



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE RESERVATÓRIO PARA  
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM RESIDÊNCIA:  
DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

KAROLYNE AQUINO ALEXANDRE BRECKENFELD

João Pessoa - PB  
Novembro de 2016

KAROLYNE AQUINO ALEXANDRE BRECKENFELD

**DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE RESERVATÓRIO PARA  
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA EM RESIDÊNCIA:  
DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a  
Coordenação do Curso de Graduação de  
Engenharia Civil da Universidade Federal da  
Paraíba, como requisito para a obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde  
Júnior

João Pessoa  
Novembro de 2016

## **DEDICATÓRIA**

À Deus, que sempre olhou por mim, me dando forças e determinação para concluir esta etapa na minha vida.

Às minhas avós, Antonieta (*in memoriam*) e Irega, por tantas orações e torcida pelo meu sucesso.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe, Ednalda, que sempre esteve presente nos momentos alegres e tristes. Gratidão pelo seu amor incondicional. Essa vitória também é sua!

Aos meus irmãos, Gabriel, Mariana e Wagner Filho, presentes de Deus em minha vida.

Ao meu noivo, Victor, meu companheiro de todos os momentos e maior incentivador. Gratidão por todo apoio e compreensão nos meus momentos de ausência.

Ao meu tio e padrinho de formatura, Eliézio, pelo exemplo de honestidade e dedicação a família.

Ao professor orientador, Gilson Athayde Jr., por toda paciência, ensinamentos e bom humor, que me fizeram acreditar que tudo daria certo. Minha admiração pela sua dedicação e competência.

Ao professor Francisco Sarmiento, por todos os ensinamentos na linguagem da programação e à professora Isabelly Vasconcelos, pela disponibilidade em ter aceitado este convite. É um prazer tê-los na banca examinadora.

À professora e coordenadora, Ana Cláudia Braga, sinônimo de dedicação a este curso e todos os alunos.

A todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha preparação acadêmica.

## RESUMO

A disponibilidade de água potável no mundo vem diminuindo de maneira preocupante, seja pelo crescente aumento populacional e econômico ou pelo desperdício e poluição das águas superficiais e subterrâneas, o fato é que novas fontes alternativas de água precisam ser encontradas. O reuso de águas provenientes de esgoto secundário, bem como o aproveitamento de águas pluviais, surgem como técnicas sustentáveis para amenizar a crise hídrica no mundo. Isto significa que até mesmo em locais com água potável em abundância, medidas de conscientização sobre a preservação dos recursos naturais são necessárias assim como nas localidades onde a água tratada muitas vezes não consegue chegar. No presente estudo será abordado o processo de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em residências. Serão descritos metodologias de dimensionamento de reservatórios previstas pela norma regulamentadora ABNT 15527/2007, e uma adaptação destes métodos para que seja encontrado um sistema de aproveitamento ideal, ou seja, aquele que trabalha de maneira eficiente, maximizando o volume de água aproveitado e minimizando os custos com água tratada. Para que seja encontrado o volume ideal, foi elaborado um programa computacional de fácil utilização denominado “AcquaDrop”, visando incorporar coeficientes estudados por Lacerda (2015) e Sales (2016) afim de se obter uma maior confiança no dimensionamento. Os resultados mostram que reservatórios de pequena capacidade, muitas vezes não são viáveis para utilização em sistemas de aproveitamento, enquanto os reservatórios de grandes dimensões apresentam melhor funcionamento.

**Palavras-chave:** Aproveitamento de água de chuva. Dimensionamento econômico. Programação aplicada a engenharia. AcquaDrop.

## ABSTRACT

The availability of drinking water in the world has been decreasing in a worrying way, either by the increasing population and economic increase or by the waste and pollution of surface and groundwater, the fact is that new alternative sources of water need to be found. The reuse of secondary sewage effluent, as well as the rainwater harvesting, appear as sustainable techniques to ease the water crisis in the world. This means that even in places with plenty of drinking water, awareness measures on the preservation of natural resources are needed as well as in locations where treated water often can not reach. In the present study will be approached the process of utilizing rainwater for non potable purposes in residences. It will be described the methodologies of sizing reservoirs foreseen by the regulatory standards, ABNT 15527/2007, and an adaptation of these methods to find an ideal system of utilization, that is, one that works efficiently, maximizing the volume of water used and minimizing the costs of treated water. In order to find the ideal volume, an easy-to-use computational program called "AcquaDrop" was developed, aiming to incorporate coefficients studied by Lacerda (2015) and Sales (2016) in order to obtain greater confidence in the design. The results show that small capacity reservoirs are often not feasible for use in recovery systems, whereas large reservoirs are better functioning.

**Keywords:** Rainwater harvesting. Economic sizing. Engineering programming. AcquaDrop.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição de água doce no mundo .....	12
Figura 2 - Pedra Moabita.....	13
Figura 3 - Cisterna de PVC .....	14
Figura 4 - Sistema dual de água fria: água potável e não potável .....	15
Figura 5 - Interface inicial do programa REZZ.....	27
Figura 6 - Interface Método de Rippl.....	27
Figura 7 - Exemplo de relatório gerado pelo programa .....	28
Figura 8 - Interface do programa Netuno 4.....	29
Figura 9 - Porcentagem de consumo dos aparelhos hidrossanitários .....	44
Figura 10 - Ícone do programa AcquaDrop .....	58
Figura 11 - Interface sobre o AcquaDrop.....	78
Figura 12 - Interface principal AcquaDrop .....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estimativa da demanda residencial de água potável para uso externo.....	32
Tabela 2 - Perfil de consumo doméstico de água.....	32
Tabela 3 - Valor Presente Líquido em função do volume do reservatório.....	37
Tabela 4 - Relação Benefício/Custo em função do volume do reservatório .....	37
Tabela 5 - Relação Período de Retorno em função do volume do reservatório .....	38
Tabela 6 - Taxa de consumo dos aparelhos hidrossanitários .....	60
Tabela 7 - Padrão de consumo de água potável .....	61
Tabela 8 - Distribuição de usos de água de chuva .....	61
Tabela 9 - Distribuição de usos de água potável.....	61
Tabela 10 - Coeficiente de Extravasamento para volume de 5 m <sup>3</sup> .....	66
Tabela 11 - Coeficiente de Extravasamento para volume de 10 m <sup>3</sup> .....	67
Tabela 12 - Coeficiente de Extravasamento para volume de 15 m <sup>3</sup> .....	67
Tabela 13 - Coeficiente de Extravasamento para volume de 20 m <sup>3</sup> .....	68
Tabela 14 - Coeficiente de Extravasamento para volume de 30 m <sup>3</sup> .....	68
Tabela 15 - Coeficiente de Extravasamento para volume de 40 m <sup>3</sup> .....	69
Tabela 16 - Custo dos reservatórios .....	71
Tabela 17 - Custo do filtro de areia.....	72
Tabela 18 - Estrutura tarifária CAGEPA .....	75
Tabela 19 – Dados de entrada .....	79
Tabela 20 – Médias mensais de precipitação da cidade de João Pessoa/PB .....	79
Tabela 21 – Pontos de utilização de água de chuva .....	79
Tabela 22 – Balanço hídrico para reservatório de 5 m <sup>3</sup> .....	80
Tabela 23 – Balanço hídrico para reservatório de 10 m <sup>3</sup> .....	81
Tabela 24 – Balanço hídrico para reservatório de 15 m <sup>3</sup> .....	81
Tabela 25 – Balanço hídrico para reservatório de 20 m <sup>3</sup> .....	82
Tabela 26 – Balanço hídrico para reservatório de 30 m <sup>3</sup> .....	82
Tabela 27 – Balanço hídrico para reservatório de 40 m <sup>3</sup> .....	83
Tabela 28 – Coeficientes de extravasamento para diferentes volumes .....	83
Tabela 29 - Volumes de água de chuva aproveitados .....	84
Tabela 30 - Análise econômica para reservatório de 5 m <sup>3</sup> .....	85
Tabela 31 - Análise econômica para reservatório de 10 m <sup>3</sup> .....	86
Tabela 32 - Análise econômica para reservatório de 15 m <sup>3</sup> .....	87
Tabela 33 - Análise econômica para reservatório de 20 m <sup>3</sup> .....	88
Tabela 34 - Análise econômica para reservatório de 30 m <sup>3</sup> .....	89
Tabela 35 - Análise econômica para reservatório de 40 m <sup>3</sup> .....	90

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação B/C x Volume do reservatório para o padrão alto .....	36
Gráfico 2 - Relação Confiabilidade Volumétrica x Volume do Reservatório para $C = 0,85$ - Padrão Alto, Maringá (PR).....	64
Gráfico 3 - Relação Coeficiente de Extravasamento x $D^2$ para área de captação = $75 \text{ m}^2$ , $C = 0,85$ - Padrão Médio. ....	66
Gráfico 4 - Relação Volume x Preço do reservatório .....	70
Gráfico 5- Relação Benefício/Custo x Volume do reservatório.....	91

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
1.1. Água de chuva como fonte alternativa .....	12
1.2. Sistemas de aproveitamento de água pluvial.....	13
1.2.1. Partes componentes de um sistema de aproveitamento.....	15
1.3. Dimensionamento econômico de reservatórios.....	17
1.3.1. Volume ótimo.....	17
1.3.2. Análise econômica .....	18
2. OBJETIVO.....	19
2.1. Objetivo geral.....	19
2.2. Objetivo específico.....	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1. Métodos de dimensionamento de reservatórios de água de chuva.....	20
3.1.1. Método de Rippl.....	20
3.1.2. Método da simulação .....	21
3.1.3. Método de Azevedo Neto.....	22
3.1.4. Método prático alemão.....	22
3.1.5. Método prático inglês.....	23
3.1.6. Método prático australiano.....	23
3.1.7. Comparativo entre os métodos .....	24
3.2. Programação aplicada ao dimensionamento de reservatórios .....	26
3.2.1. REZZ.....	26
3.2.2. Netuno.....	28
3.2.3. Sim Tanka .....	31
3.3. Estudos de caso de aproveitamento de água de chuva .....	31
4. METODOLOGIA .....	58
4.1. O programa.....	58
4.2. Dados de entrada .....	59
4.3. Algoritmo .....	60
4.3.1. Consumo per capita de água.....	60
4.3.2. Consumo per capita de água de chuva .....	61
4.3.3. Oferta de água pluvial .....	62
4.3.4. Demanda de água pluvial .....	62

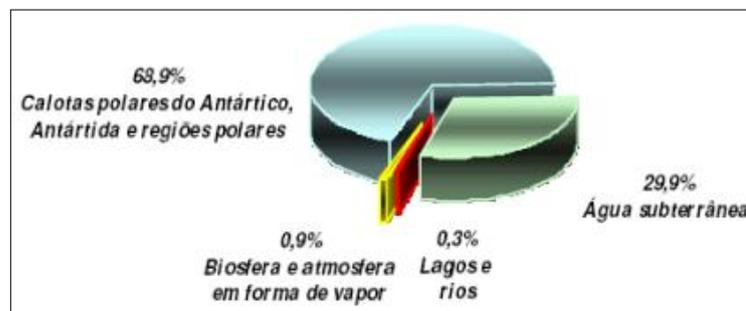
4.3.5.	Correção do volume captado de água de chuva .....	63
4.3.6.	Custos de investimento.....	69
4.3.7.	Custos de exploração.....	73
4.3.8.	Análise Econômica.....	74
4.3.9.	Escolha do reservatório .....	77
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	78
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	92
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	93

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Água de chuva como fonte alternativa

Muito se tem dito sobre a crise hídrica que assola o mundo atualmente. Apesar da superfície do nosso planeta ser composta em 70% por água, apenas aproximadamente 1% dela é apropriada ao consumo humano. Isso acontece porque de toda água existente, apenas é utilizada para o consumo humano a água proveniente de lagos, rios e aquíferos. A figura 1 mostra a distribuição de água doce no mundo, sendo correspondente a 2,5% do total de água.

Figura 1 - Distribuição de água doce no mundo



Fonte: Tomaz, 2010.

Devido ao acelerado crescimento populacional e econômico, o recurso mais precioso à vida humana – a água – vem tornando-se cada vez mais escasso.

Sem água natural a vida como se conhece não teria como existir, visto que em tudo que nos é essencial, exige a presença da água. Desde as necessidades fisiológicas do corpo humano ao funcionamento dos ecossistemas, a água tem fundamental importância na agropecuária, produção industrial e geração de energia.

De acordo com a ONU – Organização das Nações Unidas – cada pessoa necessita de um volume de água de 3,3 m<sup>3</sup>/mês, resultando em um consumo diário de 110 litros. Porém segundo a SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), o brasileiro consome cerca de 200 litros/dia com ingestão, higiene pessoal, limpeza de ambientes e preparação de alimentos.

Segundo a UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciências e a Cultura – a crise hídrica está diretamente relacionada à má gestão dos recursos naturais, o

que ocasionará de acordo com projeções da ONU, falta de água potável em 2050 para mais de 45% da população mundial (OLIVEIRA, 2014).

Com a poluição e escassez cada vez maior desses recursos naturais, surgem alternativas e atitudes sustentáveis que buscam amenizar o problema. Além de uma política de conscientização da população a respeito da importância da economia de água potável, também deve ser despertado o interesse para a utilização de sistemas que substituam parcialmente o uso da água potável por técnicas de aproveitamento de águas pluviais ou reuso de água.

No presente estudo será aprofundado o conhecimento em sistemas de aproveitamento de águas pluviais em residências para fins não potáveis, pois vem se mostrando uma técnica eficiente, uma vez que traz não só benefícios ao meio ambiente, como às vezes, redução de gastos para os que fazem uso do sistema.

## 1.2. Sistemas de aproveitamento de água pluvial

Sabe-se que o aproveitamento de água de chuva é uma técnica muito antiga, uma vez que registros milenares já foram encontrados. Segundo Tomaz (2010), um dos mais antigos é a “Pedra Moabita” (Figura 2). Nela foram encontradas inscrições datadas do ano de 830 a. C., onde o rei Mesha da antiga região de Moab, próximo a Israel, sugeria a construção de cisternas para cada casa.

Figura 2 - Pedra Moabita



Fonte: Tomaz, 2010.

A construção de cisternas para a reserva de água de chuva ainda é bastante utilizada, principalmente em regiões áridas e semiáridas que possuem longas épocas de estiagem. As

atuais possuem tecnologias mais modernas e são construídas de acordo com as necessidades dos moradores e características da região. A figura 3 mostra o sistema de aproveitamento com cisterna de PVC em residência na região semiárida do Nordeste.

Figura 3 - Cisterna de PVC



Fonte: Oliveira, 2014.

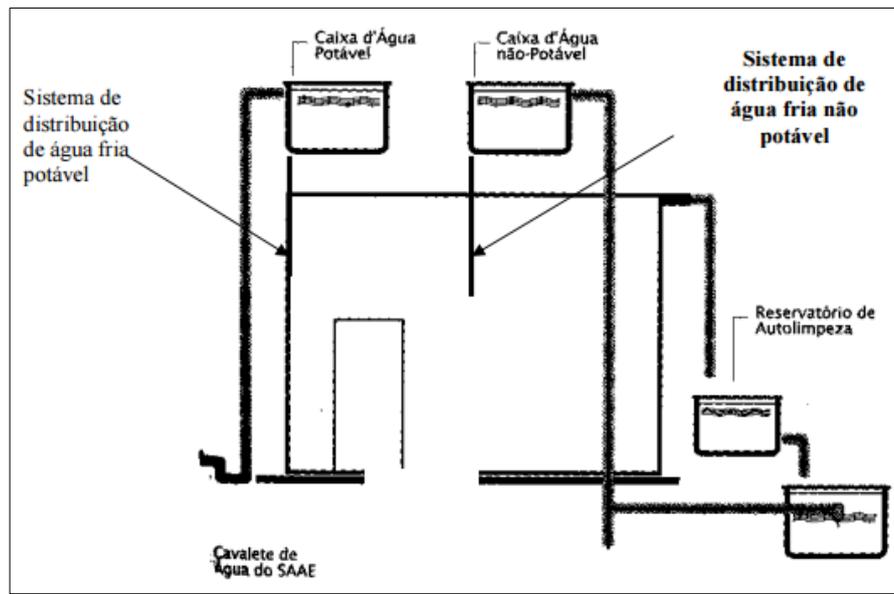
O processo de coleta de água de chuva acontece na maioria das vezes através de áreas impermeáveis, como o telhado da residência. Os pisos, especialmente de estacionamentos, não são recomendados para o aproveitamento por serem comumente utilizados produtos químicos para limpeza destas áreas, além da possibilidade de contaminação por vazamentos de combustíveis de carros. A água é captada por calhas, e encaminhada por condutores verticais e horizontais para serem armazenadas no reservatório de acumulação que geralmente encontra-se enterrado. Estes reservatórios podem ser construídos “in loco” ou podem ser utilizados tanques (caixas d’água) pré-fabricados de polietileno, fibra de vidro, chapa de aço, entre outros materiais.

Um sistema de aproveitamento possui basicamente três vantagens, sendo elas:

- Diminuição na demanda de água tratada;
- Diminuição dos picos de vazão de chuva quando aplicada em larga escala, podendo minimizar as enchentes;
- Possível economia de compra de água ao implantar o sistema, segundo Tomaz (2010) estimada em 30%.

Devido sua utilização para fins não potáveis, o sistema de aproveitamento pode – e deve – ser utilizado de maneira complementar a outro sistema de distribuição de água. Para esse tipo de instalação (Figura 4) é dada a nomenclatura de sistema dual de água fria.

Figura 4 - Sistema dual de água fria: água potável e não potável



Fonte: Tomaz (2010).

Por ser considerada uma água relativamente limpa e de qualidade aceitável, a água de chuva acumulada poderá ser destinada para diversos fins não potáveis sem necessidade de qualquer tipo de tratamento. Sendo recomendada apenas a instalação de filtros de areia posicionados antes da entrada do reservatório inferior, de modo que sejam retidas partículas granulares, folhagens, entre outras impurezas, e uma desinfecção, que pode ser com cloro.

Á água armazenada poderá ser utilizada para higiene pessoal, suprimento de animais, utilidades domésticas, irrigação de jardins ou áreas rurais, lavagem de automóveis ou qualquer outro fim que a potabilidade da água não seja necessária.

### 1.2.1. Partes componentes de um sistema de aproveitamento

Um sistema de captação e armazenamento de águas pluviais para aproveitamento possui os seguintes aparelhos necessários para um bom funcionamento:

- Área de captação: na grande maioria dos casos são utilizadas as coberturas das edificações, podendo ser telhados cerâmicos, de fibrocimento, zinco, lajes impermeabilizadas com manta asfáltica, entre outros;

- Calhas e condutores horizontais e verticais: são os dispositivos responsáveis por captar as águas e encaminhá-las aos reservatórios e pontos de utilização, podendo ser de PVC ou metálicas;

- “By pass”: é uma tubulação utilizada especialmente para o descarte da água proveniente da primeira chuva coletada que também é conhecida como “first flush”.

