

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO AMBIENTAL EM MUNICÍPIOS**

ALAN ROQUE DAPIEVE

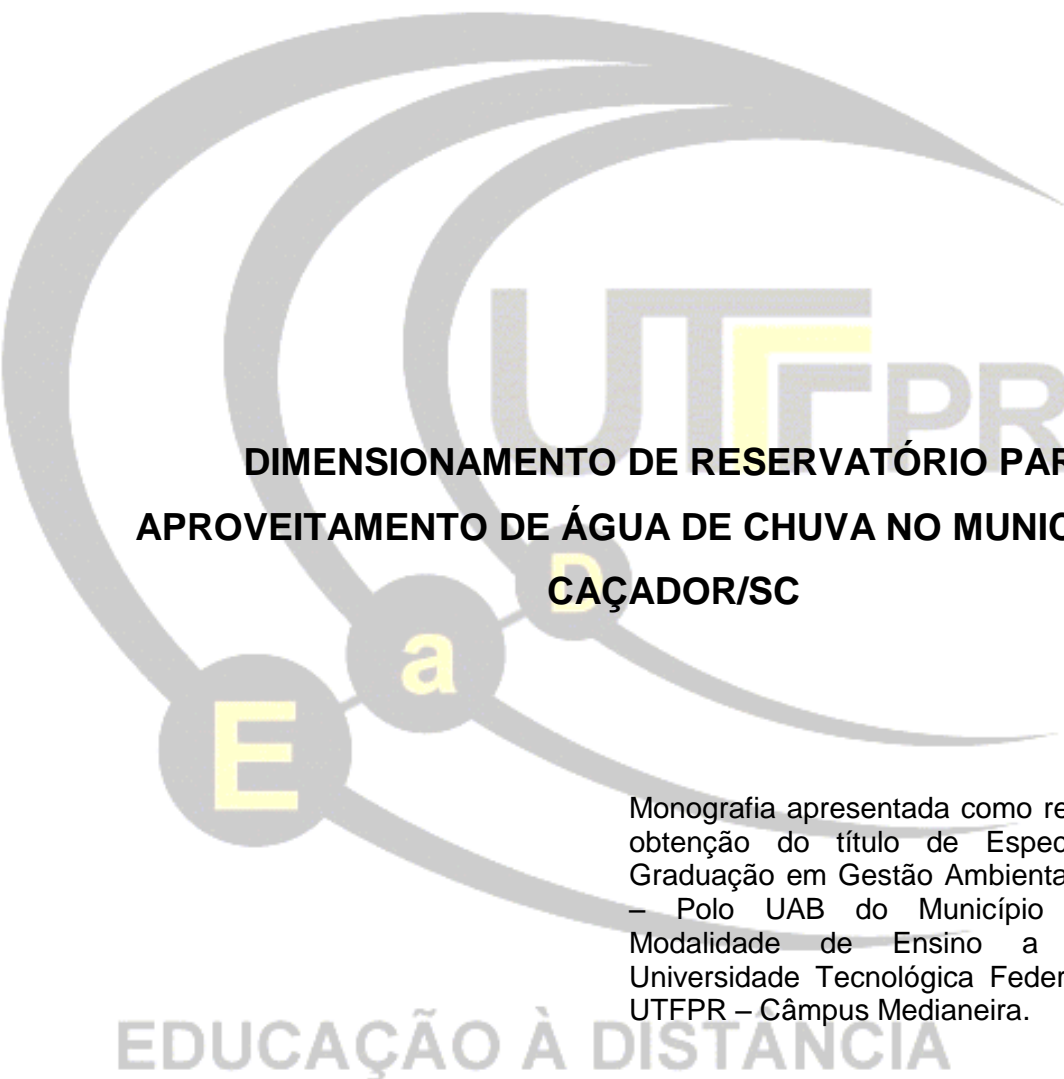
**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PARA  
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA NO MUNICÍPIO DE  
CAÇADOR/SC**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

MEDIANEIRA

2014

ALAN ROQUE DAPIEVE



**DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PARA  
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA NO MUNICÍPIO DE  
CAÇADOR/SC**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista na Pós Graduação em Gestão Ambiental em Municípios – Polo UAB do Município de Concórdia, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra Carla Adriana Pizarro Schmidt

MEDIANEIRA

2014



## TERMO DE APROVAÇÃO

### DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIO PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA NO MUNICÍPIO DE CAÇADOR/SC

Por

**Alan Roque Dapieve**

Esta monografia foi apresentada às..... h do dia..... de..... de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no Curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios – Polo de Concórdia, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho .....

---

Prof<sup>a</sup>. Dra. Carla Adriana Pizarro Schmidt  
UTFPR – Câmpus Medianeira  
(orientadora)

---

Prof Dr. ....  
UTFPR – Câmpus Medianeira

---

Prof<sup>a</sup>. Ma. ....  
UTFPR – Câmpus Medianeira

Dedico aos meus familiares.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Nelson e Madalena, pela orientação, bons exemplos e apoio em todas as fazes de minha vida.

A minha companheira de jornada e de vida, Amanda Medina, por seu apoio incondicional e auxílio em minhas buscas por meus anseios, sempre com paciência e inefável Amor.

Ao meu irmão, Darlan, pelo seu incentivo aos meus estudos e por suas idéias e contribuições na faze de idealização deste trabalho.

A minha orientadora professora Dra. Carla, por seu sempre pronto atendimento e pelas orientações ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço aos professores do curso de Especialização em Gestão Ambiental em Municípios, professores da UTFPR, Câmpus Medianeira.

Agradeço aos tutores presenciais e a distância que nos auxiliaram no decorrer da pós-graduação.

Agradeço a todos contribuíram de forma direta ou indireta para realização desta monografia.

“O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano”. (ISAAC NEWTON)

## RESUMO

DAPIEVE, Alan Roque. Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva no município de Caçador/SC. 2014. 71p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

Sendo o reservatório inferior (cisterna) o item mais oneroso de um sistema de captação e aproveitamento de água de chuva em uma residência, este trabalho se dedicou a estudar e determinar qual dos métodos de cálculo apresentados pelo Anexo A da NBR 15527 (ABNT, 2007) se mostra mais viável para a realidade de Caçador/SC, considerando-se a utilização da água captada para fins não potáveis em habitações residenciais. Para esta análise os reservatórios foram calculados para 27 casos de residências hipotéticas, onde se variou a área de captação, o número de habitantes da edificação e a demanda por água não potável. Os cálculos foram desenvolvidos com o auxílio de planilhas eletrônicas e para cada um dos 27 casos foram calculados os volumes do reservatório pelas 6 (seis) metodologias da norma. Após os volumes calculados, simulou-se o comportamento de cada um dos reservatórios, também através de planilha eletrônica, considerando seu comportamento ao longo de uma série de dados diários de pluviometria com duração de 20 anos. Considerou-se o método mais adequado para Caçador aquele que obteve o menor volume estando vazio por, no máximo, 10% do tempo, sendo possível determinar que o método mais interessante para a realidade de Caçador é o Método Prático Australiano, se sobressaindo em 81,5% dos casos simulados.

**Palavras chave:** Água de chuva. Água pluvial. NBR 15527:2007. Cisterna.

## ABSTRACT

DAPIEVE, Alan Roque. Reservoir sizing for rainwater utilization in the village of Caçador/SC. 2014. 71p. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

Being the lower reservoir (tank) the most expensive item of a collection and use of rain water system in a residence, this work is devoted to study and determine which of the calculation methods provided by Annex A of NBR 15527 (ABNT, 2007) appears more feasible to Caçador/SC reality, considering the use of the collected water for non-potable purposes in residential dwellings. For this analysis the reservoirs were calculated for 27 cases of hypothetical households, which varied the catchment area, the number of people of the building and the demand for non-potable water. The calculations have been developed with the assistance of spreadsheets and for each of the 27 cases the volume of the reservoir were calculated by 6 (six) methods of the standard. After the calculated volumes simulated the behavior of each of the reservoirs, also through the spreadsheet, considering its behavior over a series of daily precipitation data with a duration of 20 years. It was considered the most appropriate method for Caçador who had the lowest volume being empty for a maximum of 10% of the time, it is possible to determine the most interesting method for Caçador reality is the Practical Method Australian, excelling in 81,5% of the simulated cases.

