

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

**Enio Gaspar Immich Junior**

**EFICÁCIA DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO  
DA ÁGUA DA CHUVA: EFEITO DO TAMANHO  
DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO**

Porto Alegre  
dezembro 2013

**ENIO GASPAR IMMICH JUNIOR**

**EFICÁCIA DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO  
DA ÁGUA DA CHUVA: EFEITO DO TAMANHO  
DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO**

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

**Orientador: Juan Martín Bravo**

Porto Alegre  
dezembro 2013

**ENIO GASPAR IMMICH JUNIOR**

**EFICÁCIA DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO  
DA ÁGUA DA CHUVA: EFEITO DO TAMANHO  
DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO**

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

Porto Alegre, 20 dezembro de 2013

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

Profa. Carin Maria Schmitt  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Profa. Rosane Barbosa Lopes Cavalcante (UFRGS)**  
Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS

**Prof. Felipe Krüger Leal (UFRGS)**  
Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFRGS

**Prof. Dieter Wartchow (UFRGS)**  
Doutor pela Stuttgart Universität

Dedico este trabalho à minha família, que sempre me apoiou e especialmente durante o período do meu Curso de Graduação esteve ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

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

Agradeço à Profa. Carin Maria Schmitt pela dedicação nas disciplinas de trabalho de conclusão e críticas construtivas para a elaboração deste trabalho.

É melhor lançar-se à luta, alcançar o triunfo,  
mesmo exposto ao insucesso,  
do que formar fila com os fracos, pobres de espírito,  
que nem sofrem muito, nem gozam muito,  
porque vivem nessa penumbra cinzenta  
que não conhece derrota, nem vitória.

*Franklin D. Roosevelt*

## RESUMO

A distribuição desigual dos recursos hídricos no Planeta, o crescimento populacional e a utilização desordenada, aliados ao mau gerenciamento desses recursos, evidenciam a necessidade de medidas de utilização de água de fontes alternativas, como a água da chuva. Os benefícios ambientais e econômicos da implantação desses sistemas, se bem divulgados, podem ser uma solução para a mudança desse cenário. Nesse contexto, esse trabalho visou desenvolver uma ferramenta prática de auxílio à estimativa de desempenho de sistemas de aproveitamento da água da chuva. Com esse objetivo, foi elaborado um modelo de cálculo, no programa *Microsoft Excel*, para avaliar o impacto causado na garantia de atendimento à demanda em função do tamanho da série histórica de dados pluviométricos de Porto Alegre. Os dados pluviométricos utilizados se referem ao período de 01/01/1961 a 31/12/2011 e foram obtidos da estação pluviométrica Porto Alegre – RS (OMM: 83967) operada pelo Inmet (Instituto Nacional de Meteorologia) no BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa). Para o modelo de cálculo, foram geradas diferentes séries hipotéticas a partir da série original, de maneira manual, com o auxílio do programa *Microsoft Excel*, com períodos de 5, 10, 20, 30, 40 e 48 anos, começando em cada ano do período. Os demais dados e variáveis utilizadas no modelo de cálculo foram: área de captação da água da chuva, de 500 m<sup>2</sup>, perdas na captação, igual a 10%, demanda de consumo, de 200, 500, 1.000 e 2.000 litros/dia e volume do reservatório, de 5.000, 10.000, 20.000 e 50.000 litros. Alterando as variáveis envolvidas, foram realizadas 4.224 diferentes simulações, em cada uma delas sendo obtido o valor da garantia de atendimento à demanda. Com esses dados foram elaboradas tabelas resumo e gráficos, os quais mostraram que a garantia de atendimento é influenciada pelo tamanho da série de precipitação: quanto mais curta a série, maior a incerteza em obter o verdadeiro valor da garantia. No estudo de caso analisado, considerando um volume de reservatório de 20.000 litros e uma demanda de 1.000 litros, e utilizando uma série com tamanho de 5 anos, a garantia pode ser subestimada em 8% ou superestimada em 5% se comparada à obtida com uma série de 48 anos. Quando utilizada uma série de 20 anos, a garantia pode ser subestimada ou superestimada em 2%. Com séries de tamanho maior ou igual a 30 anos, as diferenças no valor da garantia foram muito pequenas.

Palavras-chave: Recursos Hídricos. Aproveitamento da Água da Chuva. Séries de Precipitação.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa .....	19
Figura 2 – Sistema de aproveitamento da água da chuva .....	29
Figura 3 – Dimensões de uma cobertura de superfície inclinada com duas águas .....	39
Figura 4 – Calha com saída em aresta viva .....	42
Figura 5 – Calha com funil de saída .....	42
Figura 6 – Média mensal de chuva na cidade de Porto Alegre entre 1961 e 2011 .....	48
Figura 7 – Garantia de atendimento à demanda considerando séries temporais de tamanho 5 anos .....	56
Figura 8 – Garantia de atendimento à demanda considerando séries temporais de tamanho 10 anos .....	56
Figura 9 – Garantia de atendimento à demanda considerando séries temporais de tamanho 20 anos .....	57
Figura 10 – Garantia de atendimento à demanda considerando séries temporais de tamanho 30 anos .....	57
Figura 11 – Garantia de atendimento à demanda considerando séries temporais de tamanho 40 anos .....	58
Figura 12 – Garantia de atendimento à demanda considerando séries temporais de tamanho 48 anos .....	58
Figura 13 – Garantia de atendimento mínimo à demanda para diferentes tamanhos de séries temporais de precipitação para uma demanda de 1.000 litros .....	59
Figura 14 – Garantia de atendimento máximo à demanda para diferentes tamanhos de séries temporais de precipitação para uma demanda de 1.000 litros .....	60
Figura 15 – Garantia de atendimento à demanda para diferentes tamanhos e ano inicial das séries temporais considerando um reservatório com volume de 20.000 litros e uma demanda de 1.000 litros .....	61

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros de qualidade da água da chuva para usos de fins restritivos não potáveis .....	26
Quadro 2 – Modelo de cálculo para balanço hídrico .....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Produção hídrica do mundo por região .....	22
Tabela 2 – Disponibilidade hídrica no Brasil por regiões .....	23
Tabela 3 – Regiões do Brasil com áreas em km <sup>2</sup> e porcentagem da população .....	23
Tabela 4 – Coeficientes de rugosidade .....	40
Tabela 5 – Capacidade de calhas semicirculares .....	41
Tabela 6 – Coeficientes multiplicativos da vazão de projeto .....	41
Tabela 7 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular .....	43
Tabela 8 – Garantia de atendimento à demanda considerando séries temporais de chuva com tamanho de 5 anos .....	55

## **LISTA DE SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

Inmet – Instituto Nacional de Meteorologia

IPTU – Imposto Predial e Territorial Urbano

NBR – Norma Brasileira

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

## LISTA DE SÍMBOLOS

A – área de captação ( $m^2$ )

a – largura da água da cobertura (m)

h – altura da cobertura (m)

b – comprimento da cobertura (m)

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

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

I – intensidade da chuva (mm)

C – coeficiente de escoamento superficial da cobertura (adimensional)

n – eficiência do sistema de captação (adimensional)

p – perdas na captação (%)

Q – vazão de projeto (L/min)

D – demanda (L/dia)

$GA_D^V$  = garantia de atendimento à demanda (%)

N = tamanho da série temporal (dia)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	17
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	17
2.2 OBJETIVO DA PESQUISA .....	17
2.3 PREMISSA .....	17
2.4 DELIMITAÇÕES .....	17
2.5 LIMITAÇÕES .....	17
2.6 DELINEAMENTO .....	18
<b>3 ÁGUA: RECURSO FINITO</b> .....	20
3.1 HISTÓRICO, CENÁRIO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS .....	20
3.2 QUALIDADE DA ÁGUA .....	25
<b>4 APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA</b> .....	28
4.1 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO .....	29
4.1.1 Área de Captação .....	30
4.1.2 Calhas e Condutores .....	31
4.1.3 Reservatório .....	31
4.1.4 Distribuição .....	32
4.2 REGULAMENTAÇÕES E EXEMPLOS DE APLICAÇÃO .....	33
4.3 BENEFÍCIOS E PROBLEMAS DE IMPLEMENTAÇÃO .....	35
<b>5 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA</b> .....	38
5.1 ÁREA DE CAPTAÇÃO .....	38
5.2 CALHAS E CONDUTORES .....	40
5.3 RESERVATÓRIO .....	43
5.4 DISTRIBUIÇÃO .....	46
<b>6 METODOLOGIA</b> .....	47
6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS .....	47
6.2 ELABORAÇÃO DO MODELO DE CÁLCULO .....	50
6.3 PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO .....	52
<b>7 ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	53
<b>8 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	62

REFERÊNCIAS .....	64
APÊNDICE A .....	66
APÊNDICE B .....	69
APÊNDICE C .....	72
APÊNDICE D .....	75
APÊNDICE E .....	78
APÊNDICE F .....	81
APÊNDICE G .....	84



## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população das cidades e a urbanização acelerada vêm tornando cada vez mais sérios os problemas de escassez de água e de inundações. O mau gerenciamento dos recursos hídricos, a utilização desordenada e a distribuição desigual da água são agravantes dessa situação.

Segundo Cirilo (2007, p. 68), “[...] dados divulgados pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), entre os anos de 1950 e 2000, a disponibilidade de água, em milhares de metros cúbicos por habitante, [...] diminuiu de 105,0 para 28,2 na América Latina.”. Nos outros continentes a situação não é diferente.

Diante desse cenário desfavorável, alguns governos vêm investindo em iniciativas para promover o aproveitamento da água da chuva, como forma de buscar um equilíbrio entre a oferta e a procura. Em Porto Alegre, por exemplo, existe a Lei n. 10.506, de agosto de 2008, que foi regulamentada pelo Decreto n. 16.305, de maio de 2009, que fomenta o uso racional e o aproveitamento das águas, buscando reduzir gradativamente o impacto ambiental provocado pelo uso e esgotamento da água potável. Entre outras exigências, essa Lei estabelece que todas as edificações industriais ou comerciais com mais de 500 m<sup>2</sup> de área de cobertura devem apresentar um sistema de aproveitamento da água da chuva.

De acordo com o *Group Raindrops* (2002, p. 92), o armazenamento e aproveitamento dessa água da chuva se dão da seguinte forma:

- a) coleta da água da chuva que cai de coberturas;
- b) eliminação da chuva inicial;
- c) armazenamento da água da chuva em reservatórios;
- d) tratamento para melhora da qualidade da água da chuva;
- e) distribuição da água da chuva até os pontos de consumo de água não potável;
- f) drenagem do excesso de água em caso de chuvas intensas.

O aproveitamento da água da chuva destina-se, principalmente, a fins não potáveis, como por exemplo, para descargas de vasos sanitários, para lavagem de carros e calçadas e para irrigação do jardim, já que a poluição do ar, entre outros fatores, dificulta o aproveitamento

para fins potáveis. Isso não diminui sua importância, uma vez que, segundo o *Group Raindrops* (2002, p. 61), 22% do consumo total de água de uma família vêm da descarga dos vasos sanitários e, na maioria dos casos, ela pode ser totalmente fornecida pela água da chuva, o que reduziria consideravelmente a despesa com água potável. Além dos benefícios econômicos, a implantação desses sistemas ainda traz benefícios ambientais e à drenagem urbana, diminuindo a demanda por água potável e podendo contribuir na redução do pico de inundações, respectivamente.

No entanto, apesar dos benefícios evidentes, ainda há alguns entraves à utilização em grande escala desses sistemas, especialmente a dificuldade de adaptação das edificações, o alto custo inicial e a falta de informação não somente por parte da população em geral, mas dos próprios projetistas, em função da escassez de recomendações técnicas nas regulamentações existentes sobre sistemas de aproveitamento da água da chuva. Além disso, a garantia de atendimento à demanda estimada durante o projeto pode não ser alcançada, provocando receio nos usuários do sistema. Uma das principais fontes de incerteza na estimativa da garantia de atendimento é associada à representatividade da série de precipitação utilizada nas análises.

Nesse contexto, esse trabalho visou analisar o impacto do tamanho da série de precipitação no dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de águas da chuva, ou seja, o quanto a escassa disponibilidade de dados pluviométricos afeta a eficácia desses sistemas. Para isso, foram obtidos dados pluviométricos da cidade de Porto Alegre referentes ao período entre 1961 a 2011, a partir dos quais foram geradas diferentes séries hipotéticas, de maneira manual, com o auxílio do programa *Microsoft Excel*, com períodos de 5, 10, 20, 30, 40 e 48 anos, começando em cada ano do período com dados. Após a preparação das séries temporais de precipitação foi desenvolvido um modelo de cálculo para simulação do balanço hídrico de um reservatório de um sistema de aproveitamento da água da chuva. Através desse modelo é possível se obter, posteriormente, o valor da garantia de atendimento para uma determinada demanda, em porcentagem, no período analisado, em função dos demais dados inseridos no modelo: área de captação, perda na captação e volume do reservatório. Dessa forma, o trabalho abrange diversos cenários que podem auxiliar o projetista na tomada de decisões. No capítulo 2, são apresentadas as diretrizes adotadas para o desenvolvimento desse trabalho.

O capítulo 3 expõe a situação atual dos recursos hídricos no Planeta e as perspectivas preocupantes para o futuro, como forma de salientar a necessidade de medidas que

estabeleçam a garantia permanente de acesso à água em escala mundial como, por exemplo, a utilização da água de fontes alternativas, por meio da adoção de sistemas de aproveitamento da água da chuva. O capítulo também trata dos padrões de qualidade da água de acordo com as utilizações previstas.

No quarto capítulo, são apresentados os sistemas de aproveitamento da água da chuva e suas partes constituintes, além dos benefícios e entraves à sua utilização em grande escala. Ainda nesse capítulo, são abordados exemplos de legislação e de aplicação ao redor do mundo, assim como as regulamentações existentes a respeito.

O capítulo 5 expõe os métodos de cálculo para o dimensionamento de todas as partes constituintes de um sistema de aproveitamento da água da chuva, de acordo com as normas específicas: áreas de captação, calhas e condutores e reservatório de armazenamento. Após a exposição dos diferentes métodos de cálculo existentes para o dimensionamento de reservatórios de armazenamento da água da chuva, é detalhado o método mais eficiente, o da simulação, que foi o utilizado nesse trabalho.

No sexto capítulo, inicialmente são caracterizados os dados utilizados para elaboração do modelo de cálculo. Posteriormente, são apresentados os valores adotados nas restantes variáveis: área de captação, perdas na captação, demanda de consumo e volume do reservatório. Caracterizados os dados, é apresentado o modelo de cálculo elaborado para obtenção dos resultados desse trabalho.

O capítulo 7 apresenta a análise dos resultados obtidos a partir do modelo de cálculo desenvolvido. Por meio de planilhas resumo e gráficos é avaliado o efeito do tamanho das séries de precipitação na garantia de atendimento à demanda e, conseqüentemente, na eficácia de sistemas de aproveitamento da água da chuva.

Finalmente, no capítulo 8, são feitas as considerações finais a respeito da utilização da ferramenta desenvolvida.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

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

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa do trabalho é: qual o impacto do tamanho das séries temporais de precipitação na eficácia de sistemas de aproveitamento da água da chuva?

### **2.2 OBJETIVO DA PESQUISA**

O objetivo da pesquisa é a avaliação do impacto do tamanho das séries temporais de precipitação na garantia de atendimento de sistemas de aproveitamento da água da chuva.

### **2.3 PREMISSA**

O trabalho tem por premissa a preocupação com a escassez de água visando gerar uma economia deste bem através do seu uso racional.

### **2.4 DELIMITAÇÕES**

O trabalho delimita-se à cidade de Porto Alegre visto que a série pluviométrica a ser adotada refere-se a esse município.

### **2.5 LIMITAÇÕES**

São limitações do trabalho:

- a) a utilização de dados de precipitação pluviométrica de 51 anos (1961 à 2011) de Porto Alegre;
- b) a utilização de quatro demandas preestabelecidas para execução dos cálculos;
- c) o uso dos volumes de reservatórios em função das dimensões fornecidas pelos fabricantes;

d) a utilização do programa *Microsoft Excel* para apresentação dos resultados.

## 2.6 DELINEAMENTO

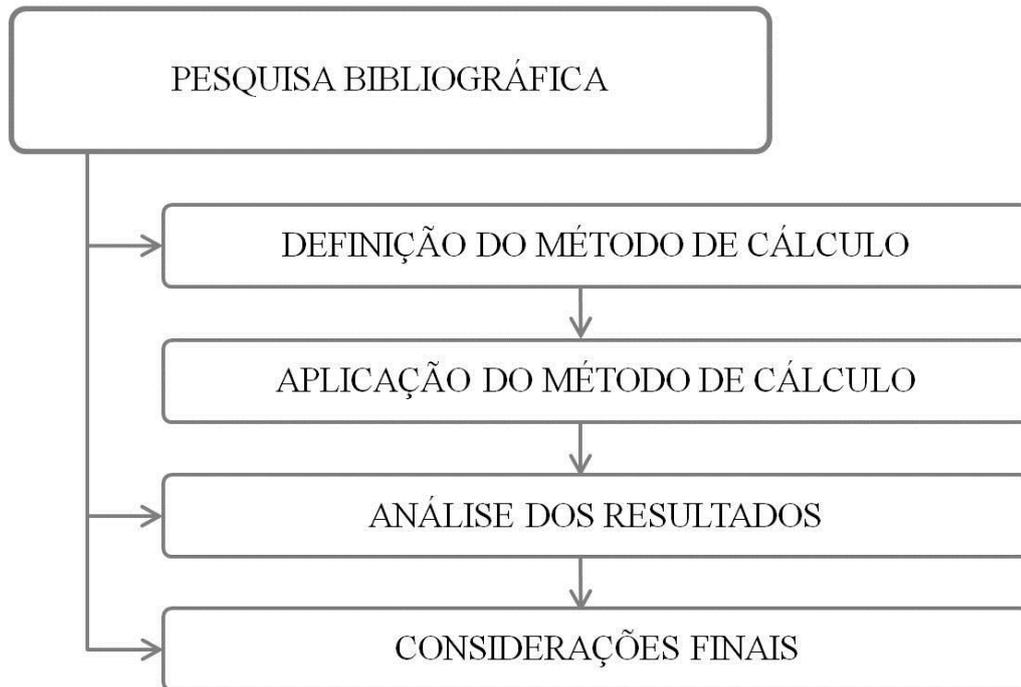
O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) definição do método de cálculo;
- c) aplicação do método de cálculo;
- d) análise dos resultados;
- e) considerações finais.

A **pesquisa bibliográfica** esteve presente em todas as etapas do trabalho. Inicialmente foram abordados temas como: a situação atual dos recursos hídricos e perspectivas futuras, a qualidade da água, sistemas de aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis, incluindo benefícios e dificuldades de implementação, exemplos de aplicação desses sistemas e legislação sobre o tema. Posteriormente, foi feito um estudo sobre os métodos de estimativa do volume de reserva, para auxiliar na definição do método de cálculo que foi utilizado e na determinação dos dados que foram levantados. Por fim, foram realizados estudos mais específicos, para que fosse possível analisar os resultados obtidos nos cálculos juntamente das informações já conhecidas sobre os sistemas de aproveitamento da água da chuva. Nessa etapa foram utilizados livros, pesquisas acadêmicas, legislação e demais materiais condizentes com o tema em estudo, tendo como objetivo a captação e a análise de dados que serviram de base para a elaboração do trabalho.

Na etapa de **definição da metodologia de cálculo** foram definidos os dados e as variáveis envolvidos no dimensionamento do reservatório, pelo método da simulação, de um sistema de aproveitamento da água da chuva para uma edificação localizada na cidade de Porto Alegre, considerando uma área de captação pré-determinada. A partir desses dados e variáveis, foi desenvolvido um modelo de cálculo, através de planilhas no programa *Microsoft Excel*, relacionando as diversas variáveis: dados pluviométricos das séries temporais de precipitação, volume do reservatório, demanda solicitada pela edificação e garantia de atendimento à demanda. Posteriormente, a metodologia de cálculo foi aplicada, utilizando-se diferentes valores para as variáveis.

Figura 1 – Diagrama das etapas da pesquisa



(fonte: elaborado pelo autor)

A **aplicação do método de cálculo** forneceu dados para a última etapa, de **análise dos resultados**, através de gráficos comparativos de garantia de atendimento *versus* volume de reservação, para diferentes séries de precipitação, que demonstram qual o impacto do tamanho das mesmas na eficácia de sistemas de aproveitamento da água da chuva. Esses gráficos podem alertar aos projetistas que tiverem ao seu dispor apenas séries pluviométricas curtas, durante o dimensionamento de reservatórios para o aproveitamento da água da chuva.

E, por último, foram feitas as **considerações finais** sobre os resultados obtidos com a realização deste trabalho.

### 3 ÁGUA: RECURSO FINITO

A situação atual dos recursos hídricos é bastante preocupante. Tendo em vista a dificuldade para uma correta gestão desses recursos, sua utilização crescente e desordenada e sua distribuição irregular no Planeta, sabe-se que medidas urgentes devem ser tomadas a fim de se evitar perdas, diminuir o consumo e possibilitar a utilização de água de fontes alternativas, como por exemplo, a água da chuva. Medidas como essas são fundamentais, tendo em vista a necessidade de se estabelecer um equilíbrio entre oferta e demanda da água, um recurso limitado.

Neste capítulo, são apresentados os fatores que levam à necessidade de implementação de sistemas de aproveitamento de água da chuva, baseados em dados do cenário atual e em perspectivas futuras. O capítulo também trata dos padrões de qualidade da água de acordo com as utilizações previstas.

#### 3.1 HISTÓRICO, CENÁRIO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS

A água é um bem de domínio público e essencial ao bem-estar social, ao desenvolvimento econômico e, sobretudo, à manutenção da vida. Segundo Heller e Pádua<sup>1</sup> (2006, p. 34-35 apud DORNELLES, 2012, p. 3):

A história da humanidade é fortemente influenciada pela sua demanda por água. Com o abandono do hábito nômade, de coleta e caça, surgiu a agricultura e o convívio em comunidades, e sendo este um estilo de vida mais sedentário, soluções para mais bem atender às novas necessidades (preparo de alimentos, limpeza, evacuação de dejetos e irrigação) tiveram de ser criadas, como captação, armazenamento e canalização, constituindo os primeiros sistemas de abastecimento coletivo.

Segundo Gonçalves et al. (2009, p. 21), “Questões como acesso a serviços de abastecimento de água fazem parte das necessidades básicas da população.”. Os autores destacam a preocupação com a disponibilidade de recursos hídricos, principalmente para as futuras gerações em função dos “[...] impactos decorrentes do contínuo uso desses recursos sem uma

---

<sup>1</sup> HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006.

gestão adequada que busque garantir aspectos de sustentabilidade e qualidade da água fornecida.”.

Nesse sentido, Franco (2007, p. 164) evidencia a existência de uma crise mundial da água:

Nunca, como no início deste novo século XXI, a humanidade esteve tão consciente da escassez de água potável e da degradação da qualidade do ambiente, em geral, e dos recursos hídricos, em particular. Uma parte significativa, mesmo que disso não tenha consciência, sente na pele as consequências dessa escassez. Uma de cada seis pessoas não tem acesso à água potável e duas em cada seis não tem acesso a saneamento. Morrem no mundo, em média por dia, 3.900 crianças por causa de doenças originadas na água.

Essa crise evidenciada por Franco (2007, p. 164) é motivada por três fatores:

- a) a distribuição desigual dos recursos hídricos no Planeta;
- b) o crescimento populacional e a utilização desordenada dos recursos hídricos;
- c) o mau gerenciamento dos recursos hídricos.

Ainda sobre os fatores que motivam a crise relacionada à água, Gonçalves et al. (2009, p. 22) salientam que:

[...] aumentam de maneira rápida as regiões e os países onde o desenvolvimento econômico, o crescimento populacional e o surgimento de enormes aglomerados urbanos exercem grande pressão sobre os recursos hídricos. Isso ocorre devido à ausência de estruturas e sistemas de gestão apropriados, aliados a padrões culturais incompatíveis. Assim, milhões de pessoas ficam sem o adequado acesso à água e intensificam os conflitos de uso, além de promoverem a degradação do recurso.

A disponibilidade de recursos hídricos no Planeta é apresentada da seguinte forma por Tomaz (2003, p. 19-20):

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

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

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

Além da pouca quantidade de água doce disponível, há uma distribuição desigual desse recurso no Planeta, o que torna algumas áreas mais suscetíveis a problemas de escassez, conforme a tabela 1, que mostra a disponibilidade hídrica terrestre, por região. Cunha (2007,

p. 16) entende que “[...] a escassez de água, naquilo que se relaciona com a oferta insuficiente pode estar ligada à redução de disponibilidades de água, em resultado da variabilidade do clima ou das alterações climáticas a médio ou longo prazo [...]”. Nesse contexto, Tomaz (2003, p. 20) salienta que “[...] nosso país é privilegiado, uma vez que em relação ao mundo, o Brasil tem 12% da disponibilidade hídrica de superfície.”.

Tabela 1 – Disponibilidade hídrica do mundo por região

Regiões do Mundo	Vazão Média (m <sup>3</sup> /s)	Porcentagem (%)
Ásia	458.000	31,6
América do Sul	334.000	23,1
América do Norte	260.000	18,0
África	145.000	10,0
Europa	102.000	7,0
Antártida	73.000	5,0
Oceania	65.000	4,5
Austrália e Tasmânia	11.000	0,8
Total	1.448.000	100,0

(fonte: TOMAZ, 2003, p. 20)

No entanto, a distribuição desigual da água também é uma realidade brasileira, segundo Gonçalves et al. (2009, p. 22):

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

Essa distribuição não uniforme pode ser confirmada através da tabela 2, na qual é apresentada a disponibilidade hídrica no Brasil, por regiões, e da tabela 3, que apresenta as características dessas regiões (área e porcentagem da população). Relacionando essas tabelas, pode-se observar que na região Norte está concentrado 68,5% da água de todo o País, apesar da população corresponder a apenas 7,4% da população total. Na região Sudeste, por sua vez, está a maior parte da população (42,6%), enquanto que a disponibilidade hídrica corresponde a apenas 6% do total. Segundo Tomaz (2003, p. 22), “[...] a região Sudeste possui maior

população e o problema é acentuado pela poluição dos rios, em consequência da atividade industrial, utilização dos insumos agrícolas, poluentes e despejos urbanos.”.