- Peneira: tela comumente utilizada em calhas para reter os materiais em suspensão com diâmetros a partir de 0,2 mm;

- Reservatório: utilizado para o armazenamento de águas pluviais, sendo o equipamento essencial para o funcionamento do sistema. Pode ser apoiado, enterrado ou elevado e variar de acordo com os materiais que o constituem, como concreto armado, alvenaria de blocos cerâmicos, PVC, polietileno, chapas de aço, entre outros;

- Extravasor: também conhecido como “ladrão”, é a tubulação utilizada para descarte de água quando o volume de água captada atingir a capacidade máxima do reservatório. Deve ser previsto para o dispositivo, telas para impedir entrada de animais.

- Filtro de areia: utilizado para reter impurezas como folhar e outros detritos;

- Conjunto motobomba: realiza o bombeamento da água captada pelo reservatório inferior ao superior.

De acordo com Oliveira (2014) cabe ao projetista estabelecer os padrões de qualidade de água necessários a cada caso. Ficando a critério do mesmo a utilização da etapa de cloração da água. Ainda segundo o autor, os filtros também são de fundamental importância para a remoção de parasitas, como exemplo, o *Cryptosporidium parvum*, um dos principais causadores de diarreia em crianças.

Deve-se observar que todo o procedimento de dimensionamento de um sistema de aproveitamento deve levar em consideração os usos finais da água, a quantidade de pessoas que serão beneficiadas, o regime pluviométrico local e período de retorno ou vida útil adotados.

Ainda segundo Oliveira (2014) as calhas e os condutores horizontais e verticais devem ser dimensionados conforme a ABNT NBR 10844/89, que rege o dimensionamento de instalações prediais de água pluviais.

### **1.3. Dimensionamento econômico de reservatórios**

Para um dimensionamento eficiente de um sistema de aproveitamento de águas pluviais, o ponto principal é combinar os três fatores de maior relevância: captação, armazenamento e consumo. Porém realizar o dimensionamento para que se obtenha um maior potencial de economia só é possível quando se analisa a viabilidade econômica do projeto, encontrando desta forma o volume ideal do reservatório de acumulação.

#### **1.3.1. Volume ótimo**

Sabe-se que o reservatório é o componente de maior relevância no dimensionamento do sistema. Em geral, quanto mais preciso for seu dimensionamento, mais complexa será a metodologia de cálculo utilizada.

Tem-se como base para seu dimensionamento os custos totais de implantação, a demanda de água requerida, a capacidade de coleta de água de chuva, bem como as características de chuva da região, e os parâmetros de confiabilidade requeridos ao sistema.

Para encontrar o volume econômico do reservatório, deve ser realizado um dimensionamento preciso que avalie a viabilidade econômica do sistema, pois um reservatório superdimensionado terá um elevado custo de implantação, enquanto um sistema subdimensionado terá um volume aproveitado de água muito abaixo do que o realmente poderia ser aproveitado.

Outro fator determinante para a escolha do reservatório com volume econômico é o fato das tarifas de água atualmente possuírem um valor muito baixo. Desta forma, um sistema superdimensionado dificilmente irá recuperar o valor investido na sua implantação, ainda que para um tempo de retorno longo.

### 1.3.2. Análise econômica

Todo projeto de engenharia necessita da definição de um tempo de vida útil ou alcance de projeto, que está diretamente relacionado à sua durabilidade. É a partir desse tempo de alcance que se pode obter o potencial de economia para uma dada alternativa.

No processo de análise de implantação de um determinado projeto, o estudo da viabilidade econômica é de fundamental importância de maneira que estará diretamente relacionado à tomada de decisão da implantação ou não do projeto. Os indicadores econômicos são calculados e determinados a critério do projetista.

De acordo com Dias (2007), o indicador Valor Presente Líquido (VPL) consiste no somatório dos fluxos de caixa do projeto, onde todos os benefícios e custos são levados em consideração e transformados em valores presentes através das taxas correspondentes. Desta forma, todas as alternativas que apresentarem um VPL positivo são consideradas atraentes, prevalecendo a escolha pelo que apresentar maior índice.

A relação benefício/custo (B/C) considera aspectos técnicos, econômicos e sociais, onde todos os benefícios são divididos em relação aos custos, buscando-se obter uma razão maior que zero. Este método geralmente apresenta bons resultados, sendo bastante utilizado quando se deseja comparar diferentes alternativas de projeto. Observa-se também a necessidade de transformar todos os dados em valores presentes.

Os benefícios de um projeto correspondem a todos os ganhos adquiridos com sua implantação, podendo ser diretos ou indiretos. Os benefícios diretos correspondem aos resultados obtidos imediatamente, enquanto os indiretos são obtidos por consequência dos resultados de projeto. Outra maneira de classifica-los é em relação aos que possuem valores econômicos (tangíveis) e os que não podem ser quantificados economicamente (intangíveis) (DIAS, 2007).

Ainda segundo Dias (2007), os custos para um projeto de saneamento podem ser classificados em custos de investimento e custos de exploração. Sendo este primeiro um valor fixo referente à implantação do projeto e os de exploração, relacionados ao custo de operação e manutenção do sistema ao longo de sua vida útil.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1. Objetivo geral**

O presente trabalho objetiva desenvolver um software de fácil utilização para o dimensionamento econômico de um sistema de aproveitamento de água pluvial em residência.

### **2.2. Objetivo específico**

- Incorporar parâmetros pluviométricos que visam corrigir os volumes de chuva aproveitáveis, aumentando a eficiência do dimensionamento, através da programação.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O aproveitamento de águas pluviais surge como uma solução para problemas ambientais e também, uma alternativa sustentável que traz benefícios econômicos a população que faz uso deste sistema. Para que um sistema de aproveitamento seja eficiente economicamente, este deve buscar um dimensionamento ótimo para o reservatório de acumulação.

Nem sempre é fácil encontrar o volume ideal que torne a alternativa viável economicamente. Sabe-se que um reservatório de grande capacidade garante um bom volume de acumulação de água, porém quanto maior seu tamanho, maior será seu custo de implantação. Em contrapartida, um reservatório muito pequeno terá um custo mais baixo, porém se encontrará vazio por um longo período.

Para que haja um bom dimensionamento, a oferta de água de chuva obtida em função das características pluviométricas da região e da área de captação em estudo, devem ser estimadas com precisão. Precisão esta também necessária para o cálculo da demanda, possibilitando um menor gasto de implantação e maior aproveitamento do sistema de captação de água de chuva.

Aqui serão vistos métodos de dimensionamento e estudos de caso de aproveitamento de água de chuva, de maneira a comprovar a viabilidade econômica dessa alternativa.

#### **3.1. Métodos de dimensionamento de reservatórios de água de chuva**

Segundo a norma regulamentadora que estabelece os requisitos necessários para o aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis através de coberturas de áreas urbanas, ABNT 15527/2007, seis métodos de cálculo podem ser utilizados para o dimensionamento de reservatórios. Todos eles serão descritos abaixo:

##### **3.1.1. Método de Rippl**

Para o método de Rippl são considerados os dados pluviométricos da região em questão, sendo utilizadas as séries históricas mensais ou diárias. Para um determinado tempo (t), o dimensionamento é calculado através das seguintes equações:

$$Q_{(t)} = C \times P_{(t)} \times A \quad (1)$$

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)}, \text{ sendo } \sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)} \quad (2)$$

Onde,

$Q_{(t)}$  é o volume de chuva aproveitável no tempo  $t$ ;

$C$  é o coeficiente de escoamento da superfície de cobertura;

$P_{(t)}$  é a precipitação pluviométrica no tempo  $t$ ;

$A$  é a área de captação;

$S_{(t)}$  é o volume de água no reservatório para o tempo  $t$ ;

$D_{(t)}$  é a demanda de água.

Por fim, obtêm-se o volume do reservatório através do somatório de volumes de água, sendo considerados apenas os valores positivos destes.

$$\text{Volume do reservatório} = \sum S_{(t)}, \text{ para } S_{(t)} > 0 \quad (3)$$

Tomaz (2010) observa que para o método Rippl o reservatório é supostamente cheio no início e que a retirada de água é constante. Este autor ainda completa que como a evaporação da água não é considerada para o cálculo, a mesma pode ser estimada quando exposta ao sol.

### 3.1.2. Método da simulação

Neste método aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito para um determinado mês, considerando que no início de tempo “ $t$ ”, este estará operando com sua capacidade máxima. Observa-se que a água perdida por evaporação é então desprezada no dimensionamento, como segue abaixo:

$$Q_{(t)} = C \times P_{(t)} \times A \quad (4)$$

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (5)$$

Onde,

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

$C$  é o coeficiente de escoamento superficial;

$P_{(t)}$  é a precipitação pluviométrica no tempo  $t$ ;

$A$  é a área de captação;

$S_{(t)}$  é o volume de água no reservatório no tempo  $t$ , sendo  $0 \leq S_{(t)} \leq V$ ;

$V$  é o volume do reservatório fixado;

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

$D_{(t)}$  é o consumo ou demanda no tempo  $t$ ;

### 3.1.3. Método de Azevedo Neto

No método prático do professor Azevedo Neto, o volume do reservatório é dimensionado através da equação 6 que calcula o volume de chuva aproveitável da seguinte forma:

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (6)$$

Onde,

$V$  é o volume de água de chuva aproveitável para o reservatório em litros;

$P$  é a precipitação pluviométrica média anual em mm;

$A$  é a área de captação em  $m^2$ ;

$T$  é o número de meses de estiagem, ou seja, com pouca chuva/seca.

### 3.1.4. Método prático alemão

Este método empírico adota o menor valor de volume do reservatório, a partir de 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação pluviométrica aproveitável.

$$V_{adotado} = \text{mín}(V; D) \times 0,06 \quad (7)$$

Onde,

$V_{adotado}$  é o volume de água dimensionado para o reservatório em litros;  
 $V$  é o volume aproveitável anual de água de chuva em litros;  
 $D$  é a demanda anual de água não-potável em litros.

### 3.1.5. Método prático inglês

O dimensionamento do volume do reservatório é obtido pela equação 9:

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (8)$$

Onde,

$V$  é o volume de água aproveitável para o reservatório em litros;

$P$  é a precipitação pluviométrica média anual em mm;

$A$  é a área de captação em m<sup>2</sup>.

### 3.1.6. Método prático australiano

Neste método o volume aproveitável é obtido da seguinte forma:

$$Q = A \times C \times (P - I) \quad (9)$$

Onde,

$Q$  é o volume mensal de precipitação de chuva em m<sup>3</sup>/mês;

$A$  é a área de captação em m<sup>2</sup>;

$C$  é o coeficiente de escoamento superficial;

$P$  é a precipitação média mensal em mm;

$I$  é a interceptação da água que molha as superfícies e as perdas por evaporação em mm.

Para o dimensionamento do volume do reservatório são realizadas tentativas até que sejam encontrados valores otimizados de confiança através das equações 10 e 11, devendo-se sempre considerar o reservatório vazio para o primeiro mês.

$$V_{(t)} = V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)} \quad (10)$$

Onde,

$V_{(t)}$  é o volume de água no reservatório ao fim do mês  $t$ ;

$V_{(t-1)}$  é o volume de água no reservatório no início do mês  $t$ ;

$Q_{(t)}$  é o volume mensal de precipitação no mês  $t$ ;

$D_{(t)}$  é a demanda mensal no mês  $t$ ;

Se  $(V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)}) < 0$ , o reservatório estará vazio, portanto  $V_{(t)} = 0$ .

$$P_r = \frac{N_r}{N} \quad (11)$$

Onde,

$P_r$  é a falha;

$N_r$  é o número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, ou seja, quando  $V_{(t)} = 0$ ;

$N$  é o número de meses considerado.

Tem-se então a verificação da confiança, onde são recomendados os valores que estejam entre 90% e 99% através da seguinte equação:

$$Confiança = (1 - P_r) \quad (12)$$

### 3.1.7. Comparativo entre os métodos

Diante das particularidades de cada método tem-se como desafio encontrar o dimensionamento ideal para um reservatório de água de chuva. A verdade é que não existe o método ideal, mas sim, o que apresenta resultado mais consistente diante determinada aplicabilidade. Através de uma análise comparativa entre estes, pode-se entender melhor as características de cada método de cálculo.

- a) Como o método de Rippl faz uso de séries históricas de precipitações transformadas em vazões que alimentam o reservatório, segundo Tomaz (2010) quanto maior a série de dados utilizada, maiores serão os volumes encontrados. Porém, ainda que se obtenham reservatórios superdimensionados, o uso deste método se faz importante para verificar o limite superior do volume do reservatório de acumulação.
- b) Dias (2007) destaca ainda a relevância do método de Rippl por apresentar flexibilidade em relação aos dados de entrada. Podendo realizar o dimensionamento para uma demanda constante ou variável, chuva média mensal, mensal ou diária.
- c) Rupp et. al (*apud* TOMAZ, 2003) destaca como vantagem do método da Simulação a possibilidade de determinar a eficiência do sistema, uma vez que os períodos em que o reservatório está suficientemente abastecido são relacionados com todo o período simulado. Aumenta-se assim a confiabilidade do método conforme maior a série histórica utilizada, adverso ao método Rippl.
- d) Rupp et al. (2011) observa como os dimensionamentos pelos métodos Azevedo Neto e Prático Inglês obtêm resultados exagerados em relação aos demais, visto que para o cálculo independe a demanda de água pluvial. Assim, quanto maior a precipitação pluviométrica da cidade e/ou área de captação, maior será o volume do reservatório.
- e) Lacerda (2015) considera o método Prático Australiano como o mais conservador entre os métodos por utilizar índices de precipitações mensais, sendo recomendado para as situações onde a demanda por água não potável seja suprida não somente pelos reservatórios de água de chuva, mas também por sistemas de abastecimento público. Torna-se importante então restringir o uso deste para localidades onde haja abundância de reservas hídricas.
- f) Através da aplicação dos métodos, Rupp et al. (2011) concluiu que Rippl, Simulação e Prático Alemão encontram volumes maiores à medida que se aumenta a demanda de água pluvial.

- g) Por fim, Rupp et al. (2011) conclui que os métodos Rippl, Simulação e Prático Australiano somente poderão ser utilizados para o dimensionamento nos casos em que, durante o período considerado, a demanda de água de chuva supera o volume mensal captado.

### **3.2. Programação aplicada ao dimensionamento de reservatórios**

Atualmente não existe um único método de cálculo para dimensionamento de um reservatório para armazenamento de água de chuva que não tivesse defeitos ou restrições. Isto implica dizer que o dimensionamento ideal ainda não foi encontrado.

Tendo em vista a dificuldade em encontra-lo, a tecnologia da informática vem a auxiliar a engenharia através de ferramentas computacionais para o desenvolvimento e solução desta problemática. Alguns softwares relacionados ao aproveitamento de água de chuva serão descritos e analisados abaixo.

#### **3.2.1. REZZ**

Este software foi concebido com o intuito de auxiliar o projetista na tomada de decisão no que se refere à escolha do método de cálculo mais adequado para cada caso particular. Consta de uma ferramenta desenvolvida para disponibilizar os resultados para os métodos de dimensionamento descritos na NBR 15527/07.

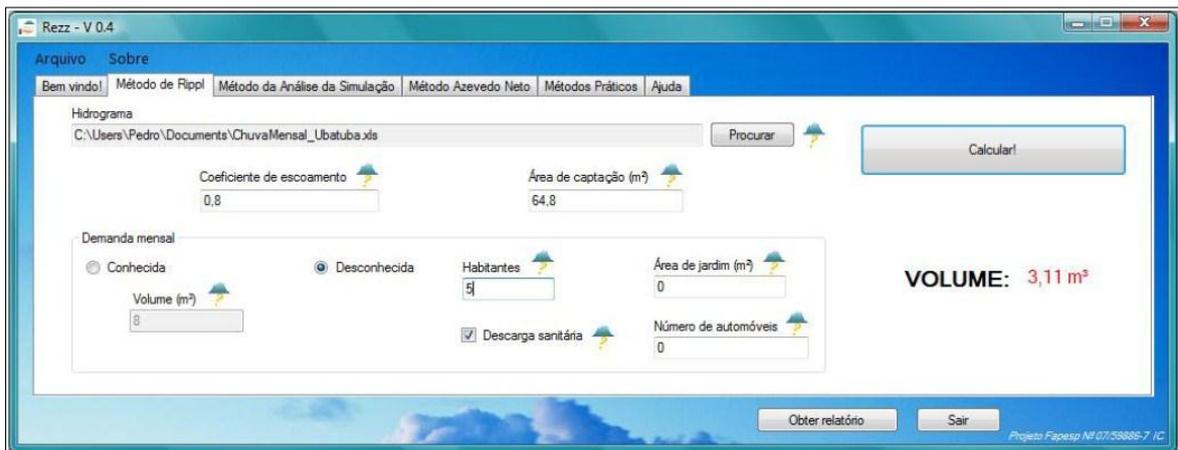
Ao abrir o programa, o usuário encontrará na interface inicial as opções de métodos a serem utilizados como mostra a figura 5. Com o clique em qualquer uma das abas, ele escolherá o critério de dimensionamento e preencherá com os dados de entrada necessários. Na figura 6 tem-se o Método de Rippl como exemplo.

Figura 5 - Interface inicial do programa REZZ



Fonte: Nascimento e Moruzzi (2011).

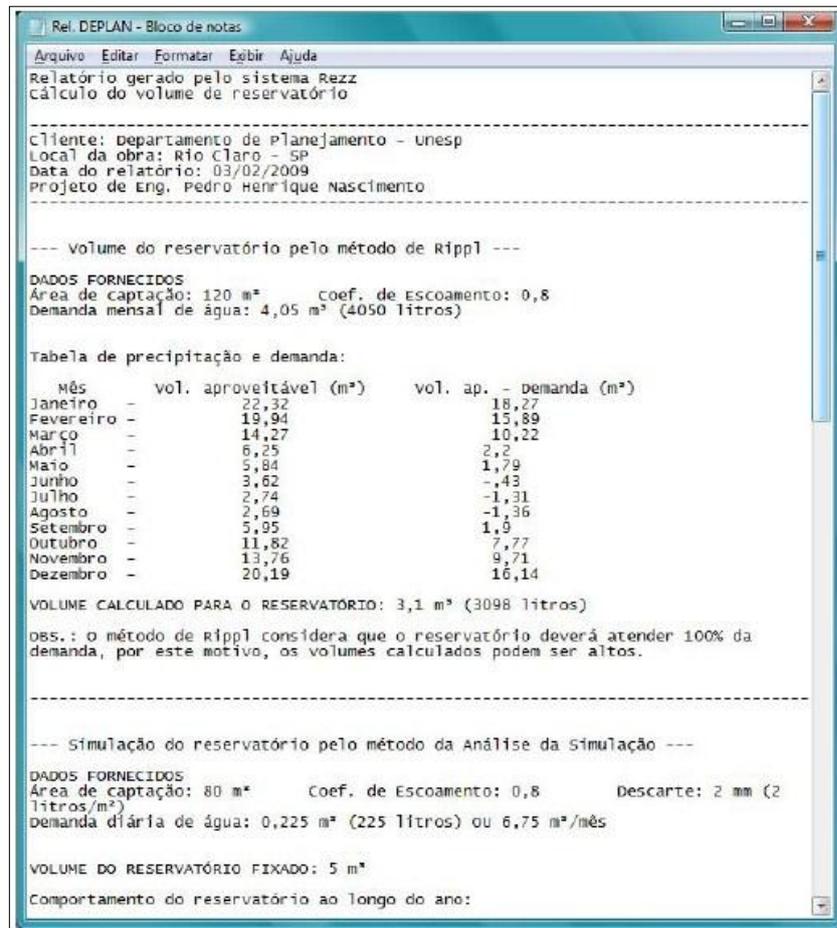
Figura 6 - Interface Método de Rippl



Fonte: Nascimento e Moruzzi (2011).

