

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

Carla Fernanda Perius

**VARIÁVEIS DE PROJETO E SUA INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO E
DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE APROVEITAMENTO
DE ÁGUA DA CHUVA**

Santa Maria, RS
2016

Carla Fernanda Perius

**VARIÁVEIS DE PROJETO E SUA INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO E
DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA
DA CHUVA**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Rutinéia Tassi
Coorientador: Prof. Dr. Daniel Gustavo Allasia Picilli

Santa Maria, RS, Brasil
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Perius, Carla Fernanda

Variáveis de projeto e sua influência no desempenho e dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de água da chuva / Carla Fernanda Perius.- 2016.

132 p.; 30 cm

Orientadora: Rutinéia Tassi

Coorientador: Daniel Gustavo Allasia Piccilli

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2016

1. Aproveitamento da água da chuva 2. Eficiência 3. Séries de precipitações 4. Séries de demandas I. Tassi, Rutinéia II. Allasia Piccilli, Daniel Gustavo III. Título.

Carla Fernanda Perius

**VARIÁVEIS DE PROJETO E SUA INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO E
DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA
DA CHUVA**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 15 de dezembro de 2016:

Rutinéia Tassi, Dr^a. (UFSM)
(Presidente/Orientadora)

Daniel Gustavo Allasia Piccilli, Dr. (UFSM)
(Co-Orientador)

Juan Martin Bravo, Dr. (IPH, UFRGS)

Leandro Conceição Pinto, Dr. (UFSM)

Santa Maria, RS.
2016

Agradeço...

A Deus, que em sua imensidão, sempre me deu forças e nunca me permitiu desistir dos meus sonhos;

Aos meus pais, Danilo e Merice, pelo apoio a todas minhas metas, e por me mostrarem que o ensino e a educação transformam a vida de qualquer pessoa;

A minha irmã, Caren, por sempre ser muito mais que uma irmã, por sempre ser uma grande amiga;

Ao meu cunhado, Clercir, que, ao longo desses anos, se tornou um grande irmão e um grande amigo;

A minha grande família, por me mostrarem, nos encontros de sempre, o quão abençoada sou por ter uma família assim;

As amigadas de Campina: Aline, Eduarda e Mariéli, que nem a distância, nem o tempo conseguiram apagar;

A Débora, amiga desde a graduação, por fazer parte de quase todas as minhas histórias de Santa Maria. Obrigada pela amizade e companheirismo de sempre e pelo acolhimento no final desse projeto;

Ao Chico e ao Tassinari, agradeço pela amizade construída em Santa Maria e por sempre estarem presente ao longo da jornada;

A Jéssica e a Regina, que tornaram-se grandes amigas durante o período e pelas horas de terapia “gratuita” após o almoço;

Aos amigos da casa 80, pelos momentos de descontração, regados a cerveja, vinho ou até chimarrão. Sem falar nos deliciosos almoços de domingo em família. Em especial, agradeço ao Willian, que ao longo do caminho foi um excelente companheiro, agradeço ao apoio em todos os momentos;

Ao grupo Modelagem Hidroambiental e Ecotecnologias, por despertar em mim o interesse pelos Recursos Hídricos, quando ainda era bolsista de iniciação científica;

Aos amigos do grupo Ecotecnologias: Bibiana, César, Francisco, Gabriel, Jair, Jean, Jéssica, Marcello, Maurício, Raviel, Regina, Roberta, Sara, Stefany, Pedro e Vítor, pela amizade construída, por todas as tardes de mate e pelos dias de muito trabalho. Obrigada pela troca de experiências e aprendizados;

A Prof. Daniela G. Sanagiotto, que me orientou nos primeiros passos da vida acadêmica, quando ainda era apenas uma estudante do segundo semestre de engenharia.

A Prof. Denise, pelo incentivo a pesquisa e pelos seus ensinamentos de vida passados durante as tardes de chimarrão;

Ao Prof. Daniel e a Prof. Rutinéia, que sempre me incentivaram a pesquisa, desde a época da graduação e que se tornaram mais que simplesmente orientadores nesses seis anos. Tornaram-se uma família em Santa Maria, sempre pronta a acolher e dar os mais valiosos conselhos. Agradeço também pelas contribuições que foram dadas para engrandecer este trabalho;

Ao Alcides, a Irene e sua família, pelo acolhimento neste período;

As secretárias Marília Goulart e Rosa Maria de Brito, pela paciência e auxílio na solução de alguns problemas;

A Universidade Federal de Santa Maria, por me proporcionar um ensino gratuito e de qualidade durante o ensino médio, a graduação e o mestrado;

A Capes/CNPq, pela bolsa de mestrado concedida para a realização deste trabalho;

Ao INMET e demais instituições, pelas informações concedidas;

A banca de avaliação, Prof. Juan Martin Bravo e Prof. Leandro Conceição Pinto, que dispuseram do seu tempo e de seus conhecimentos para os melhoramentos desse trabalho;

Aos demais, que direta ou indiretamente me incentivaram, me apoiaram e se esforçaram para a realização desta pesquisa.

Muito Obrigada!



RESUMO

VARIÁVEIS DE PROJETO E SUA INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO E DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

AUTORA: Carla Fernanda Perius
ORIENTADORA: Rutinéia Tassi
COORDENADOR: Daniel Gustavo Allasia Picilli

O aproveitamento da água da chuva (AAC) para consumo não potável nas edificações é uma prática muito difundida em todo o mundo. A reservação é um dos itens de maior variabilidade no dimensionamento do sistema de AAC. O volume do reservatório deve ser otimizado, de forma a não ser excessivamente grande e oneroso, e tampouco pequeno e insuficiente no cumprimento ao atendimento às demandas. Neste contexto, este trabalho teve por objetivo avaliar a influência das variáveis de projeto (falhas na série de precipitações, condições captação-demanda, situação inicial de reservação, volumes de descarte, diferentes séries de demandas e diferentes alterações nas séries de precipitações) no volume e desempenho de reservatórios de aproveitamento de água da chuva (RAAC). Para isso, foram consideradas diferentes áreas de captação (100, 200 e 300 m²), localizado em cinco cidades do Brasil - Porto Alegre, RS; São Paulo, SP; Goiânia, GO; João Pessoa, PB e Manaus, AM, contemplando assim, diferentes regimes pluviométricos. A metodologia empregada para esse fim foi o método da simulação de balanço hídrico em reservatórios, com a avaliação dos resultados para diferentes volumes comerciais (1.000 L, 1.500 L, 2.000 L, 3.000 L e 5.000 L). Quanto aos critérios iniciais de simulação (condições captação-demanda, situação inicial de reservação, volumes de descarte), o descarte do primeiro escoamento gerou as alterações mais representativas nas falhas ao atendimento à demanda. Quanto às diferentes séries de demandas, aumentos de 40% do volume demandado, provocaram um acréscimo de 2,5 vezes no volume de armazenamento em regiões com baixa variabilidade sazonal do regime de chuvas e, em até 5 vezes o tamanho do reservatório, nas regiões com sazonalidades bem definidas. Quanto aos diferentes rearranjos da série de precipitações, as variações interanuais e intra-aneais não ocasionaram grandes alterações nas falhas no atendimento à demanda. Assim, com base nos resultados encontrados, recomenda-se uma maior atenção à influência da extensão e a discretização temporal da série de precipitações durante o dimensionamento de reservatórios para o aproveitamento de água da chuva.

Palavras-Chave: Aproveitamento da água da chuva, eficiência, séries de precipitações, séries de demandas.

