Tendo em vista que estes diâmetros são de custo mais elevado e não usualmente utilizados em tubulações suspensas, requeridas no traçado do atual projeto, foi proposto um novo cenário de dimensionamento.

Tabela 6 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular (vazões L/min)

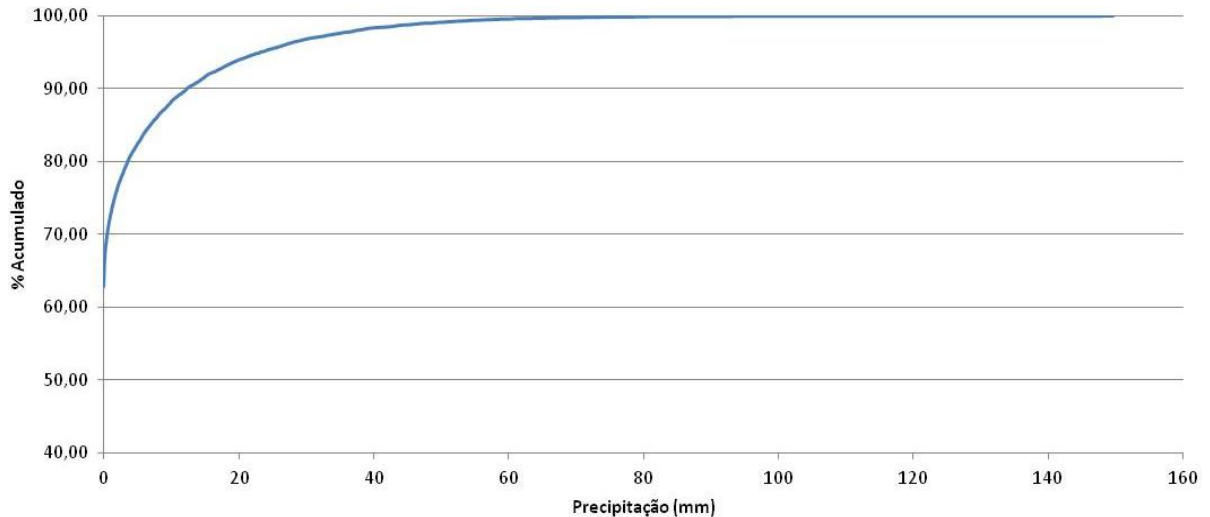
Diâmetro Interno (D) (mm)	n = 0,011				n = 0,012				n = 0,013			
	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	32	35	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
125	370	521	735	1040	339	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	4450	6420	9110

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

A segunda alternativa de dimensionamento, que foi finalmente a escolhida, mantém o sistema atual de águas pluviais em operação ante a ocorrência de eventos de precipitação críticos. Nesse sentido, um dispositivo foi projetado no sistema de forma que quando a intensidade de precipitação superasse os 40 mm/h, o excedente é propagado diretamente para o sistema de águas pluviais e não ingressa ao reservatório de reaproveitamento de águas de chuva. Os condutores horizontais para captação de águas de chuva foram então dimensionados com uma intensidade de precipitação igual a 40 milímetros/h. Este valor foi tomado como suficiente para funcionamento do sistema de reaproveitamento, sem alterar a garantia de atendimento à demanda, embasados nas seguintes análises. Primeiramente foi elaborado um gráfico, apresentado na figura 19, de frequência acumulada da série de totais diários de precipitação onde se observa que o 99% das chuvas diárias são menores a 40 milímetros. Assim, apesar de não conhecer a distribuição temporal desses totais diários, foi considerado como a intensidade de dimensionamento das calhas de captação. Com o objetivo de verificar se esta limitação alteraria as garantias de atendimento das demandas, o modelo de simulação de balanço hídrico do reservatório foi novamente executado, desta vez considerando o descarte do excedente para o sistema de águas pluviais e, em consequência, a sua não entrada ao reservatório de águas pluviais. Os resultados obtidos não mostraram diferença nos gráficos de volume do reservatório *versus* garantia de atendimento da demanda, conforme apresentado na figura 16. Isto significa que nesses dias mais chuvosos o reservatório estaria cheio e o sistema

extravasor em funcionamento, assim, se este volume é descartado antes de ingressar ao reservatório ou no próprio reservatório, não é alterado o atendimento da demanda.

Figura 19 - Frequência acumulada de chuva diária



(fonte: elaborada pelo autor)

5.1.3 Tubulações e bombas de recalque

O local possui um reservatório superior, com aproximados dez metros cúbicos de capacidade, que foi destinado ao sistema de distribuição do projeto de reaproveitamento de águas de chuva, pois há algum tempo foi desativado devido a mudanças que ocorreram no sistema atual de distribuição de água potável.