Após o preenchimento dos dados e dimensionamento calculado, o usuário ainda tem a opção de gerar um relatório (figura 7) com os dados encontrados, a partir do botão “Obter relatório”.

Figura 7 - Exemplo de relatório gerado pelo programa



Fonte: Nascimento e Moruzzi (2011).

Por fim, Nascimento e Moruzzi (2011) concluem que apesar de ainda necessitar de alguns ajustes, como a melhoria da apresentação dos dados (tabelas, gráficos, etc.), o software Rezz atende as necessidades para a qual foi desenvolvido, pois é de fácil uso e garante um dimensionamento confiável.

### 3.2.2. Netuno

Diferente do sistema REZZ, o programa Netuno traz um método de cálculo para o dimensionamento de reservatórios de água de chuva. Sua metodologia é baseada em simular o potencial de economia de água potável tanto para um volume de reservatório fixado, quanto para diferentes volumes simultaneamente, por meio do aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis.

Desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina (LabEEE/UFSC), o programa possibilita o usuário

fazer uma análise comparativa dos resultados, facultando a ele escolher o volume ideal para o caso em estudo. Tem-se como volume ideal aquele cujo acréscimo no potencial de economia do volume seguinte é igual ou inferior ao intervalo entre potenciais de economia de água potável considerado – intervalos estes que devem ser definidos pelo projetista (RUPP et al., 2011).

O usuário deve então fornecer os seguintes dados de entrada na interface inicial (figura 8):

- Precipitação pluviométrica diária em mm;
- Área de captação em m<sup>2</sup>;
- Número de moradores;
- Coeficiente de aproveitamento;
- Demanda diária de água potável per capita;
- Porcentagem de água potável a ser substituída por água de chuva.

Figura 8 - Interface do programa Netuno 4

The screenshot shows the 'Netuno 4' software window. The menu bar includes 'Simulação', 'Ajuda', 'Citação', 'Validação', and 'Sobre'. The main interface is divided into several sections:

- Carregar simulação previamente salva:** A button to load a saved simulation.
- Carregar dados de precipitação:** A table with columns for 'Número de registros', 'Data inicial (dd/MM/yyyy)', and 'Descarte escoamento inicial (mm)'. The 'Número de registros' column is currently empty.
- Reservatório superior:** A button to select the upper reservoir.
- Reservatório inferior:** A section with two radio button options:
  - Simulação para reservatório com volume conhecido
  - Simulação para reservatórios com diversos volumes
- Área de captação (m<sup>2</sup>):** A text input field.
- Demanda total de água (litros per capita/dia):** A text input field with a 'Variável...' button next to it.
- Número de moradores:** A text input field with a 'Variável...' button next to it.
- Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial:** A dropdown menu.
- Coeficiente de escoamento superficial:** A dropdown menu.
- Observações:** A text area with a placeholder: 'Preencha este campo para consultas futuras, caso queira salvar a simulação. Este campo não afeta os cálculos.'

Fonte: Netuno 4 (2014)

De acordo com Lacerda (2015), após o preenchimento dos dados, o algoritmo do Netuno segue a metodologia de cálculo mostrada abaixo.

I) Determina-se o volume de água de chuva a ser captado através da equação 13:

$$H_t = P \times A \times C_p \quad (13)$$

Onde,

$H_t$  é o volume de água pluvial captado no tempo “t” em litros/dia.residência;

$P$  é a precipitação diária em mm/dia;

$A$  é a área de captação da residência em m<sup>2</sup>;

$C_p$  é o coeficiente de aproveitamento, sendo  $C_p = 0,8$ .

II) Calcula-se o consumo diário de água pluvial na residência (equação 14) e o volume de água de chuva disponível no reservatório após atender a demanda total ou parcialmente (equação 15).

$$C_t = \text{Mínimo} \left\{ \begin{array}{l} D_p \times D \times n \\ V_{(t-1)} + H_t \end{array} \right. \quad (14)$$

Onde,

$C_t$  é o consumo de água de chuva no tempo “t” em litros/dia.residência;

$D_p$  é a taxa da demanda diária de água potável a ser substituída por água de chuva;

$D$  é a demanda diária de água potável em litros per capita/dia;

$n$  é o número de moradores na residência;

$V_{(t-1)}$  é o volume de água pluvial disponível no reservatório no tempo “t-1” em litros;

$H_t$  é o volume de água de chuva captado no tempo “t” em litros/dia.residência.

$$V_t = \text{Máximo} \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ \text{Mínimo} \left\{ \begin{array}{l} V_{(t-1)} + H_t - C_t \\ V - C_t \end{array} \right. \end{array} \right. \quad (15)$$

Onde,

$V_t$  é o volume de água de chuva consumido armazenado no reservatório no tempo “t”;

$V_{(t-1)}$  é o volume de água de chuva acumulado no reservatório no tempo “t-1” em litros;

$H_t$  é o volume de água de chuva captado no tempo “t” em litros/dia.residência;

$C_t$  é o volume de água de chuva consumido no tempo “t” em litros/dia.residência;

$V$  é o volume do reservatório de acumulação de água de chuva em litros.

III) Por fim, determina-se o potencial de economia de água potável através do uso do sistema de aproveitamento pela equação 16:

$$E = 100 \times \frac{\sum_{t=1}^d C_t}{D \times n \times d} \quad (16)$$

Onde,

$E$  é o potencial estimado de economia de água potável;

$C_t$  é o consumo diário de água de chuva em litros;

$D$  é a demanda diária de água potável em litros per capita/dia;

$n$  é o número de moradores na residência;

$d$  é o número de dias no período analisado.

Desta maneira, verifica-se a economia oferecida pelo sistema de aproveitamento para diferentes volumes de reservatório. O que mostra a eficiência do programa, pois otimiza o dimensionamento de reservatórios de água de chuva para fins não potáveis.

### 3.2.3. Sim Tanka

O software “Sim Tanka”, elaborado por Vikram Vyas em 1999, foi apresentado em Nova Delhi na Índia, em 2001, na RWH Conference – Conferência Internacional de Captação de Água de Chuva. Sua metodologia é baseada na análise estatística de dados hidrológicos numa série de 15 anos, onde é dada ao usuário a escolha da probabilidade de confiança do dimensionamento, variando de 75% a 95%. (TOMAZ, 2010)

O projetista deve fornecer a localidade onde será instalado o reservatório, para que este seja dimensionado de maneira a cobrir uma área mínima de captação, encontrando assim o menor volume possível que atenda a demanda desejada. (SINGH, 2009)

### 3.3. Estudos de caso de aproveitamento de água de chuva

1) *Estudo da viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento de água de chuva em residência na cidade de João Pessoa (DIAS, 2007).*

Dias (2007) elaborou um estudo sobre a viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento de água de chuva em residência na cidade de João Pessoa. Foi escolhido um posto pluviométrico monitorado pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, com uma série histórica de 53 anos de dados. Para o levantamento de demanda de água foram pesquisadas fontes bibliográficas, obtendo-se assim os seguintes dados encontrados nas tabelas 1 e 2:

Tabela 1 - Estimativa da demanda residencial de água potável para uso externo

Uso Externo	Unidade	Consumo	Frequência no mês
Lavagem de carro	L/Lavagem.carro	150	2
Manutenção de piscina	L/dia.m <sup>2</sup>	3	8
Perda por evaporação em piscina	L/dia.m <sup>2</sup>	5,75	30

Fonte: Tomaz (*apud* DIAS, 2007)

Tabela 2 - Perfil de consumo doméstico de água

Pontos de utilização de água	Consumo diário por habitação (L/dia.habitação)	Consumo (%)
Bacia sanitária	24	5
Chuveiro	238	55
Lavadora de roupas	48	11
Lavatório	36	8
Pia	80	18
Tanque	11	3
<i>Consumo total</i>	<u>437</u>	<u>100</u>

Fonte: Rocha (*apud* DIAS, 2007)

Foram considerados dois reservatórios: o inferior, de acumulação; e o superior. Para o dimensionamento do reservatório de acumulação foram considerados três diferentes níveis que variam de acordo com o nível socioeconômico e a área de captação.

- *Padrão Popular*: residências com área de captação igual a 60 m<sup>2</sup>. Neste caso, o reservatório foi dimensionado para uma capacidade máxima atendendo a vinte dias de consumo e, também, para um mínimo equivalente a dez dias de consumo.

- *Padrão Médio e Alto*: são consideradas residências com área de captação igual a 120 m<sup>2</sup> e 300 m<sup>2</sup> respectivamente. Para a capacidade máxima foi utilizado o método analítico de Rippl para o dimensionamento e, para um valor mínimo, dez dias de consumo na residência.

Porém, ao fazer uso de médias mensais das precipitações, tem-se uma “falsa” conclusão do regime de chuvas do local, isto ocorre devido o cálculo do volume do reservatório não considerar os picos de chuva. Dias (2007) optou então por utilizar um parâmetro de confiabilidade volumétrica para todos os anos e volumes do reservatório de acumulação, sendo determinado a partir da equação 17:

$$\text{Confiabilidade Volumétrica} = 100 \times \frac{V_1}{V_2} \quad (17)$$

Onde,

$V_1$ : Volume anual de águas pluviais aproveitado levando-se em consideração os dados em base diária para um dado ano;

$V_2$ : Volume anual de águas pluviais aproveitado levando-se em consideração as médias mensais.

Para a análise dos custos envolvidos em um projeto de reutilização de água pluvial, Dias (2007) os dividiu em duas categorias: custos de investimentos direto e indireto e custos de exploração.

- *Custos de investimento direto*: neste item são inclusos os custos para obtenção dos reservatórios (superior e inferior), tubulação e conjunto motor-bomba e filtro de areia. Todos os preços foram obtidos através de pesquisa no mercado dos valores dos materiais e insumos necessários.

- *Custos de investimento indireto*: foi calculada a taxa de juros (TJ) de acordo com a equação (18) fornecida pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico – BNDES.

$$TJ = \text{Custo Financeiro} + \text{Remuneração BNDES} + \text{Taxa risco de crédito} \quad (18)$$

- *Custos de exploração*: valores com relação aos custos com manutenção do sistema e o volume de água comprado, considerando a opção do volume máximo do reservatório inferior, bem como os cálculos com energia para bombeamento da água, foram também examinados.

O benefício econômico para cada caso foi obtido através do cálculo da quantidade de água aproveitada em um ciclo anual, levando-se em conta a tarifa do metro cúbico de água fornecida pela Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA. Foram considerados, ainda, indicadores econômicos para os diferentes cenários estudados para uma vida útil do sistema de 20 anos, sendo eles:

- *Valor Presente Líquido (VPL)*: consiste no somatório dos investimentos e retornos previstos para um dado projeto, sendo os custos a parcela negativa da expressão 19. Quanto maior o VPL, mais atrativo será o projeto, tornando o método de grande importância quando se deseja comparar diferentes propostas.

$$VPL = Benefícios - Custos \quad (19)$$

Portanto, segundo Dias (2007):

VPL < 0, o projeto não é atrativo;

VPL = 0, o projeto é indiferente;

VPL > 0, o projeto é atrativo.

- *Benefício/Custo (B/C)*: é uma relação entre os benefícios do projeto e os seus custos (equação 20), expressos em termos monetários, a fim de se obter a rentabilidade sobre o investimento.

$$B/C = \frac{Benefício}{Custo} \quad (20)$$

Quando:

$B/C < 1$ , um projeto que trará prejuízo;

$B/C = 0$ , um projeto indiferente;

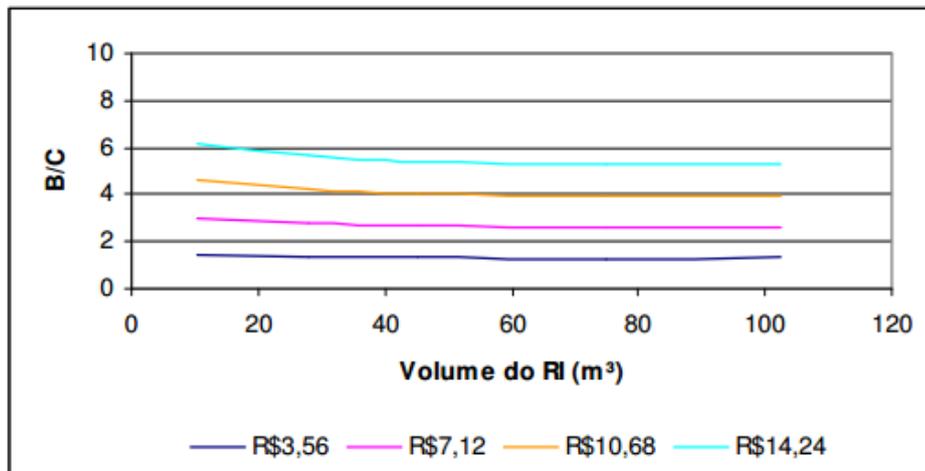
$B/C > 1$ , um projeto que trará lucro.

- *Tempo de Retorno do Capital (TRC)*: seu valor indica o tempo necessário para que os benefícios se igualem ao custo de investimento da proposta. Estando assim, diretamente relacionado à vida útil do projeto.

Foi desenvolvida uma pesquisa a fim de verificar o conhecimento da sociedade e a aceitação da utilização da água de chuva como fonte alternativa ao consumo não-potável de água. Para isso foi elaborado um formulário e aplicado a uma amostra previamente calculada, para que posteriormente os dados fossem analisados.

Por fim, Dias (2007) concluiu que para o cenário atual – 2007 –, a economia obtida através do uso de água pluvial em residências de *padrão popular e médio*, não foi suficiente para garantir o retorno do investimento de implantação e dos custos de operação e manutenção. Sendo economicamente viável apenas para as residências de *padrão alto*, visto que a tarifa do m<sup>3</sup> de água fornecido pela concessionária aumenta conforme haja uma maior demanda no local. O gráfico 1 mostra o benefício/custo obtido para os diferentes volumes de reservatório para o padrão alto.

Gráfico 1 - Relação B/C x Volume do reservatório para o padrão alto



Fonte: Rocha (*apud* DIAS, 2007)

No entanto, para cenários futuros, Dias (2007) considera o aproveitamento de água de chuva uma alternativa economicamente viável para qualquer que seja o padrão socioeconômico, considerando que o valor da água deve aumentar em termos reais.

*II) Proposição de sistema de aproveitamento de água de chuva para o campus Campina Grande do IFPB: Estudo da viabilidade econômica (MARQUES, 2012).*

Marques (2012) realizou um estudo da viabilidade econômica para uma proposta de sistema de aproveitamento de água de chuva para o Campus Campina Grande do IFPB. Ao observar o projeto de drenagem de águas pluviais do Campus, verificou-se que todos os pontos de captação são canalizados para um local de cota mais baixa do terreno, através de duas saídas principais. Deste modo, faz-se necessário adotar uma solução para que toda a água drenada seja encaminhada para um único local, ou seja, o reservatório de acumulação. Posteriormente, a água seria bombeada ao reservatório superior para ser utilizada nas descargas de bacias sanitárias, irrigação de jardins e lavagem de pisos e veículos.

Inicialmente foram identificados os tipos de usos e demandas de água potável, a área de cobertura para captação de água de chuva e os dados pluviométricos da região obtidos através da SUDENE e do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Posteriormente, foram computados os gastos de água potável fornecidos pela concessionária, CAGEPA, ao analisar as faturas mensais pagas no período de 2009 a 2011.

Optou-se por dimensionar o reservatório inferior a partir do Método de Rippl, que segundo Marques (*apud* TOMAZ, 2003), é um critério de dimensionamento que garante uma vazão regularizada constante, incluindo o período mais crítico de estiagem.

Na análise econômica, o referido autor fez uso dos mesmos critérios apresentados por Dias (2007), obtendo os resultados mostrados nas tabelas 3, 4 e 5:

Tabela 3 - Valor Presente Líquido em função do volume do reservatório

<b>Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)</b>	<b>VPL (R\$)</b>
787	274.701,45
394	223.821,64
262	208.333,60
197	202.676,72
157	200.652,66
100	195.441,99
80	193.949,07
60	192.739,04
40	191.971,67
30	191.859,06
20	192.059,45
15	192.351,33
10	192.864,54

Fonte: MARQUES, 2012.

Tabela 4 - Relação Benefício/Custo em função do volume do reservatório

<b>Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)</b>	<b>B/C</b>
787	2,52
394	2,99
262	3,37
197	3,75
157	4,16
100	4,79
80	5,13
60	5,58
40	6,22
30	6,66
20	7,27
15	7,67
10	8,19

Fonte: MARQUES, 2012.

Tabela 5 - Relação Período de Retorno em função do volume do reservatório

<b>Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Período de Retorno (Anos)</b>
787	9,83
394	11,51
262	12,63
197	13,60
157	14,52
100	15,75
80	16,31
60	16,99
40	17,84
30	18,37
20	19,01
15	19,40
10	19,86

Fonte: MARQUES, 2012.

Diante do que foi exposto, Marques (2012) concluiu que um sistema de aproveitamento de águas pluviais é viável para todos os cenários pesquisados, ou seja, é aplicável para atender parcialmente ou totalmente a demanda de água não potável. Sendo o fator determinante para a escolha do volume do reservatório a ser construído, a disponibilidade de recursos financeiros para a implantação do sistema.

*III) Aproveitamento da água da chuva e reúso de água em residências unifamiliares: estudo de caso em Palhoça – SC (OLIVEIRA, 2005).*

No estudo desenvolvido por Oliveira (2005), foi elaborada uma metodologia para a determinação da viabilidade econômica de um sistema de aproveitamento de água de chuva e reúso de água proveniente de esgoto secundário – água de banho, lavatório, máquina de lavar roupas e água para fazer a barba – na qual todas as etapas serão descritas abaixo.

A pesquisa foi realizada em duas residências unifamiliares térreas localizadas na cidade de Palhoça (SC). Todos os dados referentes à caracterização e rotina dos moradores e da residência foram coletados, e verificou-se que em ambas já acontecia o processo de reutilização de água proveniente da máquina de lavar para lavagem de piso de calçada, garagem e tapetes.

Foram coletados os dados pluviométricos diários da estação meteorológica de São José, localizada na cidade de São José (Grande Florianópolis/SC), pois esta se encontra em local mais próximo da cidade em estudo. Foi utilizada uma série histórica de 33 anos que corresponde ao período de 1969 até 2002. As falhas foram preenchidas com valor zero, supondo um dia sem precipitação, favorecendo a segurança.

Para o levantamento do consumo de água, foram verificadas as faturas mensais da concessionária responsável pelo abastecimento, CASAN – Companhia Catarinense de Água e Saneamento – no período de setembro de 2003 a abril de 2005. Também foram realizadas leituras diárias nos hidrômetros no período de 1 a 28 de fevereiro de 2005.

Elaborou-se uma planilha para preenchimento dos moradores a cada vez que fizessem uso de qualquer aparelho hidrossanitário. Em cada tabela encontrava-se os nomes dos moradores, a data, uso e o tempo inicial e final da utilização do aparelho. A partir destas anotações foi possível determinar o consumo de água por uso em cada residência.