ABSTRACT

PROJECT VARIABLES AND ITS INFLUENCE ON THE PERFORMANCE AND DESIGN OF RAINWATER HARVESTING TANKS

AUTHOR: Carla Fernanda Perius
ADVISOR: Rutinéia Tassi
CO-ADVISOR: Daniel Gustavo Allasia Picilli

Rainwater harvesting (RWH) for non-potable use in buildings are a widespread practice around the world. The reservation is the item with the greatest variability in the RWH system design. The reservoir volume must be optimized in a way that it is not too large and costly, and not too small and insufficient to meet the demands. In this context, the objective of this work was to evaluate the influence of the project variables (faults in the rainfall series, catchment-demand conditions, initial reserve situation, discharge volumes, different demand series, changes in precipitation series) in the volume and performance of RWH tanks. For this, different catchment areas (100, 200 and 300 m²) were considered, located in five cities of Brazil - Porto Alegre, RS; Sao Paulo-SP; Goiânia, GO; João Pessoa, PB and Manaus, AM, thus contemplating different pluviometry regimes. For this purpose, the volume balance methodology was used, evaluating results for different commercial tanks volumes (1,000 L, 1,500 L, 2,000 L, 3,000 L and 5,000 L). Regarding the initial simulation criteria (catchment-demand conditions, initial reservation situation, discard volumes), the first discard runoff generated the most representative changes in the failure to meet the demand (8%). In relation to the different demand series, an increase of 40% in demand volume caused a 2.5-fold increase in the storage volume in regions with low rainfall seasonal variability and up to 5 times the size of the reservoir in the regions with well-defined seasonality. With regard to the different rearrangements of the series of precipitations, the inter-annual and intra-annual variations did not cause major changes in the failure of demand supply. Thus, based on the results found, it is recommended to consider the influence of the extension and the temporal discretization of the precipitations series in the rainwater reservoir design.

Key-words: Rainwater harvesting, efficiency, precipitation series, demand series.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Esquema da instalação destinada ao aproveitamento de água pluvial..	37
Figura 4.1 – Apresentação dos cenários considerados.....	50
Figura 5.1– Precipitação média de longo período para as cidades de Porto Alegre, São Paulo, Goiânia, João Pessoa e Manaus.....	61
Figura 5.2 – Temperaturas médias de longo período, no decorrer de um ano.	66
Figura 5.3 – Falhas no abastecimento de água da chuva, a partir de diferentes correções na série de precipitações para a área de 200 m ²	67
Figura 5.4 – Eficiência de reservação do Tratamento I, comparativamente ao Tratamento II.	69
Figura 5.5– Falhas no atendimento à demanda, considerando VAD E DAV, para a área de 200 m ²	71
Figura 5.6 – Eficiência de reservação considerando a DAV em relação a VAD.....	71
Figura 5.7 – Falhas no atendimento à demanda, considerando a situação de reservatório cheio e vazio no início da simulação, para área de captação de 200 m ²	72
Figura 5.8 – Eficiência do reservatório inicialmente vazio, comparativamente ao reservatório inicialmente cheio (100 %).	74
Figura 5.9 – Falhas no atendimento à demanda considerando o descarte da primeira água de chuva para a área de 200 m ²	77
Figura 5.10 - Eficiência da simulação considerando o descarte da água de lavagem, comparativamente a simulação sem considerar a água de lavagem da área de cobertura.....	79
Figura 5.11 – Falhas no atendimento à demanda nas cidades, considerando diferentes tipos de demanda, para uma área de captação de 200 m ²	89
Figura 5.12 – Falhas no atendimento à demanda, considerando diferentes tipos de demanda, para a área de 200 m ²	90
Figura 5.13 – Comparação de diferentes escalas temporais na avaliação das falhas ao atendimento a demanda para a área de 200 m ²	92
Figura 5.14 - Falhas ao atendimento a demanda considerando a série diária (1961-2015) e a série horária (2001-2015).	94
Figura 5.15 – Falhas ao atendimento à demanda a partir de diferentes extensões da série de precipitações para uma área de 200 m ²	96
Figura 5.16 - Falhas ao atendimento à demanda considerando o ano mais seco e o ano mais chuvoso no início da simulação para uma área de 200 m ²	98
Figura 5.17 – Falhas no atendimento à demanda, considerando uma tendência crescente e tendência decrescente de volumes precipitados, para uma área de captação de 200 m ²	99
Figura 5.18 – Falhas no atendimento à demanda, com início nas diferentes estações do ano, para a área de captação de 200 m ²	101
Figura 5.19 – Falhas ao atendimento à demanda considerando duas situações extremas.	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Descrição da demanda sazonal de usos não potáveis na residência simulada, com exceção da irrigação.....	51
Tabela 4.2 - Síntese dos horários utilizados para a definição dos momentos de consumo de água não potável e volumes utilizados.....	52
Tabela 5.1 - Características da série de precipitação	64
Tabela 5.2 – Volumes de falhas ao atendimento a demanda, em litros, até a estabilização da simulação.	75
Tabela 5.3 – Volume, em litros, do descarte em cada área de captação.....	76
Tabela 5.4 – Períodos de descarte da primeira água de lavagem.	78
Tabela 5.5 - Síntese dos volumes de demandas médios.....	81
Tabela 5.6 – Razão, em porcentagem, da demanda em relação a precipitação para a cidade de Porto Alegre.	83
Tabela 5.7– Razão, em porcentagem, da demanda em relação a precipitação para a cidade de São Paulo.....	84
Tabela 5.8– Razão, em porcentagem, da demanda em relação a precipitação para a cidade de Goiânia.....	85
Tabela 5.9 – Razão, em porcentagem, da demanda em relação a precipitação para a cidade de João Pessoa.....	86
Tabela 5.10 – Razão, em porcentagem, da demanda em relação a precipitação para a cidade de Manaus.....	87
Tabela 5.11 – Fator de correção para a utilização da precipitação com intervalo de tempo diário.	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1– Coeficientes de escoamento de Wilken (1978).	39
Quadro 4.1 – Razão entre o volume armazenado e o volume demandado para cada cidade considerada.....	48
Quadro 4.2 – Comprimento das séries de precipitação para cada cidade considerada.....	51
Quadro 5.1 – Extensão total da série de precipitações e diferentes cenários simulados.....	95
Quadro 5.2 – Situações Extremas.....	102

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Discretização temporal das falhas presentes nas séries de precipitação para cada cidade analisada.....	113
APÊNDICE 2 - Falhas no atendimento à demanda, considerando VAD E DAV, para a área de 100 m ²	115
APÊNDICE 3- Falhas no atendimento à demanda, considerando VAD E DAV, para a área de 300 m ²	116
APÊNDICE 4 - Falhas ao atendimento a demanda, considerando a situação de reservatório cheio e vazio no início da simulação, para área de captação de 100 m ²	117
APÊNDICE 5 - Falhas ao atendimento a demanda, considerando a situação de reservatório cheio e vazio no início da simulação, para área de captação de 300 m ²	118
APÊNDICE 6 - Falhas no atendimento à demanda considerando o descarte da primeira água de chuva para a área de 100 m ²	119
APÊNDICE 7 - Falhas no atendimento à demanda considerando o descarte da primeira água de chuva para a área de 300 m ²	120
APÊNDICE 8 - Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes tipos de demanda, para uma área de 100 m ²	121
APÊNDICE 9 - Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes tipos de demanda, para uma área de 300 m ²	122
APÊNDICE 10 - Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes intervalos de tempo, para uma área de 100 m ²	123
APÊNDICE 11 - Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes intervalos de tempo, para uma área de 300 m ²	124
APÊNDICE 12 - Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes comprimentos de série, para uma área de 100 m ²	125
APÊNDICE 13- Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes comprimentos de série, para uma área de 300 m ²	126
APÊNDICE 14 - Falhas ao atendimento à demanda considerando o ano mais seco e o ano mais chuvoso no início da simulação para uma área de 100 m ²	127
APÊNDICE 15 - Falhas ao atendimento à demanda considerando o ano mais seco e o ano mais chuvoso no início da simulação para uma área de 300 m ²	128
APÊNDICE 16 - Falhas no atendimento à demanda, considerando uma tendência crescente e tendência decrescente de volumes precipitados, para uma área de captação de 100 m ²	129
APÊNDICE 17 - Falhas no atendimento à demanda, considerando uma tendência crescente e tendência decrescente de volumes precipitados, para uma área de captação de 300 m ²	130
APÊNDICE 18 - Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes variações intra-anuais, para uma área de 100 m ²	131
APÊNDICE 19 - Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes variações intra-anuais, para uma área de 300 m ²	132