Tabela 2 – Disponibilidade hídrica no Brasil por regiões

Regiões do Brasil	Vazão Média (km <sup>3</sup> /ano)	Porcentagem (%)
Norte	3845,5	68,5
Nordeste	186,2	3,3
Sudeste	334,2	6,0
Sul	365,4	6,5
Centro-Oeste	878,7	15,7
Total	5.610	100,0

(fonte: TOMAZ, 2003, p. 21)

Tabela 3 – Regiões do Brasil com áreas em km<sup>2</sup> e porcentagem da população

Regiões do Brasil	Vazão Média (km <sup>3</sup> /ano)	Porcentagem da população (%)
Norte	3.869.637	7,4
Nordeste	1.561.177	28,2
Sudeste	927.286	42,6
Sul	577.214	14,9
Centro-Oeste	1.612.077	6,9
Total	8.547.403	100,0

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

O crescimento populacional e a utilização desordenada dos recursos hídricos, associados ao mau gerenciamento desses recursos, também são fatores que contribuem para a complexidade crescente dos problemas relacionados à água. Segundo Cirilo (2007, p. 68):

Ao longo da história da humanidade, a utilização desordenada e o mau gerenciamento de recursos hídricos vêm gerando problemas de tal ordem que, no presente, a oferta de água em quantidade e qualidade satisfatória atinge, de forma global, um patamar social e ambientalmente inseguro.

Franco (2007, p. 164) relaciona o crescimento populacional do último século com o aumento do consumo de água e faz estimativas para o futuro. Segundo o autor, “[...] no século XX, ao

passo que a população triplicou, o consumo de água cresceu seis vezes. Estima-se que a população poderá vir a crescer 40 a 50% nos próximos 50 anos [...].”

Cunha (2007, p. 13) também afirma que o aumento do consumo de água tem sido superior ao crescimento populacional desde 1950, quando “[...] a utilização de água a nível global aumentou três vezes mais do que a população.”. Ele ainda afirma que, mantendo essa tendência, e a população crescer de 6 bilhões de pessoas, em 2000, para 9 bilhões, em 2050, haverá um aumento de 5.500 km<sup>3</sup>/ano para 25.000 km<sup>3</sup>/ano no consumo, o que é aparentemente inviável de se manter.

Cirilo (2007, p. 68), revela outros dados preocupantes, divulgados pela Unesco:

[...] entre os anos de 1950 e 2000, a disponibilidade de água em milhares de metros cúbicos por habitante, por região, diminuiu de 20,6 para 5,1 na África; de 9,6 para 3,3 na Ásia; de 105,0 para 28,2 na América Latina; de 5,9 para 4,1 na Europa; e de 37,2 para 17,5 na América do Norte.

Nesse contexto, a previsão é de um futuro de muitos desafios. Tomaz (2003, p. 22) alerta que “É previsto para o século XXI, a falta de água para 1/3 da população mundial.”. Cunha (2007, p. 16) apresenta dados e informações ainda mais preocupantes:

Prevê-se que dentro de poucas décadas, a escassez de água possa afetar dois terços da humanidade. Para além dos fatores condicionantes desta escassez, anteriormente referidos, tem vindo a ser assinalado recentemente que também o desenvolvimento dos biocombustíveis resultará em aumentos de consumo de água (e da utilização do solo agrícola), competindo com a produção de alimentos. Esta é, aliás, uma das formas de interdependência entre as políticas hídrica e energética e só uma adequada governança da água e uma boa gestão da sua procura poderão contrariar, em alguma medida, dificuldades deste tipo.

Diante dessas previsões, pode-se ver a importância de se “[...] definir linhas de ação que norteiam o gerenciamento dos recursos hídricos de uma maneira equitativa, sustentável e ética.” (CIRILO, 2007, p. 68). Segundo Franco (2007, p. 165), “[...] face à complexidade crescente dos problemas da água, só uma mudança radical do atual paradigma de desenvolvimento, baseado na sociedade de consumo e desperdício, poderá conduzir à sustentabilidade dos recursos hídricos [...]”.

Gonçalves et al. (2009, p. 22, grifo dos autores) ressaltam que:

A sustentabilidade da água está colocada em pauta de discussão mundial como um grande desafio da atualidade e que deve se agravar nas próximas décadas. No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei 9.433/97, estabelece

entre seus objetivos **assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.**

Assim, fica evidente a necessidade de medidas que estabeleçam a garantia permanente de acesso à água em escala mundial. Uma delas é a utilização da água de fontes alternativas, através da adoção de sistemas de aproveitamento da água da chuva. Segundo Tomaz (2003, p. 23), “Teremos, no futuro, um sistema dual de distribuição de água fria, sendo um para água potável e outro para água não potável. O sistema de distribuição de água não potável será destinado principalmente a descargas de bacias sanitárias.”. Nesse caso, a água não potável seria proveniente de sistemas de captação e aproveitamento da água da chuva ou de outros sistemas alternativos, como por exemplo, reuso de águas cinzas.

### 3.2 QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água é definida, por Cheung et al. (2009, p. 47), como “[...] um conjunto de atributos de natureza física, química, biológica e sensorial. Esses atributos podem ser expressos quantitativamente, qualitativamente ou descritos por outras formas.”. Ainda segundo esses autores, “A qualidade da água pode ser descrita ou estabelecida por lei, portarias, resoluções, normas ou por consenso tecnicamente estabelecido.”. De acordo com o *Group Raindrops* (2002, p. 28), “A água é classificada geralmente em três categorias: potável, não potável (água da chuva, águas cinzas, etc.) e poluída (esgoto).”.

Tratando-se de água da chuva, a NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 4) estabelece que “Os padrões de qualidade devem ser definidos pelo projetista de acordo com a utilização prevista.”. Para usos não potáveis, devem ser utilizados os parâmetros definidos no quadro 1. No entanto, nota-se que a Norma não menciona em que ponto de todo o sistema de aproveitamento da água da chuva, os valores devem ser atendidos. Segundo Dornelles (2012, p. 34):

A análise da qualidade da água em um sistema de aproveitamento de água de chuva deve ser avaliada em ao menos 4 pontos: na água da chuva antes de incidir no telhado de cobertura, na água que está chegando no reservatório de armazenamento após pré-tratamento, na água armazenada para o consumo e na água no ponto de consumo.

Quadro 1 - Parâmetros de qualidade da água da chuva para usos restritivos não potáveis

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre*	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT**, para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH***
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado
NOTA Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.		
* No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção. ** uT é a unidade de turbidez. *** uH é a unidade Hazen.		

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

A alteração das características qualitativas da água, descrita por Dornelles (2012, p. 34), se deve a diversos fatores, especialmente à sujeira e contaminação do telhado. Segundo Tomaz (2003, p. 40), “Exemplos de contaminantes são: fezes de passarinhos, pombas, fezes de ratos e outros animais, bem como poeiras, folhas de árvores, revestimento do telhado, fibrocimento, tintas, etc.”.

O *Group Raindrops* (2002, p. 104) afirma que:

Folhas, sujeiras ou areia que se depositam ao redor de um dreno de telhado ou em calhas, não chegam a poluir a água da chuva, mas sujam-na. Além disso, prejudicam o escoamento, que pode causar vazamentos indevidos. A limpeza frequente não é uma prática comum para telhados de casas ou parte superior de prédios. Então, é necessário prevenir o entupimento com obstáculos, impedindo a entrada de sujeiras nas calhas.

Além da sujeira e de contaminantes, as condições locais e atmosféricas também influenciam na qualidade da água. Alves et al. (2009, p. 251) citam como fatores determinantes:

[...] a incidência de raios solares sobre as coberturas, os materiais de construção nela utilizados, a localização geográfica do local e captação (proximidade do oceano, áreas urbanas ou rurais), as condições meteorológicas (intensidade, duração e tipo de chuva, regime de ventos), a estação do ano (duração de períodos chuvosos ou secos) e o nível de poluição atmosférica.

Dessa maneira, é aconselhável o uso de telas, filtros, sistemas de desinfecção e equipamentos de descarte das primeiras águas da chuva. O *Group Raindrops* (2002, p. 47, grifo do autor) afirma que "A água da chuva que cai no início de uma tempestade se chama **chuva inicial**, e é bastante suja. Então, se a chuva inicial for eliminada e o resto da chuva for coletado pelo processo de sedimentação, sua qualidade pode aproximar-se da água encanada." Como regra prática, Thomas et al.<sup>2</sup> (2001 apud TOMAZ, 2003, p. 41) aconselham que os primeiros 1 a 2 milímetros de chuva devam ser rejeitados pois apresentam uma grande quantidade de bactérias.

Mesmo utilizando esses equipamentos, a água que ingressa nos reservatórios de armazenamento é recomendada apenas para fins não potáveis, que, segundo Alves et al. (2009, p. 222-223), "[...] diz respeito a uma gama de usos que demandam águas que não requerem atendimento dos padrões de potabilidade." Um tratamento eficiente e seguro para torná-la potável é inviável economicamente.

Alves et al. (2009, p. 251) reforçam essa conclusão:

O método de desinfecção para o tratamento de águas de chuva para fins não potáveis poderá ser simples e de baixo custo, porém eficiente, garantindo a eliminação dos microrganismos patogênicos e a viabilidade do aproveitamento. Porém, se o uso for para fins potáveis recomenda-se a utilização de sistemas de filtração eficientes na remoção de partículas, sendo esta eficiência determinada através do padrão de turbidez da água, [...], garantindo a remoção de formas de resistências de microrganismos (endósporos, cistos e oocistos) e também o uso de processos de desinfecção adequados para inativação e microrganismos patogênicos.

Mesmo no Japão, onde o aproveitamento da água da chuva é promovido e mais amplamente estudado e divulgado, o uso da água da chuva é utilizado principalmente para fins não potáveis, como destaca o *Group Raindrops* (2002, p. 28):

A água da chuva deve ser purificada e a sua qualidade deve exceder o padrão através da lei para ser considerada potável. Porém, são necessários muitos equipamentos para que ocorra essa transformação. Quanto maior o volume de água, mais equipamentos são necessários. Mesmo com empréstimos públicos disponíveis, pois os governos nacionais e locais encorajam o aproveitamento da água da chuva, os tipos de projetos e a quantia de empréstimos são limitados. Então, o aproveitamento da água da chuva destina-se principalmente para descargas, para regar plantas e para lavar automóveis, pois essas atividades não exigem tanta qualidade da água.

---

<sup>2</sup> Trabalho de THOMAS, T. et al. divulgado em Rainwater International Systems, em Manheim, na Alemanha, de 10 a 14 de setembro de 2001, sob o título: Bacteriological quality of water in DRWH – Rural Development.

## 4 APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA

O uso da água da chuva como forma de preservação dos recursos hídricos e atendimento à demanda não é recente. De acordo com Dornelles (2012, p. 4):

O aproveitamento da água da chuva é uma técnica para suprir a demanda de água das atividades humanas conhecida há milênios. A data em que esta técnica surgiu não é conhecida com exatidão; existem registros que evidenciam a existência de estruturas para armazenamento de água de chuva anteriores a 3.000 a.C., sendo encontradas em diversos locais, incluindo o deserto de Negev em Israel, Índia, Grécia, Itália, Egito, Turquia e México.

Tomaz (2003, p. 25) cita um caso bastante antigo de aproveitamento de água da chuva:

Uma das inscrições mais antigas do mundo é a conhecida Pedra Moabita, encontrada no Oriente Médio, datada de 850 a.C. Nela, o rei Mesha dos Moabitas sugere que seja feito um reservatório em cada casa para aproveitamento da água de chuva.

No entanto, apesar da técnica ser antiga, sua utilização ainda é bastante pontual, destacando-se em países mais desenvolvidos, nos quais há mais informações a respeito, conforme salienta Tomaz (2003, p. 23):

Países industrializados, como o Japão e a Alemanha, estão seriamente empenhados no aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis.

Outros países, como os Estados Unidos, Austrália e Singapura, também estão desenvolvendo pesquisas na área do aproveitamento de água de chuva.

O Brasil caminha nessa direção, pois detectou a necessidade de mudanças, conforme explicam Alves et al. (2009, p. 251):

O crescimento da prática do aproveitamento em edifícios urbanos é crescente em todo o Brasil. A emergência sem par dos problemas ambientais e as possibilidades de redução de custos, aliados à relativa facilidade do aproveitamento, constituem as bases dessa expansão.

Neste capítulo, são apresentados os sistemas de aproveitamento da água da chuva e suas partes constituintes, além das regulamentações a respeito, tanto no âmbito Federal quanto no âmbito Municipal. Também apresenta-se exemplos de legislação e de aplicação em diversos

locais ao redor do mundo. Por último, aborda-se os benefícios e os entraves à implementação em massa desses sistemas de aproveitamento de águas de fontes alternativas.

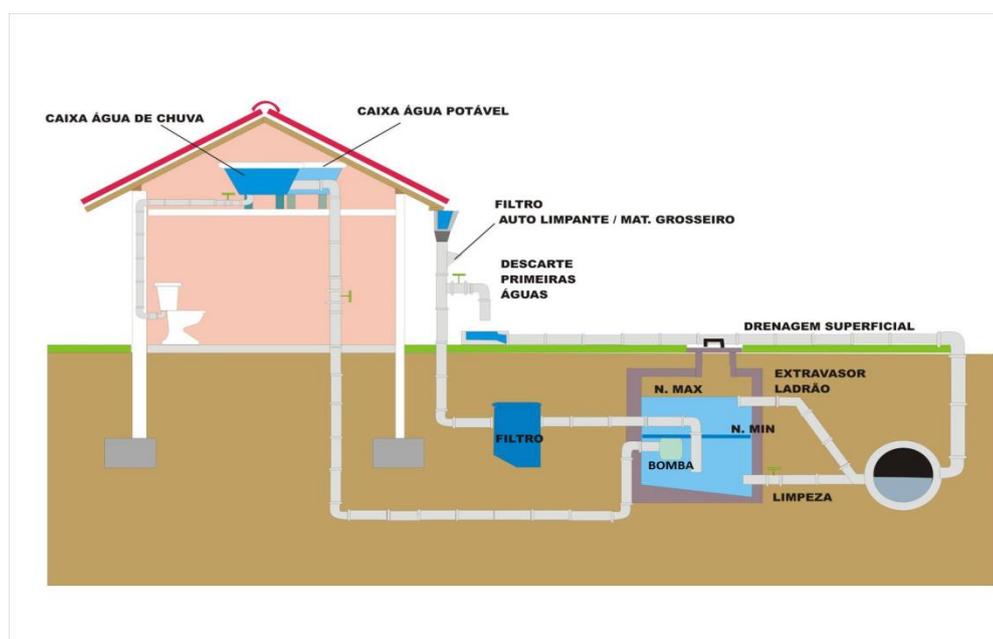
#### 4.1 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO

Os sistemas de aproveitamento da água da chuva podem ser divididos em quatro itens:

- a) superfície de captação da água da chuva;
- b) sistema de condução das águas;
- c) reservatório para armazenamento;
- d) sistema de distribuição aos pontos de utilização de água não potável.

A figura 2 mostra um sistema de aproveitamento da água da chuva em uma residência de zona urbana, em que existe abastecimento de água. Nela estão representados os quatro itens que constituem o sistema. A superfície de captação é representada pelo telhado, o sistema de condução das águas é constituído por calhas e tubulações e o reservatório armazena a água da chuva captada do telhado, antes de ser conduzida até os pontos de consumo não potáveis, como por exemplo, o vaso sanitário, através do sistema de distribuição. Constituem esse sistema, também, mecanismos para tratamento da água antes de chegar ao reservatório, como filtros e equipamentos para descarte das primeiras águas.

Figura 2 – Sistema de aproveitamento da água da chuva



(fonte: adaptado de OFICINA DE TEXTOS, 2013)

O *Group Raindrops* (2002, p. 92) explica mais detalhadamente:

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

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

O *Group Raindrops* (2002, p. 130) ressalta a necessidade do uso de dispositivos que assegurem um volume mínimo de água no reservatório:

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

Os itens que compõem os sistemas de aproveitamento da água da chuva estão apresentados a seguir.

#### **4.1.1 Área de Captação**

A NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 2) define a área de captação como “Área, em metros quadrados, projetada na horizontal da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada.”. Sobre as áreas de coleta, o *Group Raindrops* (2002, p. 94) cita que “Nas casas, a coleta da água da chuva é feita normalmente dos telhados, qualquer que seja o tipo de sua estrutura; isto é fácil de pôr em prática.”. No entanto, essa captação também pode ser feita de pisos permeáveis. Nesse caso, deve-se ter maior cuidado com a contaminação da água.

### 4.1.2 Calhas e Condutores

Calhas e condutores têm a função de conduzir a água da área de captação até o reservatório de armazenamento. Essas tubulações podem ser verticais ou horizontais. Conforme a NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 2) as calhas e condutores horizontais e verticais:

- a) devem atender à NBR 10.844<sup>3</sup>;
- b) devem ser observados o período de retorno escolhido, a vazão de projeto e a intensidade pluviométrica;
- c) devem ser instalados dispositivos para remoção de detritos. Estes dispositivos podem ser, por exemplo, grades e telas que atendam à NBR 12.213<sup>4</sup>;
- d) pode ser instalado no sistema de aproveitamento de água de chuva um dispositivo para o descarte da água de escoamento inicial. É recomendado que tal dispositivo seja automático;
- e) quando utilizado, o dispositivo de descarte de água deve ser dimensionado pelo projetista. Na falta de dados, recomenda-se o descarte de 2 mm da precipitação inicial.

### 4.1.3 Reservatório

Segundo Dornelles (2012, p. 26), “O armazenamento de água de chuva, de modo geral, requer volumes superiores aos necessários para o armazenamento de água potável fornecida pela rede de abastecimento, devido à disponibilidade de chuva que é mal distribuída no tempo.”.

Quanto ao material desses reservatórios, o *Group Raindrops* (2002, p. 269) entende que qualquer recipiente pode ser utilizado como um tanque para armazenamento da água da chuva desde que se garanta “A eficiência da reservação sem que ocorra a contaminação da água por agentes externos ou pelo próprio material pelo qual é confeccionado o equipamento.”. O *Group Raindrops* (2002, p. 110) completa explicando que é necessário que esse recipiente de armazenamento:

- a) não tenha vazamento;
- b) seja feito de um material que não tenha risco de contaminar a água armazenada;

---

<sup>3</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

<sup>4</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.213**: projeto de captação de água de superfície para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

- c) não permita a entrada de luz, prevenindo o desenvolvimento de algas;
- d) possua uma tampa para prevenir a evaporação e entrada de sujeiras;
- e) seja projetado de forma que seu interior possa ser limpo facilmente.

A NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 3) dá outras recomendações técnicas para a construção desses reservatórios de armazenamento:

- a) devem atender à ABNT NBR 12.217<sup>5</sup>;
- b) devem ser considerados no projeto: extravasor, dispositivo de esgotamento, cobertura, inspeção, ventilação e segurança;
- [...]
- c) quando alimentado com água de outra fonte de suprimento de água potável, deve possuir dispositivos que impeçam a conexão cruzada;
- [...]
- f) devem ser limpos e desinfetados com solução de hipoclorito de sódio, no mínimo uma vez por ano, de acordo com a ABNT NBR 5.626<sup>6</sup>;
- g) o volume não aproveitável da água de chuva pode ser lançado na rede de galerias de águas pluviais, na via pública ou ser infiltrado total ou parcialmente, desde que não haja perigo de contaminação do lençol freático, a critério da autoridade local competente;
- [...]
- i) a água de chuva reservada deve ser protegida contra a incidência direta da luz solar e do calor, bem como de animais que possam adentrar o reservatório através da tubulação de extravasão.

#### 4.1.4 Distribuição

Através do sistema de distribuição é feito o transporte da água do reservatório de águas pluviais até os pontos de consumo não potáveis. Segundo a NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 3-4):

As instalações prediais devem atender à NBR 5.626, quanto às recomendações de separação atmosférica, dos materiais de construção das instalações, da retrossifonagem, dos dispositivos de prevenção de refluxo, proteção contra interligação entre água potável e não potável, do dimensionamento das tubulações, limpeza e desinfecção dos reservatórios, controle de ruídos e vibrações.

<sup>5</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.217**: projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.

<sup>6</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

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

O sistema de distribuição de água de chuva deve ser independente do sistema de água potável, não permitindo a conexão cruzada de acordo com NBR 5.626<sup>7</sup>.

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

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

## 4.2 REGULAMENTAÇÕES E EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

A regulamentação do aproveitamento da água da chuva é bastante recente e frequentemente apresenta recomendações bastante empíricas, especialmente no Brasil. No âmbito Federal ainda não existe legislação que trate do reaproveitamento da água da chuva. Nesse âmbito, a NBR 15.527 “Fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 1). É importante ressaltar que essa Norma se aplica somente a usos não potáveis.

Na cidade de Porto Alegre, existe a Lei n. 10.506 (PORTO ALEGRE, 2008, p. 1-3) que determina a reutilização da água da chuva:

Art. 1º Fica instituído o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas. Parágrafo único. O Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas objetiva a promoção de medidas necessárias à conservação, à redução do desperdício e à utilização de fontes alternativas para a captação e o aproveitamento da água nas edificações, bem como à conscientização dos usuários sobre a sua importância para a vida.

[...]

Art. 8º As ações de reaproveitamento das águas compreendem basicamente: I – a captação, o armazenamento e a utilização de água proveniente das chuvas; e II – a captação, o armazenamento e a utilização de águas servidas.

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

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

<sup>7</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

[...]

Art. 13. O Poder Público poderá cadastrar as edificações que aderirem ao Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas para fins de estudos referentes a incentivos.

Essa Lei foi regulamentada pelo Decreto n. 16.305 (PORTO ALEGRE, 2009, p. 1-3), visando estabelecer medidas que promovam a sua aplicação prática:

Art. 4º As instalações hidrossanitárias das edificações deverão ser projetadas e executadas, contemplando o uso de equipamentos para o combate ao desperdício de água e o reaproveitamento das águas.

[...]

§ 2º O reaproveitamento das águas das chuvas, para fins de uso não potável, será exigido nas edificações industriais e comerciais que apresentarem individualmente área de cobertura ou telhado igual ou superior a 500 m<sup>2</sup> (quinhentos metros quadrados).

Art. 5º Os projetos hidráulicos e sanitários, para utilização das águas pluviais e servidas nas edificações, deverão atender às normas técnicas brasileiras e legislações sanitárias e ambientais vigentes, de acordo com a utilização proposta.

Parágrafo único. Em qualquer caso, as águas pluviais e servidas captadas e armazenadas para reaproveitamento deverão sofrer o tratamento necessário, para atender aos padrões de qualidade compatíveis com o uso previsto.

Outras cidades do Brasil também possuem legislação pertinente, como Curitiba/PR, onde o Decreto n. 293 afirma que todas as novas construções independentemente da área têm obrigação de implantarem mecanismos para captação da água da chuva, sendo o volume mínimo do reservatório de 500 litros (CURITIBA, 2006, p. 1-3). Em Cascavel/PR, a Lei n. 4.631 também trata da captação, armazenamento e utilização da água proveniente da chuva e estabelece que todas as edificações deverão ser adaptadas no prazo de dez anos. Afirma ainda que, os imóveis enquadrados na Lei terão desconto no IPTU – Imposto Territorial e Predial Urbano (CASCAVEL, 2007, p. 1). É importante que leis como essas estejam em vigor. No entanto, apesar do incentivo à implementação de sistemas de aproveitamento da água da chuva, é notável a falta de recomendações técnicas nessas regulamentações.

Em outros países há casos de implantação de sistemas de aproveitamento da água da chuva, que mostram que a preocupação com a escassez de recursos hídricos não é recente. Segundo Tomaz (2003, p. 24):

No Japão, na cidade de Kitakyushu, em 1995, foi construído um edifício com 14 pavimentos prevendo-se a utilização de água da chuva e, para isso, havendo um reservatório enterrado com um milhão de litros.

Neste prédio, as águas cinzas, isto é, as águas de pias, torneiras, máquina de lavar roupa, com exceção das águas da bacia sanitária e da pia da cozinha, são também reaproveitadas e juntadas à água da chuva. Todas as bacias sanitárias possuem alimentação com água não potável da chuva e cinzas.

Outro caso interessante é relatado por Tomaz (2001, p. 89):

Na cidade de Berlim na Alemanha em 1999 foi feito em um bairro com 213 pessoas, captação da água de chuva em telhados e nas ruas para que a água fosse usada principalmente em descargas de bacias sanitárias e também para rega de jardins. A água de chuva é conduzida à galeria de águas pluviais de diâmetro de 400 mm e daí vai para a cisterna de 160 m<sup>3</sup>. A água de chuva é filtrada e desinfetada com raios ultravioleta e usado em média 35 litros/pessoa/dia.

Mais recentemente os casos têm se multiplicado. Conforme Dornelles (2012, p. 33), na Coreia do Sul, por exemplo:

A municipalidade de Suwon está criando um plano para manejo de águas urbanas, chamado *Rain City*, onde incentiva o reuso de águas cinza e o aproveitamento de águas de chuva em prédios públicos em lotes com mais de 2.000 m<sup>2</sup> e mais de 3.000 m<sup>2</sup> de área construída.

Em diversas localidades são oferecidos créditos e descontos em impostos para quem construir sistemas de captação, armazenamento e aproveitamento da água da chuva, como por exemplo, na Califórnia, estado do Arizona e Texas, nos Estados Unidos, além de países como Alemanha e Japão (TOMAZ, 2003, p. 26).

#### 4.3 BENEFÍCIOS E PROBLEMAS DE IMPLANTAÇÃO

Conforme Dornelles (2012, p. 8), pode-se citar como benefícios da implantação de sistemas de aproveitamento da água da chuva:

- a) ambiental: diminuição da demanda de água potável do sistema público de abastecimento;
- b) à drenagem urbana: podendo contribuir na diminuição do pico de inundações quando aplicada em larga escala, de forma planejada, em uma bacia hidrográfica;
- c) econômico: possibilidade de redução de despesa com água potável por parte do usuário da edificação.

Como benefícios ambientais, Dornelles (2012, p. 13) cita:

- a) ao ser utilizado na irrigação recarrega os aquíferos e pereniza os cursos d'água;
- b) ao reduzir os volumes captados dos mananciais superficiais, a maior disponibilidade nestes acaba por propiciar maior capacidade de manutenção da biota e de diluição de contaminantes;
- c) redução do consumo de energia para o bombeamento de água em análise global;
- d) desperta a consciência ambiental da população.

Quanto aos benefícios à drenagem urbana, o *Group Raindrops* (2002, p. 70) ressalta que “Pode-se obter melhoria nas condições ambientais usando a água da chuva armazenada e infiltrando-a no solo.”. Esse benefício é especialmente importante, uma vez que, com o crescimento das cidades, elas têm se tornado cada vez mais impermeáveis. A água da chuva, ao invés de infiltrar no solo, acaba por escoar, causando inundações.

Os benefícios econômicos do aproveitamento da água da chuva são os mais divulgados e citados em pesquisa (DORNELLES, 2012, p. 8). Segundo Tomaz (2003, p. 28), “Pesquisas feitas no Japão mostraram que com o uso da água reciclada (água de chuva ou água servida) para fins não potáveis, conseguiu-se reduzir o consumo de 30% da água potável.”.