Para a estimativa da vazão consumida em cada aparelho, primeiro utilizou-se um recipiente com volume conhecido para cronometrar o tempo de enchimento deste através de torneiras e chuveiros. Em seguida, foi calculada uma média de três vazões medidas. Para os vasos sanitários, adotou-se a vazão de 1,7 litros por segundo, de acordo com a NBR 5626/98, dada a dificuldade de realizar a medição da vazão deste aparelho com precisão.

A partir dos dados obtidos, foram determinados os consumos diários por morador para os seguintes aparelhos/usos: chuveiro, lavatório, torneira da cozinha e água para fazer a barba.

$$C_d = F \times T \times Q \quad (21)$$

Onde,

$C_d$  é o consumo diário de água do aparelho em litros/dia;

F é a frequência diária de uso do aparelho em vezes/dia;

T é o tempo médio diário de uso do aparelho em segundos/dia;

Q é a vazão do aparelho em litros/segundo.

Para o cálculo do consumo diário das máquinas de lavar roupa foi considerada a frequência de uso e a vazão da máquina por ciclo, através da equação 22:

$$C_{dMLR} = F \times Q_{ciclo} \quad (22)$$

Onde,

$C_{dMLR}$  é o consumo diário de água na máquina de lavar roupas em litros/dia;

F é a frequência diária de uso do aparelho em vezes/dia;

$Q_{ciclo}$  é a vazão do aparelho em litros/ciclo, sendo:

100 litros/ciclo para a residência 1 e 80 litros/ciclo para a residência 2.

Com os consumos diários calculados, obteve-se através do somatório destes, o consumo mensal de cada aparelho. Também foi realizada uma análise de sensibilidade, visto que falhas nas respostas dos moradores podem causar erros nas estimativas de consumo. Verificou-se a frequência e tempo de uso dos aparelhos e a vazão da bacia sanitária, dada a imprecisão para encontrá-la. Pode-se então verificar a influência de cada aparelho sobre o consumo total da residência.

Para o dimensionamento do reservatório de acumulação de água pluvial, foi levantada a área de cobertura para a coleta, adotando-se um coeficiente de aproveitamento de 80% da água precipitada. A equação 23 permite calcular o volume de água de chuva coletado.

$$V_{AC} = P \times A_C \times C_{AC} \quad (23)$$

Onde:

$V_{AC}$  é o volume coletado de água de chuva em l/dia;

$P$  é a precipitação pluviométrica em mm/dia;

$A_C$  é a área de contribuição da coberta em  $m^2$ ;

$C_{AC}$  é o coeficiente de aproveitamento de água de chuva, sendo  $C_{AC} = 0,8$ .

Para determinar o consumo diário de água de chuva na residência e o volume de água de chuva acumulado em um dado período de tempo “ $t$ ”, fez-se uso das equações 24 e 25, respectivamente.

$$C_{dRes} = P_{AC} \times C_{per\ capita} \times n \quad (24)$$

Onde,

$C_{dRes}$  é o consumo de água de chuva na residência;

$P_{AC}$  é a porcentagem de consumo total da residência que pode ser substituída por água de chuva;

$C_{per\ capita}$  é o consumo per capita na residência em l/hab.dia;

$n$  é o número de moradores na residência.

$$V_t = V_{t-1} + V_{AC} - C_{dRes} \quad (25)$$

Onde,

$V_t$  é o volume de água acumulado no tempo  $t$ , sendo  $V_t \geq 0$ ;

$V_{t-1}$  é o volume de água acumulado no tempo  $t-1$ ;

$V_{AC}$  é o volume de água de chuva coletado no tempo  $t$ ;

$C_{dRes}$  é o consumo diário de água de chuva no tempo  $t$ ;

Para cada residência serão utilizados dois reservatórios, sendo um inferior – de acumulação – e outro superior para realizar a distribuição de água para os pontos de consumo. Será considerado o volume de água descartado da primeira chuva através de uma tubulação localizada antes da entrada no reservatório.

Os reservatórios de reuso seguem basicamente o mesmo método de dimensionamento dos reservatórios de aproveitamento de água de chuva. Neste caso, será levantado “in loco” o volume de esgoto secundário gerado pelas residências para que ele seja armazenado no reservatório inferior enterrado e posteriormente bombeado para o superior, para ocorrer a distribuição aos pontos de consumo.

Toda a água coletada passará por um tratamento com plantas (zona de raízes) avaliadas através de uma pesquisa em Joinville pelos pesquisadores Philippi e Sezerino em 2004.

A análise da viabilidade econômica foi feita a partir da obtenção dos custos referentes a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva e reúso do esgoto secundário, custos com água potável fornecido pela concessionária local, com energia elétrica e a economia obtida pela instalação desses sistemas.

Para o estudo foram calculados os indicadores econômicos através do método do Valor Presente Líquido (VPL) e do Período de Retorno.

- *VPL*: para uma taxa mínima de atratividade de 1% ao ano, o sistema de reúso encontra-se mais viável que o de aproveitamento de água de chuva. Obtendo um retorno em 19 anos para a residência 1 e 99 anos para a residência 2. À medida que se aumenta a taxa de atratividade, verificou-se que diminui a viabilidade dos sistemas.

- *Período de Retorno*: para o aproveitamento de água de chuva obteve-se um período de retorno de 21 anos e 5 meses e 17 anos e 8 meses para o sistema de reuso na residência 1. Na residência 2, a solução torna-se menos viável, visto que foi obtido um período de retorno superior a 61 anos.

Ao analisar os custos referentes a concessionária CASAN, verificou-se que para um consumo superior a 10.000 litros, como ocorre na residência 1, a economia produzida pela substituição do consumo por água não potável é refletida no valor pago mensalmente. Para o

caso da residência 2, onde o consumo mensal é em torno de 9.000 litros, o sistema apresenta-se inviável.

*IV) Aproveitamento de água pluvial e dimensionamento de reservatório para fins não potáveis: estudo de caso em um conjunto residencial localizado em Florianópolis – SC (MARINOSKI et al., 2004).*

O presente estudo tem como objetivo verificar o potencial de economia da substituição parcial de água potável fornecido pela concessionária local, por água de aproveitamento de chuva, coletada a partir de áreas de cobertura de um conjunto residencial na cidade de Florianópolis – SC.

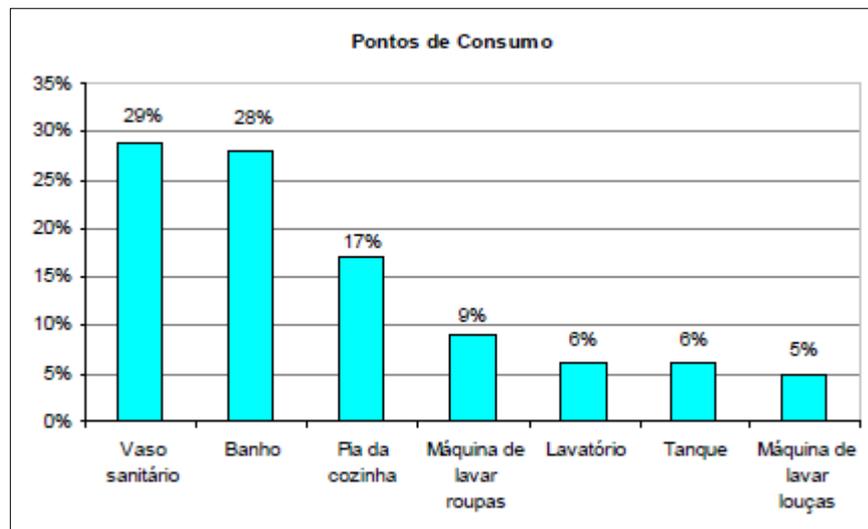
Inicialmente foram quantificados os dados referentes à quantidade de moradores no condomínio e a área de cobertura com sistema de coleta de água pluvial através de calhas.

Por não apresentar medição de água individualizada, foi obtido o consumo de água no condomínio através das faturas de pagamento da CASAN no período de 24 meses, nos anos de 2001 e 2002.

A oferta de água de chuva foi obtida através dos dados de uma série histórica de 30 anos, referente aos anos de 1961 a 1990, disponibilizada pelo Departamento Nacional de Meteorologia.

Para a estimativa de consumo nas residências, foi utilizado os dados de consumo de aparelhos hidrossanitários (Figura 9) obtidos por estudo da Universidade de São Paulo – USP.

Figura 9 - Porcentagem de consumo dos aparelhos hidrossanitários



Fonte: DECA (*apud* MARINOSKI et al., 2004)

O referido autor considerou como pontos potenciais para uso de água de chuva, apenas aqueles para fins não potáveis, sendo: vasos sanitários (29%), máquina de lavar roupas (9%) e tanque (6%). Dessa forma, torna-se desnecessário qualquer tratamento da água coletada, adotando-se apenas um processo de filtragem para evitar o acúmulo de resíduos no reservatório.

Tendo em vista a água retida no telhado para autolimpeza e a água perdida por evaporação, adotou-se um coeficiente de escoamento superficial de 0,8. O consumo de água per capita foi obtido pela equação 26:

$$C_{per\ capita} = \frac{C_{méd\ cond}}{n} \quad (26)$$

Onde,

$C_{per\ capita}$  é o consumo per capita de água nos prédios;

$C_{méd\ cond}$  é o consumo médio diário do condomínio;

$n$  é número médio de moradores no condomínio.

Para o dimensionamento do reservatório de água de chuva que atenda a 44% do consumo de água no condomínio, foi utilizada uma equação da continuidade (equação 27) adaptada de McMahan (*apud* TOMAZ, 2003).

(27)

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t$$

Onde,

$V_t$  é o volume de água acumulado no tempo  $t$ , sendo  $V_t \geq 0$ ;

$V_{t-1}$  é o volume de água acumulado no tempo  $t-1$ ;

$Q_t$  é a quantidade de chuva no tempo  $t$ , considerando as perdas;

$D_t$  é o consumo ou demanda no tempo  $t$ .

Ao assumir um consumo médio constante ao longo do tempo, foram simulados cinco casos para o dimensionamento, em função da precipitação pluviométrica e do tempo  $t$ .

- *Primeiro caso*: foi realizada uma simulação mensal do volume do reservatório de acumulação com capacidade para atender a demanda mensal por água não potável. Os valores das médias mensais de precipitação foram obtidos pelo DNM – Departamento Nacional de Meteorologia.

- *Segundo caso*: foram utilizadas as médias mensais de precipitação disponíveis no DNM para a simulação de um consumo diário. Foi adotada a ocorrência de chuvas concentradas a cada dez dias, aproximadamente, pois se tratando de Florianópolis é um intervalo coerente.

- *Terceiro caso*: neste caso, assumiu-se a ocorrência de chuvas diárias e consumos diários, de tal forma que os valores médios de precipitação mensal, obtidos no DNM, fossem divididos pelo número de dias no mês.

- *Quarto caso*: assim como no caso 2, são consideradas chuvas no intervalo de dez dias, porém os valores de precipitação para cada período é obtido através de uma média dos valores de precipitação diária dos anos de 2001, 2002 e 2003, fornecidos pela EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.. Observou-se a existência de valores inconsistentes na série, que foram desconsiderados para a simulação.

- *Quinto caso*: seguindo o mesmo raciocínio do caso 3, também foram simulados volumes acumulados para precipitação e consumo diários. Os valores de precipitação diária foram obtidos pela EPAGRI.

Por fim, MARINOSKI et al. (2004) concluiu que a chuva com potencial de captação, seria capaz de suprir 42,4% da demanda anual por água não potável no condomínio, porém com a adoção de um volume de reservatório para 95% de confiança, estimou-se que 180,2 m<sup>3</sup> de água de chuva seriam desperdiçados através do extravasor, provocando uma redução de 3,8% na oferta de água de chuva a ser consumida pelos moradores. De maneira geral, o autor destaca a importância do estudo, visto que a implantação do sistema possui bom potencial de aproveitamento.

*V) Potencial de economia de água tratada através do aproveitamento de águas pluviais em postos de combustíveis: estudos de caso (SIMIONI et al., 2004).*

Neste estudo foi avaliado o potencial de economia de água potável, através da substituição por água de chuva para utilização em lavagens de veículos em postos de combustíveis. A pesquisa foi realizada em dois postos, um localizado na cidade de Florianópolis – SC, e outro no município de Concórdia – SC.

Para a estimativa da demanda e oferta de água de chuva nos locais, foram levantados primeiramente o número de lavagens diárias de caminhões e automóveis, além da área de cobertura disponível com potencial de captação.

Os dados de precipitação pluviométrica mensais foram obtidos em Brasil (1992), e diários em EPAGRI (2004) para as cidades de Florianópolis e Concórdia, respectivamente.

A partir dos dados de precipitação e área de cobertura, pode-se calcular o volume médio de água de chuva captado pelos postos pela equação 28.

$$V_c = A_{telhado} \times I_{média} \times c \quad (28)$$

Onde,

$V_c$  é o volume de água de chuva captado mensalmente em  $m^3$ ;

$A_{telhado}$  é a área de captação em  $m^2$ ;

$I_{média}$  é a média mensal de chuva em  $m$ ;

$c$  é coeficiente adotado para as perdas de água no escoamento, sendo  $c = 0,85$ .

Realizou-se uma análise estatística dos dados de precipitação, de modo que o método para dimensionamento do reservatório levasse em consideração o maior intervalo de dias sem chuva para cada cidade. O método adotado – Weibull (*apud* RAINDROPS GROUP, 2002) – organiza os dados de forma decrescente e calcula a probabilidade de ocorrência do evento “P”, conforme mostra a equação 29:

$$P = \frac{m}{(n + 1)} \quad (29)$$

Onde,

$P$  é a probabilidade de ocorrência do evento;

$m$  é a frequência;

$n$  é a frequência acumulada.

Calcula-se o tempo de recorrência “T” (equação 30) para cada evento e a variável reduzida “X” pela equação estatística de Gumbel (equação 31).

$$T = \frac{1}{P} \quad (30)$$

Onde,

T é o tempo de recorrência;

P é a probabilidade de ocorrência do evento.

$$X = -\ln[-\ln(1 - P)] \quad (31)$$

Onde,

X é variável reduzida;

P é a probabilidade de ocorrência do evento.

Para o cálculo do volume do reservatório utilizou-se a equação 32:

$$V = N_v \times C_l \times D_{sc} \quad (32)$$

Onde,

V é o volume do reservatório em m<sup>3</sup>;

$N_v$  é o número de veículos lavados por dia;

$C_l$  é o consumo de água para lavagem de um veículo em m<sup>3</sup>;

$D_{sc}$  é o intervalo de dias consecutivos sem chuva.

Simioni et al. (2004) realizou o dimensionamento buscando garantir o menor volume ocioso possível, ou seja, de maneira que o reservatório trabalhe com eficiência e ocupe o menor espaço, para que seu custo de implantação seja mínimo.

O referido autor verificou que ao adotar o método dos maiores intervalos sem chuva, pode-se obter um reservatório com volume ótimo e ainda uma economia de água de 84% e 79% para as cidades de Florianópolis e Concórdia, respectivamente. Mostrando que os resultados obtidos com o sistema de aproveitamento de água de chuva para postos de combustíveis são significantes e eficientes.

*VI) Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia (LIMA et al., 2011).*

O objetivo desta pesquisa consiste em apresentar o potencial de economia de água tratada em residências para quarenta cidades pertencentes à Amazônia Ocidental do Brasil – formada pelos estados do Amazonas, Acre, Rondônia e Roraima – através do aproveitamento de água de chuva pelo método desenvolvido por Ghisi et al. (2006).

Os dados de precipitação foram obtidos através de séries históricas disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas – ANA. Realizou-se o tratamento dos dados e obtiveram-se as médias mensais para cada cidade.

Foi calculado o número de pessoas por domicílio (Equação 33) a partir da população levantada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e o número de domicílios atendidos pelo serviço de abastecimento de água (equação 34) através do SNIS – Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento.

$$PD = \frac{PC}{NDC} \quad (33)$$

Onde,

PD é o número de pessoas por domicílio;

PC é a população;

NDC é o número de domicílios.

$$ND = \frac{NP}{PD} \quad (34)$$

Onde,

ND é o número de domicílios atendidos pelo serviço de abastecimento de água;

NP é o número de pessoas atendidas pelo serviço de abastecimento de água;

PD é o número de pessoas por domicílio.

Para a área de captação, foram adotados valores referentes à pesquisa de Ghisi et al. (2006), sendo 85 m<sup>2</sup> por casa e 3,75 m<sup>2</sup> por pessoa para apartamento, e levantadas as porcentagens de tipos de moradias para cada cidade. Dessa maneira, pode-se obter a área média ponderada do telhado através da equação 35:

$$RA = H \times 85 + P \times PD \times 3,75 \quad (35)$$

Onde,

RA é área média ponderada do telhado por domicílio em cada cidade em m<sup>2</sup>;

H é a porcentagem de casas em cada cidade;

P é a porcentagem de apartamentos em cada cidade;

PD é o número de pessoas por domicílio em cada cidade.

E ao considerar apenas a população atendida pelo serviço de abastecimento de água, a área total de telhado em cada cidade, calculou-se pela equação 36:

$$TRA = RA \times ND \quad (36)$$

Onde,

TRA é a área total de telhado em cada cidade em m<sup>2</sup>;

RA é área média ponderada do telhado por domicílio em cada cidade em m<sup>2</sup>;

ND é o número de domicílios atendidos pelo serviço de abastecimento de água;

A partir de todos os dados coletados, pode-se calcular o volume mensal de água de chuva a ser coletado (equação 37).

$$VR = \frac{R \times TRA \times R_C}{1000} \quad (37)$$

Onde,

VR é o volume de chuva que poderia ser coletado em cada cidade em m<sup>3</sup>/mês;

R é a precipitação média mensal em mm/mês;

TRA é a área de captação total em cada cidade em m<sup>2</sup>;

$R_C$  é o coeficiente de Runoff, sendo  $R_C = 0,8$  neste estudo.

Também pelo SNIS foram obtidos o consumo de água potável para possibilitar o cálculo do potencial de economia de água potável a partir da equação 38.

$$PPWS = 100 \times \frac{VR}{PWR} \quad (38)$$

Onde,

PPWS é o potencial de economia de água potável em cada cidade em %;

VR é o volume de chuva que poderia ser coletado em cada cidade em m<sup>3</sup>/mês;

PWR é o consumo de água potável mensal em cada cidade em m<sup>3</sup>/mês.

Lima et al. (2011) concluiu que a região Amazônica apresenta excelentes índices de precipitação, o que é confirmado pelo grande potencial de economia de água tratada ao realizar o aproveitamento de água de chuva. A média do potencial encontrada foi de 76%, variando de 21% a 100% para as 40 cidades.

Verificou-se também que nos períodos de chuva, o potencial de aproveitamento alcança 100% em algumas cidades, enquanto em épocas de seca, percebe-se uma diminuição significativa no aproveitamento.

*VII) Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC (MARINOSKI; GHISI, 2008).*

O presente estudo objetiva analisar a viabilidade econômica e avaliar o potencial de economia de água tratada através da implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis no SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – localizado na cidade de Florianópolis (SC).