**Keywords:** Rainwater. Stormwater. NBR 15527:2007. Tank.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição dos Consumos de Água nas Residências de São Paulo.....	11
Figura 2 – Localização Geográfica do Município de Caçador/SC .....	17

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis para Combinações dos Casos em Estudo.....	19
Tabela 2 – Combinação dos Casos Considerados no Dimensionamento do Reservatório .....	20
Tabela 3 – Cálculo do Consumo de Água Per Capta Médio para Caçador .....	23
Tabela 4 – Médias Mensais de Precipitação para Caçador .....	24
Tabela 5 – Volumes para o Reservatório Obtidos Através do Método Rippl.....	25
Tabela 6 – Volumes para o Reservatório Obtidos Através do Método da Simulação	26
Tabela 7 – Médias Mensais de Precipitação para Caçador .....	27
Tabela 8 – Volumes para o Reservatório Obtidos Através do Método Prático Brasileiro .....	28
Tabela 9 – Volumes para o Reservatório Obtidos Através do Método Prático Alemão .....	29
Tabela 10 – Volumes para o Reservatório Obtidos Através do Método Prático Inglês .....	30
Tabela 11 – Volumes para o Reservatório Obtidos Através do Método Prático Australiano .....	31
Tabela 12 – Volumes Dimensionados para o Reservatório em Cada um dos Casos e Métodos em Estudo.....	32
Tabela 13 – Resultados das Simulações de Comportamento dos Reservatórios .....	34
Tabela 14 – Quantidade de Casos Com Melhor Viabilidade Técnica e Econômica por Método .....	35

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>5</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>6</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	6
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	6
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>8</b>
3.1 COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA .....	8
3.1.1 Coeficiente de Escoamento Superficial .....	9
3.2 SUBSTITUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL POR ÁGUA PLUVIAL .....	10
3.3 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS CONFORME ANEXO A DA NBR 15527 (ABNT, 2007).....	12
3.3.1 Método de Rippl .....	13
3.3.2 Método da Simulação .....	13
3.3.3 Método Prático Brasileiro.....	14
3.3.4 Método Prático Alemão .....	14
3.3.5 Método Prático Inglês.....	15
3.3.6 Método Prático Australiano.....	15
<b>4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b> .....	<b>17</b>
4.1 LOCAL DA PESQUISA .....	17
4.2 TIPO DE PESQUISA .....	18
4.3 COLETA DE DADOS.....	18
4.4 MODELAGEM ADOTADA.....	19
4.5 ANÁLISE DOS DADOS .....	20
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>22</b>
5.1 PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	22
5.1.1 Determinação do consumo per capita médio de água para Caçador .....	22
5.1.2 Processamento das séries de precipitação .....	23
5.2 DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS PELOS MÉTODOS DA NBR 15527:2007 .....	24
5.2.1 Método de Rippl .....	24
5.2.2 Método da Simulação .....	25
5.2.3 Método Prático Brasileiro.....	26
5.2.4 Método Prático Alemão .....	28
5.2.5 Método Prático Inglês.....	29
5.2.6 Método Prático Australiano.....	30
5.2.7 Resultados obtidos para os volumes dos reservatórios .....	31
5.3 SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS RESERVATÓRIOS.....	33
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>37</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>38</b>
<b>APÊNDICES</b>	
APÊNDICE A – Modelo de planilha de simulação do comportamento do reservatório	
<b>ANEXOS</b>	
ANEXO A – População atendida e volumes residenciais micromedidos, valores mensais para o ano de 2013 (Fonte: CASAN)	
ANEXO B – Série diária de pluviometria para o município de Caçador e determinação dos valores médios mensais e diários (Fonte: Epagri)	

## 1 INTRODUÇÃO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, através da NBR 15527:2007 “fornece diretrizes para o aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis” e, em seu Anexo A, apresenta como opções ao projetista 6 (seis) métodos de cálculos para dimensionamento dos reservatórios.

Sendo o reservatório (ou também chamado cisterna) o item mais oneroso do sistema de aproveitamento de água de chuva em residências, o seu correto dimensionamento requer cuidados para não tornar a implantação do sistema inviável (PHILIPPI et al., 2006).

Por pesquisas em outros trabalhos já publicados que também buscam o correto dimensionamento do reservatório, verifica-se que não há um único modelo mais indicado para dimensionamento do reservatório e sim que o emprego de cada um dos métodos se revela mais adequado conforme as variáveis locais diretamente ligadas às condições geográficas e climatológicas, a área disponível para captação e aproveitamento da chuva e a demanda pelo uso da água para fins não potáveis.

Neste enfoque, o presente trabalho busca realizar um estudo sobre qual(is) método(s) apresentado(s) pela NBR 15527 (ABNT, 2007) melhor se aplica ao dimensionamento do reservatório para aproveitamento de água de chuva com fins não potáveis a ser instalado em edificações residenciais do município de Caçador, Estado de Santa Catarina.

Para tanto, além de considerar as condições climatológicas específicas de Caçador, será adotado como variáveis a área disponível para captação da chuva, o número de habitantes da edificação e a demanda pela água não potável.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar qual(is) método(s) apresentado(s) pela NBR 15527 (ABNT, 2007) é(são) mais apropriado(s) ao dimensionamento do reservatório para aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em edificações residenciais localizadas no município de Caçador/SC.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Verificar a aplicabilidade de cada um dos 6 (seis) métodos de cálculos apresentados no Anexo A da NBR 15527 (ABNT, 2007) para o dimensionamento do reservatório de água de chuva no município de Caçador.

Determinar as médias pluviométricas diárias e mensais de Caçador utilizando a base de dados da Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.).

Calcular a demanda *per capita* de água de Caçador utilizando base de dados da concessionária local de água, Casan (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento).

Calcular a demanda *per capita* de água não potável considerando percentuais de substituição de água potável por água pluvial.

Simular situações de edificações residenciais para dimensionamento do reservatório de água de chuva, considerando a combinação das variáveis “área de captação de águas pluviais”, “quantidade de habitantes da residência” e “percentual de substituição de água potável por água pluvial”.

Simular por meio de planilha eletrônica, para cada uma das combinações das variáveis, o comportamento do volume de água do reservatório verificando qual sua real eficiência.

Comparar os resultados das simulações das planilhas eletrônicas de comportamento do volume de água dos reservatórios objetivando determinar qual o(s) melhor(es) método(s) para dimensionamento do reservatório em cada combinação.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 COLETA E APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA

A importância da água para o desenvolvimento e manutenção da vida em nosso planeta é inquestionável e este conceito remonta a tempos antigos. Segundo Branco (2003) os filósofos da antiga Grécia afirmavam que tudo provém da água e a ciência tem demonstrado que a vida se originou nesta e que ela constitui a matéria predominante em todos os seres vivos.

Neste sentido, a chuva como fonte de água para as necessidades humanas já foi, e continua sendo, utilizada por diferentes civilizações ao redor do mundo, existindo relatos desta prática datadas com mais de 2000 anos. Entretanto, no Brasil, esta prática tem ganhado destaque apenas nas últimas décadas, principalmente com a construção de cisternas na região do semi-árido nordestino (PHILIPPI et al., 2006).

Conforme explana Dacach (1990), dentre as fontes de água disponíveis na natureza, a água de chuva é a que possui menor teor de substâncias estranhas, em média 10 mg/l, teor este 3500 vezes menor que a água do mar e 100 vezes menor que uma água com possibilidades de ser considerada potável.

Segundo a visão de Rupp, Munarin e Ghisi (2011), é pacífico entre a comunidade científica que está se tornando preocupante o problema da depleção dos mananciais de água para o consumo humano, sendo urgente a viabilização de fontes alternativas, como por exemplo, o aproveitamento da água de chuva.

Sabendo que a situação dos mananciais de água para o consumo humano vem se tornando preocupante e que a utilização da chuva para fins não potáveis vem historicamente se demonstrando como solução interessante, cada vez mais residências utilizam esta fonte como forma de substituir parcialmente a demanda por água potável.

O aproveitamento da água de chuva é uma das formas alternativas mais simples e baratas para preservação da água potável (ANNECCHINI, 2005).

Um projeto de captação e utilização de água de chuva em telhados é constituído de vários componentes não obrigatórios (ANA, 2006 apud BEZERRA et al., 2010). De modo simples o sistema é formado por: área de captação da chuva, elementos de transporte constituídos por condutores horizontais e verticais, reservatório inferior ou cisterna, sistema de elevação, reservatório superior e tubulações de distribuição aos pontos de consumo.

Sendo consenso entre os autores pesquisados que o reservatório representa o item mais oneroso para a implantação do sistema, vê-se como fundamental o seu correto e cuidadoso dimensionamento.

Item de impacto direto no dimensionamento do reservatório é o volume de precipitação captada pelo telhado, entretanto nem toda água captada pelo telhado será armazenada para utilização. Além de possíveis perdas, há determinação da NBR 15527 (ABNT, 2007) para que todo sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva possua dispositivo para descarte da água de escoamento inicial. A norma ainda recomenda que o descarte seja de, no mínimo, 2 mm, salvo casos dimensionados e justificados pelo projetista.

Com a finalidade de contemplar as possíveis perdas e o volume de descarte inicial, comumente se utiliza o coeficiente de escoamento superficial.

### 3.1.1 Coeficiente de Escoamento Superficial

Também conhecido como coeficiente de Runoff (simbolizado por "C"), representa a relação entre o volume total do escoamento superficial e o volume total precipitado (ABNT, NBR 15527:2007).