No entanto, deve-se ter cuidado, pois, segundo Dornelles (2012, p. 8):

Apesar da facilidade em estimar o benefício econômico, este é obtido especificamente para cada local de aproveitamento, e para as características particulares do sistema, sendo pouco válida a generalização de resultados pontuais para regiões inteiras, e menos ainda para outros países.

Apesar de todos os benefícios da implantação de sistemas de aproveitamento da água da chuva, existem algumas dificuldades em se promover o seu uso em massa, tanto em edificações residenciais, quanto em empresas. O *Group Raindrops* (2002, p. 32) explica:

O maior problema em se promover a utilização da água da chuva nas casas é assegurar um bom espaço para o armazenamento de um grande volume dessa água. Na construção de uma nova casa, um tanque de armazenamento de água da chuva de concreto reforçado deveria ser fixado no subsolo. Este tanque também pode servir como fundação da casa, fazendo com que o espaço extra e o dinheiro não sejam gastos em excesso. Além disso, pode-se armazenar bastante água da chuva, a qual será usada para molhar as plantas, para dar descargas nos sanitários, para a lavagem de carros e para usos de emergência. Em uma casa já construída, faça um tanque de armazenamento da água da chuva debaixo do jardim ou compre um tanque e coloque-o no jardim ou ao lado da entrada da casa. Entretanto, o uso da água da chuva fica restrito devido às limitações dimensionais do espaço.

Dornelles (2012, p. 16) também cita a dificuldade na adaptação das edificações como um entrave para a implantação em massa de sistemas de aproveitamento da água da chuva, ressaltando que essas adaptações têm custos bastante elevados. Ele destaca que:

As dificuldades são por limitações de espaço disponível, pela incapacidade estrutural para suportar o acréscimo de carga de um reservatório extra e pelo fato das instalações prediais hidrossanitárias de água fria atenderem simultaneamente pontos de consumo potáveis e não potáveis.

Outro ponto levantado por Dornelles (2012, p. 17) é a questão da tarifa da água tratada. Tomaz (2003, p. 29) explica:

No Brasil em áreas urbanas de modo geral, os primeiros 10 m<sup>3</sup> de água fornecida pelo serviço público é subsidiado, ficando o custo muito barato para o consumidor e deixando de lado a alternativa do uso da água de chuva. Em lugares onde não existe rede pública, é viável o uso da água de chuva. Até o presente momento, o uso da água de chuva em áreas urbanas é viável para consumo comercial e industrial ou em grandes prédios de apartamentos.

Por fim, pode-se citar como um entrave, a própria falta de informação da população. Segundo Dornelles (2012, p. 17):

No Brasil não existem organizações dedicadas exclusivamente ao tema de aproveitamento de água de chuva. As instituições que abordam este se dedicam a áreas nas quais o aproveitamento de água de chuva faz parte, tais como: desenvolvimento sustentável, ambientalismo, ecologia, eficiência energética e reciclagem.

## 5 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA

Este capítulo apresenta os métodos de cálculo utilizados para o dimensionamento de todas as partes constituintes de um sistema de aproveitamento da água da chuva. Conforme Normas específicas são discriminados os métodos para dimensionamento das áreas de captação, essencial para o cálculo do volume armazenado em um evento de chuva, dimensionamento das calhas e condutores e, por último, do reservatório de armazenamento.

O cálculo da vazão para o dimensionamento do sistema de águas pluviais é apresentado pela NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 3) e é dado pela fórmula do método racional:

$$Q = I.A/60 \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

Q = vazão de projeto, em L/min;

I = intensidade pluviométrica, em mm/h;

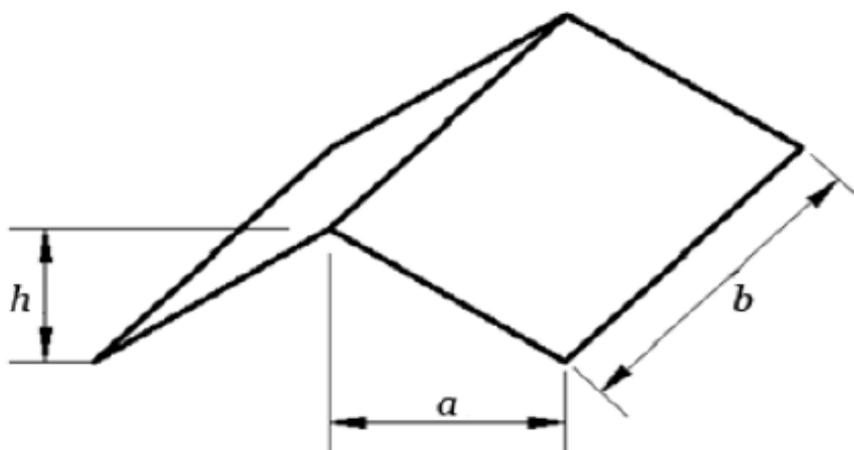
A = área de contribuição, em m<sup>2</sup>.

### 5.1 ÁREA DE CAPTAÇÃO

O cálculo da área de captação da água da chuva é essencial para que se possa prever o volume a ser armazenado. Segundo o *Group Raindrops* (2002, p. 106), “Uma vez determinado o local onde a água da chuva vai ser coletada, pode-se calcular o volume de água a ser coletado pela superfície.”.

A NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 5) faz algumas indicações para o cálculo de áreas de contribuição, conforme figura 3, sendo que deve-se “[...] considerar os incrementos devidos à inclinação da cobertura e às paredes que interceptem água de chuva que também deva ser drenada pela cobertura.”.

Figura 3 – Dimensões de uma cobertura de superfície inclinada com duas águas



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

Em seguida, a NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6) dá outras recomendações a respeito das áreas de captação, no caso de superfícies horizontais:

- a) as superfícies horizontais de laje devem ter declividade mínima de 0,5%, de modo que garanta o escoamento das águas pluviais, até os pontos de drenagem previstos;
- b) a drenagem deve ser feita por mais de uma saída, exceto nos casos em que não houver risco de obstrução;
- c) quando necessário, a cobertura deve ser subdividida em áreas menores com caimentos de orientações diferentes, para evitar grandes percursos de água.

Para o correto dimensionamento, no entanto, é preciso tomar cuidado, pois não é toda a água precipitada que pode ser aproveitada, uma vez que “Além da influência qualitativa, o tipo de material da cobertura influencia na parcela de perda volumétrica de água captada. Materiais porosos como telhas de fibrocimento, concreto e cerâmica apresentam maiores perdas, [...]” (DORNELLES, 2012, p. 23). Nesse sentido, Tomaz (2003, p. 79) alerta:

Para efeito de cálculo, o volume de água de chuva que pode ser aproveitado não é o mesmo que o precipitado. Para isto, usa-se um coeficiente de escoamento superficial chamado de coeficiente de *runoff*, que é o quociente entre a água que esco superficialmente pelo total da água precipitada. Usa-se a letra C para o coeficiente de *runoff*. Assim, pesquisamos coeficientes que vão de 0,90 a 0,67.

## 5.2 CALHAS E CONDUTORES

O dimensionamento das calhas e condutores de um sistema de aproveitamento da água da chuva é regulamentado por norma específica. Para o cálculo de calhas, a NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 6) indica a fórmula de *Manning-Strikler*:

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

Onde:

Q = vazão de projeto, em L/min;

S = área da seção molhada, em m<sup>2</sup>;

n = coeficiente de rugosidade [ver tabela 4];

R<sub>H</sub> = raio hidráulico, em m;

i = declividade da calha, em m/m;

K =60.000.

A seguir são apresentadas as tabelas para auxiliar no dimensionamento das calhas. A tabela 4 traz os coeficientes de rugosidade de cada tipo de material que pode ser empregado na confecção dos condutores. Na tabela 5, são apresentadas as capacidades de calhas semicirculares. Por último, a tabela 6 apresenta os coeficientes multiplicativos da vazão de projeto, que devem ser utilizados se houver mudança de direção no traçado da calha.

Tabela 4 – Coeficientes de rugosidade

<b>Material</b>	<b>n</b>
plástico, fibrocimento, aço, metais não-ferrosos	0,011
ferro fundido, concreto alisado, alvenaria revestida	0,012
cerâmica, concreto não-alisado	0,013
alvenaria de tijolos não-revestida	0,015

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

Tabela 5 – Capacidade de calhas semicirculares (L/min)

Diâmetro interno (mm)	Declividades		
	0,5%	1%	2%
100	130	183	256
125	236	333	466
150	384	541	757
200	829	1167	1634

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

Tabela 6 – Coeficientes multiplicativos da vazão de projeto

Tipo de curva	Curva a menos de 2 m da saída da calha	Curva entre 2 e 4 m da saída da calha
canto reto	1,2	1,1
canto arredondado	1,1	1,05

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

Para os condutores verticais, a NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 7) apresenta alguns requisitos:

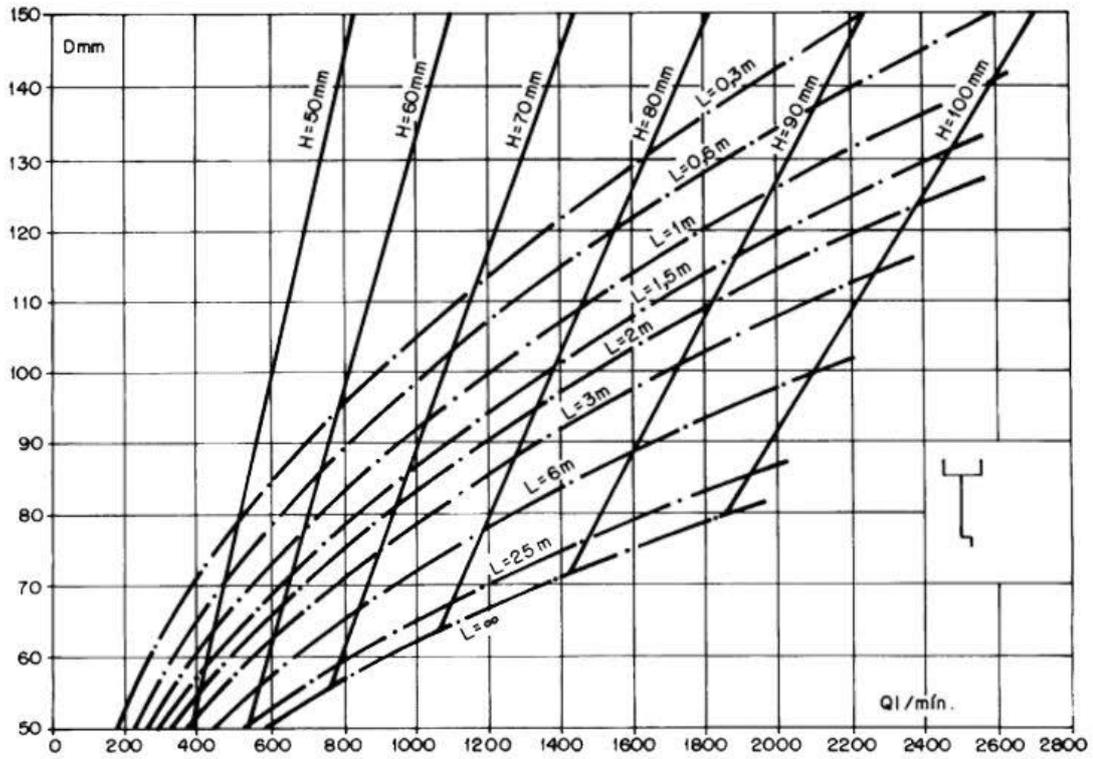
- a) os condutores verticais devem ser projetados, sempre que possível, em uma só prumada. Quando houver necessidade de desvio, devem ser usadas curvas de 90° de raio longo ou curvas de 45° e devem ser previstas peças de inspeção;
- b) o diâmetro interno mínimo dos condutores verticais de seção circular é 70 mm;
- c) o dimensionamento dos condutores verticais deve ser feito a partir dos seguintes dados:
 

Q = vazão de projeto, em L/min;

H = altura da lâmina de água na calha, em mm;

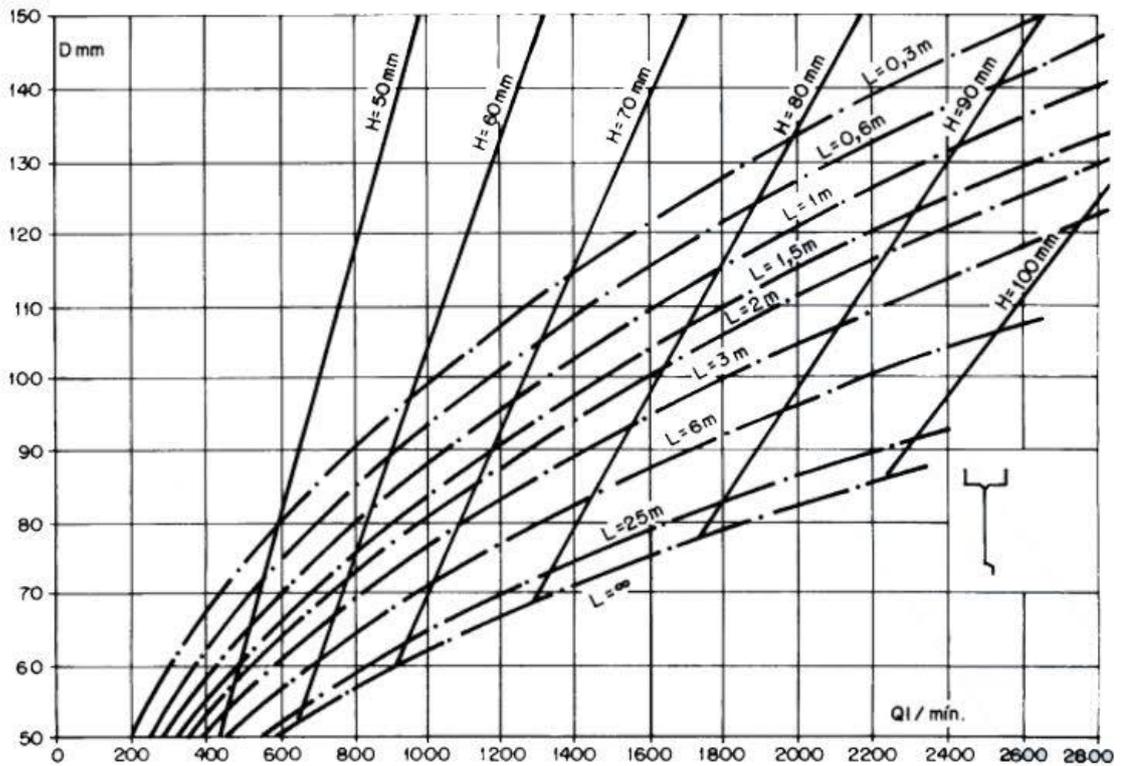
L = comprimento do condutor vertical, em m;
- d) para [dimensionamento das] calhas com saída em aresta viva ou com funil de saída, deve-se utilizar, respectivamente, [...] [os ábacos apresentados nas figuras 4 ou 5].

Figura 4 – Calha com saída em aresta viva



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

Figura 5 – Calha com funil de saída



(b) Calha com funil de saída

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

Os condutores horizontais também são regidos pela NBR 10.844 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1989, p. 7-8), sendo encontradas algumas exigências:

- a) os condutores horizontais devem ser projetados, sempre que possível, com declividade uniforme, com valor mínimo de 0,5%;
- b) o dimensionamento dos condutores horizontais de seção circular deve ser feito para escoamento com lâmina de altura igual a 2/3 do diâmetro interno (D) do tubo. As vazões para tubos de vários materiais e inclinações usuais estão indicadas na [...] [tabela 7];
- c) a ligação entre os condutores verticais e horizontais é sempre feita por curva de raio longo, com inspeção ou caixa de areia, estando o condutor horizontal aparente ou enterrado.

Tabela 7 – Capacidade de condutores horizontais de seção circular (L/min)

Diâmetro interno (mm)	n = 0,011				n = 0,012				n = 0,013			
	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%	0,5%	1%	2%	4%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
50	32	45	64	90	29	41	59	83	27	38	54	76
75	95	133	188	267	87	122	172	245	80	113	159	226
100	204	287	405	575	187	264	372	527	173	243	343	486
125	370	521	735	1040	339	478	674	956	313	441	622	882
150	602	847	1190	1690	552	777	1100	1550	509	717	1010	1430
200	1300	1820	2570	3650	1190	1670	2360	3350	1100	1540	2180	3040
250	2350	3310	4660	6620	2150	3030	4280	6070	1990	2800	3950	5600
300	3820	5380	7590	10800	3500	4930	6960	9870	3230	4550	6420	9110

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

### 5.3 RESERVATÓRIO

O dimensionamento dos reservatórios para armazenamento da água da chuva é regulamentado pela NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 3). Ela ressalta que “O volume de água da chuva aproveitável depende do coeficiente de escoamento superficial da cobertura, bem como da eficiência do sistema de descarte do escoamento inicial, [...]”. Dessa forma, o volume da água da chuva aproveitável é dado pela fórmula 3:

---

Eficácia de sistemas de aproveitamento da água da chuva: efeito do tamanho das séries de precipitação

$$V = P \times A \times C \times n_{\text{fator de captação}} \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

V = volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável, em m<sup>3</sup>;

P = precipitação média anual, mensal ou diária, em mm;

A = área de coleta, em m<sup>2</sup>;

C = coeficiente de escoamento superficial da cobertura;

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

A NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 6) apresenta seis métodos de cálculo para dimensionamento dos reservatórios:

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

De acordo com Dornelles (2012, p. 39):

A diversidade de métodos de dimensionamento é fonte de possíveis incertezas por parte do projetista que venha a elaborar um estudo de aproveitamento de água de chuva, que acaba por proliferar incertezas na avaliação econômica do sistema, já que o reservatório é o elemento mais significativo na composição de custos.

Os métodos de Azevedo Neto e os métodos práticos alemão, inglês e australiano são os mais fáceis de serem aplicados, no entanto são considerados os mais limitados, uma vez que não levam em conta a distribuição temporal das séries históricas de precipitação. Os métodos de simulação (Rippl e método da simulação), por sua vez, são os mais recomendados por avaliarem o comportamento sazonal da precipitação. Dentre esses dois métodos, o de simulação é o mais eficiente, pois possibilita “Fornecer índices de desempenho como: nível de atendimento à demanda e percentuais de extravasamento.” (DORNELLES, 2012, p. 39).

Dessa forma, neste trabalho é apresentado o método de simulação, por ser o mais eficiente e possibilitar análises de desempenho. Segundo a NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 7, grifo do autor), “Para este método, duas hipóteses devem ser feitas, o reservatório está cheio no início da contagem do tempo  $t$  e os dados históricos são representativos para as condições futuras.”.

A fórmula para dimensionamento de um reservatório de aproveitamento da água da chuva pelo método da simulação é apresentada a seguir:

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (\text{fórmula 4})$$

$$Q_{(t)} = C \times I_{(t)} \times A \times (1-p) \quad (\text{fórmula 5})$$

Sendo que  $0 < S_{(t)} < V$

Onde:

$S_{(t)}$  = volume de água no reservatório no tempo  $t$ , em  $m^3$ ;

$S_{(t-1)}$  = volume de água no reservatório no tempo  $t-1$ , em  $m^3$ ;

$Q_{(t)}$  = volume de chuva captado no tempo  $t$ , em  $m^3$ ;

$D_{(t)}$  = consumo ou demanda no tempo  $t$ , em  $m^3$ ;

$V$  = volume do reservatório fixado, em  $m^3$ ;

$C$  = coeficiente de escoamento superficial;

$I_{(t)}$  = precipitação no tempo  $t$ , em  $m$ ;

$A$  = área de captação, em  $m^2$ ;

$p$  = perdas na captação, em %.

Dornelles (2012, p. 39) evidencia que “Os índices de desempenho são fundamentais para a tomada de decisão quando do dimensionamento do reservatório de água de chuva [...]”, ou seja, a garantia de atendimento à demanda deve ser avaliada para o correto dimensionamento do reservatório.

A garantia de atendimento representa o valor esperado do percentual do tempo em que a demanda será atendida. Quanto maior o tamanho do reservatório, maior será a garantia de atendimento, e também maior o custo. Assim, a mesma deve ser estimada para diferentes configurações do sistema, fundamentalmente, diferentes tamanhos de reservatórios para o projetista poder tomar a decisão. Tipicamente, a garantia de atendimento é estimada pela fórmula apresentada a seguir, considerando o mesmo valor da demanda em todos os intervalos de tempo de análise:

$$GA_D^V = (\sum At_{(t)} / N) \times 100 \quad (\text{fórmula 6})$$

Onde:

$GA_D^V$  = Garantia de atendimento à Demanda D utilizando um reservatório de volume V, em %;

$At_{(t)}$  = Atendimento à demanda, valor zero se não acontece, valor um se acontece, no intervalo de tempo t;

N = tamanho da série temporal utilizada igual ao número de intervalos de tempo, em dia.

## 5.4 DISTRIBUIÇÃO

A NBR 15.527 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 4) determina que o dimensionamento do sistema de distribuição de águas pluviais deve ser projetado da mesma maneira que as instalações prediais de água potável, de acordo com o anexo A da NBR 5.626<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.626**: instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998.

## 6 METODOLOGIA

Nos capítulos anteriores foram apresentados pontos importantes para o entendimento dos sistemas de aproveitamento da água da chuva, suas partes constituintes e métodos de cálculo para dimensionamento das mesmas, assim como os benefícios de sua utilização e regulamentações e exemplos de aplicação ao redor do mundo. Compreendidos os sistemas de aproveitamento da água da chuva e visando analisar o impacto da disponibilidade de dados de precipitação no dimensionamento de reservatórios para aproveitamento da água da chuva, neste capítulo são apresentadas informações sobre a caracterização dos dados para elaboração do modelo de cálculo e, posteriormente, elaboração do mesmo.

### 6.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS

Nesta seção é apresentada a caracterização dos dados que foram utilizados para a elaboração do modelo de balanço hídrico. São eles:

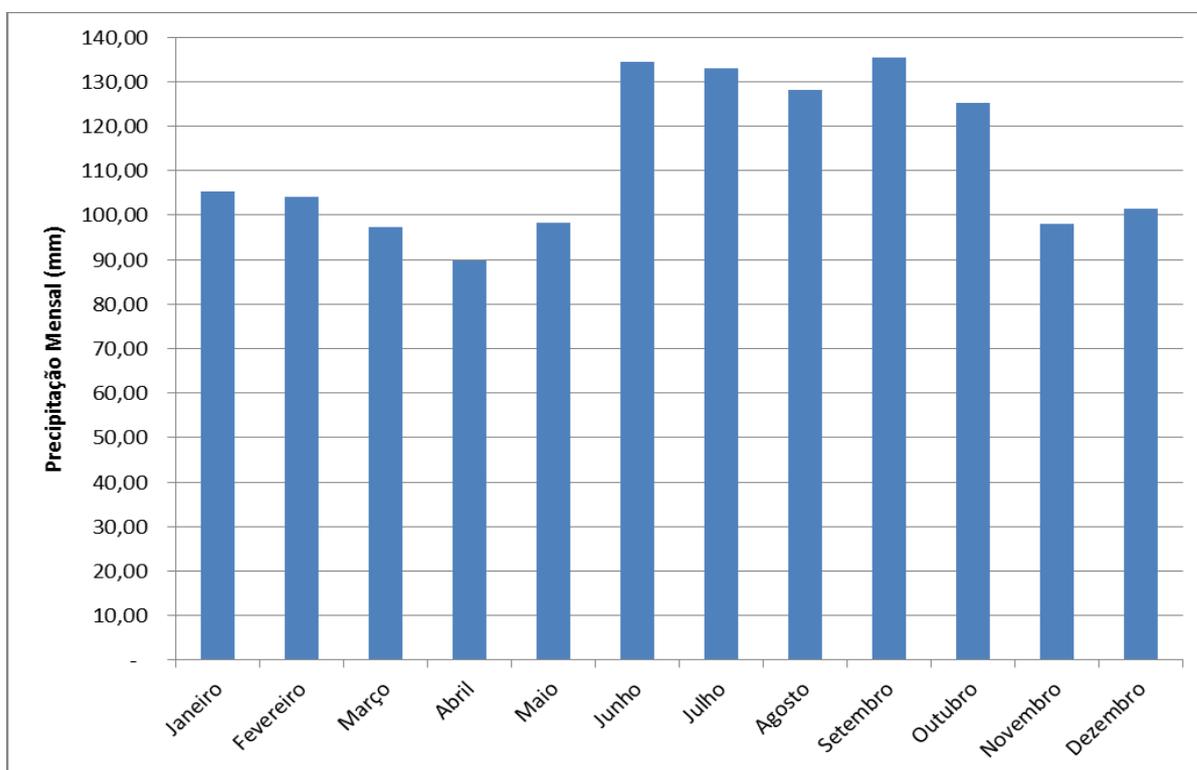
- a) séries de precipitação;
- b) área de captação;
- c) perdas na captação;
- d) demanda de consumo;
- e) volume do reservatório;
- f) garantia de atendimento.

A série temporal de dados de precipitação representa a principal informação de entrada para o modelo de simulação do balanço hídrico utilizado no dimensionamento do reservatório do sistema de aproveitamento da água da chuva. Essa série é também de vital importância nesse estudo, uma vez que o presente trabalho visa obter conclusões a respeito da influência dos diferentes tamanhos de séries de dados pluviométricos no dimensionamento de reservatórios de aproveitamento da água da chuva. A figura 6 apresenta os valores da precipitação média mensal entre 1961 e 2011, da cidade de Porto Alegre, mostrando que a mesma possui uma distribuição de chuva bastante uniforme no ano, com maiores valores precipitados nos meses de junho a outubro. Os dados pluviométricos utilizados nesse trabalho, referentes ao período

de 01/01/1961 a 31/12/2011, foram obtidos da estação pluviométrica Porto Alegre – RS (OMM: 83967) operada pelo Inmet (Instituto Nacional de Meteorologia) no BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa). A estação apresenta como coordenadas geográficas:

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

Figura 6 – Média mensal de chuva na cidade de Porto Alegre entre 1961 e 2011



(fonte: elaborado pelo autor)

Para avaliar o impacto do tamanho da série temporal de precipitação na garantia de atendimento apresentada por um reservatório do sistema de aproveitamento da água da chuva, novas séries temporais hipotéticas foram definidas a partir da série original. Assim, séries com tamanhos de 5, 10, 20, 30, 40 e 48 anos foram geradas a partir da série original começando em cada ano do período com dados (1961-2011). Dessa forma, descontando os anos que não possuíam dados (1985-1987), foram geradas 44 séries temporais para cada uma das durações. Isto é, as séries temporais com tamanho de 5 anos se estendem de 1961-1965, de 1962-1966, de 1963-1967, e assim por diante até 2007-2011. No caso das séries restantes, o procedimento

foi o mesmo. Quando o tamanho da série ultrapassava o ano de 2011, foi considerado um processo cíclico, sendo utilizados os dados do ano 1961 em diante, até que a série fosse completada. Por fim, precipitações diárias iguais ou inferiores a 0,2 milímetros foram desconsideradas, sendo tratadas como chuvas não significativas.