Levantou-se toda a área de cobertura da edificação, como possível área de captação e os dados pluviométricos diários através do EPAGRI, correspondentes ao período de 01 de janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2006.

Foi obtido o consumo de água fornecido pela CASAN para um período de dois anos – 2005 e 2006 –, e de janeiro a junho de 2007. E para estimar o consumo por usos finais da água, realizou-se medição das vazões dos aparelhos e frequência e tempo de utilização destes. Para a medição da vazão, fez-se uso de recipientes com o volume conhecido e cronometrou-se o tempo de enchimento destes com o aparelho em questão. As entrevistas com os funcionários, professores e alunos foram realizadas por amostragem, segundo a metodologia apresentada por Barbetta (2003), conforme equação 39.

$$n \geq \frac{n_o \times N}{n_o + N} \quad (39)$$

Onde,

$n$  é a amostra de pessoas entrevistadas;

$N$  é o número total de pessoas;

$n_o$  é obtido a partir de  $n_o \geq \frac{1}{\varepsilon_0^2}$ , sendo:

$\varepsilon_0$  o erro amostral desejado (1% a 20%).

A partir dos dados levantados, pode-se calcular o consumo médio diário de água per capita por aparelho sanitário (Equação 40) e o consumo total diário de água em cada aparelho (Equação 41).

$$C_{\text{médio aparelho}} = \frac{\sum_i^n f_i \times t_i \times Q}{n} \quad (40)$$

Onde,

$C_{\text{médio aparelho}}$  é o consumo médio diário de água per capita do aparelho em litros/pessoa.dia;

$f_i$  é a frequência diária de uso do aparelho em número de vezes/dia;

$t_i$  é o tempo diário de uso do aparelho em segundos/dia;

$Q$  é a vazão do aparelho em litros/segundo;

$n$  é a amostra de pessoas entrevistadas.

$$C_{\text{total aparelho}} = C_{\text{médio aparelho}} \times P \quad (41)$$

Onde,

$C_{\text{total aparelho}}$  é o consumo total diário de água em cada aparelho sanitário em litros/dia;

$C_{\text{médio aparelho}}$  é o consumo médio diário de água per capita do aparelho em litros/pessoa.dia;

$P$  é a população adotada;

Após uma comparação entre a estimativa de consumo diário de água e o consumo real de água tratada, foi realizada uma análise de sensibilidade com o intuito de ajustar a diferença entre eles. A metodologia utilizada consistiu em aplicar variações de  $\pm 30\%$ , em intervalos de 10%, sobre a frequência, vazão e tempo de uso dos aparelhos com maior consumo.

Para o estudo foram considerados como possíveis pontos de utilização de água de chuva, os seguintes: bacias sanitárias, mictórios, irrigação de jardins, lavagem de carros e torneiras de tanques usadas para limpeza do prédio e lavagem de calçadas.

A escolha do volume do reservatório inferior foi feita a partir do uso do programa Netuno (GHISI; TRÉS, 2004), que verifica o potencial de economia de água potável através da utilização de água de chuva. Este volume é um dado de entrada do programa, portanto necessita-se adotar um valor maior que a demanda diária de água pluvial (Equação 42) para que o consumo diário seja atendido.

$$D_{pluvial} = C_{diário\ per\ capita} \times P \times AP \quad (42)$$

Onde,

$D_{pluvial}$  é a demanda diária de água pluvial em litros/dia;

$C_{diário\ per\ capita}$  é o consumo diário de água potável por capita em litros/pessoa.dia;

$P$  é a população total;

$AP$  é o percentual de água potável a ser substituído por água pluvial;

Calculou-se então, os diferentes potenciais de economia de água potável ao variar o volume do reservatório inferior em intervalos de 1000 litros. Quando percebeu-se um aumento menor ou igual a 0,5%, adotou-se o volume anterior como o ideal.

A análise econômica levou em considerações dois tipos de custos: implantação e operação do sistema de aproveitamento.

- *Custos de implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial*: foram orçados através de pesquisa de mercado, os valores de reservatórios de fibra de vida e conjuntos motobombas. Segundo Ghisi e Ferreira (2007), os custos com tubulações e conexões devem ser estimados em 15% do custo total de implantação do sistema. Os custos com mão de obra foram obtidos através de pesquisa com profissionais com experiência na área.

- *Custos de operação do sistema de aproveitamento de água pluvial*: segundo a NBR 5626/98, são necessários dois conjuntos motobombas para garantir o abastecimento de água, sendo um deles reserva. Para estimar os custos do bombeamento com energia elétrica, utilizou-se a equação 43.

$$CM_{energia\ elétrica} = P_{motobomba} \times t \times N \times V_{CELESC} \quad (43)$$

Onde,

$CM_{energia\ elétrica}$  é o custo mensal de energia elétrica para o funcionamento do sistema de bombeamento de água pluvial em R\$;

$P_{motobomba}$  é a potência do conjunto motobomba em kW;

$t$  é o tempo de funcionamento da motobomba em h/dia;

$N$  é o número de dias de funcionamento da motobomba no mês;

$V_{CELESC}$  é o valor cobrado pela CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina – pela energia elétrica consumida em R\$/kW.h.

Foi possível estimar o novo custo que a instituição teria com água potável fornecida pela concessionária (equação 44), e a economia obtida com o novo consumo (equação 45), após a implantação do sistema de aproveitamento.

$$CM_{\acute{a}gua\ pot\acute{a}vel\ 2} = C_{mensal} \times \left( \frac{1 - P_{economia}}{100} \right) \times V_{CASAN} \quad (44)$$

Onde,

$CM_{\acute{a}gua\ pot\acute{a}vel\ 2}$  é o custo médio mensal de água potável após a implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial em R\$/mês;

$C_{mensal}$  é o consumo médio mensal de água no prédio em m<sup>3</sup>/mês;

$P_{economia}$  é o potencial de economia de água potável obtido com o uso de água pluvial pelo programa Netuno em %;

$V_{CASAN}$  é o valor cobrado pela CASAN pela água potável consumida em R\$/m<sup>3</sup>.

$$E = CM_{\text{água potável } 1} - CM_{\text{água potável } 2} - CM_{\text{energia elétrica}} \quad (45)$$

Onde,

$E$  é a economia monetária de água potável após o uso de água pluvial em R\$/mês;

$CM_{\text{água potável } 1}$  é o custo médio mensal de água potável atual antes da implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial em R\$/mês;

$CM_{\text{água potável } 2}$  é o custo médio mensal de água potável após a implantação do sistema de aproveitamento de água pluvial em R\$/mês;

$CM_{\text{energia elétrica}}$  é o custo mensal da energia elétrica para o funcionamento do sistema de bombeamento de água pluvial em R\$.

O indicador econômico utilizado foi o período de retorno do investimento a partir do método do *payback* descontado (equação 46), que consiste em calcular o número de meses necessários para que os fluxos de caixa futuros acumulados se igualem ao montante do investimento do sistema, para uma vida útil de 10 anos.

$$I_0 \leq \sum_1^n \left[ \frac{B_n - C_n}{(1+i)^n} \right] \quad (46)$$

Onde,

$I_0$  é o investimento inicial em R\$;

$n$  é o número de períodos em meses;

$B$  são os benefícios;

$C$  são os custos relevantes, excluindo os custos iniciais;

$i$  é a taxa mínima de atratividade – TMA – sendo 1% ao mês nesse estudo.

Por fim, Marinoski e Ghisi (2008) constataram um potencial de economia de água potável de 63,5% ao utilizar um reservatório com volume ideal de 30000 litros. Para o reservatório superior foi adotado um volume necessário para armazenar a demanda diária de água para fins não potáveis, obtendo o valor de 6000 litros e um potencial de economia de 45,8%.

O custo total de implantação do sistema foi de R\$ 17615,56 gerando uma economia de 92,17m<sup>3</sup>, o que corresponde a um benefício de R\$ 407,77 ao mês. Dessa forma, o referido autor concluiu que o período de retorno do investimento foi de 4 anos e 10 meses, o que mostra que é um sistema economicamente viável e vantajoso para o SENAI/Florianópolis.

## 4. METODOLOGIA

Para que seja encontrado um volume econômico de reservatório, isto é, aquele que garanta um sistema com maior potencial de economia, optou-se por fazer uso da programação computacional para realizar um dimensionamento econômico de reservatórios para residências.

O dimensionamento segue uma metodologia de cálculo que busca aperfeiçoar os métodos descritos na norma ABNT 15527/07, que regulamenta o aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis. Aqui será descrito todo o algoritmo do programa.

### 4.1. O programa

O AcquaDrop é um software elaborado com a proposta de realizar dimensionamentos econômicos de reservatórios para aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em residências. Desenvolvido em programação orientada a objeto (POO) na linguagem Visual Basic, o programa traz uma interface simples e de fácil utilização.

Figura 10 - Ícone do programa AcquaDrop



Fonte: Freepik (2016)<sup>1</sup>

Diferente dos programas vistos anteriormente, o AcquaDrop necessita de dados de entrada facilmente obtidos. Desta maneira, tem-se o software como uma ferramenta a disposição para uso tanto de projetistas como de pessoas sem conhecimento da área, mas que desejam instalar um sistema de aproveitamento em suas casas, por exemplo.

O dimensionamento é feito a partir de médias mensais de precipitação pluviométrica e a utilização de parâmetros pluviométricos que realizem correções no volume aproveitável é incorporada. Estes parâmetros foram obtidos com base em estudos de Lacerda (2015) e Sales (2016) para volumes de reservatórios conhecidos, sendo eles: 5 m<sup>3</sup>, 10 m<sup>3</sup>, 15 m<sup>3</sup>, 20 m<sup>3</sup>, 30 m<sup>3</sup> e 40 m<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> Graphic Resources LLC, Freepik. Disponível em: <<http://www.freepik.com>>. Acesso em: 22 out. 2016.

Os dados coletados para a análise da viabilidade econômica do sistema de aproveitamento são referentes à cidade de João Pessoa (PB) no ano de 2016, portanto são necessárias atualizações anuais no algoritmo do programa. O mesmo ocorre para a tarifa de água adotada, sendo o valor tomado como base obtido pela CAGEPA (2016).

Por fim, será obtido um gráfico em função do indicador econômico e dos volumes de reservatório estudados que fornecerá o volume ideal, ou seja, aquele com maior potencial de economia.

#### **4.2. Dados de entrada**

Ao abrir o programa o usuário deverá inserir os dados necessários ao processo de cálculo, sendo eles:

- Área de captação: corresponde a área a ser utilizada para a captação de águas pluviais, ou seja, a área de cobertura da residência em m<sup>2</sup>;

- Número de moradores na residência;

- Média do consumo de água na residência dos últimos seis meses, disponível na conta de água fornecida pela concessionária, em m<sup>3</sup>/mês;

- Média do valor da conta de água da residência nos últimos seis meses em R\$/mês;

- Padrão socioeconômico: caso o usuário não obtenha os dados referentes à conta e consumo de água na residência dos últimos meses, deve-se informar o padrão dos moradores conforme classificação do IBGE:

- A – Acima de 20 salários mínimos

- B – 10 a 20 salários mínimos

- C – 4 a 10 salários mínimos

- D – 2 a 4 salários mínimos

- E – até 2 salários mínimos;

- Os aparelhos hidrossanitários que serão abastecidos pela água de chuva, sendo eles: bacia sanitária, chuveiro, ducha higiênica, hidromassagem, lavatório, máquina de lavar louças, máquina de lavar roupas, piscina, tanque, torneira externa utilizada para o serviço de rega de jardim, torneira externa utilizada para lavagem de carro e torneira externa utilizada para lavagem de piso;

- Precipitação Pluviométrica: as médias mensais de chuva disponíveis no site do INMET em mm/mês;

- Altura manométrica: a altura a ser vencida pelo sistema de bombeamento.

### 4.3. Algoritmo

O algoritmo é um conjunto de regras e procedimentos perfeitamente definidos para a solução de um determinado problema. Encontra-se aqui toda a sequência lógica realizada pelo programa para a obtenção do resultado final.

#### 4.3.1. Consumo per capita de água

Para que seja determinado o consumo de água de chuva na residência, primeiro necessita-se encontrar o consumo per capita total de água. Este consumo per capita pode ser calculado de duas maneiras, sendo escolhido o método de acordo com os dados fornecidos pelo usuário.

I) A partir da média de consumo de água da residência dos últimos seis meses, pela equação 47:

$$C_{per\ capita} = \frac{C_A \times 1000}{hab \times 30} \quad (47)$$

Onde,

$C_{per\ capita}$  é o consumo per capita de água potável em l/hab.dia;

$C_A$  é o consumo mensal de água na residência em m<sup>3</sup>/mês;

$hab$  é o número de moradores.

II) Caso o usuário não obtenha a conta de água dos últimos meses, será necessário informar o padrão socioeconômico dos moradores da residência de acordo com a tabela 6:

Tabela 6 - Taxa de consumo dos aparelhos hidrossanitários

<b>Padrão socioeconômico:</b>	<b>A-</b> Acima de 20 salários mínimos	300 L/hab.dia
	<b>B-</b> 10 a 20 salários mínimos	250 L/hab.dia
	<b>C-</b> 4 a 10 salários mínimos	200 L/hab.dia
	<b>D-</b> 2 a 4 salários mínimos	150 L/hab.dia
	<b>E-</b> até 2 salários mínimos	100 L/hab.dia

Fonte: Própria.

Com a obtenção do consumo per capita determina-se o padrão de consumo per capita de água potável, de acordo com a tabela 7:

Tabela 7 - Padrão de consumo de água potável

<b>Padrão Alto</b>	Consumo > 250 l/hab.dia
<b>Padrão Médio</b>	150 l/hab.dia < Consumo ≤ 250 l/hab.dia
<b>Padrão Popular</b>	Consumo ≤ 150 l/hab.dia

Fonte: Própria

#### 4.3.2. Consumo per capita de água de chuva

A partir da pesquisa de Dias (2007), pode-se determinar a porcentagem de consumo de água de chuva e de água potável para os aparelhos hidrossanitários para os diferentes padrões de consumo.

Tabela 8 - Distribuição de usos de água de chuva

<b>Pontos de consumo de água de chuva</b>	<b>Padrão Alto</b>	<b>Padrão Médio</b>	<b>Padrão Popular</b>
Bacia Sanitária	14,29%	20,00%	23,33%
Chuveiro	19,64%	27,50%	33,33%
Ducha Higiênica	1,79%	2,50%	3,33%
Hidromassagem	14,29%	-	-
Lavatório	3,57%	5,00%	5,33%
Máquina de lavar louças	3,57%	4,00%	-
Máquina de lavar roupas	10,71%	13,00%	-
Piscina	7,14%	-	-
Tanque	1,79%	2,50%	13,33%
Torneira Externa (Rega de Jardim)	3,57%	2,50%	-
Torneira Externa (Lavagem de Carro)	1,79%	1,50%	-
Torneira Externa (Lavagem de Piso)	1,79%	1,50%	1,33%
<b>TOTAL</b>	<b>84%</b>	<b>80%</b>	<b>80%</b>

Fonte: Adaptado de Dias (2007).

Tabela 9 - Distribuição de usos de água potável

<b>Pontos de consumo de água potável</b>	<b>Padrão Alto</b>	<b>Padrão Médio</b>	<b>Padrão Popular</b>
Pia de Cozinha	14,30%	17,50%	16,70%
Filtro	1,80%	2,50%	3,30%
<b>TOTAL</b>	<b>16%</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>

Fonte: Adaptado de Dias (2007).

Para a determinação do consumo per capita de água de chuva, o usuário escolhe os pontos de utilização para fins não potáveis e o consumo é determinado a partir da equação 48:

$$C_{AC \text{ per capita}} = C_{\text{per capita}} \times \sum C_{AC} \quad (48)$$

Onde,

$C_{AC \text{ per capita}}$  é o consumo de água de chuva per capita em l/hab.dia;

$C_{\text{per capita}}$  é o consumo per capita de água potável em l/hab.dia;

$C_{AC}$  é a taxa de consumo de água de chuva em %.

#### 4.3.3. Oferta de água pluvial

As médias mensais de precipitação pluviométrica serão fornecidas pelo usuário, a partir de um link disponível na interface do programa, que o encaminhará ao site do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. A equação 49 mostra como será calculada o volume de água pluvial a ser captada pelo sistema de aproveitamento.

$$V_{AC} = \frac{P}{1000} \times c \times A \quad (49)$$

Onde,

$V_{AC}$  é a oferta de água de chuva em m<sup>3</sup>;

$P$  é a precipitação pluviométrica em mm;

$c$  é o coeficiente de Runoff, sendo recomendado por Tomaz (2010) de 0,8 a 0,9 para telhados. Usaremos neste estudo,  $c = 0,85$ ;

$A$  é a área de captação em m<sup>2</sup>.

#### 4.3.4. Demanda de água pluvial

A demanda de água de chuva na residência foi estimada a partir da equação 50:

$$V_D = C_{AC \text{ per capita}} \times n \times hab \times 1000 \quad (50)$$

Onde,

$V_D$  é o volume demandado de água pluvial na residência em m<sup>3</sup>;

$C_{AC \text{ per capita}}$  é o consumo de água de chuva per capita em l/hab.dia;

$n$  é a quantidade de dias no mês;

$hab$  é o número de moradores.

#### 4.3.5. Correção do volume captado de água de chuva

Lacerda (2015) realizou um estudo de análise da eficiência dos volumes de acumulação dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Foram escolhidos 14 municípios brasileiros com dados de séries históricas consistentes, para a determinação de parâmetros de variabilidade que caracterizem o regime de chuvas de cada cidade, sendo estes:

- Desvio padrão dos índices diários de precipitação de séries de trinta anos;
- Desvio padrão dos índices médios mensais de precipitação;
- Índice anual de precipitação;
- Intensidade pluviométrica da chuva de duração de 5 minutos e tempo de retorno de 5 anos;
- Razão entre intensidade pluviométrica da chuva de duração de 5 minutos e tempo de retorno de 5 anos e o índice anual de precipitação.

O procedimento seguinte foi calcular o volume aproveitado em base diária a partir de séries diárias de precipitação, e o volume aproveitado em base mensal utilizando-se séries mensais de precipitação. Desta forma, a confiabilidade volumétrica é expressa em porcentagem e determinada pela equação 51:

$$\text{Confiabilidade Volumétrica} = \frac{V_1}{V_2} \times 100 \quad (51)$$

Onde,

$V_1$  é o volume aproveitado em base diária;

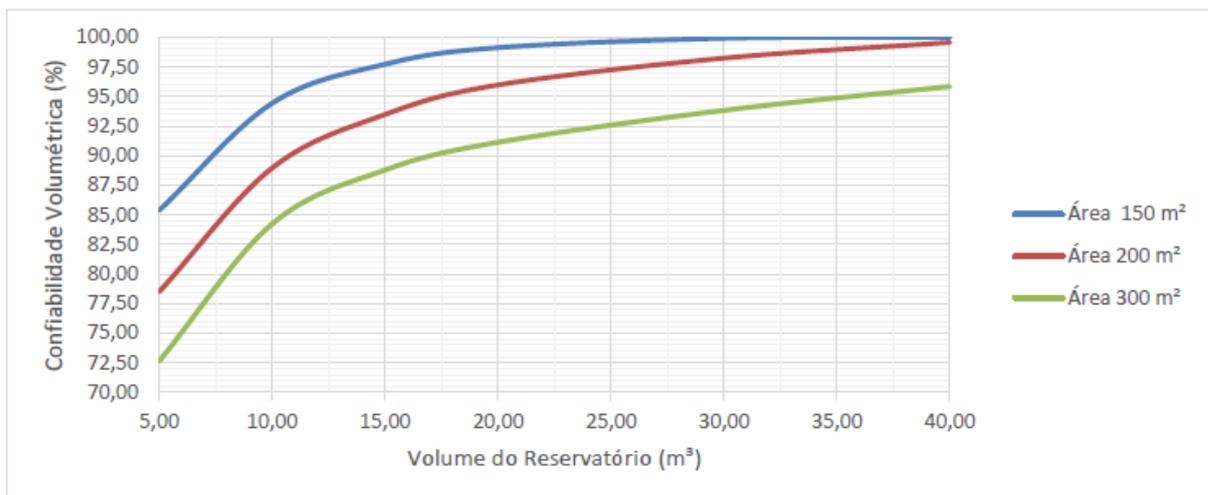
$V_2$  é o volume aproveitado em base mensal.

