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

Cleber Alberto da Silveira Hugo

APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA: UM SIMULADOR PARA TOMADA DE DECISÃO QUANTO A VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS

Porto Alegre

dezembro 2013

CLEBER ALBERTO DA SILVEIRA HUGO

APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA: UM SIMULADOR PARA TOMADA DE DECISÃO QUANTO A VIABILIADADE DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS

Trabalho de Diplomação a ser 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: Dieter Wartchow

Porto Alegre

dezembro 2013

CLEBER ALBERTO DA SILVEIRA HUGO

APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA: UM SIMULADOR PARA TOMADA DE DECISÃO QUANTO A VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS

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 2013

Prof. Dieter Wartchow
Doutor pela Universidade de Stuttgart
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Eng. Paulo Robinson da Silva Samuel (UFRGS/DMAE)
Mestre em Engenharia pela UFRGS

Msc. Juliana Kaiber (PPGRHS/UFRGS)
Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS

Prof. Dieter Wartchow (UFRGS)
Doutor em Engenharia pela Instituição Universidade de Stuttgart/Alemanha

Dedico este trabalho a meus pais, Beto e Zilá, que sempre me apoiaram e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação estiveram ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dieter Wartchow, orientador deste trabalho, pelo apoio, ideias, incentivo e entusiasmo durante toda a caminhada que foi a elaboração deste trabalho.

Aos meus irmãos e as pessoas que amo, que sabem que os momentos que deixei de estar com elas para me dedicar a este trabalho foram também difíceis para mim, mas eram necessários para alcançar um sonho tão importante.

O futuro tem muitos nomes,
para os fracos é o inalcançável,
para os temerosos o desconhecido,
para os valentes é a oportunidade.

Victor Marie Hugo

RESUMO

À luz de uma crescente escassez de água para consumo humano, que leva à necessidade de tornar as edificações cada vez mais autossustentáveis quanto ao consumo deste produto, a implantação de sistemas de aproveitamento de água da chuva em edificações é mais do que indispensável, e em alguns casos é uma obrigatoriedade legal. Considerando que tanto a legislação quanto as normas técnicas brasileiras não impõe ou sugerem limites mínimos ou máximos para o volume de água da chuva estes sistemas devem ofertar. Não definem quanto da demanda de água de cada edificação deve ser atendida por tal sistema, limitando-se a indicar a obrigatoriedade, ou não, de adotar-se um sistema deste tipo, este trabalho propõe o desenvolvimento de um programa computacional que atue como um simulador e auxilie na tomada decisão quanto a viabilidade de implantação de sistemas de aproveitamento de água da chuva, para fins não potáveis, em edificações na cidade de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul. Auxiliando na definição preliminar de quanto de água da chuva o sistema pode ofertar para o consumo dentro da edificação e quanto da demanda de água da edificação pode passar a ser atendida por tal sistema, apresenta um valor aproximado de economia mensal a ser obtido na conta de água. Para tanto, a partir da revisão da bibliografia que tange este assunto, foram elaborados os algoritmos e rotinas de cálculo que dão forma ao simulador computacional.

Palavras-chave: Escassez de Água. Viabilidade de Implementação de Sistemas Aproveitamento de Água da Chuva. Aproveitamento de Água da Chuva.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de pesquisa 16
Figura 2 – Composição de um sistema básico de captação e aproveitamento de água da chuva 25
Figura 3 – Indicações para cálculo da área de captação..... 27
Figura 4 – Filtro vertical para água da chuva..... 29
Figura 5 – Cisterna em polietileno para água da chuva..... 31
Figura 6 – Distribuição média de chuvas em Porto Alegre..... 37
Figura 7 – Janela para cálculo das áreas de captação do simulador..... 40
Figura 8 – Janela de cálculo da demanda do simulador..... 42
Figura 9 – Janela de dimensionamento e cálculo do custo de implantação do sistema.... 43
Figura 10 – Janela de previsão de economia..... 44
Figura 11 – Janela de resumo dos resultados..... 44
Figura 12 – Janela com o resultado do dimensionamento e cálculo do custo de implantação do sistema para a avaliação..... 45
Figura 13 – Janela com o resumo dos resultados para a avaliação..... 46

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros da água da chuva captada para aproveitamento..... 23
Quadro 2 – Frequência de manutenção..... 34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa de demanda por água não potável para usos internos em edificações para fins residenciais 38

Tabela 2 – Estimativa de demanda por água não potável para usos externos em edificações para fins residenciais 39

Tabela 3 – Estimativa de demanda diária por água não potável em edificações para fins comerciais..... 39

LISTA DE SÍMBOLOS

A – área (m^2)

Q – vazão de projeto (L/min)

S – área da seção molhada de tubos e calhas (m^2)

n – coeficiente de rugosidade

RH – raio hidráulico (m)

i – declividade da calha (m/m)

k – coeficiente de Manning-Strickler

P – valor numérico da precipitação média anual (mm)

T – valor numérico do número de meses de pouca chuva ou seca

V – valor numérico do volume de água aproveitável e volume de água do reservatório (L)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
2 DIRETRIZES DA PESQUISA 14
2.1 DIRETRIZES DA PESQUISA 14
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA 14
2.2.1 Objetivo principal 14
2.3 PRESSUPOSTO 14
2.4 PREMISSA 15
2.5 DELIMITAÇÕES 15
2.6 LIMITAÇÕES 15
2.7 DELINEAMENTO 15
3 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA 18
3.1 O APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA E O CICLO HIDROLÓGICO . 18
3.2 AS VANTAGENS E DESVANTAGENS DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA 19
3.3 A LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS 19
3.4 A QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA 23
4 OS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA 25
4.1 ÁREAS DE CAPTAÇÃO 26
4.2 CALHAS, TUBOS DE QUEDA E CONDUTORES HORIZONTAIS 27
4.3 FILTROS, GRADES E DISPOSITIVOS DE DESCARTE 28
4.4 RESERVATÓRIOS 30
4.5 LIMPEZA E MANUTENÇÃO DO SISTEMA 33
4.6 AS INSTALAÇÕES PREDIAIS 35
5 OFERTA E DEMANDA EM UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA..... 36
5.1 OFERTA DE ÁGUA DA CHUVA 36
5.2 DEMANDA DE ÁGUA 37
6 ELABORAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR COMPUTACIONAL..... 40
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 45

1 INTRODUÇÃO

Frente à escassez de água potável, que se anuncia para um futuro próximo, e com o iminente esgotamento das fontes não renováveis deste recurso natural, a humanidade obriga-se a encontrar rapidamente soluções para este problema, que se torna cada vez mais real. Assim, intensifica-se a busca por fontes alternativas para o provimento desse recurso e práticas que reduzam o seu consumo, tornando as construções cada vez mais autossuficientes.

Entre as soluções, sendo uma das mais utilizadas, inclusive tornando-se obrigatória em algumas cidades através de legislação especifica, como é o caso de Porto Alegre com a Lei n. 10.506, de 5 de agosto de 2008 (PORTO ALEGRE, 2008), está o aproveitamento da água da chuva. Esta solução, apesar de ter benefícios indiscutíveis e bastante conhecidos, tem na sua implementação vários custos que devem ser mensurados e levados em consideração quando da decisão de utilizar, ou não, este sistema.

Outra finalidade da utilização de sistemas de captação e aproveitamento de água da chuva é contribuir para o bom funcionamento dos sistemas de drenagem urbana, na medida em que retém no lote parte da água da chuva precitada. Os sistemas de drenagem urbana, principalmente nas grandes cidades, são um dos pontos de maior preocupação pública. Em Porto Alegre, o Decreto 15.371, de 17 de novembro de 2006 (PORTO ALEGRE, 2006), regulamenta o controle da drenagem urbana trazendo, inclusive, exigências para as novas edificações.

Assim, este trabalho visa criar um simulador computacional que permita ao usuário inserir dados sobre a edificação na qual se pretende implementar tal sistema. Os dados a serem inseridos, como o número de bacias sanitárias e torneiras de jardim atendidas, permitem dimensionar a demanda que pode ser suprida com a água da chuva. A área de captação e a precipitação pluviométrica permitem, ao usuário do simulador, fazer o cálculo do volume de água disponibilizada pelo sistema. Assim, pode ser obtida uma estimativa da quantidade de água que deixaria de ser comprada da concessionária, possibilitando estimar o retorno financeiro que o sistema traria na forma de economia na conta mensal de água. Ainda,

variando os dados de entrada o usuário pode fazer simulações e encontrar a solução mais vantajosa ao seu projeto.

Nos capítulos seguintes deste trabalho são apresentadas, primeiramente no capítulo 2, as diretrizes de pesquisa que detalham como foi desenvolvido o trabalho. A seguir, no capítulo 3, são abordados os principais pontos do aproveitamento de água da chuva, como a sua relação com o ciclo hidrológico, as vantagens e desvantagens da utilização desta técnica, uma visão geral da legislação e normas técnicas pertinentes ao assunto e uma atenção especial a qualidade da água da chuva.

O capítulo 4 trata dos sistemas de aproveitamento de água da chuva e suas características. Apresenta os principais componentes, o embasamento teórico para dimensioná-los e as relações destes componentes com as normas técnicas.

O quinto capítulo aborda a oferta e a demanda de água em um sistema de aproveitamento de água da chuva. Trata das informações encontradas na bibliografia e que permitem, através de dados empíricos, estimar valores para estas duas variáveis.

No capítulo 6 é apresentada a maneira como foi elaborado o simulador computacional e como ele pode ser utilizado pelo usuário. São apresentadas as janelas da interface gráfica do programa e, de maneira uma maneira simplificada, como utiliza-las.

No sétimo capítulo são apresentadas as considerações finais sobre o trabalho. Neste capítulo é realizada a análise final, do trabalho como um todo, e fechamento das ideias propostas.

2 DIRETRIZES DA PESQUISA

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

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: qual rotina computacional pode ser apresentada para simplificar a tomada de decisão sobre a implantação de um sistema de aproveitamento de água da chuva em uma edificação através de um simulador?

2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

A pesquisa possui apenas um objetivo principal, o qual é descrito a seguir.

2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal deste trabalho é a elaboração de um simulador computacional que apoie a tomada de decisão sobre a implantação de um sistema de aproveitamento de água da chuva em uma edificação.

2.3 PRESSUPOSTO

O trabalho tem por pressuposto que o Método Azevedo Netto, apresentado no Anexo A da NBR 15527/2007 – Água de Chuva – Aproveitamento de Coberturas em Áreas Urbanas para Fins Não Potáveis – Requisitos, é o mais indicado para o dimensionamento do reservatório do sistema, pois tem bons resultados para regiões com a baixa sazonalidade de chuvas, como é o caso de Porto Alegre, e resulta em maiores volumes de reserva ao considerar longos períodos de pouca chuva.

2.4 PREMISSA

O trabalho tem por premissa que a crescente escassez de água potável torna cada vez mais necessária a implantação de sistemas de aproveitamento de água da chuva e que essa definição é função de vários fatores, não sendo um cálculo trivial.