Para dimensionamento da bomba, foi preciso estimar o diâmetro da tubulação de recalque, através da fórmula 6, denominada fórmula de *Forschherimer*. A vazão de recalque foi inicialmente definida para que, a cada dia, o sistema de recalque fosse capaz de bombear cinco metros cúbicos, a demanda necessária em um dia no projeto, com um tempo de funcionamento de três horas.

(fórmula 6)

Onde:

d = diâmetro (metros);

Q = vazão de recalque (m^3/s).

X = tempo de funcionamento da bomba (horas);

O resultado obtido foi uma tubulação com vinte milímetros de diâmetro. Com este resultado tem-se que estimar a altura manométrica que a bomba deveria vencer utilizando a fórmula 7. A perda de carga total é uma soma das perdas de carga contínua ao longo das tubulações e das perdas de carga localizadas que acontecem nas singularidades. A fórmula 8 apresenta o cálculo da perda de carga unitária em tubulações lisas. Na estimativa das perdas de carga nas singularidades foi adoptado o método dos comprimentos virtuais e os valores dos comprimentos equivalentes associados às diferentes singularidades são apresentados na tabela 7.

(fórmula 7)

Onde:

H_{man} = altura manométrica;

H_g = desnível geométrico;

h_f = perdas de carga.

(fórmula 8)

Onde:

J = perda de carga unitária (kpa/m);

Q = vazão (litros/s);

d = diâmetro da tubulação de recalque (mm).

Foi escolhida bomba do fornecedor Schneider Motobombas. O modelo escolhido foi BC-92 S/T AV, pois possui altura suficiente para o projeto. O método para definição da potência da

bomba foi: definir uma vazão, suficiente para o bombeamento necessário, calcular a altura manométrica resultante e comparar com altura fornecida no catálogo. A tabela 8 apresenta características das bombas do fornecedor. A vazão escolhida foi de 1,80 metros cúbicos por hora para uma potência de dois CV, que resultou em uma altura manométrica de 26,6 metros, condizente com 30 metros estabelecidos pelo fornecedor. O tempo necessário para recalcar a demanda em um dia resultou igual a 2 horas e 45 minutos, aproximadamente.

Tabela 7 – Perdas singulares no sistema de recalque

	Perda de Carga (m)	Qtd.	Qtd. X Perda de Carg
Joelho 90 20mm	1,2	6	7,2
Tê 20mm Passagem Direta	0,8	2	1,6
Tê 20mm	2,7	1	2,7
Registro Gaveta 20mm	0,2	2	0,4
Válvula Retenção 20mm	2,7	1	2,7
Válvula Pé e Crivo 20mm	9,5	1	9,5
		Total	24,1

(fonte: elaborada pelo autor)

Tabela 8 – Características da bomba de recalque

Modelo	Potência (cv)	Mono fásico	Trifásico	Diâmetro Sucção (pol)	Diâmetro Recalque (pol)	Pressão Máxima sem vazão (mca)	Altura Máxima de sucção (mca)	Diâmetro rotor (mm)												
									25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
BC-92 S/T AV	1	x	x	3/4	3/4	76	1	140	0,61	0,56	0,52	0,49	0,45	0,42	0,37	0,31	0,24	0,11		
	2	x	x	3/4	3/4	86	1	150	0,66	0,61	0,56	0,53	0,50	0,47	0,44	0,40	0,36	0,31	0,24	
	2	x	x	3/4	3/4	98	1	157	1,86	1,80	1,75	1,71	1,65	1,59	1,51	1,40	1,25	1,08	0,90	0,70
	3	x	x	3/4	3/4	112	1	154	1,86	1,80	1,75	1,71	1,65	1,58	1,51	1,40	1,25	1,25	1,10	0,84