Para a aplicação da confiabilidade volumétrica, o reservatório de aproveitamento de água de chuva já deve estar dimensionado. Dessa forma, foram estabelecidas as seguintes condições:

- Padrões alto, médio e popular que estão em função da área de captação e o consumo na residência;
- Coeficientes Runoff de 0,85 e 0,90;
- Volumes fixos de reservatório, sendo estes: 40 m<sup>3</sup>, 30 m<sup>3</sup>, 20 m<sup>3</sup>, 15 m<sup>3</sup>, 10 m<sup>3</sup> e 5 m<sup>3</sup>.

Foram obtidos gráficos em função da Confiabilidade volumétrica x Volume do reservatório a serem utilizados para corrigir os volumes aproveitados calculados, de modo que o sistema de aproveitamento torne-se mais eficiente. O gráfico 1 mostra um exemplo dentre os resultados encontrados por Lacerda (2015).

Gráfico 2 - Relação Confiabilidade Volumétrica x Volume do Reservatório para C = 0,85 - Padrão Alto, Maringá (PR)



Fonte: Lacerda (2015).

Lacerda (2015) destaca a importância da aplicação destes parâmetros, uma vez que séries mensais podem ocasionar um superdimensionamento do sistema, pois os períodos de estiagem por muitas vezes acabam sendo suprimidos.

Por fim, verificou-se ainda que os reservatórios com volumes situados na faixa de 15 a 10 m<sup>3</sup> apresentam uma diminuição intensa na confiabilidade volumétrica, sendo não recomendado utilizar reservatórios com volume inferior a estes, para minimizar o extravasamento de água devido a chuvas intensas.

Sales (2016) propôs analisar dados pluviométricos de alguns municípios brasileiros, a fim de correlacioná-los com um coeficiente de extravasamento de reservatórios destinados ao aproveitamento de água de chuva. O termo “coeficiente de extravasamento” substituiu o termo “confiabilidade volumétrica” para uma melhor adequação ao estudo proposto.

O referido autor utilizou os resultados obtidos por Lacerda (2015) e determinou novos parâmetros pluviométricos para obter gráficos a serem utilizados em toda extensão do território brasileiro. Os novos parâmetros foram determinados com base em:

- Intensidades de chuvas para diferentes durações e períodos de retorno;
- Relação entre as intensidades de chuvas e a precipitação anual;
- Porcentagem de dias com índices de chuvas acima de 5, 10, 15 e 20 mm;
- Diferença entre as maiores e menores médias mensais.

Dentre os parâmetros calculados por Sales (2016), teve-se o valor de diferença D2, como aquele que apresentou melhor correlação com o coeficiente de extravasamento para dimensionamento de reservatórios para um coeficiente Runoff de 0,85. O valor de diferença D2 foi determinado utilizando-se as médias entre três maiores e a média entre as três menores e feita diferença entre elas, como mostra a equação 52:

$$D2 = \bar{M} - \bar{m} \quad (52)$$

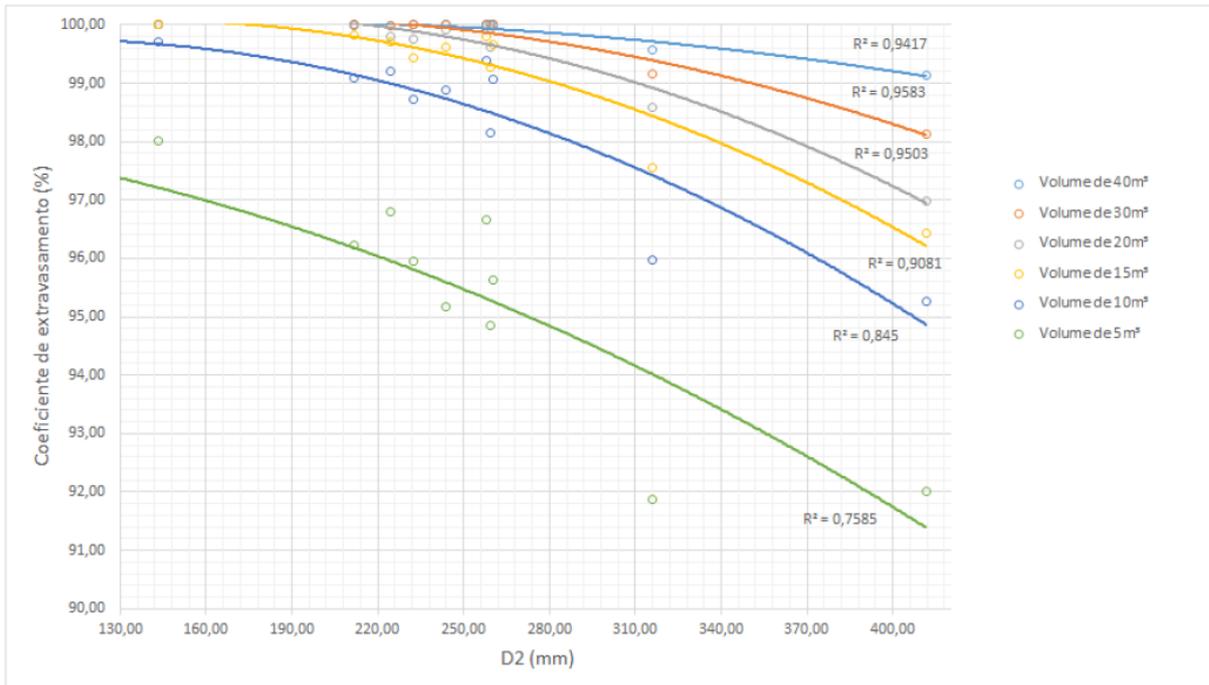
Onde,

$\bar{M}$  é a média entre as três maiores precipitações médias mensais;

$\bar{m}$  é a média entre as três menores precipitações médias mensais.

Para o presente estudo foram utilizados os gráficos obtidos pelo estudo de Sales (2016), para a utilização do coeficiente de extravasamento relacionado ao parâmetro D2, para que sejam feitas correções no volume de acumulação dos reservatórios. O gráfico 2 mostra um exemplo de resultado obtido.

Gráfico 3 - Relação Coeficiente de Extravasamento x D2 para área de captação = 75 m<sup>2</sup>, C = 0,85 - Padrão Médio.



Fonte: Sales (2016).

As equações obtidas pelos gráficos encontram-se nas tabelas 10, 11, 12, 13, 14 e 15:

Tabela 10 - Coeficiente de Extravasamento para volume de 5 m<sup>3</sup>

Reservatório de 5 m <sup>3</sup>		
Padrão de Consumo	Área de Captação (m <sup>2</sup> )	Coeficiente de Extravasamento (CE)
PP	60	$y = -2 \times 10^{-5}x^2 - 0,0071x + 98,45$
	75	$y = 95,719 \times e^{-10^{-4}x}$
	100	$y = 89,858 \times e^{8 \times 10^{-5}x}$
PM	75	$y = -3 \times 10^{-5}x^2 - 0,0032x + 98,354$
	100	$y = 94,644 \times e^{-10^{-4}x}$
	150	$y = -2 \times 10^{-5}x^2 + 0,0234x + 83,2$
PA	150	$y = 8 \times 10^{-6}x^2 - 0,0126x + 90,284$
	200	$y = 80,815 \times e^{0,0001x}$
	300	$y = 71,108 \times e^{0,0005x}$

Fonte: Adaptado de Sales (2016).

Tabela 11 - Coeficiente de Extravasamento para volume de 10 m<sup>3</sup>

Reservatório de 10 m <sup>3</sup>		
Padrão de Consumo	Área de Captação (m <sup>2</sup> )	Coeficiente de Extravasamento (CE)
PP	60	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,006x + 98,531$
	75	$y = -10^{-5}x^2 - 0,0082x + 99,488$
	100	$y = 96,85 \times e^{-8 \times 10^{-5}x}$
PM	75	$y = -5 \times 10^{-5}x^2 + 0,0105x + 99,216$
	100	$y = -2 \times 10^{-5}x^2 - 0,0041x + 98,931$
	150	$y = 2 \times 10^{-5}x^2 - 0,0134x + 94,785$
PA	150	$y = -7 \times 10^{-6}x^2 - 0,0118x + 97,717$
	200	$y = 92,101 \times e^{-4 \times 10^{-5}x}$
	300	$y = -6 \times 10^{-5}x^2 + 0,0491x + 80,879$

Fonte: Adaptado de Sales (2016).

Tabela 12 - Coeficiente de Extravasamento para volume de 15 m<sup>3</sup>

Reservatório de 15 m <sup>3</sup>		
Padrão de Consumo	Área de Captação (m <sup>2</sup> )	Coeficiente de Extravasamento (CE)
PP	60	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,0095x + 99,548$
	75	$y = -3 \times 10^{-5}x^2 + 0,0013x + 99,832$
	100	$y = 99,27 \times e^{-10^{-4}x}$
PM	75	$y = -5 \times 10^{-5}x^2 + 0,0142x + 99,097$
	100	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,0027x + 99,589$
	150	$y = 3 \times 10^{-5}x^2 - 0,0217x + 98,567$
PA	150	$y = -3 \times 10^{-5}x^2 - 0,0018x + 99,045$
	200	$y = 96,65 \times e^{-10^{-4}x}$
	300	$y = 89,238 \times e^{0,0001x}$

Fonte: Adaptado de Sales (2016).

Tabela 13 - Coeficiente de Extravasamento para volume de 20 m<sup>3</sup>

Reservatório de 20 m <sup>3</sup>		
Padrão de Consumo	Área de Captação (m <sup>2</sup> )	Coeficiente de Extravasamento (CE)
PP	60	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,0117x + 99,305$
	75	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,004x + 100,03$
	100	$y = 100,48 \times e^{-10^{-4}x}$
PM	75	$y = -5 \times 10^{-5}x^2 + 0,0159x + 98,9$
	100	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,0072x + 99,631$
	150	$y = 10^{-5}x^2 - 0,018x + 99,645$
PA	150	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,0038x + 99,409$
	200	$y = 98,743 \times e^{-10^{-4}x}$
	300	$y = 92,442 \times e^{4 \times 10^{-5}x}$

Fonte: Adaptado de Sales (2016).

Tabela 14 - Coeficiente de Extravasamento para volume de 30 m<sup>3</sup>

Reservatório de 30 m <sup>3</sup>		
Padrão de Consumo	Área de Captação (m <sup>2</sup> )	Coeficiente de Extravasamento (CE)
PP	60	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,0141x + 99,012$
	75	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,0112x + 99,398$
	100	$y = 101,7 \times e^{-10^{-4}x}$
PM	75	$y = -3 \times 10^{-5}x^2 + 0,0114x + 99,196$
	100	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,0112x + 99,368$
	150	$y = -2 \times 10^{-5}x^2 - 0,0057x + 99,914$
PA	150	$y = -5 \times 10^{-5}x^2 + 0,0114x + 99,4$
	200	$y = 100,57 \times e^{-10^{-4}x}$
	300	$y = 96,041 \times e^{-5 \times 10^{-5}x}$

Fonte: Adaptado de Sales (2016).

Tabela 15 - Coeficiente de Extravasamento para volume de 40 m<sup>3</sup>

Reservatório de 40 m <sup>3</sup>		
Padrão de Consumo	Área de Captação (m <sup>2</sup> )	Coeficiente de Extravasamento (CE)
PP	60	$y = -3 \times 10^{-5}x^2 + 0,0091x + 99,334$
	75	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,0102x + 99,379$
	100	$y = 101,77 \times e^{-10^{-4}x}$
PM	75	$y = -2 \times 10^{-5}x^2 + 0,0052x + 99,631$
	100	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,0126x + 99,188$
	150	$y = -3 \times 10^{-5}x^2 + 0,0023x + 99,864$
PA	150	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,0111x + 99,392$
	200	$y = 101,52 \times e^{-2 \times 10^{-4}x}$
	300	$y = 2 \times 10^{-5}x^2 - 0,0174x + 98,884$

Fonte: Adaptado de Sales (2016).

Onde,

$y$  é o coeficiente de extravasamento (CE);

$x$  é o valor de diferença D2.

Desta forma pode-se calcular o volume de água de chuva que efetivamente será aproveitado, a partir da equação 53:

$$V_{ACr} = \left( \sum V_{AC} - \sum V_E \right) \times CE \quad (53)$$

Onde,

$V_{ACr}$  é o volume de água de chuva aproveitado corrigido em m<sup>3</sup>/ano;

$V_{AC}$  é o volume de água de chuva captado sem correções em m<sup>3</sup>/mês;

$V_E$  é o volume de água de chuva extravasado pelo reservatório em m<sup>3</sup>/mês;

$CE$  é o coeficiente de extravasamento.

#### 4.3.6. Custos de investimento

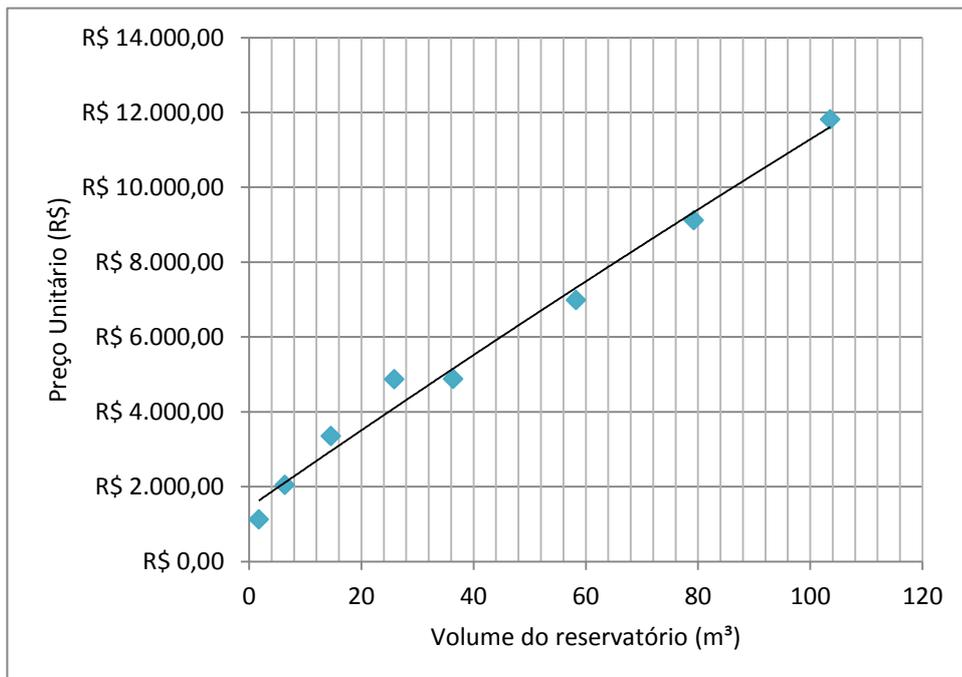
Os custos de investimento direto do sistema foram considerados para um sistema composto por: reservatórios inferior e superior, filtro de areia, conjunto motobomba e tubulações para recalque e distribuição de água.

Os preços unitários foram estimados com base no banco de dados do SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil – referente ao mês de agosto de 2016 para a cidade de João Pessoa. Os valores não encontrados no sistema foram estimados por pesquisa de mercado, através de uma cotação de preços em lojas do ramo da construção civil em João Pessoa. No software AcquaDrop, o usuário pode efetuar a atualização desses valores.

#### a) Reservatórios

O custo dos reservatórios foi estimado através de cotação de preço para reservatórios inferiores de chapas de aço, e superior de polietileno. A partir da pesquisa de mercado foram encontrados diferentes tamanhos de reservatório, obtendo-se os valores encontrados no gráfico 4. Foi fixado para o reservatório superior o volume de 1.000 litros, já para o reservatório inferior, o volume seria variável de 5.000 litros a 40.000 litros conforme mostra a tabela 16.

Gráfico 4 - Relação Volume x Preço do reservatório



Fonte: Própria

Tabela 16 - Custo dos reservatórios

<b>Volume (L)</b>	<b>Tipo de Reservatório</b>	<b>Preço Unitário (R\$)</b>
1.000	Caixa d'água em polietileno	224,90
5.000	Tanque em chapa de aço	1.968,54
10.000	Tanque em chapa de aço	2.484,16
15.000	Tanque em chapa de aço	2.996,96
20.000	Tanque em chapa de aço	3.506,94
30.000	Tanque em chapa de aço	4.518,44
40.000	Tanque em chapa de aço	5.518,66

Fonte: Própria

b) Filtro de areia

A água de chuva captada será utilizada para fins não potáveis, portanto não se faz necessário realizar um tratamento na água coletada antes de ser distribuída. Porém é de grande importância a utilização de um filtro de areia para a retenção de partículas sólidas e outras impurezas que possam ser carregadas no escoamento da água de chuva, antes que esta chegue ao reservatório inferior.

Para o dimensionamento do filtro de areia primeiramente deve ser estimada uma vazão de projeto (Equação 54). Tomou-se a cidade de João Pessoa como padrão e foram estabelecidos os seguintes parâmetros:

- Tipo de filtro: enterrado;
- Taxa de filtração: 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia;
- Espessura da camada filtrante: 0,70 m;
- Intensidade de precipitação para chuva de duração de 5 minutos e período de retorno de 5 anos: 140 mm/h;
- Área de captação: 140 m<sup>2</sup>.

$$Q_p = 0,024 \times I \times A \quad (54)$$

Onde,

$Q_p$  é a vazão de projeto em m<sup>3</sup>/dia;

0,024 é o fator de conversão;

$I$  é a intensidade de precipitação em mm/h;

$A$  é a área de captação em m<sup>2</sup>.

Desta forma, obteve-se uma vazão de projeto de 470,4 m<sup>3</sup>/dia e pode-se calcular a área do leito filtrante a partir da equação 55:

$$A_{LF} = \frac{Q_p}{T_i} \quad (55)$$

Onde,

$A_{LF}$  é a área do leito filtrante em m<sup>2</sup>;

$Q_p$  é a vazão de projeto em m<sup>3</sup>/dia;

$T_i$  é a taxa de infiltração em m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia.