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%:	Porcentagem;
°C:	graus Celsius;
A:	Área de coleta da água da chuva;
AAC:	Aproveitamento da Água da Chuva;
ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas;
AM:	Amazonas;
ANA:	Agência Nacional de Águas;
Art.:	Artigo de Lei;
ASA:	Articulação do Semiárido;
C:	Coefficiente de escoamento superficial;
CAPES:	Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior;
CNPq:	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico;
D:	Demanda diária;
D_t ou $D(t)$:	Demanda no tempo t ;
DAV:	Demanda antes do Volume;
GO:	Goiás;
I:	Interceptação da água que molha a superfície de coleta;
INMET:	Instituto Nacional de Meteorologia
km ² :	Quilometro quadrado;
m ² :	Metro quadrado;
min:	Minuto;
mm:	Milímetro;
NBR:	Norma Brasileira;
P:	Precipitação;
PB:	Paraíba;
$Q(t)$ ou Q_t :	Volume de chuva aproveitável no tempo t ;
Q:	Volume mensal produzido pela precipitação;
RAAC:	Reservatório de Aproveitamento da Água da Chuva;
RS:	Rio Grande do Sul;
$S(t)$:	Volume de água no reservatório no tempo t ;
$S(t-1)$:	volume de água no reservatório no tempo $t-1$;
SP:	São Paulo;
T:	Número de meses por ano sem precipitação ou de estiagem;
V:	Volume do Reservatório;
VAD:	Volume antes da Demanda;
V_t :	Volume de água no reservatório no fim do mês;
V_{t-1} :	Volume de água no reservatório no início do mês;

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	27
2. OBJETIVOS	29
2.1. OBJETIVO GERAL.....	29
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
3. REFERENCIAL TEÓRICO	31
3.1. USOS DAS ÁGUAS PLUVIAIS	31
3.2. LEGISLAÇÃO SOBRE O APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA.....	33
3.3. SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA	36
3.3.1. Componentes de um sistema de AAC	36
3.3.1.1. Área de Cobertura	38
3.3.1.2. Coeficiente de escoamento.....	38
3.3.1.3. Calhas e condutos verticais	39
3.3.1.4. Grades e filtros	40
3.3.1.5. Dispositivos de descarte do escoamento inicial.....	40
3.3.1.6. Reservatórios de armazenamento.....	41
3.3.2. Dimensionamento do Reservatório de AAC	41
3.3.2.1. Método de Azevedo Neto	43
3.3.2.2. Método Prático Alemão	44
3.3.2.3. Método Prático Inglês.....	44
3.3.2.4. Método Prático Australiano.....	44
3.3.2.5. Método de Rippl.....	45
3.3.2.6. Método da Simulação	46
4. METODOLOGIA	47
4.1. ÁREA DE ESTUDO.....	47
4.2. MÉTODO DE SIMULAÇÃO	47
4.3. SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO E DEMANDA.....	50
4.4. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO E ANÁLISES REALIZADAS.....	52
4.4.1. Caracterização das séries de precipitação	53
4.4.2. Tratamento de falhas nos dados de precipitação	53
4.4.3. Critérios de simulação	54
4.4.3.1. Influência da condição captação-demanda	54
4.4.3.2. Influência da condição inicial	55
4.4.3.3. Influência do descarte.....	56
4.4.4. Influência da Série de Demanda	57
4.4.5. Influência da série de precipitações	58
4.4.5.1. Influência da discretização temporal.....	58
4.4.5.2. Influência da extensão da série	58
4.4.5.3. Influência da condição inicial da série	59
4.4.6. Análise das situações extremas	60
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
5.1. CARACTERÍSTICAS DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO.....	61
5.2. TRATAMENTO DE DADOS	65
5.2.1. Determinação das demandas de irrigação	65
5.2.2. Tratamento de falhas nos dados de precipitação	66
5.3. CRITÉRIOS DE SIMULAÇÃO	69
5.3.1. Influência da condição captação-demanda	69
5.3.2. Influência da condição inicial	72
5.3.3. Influência do descarte	76

5.4. SÉRIE DE DEMANDAS	80
5.4.1. Análise das séries de demandas	80
5.4.2. Influência da série de demandas	88
5.5. INFLUÊNCIA DA SÉRIE DE PRECIPITAÇÕES	91
5.5.1. Influência da discretização temporal	91
5.5.2. Influência da extensão da série	94
5.5.3. Influência da condição inicial da série	97
5.5.3.1. <i>Análise da variação interanual da série de precipitações</i>	<i>97</i>
5.5.3.2. <i>Análise da variação intra-anual da série de precipitações....</i>	<i>100</i>
5.6. ANÁLISE DAS SITUAÇÕES EXTREMAS	102
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	105
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
8. APÊNDICES	113

1. INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento urbano gera uma maior demanda de recursos hídricos e, conjuntamente à falta de planejamento e o descaso com a qualidade desses recursos, conduzem a uma eminente escassez de água de boa qualidade. Desta forma, faz-se necessário o desenvolvimento e a utilização de técnicas que viabilizem e tornem mais eficientes os usos da água.

Segundo Group Raindrops (2002), o consumo de água não potável dentro de uma residência pode corresponder a 25% da demanda (bacia sanitária, lavagem de carros e calçadas, irrigação de jardins, etc.), o que gera um vasto potencial de substituição por sistemas que captem e aproveitem a água da chuva, reduzindo o consumo de água potável. As águas provenientes de captação pluvial se destinam, principalmente, para fins não potáveis (TOMAZ, 2005), pois devido a contaminação do ar e da área de captação o seu uso para fins potáveis é limitado, devendo ser realizada alguma forma de tratamento prévio.

A vantagem fundamental da instalação de um sistema de aproveitamento de água da chuva (AAC), em termos econômicos, é a capacidade de redução do consumo de água tratada, podendo ter particular interesse em locais em que não há ligação com a rede pública, ou seja, em edificações isoladas. Por outro lado, o aproveitamento de água de chuva também traz benefícios ambientais, como a redução da energia requerida para a operação de uma estação de tratamento de água centralizada, a diminuição dos efeitos provocados pelo escoamento superficial dessa água, como aumento de erosão e inundações, além de aumentar a oferta de água para outros usuários.

Um sistema de aproveitamento da água da chuva deve ser planejado de forma a atender os usos previstos, e seu desempenho pode ser influenciado, por exemplo, pelo regime pluviométrico, diferentes possibilidades de configuração, critérios de projeto, qualidade da água que entra no sistema e a manutenção. Todos estes fatores estão diretamente relacionados a critérios financeiros. Dessa forma, se considera que o projeto de um sistema de AAC deve equilibrar-se entre duas metas conflitantes: a garantia do suprimento de água e a minimização de custos do sistema. No entanto, é difícil encontrar uma recomendação básica e genérica para o tamanho e configuração do sistema de armazenamento de águas pluviais (JONES;

HUNT, 2010), especialmente em um país como o Brasil, com proporções continentais, e detentor de um conjunto variável e sazonal de regimes pluviométricos, influenciados pelo clima e relevo (DORNELLES, 2012).

Assim, apesar dos benefícios evidentes, verificam-se dificuldades para a utilização de sistemas de AAC, especialmente devido ao alto custo inicial de implantação e à escassez de recomendações técnicas para os projetistas.

Neste contexto, o presente trabalho visa avaliar as distintas variáveis de projeto necessárias para o dimensionamento de um reservatório de aproveitamento de água da chuva (RAAC), e sua interferência em termos de volume e desempenho, quando consideradas diferentes regiões brasileiras.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência de variáveis de projeto no volume e desempenho de reservatórios de aproveitamento de água de chuva (RAAC) em diferentes regiões do Brasil.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Investigar a interferência de diferentes definições iniciais de projeto: tratamentos de falhas na série de precipitações, condição captação-demanda, descarte da primeira água da chuva e condição inicial de reservação no desempenho e volume final de reservação;

b) Investigar a influência de distintas demandas considerando diferentes volumes demandados no desempenho de RAAC;

c) Avaliar a influência de diferentes alterações nas séries de precipitações - discretização temporal, extensão da série e condição inicial da série - sobre o desempenho e volume dos RAAC em diferentes locais do Brasil;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. USOS DAS ÁGUAS PLUVIAIS

A água é utilizada em todos os segmentos sociais, e está presente no uso doméstico, comercial, industrial, público e agrícola (CONSUMO SUSTENTÁVEL, 2005). O consumo de água, considerando-se todos os setores, pode ser segregado em duas partes: aqueles consumos que necessitam obrigatoriamente de água potável e os consumos menos nobres, no qual poderia ser utilizada alguma fonte de água não potável. Nesse contexto, usos como a descarga de bacias sanitárias, irrigação, lavagem de pisos e veículos, torneiras de jardins e enchimento de piscinas, poderiam ser supridos com outras fontes de água não potáveis, a exemplo da água da chuva (TOMAZ, 2005; RIBEIRO et al., 2011).