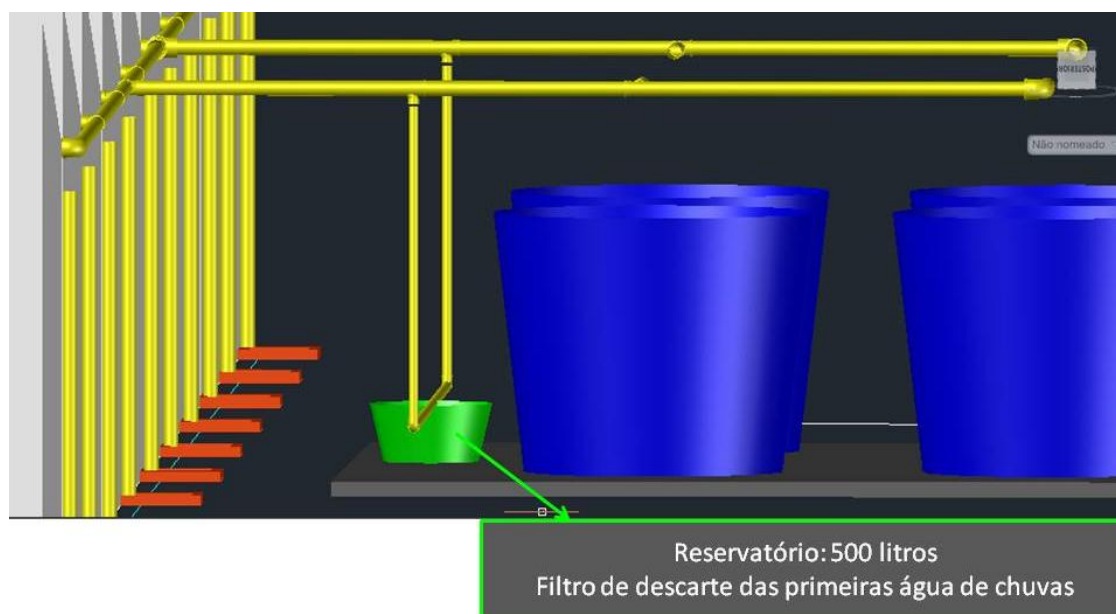
(fonte: baseado em SCHNEIDER MOTOBOMBAS, 2012)

5.1.4 Filtro de descarte das primeiras águas de chuva

Para dispositivo de descarte das primeiras águas de chuva foi atribuído um descarte em projeto de 0,2mm por metro quadrado. A regra resultou em um volume total para a área de captação de quatrocentos litros. Foi adotada uma solução de um único reservatório de descarte para o total da área de captação. A figura 20 mostra uma vista isométrica do projeto do sistema com filtro de descarte. Esta solução foi adotada, pois alternativas foram avaliadas,

mas o descarte para cada calha coletora iria interferir no sistema atual de esgoto pluvial, que por sua vez, deveria continuar no local funcionando como extravasor em caso de uma chuva com intensidade superior a 40 milímetros/hora.

Figura 20 – Detalhe do filtro de descarte do sistema

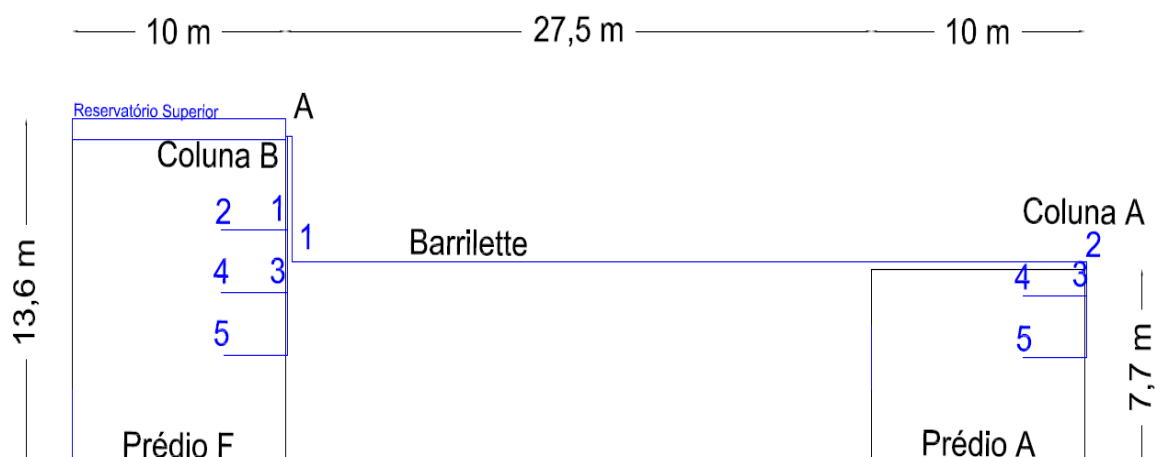


(fonte: elaborada pelo autor)

5.1.5 Tubulações de distribuição

A água da chuva coletada será distribuída para os prédios A e F através de duas tubulações a partir do reservatório existente na parte superior do prédio F. Foi projetada a distribuição com duas saídas do reservatório, uma para distribuição do prédio F e uma para o prédio A. O dimensionamento foi realizado conforme NBR 5626 – Instalações prediais de água fria (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998). A figura 21 apresenta um esquema do projeto da distribuição de água pluvial e a nomenclatura utilizada para o dimensionamento das tubulações.