Encontrou-se uma área de 2,60 m<sup>2</sup> para o leito filtrante, e obteve-se o custo do filtro de areia a partir da tabela 17:

Tabela 17 - Custo do filtro de areia

Item	Discriminação	Und	Preço Unitário (R\$)
73935/002	Alvenaria em tijolo cerâmico furado 9x19x19 cm, 1 vez (espessura 19 cm), assentado em argamassa traço 1:4 (cimento e areia média não peneirada), preparo manual, junta 1 cm	m <sup>2</sup>	52,76
73873/003	Leito filtrante – colocação de areia nos filtros	m <sup>3</sup>	53,32

Fonte: SINAPI (2016) <sup>2</sup>

### c) Conjunto motobomba

Foi dimensionado um conjunto motobomba padrão para recalcar a água do reservatório inferior ao superior. Os dados adotados para a equação 56 foram os seguintes:

- Altura manométrica: 4m;
- Vazão de projeto: 0,0054 m<sup>3</sup>/s;
- Rendimento da bomba: 60%;

<sup>2</sup> SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **Preços de insumos e custos de composições.** Agosto, 2016.

$$Pot = \frac{\gamma \times Q_p \times H_{man}}{75 \times \eta} \quad (56)$$

Onde,

$Pot$  é a potência instalada do conjunto motobomba em CV;

$\gamma$  é o peso específico da água, sendo  $\gamma = 1000 \text{ Kg/m}^3$ ;

$Q_p$  é a vazão de projeto em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$H_{man}$  é a altura manométrica em m;

75 é o fator de conversão;

$\eta$  é o rendimento da bomba.

Obteve-se um resultado de 0,48 CV, portanto será selecionado um conjunto motobomba com potência de 1/2 CV que custa em média, R\$ 286,00.

#### d) Tubulação

Os custos com tubulações, conexões e calhas foram estimados em R\$ 100,00.

### 4.3.7. Custos de exploração

Os custos de exploração foram considerados aqueles necessários para a manutenção e operação do sistema.

#### a) Manutenção do sistema

Para que o sistema mantenha-se funcionando de maneira efetiva, foram considerados custos de manutenção, como conserto de qualquer irregularidade, reposição de peças e mão-de-obra para execução destes serviços. Estes custos foram estimados em 100 R\$/ano.

#### b) Energia de bombeamento

Para determinar o gasto com energia de bombeamento, tomou-se a tarifa de energia elétrica da ENERGISA (João Pessoa) como referência, custando atualmente 0,487 R\$/KWh. Desta forma, tem-se um custo de energia de bombeamento definido pela equação 57:

$$E_b = 0,000278 \times T_{EE} \times V_{AC'} \times \gamma \times g \times H_{man} \quad (57)$$

Onde,

$E_b$  é valor da energia de bombeamento em R\$/ano;

$T_{EE}$  é a tarifa de energia elétrica, sendo  $T_{EE} = 0,44026 \frac{R\$}{KWh}$ ;

$V_{AC'}$  é o volume de água de chuva aproveitado corrigido em  $m^3$ /ano;

$\gamma$  é o peso específico da água, sendo  $\gamma = 1000 \text{ Kg}/m^3$ ;

$g$  é aceleração da gravidade, sendo  $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ ;

$H_{man}$  é a altura manométrica;

0,000278 é o fator de conversão.

#### 4.3.8. Análise Econômica

O indicador adotado para a análise econômica do sistema de aproveitamento foi o Benefício/Custo (B/C), para uma vida útil do sistema de 30 anos. O benefício econômico foi estimado pela economia de água potável fornecida pela concessionária, através da substituição parcial por água de chuva, e o custo, pelos gastos com a implantação do sistema.

##### a) Benefício Bruto

Inicialmente, calculou-se o benefício bruto a partir da determinação do valor da economia de água potável num ciclo anual pela equação 58:

$$B_B = V_{AC'} \times T_{AP} \quad (58)$$

Onde,

$B_B$  é o benefício bruto em R\$/ano;

$V_{AC}$  é o volume de água de chuva aproveitado corrigido em m<sup>3</sup>/ano;  
 $T_{AP}$  é a tarifa de água potável fornecida pela concessionária R\$/m<sup>3</sup>.

O valor do metro cúbico de água potável ( $T_{AP}$ ) fornecido pela concessionária foi obtido de duas formas:

I) Quando o usuário não informou os dados referentes às últimas faturas de água potável, tomou-se como base o valor do m<sup>3</sup> de água fornecida pela CAGEPA. A estrutura tarifária vigente no ano de 2016 encontra-se na tabela 18:

Tabela 18 - Estrutura tarifária CAGEPA

Faixas de consumo mensal	Tarifa de água (R\$)
Tarifa mínima – Consumo até 10 m <sup>3</sup>	32,78
11 a 20 m <sup>3</sup>	4,23
21 a 30 m <sup>3</sup>	5,58
Acima de 30 m <sup>3</sup>	7,57

Fonte: CAGEPA (2015)<sup>3</sup>

II) Quando as médias de consumo e de conta de água eram informadas, o valor do m<sup>3</sup> era obtido pela equação 59:

$$T_{AP} = \frac{C_{AP}}{Consumo_{AP}} \quad (59)$$

Onde,

$T_{AP}$  é o valor do m<sup>3</sup> de água potável em R\$/m<sup>3</sup>;

$Conta_{AP}$  é a média dos gastos com água potável na residência em R\$/mês;

$C_{AP}$  é o consumo mensal de água potável na residência em m<sup>3</sup>/mês;

b) Benefício Líquido

<sup>3</sup> CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. **Estrutura tarifária 2016**. 2016.

O benefício líquido foi obtido ao descontar os custos de exploração do sistema, como mostra a equação 60:

$$B_L = B_B - M - E_b \quad (60)$$

Onde,

$B_L$  é o benefício líquido em R\$/ano;

$B_B$  é o benefício bruto em R\$/ano;

$M$  é o custo de manutenção do sistema, sendo  $M = 100 \frac{R\$}{ano}$ ;

$E_b$  é o custo com energia de bombeamento em R\$/ano;

c) Valor Presente Líquido (VPL)

Para o cálculo do VPL foi adotada uma taxa de juros vigente de 14,15% ao ano, segundo o Banco Central do Brasil (2016). A equação 61 mostra a equação do VPL:

$$VPL = \frac{B_L}{\left(1 + \frac{T_x}{100}\right)^{i-1}} \quad (61)$$

Onde,

$VPL$  é o valor presente líquido expresso em %;

$B_L$  é o benefício líquido em R\$/ano;

$T_x$  é a taxa de juros anual, sendo  $T_x = 14,15\%$ ;

$i$  é o ano de referência.

d) Benefício/Custo (B/C)

Por fim, obteve-se a relação B/C pela equação 62:

$$B/C = \frac{\sum_i^{30} VPL}{\text{Custo de implantação do sistema}} \quad (62)$$

Sendo os custos de implantação do sistema referentes a escavação, reservatórios inferior e superior, filtro de areia, conjunto motobomba e tubulações.

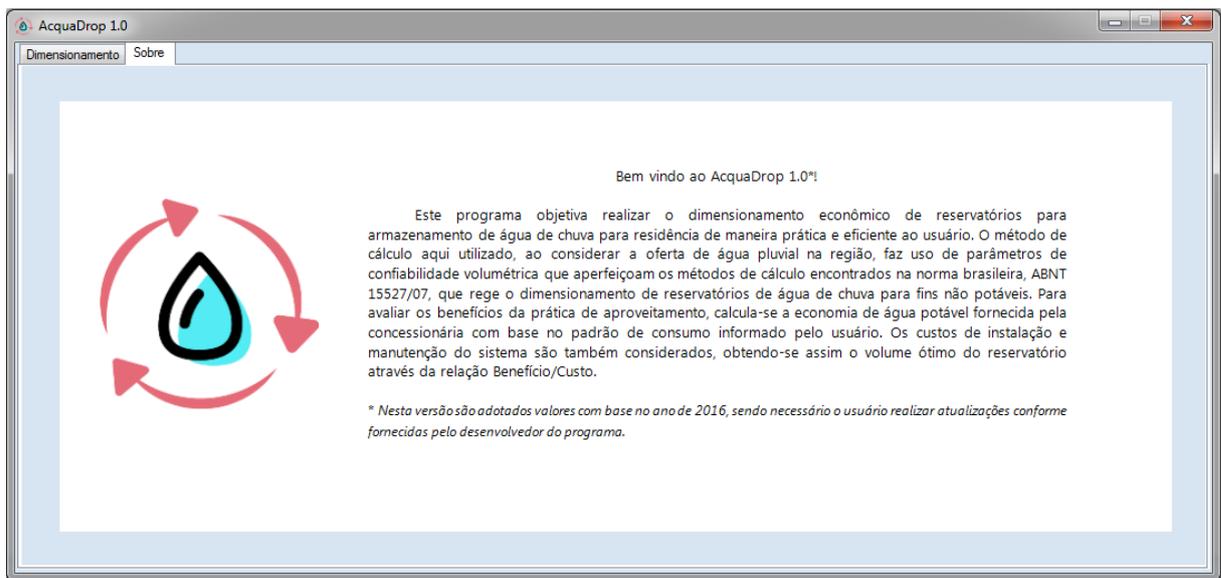
#### **4.3.9. Escolha do reservatório**

Por fim será gerado um gráfico B/C x Volumes de acumulação e será escolhido o volume ideal, ou seja, aquele que apresentar um maior índice econômico.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi desenvolvido um programa de fácil utilização ao usuário com dados de entrada facilmente acessíveis, de modo a facilitar e incentivar o aproveitamento de águas de chuva. O AcquaDrop versão 1.0, possui duas interfaces mostradas nas figuras 11 e 12, disponíveis imediatamente ao abrir o programa.

Figura 11 - Interface sobre o AcquaDrop



Fonte: Própria.

Figura 12 - Interface principal AcquaDrop

Fonte: Própria.

Como a metodologia de cálculo foi descrita anteriormente, neste capítulo veremos a aplicação do programa para uma dada residência localizada na cidade de João Pessoa – PB. Foram utilizados os dados de entrada disponíveis nas tabelas 19, 20 e 21:

Tabela 19 – Dados de entrada

<b>Área de captação</b>	130	m <sup>2</sup>
<b>Nº de moradores</b>	4	hab
<b>Média do consumo de água</b>	33	m <sup>3</sup> /mês
<b>Média conta de água</b>	153,59	R\$/mês
<b>Altura manométrica</b>	5	m

Fonte: Própria.

Tabela 20 – Médias mensais de precipitação da cidade de João Pessoa/PB

<b>Precipitação Pluviométrica (mm/mês)</b>			
<b>Janeiro</b>	75,8	<b>Julho</b>	346,2
<b>Fevereiro</b>	108,4	<b>Agosto</b>	183,5
<b>Março</b>	252,2	<b>Setembro</b>	87,2
<b>Abril</b>	349,8	<b>Outubro</b>	35,4
<b>Maiο</b>	307,3	<b>Novembro</b>	24,9
<b>Junho</b>	346,1	<b>Dezembro</b>	28,5

Fonte: Adaptado do INMET (2016).

Tabela 21 – Pontos de utilização de água de chuva

<b>Pontos de consumo de água de chuva:</b>			
<b>x</b>	Bacia Sanitária	<b>x</b>	Máquina de lavar roupas
<b>x</b>	Chuveiro	<b>x</b>	Piscina
<b>x</b>	Ducha Higiênica	<b>x</b>	Tanque
	Hidromassagem	<b>x</b>	Torneira Externa (Rega de jardim)
<b>x</b>	Lavatório	<b>x</b>	Torneira Externa (Lavagem de carro)
<b>x</b>	Máquina de lavar louças	<b>x</b>	Torneira Externa (Lavagem de piso)

Fonte: Própria.

A partir dos dados obtidos, encontrou-se pela equação 59, o valor médio do metro cúbico de água pago a concessionária no valor de 4,65 R\$/m<sup>3</sup>. O consumo per capita de água potável foi estimado em 275 l/hab.dia a partir da equação 47, e de acordo com a tabela 7, definiu-se o consumo na residência de padrão alto.

De posse desses dados, será realizado o balanço hídrico para os diferentes tamanhos de reservatório, que variam de 5 m<sup>3</sup> a 40 m<sup>3</sup>, como mostram as tabelas 22 a 27.

Tabela 22 – Balanço hídrico para reservatório de 5 m<sup>3</sup>

Mês	Oferta (m <sup>3</sup> )	Demanda (m <sup>3</sup> )	Saldo de água ao final do mês (m <sup>3</sup> )	Volume de água no reservatório ao final do mês (m <sup>3</sup> )	Volume de água extravasado (m <sup>3</sup> )
<b>Jan</b>	8,38	22,98	-14,61	0	0,00
<b>Fev</b>	11,98	22,98	-11,01	0	0,00
<b>Mar</b>	27,87	22,98	4,88	4,88	0,00
<b>Abr</b>	38,65	22,98	15,67	5	10,67
<b>Mai</b>	33,96	22,98	10,97	5	10,97
<b>Jun</b>	38,24	22,98	15,26	5	15,26
<b>Jul</b>	38,25	22,98	15,27	5	15,27
<b>Ago</b>	20,28	22,98	-2,71	2,29	0,00
<b>Set</b>	9,64	22,98	-13,35	0	0,00
<b>Out</b>	3,91	22,98	-19,07	0	0,00
<b>Nov</b>	2,75	22,98	-20,23	0	0,00
<b>Dez</b>	3,15	22,98	-19,84	0	0,00
<b>SOMA</b>	<b>237,06</b>	<b>275,81</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>52,17</b>

Fonte: Própria.

Tabela 23 – Balanço hídrico para reservatório de 10 m<sup>3</sup>

Mês	Oferta (m <sup>3</sup> )	Demanda (m <sup>3</sup> )	Saldo de água ao final do mês (m <sup>3</sup> )	Volume de água no reservatório ao final do mês (m <sup>3</sup> )	Volume de água extravasado (m <sup>3</sup> )
<b>Jan</b>	8,38	22,98	-14,61	0	0,00
<b>Fev</b>	11,98	22,98	-11,01	0	0,00
<b>Mar</b>	27,87	22,98	4,88	4,88	0,00
<b>Abr</b>	38,65	22,98	15,67	10	10,55
<b>Mai</b>	33,96	22,98	10,97	10	10,97
<b>Jun</b>	38,24	22,98	15,26	10	15,26
<b>Jul</b>	38,25	22,98	15,27	10	15,27
<b>Ago</b>	20,28	22,98	-2,71	7,29	0,00
<b>Set</b>	9,64	22,98	-13,35	0	0,00
<b>Out</b>	3,91	22,98	-19,07	0	0,00
<b>Nov</b>	2,75	22,98	-20,23	0	0,00
<b>Dez</b>	3,15	22,98	-19,84	0	0,00
<b>SOMA</b>	<b>237,06</b>	<b>275,81</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>52,05</b>

Fonte: Própria.

Tabela 24 – Balanço hídrico para reservatório de 15 m<sup>3</sup>

Mês	Oferta (m <sup>3</sup> )	Demanda (m <sup>3</sup> )	Saldo de água ao final do mês (m <sup>3</sup> )	Volume de água no reservatório ao final do mês (m <sup>3</sup> )	Volume de água extravasado (m <sup>3</sup> )
<b>Jan</b>	8,38	22,98	-14,61	0	0,00
<b>Fev</b>	11,98	22,98	-11,01	0	0,00
<b>Mar</b>	27,87	22,98	4,88	4,88	0,00
<b>Abr</b>	38,65	22,98	15,67	15	5,55
<b>Mai</b>	33,96	22,98	10,97	15	10,97
<b>Jun</b>	38,24	22,98	15,26	15	15,26
<b>Jul</b>	38,25	22,98	15,27	15	15,27
<b>Ago</b>	20,28	22,98	-2,71	12,29	0,00
<b>Set</b>	9,64	22,98	-13,35	0	0,00
<b>Out</b>	3,91	22,98	-19,07	0	0,00
<b>Nov</b>	2,75	22,98	-20,23	0	0,00
<b>Dez</b>	3,15	22,98	-19,84	0	0,00
<b>SOMA</b>	<b>237,06</b>	<b>275,81</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>47,05</b>

Fonte: Própria.

Tabela 25 – Balanço hídrico para reservatório de 20 m<sup>3</sup>

Mês	Oferta (m <sup>3</sup> )	Demanda (m <sup>3</sup> )	Saldo de água ao final do mês (m <sup>3</sup> )	Volume de água no reservatório ao final do mês (m <sup>3</sup> )	Volume de água extravasado (m <sup>3</sup> )
<b>Jan</b>	8,38	22,98	-14,61	0,00	0
<b>Fev</b>	11,98	22,98	-11,01	0	0
<b>Mar</b>	27,87	22,98	4,88	4,88	0
<b>Abr</b>	38,65	22,98	15,67	20	0,55
<b>Mai</b>	33,96	22,98	10,97	20	10,97
<b>Jun</b>	38,24	22,98	15,26	20	15,26
<b>Jul</b>	38,25	22,98	15,27	20	15,27
<b>Ago</b>	20,28	22,98	-2,71	17,29	0
<b>Set</b>	9,64	22,98	-13,35	3,94	0
<b>Out</b>	3,91	22,98	-19,07	0	0
<b>Nov</b>	2,75	22,98	-20,23	0	0
<b>Dez</b>	3,15	22,98	-19,84	0	0
<b>SOMA</b>	<b>237,06</b>	<b>275,81</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>42,05</b>

Fonte: Própria.

Tabela 26 – Balanço hídrico para reservatório de 30 m<sup>3</sup>

Mês	Oferta (m <sup>3</sup> )	Demanda (m <sup>3</sup> )	Saldo de água ao final do mês (m <sup>3</sup> )	Volume de água no reservatório ao final do mês (m <sup>3</sup> )	Volume de água extravasado (m <sup>3</sup> )
<b>Jan</b>	8,38	22,98	-14,61	0,00	0
<b>Fev</b>	11,98	22,98	-11,01	0	0
<b>Mar</b>	27,87	22,98	4,88	4,88	0,00
<b>Abr</b>	38,65	22,98	15,67	20,55	0
<b>Mai</b>	33,96	22,98	10,97	30	1,52
<b>Jun</b>	38,24	22,98	15,26	30	15,26
<b>Jul</b>	38,25	22,98	15,27	30	15,27
<b>Ago</b>	20,28	22,98	-2,71	27,29	0
<b>Set</b>	9,64	22,98	-13,35	13,94	0
<b>Out</b>	3,91	22,98	-19,07	0	0
<b>Nov</b>	2,75	22,98	-20,23	0	0
<b>Dez</b>	3,15	22,98	-19,84	0	0
<b>SOMA</b>	<b>237,06</b>	<b>275,81</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>32,05</b>

Fonte: Própria.