2.5 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se a aplicação do simulador a edificações na cidade de Porto Alegre.

2.6 LIMITAÇÕES

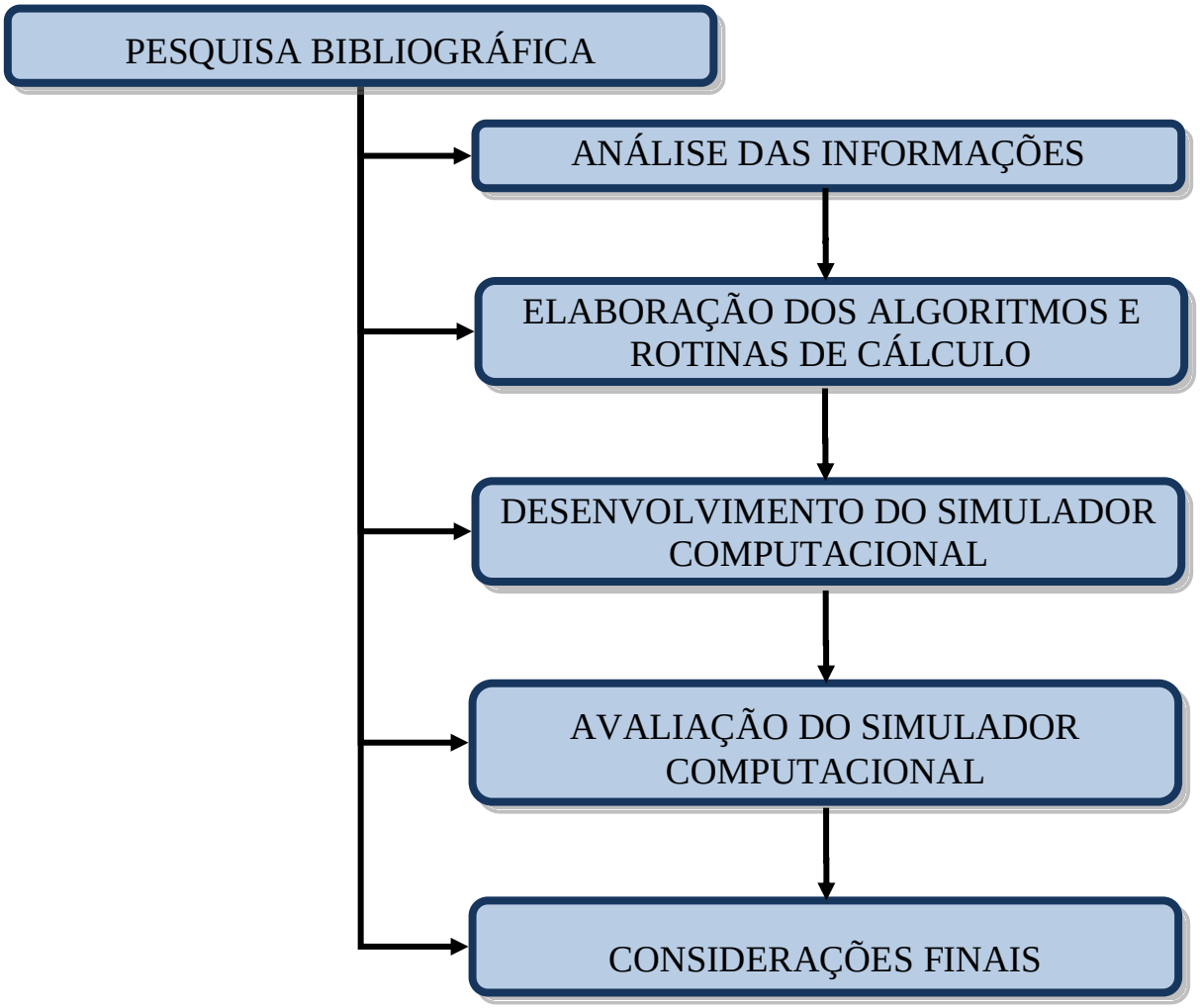
O trabalho é limitado pelo tamanho das séries de índices pluviométricos adotadas, que são de janeiro de 1931 a dezembro de 1990.

2.7 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas e descritas a seguir que estão representadas na figura 1:

a) pesquisa bibliográfica;
b) análise das informações;
c) elaboração dos algoritmos e rotinas de cálculo;
d) desenvolvimento do simulador computacional;
e) avaliação do simulador computacional;
f) considerações finais.

Figura 1 – Etapas de pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

Na etapa da **pesquisa bibliográfica** foram analisadas normas e bibliografia técnica com o intuito de aprofundar o entendimento do assunto, obter as informações necessárias para o desenvolvimento das rotinas de cálculo e possibilitar a validação das considerações finais. Esta etapa foi realizada durante toda a elaboração do trabalho.

A **análise das informações** consistiu, efetivamente, na análise e organização do conhecimento técnico-teórico adquirido na pesquisa bibliográfica. Esta organização se deu de maneira planejada a fim de permitir e facilitar o desenvolvimento do simulador computacional.

Na etapa de **elaboração dos algoritmos e rotinas de cálculo**, fazendo uso das informações colhidas, analisadas e organizadas nas etapas anteriores, foram elaborados os algoritmos e rotinas de cálculo necessárias ao desenvolvimento do simulador computacional. Esta etapa de **desenvolvimento do simulador computacional** consistiu na elaboração das rotinas de programação e na criação da interface gráfica do simulador computacional, utilizando a linguagem de programação *Object Pascal*.

A etapa seguinte foi a de **avaliação do simulador computacional**, nesta etapa os resultados obtidos nos cálculos realizados no simulador foram confrontados com resultados conhecidos da bibliografia técnica e resultados de cálculos realizados manualmente. Após esta avaliação do simulador se deu a finalização do trabalho na etapa das **considerações finais.** Nesta etapa foi feita a análise final e fechamento das ideias propostas neste trabalho.

3 APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

Assim como vários outros recursos naturais, a água é um recurso esgotável, suas reservas precisam ser utilizadas e geridas de maneira racional. Técnicas que preservem essas reservas e tornem as construções cada vez mais autossustentáveis são muito bem vindas. Desta forma este capítulo trata do aproveitamento de água da chuva, que hoje é muito utilizado e tem muito a contribuir neste contexto global de escassez de água.

3.1 O APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA E O CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é a contínua troca de água entre a atmosfera, o solo, as plantas, os mares, os rios e lagos, e é definido por Hagemann (2009, p. 25):

> [...] como o fenômeno de circulação da água entre a atmosfera e a superfície terrestre. Os principais fenômenos que regem este ciclo são a precipitação e a evaporação e durante o mesmo, a água passa por transformações no seu estado físico, passando de líquido para vapor e vice-versa.

O conhecimento das variações do ciclo hidrológico é fundamental para o desenvolvimento de projetos de aproveitamento de água da chuva. Como apresentado por Hagemann (2009, p. 25):

> Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais são diretamente influenciados pelas características das precipitações. A intensidade, a duração e a frequência são parâmetros importantes no dimensionamento de calhas, condutores verticais e reservatórios. O conhecimento destas características é de fundamental importância para projetar um sistema que funcione adequadamente. A altura pluviométrica, que é uma medida indireta do volume precipitado, combinada com a duração e intensidade da precipitação, influencia as características qualitativas da água. Essa influência se dá porque a combinação entre volume precipitado, duração e intensidade regula o potencial de carreamento dos materiais presentes sobre as superfícies pelas quais a água escoa, influenciando também na diluição de poluentes.

Para o bom desenvolvimento de um projeto de um sistema de aproveitamento de água da chuva é indispensável o conhecimento de algumas características do ciclo hidrológico da

região na qual se pretende implementá-lo. Hagemann (2009, p. 25) ainda destaca entre essas grandezas:

> a) altura pluviométrica: altura que a água precipitada atingiria no solo por unidade de área, se não infiltrasse e escoasse,
>
> b) duração: intervalo de tempo durante o qual ocorre a precipitação,
>
> c) intensidade: relação entre a altura pluviométrica e a duração da precipitação,
>
> d) frequência de probabilidade e tempo de retorno: é o número médio de anos que se espera que dada precipitação seja igualada ou superada.

3.2 AS VANTAGENS E DESVANGENS DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

O aproveitamento de águas pluviais em edificações possui várias vantagens. Algumas pertencendo diretamente ao empreendedor, responsável pela edificação, e outras a toda a sociedade. Como aponta Bertolo (2006, p. 6):

> As duas vantagens fundamentais relacionadas com o aproveitamento da água da chuva são:
>
> a) redução do consumo de água potável e do custo de fornecimento da mesma;
>
> b) melhor distribuição da carga de água da chuva no sistema de drenagem urbana, o que ajuda a controlar as cheias.
>
> A coleta de água da chuva não é apenas uma medida de conservação de água, é também uma medida de conservação de energia, pois a energia requerida para operar um sistema de água centralizado é reduzida. Além disso, diminui a erosão local e as inundações provocadas pelo escoamento superficial [...].

Como desvantagens é possível, segundo Bertolo (2006, p. 7), citar os custos de implantação e manutenção do sistema.

3.3 A LEGISLAÇÃO E NORMAS TÉCNICAS

Devido à insistência de diversos setores da sociedade muitas instituições governamentais tem procurado incentivar o uso de técnicas que reduzam o consumo de água proveniente dos mananciais. Na cidade de Porto Alegre, foco deste trabalho, a Lei Municipal n. 10.506

(PORTO ALEGRE, 2008) instituiu o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas, que prevê que as edificações nesta Cidade, entre outras ações, utilizem sistemas de aproveitamento de água da chuva:

> 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.

Ainda no âmbito do município de Porto Alegre, seguindo esta tendência de incentivar a redução do consumo de água proveniente do sistema público de abastecimento, que se serve dos mananciais da região, o Decreto 16.305, de 26 de maio de 2009 (PORTO ALEGRE, 2009) regulamenta a Lei n. 10.506 (PORTO ALEGRE, 2008) e torna obrigatória a adoção de um sistema de reaproveitamento de água da chuva para edificações comerciais e industriais com área de cobertura ou telhado superior a 500 m².

Por outro lado, e na contramão deste movimento, há um desinteresse das concessionárias de tratamento e distribuição de água potável em incentivar a utilização deste tipo de sistema nos grandes centros urbanos, pois como é apontado por Dornelles e Goldenfun (2012, p. 111) em seu estudo:

> No Brasil, tradicionalmente, a taxa cobrada para o tratamento de esgoto é estimada com base no volume de água tratada fornecida, medido pelas companhias de saneamento. Nos casos de aproveitamento das águas pluviais, a redução na arrecadação com o abastecimento de água não implica em diminuição dos custos com coleta, condução e tratamento de esgoto, já que o volume de esgoto gerado é independente da origem da água, devendo o consumidor arcar com os custos associados ao esgotamento sanitário.