O aproveitamento da água da chuva para as mais variadas finalidades, como a produção de alimentos, criação de animais e até mesmo consumo humano, advém de mais de 2.000 anos (TOMAZ, 1998). Existem relatos do aproveitamento da água da chuva praticado por vários povos, como Incas, Astecas e Maias. No deserto de Negev, hoje território de Israel e da Jordânia, há cerca de 2.000 anos existiu um sistema integrado de manejo de águas pluviais (GNADLINGER, 2005).

No entanto, a prática da coleta da água da chuva e o seu posterior aproveitamento perdeu força com a inserção de tecnologias mais modernas de abastecimento, como a construção de grandes barragens, o desenvolvimento de técnicas para o aproveitamento de águas subterrâneas, a irrigação encanada e a implementação dos sistemas de abastecimento (TOMAZ, 2005).

Porém, atualmente a utilização da água da chuva voltou a ser realidade, integrando políticas de gestão moderna de grandes e médias cidades. Com um cenário crescente de desenvolvimento urbano, o reconhecimento da importância da utilização de águas pluviais vem crescendo, devido ao aumento dos riscos de escassez e à diminuição da qualidade deste recurso natural, tanto superficiais como subterrâneos (RIBEIRO et al., 2011). Somam-se a esses fatores a baixa disponibilidade hídrica de muitas regiões, o interesse na redução de custos com tarifas e, até mesmo, a exigência legal de alguns Estados e Municípios (TOMAZ, 2005).

A captação da água da chuva apresentava, no início do século XXI, potencial para beneficiar 2 bilhões de pessoas no mundo inteiro, que atualmente não têm acesso à água limpa ou saneamento básico adequado (GNADLINGER, 2003). Em vários países, principalmente no continente africano, a técnica de utilização das águas pluviais vem sendo praticada há muito tempo e em alguns casos representa a única fonte de água disponível a população (HAGEMANN, 2009).

Segundo Dyer (1999), em países do sul do continente africano, a captação da água da chuva vem sendo estimulada, em função da escassez proveniente de seu clima desértico. Em alguns casos, o aproveitamento de água da chuva se integra como a única solução, diante do fato de que as fontes superficiais são quase inexistentes e as fontes subterrâneas são muito profundas e de má qualidade.

Em Moçambique, a utilização das águas pluviais é uma técnica largamente utilizada, devido a insuficiência dos recursos hídricos superficiais, mal distribuídos e de baixa qualidade (DYER, 1999). Existem, também, relatos da utilização de água da chuva na Tanzânia, porém em pequena escala (RUTASHOBYA, 1999).

Segundo o UNEP (2002), a China também incentiva o aproveitamento de água da chuva, com mais de setenta províncias utilizando essa fonte para o consumo doméstico e irrigação. Na província de Gansu, vem sendo realizadas pesquisas e projetos de extensão em aproveitamento de água da chuva desde 1980 e, como resultado, já foram construídos mais de dois milhões de cisternas, suprimindo o consumo de água a 1,9 milhões de pessoas.

O aproveitamento da água da chuva também é muito difundido em países desenvolvidos como o Japão, EUA, Alemanha e Austrália, que utilizam a água pluvial nas mais diversas aplicações (TOMAZ, 2005).

No Japão, cerca de 15 centros de convenções e de esportes utilizam a água captada das superfícies impermeáveis para a utilização em bacias sanitárias, irrigação dos gramados e combate a incêndio (GNADLINGER 2003). Zaizen et al (2000) relata que aproximadamente 60% da água consumida nesses estádios é proveniente da captação e do aproveitamento. Segundo Kita et al (1999), em várias cidades do Japão existem programas de incentivo a construção de cisternas, podendo chegar até 100.000 ienes para cisternas maiores. Na conversão para a moeda brasileira em novembro de 2016, esse valor representaria R\$ 3.150,00 (três mil cento e cinquenta reais).

No Brasil existem poucos relatos de captação e aproveitamento de água da chuva em larga escala, em vista da disponibilidade relativamente grande de outras fontes de abastecimento. O despertar para esta necessidade é mais recente, provocado especialmente pelo interesse em redução dos custos com água tratada e por emergência ambientais (ALVES et al., 2009).

O exemplo brasileiro mais emblemático é o Programa Um Milhão de Cisternas, desenvolvida pela Articulação do Semiárido – ASA (ASA, 2013), cujo objetivo é o acesso à água por meio de construção de cisternas que armazenam a água da chuva. Deve-se destacar que, no caso do semiárido brasileiro, a água da chuva é utilizada para consumo humano, após tratamento (CÁRITAS BRASILEIRA, 2001), assim como em algumas ilhas do estado do Pará (ex. Urubuoca, Murucutu e Jutuba) (VELOSO e MENDES, 2013).

Ainda nesse contexto, a cidade de São Paulo tem incentivado a coleta e aproveitamento da água da chuva desde o ápice da crise hídrica, que provocou o desabastecimento de várias cidades. O projeto IPTU verde consiste na redução do imposto para proprietários que utilizem algumas práticas, incluindo o aproveitamento de água da chuva (SÃO PAULO, 2011).

3.2. LEGISLAÇÃO SOBRE O APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA

A captação e o posterior aproveitamento da água da chuva deve ser visto sob a ótica da gestão dos recursos hídricos. A sua correta gestão é influenciada por uma série de fatores socioeconômicos, ambientais e técnicos. Segundo Veloso e Mendes (2013) a captação e o aproveitamento da água da chuva deve ser incluída nos planos de desenvolvimento de todas as agências governamentais, como uma de suas estratégias de manejo integrado dos recursos hídricos.

Devido ao enfoque cada vez maior para as práticas sustentáveis, diversos países têm criado legislações específicas que incentivam e, em alguns casos, até obrigam a concepção desse tipo de sistema, pois, com isso, reduzem o consumo de água tratada e, por consequência, seus custos.

Internacionalmente, Alemanha, Austrália, Estados Unidos, entre outros países, possuem leis que favorecem a captação e o manejo das águas pluviais. No caso específico da Austrália a água da chuva é, tradicionalmente, utilizada para

consumo humano e existem normas detalhadas sobre a captação, uso e controle da qualidade das águas pluviais (GNADLINGER, 2005).

No âmbito nacional, não há nenhuma lei que discipline especificamente sobre o uso das águas pluviais. Existe o projeto de lei nº. 7818/2014, que cria política nacional de captação e aproveitamento da água das chuvas, no qual passa a ser obrigatório que municípios com mais de 100 mil habitantes, elaborarem um plano de manejo e drenagem das águas pluviais, que deverá ser seguido por todos os empreendimentos cuja construção ou manutenção cause impermeabilização do solo em área superior a 1.000 m² ou que envolvam parcelamento do solo, como condomínios. Também devem seguir as determinações do plano de manejo, edificações que tenham consumo superior a 20.000 litros de água por dia e edifícios públicos. A captação, o armazenamento e o aproveitamento das águas pluviais nesses empreendimentos serão itens obrigatórios para a aprovação de projetos, em área urbana e rural, inclusive quando se tratar de edificações de interesse social. Esta obrigação se estende também a reformas (BRASIL, 2014).

No sentido de padronizar os procedimentos para captação e aproveitamento da água da chuva, em 2007 foi concluída a norma que rege a utilização desse tipo de sistema em áreas urbanas para fins não potáveis: NBR nº. 15.527/2007 (ABNT, 2007). Esta norma surge como a primeira diretriz brasileira específica, que fornece os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas, para fins não potáveis tais como descargas em bacias sanitárias, irrigação de plantas ornamentais, lavagem de veículos e calçadas, limpezas de pátios, espelhos de água e usos industriais.