Figura 21 – Distribuição de Água Pluvial



(fonte: elaborada pelo autor)

A tabela 9 apresenta um resumo dos resultados do dimensionamento. A tabela completa do dimensionamento incluindo as diferentes verificações para atender as exigências da norma encontra-se no apêndice B.

Tabela 9 – Tabela simplificada dos resultados das pressões na distribuição

Barrilete / coluna / ramal	Trecho	Vazão	Diâmetro interno	Diâmetro Nominal	Pressão disponível residual	Pressão requerida no ponto da rede de distribuição	Atendim ento da pressão dinâmica mínima?
			ábac				
(1)	(2)	(l/s) (5)	(mm) (6)	(mm)	(kPa) (17)	(kPa) (18)	
Barrilete A	A -- 1	0,4	25	32	46,56	5,00	ok
	1 -- 2	0,4	25	32	31,34	5,00	ok
Coluna A	2 -- 3	0,4	25	32	44,88	5,00	ok
	3 -- 4	0,4	25	32	42,88	10,00	ok
	3 -- 5	0,2	25	32	64,93	10,00	ok
Coluna B	A -- 1	0,6	25	32	24,44	5,00	ok
	1 -- 2	0,6	25	32	20,37	5,00	ok
	1 -- 3	0,6	25	32	42,12	10,00	ok
	3 -- 4	0,4	25	32	38,35	10,00	ok
	4 -- 5	0,2	25	32	61,93	10,00	ok

(fonte: elaborada pelo autor)

6 ANÁLISE DE CUSTOS

Neste capítulo são apresentados os resultados de levantamento de quantitativos, levantamento de preços e custos totais. O local possui algumas características específicas que devem ser apresentadas para entendimento dos custos finais obtidos.

O orçamento foi realizado com preços retidos no cadastro do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (Sinapi), na sua versão de julho de 2012. O mesmo apresenta, mensalmente, custos e índices da construção civil, pesquisados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística nas 27 capitais estaduais. A tabela 10 apresenta os dados obtidos de levantamento de matérias e custos dos mesmos.

Para itens não encontrados no Sinapi, marcados com um asterisco na tabela 10, foi realizado um levantamento de preços em três locais da cidade de Porto Alegre, sendo utilizado no trabalho o valor intermediário dos pesquisados. Os preços obtidos para o reservatório de fibra com 20.000 litros foram: R\$ 2.620,00 para o local um, R\$ 2.655,00 para local dois e R\$2.824,50 para o local três. Para a calha semicircular com duzentos milímetros foram: R\$ 28,75/m para o local um, R\$ 30,00/m para local dois e R\$32,00/m para o local três.

A figura 22 apresenta um gráfico com os custos do sistema em percentuais, associados a cada componente do sistema:

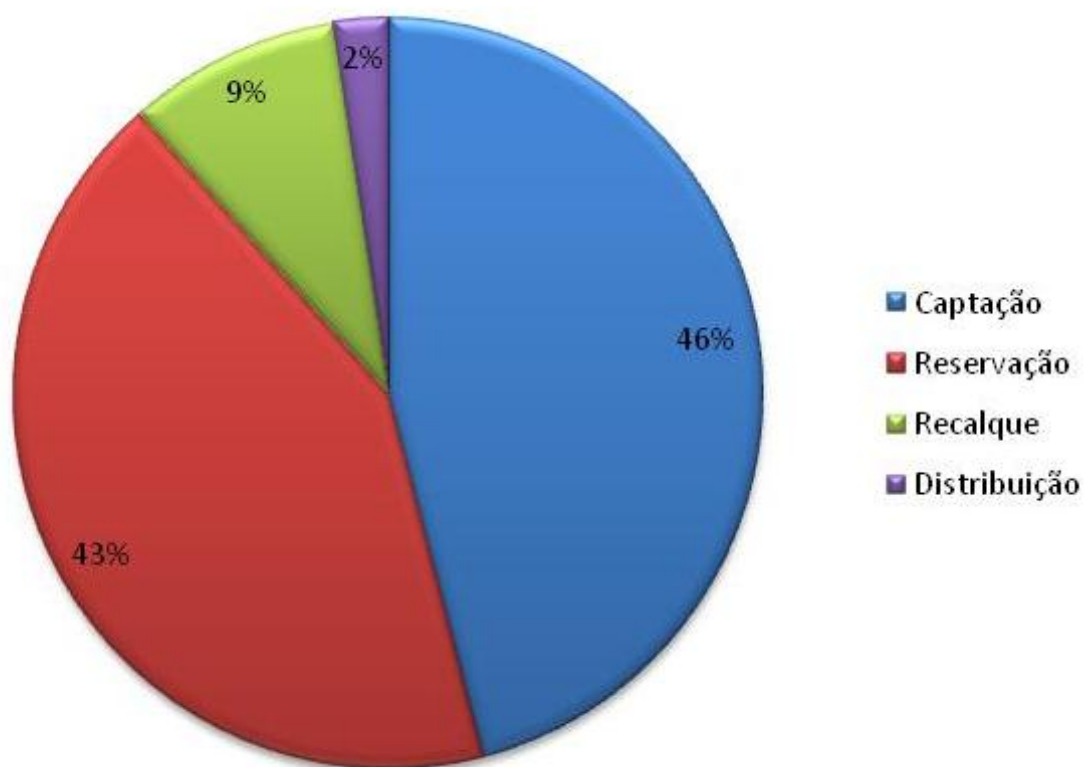
- a) captação;
- b) reservação;
- c) recalque;
- d) distribuição.