Assim, pode-se afirmar que as concessionárias não têm interesse na implementação deste tipo de sistema, pois perdem valor de arrecadação ao fornecer menos água a determinado consumidor e ainda tem de continuar arcando com as despesas do tratamento de esgoto deste mesmo cliente. Desta forma fica clara uma lacuna na legislação sobre como deve ser feita a cobrança pelo tratamento do esgoto gerado a partir do aproveitamento da água da chuva.

Além das vantagens do ponto de vista de economia de água dos mananciais, a captação e o aproveitamento da água da chuva reduz os problemas com alagamentos, principalmente em áreas urbanas, já que retêm parte das chuvas precipitadas evitando a sobrecarga dos sistemas de drenagem urbana. Essa retenção de água da chuva, com a finalidade de reduzir os

alagamentos, também é obrigatória em Porto Alegre. Através do Decreto n. 15.371 (PORTO ALEGRE, 2006) obriga-se:

> Art. 1° 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).
>
> § 1° A vazão máxima de saída é calculada multiplicando-se a vazão específica pela área total do terreno.
>
> § 2° Serão consideradas áreas impermeáveis todas as superfícies que não permitam a infiltração da água para o subsolo.
>
> § 3° A água precipitada sobre o terreno não pode ser drenada diretamente para ruas, sarjetas e/ou redes de drenagem excetuando-se o previsto no § 4°, deste artigo.
>
> § 4° As áreas de recuo mantidas como áreas verdes poderão ser drenadas diretamente para o sistema de drenagem.
>
> § 5° 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. 2° Todo parcelamento do solo deverá prever na sua implantação o limite de vazão máxima específica disposto no art. 1°.
>
> Art. 3° A comprovação da manutenção das condições de pré-ocupação no lote ou no parcelamento do solo deve ser apresentada ao DEP (Departamento de Esgoto Pluviais).

Porém, a captação prevista neste Decreto tem a finalidade apenas de reter a água precipitada no próprio terreno durante um período, amortecendo o impacto da entrada desse volume de água na rede de drenagem urbana. Todavia, instalar um sistema de captação de água e não dar a essa água captada um uso adequado, certamente pode ser tomado como um desperdício. O que pode ser facilmente contornado, separando-se a água captada nas coberturas daquela da drenagem subsuperficial, e dando a essa primeira um aproveitamento dentro da própria edificação na qual é captada.

A norma técnica específica sobre sistemas de aproveitamento de água da chuva é a NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 1). Ela apresenta os requisitos para a utilização desta técnica a partir de coberturas em áreas urbanas e para fins não potáveis. Esta Norma indica que:

> [...] as águas de chuva podem ser utilizadas após tratamento adequado como, por exemplo, descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas

> ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais.

A NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 1) cita em seu texto a legislação que se refere ao uso de sistemas de aproveitamento de água da chuva e que precisa ser considerada na elaboração de qualquer projeto referente a este tema:

> Os documentos relacionados a seguir são indispensáveis à aplicação deste documento. Para referências datadas, aplicam-se somente as edições citadas. Para referências não datadas, aplicam-se as edições mais recentes do referido documento (incluindo emendas).
>
> Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde (norma de qualidade de água para consumo humano).
>
> ABNT NBR 5626:1998, Instalação predial de água fria.
>
> ABNT NBR 10844:1989, Instalações prediais de águas pluviais.
>
> ABNT NBR 12213:1992, Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público.
>
> ABNT NBR 12214:1992, Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público.
>
> ABNT NBR 12217:1994, Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público.

Deve-se salientar que a Portaria n. 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004), foi substituída pela Portaria n. 2914 de 12 de dezembro de 2011, deste mesmo Ministério (BRASIL, 2011), não possuindo mais validade apesar de continuar no texto da norma.

Um ponto importante a salientar é a obrigatoriedade da separação física, em uma edificação, do sistema de abastecimento de água convencional, com fornecimento de água por parte da concessionária local, e o sistema de aproveitamento de água da chuva. Fica estabelecido pela NBR 5.626 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1998, p. 9):

> **5.2.1.3** A instalação predial de água fria abastecida com água não potável deve ser totalmente independente daquela destinada ao uso da água potável, ou seja, deve-se evitar a conexão cruzada. A água não potável pode ser utilizada para limpeza de bacias sanitárias e mictórios, para combate a incêndios e para outros usos nos quais o requisito de potabilidade não se faça necessário.

3.4 A QUALIDADE DA ÁGUA DA CHUVA

Quanto a qualidade da água da chuva, como apontado por Hagemann (2009, p. 39), devido ao fato de não ter contato com os poluentes de origem natural, geralmente presentes no solo, e tão pouco com poluentes de origem humana, a água da chuva pode, muitas vezes, apresentar uma qualidade superior a de fontes de abastecimento superficiais ou subterrâneas. Conforme Hagemann (2009, p. 35-36):

> A qualidade de uma água é definida em função do tipo e quantidade de impurezas presentes na mesma. As características qualitativas da água indicam os usos mais apropriados que dela podem ser feitos e podem ser traduzidas na forma de parâmetros de qualidade da água. Estes parâmetros são divididos em três classes: parâmetros físicos, parâmetros químicos e parâmetros biológicos.

Para o aproveitamento de água da chuva, para fins não potáveis, a NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 4) estipula que os parâmetros de qualidade devem ser definidos pelo projetista. Mas, para usos mais restritivos, devem ser adotados parâmetros conforme quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros da água da chuva captada para aproveitamento

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre [(a)]	Mensal	0,5 a 0,3 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT[(b)], para usos menos restritivos < 5,0uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH[(c)]
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação 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.		
(a) No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção. (b) uT é a unidade de turbidez (c) uH é a unidade Hazen.		

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 4)

A NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 4) prevê como tratamento para desinfecção:

> 4.5.2 Para desinfecção, a critério do projetista, pode-se utilizar derivado c1orado, raios ultravioleta, ozônio e outros. Em aplicações nas quais é necessário um residual desinfetante, deve ser usado derivado c1orado.
>
> 4.5.3 Quando utilizado o cloro residual livre, deve estar entre 0,5 mg/L e 3,0 mg/L.

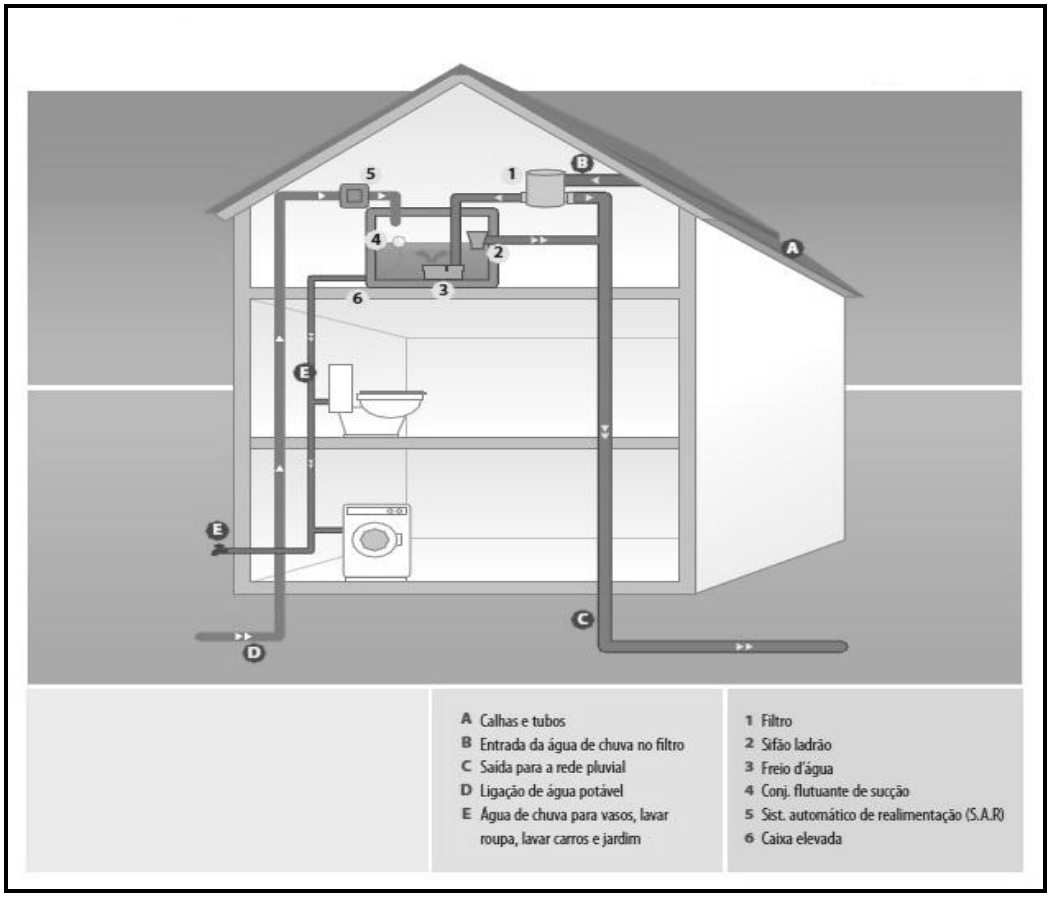
Para o aproveitamento de água da chuva para consumo humano as exigências quanto à qualidade desta água são muito maiores. Nesse caso é valido o exposto na Portaria n. 2914, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011, p. 2), que obriga a adoção de sistemas de controle da qualidade da água para consumo humano, e dispõe sobre os procedimentos para esse controle e sobre os padrões de potabilidade que devem ser adotados:

> Art. 3° Toda água destinada ao consumo humano, distribuída coletivamente por meio de sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, deve ser objeto de controle e vigilância da qualidade da água.
>
> Art. 4° Toda água destinada ao consumo humano proveniente de solução alternativa individual de abastecimento de água, independentemente da forma de acesso da população, está sujeita à vigilância da qualidade da água.

4 OS SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

Os sistemas de aproveitamento de água da chuva podem variar em complexidade, de acordo com os usos que se dá a água captada, com as características da edificação que o recebe e com o custo inicial de implantação que o responsável financeiro pela obra está disposto a arcar. Mesmo com estas várias possibilidades, algumas instalações são comuns a todos os sistemas, dos mais simples aos mais sofisticados. Na figura 2, pode-se ver as instalações de um sistema básico de captação e aproveitamento de água da chuva. Nos itens que se seguem, são detalhados os principais componentes destas instalações e a sua importância para os sistemas de captação e aproveitamento de água da chuva.