Em resumo, a norma trata das condições gerais que o sistema de aproveitamento deve satisfazer, principalmente, no que se refere a calhas e condutores, reservatórios, instalações prediais e manutenção. A norma se aplica a usos não potáveis, em que a água de chuva possa ser utilizada após tratamento adequado (HAGEMANN, 2009), ou sem qualquer tipo de tratamento.

O escopo da norma inclui instalações hidrossanitárias, dimensionamento de reservatórios, tratamento e usos indicados, qualidade desejada para a água, assim como necessidades de manutenção e monitoramento da qualidade. Isso inclui a adaptação dos dispositivos de coleta, como calhas e condutores verticais, juntamente com a instalação de outros equipamentos específicos: descarte da primeira água da chuva (*first-flush*), extravasores, grades e filtros,

realimentação/suprimento com água potável, entre outros. A norma também indica a desinfecção da água de aproveitamento com garantia residual de cloro livre entre 0,5 e 3,0 mg/L.

Embora não se tenha uma legislação nacional, muitos estados brasileiros, tais como Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Mato Grosso, Distrito Federal, Acre, Amapá, Rondônia, Paraíba já possuem legislação específica. Ainda, Goiás (GOIÁS, 2015), Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2015), Rio Grande do Sul (RIO GRANDE DO SUL, 2012) e Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2013) estão buscando aprovação de projetos de lei referentes ao tema.

Quanto a atuação municipal, várias cidades apresentam legislação referente a captação e o aproveitamento da água da chuva, entre elas, Porto Alegre, Curitiba, São Paulo, Recife, João Pessoa, Salvador, Brasília, Teresina, entre outras.

O município de Porto Alegre criou a lei nº. 10.506/2008, pela qual instituiu o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas. Esta lei cita que a água da chuva deve ser captada nas coberturas, e encaminhada para um reservatório, para posterior utilização em atividades que não requeiram o uso de água potável. Ainda, segundo esta lei, as águas provenientes dos lagos artificiais e chafarizes de parques, praças e jardins devem ser provenientes do reaproveitamento (PORTO ALEGRE, 2008).

A lei nº. 13.276/2002 torna obrigatória, na capital paulista, a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m². A lei estabelece que a água captada deve preferencialmente ser infiltrada no solo, podendo ser direcionada a rede de drenagem após uma hora do término da chuva ou ainda ser utilizada para fins não potáveis (SÃO PAULO, 2002).

No caso de Goiânia, está em vigor a Lei nº. 9.511/2014, que estabelece regras de controle de águas pluviais e drenagem urbana. Esta lei sanciona o aproveitamento da água da chuva como medida complementar, isto é, pode ser realizado o aproveitamento a partir do volume retido nos reservatórios de controle pluvial ou dos excessos nos sistemas de infiltração (GOIANIA, 2014).

Em Manaus vigora a lei nº. 1.192/2007, que dispõem sobre o Programa de Tratamento e Uso Racional das Águas nas Edificações – Pró-Águas. Segundo o Art. 16 da respectiva lei, a água da chuva poderá ser captada nas edificações e encaminhada a um reservatório para ser utilizada, após tratamento adequado, em

atividades que não requeiram o uso de água potável. No Art. 17, desta mesma lei, fica decretado que em novos empreendimentos ou ampliações, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m², é obrigatória a implantação de reservatórios que retardem o escoamento das águas pluviais para rede de drenagem. A água contida pelo reservatório poderá ser utilizada para finalidades não potáveis (MANAUS 2007).

A Lei nº 12.166/2011, referente ao município de João Pessoa, cria o sistema de reuso de água de chuva, objetivando a instalação de reservatórios para captação e utilização de água pluvial para uso não potável em mercados municipais, subprefeituras, condomínios, clubes, entidades, conjuntos habitacionais e demais imóveis residenciais, industriais e comerciais (JOÃO PESSOA, 2011).

3.3. SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA

3.3.1. Componentes de um sistema de AAC

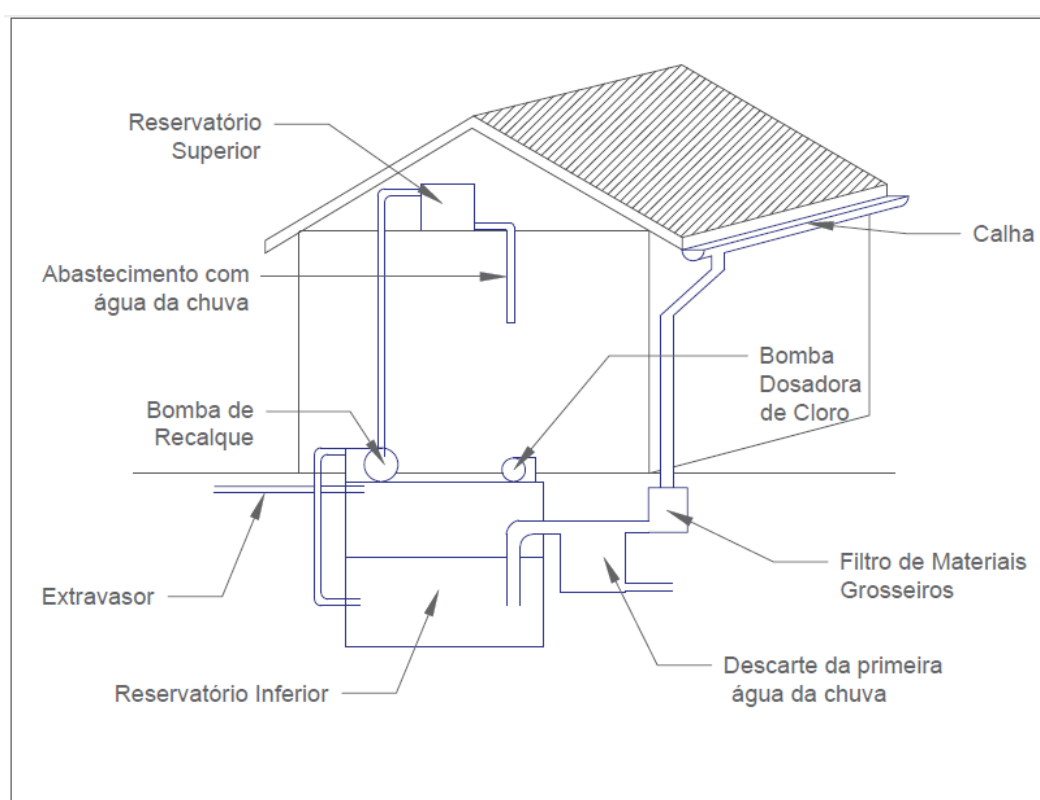
Existem vários tipos de sistemas de aproveitamento de água da chuva. De acordo com a NBR 15.527/2007 é fundamental que a concepção do projeto do sistema de AAC atenda aos requisitos da NBR 10844/89 – Instalações Prediais de Águas Pluviais (ABNT, 1989) e da NBR 5626/98 – Instalações Prediais de Água Fria (ABNT, 1998).

O sistema básico para a instalação de uma captação e aproveitamento de águas pluviais é composto basicamente por: superfície de captação (telhados e/ou pavimentos), sistema de condução das águas (calhas e condutores verticais), reservatório de armazenamento (inferior), bomba de recalque para conduzir a água até um reservatório superior e por fim o abastecimento para fins não potáveis. Opcionalmente pode ser incluído um sistema de filtração e de descarte do volume proveniente das primeiras águas, em geral com poluentes oriundos da limpeza da área de captação (HENTGES, 2013).

A água da chuva captada, normalmente em um telhado, é direcionada por um conjunto de calhas para um reservatório geralmente localizado em região inferior, onde ocorre o armazenamento, para posterior utilização (COHIM et al., 2007). Recomenda-se que junto a esse sistema seja instalado um filtro para retirada de impurezas, como folhas e outros detritos. Também se recomenda, que a primeira

água que escoar sobre o telhado, conhecida como água de lavagem (*first flush*), seja descartada devido à presença mais expressiva de contaminantes. Além disso, muitas vezes é necessária a interposição de uma bomba, para promover o recalque a um reservatório elevado para posterior distribuição. Esquemáticamente, os elementos que compõem o referido sistema e seus indicativos de funcionamento, podem ser observados na Figura 3.1.