Tabela 10 – Quantitativos e preços

Código SINAPI	Componentes	Qtd.	Und	Custo	Total
	Captação				R\$ 11.595,59
	Calha Metálica Semicircular 200mm**	320	m	R\$ 28,75	R\$ 9.200,00
9818	Tubo PVC Esgoto 150mm	50	m	R\$ 22,66	R\$ 1.133,00
9836	Tubo PVC Esgoto 100mm	20	m	R\$ 6,45	R\$ 129,00
9838	Tubo PVC Esgoto 50mm	28	m	R\$ 4,21	R\$ 117,88
20180	Joelho 90 PVC Esgoto 150mm	2	und	R\$ 49,49	R\$ 98,98
3520	Joelho 90 PVC Esgoto 100mm	2	und	R\$ 5,15	R\$ 10,30
3226	Joelho 90 PVC Esgoto 50mm	10	und	R\$ 1,55	R\$ 15,50
20174	Tê PVC Esgoto 150mm	7	und	R\$ 30,53	R\$ 213,71
20131	Tê PVC Esgoto Redução 150mmx100mm	2	und	R\$ 42,40	R\$ 84,80
7105	Tê PVC Esgoto Redução 100mmx50mm	6	und	R\$ 19,15	R\$ 114,90
20047	Redução Excentrica PVC Esg 150x100mm	4	und	R\$ 35,69	R\$ 142,76
20047	Redução Excentrica PVC Esg 100x50mm	4	und	R\$ 35,69	R\$ 142,76
66	Adaptador 50mm(Com flange)	8	und	R\$ 24,00	R\$ 192,00
	Reservação				R\$ 10.735,00
	Reservatório Fibra de Vidro 15.000l**	4	Und.	R\$ 2.655,00	R\$ 10.620,00
11865	Reservatório Fibra de Vidro 500l	1	und	R\$ 115,00	R\$ 115,00
	Recalque				R\$ 2.246,88
734	Motobomba centrifuga Schneider 2cv 3/4" x 3/4"	2	und	R\$ 815,00	R\$ 1.630,00
9668	Tubo PVC SOLD 25mm	75	m	R\$ 2,24	R\$ 168,00
3529	Joelho 90 PVC SOLD 25mm	10	und	R\$ 0,44	R\$ 4,40
7104	Tê PVC SOLD 25mm	6	und	R\$ 1,32	R\$ 7,92
68	Adaptador 25 mm (Com flange)	4	und	R\$ 10,30	R\$ 41,20
11679	Registro Esfera PVC 25mm	6	und	R\$ 16,00	R\$ 96,00
10229	Valvula Pé de crivo 25mm	4	und	R\$ 27,34	R\$ 109,36
10404	Valvula de Retenção 25mm	2	und	R\$ 95,00	R\$ 190,00
	Distribuição				R\$ 594,79
9869	Tubo PVC SOLD 32mm	100	m	R\$ 5,10	R\$ 510,00
3536	Joelho 90 PVC SOLD 32mm	8	und	R\$ 1,15	R\$ 9,20
3527	Joelho 90 PVC SOLD 32mm x 3/4"	5	und	R\$ 6,30	R\$ 31,50
7140	Tê PVC SOLD 32mm	8	und	R\$ 1,48	R\$ 11,84
11836	Torneira PVC 3/4"	5	und	R\$ 6,45	R\$ 32,25
				Total	R\$ 25.172,26

(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 22 – Custos em percentual do sistema



(fonte: elaborada pelo autor)