Figura 2 – Composição de um sistema básico de captação e aproveitamento de água da chuva



(fonte: adaptada de ECORACIONAL COMÉRCIO LTDA, 2013)

4.1 ÁREAS DE CAPTAÇÃO

A água da chuva pode ser captada em telhados ou lajes de cobertura e em superfícies impermeabilizadas sobre solo, como pisos e calçadas. Como indica Hagemann (2009, p. 28):

> As áreas de captação da água da chuva são geralmente telhados ou áreas impermeáveis sobre a superfície do solo como estacionamentos, calçadas e pátios. É mais comum a captação da água dos telhados, por apresentar melhor qualidade, visto que áreas sobre a superfície do solo geralmente sofrem a influência direta do tráfego de pessoas e veículos. A captação em telhados também possibilita que na maioria dos casos a água atinja o reservatório de armazenamento por gravidade, o que facilita o projeto.

Mesmo quando a captação de água da chuva é feita exclusivamente em telhados ou em lajes de cobertura a qualidade final da água captada e a eficiência do sistema de captação variam de acordo com o material empregado na composição da superfície de captação. Como aponta Bertolo (2006, p. 39) em seu estudo:

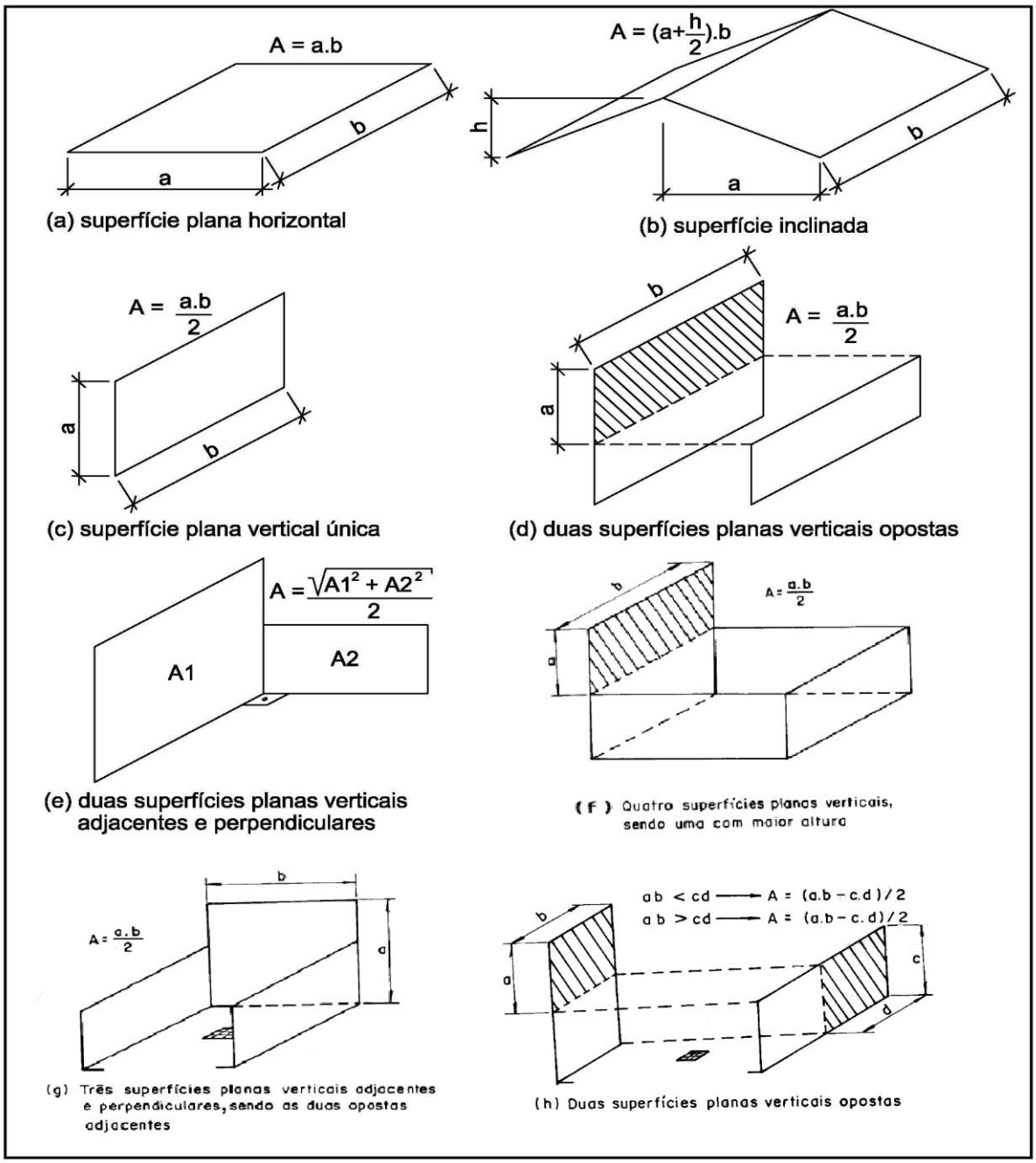
> A coleta de água da chuva varia com o tamanho e a textura do telhado. Um telhado de material mais macio, liso e impermeável contribui para o aumento da qualidade e quantidade da água recolhida. Em coberturas de metal as perdas são desprezíveis, já em coberturas de fibrocimento a média das perdas é inferior a 10 % [...].

Para garantir uma melhor qualidade da água captada, Bertolo (2006, p. 39) aponta alguns cuidados a serem tomados em relação às áreas de captação:

> Os telhados devem ser limpos e lavados uma ou duas vezes por ano, em particular no fim da estação seca. Árvores eventualmente pendentes sobre eles devem ser podadas de forma a reduzir a quantidade de folhas e impossibilitar o acesso de gatos, roedores ou pássaros, os quais conduzem ao aumento da deposição de detritos.

A NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 5) indica como deve ser feito o cálculo da área de contribuição para cada tipo de superfície (figura 3).

Figura 3 – Indicações para cálculo da área de captação



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

4.2 CALHAS, TUBOS DE QUEDA E CONDUTORES HORIZONTAIS

Além de fixar exigências e critérios necessários à elaboração e implantação dos projetos de drenagem de águas pluviais, a NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS

TÉCNICAS, 1989, p. 6) indica que no dimensionamento das calhas, tubos de quedas e condutores horizontais de um sistema de captação de água da chuva, seja utilizada a fórmula de Manning-Strickler (equação 1) ou outra fórmula equivalente para o dimensionamento das calhas do sistema:

$$Q = K \cdot (S / n) \cdot RH^{2/3} \cdot i^{1/2} \qquad \text{(equação 1)}$$

Onde:
Q = Vazão de projeto, em L/min;
S = área da seção molhada, em m²;
n = coeficiente de rugosidade;
RH = raio hidráulico, em m;
i = declividade da calha, em m/m;
K = 60.000.

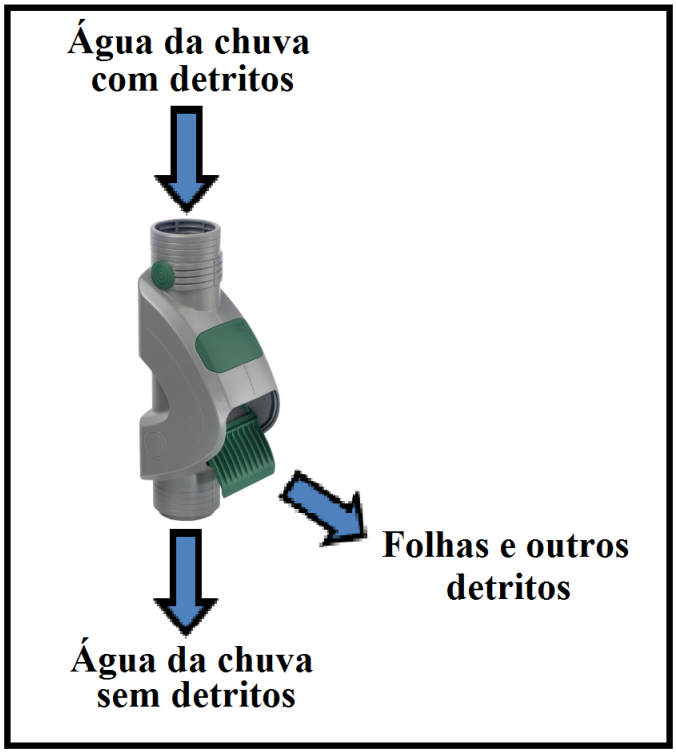
A Norma ainda apresenta tabelas e ábacos que estipulam valores para o dimensionamento dos diversos componentes dos sistemas de captação e aproveitamento de água da chuva.

4.3 FILTROS, GRADES E DISPOSITIVOS DE DESCARTE

É indispensável, a qualquer sistema de aproveitamento de água da chuva, componentes e equipamentos que impeçam a entrada de folhas, galhos e outros detritos no reservatório de armazenagem. Para tanto é comum o uso de filtros, telas ou grades sobre as calhas de captação (BERTOLO, 2006, p. 42).

A figura 4 mostra um filtro vertical, que instalado ao longo de um dos tubos de queda do sistema, impede que folhas de árvores e outros detritos da mesma escala de grandeza avancem para dentro do sistema, expelindo-os por uma abertura lateral móvel. Este modelo de filtro não necessita de energia elétrica para o seu funcionamento e utiliza a força produzida pela água no tubo de queda para expulsar as folhas do seu interior.

Figura 4 – Filtro vertical para água da chuva



(fonte: adaptada de 3P TECCHNIK DO BRASIL LTDA, 2013)

Conforme Hagemann (2009. p. 31) define, durante os períodos secos, há um acúmulo de impurezas e poluentes sobre a superfície de captação. Esses, assim como as partículas de poluição presentes na atmosfera, são pequenos o suficiente para passar por telas e grades. Quando os primeiros milímetros de chuva lavam a atmosfera e a superfície da área de captação, acabam por carregar para dentro do sistema estas impurezas e poluentes.

Assim, conforme indicado por Flesch (2011, p. 31):

> Além das sujeiras maiores, as águas iniciais carregam as impurezas menores, contidas na superfície de captação, acumuladas durante o período sem chuvas. Antes de a água captada ir para o reservatório de armazenagem é importante que haja um sistema de descarte das águas iniciais, para que este escoamento inicial não vá para o reservatório.

Vários métodos de descarte das primeiras chuvas podem ser usados. Alguns são mais simples, podendo ser produzidos a partir tubos de PVC e suas conexões, outros podem ser mais sofisticados como apontado por Hagemann (2009, p. 32-33):

> [...] consiste de um tubo de PVC, que coleta a primeira parte do volume precipitado. Quando o tubo está cheio, a água é desviada para o conduto principal que a leva ao reservatório de armazenamento. O tubo pode ser drenado continuamente por um orifício ou uma válvula próxima à base. O outro dispositivo, mais sofisticado, consiste de um tubo com uma válvula esférica flutuante em seu interior. Quando o volume correspondente ao descarte enche o tubo, a elevação do nível da água faz com que a esfera obstrua a entrada do tubo e o fluxo é conduzido para o reservatório de armazenamento. Estes dispositivos geralmente têm uma abertura para limpeza e devem ser esvaziados e limpos após cada evento de chuva.
>
> O reservatório de autolimpeza com torneira boia é outra alternativa de dispositivo de descarte. Este consiste num tanque munido de uma boia, que interrompe a entrada de água quando esta atinge um nível pré-estabelecido, correspondente ao volume que será descartado. Assim a água é desviada para a tubulação que vai ao reservatório de armazenamento, enquanto o primeiro volume coletado fica armazenado e é eliminado após o término da precipitação. Entretanto, para o bom funcionamento da torneira boia é necessário evitar a entrada de materiais grosseiros na tubulação.