Comumente este coeficiente não é determinado para cada caso projetado, sendo adotado valor de consenso já fundamentado por diversos trabalhos. Anecchini (2005), Bezerra et al. (2010), Ghisi, Bressan e Martini (2007), Ortiz et al. (2009) dentre diversos outros autores fundamentam e adotam o coeficiente de escoamento superficial com o valor de  $C=0,80$ . Além dos autores que fundamentam este valor, a própria NBR 15527 (ABNT, 2007) apesar de não fixar este coeficiente, quando em seu Anexo A discorre sobre o Método Prático Australiano, ao citar o coeficiente, refere-se ao valor de 0,80 como geralmente utilizado.



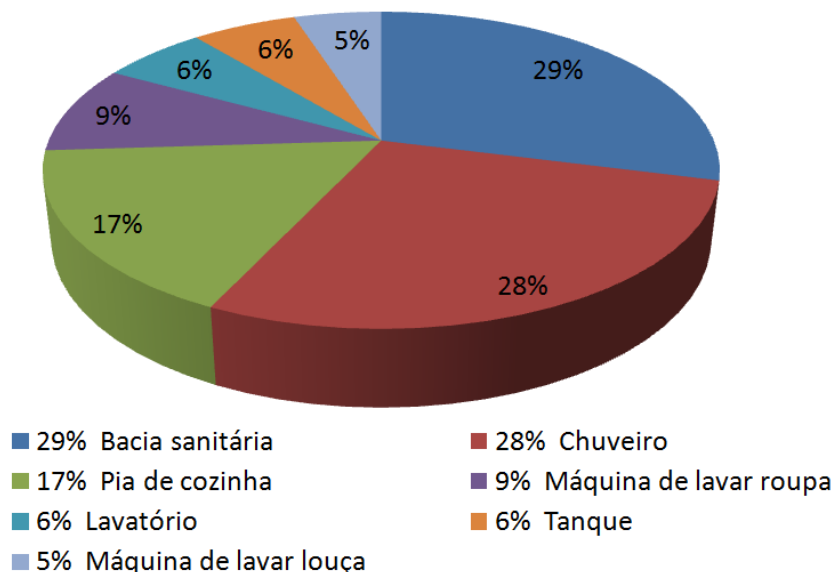
Deste modo, e considerando justificado, neste trabalho também será utilizado  $C=0,80$ .

### 3.2 SUBSTITUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL POR ÁGUA PLUVIAL

Conforme especificações na NBR 15527 (ABNT, 2007) a água de chuva se classifica como não potável por não atender as especificações da Portaria nº. 518 do Ministério da Saúde, entretanto pode ser utilizada em uma residência para fins não potáveis como: descargas de bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e pátios e espelhos d'água. Para o caso específico de lavagem de roupas a norma determina que a água deve receber tratamentos específicos que permitam a remoção de parasitas.

Assim, percebe-se que em uma residência há utilizações para água que devem ter sua potabilidade assegurada, tais como: higiene pessoal, bebida e preparo de alimentos. Para outras utilizações a água potável pode ser substituída por água de chuva (não potável), como é o caso de: descargas, lavação, limpeza e rega. Deste modo será necessário para a sequência deste estudo estabelecer quanto da água potável poderá ser substituída por água pluvial.

Estudos demonstram que os maiores responsáveis pelo consumo de água em residências são a bacia sanitária, o chuveiro e a lavagem de roupas, conforme demonstrado na Figura1.



**Figura 1 – Distribuição dos Consumos de Água nas Residências de São Paulo**  
**Fonte: Uso racional da água - USP, 1995 apud Anecchini, 2005.**

Para o estudo específico apresentado na Figura 1, observa-se que na cidade de São Paulo o potencial consumo de água pluvial em uma edificação residencial fica em torno de 29% do consumo total de água quando levado em conta apenas a bacia sanitária. Considerando outros usos como a utilização de água pluvial no tanque e para lavagem de roupas, este valor sobe para 44%. Salienta-se ainda que este potencial poderia ser ainda maior, pois neste estudo não foi considerada a utilização da água de chuva para fins como: lavagem de carros, limpeza de calçadas e rega de jardins (ANNECCHINI, 2005).

Ghisi, Bressan e Martini (2007) realizaram estudo sobre o potencial de economia de água potável através da captação e utilização de águas pluviais em 195 cidades do sudeste brasileiro e observaram casos em que a o potencial de economia de água potável variam ente 12% e 79%, chegando a conclusão que o potencial médio é de 41%.

Outras referências sobre o potencial de economia de água potável através da captação e utilização de águas pluviais são encontradas em Oliveira e Ghisi (2007 apud RUPP, MUNARIN e GHISI, 2011) que realizaram seus estudos em duas edificações residenciais localizadas no município de Palhoça/SC e constataram que os potenciais de economia são da ordem de 34,5%. Cita-se também o trabalho de Ghisi e Ferreira (2007 apud RUPP, MUNARIN e GHISI, 2011) que realizaram seus

estudos em três blocos de apartamentos e concluíram que o potencial de substituição de água potável por água pluvial para este caso é de 40,66%.

Conforme se observa nos trabalhos citados e também pode ser verificado em outros trabalhos da área, o potencial médio de substituição de água potável por água de chuva em edificações com fins residenciais é da ordem de 40%.

A fim de se estabelecer estes percentuais de substituição para a realização desta pesquisa, optou-se por tornar este valor variável dentro dos limites apresentados pelas referências citadas a fim de simular diferentes potenciais de substituição. Seguindo esta linha de raciocínio, ficam estabelecidos estes potenciais percentuais em: 30%, 40% e 50%.

### 3.3 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS CONFORME ANEXO A DA NBR 15527 (ABNT, 2007)

Projetar um reservatório para armazenar água de chuva para utilização em edificações residenciais exige a utilização de metodologias condizentes com as realidades locais e da edificação. Estes reservatórios não devem ser pequenos ao ponto de provocar desperdício de águas pluviais nem grande ao ponto de permanecer por um longo tempo ocioso (AMORIM; PEREIRA, 2008).

Para tanto, existem diversos métodos que se propõem a realizar deste dimensionamento. A NBR 15527 (ABNT, 2007) determina que para o dimensionamento do reservatório devem ser adotados critérios técnicos e econômicos, boas práticas de engenharia e, a critério do projetista, podem ser utilizados os métodos contidos em seu Anexo A ou outro desde que devidamente justificado.

Partindo do princípio de existência do bom senso da recomendação dos métodos sugeridos pelo Anexo A da NBR 15527 (ABNT, 2007), este trabalho se limita a análise comparativa dos seis métodos sugeridos pela referida norma, a saber: 1) Método de Rippl; 2) Método da simulação; 3) Método prático brasileiro; 4) Método prático alemão; 5) Método prático inglês; e 6) Método prático australiano.

A seguir é apresentada apenas breve descrição da modelagem matemática de cada um dos métodos, visto que estes métodos são amplamente conhecidos e

empregados pelo meio técnico. Para maiores detalhes pode ser consultada norma NBR 15527 (ABNT, 2007) ou a explanação detalhada já realizada por Amorim e Pereira (2008).

### 3.3.1 Método de Rippl

Neste método podem ser utilizadas as séries históricas mensais ou diárias. A norma NBR 15527 (ABNT, 2007) apresenta as seguintes equações:

$$S_{(t)} = D_{(t)} - Q_{(t)}$$

$$Q_{(t)} = C * i_{(t)} * A$$

$$V = \sum S_{(t)} \text{ para valores } S_{(t)} > 0$$

$$\text{Sendo que: } \sum D_{(t)} < \sum Q_{(t)}$$

Onde:  $S_{(t)}$  volume de água no reservatório no tempo t (litros);  
 $D_{(t)}$  demanda ou consumo no tempo t (litros);  
 $Q_{(t)}$  volume de chuva aproveitável no tempo t (litros);  
 $C$  coeficiente de escoamento superficial (adimensional);  
 $i$  precipitação da chuva (mm);  
 $A$  área de captação (m<sup>2</sup>);  
 $V$  volume do reservatório (litros).

### 3.3.2 Método da Simulação

Este método despreza a evaporação da água e para sua aplicação duas hipóteses devem ser consideradas: o reservatório está cheio e o reservatório está vazio no início da contagem do tempo. De acordo com a norma NBR 15527 (ABNT, 2007), aplicam-se as fórmulas:

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

$$Q_{(t)} = C * i_{(t)} * A$$

$$\text{Sendo que: } 0 \leq S_{(t)} \leq V$$

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

- $Q_{(t)}$  volume de chuva aproveitável no tempo t (litros);
- $D_{(t)}$  demanda ou consumo no tempo t (litros);
- C coeficiente de escoamento superficial (adimensional);
- i precipitação da chuva (mm);
- A área de captação ( $m^2$ );
- V volume do reservatório (litros).

### 3.3.3 Método Prático Brasileiro

Também conhecido como Método Azevedo Neto, conforme a norma NBR 15527 (ABNT, 2007) o volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,042 * P * A * T$$

- Onde:
- V volume de água aproveitável (litros);
  - P precipitação média anual (mm);
  - A área de coleta ( $m^2$ );
  - T número de meses de pouca chuva ou seca (adimensional).