A área de captação da água da chuva (superfície impermeável da cobertura onde a água é captada) adotada no modelo de cálculo é fixa, de 500 m<sup>2</sup>. Foi escolhido esse valor, pois é a partir dessa metragem quadrada de cobertura que se torna obrigatório, na cidade de Porto Alegre, o reaproveitamento das águas da chuva para fins não potáveis, em edificações industriais e comerciais.

Outro dado fixo utilizado no modelo refere-se à perda na captação, já que nem toda a água precipitada pode ser aproveitada, uma vez que uma parcela do seu volume é perdida através do processo de filtragem, da evaporação ou pela superfície adotada para a captação. O cálculo do volume precipitado é obtido descontando um percentual de perda que minora o volume de chuva precipitado com a finalidade de representar o volume real captado, cujos valores mais utilizados são de 10 a 20%. Para a realização dos cálculos foi arbitrado um coeficiente de perdas de 10%.

Os volumes dos reservatórios utilizados no modelo de cálculo referem-se a dimensões encontradas com facilidade no mercado, de acordo com os fabricantes: 5.000, 10.000, 20.000 e 50.000 litros. Além de serem facilmente encontrados, esses reservatórios podem atender aos mais diversos casos de aproveitamento da água da chuva, desde uma residência unifamiliar, até uma indústria ou escola, por exemplo.

Para a demanda de consumo da edificação adotou-se valores que variam de 200 a 2.000 litros/dia, de forma a abranger os mais variados tipos de edificação, de acordo com suas necessidades diárias, tais como residências unifamiliares, residências multifamiliares, lojas comerciais, pavilhões, *shopping centers* e escolas, entre outros. As demandas utilizadas foram: 200, 500, 1.000 e 2.000 litros/dia. A demanda é a mesma em todos os dias do período simulado.

Por último, foi estimada a garantia de atendimento à demanda, que se refere ao número de vezes em que o sistema de aproveitamento da água da chuva supre a demanda da edificação no período analisado. Através do uso dessa variável, obtida por meio do modelo de cálculo

desenvolvido na seção seguinte, é possível prever a eficiência de um sistema de aproveitamento da água da chuva.

## 6.2 ELABORAÇÃO DO MODELO DE CÁLCULO

Após a definição e caracterização dos dados para o trabalho, iniciou-se a etapa de desenvolvimento do modelo de cálculo, apresentado nesta seção. A partir dessa ferramenta foi possível, posteriormente, realizar diferentes simulações, alterando-se os valores das variáveis envolvidas. Essas simulações possibilitaram a criação de diversas tabelas e gráficos que constituem o resultado final desse trabalho e objetivam auxiliar o projetista na tomada de decisões.

O quadro 2 apresenta uma parte da planilha Excel que representa o modelo de cálculo desenvolvido, onde cada uma das colunas é responsável por fornecer um dado. O modelo de simulação do balanço hídrico do reservatório utilizado possui um intervalo de tempo diário. O objetivo dessa planilha é a simulação do balanço hídrico do reservatório do sistema de aproveitamento da água da chuva. A partir dessa simulação é posteriormente obtido o valor da garantia de atendimento à demanda no período analisado, em porcentagem, apresentado na coluna R. Para a obtenção desse valor, devem ser inseridos os seguintes dados:

- a) coeficiente de perda (coluna L) em porcentagem (para 10% de perdas, dado previamente estabelecido, deve-se introduzir o valor de 0,1);
- b) área de captação da edificação (coluna M) em  $m^2$  (dado estabelecido previamente como  $500 m^2$ );
- c) volume do reservatório escolhido (coluna N:O) em litros, com conversão automática para  $m^3$  (foram utilizados volumes de 5.000, 10.000, 20.000 e 50.000 litros);
- d) demanda (coluna P:Q) em litros/dia, com conversão automática para  $m^3$ /dia (foram utilizados valores de demanda de 200, 500, 1.000 e 2.000 litros/dia).

Quadro 2 – Modelo de cálculo para balanço hídrico

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	Precipitação Coletada (mm)	Precipitação Verificada (mm)	Volume Coletado no Dia (m³)	Volume Resultante do Uso (m³)	Volume Resultante Verificado (m³)	Volume Resultante Total (m³)	Atendimento	Soma de Atendimento	Total de Dias	Coefficiente de Perda (C)	Área de Captação (m²)	Volume do Reservatório (litros ou m³)	Demanda (litros/dia ou m³/dia)			
1	Data															
2																
3	02/01/1961	0	0	19	19	19	1	3196	3620	0,1	500	20000	1000			88,29
4	03/01/1961	0,2	0	18	18	18	1					20	1			
5	04/01/1961	2,4	1,08	18,08	18,08	18,08	1									
6	Indica a data da leitura da precipitação, fornecida pelo BDMEP - INMET.	Verifica o valor da leitura da precipitação, caso ele for igual ou inferior a 0,2 mm de precipitação, o que pouco contribui para o enchimento do reservatório, o mesmo é descartado, resultando em uma precipitação verificada igual a zero.	Fornecer o valor do volume de água coletado no dia da leitura e é obtido pela fórmula 5. Fez-se uma conversão automática do valor da precipitação verificada (Coluna C), de mm para m. A área de captação e a perda na captação são obtidas das Colunas M e L, respectivamente. O coeficiente de escoamento utilizado foi 1.	Fornecer o valor do volume resultante do uso, dado pela fórmula 4. A demanda é obtida do volume do reservatório do dia anterior é obtido da Coluna G e o volume de chuva captado, através da Coluna D, sendo que a simulação inicia com o reservatório cheio.	Verifica os valores de volume da Coluna E para que eles sejam sempre valores positivos ou iguais a zero, descartando a hipótese de haver um volume negativo, o que seria impossível. Foi inserida uma condicional SE para caso o valor da Coluna E fosse negativo o programa Excel informasse que o valor a ser apresentado deveria ser zero, enquanto que se o valor fosse positivo ele deveria ser mantido.	Apresenta o volume resultante total, garantindo que o volume apresentado na Coluna F não seja superior ao suportado pelo reservatório. Caso isso ocorra, é adotado nessa coluna o volume do reservatório (Coluna N/O).	Indica se no dia da análise houve ou não atendimento à demanda. Se no volume resultante do uso (Coluna E) houve uma demanda menor do que o reservatório pode oferecer, o valor é positivo e a Coluna H é assinalada com valor igual a 1, representando atendimento naquele dia. Caso não atendida é assinalado valor igual a 0.	Indica o total de dias em que houve atendimento à demanda, valor obtido através da soma dos valores da coluna de atendimento (Coluna H).	Indica o total de dias de acordo com o período adotado.	Inserir o coeficiente de perda adotado, nesse caso seja 0,1.	Preencher com a área de captação da edificação. Nesse caso, foi arbitrada uma área de captação de 500 m².	Informar o volume do reservatório escolhido. Nesse caso, um dos valores seguintes: 5.000, 10.000, 20.000 ou 50.000 litros.	Informar o valor da demanda de consumo. Nesse caso, um dos valores preestabelecidos: 200, 500, 1.000 ou 2.000 L/dia.			Indica a garantia de atendimento. É obtida através da divisão do valor da soma de atendimento (Coluna J) pelo total de dias da série (Coluna K), multiplicado por 100 para que o valor fornecido seja em %.

(fonte: elaborado pelo autor)

Nas colunas A e B da planilha estão inseridos os dados de precipitação disponibilizados pela estação pluviométrica. As demais colunas são preenchidas automaticamente a partir dos dados inseridos anteriormente nas colunas L a Q e A e B. A coluna C faz uma verificação do valor da precipitação coletada apresentado na coluna B, descartando valores abaixo de 0,2 mm, considerados irrelevantes para o enchimento do reservatório. A coluna D fornece o volume de água coletado no dia, resultado da fórmula 5 e a coluna E informa o volume resultante do uso, dado pela fórmula 4, ambas as fórmulas utilizando valores já inseridos na planilha. Esse valor informado na coluna E é verificado posteriormente na coluna F, para que seja sempre positivo ou igual a zero e essa última é verificada e corrigida, se necessário, na coluna G, para que o valor nunca seja maior que o suportado pelo reservatório, situação em que o valor adotado passa a ser o volume do reservatório. Por fim, a coluna H indica se no dia da análise houve ou não atendimento à demanda. Caso houve, ela é assinalada com valor igual a 1. Caso a demanda não tenha sido suprida, o valor é igual a zero. A soma dos valores da coluna H resulta no total dos dias em que houve atendimento à demanda (coluna J). Em seguida, na coluna K é apresentado o número total de dias do período analisado. Por fim, a divisão do valor da soma de atendimento (coluna J) pelo total de dias da série (coluna K), multiplicado por 100, resulta na garantia de atendimento à demanda para o período analisado (coluna R), em porcentagem, que corresponde ao resultado final da planilha.

### 6.3 PROCEDIMENTO DE SIMULAÇÃO

Após o desenvolvimento do modelo de balanço hídrico e a preparação de séries temporais de precipitação a serem utilizadas como dados de entrada, procedeu-se à simulação das diferentes combinações das variáveis. No total, 4.224 simulações do balanço hídrico do reservatório foram feitas, em cada uma delas sendo obtido o valor da garantia de atendimento à demanda em função do tamanho da série, do tamanho do reservatório e da demanda. Assim, seis conjuntos de tamanhos diferentes de séries temporais foram considerados, em cada conjunto existiam 44 séries com tamanho especificado. Cada série foi utilizada como dado de entrada para cada uma das 16 combinações de demanda e tamanho de reservatório.

## 7 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos através do modelo de cálculo desenvolvido e exposto no capítulo anterior, através de tabelas resumo e gráficos, que servem de base para o projetista no dimensionamento de reservatórios de armazenamento da água da chuva. Cada um dos seis tamanhos de séries deu origem a uma tabela resumo, a partir das quais foram gerados os gráficos de análise dos resultados.

As tabelas resumo referentes a cada tamanho de série e originadas do modelo de balanço hídrico estão representadas pela tabela 8, que apresenta os resultados para séries de cinco anos. Para cada combinação de demanda e volume são obtidos 44 valores de garantia de atendimento em função do ano em que inicia a série, onde em vermelho estão marcados os períodos de mínima garantia de atendimento e em verde os de máxima (exceto quando o atendimento foi de 100%). Se for tirada como exemplo uma combinação de demanda de 2.000 litros/dia e um reservatório de 50.000 litros, verifica-se que se apenas existissem dados no período 1978-1982 a garantia de atendimento à demanda obtida seria de 57,96%. Enquanto isso, se apenas existissem dados no período 1999-2003, a garantia de atendimento à demanda obtida seria de 83,3%. Isso evidencia o impacto do período com dados na série temporal e a importância de se ter uma grande quantidade de dados para o correto dimensionamento de reservatórios de armazenamento da água da chuva, a fim de se obter uma estatística da amostra mais próxima do valor correspondente à população.

Com o resumo dessas seis tabelas que podem ser encontradas nos apêndices A a F, foram elaborados gráficos comparativos envolvendo as diferentes variáveis, que auxiliam na compreensão dos resultados, mostrados pelas figuras 7 a 12. Para que esses gráficos fossem legíveis, foi preciso definir alguns critérios de representação, são eles: uma cor para cada valor de demanda e um tipo de linha diferente em função da estatística dos resultados utilizada, sendo o valor médio de garantia de atendimento representado com linha contínua, o mínimo com linha tracejada e o máximo com linha pontilhada.

Por meio desses gráficos, que representam estatísticas dos resultados obtidos para a garantia de atendimento à demanda em função de diferentes tamanhos de séries de precipitação, fica evidente como os valores máximos e mínimos de atendimento à demanda se aproximam ao

valor médio à medida que se aumenta o número de dados disponíveis, com o uso de dados de séries históricas de precipitação maiores. Na figura 12, por exemplo, que apresenta o gráfico para séries de 48 anos, não há diferenciação entre valores máximos, médios e mínimos de atendimento. Isso mostra que a disponibilidade de um grande número de dados de séries históricas de precipitação reduz a chance de se subestimar ou superestimar a garantia de atendimento à demanda. Considerando um volume de reservatório de 20.000 litros e uma demanda de 1.000 litros, por exemplo, e utilizando uma série com tamanho de 5 anos, a garantia pode ser subestimada em 8% ou superestimada em 5% se comparada à obtida com uma série de 48 anos. Quando utilizada uma série de 20 anos, a garantia pode ser subestimada ou superestimada em 2%. Já com séries de tamanho maior ou igual a 30 anos, as diferenças no valor da garantia são muito pequenas.

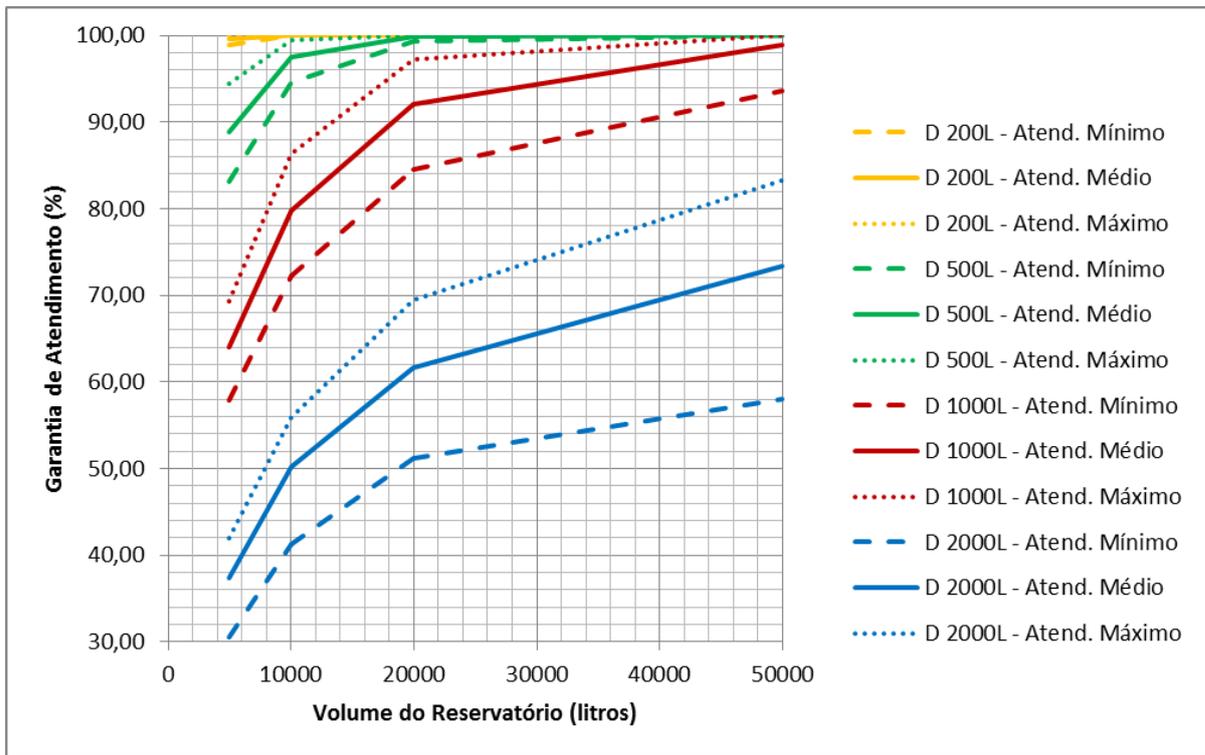
Esses gráficos demonstram o quanto a escassez de dados pode afetar o correto dimensionamento de sistemas de aproveitamento da água da chuva. Caso o projetista queira dimensionar o reservatório para uma garantia de atendimento à demanda de 90%, por exemplo, considerando uma demanda de 1.000 litros/dia e tendo disponíveis dados de uma série de 5 anos, conforme gráfico representado pela figura 7, o volume do reservatório poderia passar de 14.000 litros para 38.000 litros se considerarmos uma alteração entre a garantia de atendimento mínima e máxima à demanda.

Tabela 8 – Garantia de atendimento à demanda considerando séries temporais de chuva com tamanho de 5 anos

Tabela de Resumo - SÉRIES DE 5 ANOS																
Início da Série	Garantia de Atendimento (%)															
	D 200   V 5000	D 200   V 10000	D 200   V 20000	D 200   V 50000	D 500   V 5000	D 500   V 10000	D 500   V 20000	D 500   V 50000	D 1000   V 5000	D 1000   V 10000	D 1000   V 20000	D 1000   V 50000	D 2000   V 5000	D 2000   V 10000	D 2000   V 20000	D 2000   V 50000
1961	99,95	100,00	100,00	100,00	86,58	97,75	100,00	100,00	60,60	76,11	89,10	98,19	34,96	46,30	56,33	64,71
1962	99,12	100,00	100,00	100,00	85,65	96,50	99,73	100,00	59,04	74,59	87,46	97,75	34,34	45,18	54,65	62,71
1963	99,11	100,00	100,00	100,00	86,52	96,38	99,72	100,00	61,56	77,38	90,08	98,61	36,60	47,74	56,88	66,91
1964	99,11	100,00	100,00	100,00	85,13	95,27	99,28	100,00	59,19	75,22	88,98	98,16	35,63	46,49	55,29	66,31
1965	99,11	100,00	100,00	100,00	84,01	95,21	99,28	100,00	58,72	74,21	88,69	98,16	35,38	46,02	54,93	65,40
1966	99,11	100,00	100,00	100,00	83,12	94,60	99,28	100,00	59,11	73,15	87,47	98,16	34,65	45,24	54,26	64,29
1967	99,94	100,00	100,00	100,00	83,96	95,65	99,55	100,00	58,77	73,65	88,08	98,61	33,76	43,62	51,87	61,67
1968	100,00	100,00	100,00	100,00	86,86	96,55	99,56	100,00	63,49	78,60	91,35	99,56	36,89	48,93	59,33	70,39
1969	100,00	100,00	100,00	100,00	88,88	97,92	100,00	100,00	65,39	80,94	93,21	100,00	37,90	50,33	61,72	72,67
1970	99,51	100,00	100,00	100,00	88,70	97,26	99,89	100,00	65,72	80,86	92,76	100,00	38,01	50,69	62,21	74,05
1971	99,51	100,00	100,00	100,00	90,62	97,86	99,89	100,00	66,70	82,72	94,08	100,00	39,00	52,06	63,80	75,86
1972	99,51	100,00	100,00	100,00	90,68	98,19	99,89	100,00	67,98	83,88	95,39	100,00	39,97	53,84	66,78	78,23
1973	99,51	100,00	100,00	100,00	89,36	98,13	99,89	100,00	65,22	82,06	95,39	100,00	37,90	50,52	61,77	72,52
1974	99,51	100,00	100,00	100,00	88,69	97,31	99,89	100,00	65,26	81,34	93,03	98,35	37,54	50,11	61,09	71,13
1975	99,14	100,00	100,00	100,00	88,96	97,20	99,77	100,00	65,56	82,09	93,88	98,28	37,53	50,11	60,93	69,85
1976	99,08	100,00	100,00	100,00	88,42	97,00	99,75	100,00	64,28	80,21	92,83	98,16	36,40	48,90	59,80	69,00
1977	99,03	100,00	100,00	100,00	86,10	96,12	99,74	100,00	60,18	75,89	89,14	98,06	32,97	44,09	53,39	61,02
1978	98,99	100,00	100,00	100,00	84,62	94,67	99,73	100,00	57,83	72,20	84,48	93,66	30,57	41,23	51,15	57,96
1979	98,99	100,00	100,00	100,00	87,59	96,22	99,73	100,00	59,95	74,78	88,67	95,68	32,70	44,71	54,96	64,33
1980	100,00	100,00	100,00	100,00	89,30	98,01	100,00	100,00	62,33	76,81	90,01	95,90	35,62	48,24	58,68	68,67
1981	99,88	100,00	100,00	100,00	86,29	96,13	100,00	100,00	60,49	74,14	86,41	95,47	34,56	46,90	57,21	66,45
1982	99,89	100,00	100,00	100,00	86,49	95,80	100,00	100,00	61,63	75,54	88,65	98,24	36,55	49,09	60,10	71,28
1983	99,89	100,00	100,00	100,00	87,79	96,60	100,00	100,00	64,35	78,09	90,58	99,34	39,43	52,68	64,13	75,25
1984	99,89	100,00	100,00	100,00	87,40	96,60	100,00	100,00	62,32	76,40	89,76	99,34	37,24	49,34	60,02	70,48
1988	99,89	100,00	100,00	100,00	88,55	96,33	100,00	100,00	62,87	77,27	90,64	99,34	36,20	48,47	60,19	73,17
1989	100,00	100,00	100,00	100,00	91,12	97,81	100,00	100,00	64,66	80,88	94,63	100,00	37,64	50,52	63,01	76,16
1990	100,00	100,00	100,00	100,00	94,41	99,34	100,00	100,00	68,27	85,15	97,10	100,00	39,40	53,81	66,85	81,37
1991	100,00	100,00	100,00	100,00	93,10	99,29	100,00	100,00	67,42	84,34	97,26	100,00	38,61	53,34	64,90	78,86
1992	98,91	100,00	100,00	100,00	91,19	97,65	99,45	100,00	67,54	84,35	96,00	99,73	39,52	54,46	67,21	81,94
1993	98,90	100,00	100,00	100,00	89,65	97,48	99,45	100,00	66,37	83,24	94,58	99,73	39,81	54,33	66,76	80,78
1994	98,90	100,00	100,00	100,00	90,85	97,86	99,45	100,00	68,13	83,73	94,80	99,73	40,80	55,53	67,91	82,20
1995	98,90	100,00	100,00	100,00	88,66	97,43	99,45	100,00	65,12	80,89	93,54	99,73	38,66	52,14	65,22	80,01
1996	98,91	100,00	100,00	100,00	89,76	97,37	99,45	100,00	66,12	82,38	92,94	99,73	39,19	52,71	66,45	81,23
1997	100,00	100,00	100,00	100,00	90,90	98,74	100,00	100,00	65,51	82,12	93,62	100,00	38,72	51,86	65,57	81,87
1998	100,00	100,00	100,00	100,00	92,78	98,99	100,00	100,00	69,30	85,19	94,87	100,00	41,90	55,95	69,49	82,66
1999	99,94	100,00	100,00	100,00	90,79	98,54	100,00	100,00	67,68	84,57	94,60	100,00	41,21	55,62	69,46	83,30
2000	99,94	100,00	100,00	100,00	91,12	98,60	100,00	100,00	67,20	84,01	94,67	100,00	40,61	55,46	68,27	82,23
2001	99,94	100,00	100,00	100,00	90,22	98,67	100,00	100,00	65,57	80,24	91,11	99,05	39,52	53,43	64,87	78,27
2002	99,94	100,00	100,00	100,00	90,09	98,79	100,00	100,00	64,89	80,41	91,41	99,17	38,80	52,78	64,28	76,00
2003	99,95	100,00	100,00	100,00	89,56	98,79	100,00	100,00	62,75	79,34	91,32	99,18	35,99	49,07	61,15	74,56
2004	100,00	100,00	100,00	100,00	90,42	99,18	100,00	100,00	62,76	79,41	92,06	99,18	35,93	48,58	60,51	74,48
2005	100,00	100,00	100,00	100,00	91,40	99,18	100,00	100,00	64,55	82,03	93,75	100,00	37,32	50,52	63,40	76,33
2006	100,00	100,00	100,00	100,00	92,22	99,18	100,00	100,00	66,43	85,05	95,84	100,00	38,50	52,68	66,32	79,19
2007	100,00	100,00	100,00	100,00	93,43	99,51	100,00	100,00	68,40	86,36	96,33	100,00	39,81	53,94	67,80	81,71
MÍNIMA	98,90	100,00	100,00	100,00	83,12	94,60	99,28	100,00	57,83	72,20	84,48	93,66	30,57	41,23	51,15	57,96
MÉDIA	99,59	100,00	100,00	100,00	88,91	97,45	99,81	100,00	64,03	79,81	92,06	98,91	37,37	50,17	61,61	73,35
MÁXIMA	100,00	100,00	100,00	100,00	94,41	99,51	100,00	100,00	69,30	86,36	97,26	100,00	41,90	55,95	69,49	83,30
máx-mín	1,10	0,00	0,00	0,00	11,29	4,91	0,72	0,00	11,47	14,16	12,78	6,34	11,33	14,72	18,34	25,34
máx-méd	0,41	0,00	0,00	0,00	5,50	2,06	0,19	0,00	5,27	6,55	5,20	1,09	4,53	5,78	7,88	9,95
méd-mín	0,69	0,00	0,00	0,00	5,79	2,85	0,53	0,00	6,20	7,61	7,58	5,25	6,80	8,94	10,46	15,39

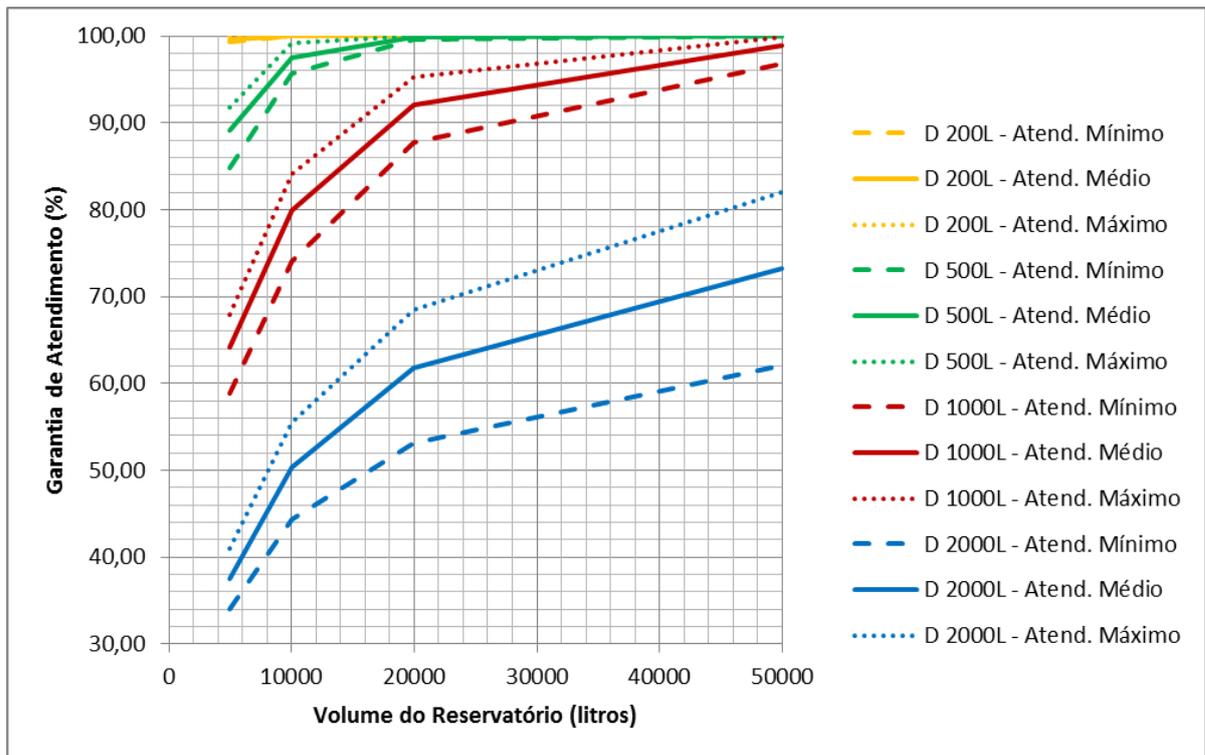
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 7 – Garantia de atendimento à demanda considerando séries temporais de tamanho 5 anos