Uma dificuldade inicial é determinar qual o volume deve ser descartado no início da chuva. Hagemann (2009, p. 33) aponta:

> Quanto à determinação do volume a ser descartado, as opiniões são diversas. Vários fatores alteram a qualidade inicial da água da chuva como o número de dias secos antecedentes à precipitação, a intensidade inicial da mesma, a variedade de contaminantes presentes e tipo de área de captação. Esses fatores deveriam ser levados em consideração, mas geralmente não são avaliados devido à dificuldade de se analisar a sua real influência.

Quando trata do descarte de volume inicial de chuva, a NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 2) determina:

> 4.2.5 Quando utilizado, o dispositivo de descarte de água deve ser dimensionado pelo projetista. Na falta de dados, recomenda-se o descarte de 2 mm da precipitação inicial.

4.4 RESERVATÓRIOS

Os reservatórios podem ser apontados como a parte mais importante dos sistemas de aproveitamento de água da chuva por serem responsáveis pelo armazenamento e conservação da água captada, por constituem, em grande parte dos projetos, o maior custo para a implementação do sistema e por ser o volume do reservatório que determina a capacidade de abastecimento que o sistema terá (HAGEMANN, 2009, p. 34).

Existem vários tipos, modelos e tamanhos comerciais de reservatórios. Eles podem ser construídos com diversos materiais como o polipropileno, o aço galvanizado e a fibra de vidro, além dos moldados *in loco* que são também largamente utilizados podendo ser executados, por exemplo, em concreto e alvenaria. Vale salientar que o material que constitui o reservatório pode influenciar na qualidade da água armazenada, sendo que para águas que se destinem a usos mais nobres, ou à potabilidade, é indispensável o seu revestimento interno com material que impeça a contaminação da água (HAGEMANN, 2009, p. 34). Um material também muito usado na produção de reservatórios e cisternas é o polietileno como mostra a figura 5.

Figura 5 – Cisterna em polietileno para água da chuva

(fonte: ECORACIONAL COMÉRCIO LTDA, 2013)

São utilizados vários métodos para dimensionamento dos reservatórios de água da chuva e, em uma comparação entre eles, cada método nos traz um resultado diferente para o cálculo de um mesmo projeto. Como indicado por Dornelles e Goldenfun (2010, p. 65):

> Os volumes de reserva, obtidos pelos diversos métodos, mostraram uma grande variabilidade entre si. O método de simulação apresentou sempre valores bem maiores que os demais, pelo fato deste método adotar a pior situação (maior déficit) simulada com os dados das séries observadas. O método Prático Alemão foi o que resultou no menor volume [...].

Outro fator importante é que os resultados obtidos com a aplicação de cada um dos métodos variam, principalmente, de acordo a sazonalidade das chuvas da região que receberá o projeto. Essa variação entre os resultados obtidos com o emprego de cada método precisa ser considerada pelo projetista no momento de optar por um deles na elaboração do projeto.

Ainda, comparando os principais métodos de cálculo para dimensionamento de reservatório, Dornelles e Goldenfun (2010, p. 65), apontam em seu estudo:

> Observando, e comparando entre si, os métodos do número de dias consecutivos sem chuva e o de Azevedo Netto, verificou-se que ambos utilizam como dado de entrada o tamanho do período de estiagem. No entanto, utilizam critérios diferentes para inferir a magnitude da estiagem. Assim, o método Azevedo Netto indicou maiores volumes para os postos com maior período seco (acima de 5 meses por ano com precipitação inferior a 100mm), e para os postos com baixa sazonalidade anual, o método do número de dias sem chuva foi o que gerou maiores volumes de reservatório.

Apesar de ser um método normatizado, o método de Rippl não é aplicável a regiões com baixa sazonalidade de chuvas, como a região de Porto Alegre. Conforme Dornelles e Goldenfun (2010, p. 65):

> O método de Rippl se mostrou válido apenas para os postos com forte sazonalidade anual, ou seja, com o período de estiagem bem definido. Regimes de chuva dessa natureza são caracterizados pela grande amplitude da variação pluviométrica ao longo do ano, situação esta que não ocorre nos postos da região sul do Brasil (chuva bem distribuída), onde os volumes calculados para reserva foram zero ou muito próximos de zero, inviabilizando, assim, a utilização deste método para postos com esta característica.

A NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 6-8), além de diversas determinações sobre a instalação dos reservatórios, indica, em seu anexo A, seis métodos para dimensionamento de reservatórios de águas pluviais e dá a liberdade para o projetista optar por aquele que mais favorece o seu projeto, sendo eles, os métodos:

a) de Rippl,
b) da simulação,
c) Azevedo Netto,
d) prático alemão,
e) prático inglês,
f) prático australiano.

Neste trabalho foi adotado o método Azevedo Netto, pois, como salientam Dornelles e Goldenfun (2010, p. 65), este método fornece bons resultados para regiões com baixa sazonalidade de chuvas e resulta em maiores volumes de reserva ao considerar períodos de pouca chuva, ou seja, com valores de precipitação média mensal próximos ou inferiores a 100 mm. Sendo este o caso das precipitações registradas em Porto Alegre, e sendo a situação de períodos com baixa incidência de chuvas a que mais justifica implementar um sistema de aproveitamento de água da chuva.

A NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 7) apresenta o método Azevedo Netto, em seu anexo A, indicando para o cálculo o volume de chuva a equação 2:

$$V = 0{,}042 \cdot P \cdot A \cdot T \qquad \text{(equação 2)}$$

Onde:
P = valor numérico da precipitação média anual, em mm;
T = valor correspondente ao número de meses de pouca chuva ou seca;
A = valor correspondente à área de coleta em projeção, em m²;
V = valor numérico do volume de água aproveitável e volume de água do reservatório, em L.

4.5 LIMPEZA E MANUTENÇÃO DO SISTEMA

Todo sistema de captação e aproveitamento de água da chuva precisa de manutenção periódica sistemática a fim de evitar, além dos problemas normais a qualquer sistema de distribuição de água, a contaminação da água captada. Em seu estudo sobre sistemas de aproveitamento de água da chuva, Bertolo (2006, p. 20) salienta:

> A inspeção regular e a limpeza das caleiras, dos tubos de queda e dos reservatórios reduzem a probabilidade de contaminação. A remoção de folhas e de outros materiais orgânicos das calhas e dos reservatórios ajudam também a prevenir que a água da chuva armazenada se torne ácida e dissolva metais do reservatório, das torneiras e tubulações, e dos depósitos de lama. A superfície de captação, o reservatório, as calhas, os filtros e outros componentes do sistema devem ser inspecionados regularmente e limpos ou reparados quando necessário.

> Durante os primeiros dias após precipitação intensa, se possível, a água não deverá ser consumida diretamente do reservatório sem tratamento. A fraca manutenção dos reservatórios tem sido a responsável pelos potenciais riscos de saúde. Algumas doenças têm sido provocadas por água da chuva armazenada em reservatórios localizados perto de indústrias pesadas, como por exemplo, de uma fundição de chumbo.

Estão previstos, na NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 5), alguns procedimentos de limpeza e manutenção para os sistemas de aproveitamento de água da chuva. Estes procedimentos estão indicados no quadro 2.

Quadro 2 – Frequência de manutenção

Componente	Frequência de manutenção
Dispositivo de 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
Reservatório	Limpeza e desinfecção anual

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

A NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 5) ainda indica como procedimento, quando da limpeza da área de captação, que:

> Quando da utilização de produtos potencialmente nocivos à saúde humana na área de captação, o sistema deve ser desconectado, impedindo a entrada desses produtos no reservatório de água de chuva, A reconexão deve ser feita somente após lavagem adequada, quando não haja mais risco de contaminação pelos produtos utilizados.

A manutenção e limpeza dos componentes do sistema, dentro dos padrões adequados, é indispensável para o bom funcionamento e a segurança da utilização da água da chuva como fonte de abastecimento, sabendo-se que quanto mais restritivo for o uso dado a essa água maiores devem ser os cuidados com o sistema.

4.6 INSTALAÇÕES PREDIAIS

A NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 3-4) cita, em alguns de seus itens, algumas exigências para a execução de sistemas de aproveitamento de água da chuva, em relação às instalações prediais:

> 4.4.2 As tubulações e demais componentes devem ser claramente diferenciados das tubulações de água potável.
>
> 4.4.3 O sistema de distribuição de água de chuva deve ser independente do sistema de água potável, não permitindo a conexão cruzada [...].
>
> 4.4.4 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.
>
> 4.4.5 Os reservatórios de água de distribuição de água potável e de água de chuva devem ser separados.

5 OFERTA E DEMANDA EM UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

Para o dimensionamento de qualquer sistema de aproveitamento de água da chuva, que garanta um nível de eficiência adequado, é indispensável que sejam consideradas a disponibilidade de água da chuva na região e as necessidades de consumo que podem ser atendidas na edificação que receberá este sistema. Sobre a demanda de água, de acordo com Hagemann (2009, p. 52):

> A demanda a ser atendida é uma das variáveis mais importantes a ser considerada na concepção de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Uma quantificação correta da demanda tem como consequência o dimensionamento adequado do reservatório de armazenamento e a maior confiabilidade do sistema depois de dimensionado.