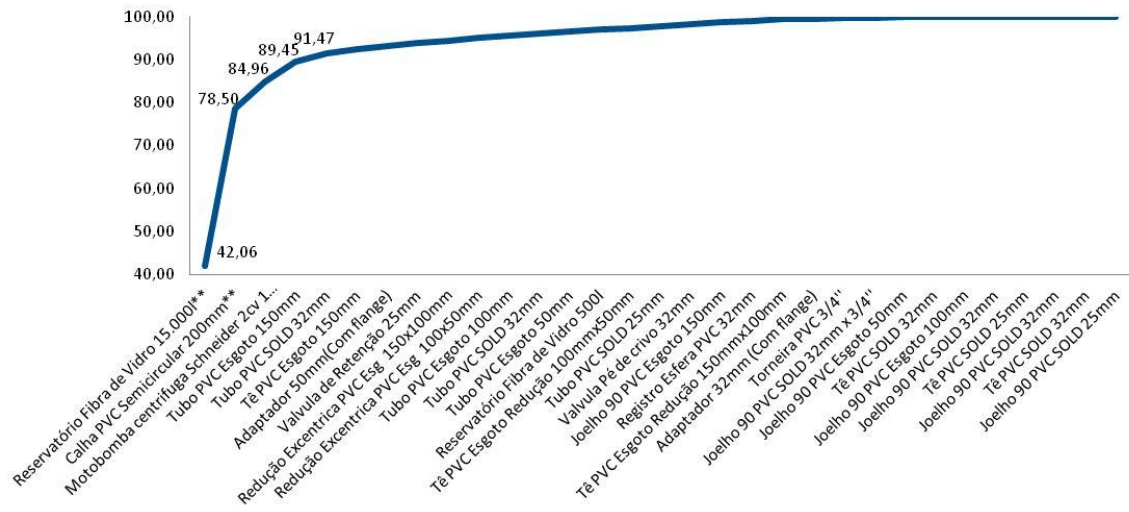
O custo total obtido para o sistema foi de R\$ 25.172,26. O custo por metro cúbico do sistema, sendo o volume de 60 metros cúbicos, ficou em R\$ 419,54/m³. A Tabela 11 apresenta os cinco itens que apresentaram os custos mais elevados no projeto. A figura 23 apresenta uma curva ABC de todos os materiais no sistema.

Tabela 11 – Itens com custo mais elevado do sistema

Matérias (Curva ABC)	
Itens	Custo
Reservatório Fibra de Vidro 15.000l**	R\$ 10.620,00
Calha Metálica Semicircular 200mm**	R\$ 9.200,00
Motobomba centrifuga Schneider 2cv 1 1/4" x 1'	R\$ 1.630,00
Tubo PVC Esgoto 150mm	R\$ 1.133,00
Tubo PVC SOLD 32mm	R\$ 510,00

(fonte: elaborada pelo autor)

Figura 23 – Curva ABC



(fonte: elaborada pelo autor)

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um sistema de reaproveitamento de água da chuva é de simples entendimento, porém possui diversas peculiaridades que devem ser estudadas durante o desenvolvimento de um projeto. Isto permite definir as características para o bom funcionamento e para uma eficiência adequada do mesmo.

Dentro do sistema, a componente captação e reservação constitui grande parte do custo de sistema. Sendo os reservatórios, calhas e tubulações de grandes dimensões os equipamentos mais caros dentro dessa componente. Após o projeto e orçamento, os responsáveis das compras dos materiais podem se focar nestes itens, se o objetivo for diminuir o custo do sistema.

Como o projeto existente não tinha características do sistema de calhas necessário para projeto de reaproveitamento, os mesmos tiveram que ser adaptados gerando um custo estimado de material de R\$ 9.200,00. Para locais nos quais seja possível aproveitar as calhas existentes, apenas modificando os condutores horizontais, pode ser obtido um decréscimo significativo no custo do sistema.

O custo do sistema analisado é significativo, e poderá apresentar um tempo de retorno elevado para a recuperação do investimento. Porém, a utilização desta água de chuva, neste local, que é um estabelecimento público, dá o exemplo para outros estabelecimentos, mostrando a preocupação por contribuir no uso racional da água e na correspondente economia de água potável para a região. Devido à grande população do presídio, esta economia no consumo de água potável permitiria que as demandas de vários outros prédios pudessem ser atendidas, que caso não fosse feita, seria gasta com limpeza.

O custo final do projeto, estimado em R\$ 25.172,26, representa 5% da conta de água mensal do presídio, estimada em 500.000,00 mil reais. No entanto, é importante ressaltar que o funcionamento deste sistema age sobre uma parcela do consumo de água potável e não pode resolver o custo de água total gasto pelo presídio.