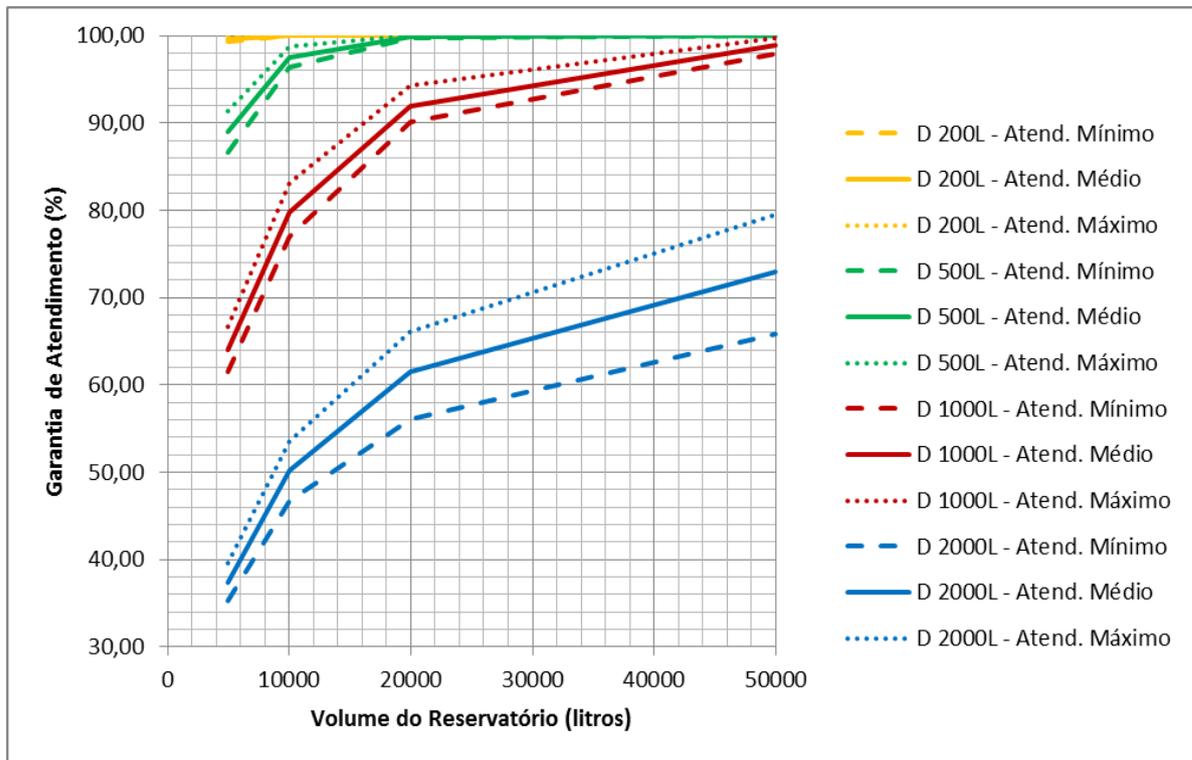
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 8 – Garantia de atendimento à demanda considerando séries temporais de tamanho 10 anos



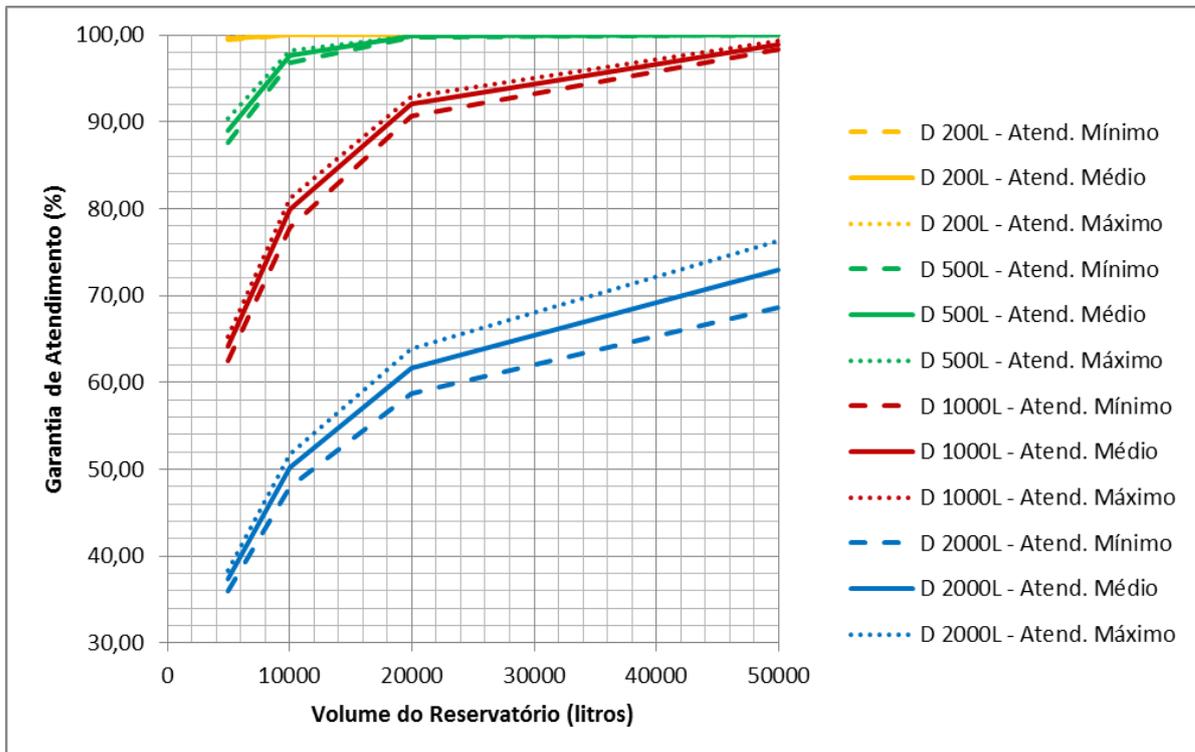
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 9 – Garantia de atendimento à demanda considerando séries temporais de tamanho 20 anos



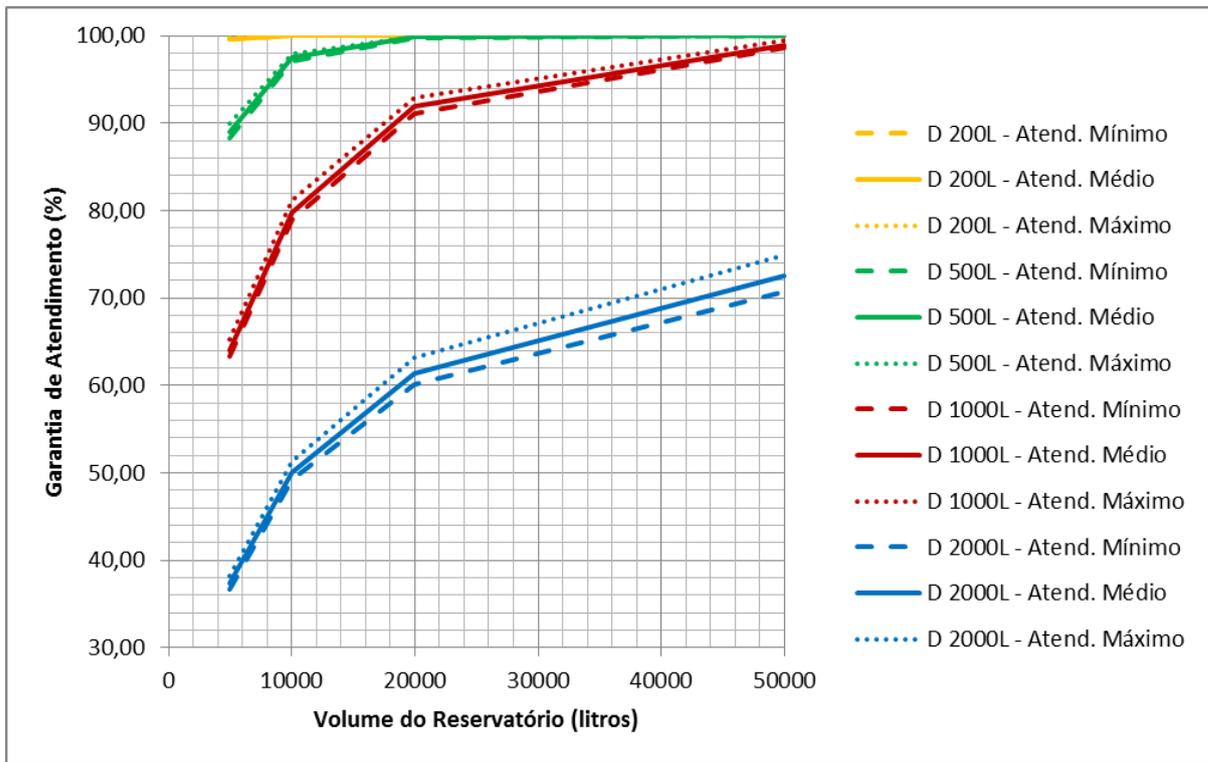
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 10 – Garantia de atendimento à demanda considerando séries temporais de tamanho 30 anos



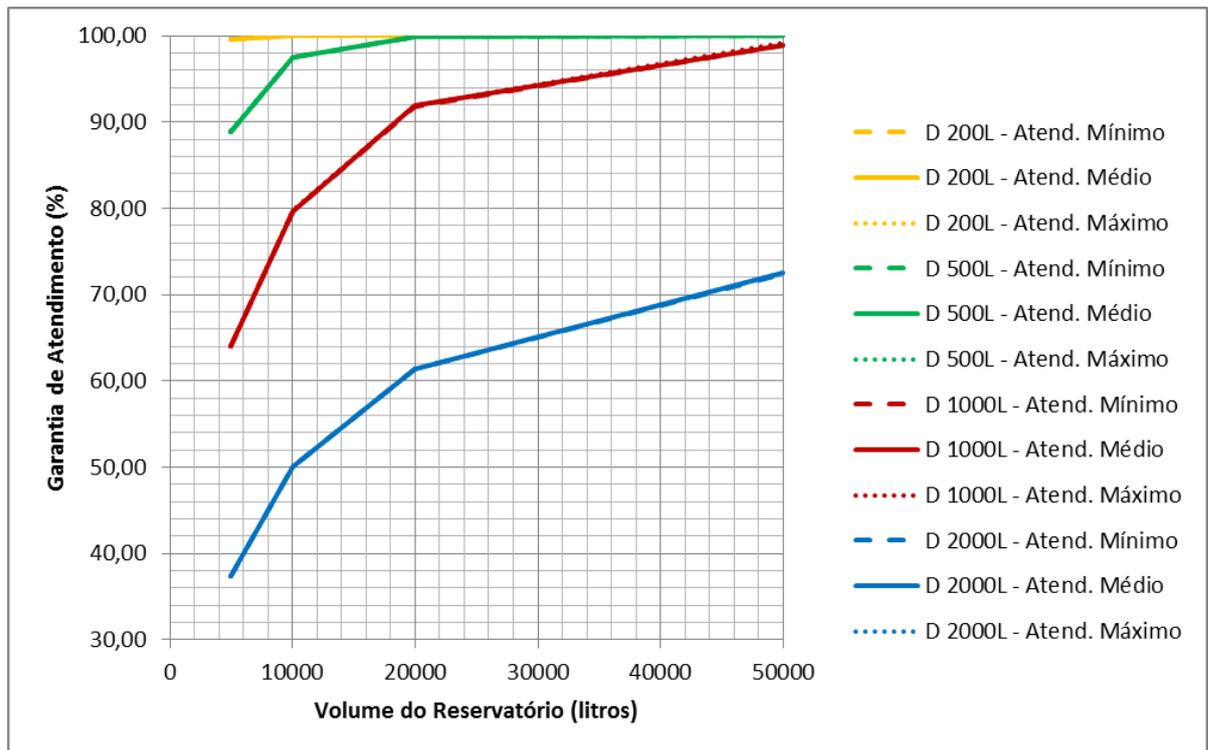
(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 11 – Garantia de atendimento à demanda considerando séries temporais de tamanho 40 anos



(fonte: elaborado pelo autor)

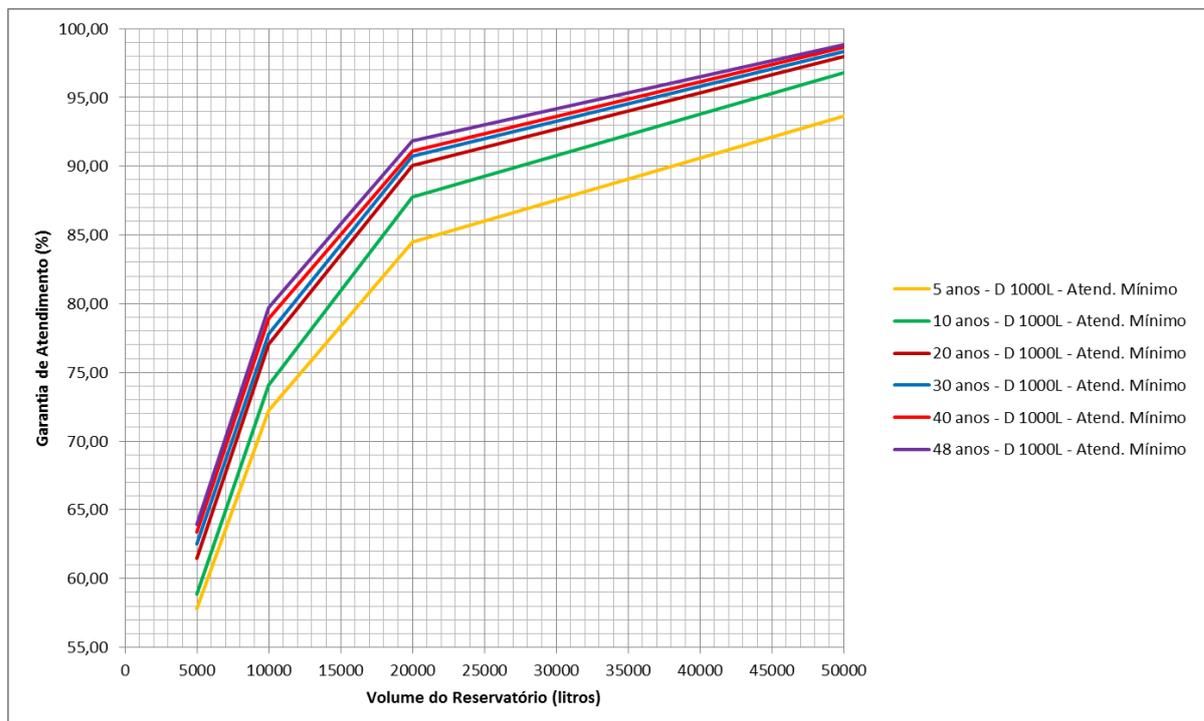
Figura 12 – Garantia de atendimento à demanda considerando séries temporais de tamanho 48 anos



(fonte: elaborado pelo autor)

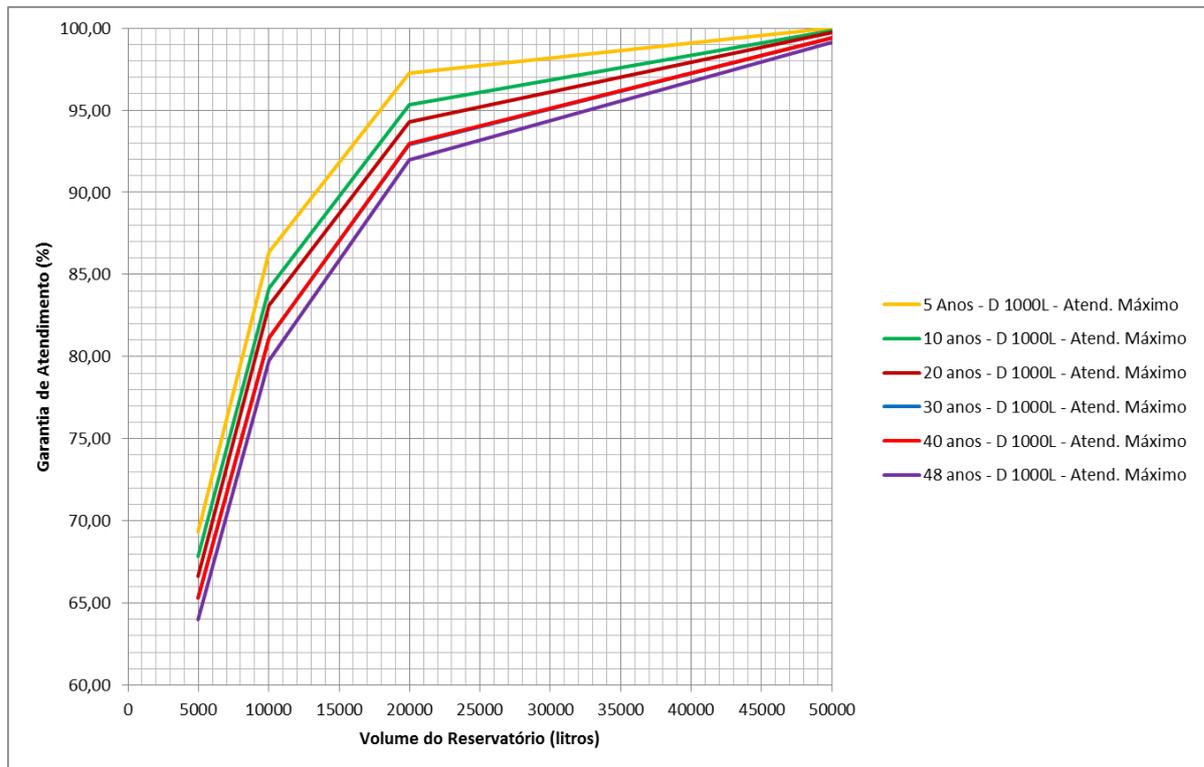
As figuras 13 e 14 apresentam outro modelo de gráfico gerado, de atendimento mínimo e máximo, respectivamente, para diferentes tamanhos de séries. Esses gráficos expostos referem-se a uma demanda de 1.000 litros/dia. Os gráficos referentes às demais demandas encontram-se no apêndice G. Eles também evidenciam a importância de se ter uma grande disponibilidade de dados, uma vez que séries de tamanhos menores possuem uma maior imprecisão na garantia de atendimento à demanda em comparação a séries de tamanhos maiores, pois podem estar considerando justamente um período muito mais chuvoso ou um período muito menos chuvoso. Considerando-se uma série com tamanho de 48 anos, por exemplo, para uma demanda de 1.000 litros e um reservatório de 10.000 litros, a garantia de atendimento à demanda mínima e máxima é igual a 80%. Se for considerada uma série com tamanho de 5 anos, para a mesma demanda e volume de reservatório, a garantia mínima é de 72% e máxima de 86%, o que significa que essa garantia pode estar sendo subestimada ou superestimada, dependendo do período com dados disponíveis.

Figura 13 – Garantia de atendimento mínimo à demanda para diferentes tamanhos de séries temporais de precipitação para uma demanda de 1.000 litros



(fonte: elaborado pelo autor)

Figura 14 – Garantia de atendimento máximo à demanda para diferentes tamanhos de séries temporais de precipitação para uma demanda de 1.000 litros

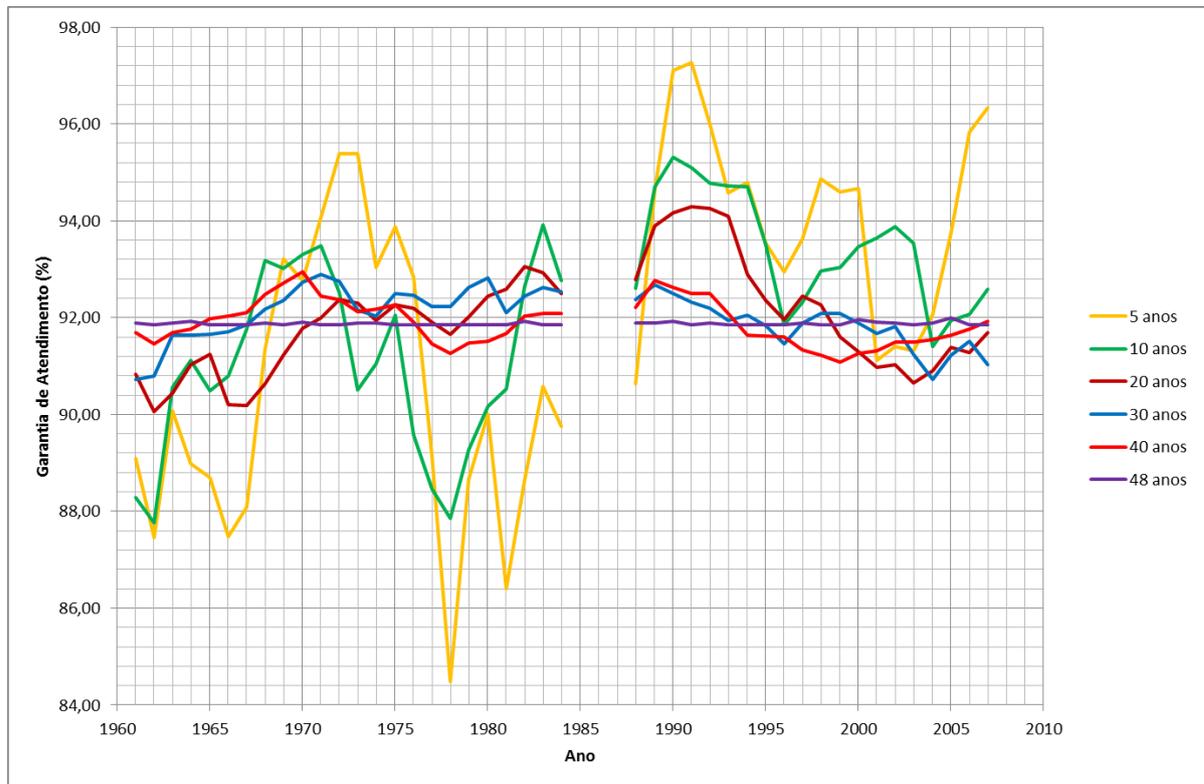


(fonte: elaborado pelo autor)

Por fim, a figura 15 mostra o último modelo de gráfico desenvolvido, de garantia de atendimento para diferentes tamanhos e ano inicial das séries temporais, considerando um mesmo volume e demanda. O gráfico foi elaborado para uma demanda de 1.000 litros/dia e um volume de reservatório de 20.000 litros, onde no eixo das abscissas está o ano de início (1961) até o início do último período (2007) e no eixo das ordenadas está a garantia de atendimento à demanda. Cada uma das seis curvas está associada a um tamanho de série e mostra todas as garantias estimadas para as diferentes séries desse comprimento, colocando o valor da garantia no ano de início da série.

Esse gráfico, da figura 15, destaca o quanto poderia estar sendo subestimada ou superestimada a garantia de atendimento à demanda em casos em que se trabalha com séries de tamanho pequeno. Considerando-se que o valor dado pela série de 48 anos seja o correto, percebe-se claramente como a curva de séries de 5 anos é muito mais irregular, gerando dados bem menos precisos. Além disso, fica evidente que um período chuvoso ou de seca influencia mais na garantia de atendimento quanto menor for o tamanho da série.

Figura 15 – Garantia de atendimento à demanda para diferentes tamanhos e ano inicial das séries temporais considerando um reservatório com volume de 20.000 litros e uma demanda de 1.000 litros



(fonte: elaborado pelo autor)

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O intuito desse trabalho foi desenvolver uma ferramenta prática que avaliasse o impacto do tamanho das séries temporais de precipitação na eficácia de sistemas de aproveitamento da água da chuva, uma vez que uma das principais fontes de incerteza na estimativa da garantia de atendimento é associada à representatividade da série de precipitação utilizada nas análises. Os dados pluviométricos utilizados se referem ao período de 01/01/1961 a 31/12/2011, da cidade de Porto Alegre. Foram consideradas diferentes séries de precipitação hipotéticas a partir da série original, com tamanho de 5, 10, 20, 30, 40 e 48 anos, começando em cada ano do período e, por meio da elaboração de um modelo de cálculo, foi possível simular o balanço hídrico de um reservatório de um sistema de aproveitamento da água da chuva. Como resultado da combinação das duas variáveis (demanda de consumo e volume do reservatório) e dos dados das 264 séries hipotéticas de precipitação foram realizadas 4.224 diferentes simulações, em cada uma delas sendo obtido o valor da garantia de atendimento à demanda, que originaram as tabelas resumo e gráficos comparativos.

A partir dessas tabelas e gráficos foi verificado que a disponibilidade de um grande número de dados de séries históricas de precipitação reduz a chance de se subestimar ou superestimar a garantia de atendimento à demanda, ou seja, a garantia de atendimento é influenciada pelo tamanho da série de precipitação. Quanto mais curta a série, maior a incerteza em obter o verdadeiro valor da garantia, uma vez que os dados são muito menos precisos, pois podem estar considerando justamente um período muito mais chuvoso ou um período muito menos chuvoso.

No estudo de caso analisado, considerando um volume de reservatório de 20.000 litros e uma demanda de 1.000 litros, e utilizando uma série com tamanho de 5 anos, a garantia pode ser subestimada em 8% ou superestimada em 5% se comparada à obtida com uma série de 48 anos. Quando utilizada uma série de 20 anos, a garantia pode ser subestimada ou superestimada em 2%. Com séries de tamanho maior ou igual a 30 anos, as diferenças no valor da garantia foram muito pequenas.