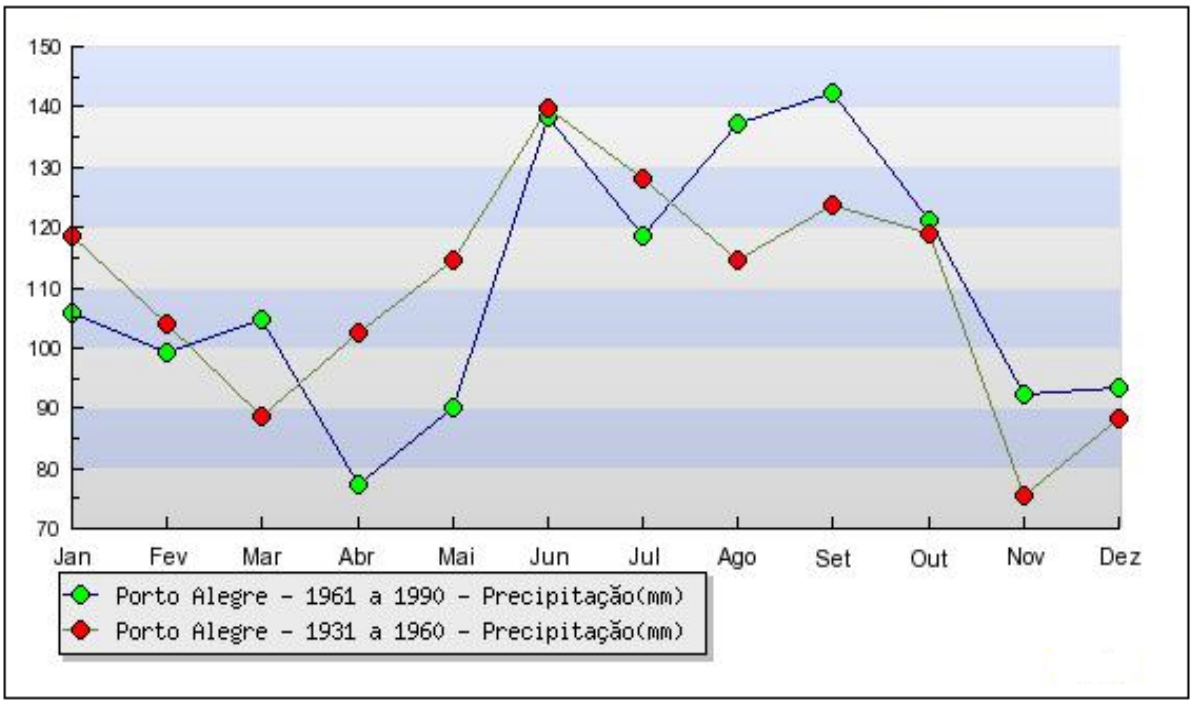
Para a oferta de água da chuva e sua relação com o dimensionamento dos sistemas de aproveitamento da mesma, Bertolo (2006, p. 78) salienta:

> A quantidade de água da chuva que pode ser armazenada no reservatório depende da superfície de coleta, da precipitação atmosférica no local onde se vai instalar o sistema e do coeficiente de escoamento. Sendo que a superfície de captação é normalmente o telhado ou a laje da edificação [...].

5.1 OFERTA DE ÁGUA DA CHUVA

Todo e qualquer sistema de aproveitamento de água da chuva, para sua funcionalidade, depende da quantidade de chuva disponível na região onde o mesmo será construído. Com base nesta realidade, este trabalho se aplica à região de Porto Alegre e a figura 6 mostra a distribuição das médias das chuvas para o Município considerando os registros dos períodos entre janeiro de 1931 e dezembro de 1960 e janeiro de 1961 e dezembro 1990.

Figura 6 – Distribuição média de chuvas em Porto Alegre



(fonte: adaptada de INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2013)

Como pode ser observado, as curvas das médias de chuva indicam uma tendência quanto a distribuição das chuvas ao longo do ano. Além disso, a figura mostra uma homogeneidade na distribuição das chuvas, o que é muito favorável no desenvolvimento de sistemas de aproveitamento de água da chuva.

Essa homogeneidade das chuvas elimina a necessidade de volumes muito grandes de reserva, reforçando a escolha do método Azevedo Netto. Este método oferece bons resultados, com maiores volumes de reserva que a maioria dos outros métodos oferecidos pela Norma, para o panorama de chuvas característico da região em questão, sem levar a adoção de volumes excessivamente grandes. O que seria obtido, por exemplo, com adoção do método da Simulação. Método este que, segundo Dornelles e Goldenfun (2010, p. 65), sempre indica volumes de reserva muito maiores que os demais métodos.

5.2 DEMANDA DE ÁGUA

Conforme apontando por Hagemann (2009, p. 52), para a elaboração do projeto de um sistema de aproveitamento de água da chuva, uma das variáveis mais importantes é a demanda de água a ser suprida pelo sistema. Essa demanda depende dos usos que são dados à água da chuva dentro da edificação e implica diretamente na quantidade de água que o sistema precisará armazenar para se mostrar eficiente.

Para obter uma previsão da demanda é necessário que sejam utilizados valores estimativos de quantidade de água necessária para atender os diversos usos da edificação. Estes valores previstos variam com tipo de edificação, tipos de usos dados a água e número de pessoas que habitam a edificação diariamente. A tabela 1 apresenta valores utilizados na previsão de demanda de água para usos não potáveis internos à uma edificação para uso residencial.

Tabela 1 – Estimativa de demanda por água não potável para usos internos em edificações para fins residenciais

Uso	Unidade	Valores		
		Inferior	Superior	Mais Provável
Bacia Sanitária - Volume de descarga	Litros/descarga	6,8	18	9
Bacia Sanitária - Frequência de uso	Descarga/pessoa/dia	4	6	5
Vazamento de bacias sanitárias	Percentagem	0	30	9
Máquina de lavar roupas - Volume de água	Litros/ciclo	108	189	108
Máquina de lavar roupas	Carga/pessoa/dia	0,2	0,37	0,37

(fonte: TOMAZ[1], 2003 apud HAGEMANN, 2009)

[1] TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de Chuva:** para áreas urbanas e fins não potáveis. 2. ed. São Paulo: Navegar, 2003.

Na tabela 2 estão valores estimados de demanda para usos não potáveis usuais da parte externa de uma edificação com a finalidade de uso residencial.

Tabela 2 – Estimativa de demanda por água não potável para usos externos em edificações para fins residenciais

Uso	Unidade	Valor
Rega de Gramado ou jardins	Litro/dia/m²	2
Lavagem de carros - Volume de água	Litros/lavagem/carro	150
Lavagem de carros – Frequência	Lavagem/ mês	4

(fonte: TOMAZ[2], 2003 apud HAGEMANN, 2009)

Para edificações com destinação comercial, podem ser apontadas estimativas semelhantes de consumo. Com base no estudo apresentado por Flesch (2011, p. 52-53), é possível apontar os valores de demanda estimada da tabela 3.

Tabela 3 – Estimativa de demanda diária por água não potável em edificações para fins comerciais

Uso	Valor	Unidade
Vasos sanitários e mictórios	21,871	L/dia
Pias de banheiro	3,463	L/dia
Limpeza da edificação	0,031	L/m²
Rega de jardins	3,571	L/m²

(fonte: baseado em FLESCH, 2011)

[2] TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de Chuva:** para áreas urbanas e fins não potáveis. 2. ed. São Paulo: Navegar, 2003.

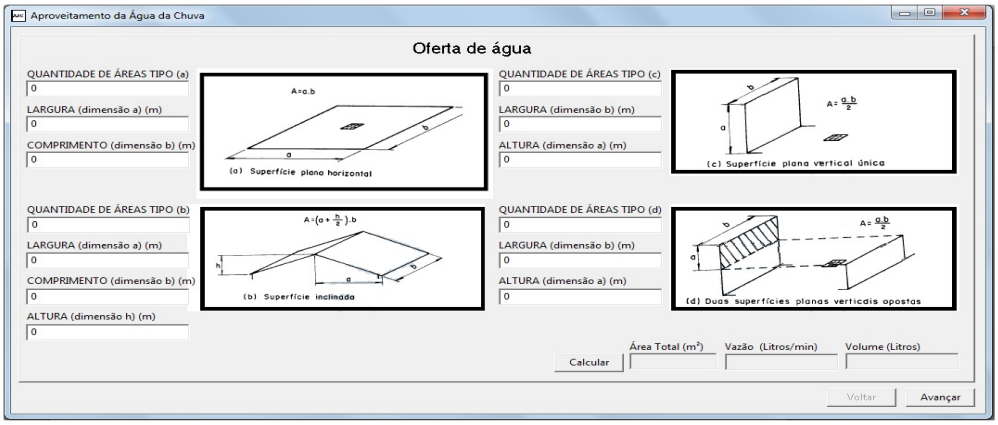
6 ELABORAÇÃO E UTILIZAÇÃO DO SIMULADOR COMPUTACIONAL

Apoiando-se na revisão bibliográfica e nas orientações das Normas técnicas sobre aproveitamento de água da chuva, foi possível formar uma base de conhecimento sobre este assunto. Com as informações compiladas nas primeiras etapas deste estudo foi possível elaborar as principais rotinas e algoritmos de cálculo, os quais formam a base de funcionamento do programa.

Com os algoritmos e rotinas de cálculo organizados e compilados, foi iniciada a etapa de desenvolvimento do simulador propriamente dita. Nesta etapa foram criados os códigos fonte e toda a arquitetura do programa, sendo que os elementos que o compõem foram posicionados, editados e receberam suas funções dentro do código de programação.

Para o desenvolvimento deste simulador computacional foi utilizado o ambiente de programação Lazarus 1.0. Este ambiente de programação permite o desenvolvimento de programas computacionais em linguagem *Object Pascal*, criando uma interface gráfica com um sistema de janelas no qual o usuário do programa pode manuseá-lo. A figura 7 mostra a janela do simulador na qual é feito o cálculo das áreas de captação de água da chuva do sistema.

Figura 7 – Janela para cálculo das áreas de captação do simulador



(fonte: elaborado pelo autor)

As janelas de utilização deste simulador computacional funcionam como páginas sucessivas, nas quais são calculadas, através de dados de entrada solicitados, as diversas variáveis de um sistema de captação de água da chuva. O idioma utilizado foi o Português, e a utilização é simples e intuitiva. O usuário pode avançar ou retroceder nas janelas do programa alterando os dados de entrada e recalculando valores chave, como área total de captação e volume total de reserva, simulando diversas situações de maneira a encontrar a composição que mais atenda a suas necessidades na implantação do sistema de aproveitamento de água da chuva.

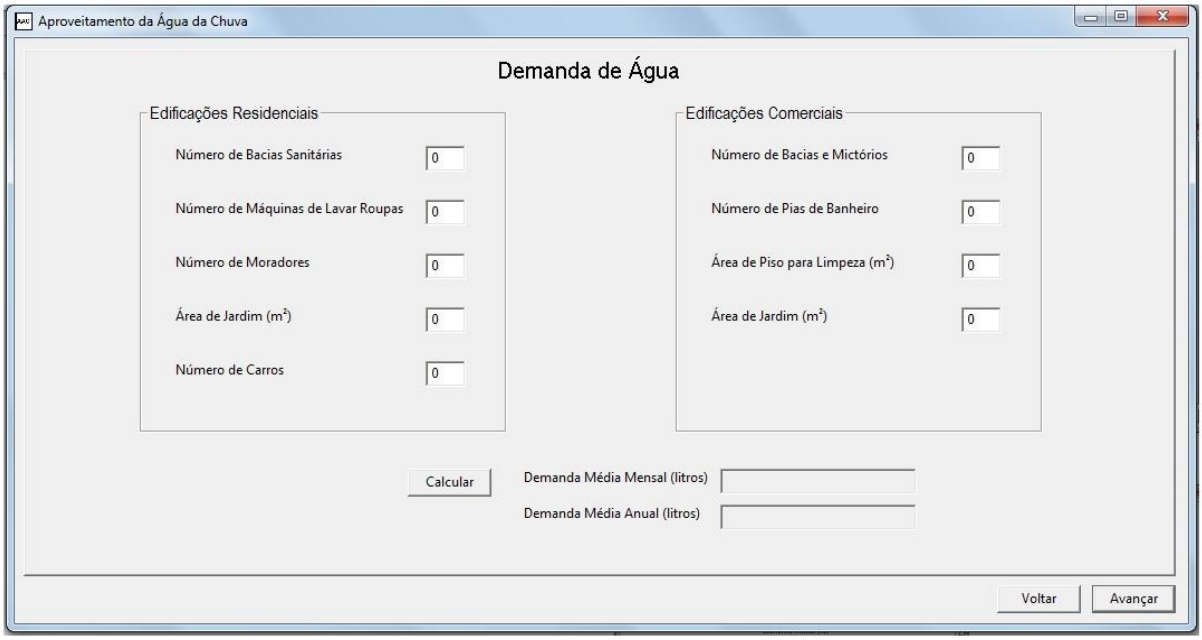
Para o detalhamento gráfico da interface foram elaborados desenhos que facilitassem a utilização do programa de forma a remeter o usuário aos detalhes gráficos apresentados nas Normas técnicas. Também foram utilizados botões, caixas de texto e outros elementos gráficos montados especialmente para este programa.