REFERÊNCIAS

ALVES, W. C; ZANELLA, L.; SANTOS, M. F. L. Sistema de aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 16, n. 133, p. 99-104, abr. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

_____. **NBR 5626**: instalações prediais de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

_____. **NBR 15.527**: água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Decreto n. 24.643**, de 10 de julho de 1934. Decreta o código de águas. Rio de Janeiro, 1934.

Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643.htm>. Acesso em: 4 jun. 2012.

_____. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normal Climatológica 61 - 90 para Porto Alegre**. Brasília, DF, 2001.

Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/sim/abre_Graficos.php?data=06/2012&data2=2012&lista=11,&est=83967&uf=RS>. Acesso em: 30 abril 2012.

CURRENT technology for storing domestic rainwater (part 1). Warwick, UK: The Warwick University, 1999. Research program rainwater harvesting in Humid tropics. Disponível em: <<http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/civil/crg/dtu/pubs/reviewed/rwh/eu/a1.pdf>>. Acesso em: 5 set. 2012.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso racional da Água**. 3. ed. Porto Alegre: Luxus, 2009.

GOOGLE. **Google maps**. [Av. Rocio, 1100 – Presídio Central de Porto Alegre]. [S.l.], 2012. Disponível em: <<http://www.googlemaps.com.br>>. Acesso em: 25 maio 2012.

MANO, R. S. **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. Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/8742/000586430.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 maio 2012.

PORTO ALEGRE. Secretaria Municipal de Planejamento. **Decreto n. 15.371**, de 17 de novembro de 2006. Regulamenta o controle da drenagem urbana. Porto Alegre, 2006.

Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000028692.DOCN.&l=20&u=/netahtml/sirel/simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>>. Acesso em: 31 maio 2012

_____. Secretaria Municipal de Planejamento. **Lei n. 10.506**, de 5 de agosto de 2008. Institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas. Porto Alegre,

2008. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nphbrs?s1=000029949.DOCN.&l=20&u=/netahtml/sirel/simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>>. Acesso em: 31 maio 2012.

RUSKIN, R. H. Armazenagem de água em cisternas – 2. parte: dependências do gotejamento. **Água Latinoamérica**, México, DF, v. 1, n. 3, set./out. 2001. Disponível em: <http://www.agualatinoamerica.com/docs/pdf/Basico_091001.pdf>. Acesso em: 25 maio 2012.

SCHNEIDER MOTOBOMBAS. **Tabela para seleção de bombas e motobombas**. Joenville, 2012. Disponível em: <<http://www.schneider.ind.br/produtos.php?id=65&ctg=3>>. Acesso em: 1 nov. 2012.

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

TEXAS. Texas Water Development Board. **The Texas Manual on Rainwater harvesting**. 3rd ed. Austin, Texas. 2005. Disponível em: <http://www.twdb.state.tx.us/publications/reports/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf>. Acesso em: 31 maio 2012.

TUCCI, C. E. M. (Coord.). **Plano Diretor de Drenagem Urbana: manual de drenagem urbana**. Porto Alegre: Departamento de Esgotos Pluviais, Porto Alegre; Instituto de Pesquisas Hídricas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