Essa ferramenta prática desenvolvida permite que se estime o desempenho de sistemas de aproveitamento da água da chuva, dando maior segurança ao projetista ao dimensionar o

sistema. Em locais com condições climáticas semelhantes às de Porto Alegre, a ferramenta poderá ser utilizada apenas alterando-se os valores das variáveis, de acordo com as necessidades do projeto, como área de captação, demanda de consumo, coeficiente de perda e volume do reservatório. Como resultado, o projetista obterá a garantia de atendimento à demanda para aquele volume de reservatório especificado.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, W. C.; KIPERSTOK, A.; ZANELLA, L.; PHILLIPI, L. F.; SANTOS, M. F. L. dos; VALENTINA, R. S. D. V.; OLIVEIRA, L. V. de; GONÇALVES, R. F. Tecnologias de conservação em sistemas prediais. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso Racional de Água e Energia**: conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: Abes, 2009. p. 219-294.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.
- \_\_\_\_\_. **NBR 15.527**: água de chuva – aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos. Rio de Janeiro, 2007.
- CASCABEL. Câmara Municipal. **Lei n. 4.631**, de 02 de agosto de 2007. Institui o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água e Reuso em Edificações, e dá outras providências. Cascavel, 2007. Disponível em: <[http://www.cascavel.pr.gov.br/servicos/leis/detalhes.php?lei\\_num=4631](http://www.cascavel.pr.gov.br/servicos/leis/detalhes.php?lei_num=4631)>. Acesso em: 13 jun. 2013.
- CHEUNG, P. B.; KIPERSTOK, A.; COHIM, E.; ALVES, W. C.; PHILIPPI, L. S.; ZANELLA, L.; ABE, N.; GOMES, H. P.; SILVA, B. C. da; PERTEL, M.; GONÇALVES, R. F. Consumo de Água. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso racional de água e energia**: conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: Abes, 2009. p. 36-95.
- CIRILO, J. A. O papel da sociedade na gestão dos recursos hídricos. In: CUNHA, L. V. (Coord.). **Reflexos da Água**. Lisboa: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2007. p. 68-69.
- CUNHA, L. V. Água: como viver e conviver com a mudança. In: CUNHA, L. V. (Coord.). **Reflexos da Água**. Lisboa: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2007. p. 12-19.
- CURITIBA. Prefeitura Municipal. **Decreto n. 293**, de 22 de março de 2006. Regulamenta a Lei n. 10785/03 e dispõe sobre os critérios do uso e conservação racional da água nas edificações e dá outras providências. Curitiba, 2006. Disponível em: <<http://www.leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/decreto/2006/29/293/decreto-n-293-2006-regulamenta-a-lei-n-10785-03-e-dispoe-sobre-os-criterios-do-uso-e-conservacao-racional-da-agua-nas-edificacoes-e-da-outras-providencias-2006-03-22.html>>. Acesso em: 13 jun. 2013.
- DORNELLES, F. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial**. 2012. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- FRANCO, A. B. Complexidade crescente dos problemas da água. In: CUNHA, L. V. (Coord.). **Reflexos da Água**. Lisboa: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2007. p. 164-165.

GONÇALVES, R. F.; JORDÃO, E. P.; JANUZZI, G. Introdução. In: GONÇALVES, R. F. (Coord.). **Uso racional de água e energia**: conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro: Abes, 2009. p. 21-34.

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

OFICINA DE TEXTOS. Dicas para reaproveitamento de água. [S. l.], 2013. Disponível em: <<http://www.comunitexto.com.br/dicas-para-reaproveitamento-de-agua/#.UcCNUpS5fIX>>. Acesso em: 13 jun. 2013.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. **Lei n. 10.506**, de 5 de agosto de 2008. Institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas. Porto Alegre, 2008. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000029949.DOCN.&l=20&u=%2Fnetahhtml%2Fsirel%2Fsimples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>>. Acesso em: 16 jun. 2013.

\_\_\_\_\_. Prefeitura Municipal. **Decreto n. 16.305**, de 26 de maio de 2009. Regulamenta a Lei n. 10.506, de 5 de agosto de 2008, que institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas. Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www2.portoalegre.rs.gov.br/cgi-bin/nph-brs?s1=000030452.DOCN.&l=20&u=%2Fnetahhtml%2Fsirel%2Fsimples.html&p=1&r=1&f=G&d=atos&SECT1=TEXT>>. Acesso em: 16 jun. 2013.

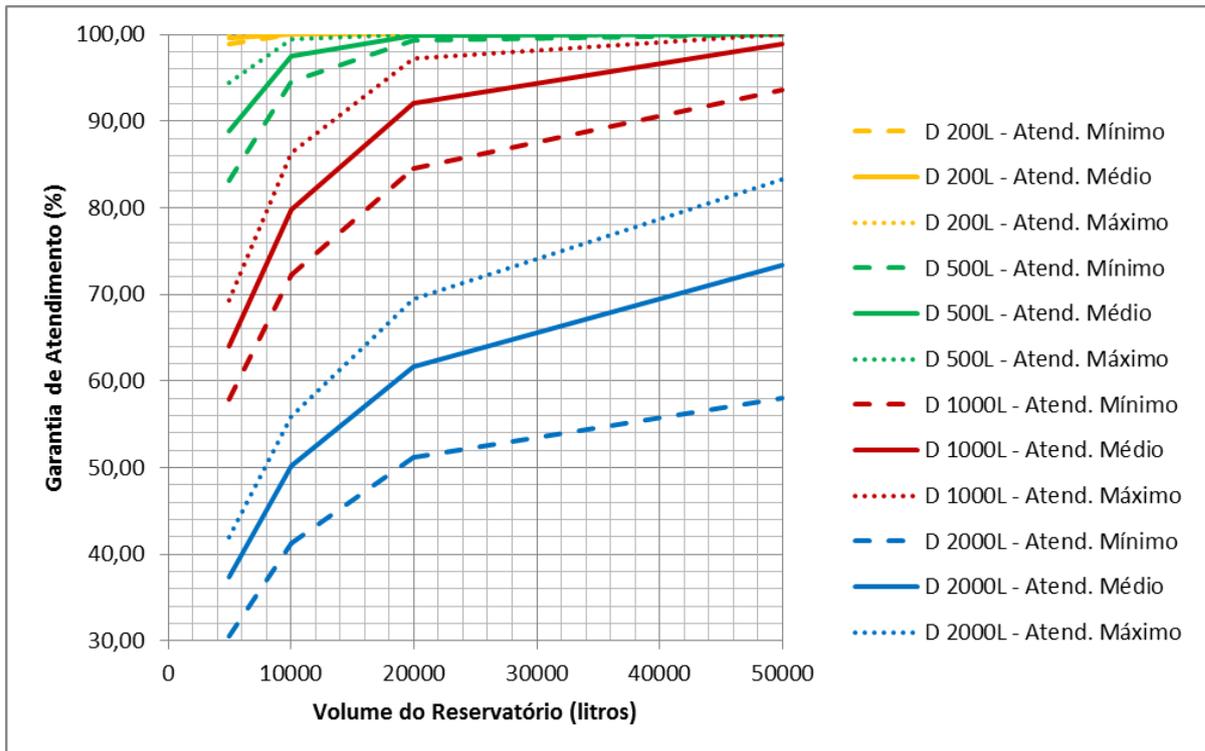
TOMAZ, P. **Economia de água para empresas e residências**: um estudo atualizado sobre o uso racional da água. 2. ed. São Paulo: Navegar, 2001.

\_\_\_\_\_. **Aproveitamento de água de chuva**: aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. 2. ed. São Paulo: Navegar, 2003.

**APÊNDICE A – Garantia de atendimento à demanda considerando séries  
temporais de 5 anos  
(elaborado pelo autor)**

Tabela Resumo - SÉRIES DE 5 ANOS																
Início da Série	Garantia de Atendimento (%)															
	D 200   V 5000	D 200   V 10000	D 200   V 20000	D 200   V 50000	D 500   V 5000	D 500   V 10000	D 500   V 20000	D 500   V 50000	D 1000   V 5000	D 1000   V 10000	D 1000   V 20000	D 1000   V 50000	D 2000   V 5000	D 2000   V 10000	D 2000   V 20000	D 2000   V 50000
1961	99,95	100,00	100,00	100,00	86,58	97,75	100,00	100,00	60,60	76,11	89,10	98,19	34,96	46,30	56,33	64,71
1962	99,12	100,00	100,00	100,00	85,65	96,50	99,73	100,00	59,04	74,59	87,46	97,75	34,34	45,18	54,65	62,71
1963	99,11	100,00	100,00	100,00	86,52	96,38	99,72	100,00	61,56	77,38	90,08	98,61	36,60	47,74	56,88	66,91
1964	99,11	100,00	100,00	100,00	85,13	95,27	99,28	100,00	59,19	75,22	88,98	98,16	35,63	46,49	55,29	66,31
1965	99,11	100,00	100,00	100,00	84,01	95,21	99,28	100,00	58,72	74,21	88,69	98,16	35,38	46,02	54,93	65,40
1966	99,11	100,00	100,00	100,00	83,12	94,60	99,28	100,00	59,11	73,15	87,47	98,16	34,65	45,24	54,26	64,29
1967	99,94	100,00	100,00	100,00	83,96	95,65	99,55	100,00	58,77	73,65	88,08	98,61	33,76	43,62	51,87	61,67
1968	100,00	100,00	100,00	100,00	86,86	96,55	99,56	100,00	63,49	78,60	91,35	99,56	36,89	48,93	59,33	70,39
1969	100,00	100,00	100,00	100,00	88,88	97,92	100,00	100,00	65,39	80,94	93,21	100,00	37,90	50,33	61,72	72,67
1970	99,51	100,00	100,00	100,00	88,70	97,26	99,89	100,00	65,72	80,86	92,76	100,00	38,01	50,69	62,21	74,05
1971	99,51	100,00	100,00	100,00	90,62	97,86	99,89	100,00	66,70	82,72	94,08	100,00	39,00	52,06	63,80	75,86
1972	99,51	100,00	100,00	100,00	90,68	98,19	99,89	100,00	67,98	83,88	95,39	100,00	39,97	53,84	66,78	78,23
1973	99,51	100,00	100,00	100,00	89,36	98,13	99,89	100,00	65,22	82,06	95,39	100,00	37,90	50,52	61,77	72,52
1974	99,51	100,00	100,00	100,00	88,69	97,31	99,89	100,00	65,26	81,34	93,03	98,35	37,54	50,11	61,09	71,13
1975	99,14	100,00	100,00	100,00	88,96	97,20	99,77	100,00	65,56	82,09	93,88	98,28	37,53	50,11	60,93	69,85
1976	99,08	100,00	100,00	100,00	88,42	97,00	99,75	100,00	64,28	80,21	92,83	98,16	36,40	48,90	59,80	69,00
1977	99,03	100,00	100,00	100,00	86,10	96,12	99,74	100,00	60,18	75,89	89,14	98,06	32,97	44,09	53,39	61,02
1978	98,99	100,00	100,00	100,00	84,62	94,67	99,73	100,00	57,83	72,20	84,48	93,66	30,57	41,23	51,15	57,98
1979	98,99	100,00	100,00	100,00	87,59	96,22	99,73	100,00	59,95	74,78	88,67	95,68	32,70	44,71	54,96	64,33
1980	100,00	100,00	100,00	100,00	89,30	98,01	100,00	100,00	62,33	76,81	90,01	95,90	35,62	48,24	58,68	68,67
1981	99,88	100,00	100,00	100,00	86,29	96,13	100,00	100,00	60,49	74,14	86,41	95,47	34,56	46,90	57,21	66,45
1982	99,89	100,00	100,00	100,00	86,49	95,80	100,00	100,00	61,63	75,54	88,65	98,24	36,55	49,09	60,10	71,28
1983	99,89	100,00	100,00	100,00	87,79	96,60	100,00	100,00	64,35	78,09	90,58	99,34	39,43	52,68	64,13	75,25
1984	99,89	100,00	100,00	100,00	87,40	96,60	100,00	100,00	62,32	76,40	89,76	99,34	37,24	49,34	60,02	70,48
1988	99,89	100,00	100,00	100,00	88,55	96,33	100,00	100,00	62,87	77,27	90,64	99,34	36,20	48,47	60,19	73,17
1989	100,00	100,00	100,00	100,00	91,12	97,81	100,00	100,00	64,66	80,88	94,63	100,00	37,64	50,52	63,01	76,16
1990	100,00	100,00	100,00	100,00	94,41	99,34	100,00	100,00	68,27	85,15	97,10	100,00	39,40	53,81	66,85	81,37
1991	100,00	100,00	100,00	100,00	93,10	99,29	100,00	100,00	67,42	84,34	97,26	100,00	38,61	53,34	64,90	78,86
1992	98,91	100,00	100,00	100,00	91,19	97,65	99,45	100,00	67,54	84,35	96,00	99,73	39,52	54,46	67,21	81,94
1993	98,90	100,00	100,00	100,00	89,65	97,48	99,45	100,00	66,37	83,24	94,58	99,73	39,81	54,33	66,76	80,78
1994	98,90	100,00	100,00	100,00	90,85	97,86	99,45	100,00	68,13	83,73	94,80	99,73	40,80	55,53	67,91	82,20
1995	98,90	100,00	100,00	100,00	88,66	97,43	99,45	100,00	65,12	80,89	93,54	99,73	38,66	52,14	65,22	80,01
1996	98,91	100,00	100,00	100,00	89,76	97,37	99,45	100,00	66,12	82,38	92,94	99,73	39,19	52,71	66,45	81,23
1997	100,00	100,00	100,00	100,00	90,90	98,74	100,00	100,00	65,51	82,12	93,62	100,00	38,72	51,86	65,57	81,87
1998	100,00	100,00	100,00	100,00	92,78	98,99	100,00	100,00	69,30	85,19	94,87	100,00	41,90	55,95	69,49	82,66
1999	99,94	100,00	100,00	100,00	90,79	98,54	100,00	100,00	67,68	84,57	94,60	100,00	41,21	55,62	69,46	83,30
2000	99,94	100,00	100,00	100,00	91,12	98,60	100,00	100,00	67,20	84,01	94,67	100,00	40,61	55,46	68,27	82,23
2001	99,94	100,00	100,00	100,00	90,22	98,67	100,00	100,00	65,57	80,24	91,11	99,05	39,52	53,43	64,87	78,27
2002	99,94	100,00	100,00	100,00	90,09	98,79	100,00	100,00	64,89	80,41	91,41	99,17	38,80	52,78	64,28	76,00
2003	99,95	100,00	100,00	100,00	89,56	98,79	100,00	100,00	62,75	79,34	91,32	99,18	35,99	49,07	61,15	74,56
2004	100,00	100,00	100,00	100,00	90,42	99,18	100,00	100,00	62,76	79,41	92,06	99,18	35,93	48,58	60,51	74,48
2005	100,00	100,00	100,00	100,00	91,40	99,18	100,00	100,00	64,55	82,03	93,75	100,00	37,32	50,52	63,40	76,33
2006	100,00	100,00	100,00	100,00	92,22	99,18	100,00	100,00	66,43	85,05	95,84	100,00	38,50	52,68	66,32	79,19
2007	100,00	100,00	100,00	100,00	93,43	99,51	100,00	100,00	68,40	86,36	96,33	100,00	39,81	53,94	67,80	81,71
MÍNIMO	98,90	100,00	100,00	100,00	83,12	94,60	99,28	100,00	57,83	72,20	84,48	93,66	30,57	41,23	51,15	57,98
MÉDIA	99,59	100,00	100,00	100,00	88,91	97,45	99,81	100,00	64,03	79,81	92,06	98,91	37,37	50,17	61,61	73,35
MÁXIMO	100,00	100,00	100,00	100,00	94,41	99,51	100,00	100,00	69,30	86,36	97,26	100,00	41,90	55,95	69,49	83,30
máx-mín	1,10	0,00	0,00	0,00	11,29	4,91	0,72	0,00	11,47	14,16	12,78	6,34	11,33	14,72	18,34	25,34
máx-méd	0,41	0,00	0,00	0,00	5,50	2,06	0,19	0,00	5,27	6,55	5,20	1,09	4,53	5,78	7,88	9,95
méd-mín	0,69	0,00	0,00	0,00	5,79	2,85	0,53	0,00	6,20	7,61	7,58	5,25	6,80	8,94	10,46	15,39

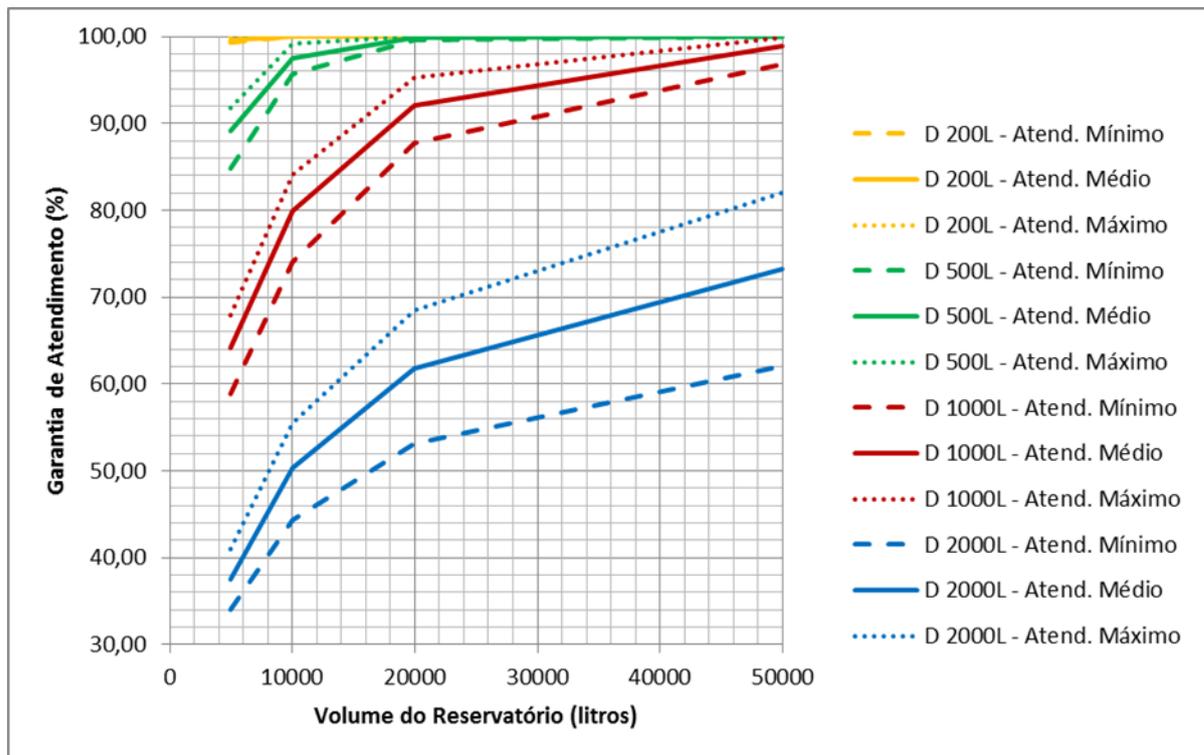
Séries de 5 Anos - Atendimento (%)				
Demanda l/dia	Volume l	Atend. Mínimo %	Atend. Médio %	Atend. Máximo %
200	5000	98,90	99,59	100,00
	10000	100,00	100,00	100,00
	20000	100,00	100,00	100,00
	50000	100,00	100,00	100,00
500	5000	83,12	88,91	94,41
	10000	94,60	97,45	99,51
	20000	99,28	99,81	100,00
	50000	100,00	100,00	100,00
1000	5000	57,83	64,03	69,30
	10000	72,20	79,81	86,36
	20000	84,48	92,06	97,26
	50000	93,66	98,91	100,00
2000	5000	30,57	37,37	41,90
	10000	41,23	50,17	55,95
	20000	51,15	61,61	69,49
	50000	57,96	73,35	83,30



**APÊNDICE B – Garantia de atendimento à demanda considerando séries  
temporais de 10 anos  
(elaborado pelo autor)**

Tabela Resumo - SÉRIES DE 10 ANOS																
Início da Série	Garantia de Atendimento (%)															
	D 200   V 5000	D 200   V 10000	D 200   V 20000	D 200   V 50000	D 500   V 5000	D 500   V 10000	D 500   V 20000	D 500   V 50000	D 1000   V 5000	D 1000   V 10000	D 1000   V 20000	D 1000   V 50000	D 2000   V 5000	D 2000   V 10000	D 2000   V 20000	D 2000   V 50000
1961	99,53	100,00	100,00	100,00	84,86	96,19	99,64	100,00	59,78	74,64	88,29	98,18	34,75	45,61	55,06	64,34
1962	99,53	100,00	100,00	100,00	84,81	96,08	99,64	100,00	58,88	74,10	87,77	98,18	34,02	44,38	53,19	62,11
1963	99,56	100,00	100,00	100,00	86,66	96,47	99,64	100,00	62,45	77,83	90,56	99,09	36,69	48,21	57,90	68,11
1964	99,56	100,00	100,00	100,00	87,02	96,60	99,64	100,00	62,31	78,11	91,11	99,09	36,69	48,34	58,31	69,11
1965	99,31	100,00	100,00	100,00	86,37	96,24	99,59	100,00	62,24	77,50	90,49	99,09	36,71	48,29	58,35	69,10
1966	99,31	100,00	100,00	100,00	86,90	96,24	99,59	100,00	62,88	77,97	90,80	99,09	36,79	48,56	58,79	69,35
1967	99,72	100,00	100,00	100,00	87,32	96,93	99,72	100,00	63,36	78,78	91,77	99,31	36,83	48,72	59,35	70,02
1968	99,75	100,00	100,00	100,00	88,08	97,34	99,73	100,00	64,22	80,14	93,18	99,78	37,34	49,59	60,36	71,26
1969	99,75	100,00	100,00	100,00	88,60	97,62	99,95	100,00	65,19	80,87	93,01	99,18	37,66	50,08	61,13	71,13
1970	99,33	100,00	100,00	100,00	88,83	97,23	99,83	100,00	65,56	81,46	93,31	99,16	37,72	50,32	61,58	71,72
1971	99,31	100,00	100,00	100,00	89,58	97,45	99,83	100,00	65,47	81,53	93,49	99,13	37,71	50,48	61,68	71,90
1972	99,29	100,00	100,00	100,00	88,58	97,24	99,82	100,00	64,34	80,21	92,52	99,11	36,70	49,27	60,40	69,74
1973	99,27	100,00	100,00	100,00	87,23	96,58	99,82	100,00	61,91	77,64	90,50	97,16	34,61	46,35	57,00	65,51
1974	99,27	100,00	100,00	100,00	88,20	96,82	99,82	100,00	62,87	78,37	91,04	97,16	35,37	47,66	58,15	67,44
1975	99,55	100,00	100,00	100,00	89,09	97,58	99,88	100,00	63,92	79,39	92,05	97,16	36,57	49,08	59,56	68,51
1976	99,49	100,00	100,00	100,00	87,28	96,56	99,88	100,00	62,27	77,04	89,58	96,80	35,41	47,73	58,25	67,16
1977	99,49	100,00	100,00	100,00	86,16	95,83	99,88	100,00	60,83	75,49	88,46	96,80	34,81	46,60	56,66	65,70
1978	99,49	100,00	100,00	100,00	86,37	95,74	99,88	100,00	61,31	75,33	87,85	96,80	35,37	47,40	58,01	66,93
1979	99,49	100,00	100,00	100,00	87,49	96,43	99,88	100,00	61,26	75,67	89,27	97,70	35,18	47,23	57,72	67,24
1980	99,94	100,00	100,00	100,00	88,75	97,11	100,00	100,00	62,47	76,88	90,17	97,76	35,87	48,21	59,14	70,36
1981	99,94	100,00	100,00	100,00	88,64	97,00	100,00	100,00	62,52	77,48	90,52	97,83	36,11	48,64	60,03	71,14
1982	99,94	100,00	100,00	100,00	90,21	97,49	100,00	100,00	64,87	80,15	92,64	99,14	37,94	51,35	63,26	75,61
1983	99,95	100,00	100,00	100,00	90,39	97,95	100,00	100,00	65,80	81,13	93,92	99,67	38,96	52,88	64,38	76,73
1984	99,40	100,00	100,00	100,00	89,19	97,02	99,73	100,00	64,82	80,26	92,77	99,53	38,32	51,79	63,51	75,77
1988	99,40	100,00	100,00	100,00	89,10	96,91	99,73	100,00	64,62	80,26	92,61	99,53	38,01	51,40	63,42	76,45
1989	99,45	100,00	100,00	100,00	90,99	97,84	99,73	100,00	66,37	82,31	94,71	99,86	39,19	52,97	65,43	79,18
1990	99,45	100,00	100,00	100,00	91,54	98,38	99,73	100,00	66,69	83,02	95,32	99,86	39,03	52,97	65,84	79,95
1991	99,45	100,00	100,00	100,00	91,43	98,33	99,73	100,00	66,66	83,36	95,10	99,86	38,84	52,89	65,64	80,04
1992	99,41	100,00	100,00	100,00	90,79	98,15	99,71	100,00	66,45	82,99	94,78	99,85	39,09	53,11	66,13	81,20
1993	99,41	100,00	100,00	100,00	91,10	98,18	99,71	100,00	67,73	84,15	94,72	99,85	40,78	55,08	68,03	81,65
1994	99,38	100,00	100,00	100,00	90,83	98,18	99,71	100,00	67,86	84,12	94,71	99,85	40,93	55,48	68,42	82,01
1995	99,38	100,00	100,00	100,00	89,71	97,91	99,71	100,00	65,99	82,10	93,50	99,85	39,51	53,56	66,37	80,22
1996	99,38	100,00	100,00	100,00	89,94	97,94	99,71	100,00	65,72	81,15	91,86	99,41	39,28	52,90	65,42	79,15
1997	99,97	100,00	100,00	100,00	90,47	98,76	100,00	100,00	65,18	81,15	92,32	99,56	38,76	52,26	64,62	77,94
1998	99,97	100,00	100,00	100,00	91,06	98,88	100,00	100,00	65,65	81,91	92,97	99,56	38,68	52,12	64,74	78,21
1999	99,97	100,00	100,00	100,00	90,36	98,82	100,00	100,00	64,89	81,56	93,03	99,56	38,31	51,69	64,36	78,15
2000	99,97	100,00	100,00	100,00	91,18	98,91	100,00	100,00	65,63	82,65	93,47	99,56	38,72	52,63	65,33	78,27
2001	99,97	100,00	100,00	100,00	91,29	98,94	100,00	100,00	66,03	82,82	93,65	99,56	38,97	53,03	65,65	78,38
2002	99,97	100,00	100,00	100,00	91,77	99,15	100,00	100,00	66,51	83,34	93,88	99,59	39,25	53,23	65,88	78,51
2003	99,97	100,00	100,00	100,00	91,14	99,09	100,00	100,00	65,76	82,36	93,53	99,59	38,41	52,15	64,61	77,48
2004	99,97	100,00	100,00	100,00	90,22	98,96	100,00	100,00	63,73	79,89	91,40	98,68	36,68	49,64	61,51	73,37
2005	99,97	100,00	100,00	100,00	90,00	98,93	100,00	100,00	64,15	80,32	91,94	99,10	37,08	49,68	61,69	73,12
2006	99,97	100,00	100,00	100,00	89,48	98,47	100,00	100,00	63,54	80,31	92,06	99,10	36,54	49,11	60,86	71,65
2007	99,97	100,00	100,00	100,00	89,95	98,63	100,00	100,00	64,37	81,10	92,58	99,10	37,30	49,96	61,74	72,56
MÍNIMO	99,27	100,00	100,00	100,00	84,81	95,74	99,59	100,00	58,88	74,10	87,77	96,80	34,02	44,38	53,19	62,11
MÉDIA	99,63	100,00	100,00	100,00	89,07	97,57	99,84	100,00	64,21	79,97	92,12	98,93	37,44	50,29	61,76	73,26
MÁXIMO	99,97	100,00	100,00	100,00	91,77	99,15	100,00	100,00	67,86	84,15	95,32	99,86	40,93	55,48	68,42	82,01
máx-mín	0,70	0,00	0,00	0,00	6,96	3,41	0,41	0,00	8,98	10,05	7,55	3,06	6,91	11,10	15,23	19,90
máx-méd	0,34	0,00	0,00	0,00	2,70	1,58	0,16	0,00	3,65	4,18	3,20	0,93	3,49	5,19	6,66	8,75
méd-mín	0,36	0,00	0,00	0,00	4,26	1,83	0,25	0,00	5,33	5,87	4,35	2,13	3,42	5,91	8,57	11,15