### 3.3.4 Método Prático Alemão

Conforme determina a NBR 15527 (ABNT, 2007), este método empírico adota com volume do reservatório o menor entre os seguintes casos:

- 1º Caso: 6% da demanda anual por água não potável;
- 2º Caso: 6% do volume anual de precipitação aproveitável.

Assim tem-se:

$$V_{\text{adot}} = \text{mínimo de } \begin{cases} V * 0,06 \\ D * 0,06 \end{cases}$$

- Onde:
- $V_{\text{adot}}$  volume do reservatório (litros);
  - V volume anual aproveitável de água de chuva (litros);
  - D demanda anual de água não potável (litros).

### 3.3.5 Método Prático Inglês

Pelo método prático inglês apresentado pela NBR 15527 (ABNT, 2007), o volume de chuva precipitado é obtido através da aplicação da seguinte equação:

$$V = 0,05 * P * A$$

Onde: V volume do reservatório (litros);  
 P precipitação média anual (mm);  
 A área de captação (m<sup>2</sup>).

### 3.3.6 Método Prático Australiano

De acordo com a NBR 15527 (ABNT, 2007), o volume mensal de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$Q = A * C * (P - I)$$

Onde: Q volume mensal produzido pela chuva (litros);  
 A área de captação (m<sup>2</sup>);  
 C coeficiente de escoamento superficial (adimensional);  
 P precipitação média mensal (mm);  
 I interceptação da água que molha a superfície e perdas por evaporação, geralmente 2mm (mm).

O cálculo do reservatório é realizado por tentativas até que se obtenha valores otimizados de confiança, utilizando-se as equações a seguir:

Volume do reservatório:

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

Onde: V<sub>(t)</sub> volume de água no reservatório no fim do mês (litros);  
 V<sub>(t-1)</sub> volume de água no reservatório no início do mês (litros);  
 Q<sub>(t)</sub> volume mensal produzido pela chuva no mês t;  
 D<sub>(t)</sub> demanda mensal de água não potável (litros).

Nota: considera-se o reservatório vazio no início do primeiro mês.

Quando  $(V_{(t-1)} + Q_{(t)} - D_{(t)}) < 0$ , então  $V_{(t)} = 0$ .

Confiança:

$$P_r = N_r / N$$

Onde:  $P_r$  possibilidade de falha;

$N_r$  número de meses em que  $V_t = 0$ ;

$N$  número de meses considerados, geralmente 12.

Confiança =  $(1 - P_r)$

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

## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### 4.1 LOCAL DA PESQUISA

O estudo proposto será desenvolvido no município de Caçador, Estado de Santa Catarina, que está localizado no meio-oeste catarinense, integrando a microrregião do Contestado. Localiza-se na Bacia Hidrográfica do Rio do Peixe, mais precisamente no Alto Vale do Rio do Peixe. Sua localização geográfica é ilustrada pela Figura 2.



**Figura 2 – Localização Geográfica do Município de Caçador/SC**

Fonte: Wikipédia.

A sede do município está localizada na foz do Rio Caçador no Rio do Peixe e de acordo com o IBGE (2014), através da estimativa populacional de 2013, possui população de 74.726 habitantes.

O clima local é classificado como temperado subtropical úmido com verões quentes e úmidos predominando as máximas de temperatura e precipitação no mês de janeiro. Os invernos são frios e menos chuvosos que os verões ocorrendo alternância entre períodos secos e chuvosos.



## 4.2 TIPO DE PESQUISA

O trabalho proposto está localizado dentro da área de conhecimento das engenharias e possui como finalidade a realização de uma pesquisa aplicada.

Quanto ao seu objetivo, a pesquisa se classifica como exploratória, buscando determinar qual(is) o(s) melhor(es) método(s) apresentado(s) pela NBR 15527 (ABNT, 2007) para o dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva em edificações residenciais do município de Caçador.

Quanto aos procedimentos técnicos, o presente trabalho se enquadra como uma pesquisa experimental, pois busca através de simulações identificar a(s) metodologia(s) mais adequada(s) para o dimensionamento do reservatório de águas pluviais.

## 4.3 COLETA DE DADOS

Os dados necessários ao desenvolvimento da pesquisa são os índices pluviométricos de Caçador, o consumo *per capita* médio de água da cidade e percentuais de substituição de água potável por água pluvial em edificações residenciais.

Os índices pluviométricos de Caçador foram fornecidos pela Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.), em série histórica diária de precipitação com duração de 20 anos, compreendida entre os dias 19 de agosto de 1994 e 19 de agosto de 2014.

Para obter-se o consumo *per capita* médio se utilizou dados obtidos junto ao sistema de banco de dados operacionais da concessionária local de água, Casan (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento). Deste banco de dados foram extraídos, para o período de abrangência do ano de 2013, os valores micromedidos mensais e os dados populacionais mensais atendidos. Com estas informações se obteve valor médio de consumo *per capita* diário de água.

Os percentuais de substituição de água potável por água pluvial em edificações residenciais são alvo de estudos e determinados em alguns trabalhos de

pesquisas observacionais em diferentes cidades brasileiras. Para a determinação dos percentuais a serem utilizados na pesquisa proposta serão utilizados valores percentuais médios fundamentados em bibliografia existente e estudos anteriores.

#### 4.4 MODELAGEM ADOTADA

A proposta de modelagem adotada consiste em supor o dimensionamento do reservatório para captação e utilização de água pluvial em três residências fictícias localizadas no município de Caçador, considerando cada uma destas com área de captação de água pluvial distintas. Para cada uma destas residências ainda será suposto sua ocupação por quantidades diferentes de habitantes e considerado percentuais de substituição de água potável por água pluvial variando para cada um dos casos.

Assim teremos três variáveis que estarão limitadas a assumirem os seguintes valores (Tabela 1):

**Tabela 1 – Variáveis para Combinações dos Casos em Estudo**

<b>Variável</b>	<b>Valores assumidos</b>
Área de captação de águas pluviais (A)	100 m <sup>2</sup>
	200 m <sup>2</sup>
	300 m <sup>2</sup>
Quantidade de habitantes da residência (Hab)	2 habitantes
	4 habitantes
	6 habitantes
Percentual de substituição de água potável por água pluvial (P)	30%
	40%
	50%

Percebe-se que a primeira variável (A) é diretamente proporcional a quantidade de água pluvial que será possível de se captar e armazenar, enquanto que as outras duas variáveis (Hab e P) são diretamente proporcionais ao consumo da água não potável.

Pela combinação das variáveis apresentadas, o reservatório de água pluvial será dimensionado por cada um dos métodos apresentados pela NBR 15527 (ABNT, 2007), para 27 casos distintos, conforme observado na Tabela 2.

**Tabela 2 – Combinação dos Casos Considerados no Dimensionamento do Reservatório**

<b>Caso</b>	<b>Área de captação (A)</b>	<b>Quantidade de habitantes (Hab)</b>	<b>% substituição de água potável por pluvial (P)</b>	
Caso 01	100 m <sup>2</sup>	2 habitantes	30 %	
Caso 02			40 %	
Caso 03			50 %	
Caso 04		100 m <sup>2</sup>	4 habitantes	30 %
Caso 05				40 %
Caso 06				50 %
Caso 07			6 habitantes	30 %
Caso 08				40 %
Caso 09				50 %
Caso 10	200 m <sup>2</sup>	2 habitantes	30 %	
Caso 11			40 %	
Caso 12			50 %	
Caso 13		200 m <sup>2</sup>	4 habitantes	30 %
Caso 14				40 %
Caso 15				50 %
Caso 16			6 habitantes	30 %
Caso 17				40 %
Caso 18				50 %
Caso 19	300 m <sup>2</sup>	2 habitantes	30 %	
Caso 20			40 %	
Caso 21			50 %	
Caso 22		300 m <sup>2</sup>	4 habitantes	30 %
Caso 23				40 %
Caso 24				50 %
Caso 25			6 habitantes	30 %
Caso 16				40 %
Caso 27				50 %

#### 4.5 ANÁLISE DOS DADOS

Efetuando-se a multiplicação do percentual de substituição de água potável por água pluvial (P) pelo valor do consumo médio *per capita* específico do município

de Caçador, será possível determinar a demanda por água potável (D) para cada um dos casos apresentados na Tabela 2.

Utilizando os dados de pluviometria de Caçador, os dados de precipitação diária poderão ser convertidos em médias mensais de precipitação e empregados no dimensionamento do reservatório para armazenamento de água pluvial para cada um dos casos da Tabela 2, através da utilização dos seis métodos de dimensionamento referidos na NBR 15527 (ABNT, 2007).

Para cada um dos 27 casos combinados com os 6 métodos em estudo, será possível a obtenção de 162 valores para os volumes do reservatório. Valendo-se de planilhas eletrônicas, para cada um destes volumes obtidos, serão realizadas simulações do comportamento do reservatório para o período de 20 anos da série diária de precipitações.