Figura 3.1 - Esquema da instalação destinada ao aproveitamento de água pluvial



Fonte: Elaboração Própria.

Os usos aos quais se destinam as águas pluviais está diretamente relacionada a sua qualidade que, por sua vez, depende geralmente das condições atmosféricas e das superfícies onde são coletadas. Assim, em regiões industriais, onde é significativamente maior a poluição atmosférica, e também em telhados residenciais em que há presença de agentes contaminantes, tais como fezes de pássaros e outros animais, poeiras, folhas de árvores, entre outros, não é possível realizar o aproveitamento para fins potáveis sem que algum tratamento seja realizado (TOMAZ, 1998).

3.3.1.1. *Área de Cobertura*

As áreas de captação da água da chuva são superfícies impermeáveis, em que a água da chuva é coletada e transferida até as calhas. Geralmente são telhados ou áreas impermeáveis sobre a superfície do solo como estacionamentos, calçadas e pátios. Segundo Hagemann (2009), é mais comum a captação da água dos telhados, por apresentar melhor qualidade, já que as áreas sobre a superfície do solo sofrem influência direta do tráfego de pessoas e veículos.

A captação dos telhados possui, na maioria dos casos, um projeto facilitado, pelo fato de que a água da chuva chega até o reservatório por meio da gravidade. Os telhados podem ser constituídos por uma variedade de materiais tais como telha cerâmica ou concreto, fibrocimento, aço galvanizado, plástico, entre outros. O material do qual é constituído o telhado é importante para a definição do coeficiente de escoamento, que determina o quanto de água precipitada se transforma em escoamento superficial.

Independente do material utilizado, as perdas nos sistemas de AAC podem atingir 25% da precipitação anual, em virtude da evaporação, da ineficiência no processo de coleta, entre outros (TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, 2005).

Recomenda-se alguns cuidados que devem ser tomados com a área de captação, como limpeza frequente e remoção de materiais que possam ficar depositados sobre o telhado (poeira, folhas, galhos, fezes de animais, etc.) a fim de manter uma qualidade adequada da água coletada (UNEP, 2002; ABNT, 2007).

3.3.1.2. *Coeficiente de escoamento*

O coeficiente de escoamento é a razão entre a precipitação efetiva (parcela que vira escoamento superficial) e a precipitação útil (parcela que precipita) (TUCCI, 2000).

Segundo Wilken (1978), os coeficientes de escoamento variam de acordo com a superfície de captação, e podem ser adotados os valores apresentados no Quadro 3.1.

Quadro 3.1– Coeficientes de escoamento de Wilken (1978).

Superfície	Coeficiente de escoamento (C)
Telhados	0,70 a 0,95
Pavimentos	0,40 a 0,90
Vias e passeios porosos	0,15 a 0,30
Parques, jardins, gramados	0,10 a 0,25

Fonte: Adaptado de Wilken (1978).

Como pode-se observar no Quadro 3.1, o coeficiente de escoamento superficial de um telhado possui uma grande amplitude de variação, estando diretamente relacionado ao material do qual o mesmo é constituído. Telhas cerâmicas possuem valores de coeficiente de escoamento de 0,8 a 0,9. Já as telhas de aço galvanizados e as telhas de plásticos possuem um coeficiente de escoamento maior que 0,9, podendo chegar até 0,95.

Em telhados mais porosos as perdas serão maiores, e portanto, o coeficiente de escoamento será menor. Deve-se ter cuidado na escolha do coeficiente de escoamento, pois ele está diretamente ligado a estimativa de água aproveitável e, por consequência, a confiabilidade do sistema.

3.3.1.3. *Calhas e condutos verticais*

A água da chuva recolhida pela superfície de captação é transferida para as calhas e condutos verticais, que são responsáveis por conduzir a mesma até o dispositivo de descarte da primeira água da chuva ou direto ao reservatório de armazenamento, na inexistência do primeiro. De acordo com a ABNT (2007), o dimensionamento das calhas deve respeitar os requisitos da NBR 10844/89 (ABNT, 1989).

As calhas e condutos devem ser inspecionados e limpos periodicamente. Uma limpeza regular é necessária para evitar a contaminação da água que irá ser armazenada (UNEP, 2002). A NBR 15.527/07 recomenda que a limpeza desses dispositivos deve ser realizada semestralmente.

3.3.1.4. *Grades e filtros*

Um dos maiores problemas nos sistemas de aproveitamento de água da chuva é o acúmulo de materiais grosseiros nas áreas de captação como folhas, galhos, entre outros. Caso não forem retidos, estes materiais podem obstruir o sistema além de comprometer a qualidade da água. Por isso, as grades e filtros têm grande importância nos sistemas de AAC.

Segundo a NBR 15.527/07 recomenda-se a inspeção mensal e a limpeza trimestral das grades e filtros. Se não for realizada uma manutenção adequada, as grades e filtros podem obstruir a entrada de água nos condutores verticais e sua chegada ao reservatório.

3.3.1.5. *Dispositivos de descarte do escoamento inicial*

Após períodos secos, a primeira água precipitada tende a carrear tanto partículas de poluição presentes na atmosfera, como resíduos e poeira presentes na superfície de captação. Caso essa poluição atinja o reservatório de armazenamento pode afetar a qualidade da água reservada.

Vários estudos mostram que os primeiros milímetros de chuva são geralmente mais poluídos (ANNECCHINI, 2005; CIPRIANO, 2004; HAGEMANN, 2009; JAQUES, 2005; MAY, 2004; OKEREKE et al, 2006). Portanto, os dispositivos de descarte destinam-se a coletar e, posteriormente, eliminar a primeira água da chuva, para evitar que essa parcela de água interfira na qualidade da água armazenada.

Vários fatores interferem na qualidade inicial da água da chuva, como dias antecedentes sem precipitação, intensidade da precipitação, tipos de poluentes que podem estar presentes na atmosfera e nas áreas de captação, entre outros. Porém, como esses fatores são de difícil determinação, a NBR 15.527/07 recomenda que, na falta de dados precisos, os primeiros 2 mm de chuva devem ser descartados e que a limpeza do dispositivo de descarte deve ser realizada com uma frequência mínima mensal.

3.3.1.6. Reservatórios de armazenamento

Os reservatórios de armazenamento têm a função de reter e acumular a água da chuva, para posterior consumo. Esses reservatórios podem estar enterrados, ao nível do solo ou elevados dependendo da sua localização, do espaço disponível, da superfície de captação (telhado ou pavimento), do tipo de distribuição de água pretendido (gravimétrico ou por bombeamento) ou do material do qual são constituídos (concreto armado, fibra de vidro, aço galvanizado, polipropileno, entre outros).

Segundo o manual de Conservação e Reúso da Água em Edificações da ANA, FIESP e SindusCon-SP (2005), algumas medidas e cuidados devem ser considerados para garantir o abastecimento e a qualidade da água coletada:

- Proteger contra a luz solar, a fim de evitar a proliferação de algas;
- Manter o reservatório sempre tampado;
- Envolver a saída do extravasor com grade ou tela, para evitar a entrada de pequenos animais;
- Realizar limpeza do reservatório, com intervalo máximo de um ano entre as limpezas;
- Assegurar que a água coletada seja utilizada somente para fins não-potáveis.

3.3.2. Dimensionamento do Reservatório de AAC

ANA, FIESP e SindusCon-SP (2005) apresentam uma metodologia básica para o projeto de sistemas de coleta, tratamento e uso de água de chuva, consistindo nas seguintes etapas:

- Determinação da precipitação do local;
- Determinação da área de coleta;
- Determinação do coeficiente de escoamento;
- Projetos de sistemas complementares (grades, filtros, tubulações, descartes, entre outros);
- Identificação dos usos da água (demanda e qualidade necessária);
- Escolha do sistema de tratamento necessário;
- Dimensionamento do reservatório de armazenamento;

Ao ser implantado um sistema de captação e aproveitamento de água da chuva, algumas características do projeto permanecem fixas, como: a área de captação, calhas e condutores verticais, sistemas complementares e coeficiente de escoamento. Outras características são variáveis ao longo do tempo como as demandas e as séries de precipitação. O dimensionamento de reservatórios é influenciado por características fixas e variáveis, dificultando seu dimensionamento.