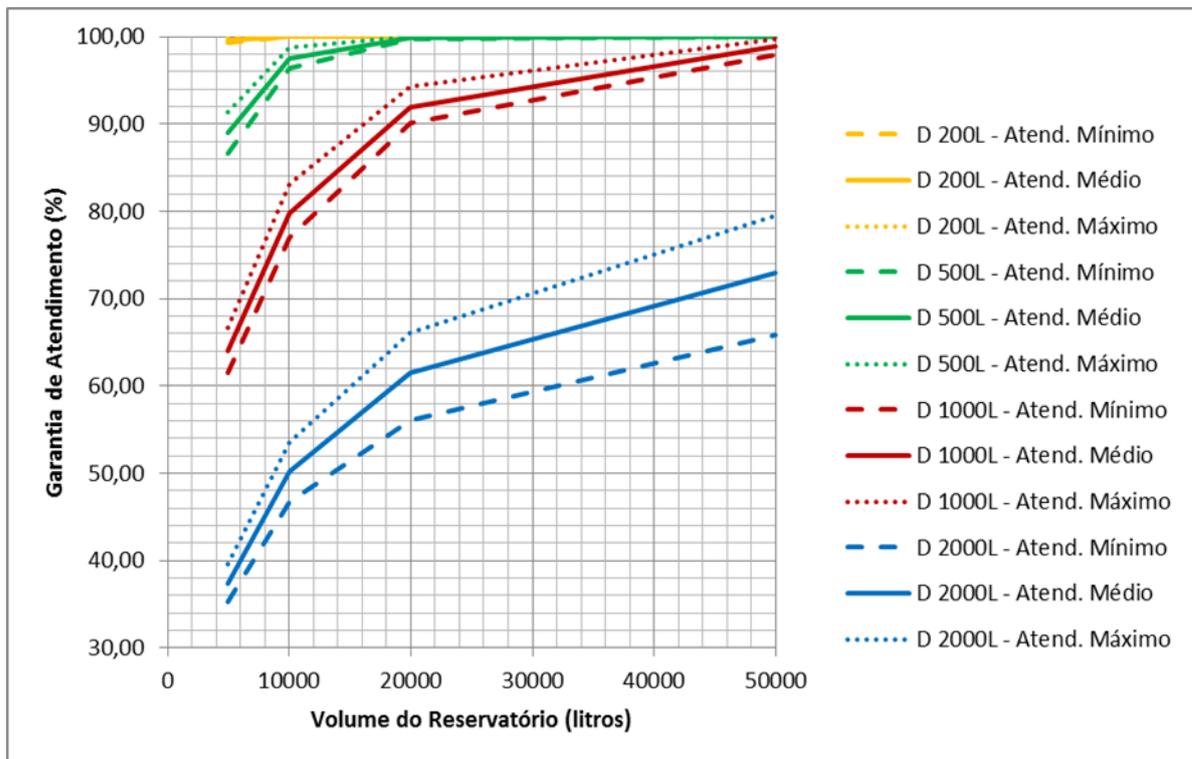
Séries de 10 Anos - Atendimento (%)				
Demanda l/dia	Volume l	Atend. Mínimo %	Atend. Médio %	Atend. Máximo %
200	5000	99,27	99,63	99,97
	10000	100,00	100,00	100,00
	20000	100,00	100,00	100,00
	50000	100,00	100,00	100,00
500	5000	84,81	89,07	91,77
	10000	95,74	97,57	99,15
	20000	99,59	99,84	100,00
	50000	100,00	100,00	100,00
1000	5000	58,88	64,21	67,86
	10000	74,10	79,97	84,15
	20000	87,77	92,12	95,32
	50000	96,80	98,93	99,86
2000	5000	34,02	37,44	40,93
	10000	44,38	50,29	55,48
	20000	53,19	61,76	68,42
	50000	62,11	73,26	82,01



**APÊNDICE C – Garantia de atendimento à demanda considerando séries  
temporais de 20 anos  
(elaborado pelo autor)**

Tabela Resumo - SÉRIES DE 20 ANOS																
Início da Série	Garantia de Atendimento (%)															
	D 200   V 5000	D 200   V 10000	D 200   V 20000	D 200   V 50000	D 500   V 5000	D 500   V 10000	D 500   V 20000	D 500   V 50000	D 1000   V 5000	D 1000   V 10000	D 1000   V 20000	D 1000   V 50000	D 2000   V 5000	D 2000   V 10000	D 2000   V 20000	D 2000   V 50000
1961	99,42	100,00	100,00	100,00	87,17	96,81	99,73	100,00	62,53	78,01	90,83	98,64	36,17	47,93	58,15	67,63
1962	99,41	100,00	100,00	100,00	86,61	96,64	99,73	100,00	61,48	77,03	90,06	98,63	35,28	46,71	56,05	65,79
1963	99,42	100,00	100,00	100,00	86,92	96,52	99,73	100,00	62,12	77,64	90,43	98,17	35,67	47,25	57,37	66,77
1964	99,42	100,00	100,00	100,00	87,48	96,71	99,73	100,00	62,51	78,09	91,02	98,17	36,03	47,94	58,09	67,91
1965	99,42	100,00	100,00	100,00	87,67	96,88	99,73	100,00	63,00	78,40	91,24	98,17	36,61	48,62	58,93	68,67
1966	99,39	100,00	100,00	100,00	87,08	96,39	99,73	100,00	62,54	77,53	90,21	97,99	36,10	48,12	58,42	67,94
1967	99,61	100,00	100,00	100,00	86,76	96,41	99,80	100,00	62,12	77,21	90,18	98,11	35,84	47,66	57,95	67,67
1968	99,63	100,00	100,00	100,00	87,27	96,58	99,80	100,00	62,83	77,85	90,64	98,36	36,40	48,55	59,24	68,97
1969	99,63	100,00	100,00	100,00	88,07	97,05	99,91	100,00	63,32	78,38	91,22	98,48	36,48	48,71	59,42	68,98
1970	99,63	100,00	100,00	100,00	88,78	97,17	99,91	100,00	64,00	79,13	91,78	98,48	36,79	49,22	60,25	70,68
1971	99,63	100,00	100,00	100,00	89,08	97,23	99,91	100,00	63,94	79,45	91,99	98,48	36,88	49,48	60,74	71,26
1972	99,63	100,00	100,00	100,00	89,35	97,31	99,91	100,00	64,56	80,08	92,38	98,48	37,31	50,27	61,73	72,39
1973	99,63	100,00	100,00	100,00	88,89	97,30	99,91	100,00	63,89	79,42	92,30	98,48	36,85	49,71	60,73	71,12
1974	99,34	100,00	100,00	100,00	88,72	96,92	99,77	100,00	63,90	79,36	91,95	98,40	36,91	49,81	60,95	71,59
1975	99,47	100,00	100,00	100,00	89,02	97,23	99,80	100,00	64,21	79,76	92,26	98,41	37,29	50,22	61,41	72,32
1976	99,47	100,00	100,00	100,00	89,14	97,23	99,80	100,00	64,34	79,72	92,19	98,41	37,37	50,41	61,92	73,28
1977	99,47	100,00	100,00	100,00	88,82	97,11	99,80	100,00	63,84	79,30	91,90	98,41	37,00	49,87	61,34	72,76
1978	99,47	100,00	100,00	100,00	89,00	97,10	99,80	100,00	64,07	79,50	91,65	98,41	37,16	50,21	61,95	73,64
1979	99,45	100,00	100,00	100,00	89,11	97,25	99,79	100,00	63,83	79,33	92,01	98,79	37,13	50,16	61,93	74,09
1980	99,68	100,00	100,00	100,00	89,93	97,64	99,85	100,00	65,11	80,52	92,45	98,81	38,33	51,66	63,57	75,74
1981	99,67	100,00	100,00	100,00	89,72	97,58	99,86	100,00	65,14	80,75	92,58	98,83	38,47	51,98	64,15	76,49
1982	99,67	100,00	100,00	100,00	89,97	97,70	99,86	100,00	65,42	81,10	93,06	99,48	38,70	52,43	64,67	77,46
1983	99,67	100,00	100,00	100,00	90,17	97,94	99,86	100,00	65,70	81,14	92,92	99,55	39,09	52,81	64,87	77,90
1984	99,67	100,00	100,00	100,00	89,68	97,86	99,86	100,00	64,92	80,53	92,50	99,55	38,51	51,95	63,89	76,48
1988	99,67	100,00	100,00	100,00	90,05	97,86	99,86	100,00	65,12	81,06	92,78	99,55	38,33	51,74	64,05	77,30
1989	99,70	100,00	100,00	100,00	90,68	98,31	99,86	100,00	65,63	81,95	93,90	99,72	38,74	52,31	64,82	78,35
1990	99,70	100,00	100,00	100,00	91,32	98,61	99,86	100,00	66,14	82,73	94,16	99,72	38,85	52,75	65,47	78,74
1991	99,70	100,00	100,00	100,00	91,35	98,61	99,86	100,00	66,28	82,99	94,29	99,72	38,88	52,89	65,50	78,90
1992	99,70	100,00	100,00	100,00	91,29	98,67	99,86	100,00	66,48	83,14	94,26	99,72	39,17	53,13	65,87	79,43
1993	99,70	100,00	100,00	100,00	91,12	98,65	99,86	100,00	66,64	83,15	94,10	99,72	39,53	53,50	66,12	79,44
1994	99,69	100,00	100,00	100,00	90,40	98,55	99,86	100,00	65,65	81,82	92,89	99,25	38,70	52,39	64,70	77,34
1995	99,69	100,00	100,00	100,00	89,82	98,44	99,86	100,00	64,97	81,04	92,36	99,25	38,19	51,47	63,79	76,16
1996	99,69	100,00	100,00	100,00	89,71	98,21	99,86	100,00	64,59	80,71	91,96	99,25	37,86	50,94	63,06	75,09
1997	99,97	100,00	100,00	100,00	90,20	98,70	100,00	100,00	64,69	81,09	92,45	99,32	37,98	51,00	63,04	74,97
1998	99,76	100,00	100,00	100,00	90,06	98,40	99,93	100,00	64,71	80,88	92,26	99,21	38,08	51,08	62,94	75,54
1999	99,74	100,00	100,00	100,00	89,29	98,18	99,93	100,00	63,93	80,13	91,61	98,96	37,62	50,34	61,79	73,30
2000	99,74	100,00	100,00	100,00	88,90	97,85	99,81	100,00	63,45	79,59	91,30	98,85	37,42	50,02	61,23	72,74
2001	99,74	100,00	100,00	100,00	88,25	97,68	99,81	100,00	62,76	78,73	90,98	98,85	36,88	49,29	60,24	71,23
2002	99,75	100,00	100,00	100,00	88,30	97,67	99,82	100,00	63,09	78,93	91,02	98,88	36,97	49,35	60,32	71,11
2003	99,75	100,00	100,00	100,00	87,96	97,59	99,82	100,00	62,30	78,21	90,66	98,89	36,20	48,24	58,88	69,61
2004	99,77	100,00	100,00	100,00	88,45	97,72	99,82	100,00	63,04	78,81	90,91	98,89	36,66	48,84	59,54	70,32
2005	99,77	100,00	100,00	100,00	88,46	97,70	99,82	100,00	63,20	79,11	91,38	99,09	36,86	48,96	59,87	70,83
2006	99,64	100,00	100,00	100,00	87,94	97,36	99,79	100,00	62,90	78,91	91,28	99,09	36,59	48,70	59,61	70,26
2007	99,64	100,00	100,00	100,00	88,43	97,44	99,79	100,00	63,59	79,54	91,69	99,09	37,02	49,18	60,15	70,88
MÍNIMO	99,34	100,00	100,00	100,00	86,61	96,39	99,73	100,00	61,48	77,03	90,06	97,99	35,28	46,71	56,05	65,79
MÉDIA	99,62	100,00	100,00	100,00	89,01	97,56	99,83	100,00	64,06	79,81	91,95	98,88	37,38	50,18	61,56	72,93
MÁXIMO	99,97	100,00	100,00	100,00	91,35	98,70	100,00	100,00	66,64	83,15	94,29	99,72	39,53	53,50	66,12	79,44
máx-mín	0,63	0,00	0,00	0,00	4,74	2,31	0,27	0,00	5,16	6,12	4,23	1,73	4,25	6,79	10,07	13,65
máx-méd	0,35	0,00	0,00	0,00	2,34	1,14	0,17	0,00	2,58	3,34	2,34	0,84	2,15	3,32	4,56	6,51
méd-mín	0,28	0,00	0,00	0,00	2,40	1,17	0,10	0,00	2,58	2,78	1,89	0,89	2,10	3,47	5,51	7,14

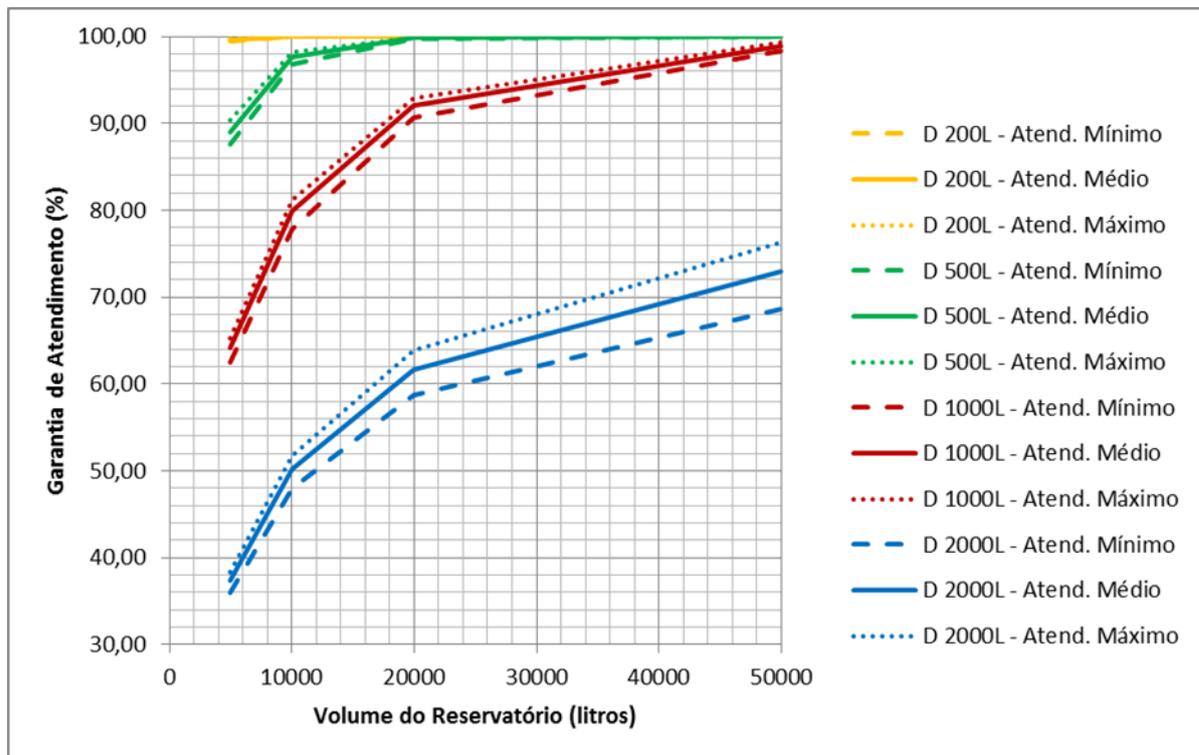
Séries de 20 Anos - Atendimento (%)				
Demanda l/dia	Volume l	Atend. Mínimo %	Atend. Médio %	Atend. Máximo %
200	5000	99,34	99,62	99,97
	10000	100,00	100,00	100,00
	20000	100,00	100,00	100,00
	50000	100,00	100,00	100,00
500	5000	86,61	89,01	91,35
	10000	96,39	97,56	98,70
	20000	99,73	99,83	100,00
	50000	100,00	100,00	100,00
1000	5000	61,48	64,06	66,64
	10000	77,03	79,81	83,15
	20000	90,06	91,95	94,29
	50000	97,99	98,88	99,72
2000	5000	35,28	37,38	39,53
	10000	46,71	50,18	53,50
	20000	56,05	61,56	66,12
	50000	65,79	72,93	79,44



**APÊNDICE D – Garantia de atendimento à demanda considerando séries  
temporais de 30 anos  
(elaborado pelo autor)**

Tabela Resumo - SÉRIES DE 30 ANOS																
Início da Série	Garantia de Atendimento (%)															
	D 200 I	D 200 I	D 200 I	D 200 I	D 500 I	D 500 I	D 500 I	D 500 I	D 1000 I	D 1000 I	D 1000 I	D 1000 I	D 2000 I	D 2000 I	D 2000 I	D 2000 I
	V 5000 I	V 10000 I	V 20000 I	V 50000 I	V 5000 I	V 10000 I	V 20000 I	V 50000 I	V 5000 I	V 10000 I	V 20000 I	V 50000 I	V 5000 I	V 10000 I	V 20000 I	V 50000 I
1961	99,59	100,00	100,00	100,00	87,63	96,87	99,82	100,00	62,50	77,80	90,73	98,37	36,13	48,12	58,70	68,62
1962	99,59	100,00	100,00	100,00	87,79	96,89	99,82	100,00	62,60	78,02	90,80	98,37	36,17	48,24	58,80	68,87
1963	99,60	100,00	100,00	100,00	88,12	97,01	99,82	100,00	63,35	78,81	91,63	98,69	36,78	49,14	59,69	70,03
1964	99,41	100,00	100,00	100,00	88,07	96,81	99,73	100,00	63,31	78,84	91,63	98,64	36,81	49,26	59,95	70,47
1965	99,41	100,00	100,00	100,00	88,12	96,89	99,73	100,00	63,51	78,99	91,65	98,64	37,07	49,53	60,36	71,12
1966	99,41	100,00	100,00	100,00	88,37	96,89	99,73	100,00	63,82	79,12	91,71	98,64	37,15	49,75	60,77	71,70
1967	99,56	100,00	100,00	100,00	88,31	97,05	99,77	100,00	63,65	79,12	91,85	98,71	36,92	49,45	60,58	71,63
1968	99,57	100,00	100,00	100,00	88,68	97,18	99,77	100,00	64,12	79,72	92,18	98,88	37,21	49,99	61,39	72,66
1969	99,56	100,00	100,00	100,00	88,93	97,38	99,85	100,00	64,31	79,86	92,35	98,93	37,32	50,12	61,59	72,85
1970	99,56	100,00	100,00	100,00	89,54	97,50	99,85	100,00	65,23	80,78	92,74	98,93	38,10	51,15	62,78	74,10
1971	99,55	100,00	100,00	100,00	89,65	97,54	99,85	100,00	65,22	80,98	92,89	98,93	38,20	51,43	63,25	74,79
1972	99,55	100,00	100,00	100,00	89,47	97,51	99,85	100,00	65,03	80,74	92,75	98,93	38,03	51,35	63,19	74,70
1973	99,55	100,00	100,00	100,00	89,24	97,51	99,85	100,00	64,45	79,99	92,15	98,78	37,63	50,70	62,26	73,76
1974	99,55	100,00	100,00	100,00	89,21	97,53	99,85	100,00	64,27	79,84	92,04	98,78	37,50	50,57	62,05	73,44
1975	99,63	100,00	100,00	100,00	89,69	97,77	99,86	100,00	64,68	80,47	92,49	98,78	37,75	50,84	62,50	74,25
1976	99,63	100,00	100,00	100,00	89,54	97,75	99,86	100,00	64,50	80,32	92,46	98,78	37,66	50,80	62,65	74,65
1977	99,63	100,00	100,00	100,00	89,57	97,68	99,86	100,00	64,40	80,32	92,23	98,78	37,54	50,74	62,56	74,30
1978	99,63	100,00	100,00	100,00	89,74	97,69	99,86	100,00	64,67	80,51	92,23	98,78	37,74	51,09	63,06	74,96
1979	99,63	100,00	100,00	100,00	90,04	97,92	99,86	100,00	64,78	80,72	92,63	99,07	37,88	51,21	63,23	75,38
1980	99,78	100,00	100,00	100,00	90,35	98,15	99,90	100,00	65,29	81,12	92,82	99,08	38,34	51,78	63,83	76,31
1981	99,77	100,00	100,00	100,00	89,81	98,04	99,91	100,00	64,60	80,38	92,11	98,78	37,83	51,13	63,14	75,28
1982	99,77	100,00	100,00	100,00	89,95	98,12	99,91	100,00	64,94	80,74	92,45	99,21	38,11	51,43	63,55	75,72
1983	99,78	100,00	100,00	100,00	89,94	98,12	99,91	100,00	64,97	80,86	92,63	99,39	38,22	51,55	63,50	75,64
1984	99,78	100,00	100,00	100,00	89,77	98,12	99,91	100,00	64,69	80,71	92,53	99,39	38,09	51,23	63,10	75,02
1988	99,64	100,00	100,00	100,00	89,73	97,89	99,86	100,00	64,68	80,67	92,38	99,32	38,05	51,19	63,10	75,19
1989	99,64	100,00	100,00	100,00	89,87	98,06	99,86	100,00	64,75	80,87	92,67	99,27	38,14	51,21	62,97	75,09
1990	99,64	100,00	100,00	100,00	89,78	98,01	99,78	100,00	64,53	80,69	92,49	99,19	37,95	50,99	62,72	74,94
1991	99,64	100,00	100,00	100,00	89,33	97,89	99,78	100,00	64,05	80,24	92,32	99,19	37,53	50,47	62,00	74,02
1992	99,64	100,00	100,00	100,00	89,09	97,83	99,78	100,00	64,16	80,21	92,19	99,19	37,65	50,52	62,09	74,08
1993	99,64	100,00	100,00	100,00	88,96	97,78	99,78	100,00	63,99	80,06	91,95	99,19	37,64	50,37	61,70	73,42
1994	99,64	100,00	100,00	100,00	89,13	97,85	99,78	100,00	64,53	80,43	92,05	99,19	38,00	50,91	62,28	73,92
1995	99,64	100,00	100,00	100,00	88,83	97,77	99,78	100,00	64,04	79,97	91,83	99,19	37,67	50,37	61,84	73,57
1996	99,56	100,00	100,00	100,00	88,58	97,54	99,77	100,00	63,80	79,63	91,46	99,19	37,45	50,04	61,46	72,97
1997	99,75	100,00	100,00	100,00	89,08	97,86	99,86	100,00	64,04	80,04	91,89	99,24	37,56	50,12	61,51	73,01
1998	99,75	100,00	100,00	100,00	89,13	97,90	99,86	100,00	64,25	80,16	92,09	99,24	37,65	50,27	61,70	72,98
1999	99,75	100,00	100,00	100,00	88,87	97,89	99,86	100,00	64,00	80,07	92,09	99,24	37,51	50,04	61,23	72,42
2000	99,75	100,00	100,00	100,00	88,80	97,77	99,86	100,00	64,05	80,03	91,88	98,96	37,47	50,01	61,12	72,05
2001	99,60	100,00	100,00	100,00	88,44	97,53	99,82	100,00	63,71	79,63	91,68	98,95	37,16	49,61	60,61	71,16
2002	99,61	100,00	100,00	100,00	88,71	97,60	99,82	100,00	63,84	79,77	91,82	98,96	37,19	49,67	60,66	71,10
2003	99,61	100,00	100,00	100,00	88,15	97,48	99,82	100,00	62,93	78,84	91,25	98,96	36,34	48,55	59,35	69,65
2004	99,61	100,00	100,00	100,00	88,06	97,36	99,82	100,00	62,64	78,38	90,72	98,35	36,00	48,02	58,68	68,75
2005	99,61	100,00	100,00	100,00	88,31	97,43	99,82	100,00	63,05	78,78	91,23	98,49	36,37	48,51	59,24	69,51
2006	99,61	100,00	100,00	100,00	88,30	97,43	99,82	100,00	63,19	79,06	91,52	98,49	36,57	48,79	59,60	69,62
2007	99,59	100,00	100,00	100,00	88,07	97,16	99,82	100,00	63,14	78,76	91,03	98,37	36,50	48,70	59,48	69,48
MÍNIMO	99,41	100,00	100,00	100,00	87,63	96,81	99,73	100,00	62,50	77,80	90,72	98,35	36,00	48,02	58,68	68,62
MÉDIA	99,62	100,00	100,00	100,00	89,02	97,59	99,83	100,00	64,10	79,89	92,01	98,92	37,42	50,20	61,59	72,89
MÁXIMO	99,78	100,00	100,00	100,00	90,35	98,15	99,91	100,00	65,29	81,12	92,89	99,39	38,34	51,78	63,83	76,31
máx-mín	0,37	0,00	0,00	0,00	2,72	1,34	0,18	0,00	2,79	3,32	2,17	1,04	2,34	3,76	5,15	7,69
máx-méd	0,16	0,00	0,00	0,00	1,33	0,56	0,08	0,00	1,19	1,23	0,88	0,47	0,92	1,58	2,24	3,42
méd-mín	0,21	0,00	0,00	0,00	1,39	0,78	0,10	0,00	1,60	2,09	1,29	0,57	1,42	2,18	2,91	4,27