Objetivando determinar o reservatório com menor custo que atenderá satisfatoriamente a demanda por água pluvial da edificação, será considerado, para cada caso, o melhor método de dimensionamento aquele que possuir o menor volume e atender a seguinte condição:

$V_{(t)} > 0$  em 90% do tempo da simulação, onde  $V_{(t)}$  representa o volume disponível no reservatório no tempo  $t$ .

Assim teremos que o reservatório com melhor viabilidade técnica e econômica de implantação será o reservatório que possuir o menor volume e atender a demanda por água potável da edificação em 90% do tempo. Deste modo, o reservatório de água pluvial poderá permanecer vazio por no máximo 10% do tempo, ou seja, 730 dias durante o período simulado de 20 anos (7300 dias).

Após este processo de simulação será possível visualizar qual o método de dimensionamento mais adequado para cada um dos 27 casos. Com isto será permitido determinar se há apenas um único método de dimensionamento do reservatório de água de chuva indicado pela NBR 15527 (ABNT, 2007) com melhor aplicabilidade para as situações de utilização de água pluvial para fins não potáveis no município de Caçador, ou se mais de um método se apresenta adequado ao correto dimensionamento do reservatório conforme as características de cada um dos casos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 PROCESSAMENTO DOS DADOS

#### 5.1.1 Determinação do consumo per capita médio de água para Caçador

Como já comentado anteriormente, utilizou-se a combinação de três variáveis para a composição dos 27 casos em estudo, sendo estas variáveis: área de captação de águas pluviais (A); quantidade de habitantes da residência (Hab); e percentual de substituição de água potável por água pluvial (P).

Sendo esta última uma função da demanda residencial total de água, é fundamental o conhecimento dos valores médios de consumo *per capita* para Caçador. Para se chegar a tal número com um grau de confiabilidade aceitável, utilizou-se os dados do sistema de banco de dados operacionais da concessionária local de água, Casan (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento).

Os dados utilizados foram a população abastecida e as estatísticas de medição através das informações dos volumes micromedidos para as economias residenciais, ambos para cada mês do ano de 2013. Estes dados estão disponíveis no Anexo A.

Com estes dados mensais é possível se determinar qual o consumo *per capita* médio de água em uma residência em Caçador, assim como calcular qual o valor *per capita* médio diário para um ano, conforme demonstrado a seguir pela Tabela 3:

Tabela 3 – Cálculo do Consumo de Água Per Capta Médio para Caçador

MÊS (ref.2013)	MICROMEDIDO (m <sup>3</sup> )	MICROMEDIDO (litros)	POPULAÇÃO (habitantes)	DIAS/MÊS (n° dias)	CONSUMO (l/hab*dia)
jan/13	200.562	200.562.000	58.630	31	110,35
fev/13	187.724	187.724.000	58.749	28	114,12
mar/13	173.700	173.700.000	58.793	31	95,30
abr/13	179.596	179.596.000	58.960	30	101,54
mai/13	180.582	180.582.000	59.047	31	98,65
jun/13	175.320	175.320.000	59.251	30	98,63
jul/13	170.882	170.882.000	59.437	31	92,74
ago/13	170.875	170.875.000	59.437	31	92,74
set/13	183.091	183.091.000	59.462	30	102,64
out/13	173.611	173.611.000	59.616	31	93,94
nov/13	189.788	189.788.000	59.639	30	106,08
dez/13	193.649	193.649.000	59.642	31	104,74
<b>Consumo per capta de água médio para Caçador (l/hab*dia) =</b>					<b>100,96</b>

Assim, conforme demonstrado pela Tabela 3, tem-se que o consumo *per capta* de água médio para Caçador é de 100,96 l/hab\*dia. Deste modo, a demanda por água não potável (D) será um percentual deste valor, percentuais estes já estabelecidos anteriormente como 30%, 40% e 50%.

### 5.1.2 Processamento das séries de precipitação

A série diária de dados de pluviometria para o município de Caçador foi obtida junto à Epagri (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.) e compreende uma série temporal de 20 anos, abrangendo o período de 19 de agosto de 1994 a 19 de agosto de 2014. Esta série diária de pluviometria se encontra disponível no Anexo B.

Na Tabela 4, apresentada a seguir, observa-se um resumo dos valores médios mensais de precipitação obtidos e utilizados nos cálculos:

Tabela 4 – Médias Mensais de Precipitação para Caçador

Mês	Precipitação Média Mensal (mm)
Janeiro	176,09
Fevereiro	152,51
Março	124,24
Abril	118,43
Maio	98,02
Junho	131,44
Julho	112,44
Agosto	108,09
Setembro	160,37
Outubro	208,76
Novembro	136,37
Dezembro	167,37
<b>Média Anual =</b>	<b>1.694,10</b>

## 5.2 DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS PELOS MÉTODOS DA NBR 15527:2007

### 5.2.1 Método de Rippl

Conforme prescreve a NBR 15527 (ABNT, 2007) para esta metodologia de cálculo, utilizou-se as médias diárias de volumes precipitados para o período e um ano.

Para a realização dos cálculos, teremos alguns parâmetros fixados, a saber: o intervalo de tempo entre os dados de precipitação ( $t=1$  dia); o coeficiente de escoamento superficial ( $C=0,80$  – adimensional); e a demanda total de água em Caçador ( $D=100,96$  l/(hab\*dia)).

As variáveis são: a área de captação ( $A$ ); a quantidade de habitantes da edificação ( $Hab$ ); e o percentual de substituição de água potável por água pluvial ( $P$ ). Estas variáveis assumirão os valores já estabelecidos na Tabela 2.

Realizando-se os cálculos com o auxílio de planilhas eletrônicas, obteve-se os seguintes volumes para o reservatório:

**Tabela 5 – Volumes para o Reservatório Obtidos Através do Método Rippl**

<b>Caso</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Habit.</b>	<b>P (%)</b>	<b>V (litros)</b>
Caso 01	100 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	155,16
Caso 02			40%	408,19
Caso 03			50%	817,80
Caso 04		4 habit.	30%	1.386,34
Caso 05			40%	3.188,01
Caso 06			50%	5.883,19
Caso 07			30%	4.408,71
Caso 08			40%	9.564,22
Caso 09			50%	16.971,70
Caso 10	200 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	96,35
Caso 11			40%	136,73
Caso 12			50%	192,47
Caso 13		4 habit.	30%	310,32
Caso 14			40%	816,39
Caso 15			50%	1.635,60
Caso 16			30%	1.172,56
Caso 17			40%	2.772,69
Caso 18			50%	5.309,05
Caso 19	300 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	83,95
Caso 20			40%	124,33
Caso 21			50%	164,71
Caso 22		4 habit.	30%	205,09
Caso 23			40%	327,64
Caso 24			50%	648,71
Caso 25			30%	465,48
Caso 16			40%	1.224,58
Caso 27			50%	2.453,39

### 5.2.2 Método da Simulação

Os valores fixados e as variáveis são os mesmos citados no Método Rippl. Entretanto uma grande diferença se faz: enquanto o Método Rippl procura determinar o volume do reservatório através dos cálculos, o Método da Simulação busca, como o próprio nome diz, simular o comportamento de um dado reservatório. Sendo assim, podemos entender que o volume do reservatório também será uma variável de entrada para a simulação e precisam ser determinados.

Como critério, estabeleceu-se que os volumes simulados seriam os disponíveis comercialmente. Assim, utilizou-se os seguintes volumes: 500 litros; 1000 litros; 1500 litros; 2000 litros; 3000 litros; 5000 litros; 7500 litros; e 10000 litros.



Como critério metodológico já estabelecido para a análise dos resultados, considera-se o melhor reservatório para cada caso, aquele que possuir o menor volume e não permanecer vazio por mais de 10% do tempo simulado.

A NBR 15527 (ABNT, 2007) estabelece que as simulações ainda devem considerar duas hipóteses: o reservatório está cheio no início do tempo e o reservatório está vazio no início do tempo.

Após as simulações forma dimensionados os seguintes volumes:

**Tabela 6 – Volumes para o Reservatório Obtidos Através do Método da Simulação**

<b>Caso</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Habit.</b>	<b>P (%)</b>	<b>V (litros)</b>	
Caso 01	100 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	500,00	
Caso 02			40%	500,00	
Caso 03			50%	500,00	
Caso 04		4 habit.	30%	500,00	
Caso 05			40%	500,00	
Caso 06			50%	500,00	
Caso 07			30%	500,00	
Caso 08			6 habit.	40%	1.000,00
Caso 09			50%	2.000,00	
Caso 10	200 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	500,00	
Caso 11			40%	500,00	
Caso 12			50%	500,00	
Caso 13		4 habit.	30%	500,00	
Caso 14			40%	500,00	
Caso 15			50%	500,00	
Caso 16			30%	500,00	
Caso 17			6 habit.	40%	500,00
Caso 18			50%	500,00	
Caso 19	300 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	500,00	
Caso 20			40%	500,00	
Caso 21			50%	500,00	
Caso 22		4 habit.	30%	500,00	
Caso 23			40%	500,00	
Caso 24			50%	500,00	
Caso 25			30%	500,00	
Caso 16			6 habit.	40%	500,00
Caso 27			50%	500,00	

### 5.2.3 Método Prático Brasileiro

O Método Prático Brasileiro, também conhecido como Método Azevedo Neto, leva em consideração apenas três grandezas para a determinação do volume

do reservatório: a precipitação média anual (P), a área para coleta da precipitação (A) e o número de meses de pouca chuva.