APÊNDICE A – Planta de Cobertura do Sistema de Reaproveitamento

APÊNDICE B – Tabela de dimensionamento da rede de distribuição

Barrilete / coluna / ramal	Trecho	Pesos		Vazão	Diâmetro interno	Diâmetro Nominal	Velocidade $V = \frac{4(Q/1000)}{\pi(D/1000)^2}$	Para verificação de velocidade $(V < 3 \text{ m/s e } V < 14(D)^{0,5})$	Perda de carga unitária $J = 8fLQ^2 \cdot d^{-5} \cdot \rho^{-1} \cdot \mu^{-1}$	Diferença de cotas		Pressão disponível	Compri- mentos	Perda de carga			Conexões e Registros	Total	Pressão disponível residual	Pressão requerida no ponto da rede de distribuição	Atendim- ento da pressão dinâmica mínima?
		Sobe (-)	Desce(+)							Real	Equivalent e			Total	Equivalent e	Tubos					
		(1)	(2)							(3)	(4)		(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
Barrilete A	A--1	-	0,4	0,4	25	32	0,81	OK	0,40	5,1	5,1	6	11,1	2,04	4,4	46,56	5,00	ok			
	1--2	-	0,4	0,4	25	32	0,81	OK	0,40	0	47	2	38	14,41	0,80	15,2	31,34	5,00	ok		
Coluna A	2--3	-	0,4	0,4	25	32	0,81	OK	0,40	1,6	47	4,6	6,16	0,62	1,84	2,5	44,88	5,00	ok		
	3--4	0,2	0,4	0,4	25	32	0,81	OK	0,40	0	45	2	5	1,20	0,80	2,0	42,88	10,00	ok		
	3--5	0,2	0,2	0,2	25	32	0,41	OK	0,12	2,33	66	4	10,5	0,77	0,48	1,2	64,93	10,00	ok		
Coluna B	A--1	-	0,6	0,6	25	32	1,22	OK	0,81	3,6	36	10,6	14,2	2,93	8,63	11,6	24,44	5,00	ok		
	1--2	-	0,6	0,6	25	32	1,22	OK	0,81	0	24	2	5	2,44	1,63	4,1	20,37	5,00	ok		
	1--3	0,2	0,6	0,6	25	32	1,22	OK	0,81	2,5	49	6,4	9	2,12	5,21	7,3	42,12	10,00	ok		
	3--4	0,2	0,4	0,4	25	32	0,81	OK	0,40	0	42	3	6,4	1,20	2,56	3,8	38,35	10,00	ok		
	4--5	0,2	0,2	0,2	25	32	0,41	OK	0,12	2,5	63	6,4	12	0,67	0,76	1,4	61,93	10,00	ok		

**ANEXO A – Métodos de cálculos de dimensionamento de reservatórios
(ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007)**

Métodos de Cálculo para dimensionamento de reservatórios

A.1 Método de Rippl

Neste método podem se usar as séries históricas mensais ou diárias

Sendo que:

onde:

- S_t é o volume de água no reservatório no tempo t ;
- $Q_{(t)}$ é o volume de chuva aproveitável no tempo t ;
- $D_{(t)}$ é a demanda ou consumo no tempo t ;
- V é o volume do reservatório;
- C é o coeficiente de escoamento superficial;

A.2 Método de Simulação

Neste método a evaporação da água deve ser levada em conta. Para um determinado mês, aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito.

Sendo que:

onde:

- $S_{(t)}$ é o volume de água no reservatório no tempo t ;
- $S_{(t-1)}$ é o volume de água no reservatório no tempo $t-1$;
- $Q_{(t)}$ é o volume de chuva no tempo t ;
- $D_{(t)}$ é o consumo demanda no tempo t ;
- V é o volume do reservatório fixado;
- C é o coeficiente de escoamento superficial;

Nota Para este método, duas hipóteses devem ser feitas, o reservatório está cheio no início da contagem do tempo 't', os dados históricos são representativos para as condições futuras.

A.3 Método Azevedo Neto

O volume de chuva é obtido pela seguinte equação.

onde:

- P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm)
- T é o valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seco;
- A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m²);
- V é o valor numérico do volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório, expresso em litros (L).

A.4 Método Prático Alemão

Trata-se de um método empírico onde se toma o menor valor do volume do reservatório; 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável.

onde:

- V é o valor numérico do volume aproveitável de água de chuva anual, expresso em litros;
- D é o valor numérico da demanda anual da água não potável, expresso em litros (L);
- V_{adotado} é o valor numérico do volume de água do reservatório, expresso em litros (L);

A.5 Método Prático Inglês

O volume de chuva é obtido pela seguinte equação

onde:

- P é o valor numérico da precipitação média anual, expresso em milímetros (mm);

- A é o valor numérico da área de coleta em projeção, expresso em metros quadrados (m^2);
 V é o valor numérico do volume de água da cisterna, expresso em litros (L).

A.6 Método Prático Australiano

O volume de chuva é obtido pela seguinte equação

onde:

- C é o coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,8;
 P é a precipitação média mensal;
 I é a interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2mm;
 A é a área de coleta;
 Q é o volume produzido pela chuva.

O cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas, até que sejam utilizados valores otimizados de confiança e volume do reservatório.

onde:

- $Q_{(t)}$ é o volume mensal produzido pela chuva no mês t;
 $V_{(t)}$ é volume de água que está no tanque no fim do mês t;
 $V_{(t-1)}$ é o volume de água que está no tanque desde o início do mês t;
 $D_{(t)}$ é a demanda mensal;

Nota Para o primeiro mês, considera-se o reservatório vazio.

Quando $(V_{t-1} + Q_t - D) < 0$, então o $V_t = 0$

O volume do tanque escolhido será T.

Confiança:

Onde:

- P_r é a falha;
 N_r é o número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando $V_t = 0$.

Confiança = $(1 - P_r)$

Recomenda-se que os valores de confiança estejam entre 90% e 99%.