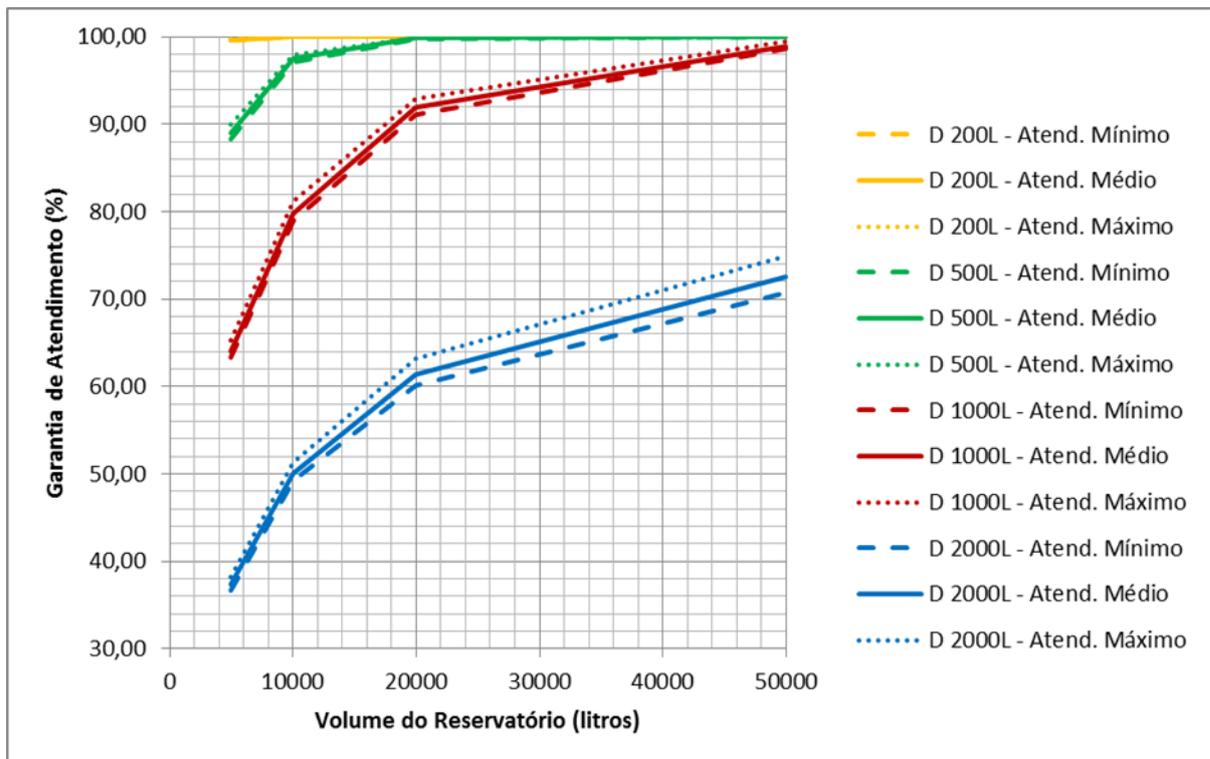
Séries de 30 Anos - Atendimento (%)				
Demanda l/dia	Volume l	Atend. Mínimo %	Atend. Médio %	Atend. Máximo %
200	5000	99,41	99,62	99,78
	10000	100,00	100,00	100,00
	20000	100,00	100,00	100,00
	50000	100,00	100,00	100,00
500	5000	87,63	89,02	90,35
	10000	96,81	97,59	98,15
	20000	99,73	99,83	99,91
	50000	100,00	100,00	100,00
1000	5000	62,50	64,10	65,29
	10000	77,80	79,89	81,12
	20000	90,72	92,01	92,89
	50000	98,35	98,92	99,39
2000	5000	36,00	37,42	38,34
	10000	48,02	50,20	51,78
	20000	58,68	61,59	63,83
	50000	68,62	72,89	76,31



**APÊNDICE E – Garantia de atendimento à demanda considerando séries  
temporais de 40 anos  
(elaborado pelo autor)**

Tabela Resumo - SÉRIES DE 40 ANOS																
Início da Série	Garantia de Atendimento (%)															
	D 200   V 5000	D 200   V 10000	D 200   V 20000	D 200   V 50000	D 500   V 5000	D 500   V 10000	D 500   V 20000	D 500   V 50000	D 1000   V 5000	D 1000   V 10000	D 1000   V 20000	D 1000   V 50000	D 2000   V 5000	D 2000   V 10000	D 2000   V 20000	D 2000   V 50000
1961	99,54	100,00	100,00	100,00	88,41	97,19	99,79	100,00	63,80	79,34	91,69	98,73	37,29	49,90	61,06	71,88
1962	99,54	100,00	100,00	100,00	88,26	97,14	99,79	100,00	63,42	79,01	91,46	98,73	36,98	49,53	60,59	71,44
1963	99,55	100,00	100,00	100,00	88,56	97,24	99,79	100,00	63,90	79,38	91,69	98,86	37,37	50,02	61,08	72,25
1964	99,55	100,00	100,00	100,00	88,59	97,29	99,79	100,00	63,73	79,32	91,77	98,86	37,27	49,96	61,01	72,12
1965	99,55	100,00	100,00	100,00	88,83	97,37	99,79	100,00	64,03	79,70	91,97	98,86	37,46	50,16	61,43	72,84
1966	99,55	100,00	100,00	100,00	88,86	97,36	99,79	100,00	64,06	79,71	92,03	98,86	37,42	50,20	61,60	73,10
1967	99,66	100,00	100,00	100,00	88,98	97,49	99,83	100,00	64,11	79,92	92,11	98,92	37,35	50,19	61,67	73,05
1968	99,66	100,00	100,00	100,00	89,31	97,60	99,83	100,00	64,55	80,42	92,48	99,04	37,63	50,70	62,36	73,88
1969	99,66	100,00	100,00	100,00	89,66	97,84	99,89	100,00	64,88	80,75	92,72	99,10	37,82	50,91	62,64	74,13
1970	99,66	100,00	100,00	100,00	89,96	97,92	99,89	100,00	65,33	81,15	92,95	99,10	38,17	51,37	63,19	74,95
1971	99,66	100,00	100,00	100,00	89,74	97,89	99,89	100,00	64,79	80,64	92,45	98,87	37,79	50,93	62,72	74,32
1972	99,66	100,00	100,00	100,00	89,59	97,88	99,89	100,00	64,77	80,56	92,37	98,87	37,75	50,87	62,72	74,10
1973	99,66	100,00	100,00	100,00	89,30	97,76	99,89	100,00	64,22	80,07	92,13	98,87	37,35	50,29	61,90	73,12
1974	99,66	100,00	100,00	100,00	89,40	97,82	99,89	100,00	64,26	80,16	92,18	98,87	37,43	50,37	61,92	73,12
1975	99,61	100,00	100,00	100,00	89,54	97,82	99,86	100,00	64,47	80,32	92,26	98,81	37,69	50,66	62,18	73,44
1976	99,61	100,00	100,00	100,00	89,21	97,70	99,86	100,00	64,12	79,92	91,90	98,68	37,48	50,35	61,81	73,12
1977	99,61	100,00	100,00	100,00	88,84	97,47	99,81	100,00	63,62	79,39	91,46	98,63	37,19	49,92	61,22	72,55
1978	99,61	100,00	100,00	100,00	88,61	97,38	99,81	100,00	63,38	79,06	91,26	98,63	37,01	49,71	61,02	72,26
1979	99,61	100,00	100,00	100,00	88,69	97,47	99,81	100,00	63,45	79,11	91,47	98,84	37,05	49,71	61,03	72,35
1980	99,72	100,00	100,00	100,00	88,91	97,62	99,84	100,00	63,62	79,29	91,52	98,85	37,21	49,85	61,07	72,54
1981	99,72	100,00	100,00	100,00	89,00	97,64	99,84	100,00	64,02	79,70	91,68	98,86	37,53	50,34	61,72	73,23
1982	99,72	100,00	100,00	100,00	89,18	97,70	99,84	100,00	64,25	80,01	92,03	99,18	37,73	50,62	62,15	73,89
1983	99,66	100,00	100,00	100,00	89,04	97,65	99,83	100,00	64,28	80,01	92,09	99,32	37,82	50,73	62,20	73,93
1984	99,66	100,00	100,00	100,00	89,04	97,65	99,83	100,00	64,21	80,02	92,09	99,32	37,74	50,51	61,95	73,54
1988	99,66	100,00	100,00	100,00	89,12	97,65	99,83	100,00	64,34	80,18	92,22	99,32	37,74	50,56	62,14	73,87
1989	99,67	100,00	100,00	100,00	89,41	97,88	99,83	100,00	64,59	80,64	92,76	99,40	37,92	50,76	62,25	73,98
1990	99,67	100,00	100,00	100,00	89,48	97,91	99,83	100,00	64,70	80,73	92,63	99,19	37,86	50,74	62,26	73,87
1991	99,56	100,00	100,00	100,00	89,20	97,73	99,80	100,00	64,43	80,53	92,50	99,19	37,58	50,41	61,83	73,27
1992	99,56	100,00	100,00	100,00	89,21	97,73	99,79	100,00	64,47	80,54	92,50	99,18	37,65	50,48	61,92	73,35
1993	99,56	100,00	100,00	100,00	88,86	97,65	99,79	100,00	64,06	80,09	92,09	99,17	37,40	50,10	61,38	72,53
1994	99,56	100,00	100,00	100,00	88,68	97,55	99,79	100,00	63,87	79,72	91,64	98,71	37,19	49,80	60,98	71,88
1995	99,56	100,00	100,00	100,00	88,63	97,55	99,79	100,00	63,73	79,52	91,62	98,71	37,11	49,69	60,90	71,92
1996	99,56	100,00	100,00	100,00	88,70	97,55	99,79	100,00	63,80	79,57	91,60	98,71	37,23	49,79	61,01	71,84
1997	99,69	100,00	100,00	100,00	88,65	97,55	99,86	100,00	63,60	79,33	91,34	98,66	37,03	49,53	60,68	71,44
1998	99,69	100,00	100,00	100,00	88,43	97,41	99,86	100,00	63,42	79,05	91,23	98,66	36,96	49,38	60,45	71,11
1999	99,69	100,00	100,00	100,00	88,27	97,38	99,86	100,00	63,36	78,95	91,09	98,66	37,00	49,41	60,47	71,00
2000	99,69	100,00	100,00	100,00	88,49	97,45	99,86	100,00	63,39	78,99	91,26	98,66	36,93	49,35	60,27	70,76
2001	99,69	100,00	100,00	100,00	88,51	97,42	99,86	100,00	63,38	78,92	91,31	98,66	36,84	49,23	60,18	70,78
2002	99,69	100,00	100,00	100,00	88,68	97,45	99,87	100,00	63,49	79,19	91,50	98,69	36,91	49,38	60,45	70,99
2003	99,69	100,00	100,00	100,00	88,63	97,46	99,87	100,00	63,39	79,12	91,50	98,69	36,73	49,22	60,26	70,97
2004	99,70	100,00	100,00	100,00	88,66	97,51	99,87	100,00	63,42	79,06	91,54	98,69	36,74	49,23	60,07	70,67
2005	99,56	100,00	100,00	100,00	88,54	97,32	99,80	100,00	63,50	79,16	91,63	98,76	36,87	49,34	60,33	71,00
2006	99,56	100,00	100,00	100,00	88,47	97,29	99,80	100,00	63,52	79,33	91,76	98,76	36,92	49,42	60,49	71,19
2007	99,56	100,00	100,00	100,00	88,78	97,34	99,80	100,00	63,94	79,63	91,93	98,76	37,17	49,76	60,96	71,88
MÍNIMO	99,54	100,00	100,00	100,00	88,26	97,14	99,79	100,00	63,36	78,92	91,09	98,63	36,73	49,22	60,07	70,67
MÉDIA	99,63	100,00	100,00	100,00	88,93	97,56	99,83	100,00	63,99	79,75	91,90	98,88	37,35	50,08	61,40	72,58
MÁXIMO	99,72	100,00	100,00	100,00	89,96	97,92	99,89	100,00	65,33	81,15	92,95	99,40	38,17	51,37	63,19	74,95
máx-mín	0,18	0,00	0,00	0,00	1,70	0,78	0,10	0,00	1,97	2,23	1,86	0,77	1,44	2,15	3,12	4,28
máx-méd	0,09	0,00	0,00	0,00	1,03	0,36	0,06	0,00	1,34	1,40	1,05	0,52	0,82	1,29	1,79	2,37
méd-mín	0,09	0,00	0,00	0,00	0,67	0,42	0,04	0,00	0,63	0,83	0,81	0,25	0,62	0,86	1,33	1,91

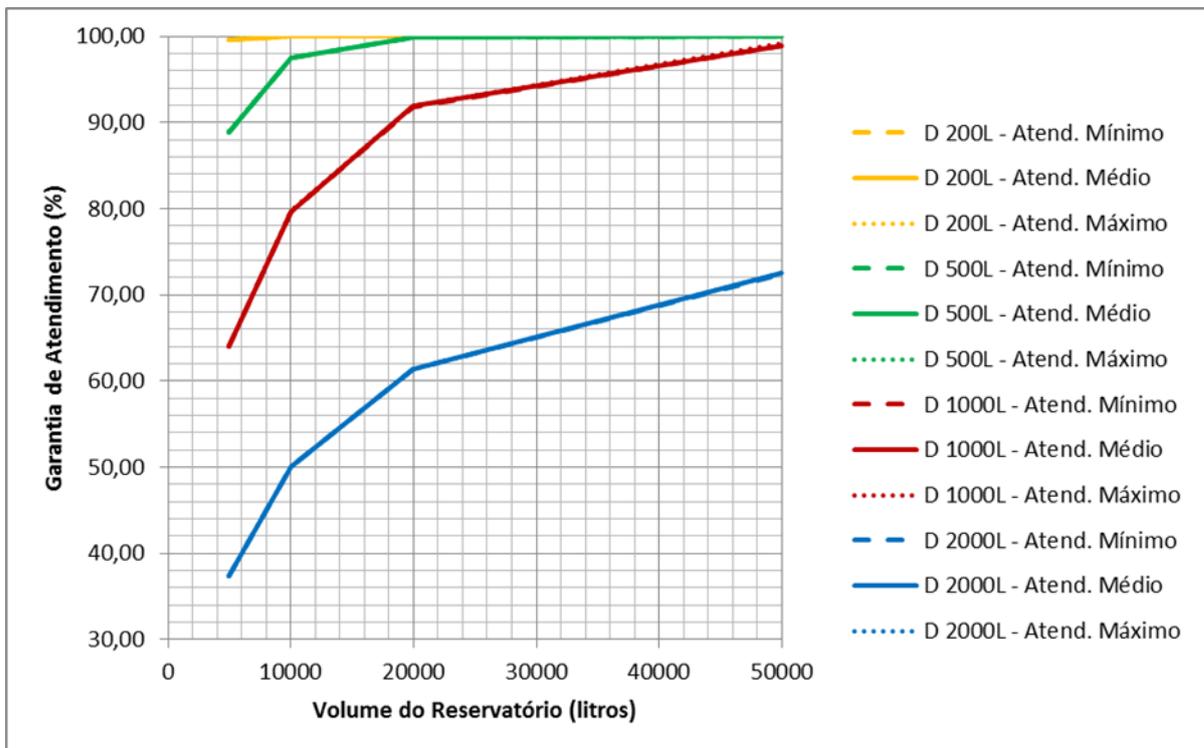
Séries de 40 Anos - Atendimento (%)				
Demanda l/dia	Volume l	Atend. Mínimo %	Atend. Médio %	Atend. Máximo %
200	5000	99,54	99,63	99,72
	10000	100,00	100,00	100,00
	20000	100,00	100,00	100,00
	50000	100,00	100,00	100,00
500	5000	88,26	88,93	89,96
	10000	97,14	97,56	97,92
	20000	99,79	99,83	99,89
	50000	100,00	100,00	100,00
1000	5000	63,36	63,99	65,33
	10000	78,92	79,75	81,15
	20000	91,09	91,90	92,95
	50000	98,63	98,88	99,40
2000	5000	36,73	37,35	38,17
	10000	49,22	50,08	51,37
	20000	60,07	61,40	63,19
	50000	70,67	72,58	74,95



**APÊNDICE F – Garantia de atendimento à demanda considerando séries  
temporais de 48 anos  
(elaborado pelo autor)**

Tabela Resumo - SÉRIES DE 48 ANOS																
Início da Série	Garantia de Atendimento (%)															
	D 200   V 5000   I	D 200   V 10000   I	D 200   V 20000   I	D 200   V 50000   I	D 500   V 5000   I	D 500   V 10000   I	D 500   V 20000   I	D 500   V 50000   I	D 1000   V 5000   I	D 1000   V 10000   I	D 1000   V 20000   I	D 1000   V 50000   I	D 2000   V 5000   I	D 2000   V 10000   I	D 2000   V 20000   I	D 2000   V 50000   I
1961	99,62	100,00	100,00	100,00	88,89	97,53	99,83	100,00	63,98	79,72	91,88	98,86	37,34	50,05	61,37	72,51
1962	99,62	100,00	100,00	100,00	88,89	97,53	99,83	100,00	63,96	79,70	91,85	98,86	37,33	50,04	61,31	72,46
1963	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,98	79,72	91,88	98,86	37,33	50,05	61,37	72,56
1964	99,62	100,00	100,00	100,00	88,91	97,56	99,83	100,00	63,97	79,74	91,92	98,86	37,33	50,04	61,36	72,50
1965	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,95	79,69	91,85	98,86	37,33	50,02	61,30	72,43
1966	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,97	79,69	91,85	98,86	37,33	50,05	61,35	72,41
1967	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,96	79,70	91,85	98,86	37,33	50,02	61,31	72,39
1968	99,62	100,00	100,00	100,00	88,89	97,53	99,83	100,00	63,97	79,73	91,89	98,86	37,33	50,05	61,34	72,49
1969	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,95	79,69	91,85	98,86	37,34	50,04	61,34	72,46
1970	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,95	79,70	91,91	98,86	37,32	50,04	61,35	72,51
1971	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,96	79,69	91,85	98,86	37,33	50,04	61,36	72,54
1972	99,62	100,00	100,00	100,00	88,89	97,53	99,83	100,00	63,96	79,70	91,85	98,86	37,33	50,03	61,30	72,37
1973	99,62	100,00	100,00	100,00	88,89	97,53	99,83	100,00	63,98	79,73	91,89	98,86	37,33	50,05	61,34	72,41
1974	99,62	100,00	100,00	100,00	88,92	97,53	99,83	100,00	63,98	79,75	91,88	98,86	37,33	50,05	61,36	72,54
1975	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,97	79,69	91,85	98,86	37,33	50,04	61,30	72,43
1976	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,97	79,69	91,85	98,86	37,33	50,04	61,34	72,52
1977	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,96	79,69	91,85	98,86	37,33	50,04	61,34	72,49
1978	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,95	79,69	91,85	98,86	37,32	50,02	61,30	72,47
1979	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,95	79,70	91,86	98,86	37,32	50,02	61,33	72,50
1980	99,62	100,00	100,00	100,00	88,89	97,53	99,83	100,00	63,98	79,73	91,85	98,86	37,33	50,05	61,36	72,53
1981	99,62	100,00	100,00	100,00	88,89	97,53	99,83	100,00	63,97	79,71	91,85	98,86	37,33	50,05	61,34	72,48
1982	99,62	100,00	100,00	100,00	88,91	97,56	99,83	100,00	63,98	79,73	91,93	99,13	37,33	50,05	61,36	72,53
1983	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,98	79,72	91,85	98,86	37,34	50,05	61,36	72,49
1984	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,95	79,69	91,85	98,86	37,33	50,02	61,30	72,47
1988	99,62	100,00	100,00	100,00	88,91	97,53	99,83	100,00	63,98	79,73	91,89	98,86	37,33	50,05	61,37	72,52
1989	99,62	100,00	100,00	100,00	88,92	97,53	99,83	100,00	63,98	79,73	91,89	98,86	37,33	50,05	61,34	72,45
1990	99,62	100,00	100,00	100,00	88,95	97,56	99,83	100,00	63,98	79,75	91,92	98,86	37,33	50,05	61,36	72,54
1991	99,62	100,00	100,00	100,00	88,89	97,53	99,83	100,00	63,97	79,71	91,85	98,86	37,33	50,05	61,33	72,44
1992	99,62	100,00	100,00	100,00	88,91	97,56	99,83	100,00	63,98	79,72	91,88	98,86	37,33	50,04	61,32	72,47
1993	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,95	79,69	91,85	98,86	37,32	50,02	61,31	72,49
1994	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,96	79,69	91,85	98,86	37,33	50,03	61,30	72,37
1995	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,95	79,69	91,85	98,86	37,32	50,02	61,34	72,53
1996	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,98	79,69	91,85	98,86	37,33	50,05	61,30	72,37
1997	99,62	100,00	100,00	100,00	88,93	97,53	99,83	100,00	63,98	79,76	91,88	98,86	37,33	50,05	61,36	72,51
1998	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,95	79,69	91,85	98,86	37,32	50,02	61,30	72,37
1999	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,96	79,69	91,85	98,86	37,33	50,04	61,34	72,51
2000	99,62	100,00	100,00	100,00	88,90	97,54	99,83	100,00	63,97	79,74	91,96	98,86	37,33	50,04	61,35	72,54
2001	99,62	100,00	100,00	100,00	88,89	97,54	99,83	100,00	63,98	79,74	91,90	98,86	37,33	50,05	61,36	72,51
2002	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,95	79,70	91,88	98,86	37,32	50,04	61,35	72,53
2003	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,98	79,72	91,85	98,86	37,33	50,05	61,36	72,40
2004	99,62	100,00	100,00	100,00	88,93	97,54	99,83	100,00	63,98	79,74	91,89	98,86	37,33	50,05	61,36	72,46
2005	99,62	100,00	100,00	100,00	88,90	97,53	99,83	100,00	63,98	79,75	91,99	98,95	37,34	50,05	61,36	72,53
2006	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,95	79,69	91,85	98,86	37,32	50,02	61,30	72,45
2007	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,98	79,70	91,85	98,86	37,33	50,05	61,33	72,45
MÍNIMO	99,62	100,00	100,00	100,00	88,88	97,53	99,83	100,00	63,95	79,69	91,85	98,86	37,32	50,02	61,30	72,37
MÉDIA	99,62	100,00	100,00	100,00	88,89	97,53	99,83	100,00	63,97	79,71	91,87	98,87	37,33	50,04	61,34	72,48
MÁXIMO	99,62	100,00	100,00	100,00	88,95	97,56	99,83	100,00	63,98	79,76	91,99	99,13	37,34	50,05	61,37	72,56
máx-min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,03	0,00	0,00	0,03	0,07	0,14	0,27	0,02	0,03	0,07	0,19
máx-méd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,00	0,00	0,01	0,05	0,12	0,26	0,01	0,01	0,03	0,08
méd-min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,04	0,11

Séries de 48 Anos - Atendimento (%)				
Demanda l/dia	Volume l	Atend. Mínimo %	Atend. Médio %	Atend. Máximo %
200	5000	99,62	99,62	99,62
	10000	100,00	100,00	100,00
	20000	100,00	100,00	100,00
	50000	100,00	100,00	100,00
500	5000	88,88	88,89	88,95
	10000	97,53	97,53	97,56
	20000	99,83	99,83	99,83
	50000	100,00	100,00	100,00
1000	5000	63,95	63,97	63,98
	10000	79,69	79,71	79,76
	20000	91,85	91,87	91,99
	50000	98,86	98,87	99,13
2000	5000	37,32	37,33	37,34
	10000	50,02	50,04	50,05
	20000	61,30	61,34	61,37
	50000	72,37	72,48	72,56



**APÊNDICE G – Garantia de atendimento mínimo e máximo à demanda  
para diferentes tamanhos de séries temporais  
(elaborado pelo autor)**

		Séries de 5 Anos - Atendimento (%)			Séries de 10 Anos - Atendimento (%)			Séries de 20 Anos - Atendimento (%)		
Demanda	Volume	Atend. Mínimo	Atend. Médio	Atend. Máximo	Atend. Mínimo	Atend. Médio	Atend. Máximo	Atend. Mínimo	Atend. Médio	Atend. Máximo
L/dia	L	%	%	%	%	%	%	%	%	%
200	5000	98,90	99,59	100,00	99,27	99,63	99,97	99,34	99,62	99,97
	10000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	20000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	50000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
500	5000	83,12	88,91	94,41	84,81	89,07	91,77	86,61	89,01	91,35
	10000	94,60	97,45	99,51	95,74	97,57	99,15	96,39	97,56	98,70
	20000	99,28	99,81	100,00	99,59	99,84	100,00	99,73	99,83	100,00
	50000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1000	5000	57,83	64,03	69,30	58,88	64,21	67,86	61,48	64,06	66,64
	10000	72,20	79,81	86,36	74,10	79,97	84,15	77,03	79,81	83,15
	20000	84,48	92,06	97,26	87,77	92,12	95,32	90,06	91,95	94,29
	50000	93,66	98,91	100,00	96,80	98,93	99,86	97,99	98,88	99,72
2000	5000	30,57	37,37	41,90	34,02	37,44	40,93	35,28	37,38	39,53
	10000	41,23	50,17	55,95	44,38	50,29	55,48	46,71	50,18	53,50
	20000	51,15	61,61	69,49	53,19	61,76	68,42	56,05	61,56	66,12
	50000	57,96	73,35	83,30	62,11	73,26	82,01	65,79	72,93	79,44

		Séries de 30 Anos - Atendimento (%)			Séries de 40 Anos - Atendimento (%)			Séries de 48 Anos - Atendimento (%)		
Demanda	Volume	Atend. Mínimo	Atend. Médio	Atend. Máximo	Atend. Mínimo	Atend. Médio	Atend. Máximo	Atend. Mínimo	Atend. Médio	Atend. Máximo
L/dia	L	%	%	%	%	%	%	%	%	%
200	5000	99,41	99,62	99,78	99,54	99,63	99,72	99,62	99,62	99,62
	10000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	20000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
	50000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
500	5000	87,63	89,02	90,35	88,26	88,93	89,96	88,88	88,89	88,95
	10000	96,81	97,59	98,15	97,14	97,56	97,92	97,53	97,53	97,56
	20000	99,73	99,83	99,91	99,79	99,83	99,89	99,83	99,83	99,83
	50000	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1000	5000	62,50	64,10	65,29	63,36	63,99	65,33	63,95	63,97	63,98
	10000	77,80	79,89	81,12	78,92	79,75	81,15	79,69	79,71	79,76
	20000	90,72	92,01	92,89	91,09	91,90	92,95	91,85	91,87	91,99
	50000	98,35	98,92	99,39	98,63	98,88	99,40	98,86	98,87	99,13
2000	5000	36,00	37,42	38,34	36,73	37,35	38,17	37,32	37,33	37,34
	10000	48,02	50,20	51,78	49,22	50,08	51,37	50,02	50,04	50,05
	20000	58,68	61,59	63,83	60,07	61,40	63,19	61,30	61,34	61,37
	50000	68,62	72,89	76,31	70,67	72,58	74,95	72,37	72,48	72,56