A área de coleta da precipitação (A) já está estabelecida de acordo com os 27 casos em estudo. A precipitação média anual (P) foi determinada com base na série histórica de pluviometria e está demonstrada na planilha do Anexo B, assumindo o valor numérico de 1694,10mm.

Quanto ao número de meses de pouca chuva (T), a NBR 15527 (ABNT, 2007) não estabelece critério nenhum para que se defina o que seria um mês de pouca chuva, assim como também não se encontrou referências sobre esta determinação na literatura pesquisada.

Para que se pudesse estabelecer algum critério para se determinar qual seria o número de meses de pouca chuva, observou-se os valores médios mensais de precipitação para a série histórica de 20 anos, conforme a Tabela 7 a seguir:

**Tabela 7 – Médias Mensais de Precipitação para Caçador**

Mês	P (mm)
jan	176,09
fev	152,51
mar	124,24
abr	118,43
mai	98,02
jun	131,44
jul	112,44
ago	108,09
set	160,37
out	208,76
nov	136,37
dez	167,37

Através dos valores demonstrados na Tabela 7 é possível se calcular o valor médio das médias mensais, que é de 141,17mm. Como o menor valor de precipitação média mensal é de 98,02mm, abaixo 30% do valor médio das médias mensais, observa-se para Caçador certa regularidade no regime de chuvas, permitindo-se estabelecer que o número de meses de pouca chuva é um (T=1).

Também se justifica a adoção deste valor pelo fato de valores de  $T > 1$  superdimensionarem o reservatório e para o caso de  $T = 0$  não retornar resultados válidos.

Assim, utilizando-se  $T = 1$ , tem-se os seguintes volumes calculados pelo Método Prático Brasileiro:

Tabela 8 – Volumes para o Reservatório Obtidos Através do Método Prático Brasileiro

Caso	A (m <sup>2</sup> )	Habit.	P (%)	V (litros)
Caso 01	100 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	7.115,20
Caso 02			40%	7.115,20
Caso 03			50%	7.115,20
Caso 04		4 habit.	30%	7.115,20
Caso 05			40%	7.115,20
Caso 06			50%	7.115,20
Caso 07			30%	7.115,20
Caso 08			40%	7.115,20
Caso 09			50%	7.115,20
Caso 10	200 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	14.230,40
Caso 11			40%	14.230,40
Caso 12			50%	14.230,40
Caso 13		4 habit.	30%	14.230,40
Caso 14			40%	14.230,40
Caso 15			50%	14.230,40
Caso 16			30%	14.230,40
Caso 17			40%	14.230,40
Caso 18			50%	14.230,40
Caso 19	300 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	21.345,60
Caso 20			40%	21.345,60
Caso 21			50%	21.345,60
Caso 22		4 habit.	30%	21.345,60
Caso 23			40%	21.345,60
Caso 24			50%	21.345,60
Caso 25			30%	21.345,60
Caso 16			40%	21.345,60
Caso 27			50%	21.345,60

#### 5.2.4 Método Prático Alemão

Este método é bastante simplificado e estabelece que o volume do reservatório é o menor valor de 6% do volume anual de precipitação aproveitável ou 6% da demanda anual por água não potável.

Desta maneira o reservatório será dimensionado sob a influência de apenas duas grandezas: a área disponível para captação da chuva e o consumo *per capita* de água para Caçador. Isto se deve ao fato do volume anual de precipitação aproveitável ser função da área disponível para captação e a demanda anual por água não potável ser função de percentual já estabelecido do consumo *per capita* de água para Caçador.

**Tabela 9 – Volumes para o Reservatório Obtidos Através do Método Prático Alemão**

<b>Caso</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Habit.</b>	<b>P (%)</b>	<b>V (litros)</b>
Caso 01	100 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	1.326,55
Caso 02			40%	1.768,74
Caso 03			50%	2.210,92
Caso 04		4 habit.	30%	2.653,11
Caso 05			40%	3.537,48
Caso 06			50%	4.421,85
Caso 07		6 habit.	30%	3.979,66
Caso 08			40%	5.306,22
Caso 09			50%	6.632,77
Caso 10	200 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	1.326,55
Caso 11			40%	1.768,74
Caso 12			50%	2.210,92
Caso 13		4 habit.	30%	2.653,11
Caso 14			40%	3.537,48
Caso 15			50%	4.421,85
Caso 16		6 habit.	30%	3.979,66
Caso 17			40%	5.306,22
Caso 18			50%	6.632,77
Caso 19	300 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	1.326,55
Caso 20			40%	1.768,74
Caso 21			50%	2.210,92
Caso 22		4 habit.	30%	2.653,11
Caso 23			40%	3.537,48
Caso 24			50%	4.421,85
Caso 25		6 habit.	30%	3.979,66
Caso 16			40%	5.306,22
Caso 27			50%	6.632,77

### 5.2.5 Método Prático Inglês

Este é o método mais simplificado de todos e estabelece que o volume do reservatório é 5% do valor médio possível de ser aproveitável.

Para se efetuar estes cálculos será utilizado: o valor médio anual de precipitação para Caçador, já calculado pelo Anexo B em 1694,10mm; e as áreas disponíveis para captação, estabelecidas em 100m<sup>2</sup>, 200m<sup>2</sup> e 300m<sup>2</sup>, conforme os casos em estudo.

Efetuando-se os dimensionamentos para os 27 casos, os valores obtidos para os reservatórios são:

**Tabela 10 – Volumes para o Reservatório Obtidos Através do Método Prático Inglês**

<b>Caso</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Habit.</b>	<b>P (%)</b>	<b>V (litros)</b>
Caso 01	100 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	8.470,48
Caso 02			40%	8.470,48
Caso 03			50%	8.470,48
Caso 04		4 habit.	30%	8.470,48
Caso 05			40%	8.470,48
Caso 06			50%	8.470,48
Caso 07			30%	8.470,48
Caso 08			40%	8.470,48
Caso 09			50%	8.470,48
Caso 10	200 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	16.940,95
Caso 11			40%	16.940,95
Caso 12			50%	16.940,95
Caso 13		4 habit.	30%	16.940,95
Caso 14			40%	16.940,95
Caso 15			50%	16.940,95
Caso 16			30%	16.940,95
Caso 17			40%	16.940,95
Caso 18			50%	16.940,95
Caso 19	300 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	25.411,43
Caso 20			40%	25.411,43
Caso 21			50%	25.411,43
Caso 22		4 habit.	30%	25.411,43
Caso 23			40%	25.411,43
Caso 24			50%	25.411,43
Caso 25			30%	25.411,43
Caso 16			40%	25.411,43
Caso 27			50%	25.411,43

### 5.2.6 Método Prático Australiano

Bastante similar ao Método da Simulação, o Método Prático Australiano utiliza os mesmos parâmetros de entrada e dimensiona o reservatório por tentativas. Entretanto dois pontos principais levam a resultados ligeiramente diferentes: o primeiro é que se considera apenas a hipótese do reservatório inicialmente vazio para o cálculo de cada tentativa e o segundo é que os 2mm iniciais de cada chuva são desprezados como interceptação.

Neste caso também é necessário o estabelecimento de volumes para o cálculo das tentativas. Deste modo, o critério é o mesmo de se utilizar os volumes comercialmente encontrados e usualmente utilizados para os reservatórios, sendo

estes: 500 litros; 1000 litros; 1500 litros; 2000 litros; 3000 litros; 5000 litros; 7500 litros; e 10000 litros. Na Tabela 11 estão os valores dimensionados:

**Tabela 11 – Volumes para o Reservatório Obtidos Através do Método Prático Australiano**

<b>Caso</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Habit.</b>	<b>P (%)</b>	<b>V (litros)</b>	
Caso 01	100 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	500,00	
Caso 02			40%	500,00	
Caso 03			50%	500,00	
Caso 04		4 habit.	30%	30%	500,00
Caso 05				40%	1.000,00
Caso 06				50%	5.000,00
Caso 07			6 habit.	30%	1.500,00
Caso 08				40%	> 100.000
Caso 09				50%	> 100.000
Caso 10	200 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	500,00	
Caso 11			40%	500,00	
Caso 12			50%	500,00	
Caso 13		4 habit.	30%	30%	500,00
Caso 14				40%	500,00
Caso 15				50%	500,00
Caso 16			6 habit.	30%	500,00
Caso 17				40%	1.000,00
Caso 18				50%	1.500,00
Caso 19	300 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	500,00	
Caso 20			40%	500,00	
Caso 21			50%	500,00	
Caso 22		4 habit.	30%	30%	500,00
Caso 23				40%	500,00
Caso 24				50%	500,00
Caso 25			6 habit.	30%	500,00
Caso 16				40%	500,00
Caso 27				50%	1.000,00