No cálculo das áreas de captação foram utilizadas as fórmulas apresentadas na NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 5). Os tipos de áreas apresentados neste trabalho são os mais comumente encontrados nas edificações, dentre todos os tipos apresentados na já citada norma técnica, e permitem a elaboração de uma composição bem variada de cobertura para captação. Para efetuar o cálculo das áreas de captação basta ao usuário inserir os dados da cobertura que pretende utilizar e selecionar <calcular>. Ainda, ao avançar para a próxima janela o usuário recebe uma mensagem sobre a obrigatoriedade de adoção de um sistema deste tipo e um lembrete sobre a adoção de bacia ou tanque de contenção de águas pluviais nos termos do Decreto 15.371 (PORTO ALEGRE, 2006).

A figura 8 o apresenta a janela na qual é calculada a demanda de água que será atendida com o sistema, de acordo com os dados introduzidos pelo usuário. Para o cálculo da demanda foram utilizados os dados recolhidos na bibliografia e apresentados nas tabelas do capítulo 5 deste trabalho.

Nesta janela o usuário deve digitar os dados correspondentes a utilização que pretende dar a água captada de acordo com o tipo de edificação a qual se refere o projeto, se residencial ou comercial e industrial.

Figura 8 – Janela de cálculo da demanda do simulador



(fonte: elaborado pelo autor)

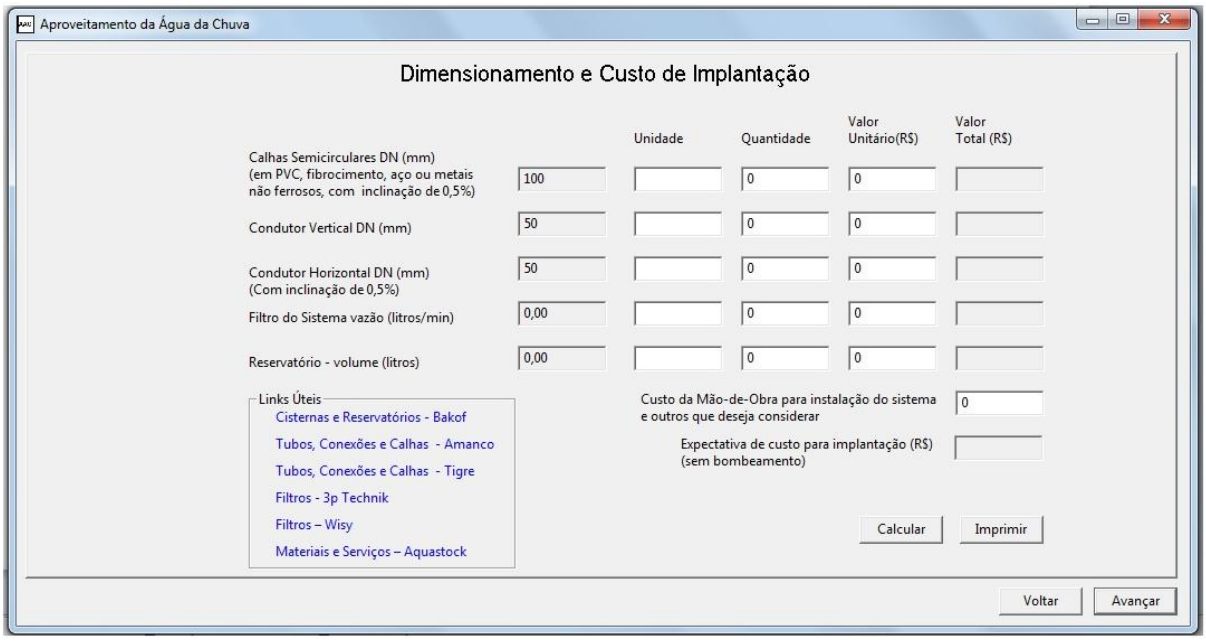
Na janela seguinte, apresentada na figura 9, são dimensionados os principais componentes do sistema de aproveitamento de água da chuva. São determinados os diâmetros nominais das calhas, dos condutores verticais e horizontais, assim como a vazão que deve ser atendida pelo filtro do sistema e o volume do reservatório.

Para o dimensionamento das calhas e condutores horizontais foram utilizadas as tabelas de capacidade de vazão para estes elementos da NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989).

Esta janela ainda permite ao usuário elaborar um orçamento simplificado do sistema, lançando unidades, quantidades e valores unitários para cada um dos itens dimensionados, obtendo um valor aproximado do custo de implantação do sistema.

Nesta janela ainda são disponibilizados endereços de sites úteis, que remetem a sites de fornecedores dos materiais e equipamentos utilizados para a construção deste tipo de sistema.

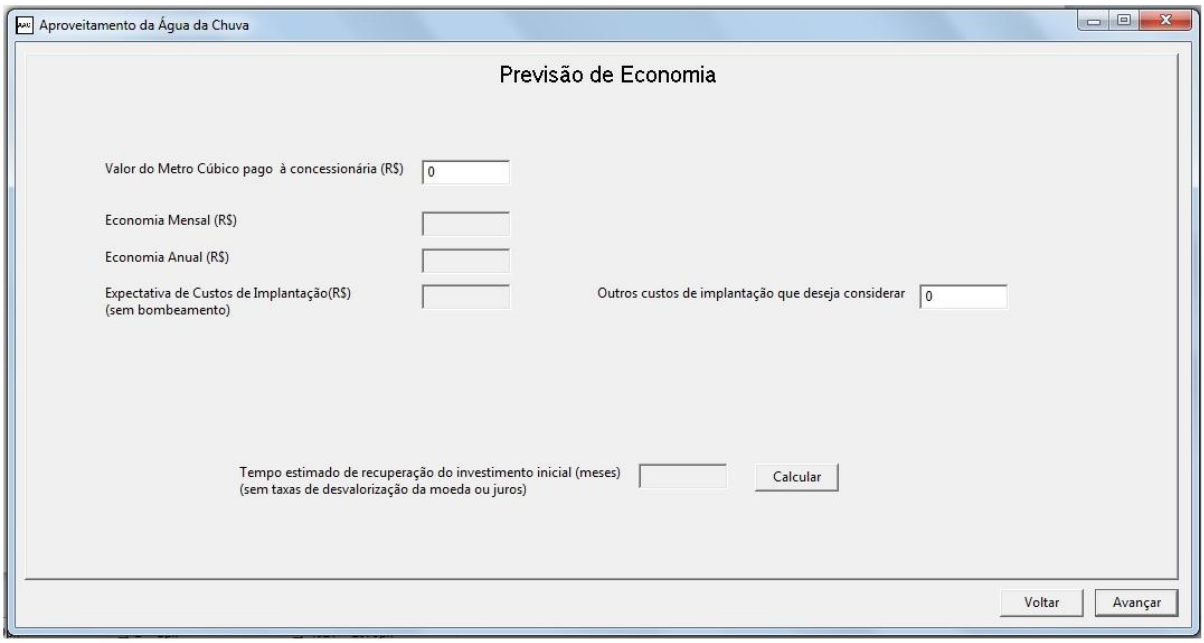
Figura 9 – Janela de dimensionamento e cálculo do custo de implantação do sistema



(fonte: elaborado pelo autor)

A previsão de economia em compra de água, do sistema público de abastecimento, proporcionada pelo sistema de aproveitamento de água da chuva é calculada na quarta janela do programa, apresentada na figura 10. Nesta janela o usuário deve digitar o valor unitário do metro cúbico de água que paga à concessionaria e clicar em calcular. Assim o programa apresenta uma expectativa de economia mensal e anual, e uma previsão em meses para recuperar os valores investidos na implantação do sistema de aproveitamento de água da chuva.

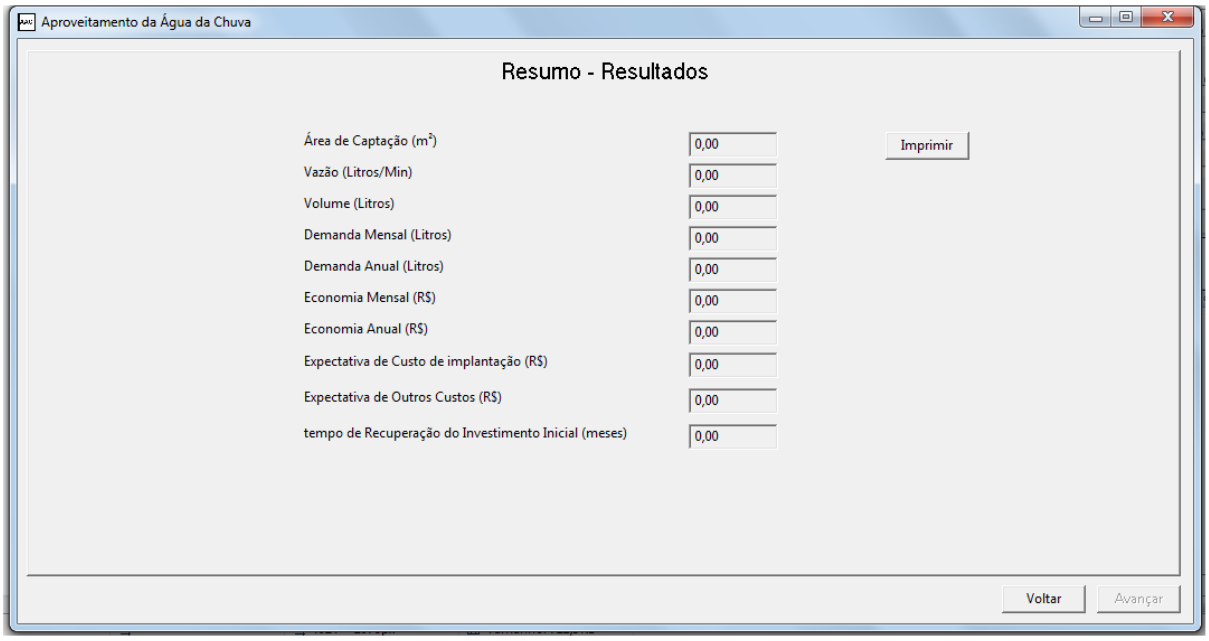
Figura 10 – Janela de previsão de economia



(fonte: elaborado pelo autor)

A última tela do programa, que pode ser vista na figura 11, apresenta um resumo dos resultados de todos os componentes calculados ao longo das janelas anteriores. Nesta tela é possível ao usuário imprimir tal resumo.