Um reservatório ideal possuiria um tamanho tal que, armazenasse o máximo de água precipitada, para que nunca ocorressem falhas ao atendimento a demanda. Porém, um reservatório que atendesse essas condições teria um grande volume ocioso na maior parte do tempo, acarretando em custos elevados ao sistema. Por outro lado, um reservatório de menor volume e por consequência de menor custo, ocasionaria muitas falhas ao sistema. Por isso, faz-se necessário um dimensionamento adequado, para que o volume captado seja condizente com as demandas e não seja excessivamente caro.

Nesse contexto, é importante realizar uma análise da viabilidade técnico-econômica do projeto. A análise da viabilidade econômica pode ser realizada através de métodos que forneçam respostas através de números, cujo valores subsidiarão a tomada de decisões a respeito da melhor configuração do projeto técnico. Os indicadores geralmente empregados na análise econômica da captação e aproveitamento de água da chuva estão embasados na determinação dos custos e benefícios do sistema, sendo normalmente utilizados a relação Custo/Benefício ou o Tempo de Retorno do Capital investido.

Segundo Cohim et al. (2008), geralmente procura-se construir grandes reservatórios buscando com isso regularizar a vazão, ou seja, acumular água durante o período chuvoso, para ser utilizada durante a estiagem. Essa lógica aplica-se muito bem a locais que não dispõem de outras fontes de abastecimento. Porém, no dimensionamento de sistemas para área urbana que, frequentemente, possui sistemas públicos de abastecimento de água, deve-se adotar uma outra lógica. Nestas regiões a utilização de água pluvial deve funcionar como uma fonte complementar, podendo ser abastecido pela rede pública durante as estiagens.

O regime anual de chuvas e a variabilidade temporal da precipitação são decisivos na definição do volume do reservatório de armazenamento (ELETROSUL, 2015). Altos índices pluviométricos e distribuições mais uniformes das precipitações ao longo do ano permitem a utilização de menores volumes de reservação. A

extensão da série de precipitações também afeta o volume final de reservação. Uma série de 5 anos, por exemplo, pode subestimar ou superestimar o volume final de reservação em quase 10% quando comparada a uma série de mais de 40 anos, uma vez que pode estar representando somente um período específico (IMMICH JÚNIOR, 2013).

A quantidade e o tipo de demanda também são fundamentais para determinar o tamanho do reservatório. Para a definição da demanda deve ser considerada a população que fará uso da água da chuva, hábitos e tipos de consumo, horários ou dias de maiores consumos, entre outros. O tipo de consumo a que será destinada a água de chuva, e a existência de outras fontes para suprimento deste, implicará no grau de risco aceitável ao esvaziamento do reservatório, influenciando no seu dimensionamento (HENTGES, 2013).

Além da característica da precipitação e demandas, outros critérios utilizados no dimensionamento podem influenciar o volume de reservação, como o tratamento dado às falhas na série de precipitações, o descarte das primeiras águas, e até mesmo a condição inicial do reservatório podem ser determinantes para o volume final.

A norma brasileira NBR nº. 15.527/2007 (ABNT, 2007) apresenta seis métodos para o dimensionamento do reservatório, apresentados a seguir.

3.3.2.1. Método de Azevedo Neto

Este método é bastante simples, no qual o volume de reservação pode ser obtido diretamente de uma equação (1) com três parâmetros. Para o dimensionamento do reservatório, este método não considera o consumo de água da residência.

$$V = 0,42 P.A. T \quad (1)$$

Sendo que:

V = volume do reservatório (litros);

P = precipitação média anual (mm);

A = área de coleta de água da chuva (m²)

T = número de meses por ano sem precipitação ou de estiagem (ABNT, 2007).

3.3.2.2. Método Prático Alemão

Este é um método empírico que adota como volume para um reservatório o valor mínimo entre 6% da demanda anual ou 6% da disponibilidade de chuva. Porém, este método não considera períodos longos de estiagem, conforme é possível observar na Equação 2.

$$V = 0,06[\text{mínimo}(P.A; 365.D)] \quad (2)$$

Sendo:

P = precipitação média anual (mm);

A = área de captação (m²);

D = demanda diária (L/dia) (ABNT, 2007).

3.3.2.3. Método Prático Inglês

O volume do reservatório é obtido pela aplicação de uma equação empírica (3), que adota diretamente 5% do volume anual de água pluvial captada. Como é possível observar, da mesma forma que o Método de Azevedo Neto, este também não considera a demanda de água para o dimensionamento do reservatório.

$$V = 0,05.P.A \quad (3)$$

sendo:

V = volume do reservatório (litros)

P = precipitação média anual (mm);

A = área de captação (m²) (ABNT, 2007).

3.3.2.4. Método Prático Australiano

Neste método é calculado inicialmente o volume de chuva (Equação 4), que leva em consideração fatores como a interceptação da água pela superfície e coeficiente de escoamento superficial.

$$Q=A.C.(P-I) \quad (4)$$

Sendo:

P = precipitação média mensal (mm);

A = área de coleta (m²);

I = interceptação da água que molha a superfície e perdas por evaporação;

Q = volume mensal produzido pela chuva;

C = coeficiente de escoamento superficial (ABNT, 2007).

O cálculo do volume do reservatório (Equação 5) é realizado por tentativas, até que sejam encontrados valores ótimos de confiança (entre 90 % e 99 %).

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (5)$$

em que:

Q_t = volume mensal produzido pela chuva no mês t;

V_t = volume de água que está no reservatório no fim do mês;

V_{t-1} = volume de água que está no tanque no início do mês t;

D_t = demanda mensal.

Este método, apesar de considerar a demanda e outras importantes variáveis que interferem no volume do reservatório, considera o intervalo de tempo mensal, que é um período muito longo para o dimensionamento de pequenos reservatórios, como no caso de residências (ABNT, 2007).

3.3.2.5. Método de Rippl

Neste método podem ser utilizadas as séries históricas de chuvas mensais ou diárias, e o volume do reservatório fica determinado conforme a Equação 6.

$$V = \sum S(t), \text{ somente para valores } S(t) > 0 \quad (6)$$

Sendo

$$S(t) = D(t) - Q(t) \text{ e } Q(t) = C.P(t). A$$

Em que,

$S(t)$ = volume de água no reservatório no tempo t;

$Q(t)$ = volume de chuva aproveitável no tempo t;

$D(t)$ = demanda ou consumo no tempo t;

V = volume do reservatório;

C = coeficiente de escoamento superficial (ABNT, 2007).

Segundo Tomaz (2005), o Método de Rippl prima por regularizar o abastecimento de água tanto no período chuvoso quanto no período de estiagem, atendendo totalmente a demanda exercida. Entretanto, segundo Mierzwa et al. (2007), este atendimento se faz às custas de um grande volume de reservação, podendo, em alguns casos, inviabilizar técnica e economicamente a implantação do sistema.

3.3.2.6. Método da Simulação

Para um determinado período, aplica-se a equação da continuidade a um reservatório de volume finito (Equação 7). Assim, podem ser avaliados volumes diferentes, e ao final do processo é selecionado aquele que garante o menor número de falhas no atendimento à demanda.

$$S(t) = Q(t) + S(t-1) - D(t) \quad (7)$$

Sendo $Q(t) = C.P(t).A$

Em que:

$S(t)$ = volume de água no reservatório no tempo t;

$S(t-1)$ = volume de água no reservatório no tempo t-1;

$Q(t)$ = volume de chuva no tempo t;

$D(t)$ = demanda ou consumo no tempo t;

V = volume do reservatório fixado;

C = coeficiente de escoamento superficial (ABNT, 2007).

Segundo estudo realizado por Amorim e Pereira (2008), em que foram comparados os métodos de dimensionamento para reservatórios citados na NBR 15.527/2007 (ABNT, 2007), verificou-se que é recomendável utilizar o método da simulação, quando se deseja uma melhor investigação do funcionamento do reservatório ao longo dos anos. A simulação permite analisar vários volumes, e determinar as respectivas eficiências, com relativa simplicidade em relação a outros métodos. Ainda, o método da simulação permite considerar o volume referente a lavagem da área de captação (first flush).