### 5.2.7 Resultados obtidos para os volumes dos reservatórios

Após os volumes dos reservatórios calculados para cada um dos 27 casos através de cada um dos seis métodos do Anexo A da NBR 15527 (ABNT, 2007), obteve-se os resultados apresentados na Tabela 12:

Tabela 12 – Volumes Dimensionados para o Reservatório em Cada um dos Casos e Métodos em Estudo

Caso	A (m <sup>2</sup> )	Habit.	P (%)	Rippl	Simulação	Brasileiro	Alemão	Inglês	Australiano	
Caso 01	100 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	155,16	500,00	7.115,20	1.326,55	8.470,48	500,00	
Caso 02			40%	408,19	500,00	7.115,20	1.768,74	8.470,48	500,00	
Caso 03			50%	817,80	500,00	7.115,20	2.210,92	8.470,48	500,00	
Caso 04		4 habit.	30%	1.386,34	500,00	7.115,20	2.653,11	8.470,48	500,00	
Caso 05			40%	3.188,01	500,00	7.115,20	3.537,48	8.470,48	1.000,00	
Caso 06			50%	5.883,19	500,00	7.115,20	4.421,85	8.470,48	5.000,00	
Caso 07			6 habit.	30%	4.408,71	500,00	7.115,20	3.979,66	8.470,48	1.500,00
Caso 08				40%	9.564,22	1.000,00	7.115,20	5.306,22	8.470,48	> 100.000,00
Caso 09				50%	16.971,70	2.000,00	7.115,20	6.632,77	8.470,48	> 100.000,00
Caso 10	200 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	96,35	500,00	14.230,40	1.326,55	16.940,95	500,00	
Caso 11			40%	136,73	500,00	14.230,40	1.768,74	16.940,95	500,00	
Caso 12			50%	192,47	500,00	14.230,40	2.210,92	16.940,95	500,00	
Caso 13		4 habit.	30%	310,32	500,00	14.230,40	2.653,11	16.940,95	500,00	
Caso 14			40%	816,39	500,00	14.230,40	3.537,48	16.940,95	500,00	
Caso 15			50%	1.635,60	500,00	14.230,40	4.421,85	16.940,95	500,00	
Caso 16			6 habit.	30%	1.172,56	500,00	14.230,40	3.979,66	16.940,95	500,00
Caso 17				40%	2.772,69	500,00	14.230,40	5.306,22	16.940,95	1.000,00
Caso 18				50%	5.309,05	500,00	14.230,40	6.632,77	16.940,95	1.500,00
Caso 19	300 m <sup>2</sup>	2 habit.	30%	83,95	500,00	21.345,60	1.326,55	25.411,43	500,00	
Caso 20			40%	124,33	500,00	21.345,60	1.768,74	25.411,43	500,00	
Caso 21			50%	164,71	500,00	21.345,60	2.210,92	25.411,43	500,00	
Caso 22		4 habit.	30%	205,09	500,00	21.345,60	2.653,11	25.411,43	500,00	
Caso 23			40%	327,64	500,00	21.345,60	3.537,48	25.411,43	500,00	
Caso 24			50%	648,71	500,00	21.345,60	4.421,85	25.411,43	500,00	
Caso 25			6 habit.	30%	465,48	500,00	21.345,60	3.979,66	25.411,43	500,00
Caso 16				40%	1.224,58	500,00	21.345,60	5.306,22	25.411,43	500,00
Caso 27				50%	2.453,39	500,00	21.345,60	6.632,77	25.411,43	1.000,00

### 5.3 SIMULAÇÃO DO COMPORTAMENTO DOS RESERVATÓRIOS

Após terem-se os volumes dos reservatórios calculados para os 27 casos hipotéticos através de cada um dos seis métodos do Anexo A da NBR 15527 (ABNT, 2007), necessita-se verificar, caso a caso, qual o método de cálculo mais apropriado.

Conforme já estabelecido anteriormente, para cada caso, o método considerado com melhor viabilidade técnica e econômica de implantação será aquele que possuir o reservatório de menor volume e que atender a demanda por água não potável da edificação em, no mínimo, 90% do tempo.

Para que se verifique qual o percentual de tempo que cada volume calculado atenderá as necessidades da edificação, conforme cada caso, utilizou-se planilha eletrônica para realizar simulações de comportamento do reservatório.

Buscando que as simulações sejam o mais próximo da realidade, o comportamento do reservatório foi simulado durante o período de 20 anos da série de dados disponível. Um modelo da planilha utilizada pode ser visualizado no Apêndice A.

Utilizando-se os volumes de precipitação da série de dados de 20 anos e valores fixados, como o coeficiente de escoamento superficial e a demanda per capita de água para Caçador, as variáveis área de captação, número e habitantes da residência e percentual de substituição de água potável por água de chuva foram estabelecidas conforme cada volume de reservatório a ser simulado para cada caso em estudo. Com estes dados, calculou-se o volume de chuva aproveitável, a demanda por água não potável e o volume disponível no reservatório para cada um dos 7300 dias simulados.

Os dados obtidos estão tabulados na Tabela 13, indicando em verde os percentuais em que os respectivos reservatórios simulados atendem a condição de permanecer por, no máximo, 10% do tempo vazios, ou seja, atendem a demanda da edificação por, no mínimo, 90% do tempo.

Em azul estão destacados os volumes dos reservatórios considerados com a melhor viabilidade técnica e econômica, sendo que estes possuem o menor volume que atende a demanda por água não potável da edificação em, no mínimo, 90% do tempo.



Tabela 13 – Resultados das Simulações de Comportamento dos Reservatórios

Caso	A (m <sup>2</sup> )	Habit.	P (%)	Rippl		Simulação		Prático Brasileiro		Prático Alemão		Prático Inglês		Prático Australiano	
				V (m <sup>3</sup> )	% seco	V (m <sup>3</sup> )	% seco	V (m <sup>3</sup> )	% seco	V (m <sup>3</sup> )	% seco	V (m <sup>3</sup> )	% seco	V (m <sup>3</sup> )	% seco
Caso 01			30%	155,16	40,8%	500,00	11,9%	7.115,20	0,2%	<b>1.326,55</b>	1,7%	8.470,48	0,2%	500,00	11,9%
Caso 02		2 habit.	40%	408,19	23,5%	500,00	19,5%	7.115,20	0,2%	<b>1.768,74</b>	2,3%	8.470,48	0,2%	500,00	19,5%
Caso 03			50%	817,80	15,2%	500,00	27,9%	7.115,20	0,3%	<b>2.210,92</b>	2,8%	8.470,48	0,3%	500,00	27,9%
Caso 04			30%	1.386,34	10,5%	500,00	31,5%	7.115,20	0,3%	<b>2.653,11</b>	3,4%	8.470,48	0,3%	500,00	31,5%
Caso 05	100 m <sup>2</sup>	4 habit.	40%	<b>3.188,01</b>	5,8%	500,00	40,3%	7.115,20	0,9%	3.537,48	4,9%	8.470,48	0,7%	1.000,00	25,1%
Caso 06			50%	5.883,19	3,9%	500,00	49,2%	7.115,20	2,6%	<b>4.421,85</b>	6,4%	8.470,48	1,6%	5.000,00	5,2%
Caso 07			30%	4.408,71	4,8%	500,00	47,0%	7.115,20	1,6%	<b>3.979,66</b>	5,6%	8.470,48	1,0%	1.500,00	20,4%
Caso 08		6 habit.	40%	9.564,22	2,8%	1.000,00	39,3%	7.115,20	5,0%	<b>5.306,22</b>	8,2%	8.470,48	3,6%	> 100.000	
Caso 09			50%	16.971,70	2,7%	2.000,00	33,9%	7.115,20	11,9%	6.632,77	12,9%	<b>8.470,48</b>	9,7%	> 100.000	
Caso 10			30%	96,35	49,0%	<b>500,00</b>	9,5%	14.230,40	0,2%	1.326,55	1,1%	16.940,95	0,2%	<b>500,00</b>	9,5%
Caso 11		2 habit.	40%	136,73	49,7%	500,00	16,0%	14.230,40	0,2%	<b>1.768,74</b>	1,3%	16.940,95	0,2%	500,00	16,0%
Caso 12			50%	192,47	49,8%	500,00	24,4%	14.230,40	0,2%	<b>2.210,92</b>	1,5%	16.940,95	0,2%	500,00	24,4%
Caso 13			30%	310,32	40,8%	500,00	26,9%	14.230,40	0,2%	<b>2.653,11</b>	1,7%	16.940,95	0,2%	500,00	26,9%
Caso 14	200 m <sup>2</sup>	4 habit.	40%	816,39	23,5%	500,00	35,0%	14.230,40	0,2%	<b>3.537,48</b>	2,3%	16.940,95	0,2%	500,00	35,0%
Caso 15			50%	1.635,60	15,2%	500,00	43,6%	14.230,40	0,3%	<b>4.421,85</b>	2,8%	16.940,95	0,3%	500,00	43,6%
Caso 16			30%	1.172,56	19,8%	500,00	42,1%	14.230,40	0,3%	<b>3.979,66</b>	2,6%	16.940,95	0,3%	500,00	42,1%
Caso 17		6 habit.	40%	2.772,69	10,5%	500,00	45,7%	14.230,40	0,3%	<b>5.306,22</b>	3,4%	16.940,95	0,3%	1.000,00	31,5%
Caso 18			50%	<b>5.309,05</b>	6,6%	500,00	55,9%	14.230,40	0,7%	6.632,77	4,6%	16.940,95	0,5%	1.500,00	31,2%
Caso 19			30%	83,95	48,3%	<b>500,00</b>	8,5%	21.345,60	0,2%	1.326,55	0,8%	25.411,43	0,2%	<b>500,00</b>	8,5%
Caso 20		2 habit.	40%	124,33	48,9%	500,00	14,4%	21.345,60	0,2%	<b>1.768,74</b>	0,9%	25.411,43	0,2%	500,00	14,4%
Caso 21			50%	164,71	49,4%	500,00	23,1%	21.345,60	0,2%	<b>2.210,92</b>	1,2%	25.411,43	0,2%	500,00	23,1%
Caso 22			30%	205,09	49,7%	500,00	25,1%	21.345,60	0,2%	<b>2.653,11</b>	1,3%	25.411,43	0,2%	500,00	25,1%
Caso 23	300 m <sup>2</sup>	4 habit.	40%	327,64	41,2%	500,00	32,9%	21.345,60	0,2%	<b>3.537,48</b>	1,5%	25.411,43	0,2%	500,00	32,9%
Caso 24			50%	648,71	33,7%	500,00	41,6%	21.345,60	0,2%	<b>4.421,85</b>	1,9%	25.411,43	0,2%	500,00	41,6%
Caso 25			30%	465,48	40,8%	500,00	40,2%	21.345,60	0,2%	<b>3.979,66</b>	1,7%	25.411,43	0,2%	500,00	40,2%
Caso 16		6 habit.	40%	1.224,58	23,5%	500,00	43,4%	21.345,60	0,2%	<b>5.306,22</b>	2,3%	25.411,43	0,2%	500,00	43,4%
Caso 27			50%	2.453,39	15,2%	500,00	53,7%	21.345,60	0,3%	<b>6.632,77</b>	2,8%	25.411,43	0,3%	1.000,00	36,0%