Figura 11 – Janela de resumo dos resultados



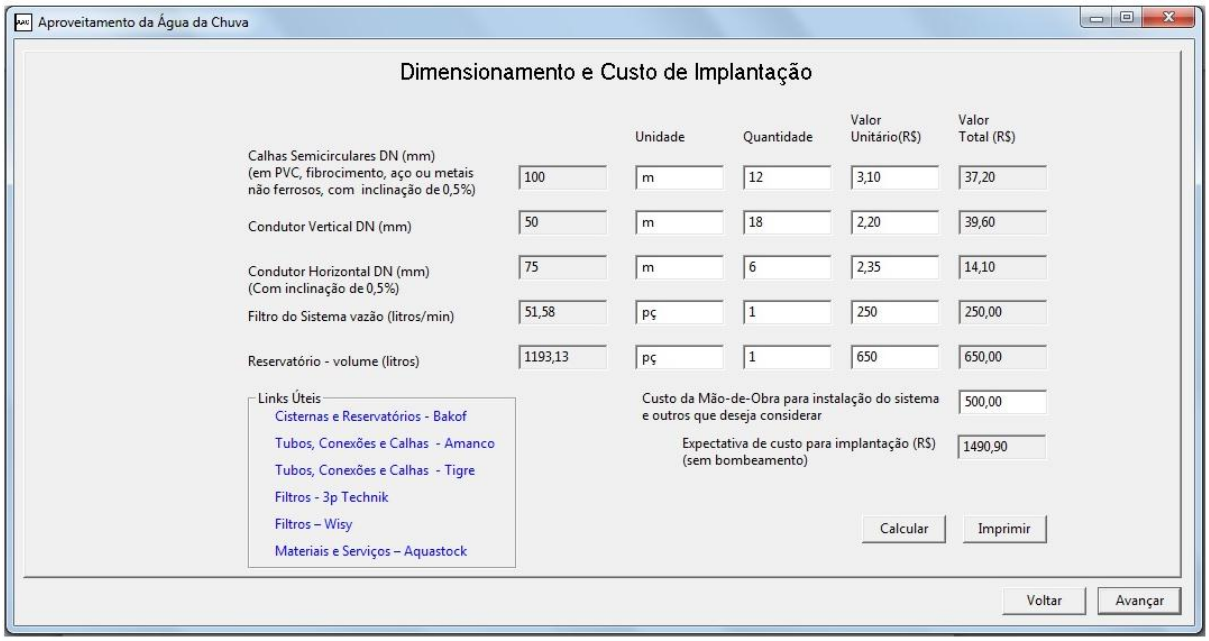
(fonte: elaborado pelo autor)

Para avaliar o programa simulou-se a intenção de instalar um sistema de aproveitamento de água da chuva em uma edificação para fins residenciais com um telhado de duas águas medindo 2 metros junto ao oitão, por 3 metros de comprimento de cumeeira, cada água. A cumeeira eleva-se a 0,4 metros na junção das duas águas. Ainda como área de captação, utiliza-se uma laje impermeabilizada medindo 2 metros de largura por 4 metros de comprimento.

Nesta residência moram quatro pessoas, existem dois carros, e uma área de 20 m² de jardim ou gramado. Pretende-se ainda, atender com água captada da chuva a duas bacias sanitárias e uma máquina de lavar roupas.

Após aplicação destes dados ao simulador obteve-se o dimensionamento dos componentes do sistema e uma previsão de custo de implantação conforme apresentado na figura 12.

Figura 12 – Janela com o resultado do dimensionamento e cálculo do custo de implantação do sistema para a avaliação

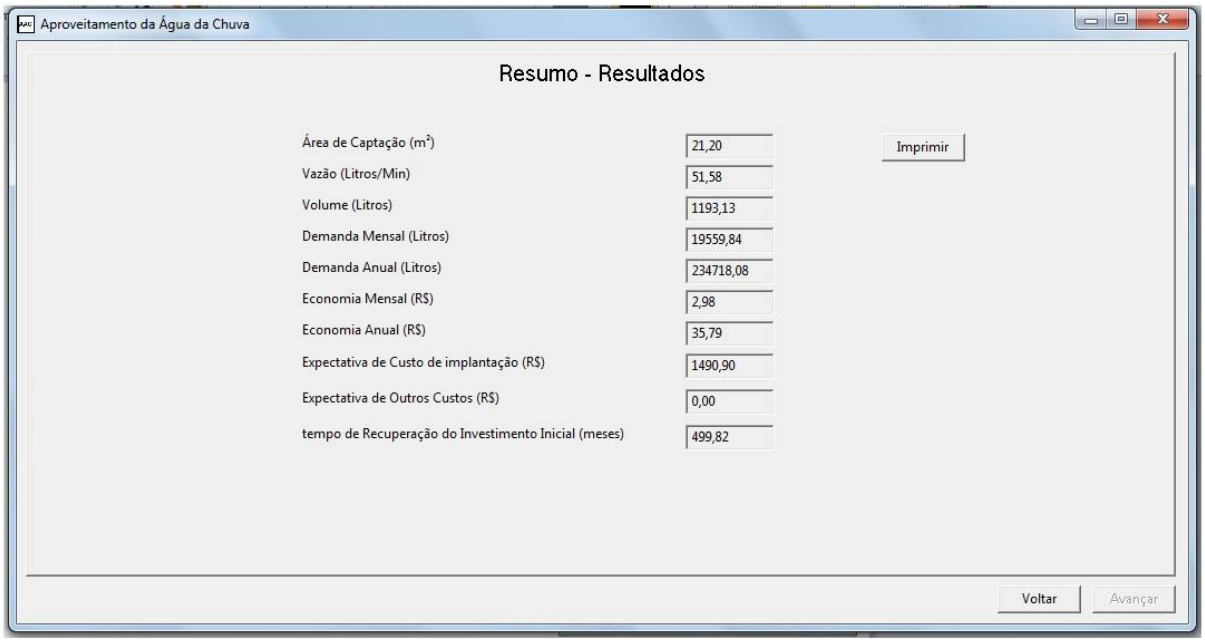


(fonte: elaborado pelo autor)

A figura 13 apresenta a janela com o resumo dos resultados obtidos para esta simulação de avaliação.

Nesta janela são apresentados os resultados para cada uma das variáveis do sistema calculadas ao longo do programa.

Figura 13 – Janela com o resumo dos resultados para a avaliação



(fonte: elaborado pelo autor)

A janela mostra os resultados obtidos para a área de captação, vazão do sistema, o volume do reservatório, as expectativas de demanda mensal e anual, de economia mensal e anual, de custo de implantação e tempo de retorno do investimento em meses.

Com a aplicação desta simulação ao programa e efetuando os cálculos manualmente podem-se comparar os resultados obtidos e concluir que o simulador funciona com perfeição.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Haja vista que a água potável é um produto que vem tornando-se cada vez mais escasso, a adoção de soluções técnicas que permitam substituir o seu uso por águas advindas de fontes menos nobres são de suma importância para propiciar o desenvolvimento de edificações cada vez mais sustentáveis.

A relação entre os custos de implantação de sistemas de aproveitamento de água da chuva e o custo da água potável distribuída pelas concessionárias, que ainda é relativamente barato no Brasil, passa a impressão, à primeira vista, que este tipo de sistema não apresenta viabilidade econômica. E ainda, que somente seria utilizado em edificações onde há dificuldades de se obter água da rede pública.

No entanto o que este trabalho demonstra, é que se bem planejado um sistema de aproveitamento de água da chuva é factível, e pode auxiliar na promoção do conceito de uma edificação sustentável e contribuir para a economicidade na implantação de uma infraestrutura de drenagem pluvial. O programa se mostrou útil e eficiente ao dimensionar, mesmo que de maneira simplificada, um sistema de aproveitamento de água da chuva. Assim, este simulador computacional é capaz de auxiliar na tomada de decisão quanto à implementação deste tipo de sistema.

Ainda, pode significar potenciais avanços no desenvolvimento e aprimoramento do ferramental para tomada de deste tipo de decisão.

REFERÊNCIAS

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

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

_____. **NBR 15.527**: água de Chuva – Aproveitamento de áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos. Rio de Janeiro, 2007.

BERTOLO, E. de J. P**. Aproveitamento da água da chuva em edificações**. 2006. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n. 518**, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, DF, 2004. Disponível em: <http://dtr2001.saude.gov.br/sas/PORTARIAS/Port2004/GM/GM-518.htm>. Acesso em: 07 jul. 2013.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria n. 2914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_2914_12_12_2011.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2013.

DORNELLES, F.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para Aproveitamento de Água de Chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 15, n. 12, p. 59-68, abr./ jun. 2010.

_____. Metodologia para Ajuste do Fator de Esgoto/Água para Aproveitamento de Água de Chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 111-121, jan./ mar. 2012.

ECORACIONAL COMÉRCIO LTDA. **Como Instalar**. Londrina, PR, 2013. Disponível em: <http://www.ecoracional.com.br/Comoinstalar>. Acesso em: 17 jun. 2013.

FLESCH, V. C. **Aproveitamento de Águas Pluviais**: análise do projeto de um edifício vertical. 2011. 63 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. 2009. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normal Climatológica 31-90 para Porto Alegre**. Brasília, DF, 2013. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>[3]. Acesso em: 17 jun. 2013

PORTO ALEGRE. Secretaria de Planejamento Municipal. **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: 17 jun. 2013.

_____. Secretaria de Planejamento Municipal. **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/nph-brs?s1=000029949.DOCN.&l=20&u=%2Fnetahtml%2Fsirel%2Fsimples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>. Acesso em: 17 jun. 2013.

_____. Secretaria de Planejamento Municipal. **Decreto n. 16.305,** de 26 de maio de 2009. Regulamenta a Lei n. 10.506 de 2008. Porto Alegre, 2009. Disponível em: < http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000030452.DOCN.&l=20&u=/netahtml/sirel/simples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>. Acesso em: 17 jun. 2013.

3P TECHNIK DO BRASIL LTDA. **Sistemas de Filtragem**. São Paulo, SP, 2013. Disponível em: <http://www.3ptechnik.de/4-2-Home.html>. Acesso em 17 jun. 2013

[3] Na pagina indicada, selecionar o período, como parâmetro selecionar a precipitação, e selecionar a estação de Porto Alegre. Clicar no botão visualizar para gerar a imagem.