Tabela 27 – Balanço hídrico para reservatório de 40 m<sup>3</sup>

Mês	Oferta (m <sup>3</sup> )	Demanda (m <sup>3</sup> )	Saldo de água ao final do mês (m <sup>3</sup> )	Volume de água no reservatório ao final do mês (m <sup>3</sup> )	Volume de água extravasado (m <sup>3</sup> )
Jan	8,38	22,98	-14,61	0,00	0,00
Fev	11,98	22,98	-11,01	0,00	0,00
Mar	27,87	22,98	4,88	4,88	0,00
Abr	38,65	22,98	15,67	20,55	0,00
Mai	33,96	22,98	10,97	31,52	0,00
Jun	38,24	22,98	15,26	40	6,78
Jul	38,25	22,98	15,27	40	15,27
Ago	20,28	22,98	-2,71	37,29	0,00
Set	9,64	22,98	-13,35	23,94	0,00
Out	3,91	22,98	-19,07	4,87	0,00
Nov	2,75	22,98	-20,23	0	0,00
Dez	3,15	22,98	-19,84	0	0,00
<b>SOMA</b>	<b>237,06</b>	<b>275,81</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>22,05</b>

Fonte: Própria.

Foi realizada a correção a partir da obtenção do valor de diferença (D2) obtido pela equação 52, e aplicado nas equações que se encontram nas tabelas 10 a 15, para cada volume estudado. Como simplificação de cálculo, foram utilizadas as equações para 150 m<sup>2</sup> de área de captação, visto que é o valor que mais se aproxima da área de captação em estudo para o padrão alto. Os coeficientes de extravasamento obtidos para cada volume encontram-se na tabela 28:

Tabela 28 – Coeficientes de extravasamento para diferentes volumes

<b>Área de captação= 150 m<sup>2</sup>; Padrão Alto; D2 = 317,77</b>		
<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Equação CE</b>	<b>Valor CE (%)</b>
5	$y = 8 \times 10^{-6}x^2 - 0,0126x + 90,284$	87,09
10	$y = -7 \times 10^{-6}x^2 - 0,0118x + 97,717$	93,26
15	$y = -3 \times 10^{-5}x^2 - 0,0018x + 99,045$	95,44
20	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,0038x + 99,409$	96,58
30	$y = -5 \times 10^{-5}x^2 + 0,0114x + 99,4$	97,97
40	$y = -4 \times 10^{-5}x^2 + 0,0111x + 99,392$	98,88

Fonte: Própria.

Os volumes de água de chuva aproveitados foram corrigidos, resultando nos volumes encontrados na tabela 29:

Tabela 29 - Volumes de água de chuva aproveitados

<b>Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volume aproveitado corrigido (m<sup>3</sup>/ano)</b>
5	161,01
10	172,53
15	181,34
20	188,33
30	200,85
40	212,60

Fonte: Própria.

Por fim, foi realizada a análise econômica para um período de alcance de projeto de 30 anos, a fim de se encontrar o volume do reservatório inferior que apresente um maior índice benefício/custo. As tabelas 30 a 35 mostram os resultados encontrados para o benefício do projeto em valores presentes para os diferentes volumes.

Tabela 30 - Análise econômica para reservatório de 5 m³

<b>Ano</b>	<b>Benefício bruto (R\$)</b>	<b>Custo operação e manutenção (R\$)</b>	<b>Benefício líquido (R\$)</b>	<b>VPL</b>
1	749,39	102,14	647,25	647,25
2	749,39	102,14	647,25	567,02
3	749,39	102,14	647,25	496,73
4	749,39	102,14	647,25	435,16
5	749,39	102,14	647,25	381,22
6	749,39	102,14	647,25	333,96
7	749,39	102,14	647,25	292,56
8	749,39	102,14	647,25	256,30
9	749,39	102,14	647,25	224,53
10	749,39	102,14	647,25	196,69
11	749,39	102,14	647,25	172,31
12	749,39	102,14	647,25	150,95
13	749,39	102,14	647,25	132,24
14	749,39	102,14	647,25	115,85
15	749,39	102,14	647,25	101,49
16	749,39	102,14	647,25	88,91
17	749,39	102,14	647,25	77,89
18	749,39	102,14	647,25	68,23
19	749,39	102,14	647,25	59,77
20	749,39	102,14	647,25	52,36
21	749,39	102,14	647,25	45,87
22	749,39	102,14	647,25	40,19
23	749,39	102,14	647,25	35,20
24	749,39	102,14	647,25	30,84
25	749,39	102,14	647,25	27,02
26	749,39	102,14	647,25	23,67
27	749,39	102,14	647,25	20,73
28	749,39	102,14	647,25	18,16
29	749,39	102,14	647,25	15,91
30	749,39	102,14	647,25	13,94
			<b>SOMA =</b>	<b>5122,96</b>

Fonte: Própria.

Tabela 31 - Análise econômica para reservatório de 10 m<sup>3</sup>

<b>Ano</b>	<b>Benefício bruto (R\$)</b>	<b>Custo operação e manutenção (R\$)</b>	<b>Benefício líquido (R\$)</b>	<b>VPL</b>
1	803,01	102,29	700,72	700,72
2	803,01	102,29	700,72	613,86
3	803,01	102,29	700,72	537,77
4	803,01	102,29	700,72	471,10
5	803,01	102,29	700,72	412,71
6	803,01	102,29	700,72	361,55
7	803,01	102,29	700,72	316,73
8	803,01	102,29	700,72	277,47
9	803,01	102,29	700,72	243,07
10	803,01	102,29	700,72	212,94
11	803,01	102,29	700,72	186,55
12	803,01	102,29	700,72	163,42
13	803,01	102,29	700,72	143,16
14	803,01	102,29	700,72	125,42
15	803,01	102,29	700,72	109,87
16	803,01	102,29	700,72	96,25
17	803,01	102,29	700,72	84,32
18	803,01	102,29	700,72	73,87
19	803,01	102,29	700,72	64,71
20	803,01	102,29	700,72	56,69
21	803,01	102,29	700,72	49,66
22	803,01	102,29	700,72	43,51
23	803,01	102,29	700,72	38,11
24	803,01	102,29	700,72	33,39
25	803,01	102,29	700,72	29,25
26	803,01	102,29	700,72	25,62
27	803,01	102,29	700,72	22,45
28	803,01	102,29	700,72	19,67
29	803,01	102,29	700,72	17,23
30	803,01	102,29	700,72	15,09
			<b>SOMA =</b>	<b>5546,15</b>

Fonte: Própria.

Tabela 32 - Análise econômica para reservatório de 15 m<sup>3</sup>

<b>Ano</b>	<b>Benefício bruto (R\$)</b>	<b>Custo operação e manutenção (R\$)</b>	<b>Benefício líquido (R\$)</b>	<b>VPL</b>
1	844,02	102,41	741,61	741,61
2	844,02	102,41	741,61	649,68
3	844,02	102,41	741,61	569,15
4	844,02	102,41	741,61	498,60
5	844,02	102,41	741,61	436,79
6	844,02	102,41	741,61	382,65
7	844,02	102,41	741,61	335,21
8	844,02	102,41	741,61	293,66
9	844,02	102,41	741,61	257,26
10	844,02	102,41	741,61	225,37
11	844,02	102,41	741,61	197,43
12	844,02	102,41	741,61	172,96
13	844,02	102,41	741,61	151,52
14	844,02	102,41	741,61	132,74
15	844,02	102,41	741,61	116,28
16	844,02	102,41	741,61	101,87
17	844,02	102,41	741,61	89,24
18	844,02	102,41	741,61	78,18
19	844,02	102,41	741,61	68,49
20	844,02	102,41	741,61	60,00
21	844,02	102,41	741,61	52,56
22	844,02	102,41	741,61	46,05
23	844,02	102,41	741,61	40,34
24	844,02	102,41	741,61	35,34
25	844,02	102,41	741,61	30,96
26	844,02	102,41	741,61	27,12
27	844,02	102,41	741,61	23,76
28	844,02	102,41	741,61	20,81
29	844,02	102,41	741,61	18,23
30	844,02	102,41	741,61	15,97
			<b>SOMA =</b>	<b>5869,81</b>

Fonte: Própria.

Tabela 33 - Análise econômica para reservatório de 20 m<sup>3</sup>

<b>Ano</b>	<b>Benefício bruto (R\$)</b>	<b>Custo operação e manutenção (R\$)</b>	<b>Benefício líquido (R\$)</b>	<b>VPL</b>
1	876,52	102,50	774,02	774,02
2	876,52	102,50	774,02	678,07
3	876,52	102,50	774,02	594,02
4	876,52	102,50	774,02	520,38
5	876,52	102,50	774,02	455,88
6	876,52	102,50	774,02	399,37
7	876,52	102,50	774,02	349,86
8	876,52	102,50	774,02	306,49
9	876,52	102,50	774,02	268,50
10	876,52	102,50	774,02	235,22
11	876,52	102,50	774,02	206,06
12	876,52	102,50	774,02	180,52
13	876,52	102,50	774,02	158,14
14	876,52	102,50	774,02	138,54
15	876,52	102,50	774,02	121,36
16	876,52	102,50	774,02	106,32
17	876,52	102,50	774,02	93,14
18	876,52	102,50	774,02	81,59
19	876,52	102,50	774,02	71,48
20	876,52	102,50	774,02	62,62
21	876,52	102,50	774,02	54,86
22	876,52	102,50	774,02	48,06
23	876,52	102,50	774,02	42,10
24	876,52	102,50	774,02	36,88
25	876,52	102,50	774,02	32,31
26	876,52	102,50	774,02	28,30
27	876,52	102,50	774,02	24,80
28	876,52	102,50	774,02	21,72
29	876,52	102,50	774,02	19,03
30	876,52	102,50	774,02	16,67
			<b>SOMA =</b>	<b>6126,31</b>

Fonte: Própria.

Tabela 34 - Análise econômica para reservatório de 30 m<sup>3</sup>

<b>Ano</b>	<b>Benefício bruto (R\$)</b>	<b>Custo operação e manutenção (R\$)</b>	<b>Benefício líquido (R\$)</b>	<b>VPL</b>
1	934,79	102,67	832,13	832,13
2	934,79	102,67	832,13	728,98
3	934,79	102,67	832,13	638,61
4	934,79	102,67	832,13	559,45
5	934,79	102,67	832,13	490,10
6	934,79	102,67	832,13	429,35
7	934,79	102,67	832,13	376,13
8	934,79	102,67	832,13	329,50
9	934,79	102,67	832,13	288,66
10	934,79	102,67	832,13	252,87
11	934,79	102,67	832,13	221,53
12	934,79	102,67	832,13	194,07
13	934,79	102,67	832,13	170,01
14	934,79	102,67	832,13	148,94
15	934,79	102,67	832,13	130,47
16	934,79	102,67	832,13	114,30
17	934,79	102,67	832,13	100,13
18	934,79	102,67	832,13	87,72
19	934,79	102,67	832,13	76,85
20	934,79	102,67	832,13	67,32
21	934,79	102,67	832,13	58,98
22	934,79	102,67	832,13	51,66
23	934,79	102,67	832,13	45,26
24	934,79	102,67	832,13	39,65
25	934,79	102,67	832,13	34,73
26	934,79	102,67	832,13	30,43
27	934,79	102,67	832,13	26,66
28	934,79	102,67	832,13	23,35
29	934,79	102,67	832,13	20,46
30	934,79	102,67	832,13	17,92
			<b>SOMA =</b>	<b>6586,21</b>

Fonte: Própria.

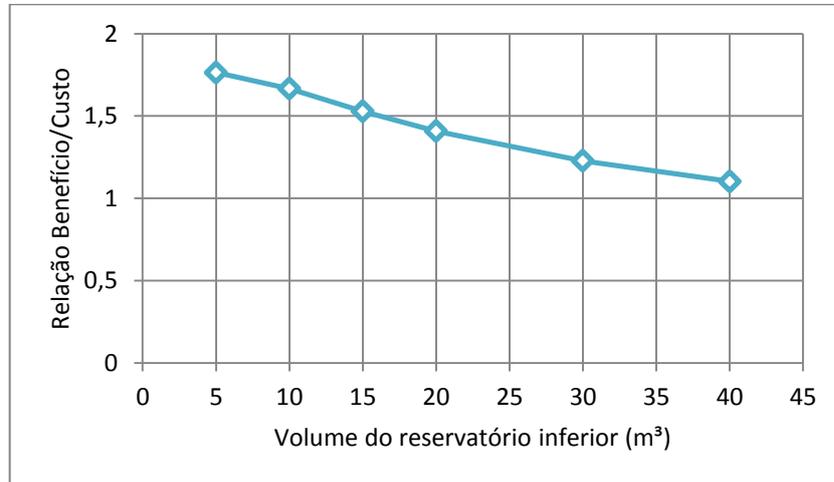
Tabela 35 - Análise econômica para reservatório de 40 m<sup>3</sup>

<b>Ano</b>	<b>Benefício bruto (R\$)</b>	<b>Custo operação e manutenção (R\$)</b>	<b>Benefício líquido (R\$)</b>	<b>VPL</b>
1	989,46	102,82	886,64	886,64
2	989,46	102,82	886,64	776,73
3	989,46	102,82	886,64	680,45
4	989,46	102,82	886,64	596,10
5	989,46	102,82	886,64	522,21
6	989,46	102,82	886,64	457,47
7	989,46	102,82	886,64	400,77
8	989,46	102,82	886,64	351,09
9	989,46	102,82	886,64	307,57
10	989,46	102,82	886,64	269,44
11	989,46	102,82	886,64	236,04
12	989,46	102,82	886,64	206,78
13	989,46	102,82	886,64	181,15
14	989,46	102,82	886,64	158,69
15	989,46	102,82	886,64	139,02
16	989,46	102,82	886,64	121,79
17	989,46	102,82	886,64	106,69
18	989,46	102,82	886,64	93,47
19	989,46	102,82	886,64	81,88
20	989,46	102,82	886,64	71,73
21	989,46	102,82	886,64	62,84
22	989,46	102,82	886,64	55,05
23	989,46	102,82	886,64	48,23
24	989,46	102,82	886,64	42,25
25	989,46	102,82	886,64	37,01
26	989,46	102,82	886,64	32,42
27	989,46	102,82	886,64	28,40
28	989,46	102,82	886,64	24,88
29	989,46	102,82	886,64	21,80
30	989,46	102,82	886,64	19,10
			<b>SOMA =</b>	<b>7017,69</b>

Fonte: Própria.

Por fim, será encontrado o indicador econômico B/C para cada cenário a partir da equação 62 e o volume ideal será determinado pela figura 13:

Gráfico 5- Relação Benefício/Custo x Volume do reservatório



Fonte: Própria.

Para o caso simulado, encontrou-se o volume ideal de 5.000 litros.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo propôs aplicar a alternativa de aproveitamento de águas pluviais em residências, incorporando parâmetros pluviométricos que visam aumentar a confiabilidade do sistema, pois a partir da determinação destes, pode-se calcular o volume de chuva efetivamente aproveitável com maior precisão.

A análise da confiabilidade volumétrica permite o ajuste de volumes de aproveitamento de águas de chuva, pois ainda que este parâmetro não seja igual a 100%, diminui-se a probabilidade de ocorrência de erros no volume aproveitado de água de chuva (LACERDA, 2015).

A partir de diversas simulações realizadas com o programa “AcquaDrop”, foi verificado que para alguns cenários a implantação do projeto não traz grandes benefícios econômicos. Isto acontece devido à necessidade de reservatórios de grandes volumes, o que gera um aumento significativo ao custo de investimento direto. O custo elevado de implantação do sistema associado ao baixo valor de tarifa de água paga nos dias de hoje, contribuem para um sistema na maioria das vezes, inviável economicamente. Resultados semelhantes a estes já haviam sido obtidos por Dias (2007).

Por fim, o software AcquaDrop mostrou-se de fácil utilização e capaz de apontar o volume econômico para o reservatório.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2007.
2. BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxa Selic Diária**. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br>>. Acesso em: 07 nov. 2016.
3. BARBETTA, P. A. **Estatística aplicada às ciências sociais**. 5 ed. Florianópolis: Ed. da UFSC, 340 p. 2003
4. BRASIL: **Normais Climatológicas (1961-1990)**. Ministério da Agricultura. 1992.
5. DIAS, I. C. S. **Estudo da Viabilidade Técnica, Econômica e Social do Aproveitamento de Água de Chuva em Residência na Cidade de João Pessoa**. UFPB: Dissertação de Mestrado, 2007.
6. EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina. **Dados diários de precipitação**. Florianópolis, Boletim Técnico, 2004.
7. GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4. Programa computacional**. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/>. 2014.
8. GHISI, E.; FERREIRA, D. F. **Potential for potable water savings by using Rainwater and greywater in a multi-storey residential building in Southern Brazil**. Building and environment, West Lafayette, v. 42, n. 7, p. 2512-2522, jul. 2007.
9. GHISI, E; MONTIBELLER, A.; SCHMIDT, R. W. **Potential for potable water savings by using rainwater: an analysis over 62 cities in southern Brazil**. Building and Environment, v. 41, n. 2, p. 204-210, 2006.

10. GHISI, E.; TRÉS, A. C. R. **Netuno: aproveitamento de águas pluviais no setor residencial**. Disponível em <<http://www.labeee.ufsc.br/software/netuno.html>>. Programa computacional, 2004.
11. LACERDA, N. M. S. **Confiabilidade Volumétrica de Reservatórios para Armazenamento de Água de Chuva em Municípios Brasileiros**. UFPB: Trabalho de Conclusão de Curso, 2015.
12. LIMA, J. A. et al. **Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 16, n. 3, p. 291-298, jul./set. 2011.
13. MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. **Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 67-84, abr./jun. 2008.
14. MARINOSKI, D. L. et al. **Aproveitamento de água pluvial e dimensionamento de reservatório para fins não potáveis: estudo de caso em um conjunto residencial localizado em Florianópolis – SC**. São Paulo – SP: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável; X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004.
15. MARQUES, C. M. **Proposição de Sistema de Aproveitamento de Água de Chuva para o Campus Campina Grande do IFPB: Estudo da Viabilidade Econômica**. UFPB: Dissertação de Mestrado, 2012.
16. NASCIMENTO, P. H. R.; MORUZZI, R. B.; **IX-047 – Programa Computacional de Suporte à Decisão para Cálculo de Reservatório de Armazenamento em Sistemas de Captação e Aproveitamento de Água Pluvial em Áreas Urbanas**. Recife – PE: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009.
17. OLIVEIRA, M. H. C. **Aproveitamento da água de chuva**. UTFPR: Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização). 2014.

18. OLIVEIRA, S. M. **Aproveitamento da água da chuva e reuso de água em residências unifamiliares: estudo de caso em Palhoça – SC.** UFSC: Trabalho de Conclusão de Curso, 2005.
19. RAINDROPS GROUP. **Aproveitamento da água da chuva.** Curitiba: Organic Tranding, 2002. 196 pg. Traduzido por Masato Kobiyama e outros.
20. RUPP, R. F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. **Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial.** Porto Alegre – RS: Ambiente Construído, 2011. 18p.
21. SALES, E. T. **Relação entre o Coeficiente de Extravasamento em Reservatórios Domiciliares para Armazenamento de Água de Chuva e Parâmetros Pluviométricos em Municípios Brasileiros.** UFPB: Trabalho de Conclusão de Curso, 2016.
22. SIMIONI, W. I.; GHISI, E.; GOMÉZ, L. A. **Potencial de economia de água tratada através do aproveitamento de águas pluviais em postos de combustíveis: estudos de caso.** São Paulo – SP: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável; X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2004.
23. SINGH, R. B. **Remote sensing and geographical information system.** New Delhi, 2009.
24. TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis.** Guarulhos, 2010. Disponível em <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro\\_aprov.\\_aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf)> Acesso em: 13 out. 2016.