Percentuais em que o reservatório permanece vazio por, no máximo, 10% do tempo.

Volume mais apropriado para cada caso, ou seja, menor volume em que o reservatório permanece vazio por, no máximo, 10% do tempo.

Em observação à Tabela 13, pode-se verificar que dos métodos do Anexo A da NBR 15527 (ABNT, 2007) o que atende, na maioria dos casos, as condições estabelecidas para melhor viabilidade técnica e econômica no dimensionamento do reservatório é o Método Prático Alemão, sendo considerado o melhor resultado para 22 dos 27 casos em estudo. Em seguida temos o Método Rippl com a melhor viabilidade técnica e econômica em dois casos e os Métodos da Simulação e Prático Australiano, que ambos obtiveram o mesmo volume de reservatório para os Casos 10 e 19, sendo o mais viável para estes. Por fim, tem-se o Método Prático Inglês sendo o de maior viabilidade para apenas um caso e o Método Prático Brasileiro com nenhum caso. Um resumo destas informações é apresentado na Tabela 14.

**Tabela 14 – Quantidade de Casos Com Melhor Viabilidade Técnica e Econômica por Método**

<b>Método</b>	<b>Número de casos com melhor viabilidade técnica e econômica</b>	<b>Percentual do total de casos</b>
Rippl	02	7,4%
Simulação	02*	7,4%*
Prático Brasileiro	00	0,0%
Prático Alemão	22	81,5%
Prático Inglês	01	3,7%
Prático Australiano	02*	7,4%*

\* Os Métodos da Simulação e Prático Australiano obtiveram os mesmos resultados para os Casos 10 e 19, sendo que os resultados apresentados nesta tabela para estes dois métodos estão sobrepostos.

Além de o Método Prático Australiano atender as condições estabelecidas para melhor viabilidade técnica e econômica em 81,5% dos casos, observando analiticamente a Tabela 13, verifica-se que este método satisfaz a condição de atender a demanda da edificação por água potável em, no mínimo, 90% do tempo simulado em 26 dos 27 casos em estudo, não satisfazendo esta condição apenas para o Caso 09 onde o reservatório fica vazio em 12,9% do tempo (apenas 2,9% acima do limite estabelecido).

Ainda se observando Tabela 13, para os Casos 05, 10, 18 e 19, o Método Prático Australiano não foi o método determinado como possuindo a melhor viabilidade técnica e econômica, entretanto satisfaz a condição de atender a demanda da edificação por água não potável em pelo menos 90% do tempo. Entretanto os volumes o reservatório encontrados para estes referidos casos pelo Método Prático Australiano são volumes perfeitamente aceitáveis dentro do contexto

de viabilidade de implantação, não possuindo volumes exagerados que inviabilizariam a implantação dos sistemas.

Desta maneira, respondendo ao questionamento: “qual(is) se demonstra(m) mais apropriado(s) ao dimensionamento do reservatório para aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em edificações residenciais no município de Caçador?”, pode-se afirmar com segurança que se trata do Método Prático Australiano.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em estudo aos 6 (seis) métodos de dimensionamento do reservatório (cisterna) contidos no Anexo A da NBR 15527 (ABNT, 2007) a fim de se determinar qual possui melhor viabilidade técnica e econômica para o dimensionamento de reservatórios destinados ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em edificações residenciais no município de Caçador, foram obtidos os resultados já apresentados na Tabela 13 e Tabela 14.

Vistos estes resultados, identifica-se que um dos métodos se sobressai aos demais, sendo ele o Método Prático Australiano, que apresentou a melhor viabilidade técnica e econômica em 22 dos 27 casos hipotéticos em estudo, ou seja, este método se mostrou como mais adequado em 81,5% das situações analisadas.

Outros métodos também demonstraram viabilidade para alguns poucos casos, entretanto, mesmo para estes casos, os resultados obtidos através do Método Prático Australiano foram bem próximos do satisfatório e os volumes dimensionados por este não inviabilizariam a implantação do sistema, tanto relativo a quesitos técnicos quanto a quesitos econômicos.

Observando os resultados obtidos é possível concluir que, para a realidade de Caçador, o Método Prático Australiano demonstrou a maior viabilidade técnica e econômica para o dimensionamento do volume de reservatórios para o aproveitamento de água de chuva com fins não potáveis em edificações residenciais.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**: aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Rio de Janeiro, 2007.

ANNECCHINI, Karla Ponzo Vaccari. **Aproveitamento da Água da Chuva Para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES)**. 2005. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

AMORIM, Simar V.; PEREIRA, Daniel J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.8, n.2, p.53-66, 2008.

BEZERRA, Stella Maris da Cruz et al. Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e o Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.10, n.4, p.219-231, out./dez. 2010.

BRANCO, Samuel Murgel. **Água**: origem, uso e preservação. 2.ed. São Paulo: Moderna, 2003.

DACACH, Nelson Gandur. **Saneamento básico**. 3.ed. Rio de Janeiro: EDC-Ed. Didática e Científica, 1990.

GHISI, EneDIR; BRESSAN, Diego Lapolli; MARTINI, Maurício. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. **Building and Environment**, v.42, n.1, p.1654-1666, 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/233OA>>. Acesso em: 07 mar. 2014.

ORTIZ, Iván Andrés Sánchez et al. Potencial de economia de água potável por meio do uso de água pluvial no setor residencial de cidades médias do Estado de São Paulo. **ABES – 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Recife: 2009

PHILIPPI, Luís Sérgio et al. Aproveitamento da água da chuva. In: GONÇALVES, Ricardo Franci (Coord.). **Consumo de água**: uso racional da água em edificações Rio da Janeiro: ABES, 2006. 5 v. Cap 3, p. 73-152.

RUPP, Ricardo Forgiarini; MUNARIM, Ulisses; GHISI, Eneidir. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.11, n.4, p.47-64, out./dez. 2011.

SANTA CATARINA, MUNICÍPIO CAÇADOR. Wikipédia: a enciclopédia livre. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:SantaCatarina\\_Municip\\_Cacador.svg](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:SantaCatarina_Municip_Cacador.svg)>. Acesso em: 09 mar. 2014.

## APÊNDICES

APÊNDICE A – Modelo de planilha de simulação do comportamento do reservatório



## **ANEXOS**

ANEXO A – População atendida e volumes residenciais micromedidos, valores mensais para o ano de 2013 (Fonte: CASAN)

ANEXO B – Série diária de pluviometria para o município de Caçador e  
determinação dos valores médios mensais e diários (Fonte: Epagri)