4. METODOLOGIA

No presente trabalho, foram simulados diferentes volumes de reservatórios de aproveitamento de água da chuva, utilizando lotes padrão com diferentes áreas de captação (100, 200 e 300 m²) para diferentes locais do Brasil, a fim de avaliar como os distintos critérios de projeto influenciam na eficiência e desempenho desses reservatórios. Uma melhor descrição da metodologia empregada, bem como dados utilizados são apresentados a seguir.

4.1. ÁREA DE ESTUDO

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram considerados lotes hipotéticos com tamanho padrão comumente encontrados em áreas urbanas, com diferentes áreas de cobertura impermeável (100, 200 e 300 m²). Para prosseguimento das análises foi considerado que estes lotes se localizam em cinco diferentes cidades do Brasil – Porto Alegre, RS; São Paulo, SP; Goiânia, GO; João Pessoa, PB e Manaus, AM, contemplando assim diferentes regimes pluviométricos brasileiros.

Para fins de simulação, considerou-se que, após a água ser captada pela superfície, a mesma é conduzida até o reservatório de aproveitamento de água da chuva, não sendo considerado nenhum volume perdido durante a condução da água até o reservatório, como possíveis extravasamentos das calhas ou condutores verticais. Também considerou-se a instalação de águas pluviais fixa, não sendo adotada nenhuma alteração entre as simulações, como diferentes configurações de calhas e condutos verticais. Apenas considerou-se mudanças no volume de armazenamento e na área de captação. Nas simulações foram consideradas apenas a água da chuva como fonte de abastecimento, não sendo considerada entrada de água tratada no RAAC, para o atendimento as falhas à demanda.

4.2. MÉTODO DE SIMULAÇÃO

Para atingir ao objetivo do estudo foi utilizado o método da simulação descrito no item 3.3.2.6. Para isso, as diferentes áreas de cobertura (100 m², 200 m² e 300 m²) foram simuladas com diferentes volumes de RAAC e demandas, através do

balanço hídrico de longo prazo. A simulação permitiu avaliar as falhas no atendimento às demandas para as diferentes configurações, frente à série de precipitações, conforme Equações 8 e 9.

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad (8)$$

$$Q_{(t)} = C \times P_{(t)} \times A \quad (9)$$

Sendo,

$S_{(t)}$: volume de água armazenado no reservatório no tempo 't';

$S_{(t-1)}$: Volume de água armazenado no reservatório no tempo 't-1';

$D_{(t)}$: Demanda de água para usos não potáveis ou consumo no tempo 't';

$Q_{(t)}$: Volume de chuva escoada no tempo 't';

C: Coeficiente de escoamento superficial;

$P_{(t)}$: é a precipitação observada no intervalo de tempo "t";

A: é a área de captação.

Durante as simulações foram avaliados reservatórios com diferentes volumes comerciais: 1.000 L, 1.500 L, 2.000 L, 3.000 L e 5.000 L, por se tratarem de reservatórios no lote, apresentando uma relação demanda x volume apresentada no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Razão entre o volume armazenado e o volume demandado para cada cidade considerada.

Cidade	Volume de reserv. Demanda	1000 L	1500 L	2000 L	3000 L	5000 L
		Porto Alegre	5.900 (L/mês)	5.9	3.9	3.0
São Paulo	5.900 (L/mês)	5.9	3.9	3.0	2.0	1.2
Goiânia	6.300 (L/mês)	6.3	4.2	3.2	2.1	1.3
João Pessoa	6.000 (L/mês)	6.0	4.0	3.0	2.0	1.2
Manaus	6.000 (L/mês)	6.0	4.0	3.0	2.0	1.2

Fonte: Elaboração Própria.

No método da simulação é inicialmente definido um volume de reservatório, a partir do qual, são contabilizados todas as entradas (precipitação) e saídas do reservatório (demandas ou vertimentos). O armazenamento máximo possível é o próprio volume útil do reservatório, e toda vez que o aporte de água superar a sua capacidade, os volumes excedentes são extravasados.

Para a determinação de um volume adequado para o RAAC, foi avaliada a porcentagem de falhas, do volume demandado durante o período de simulações, para os diferentes volumes comerciais e áreas de captação testadas, conforme Equação (10). Foram considerados apenas parâmetros hidrológicos, não levando em consideração os custos relativos ao aumento do volume de reservação.

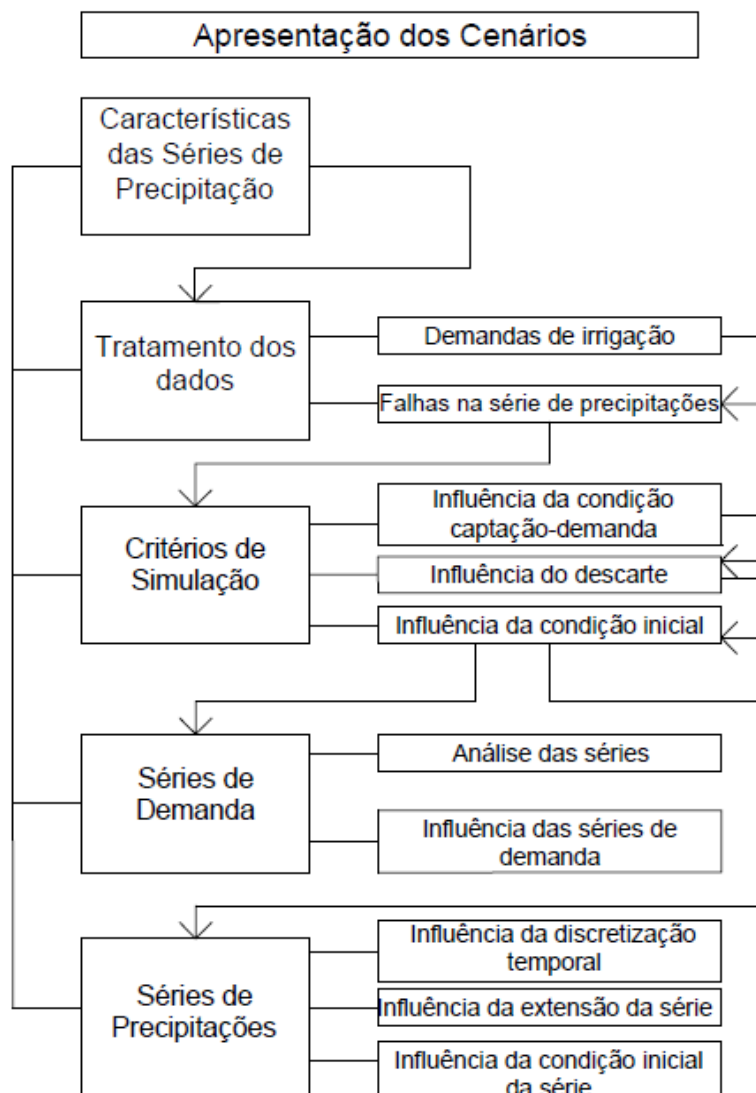
$$Falhas = \left(\frac{\sum VolumeFalhado}{\sum VolumeDemandado} \right) * 100 \quad (\%) \quad (10)$$

Os cenários foram formulados a fim de testar diferentes influências na porcentagem de falhas no sistema de aproveitamento de água da chuva. Uma descrição detalhada dos cenários considerados pode ser encontrada no item 4.4.

Conforme descrito no fluxograma da Figura 4.1, primeiramente foi realizado um tratamento das falhas dos dados de precipitação. A partir disso, foram testados diferentes critérios de simulação: influência da condição de captação-demanda, influência do descarte da primeira água da chuva e a condição inicial de reservação. Posteriormente avaliou-se a influência da série de demandas, considerando quatro tipos diferentes de consumos (bacia sanitária, irrigação, usos externos e todos os usos considerados). E, por fim, foi verificada a influência da discretização temporal, da extensão e da condição inicial da série de precipitações.

Para realizar as simulações foram utilizadas planilhas de cálculo para a formação dos diversos cenários. Como parâmetros fixos em cada simulação, além da área de captação e do volume de armazenamento, foi considerado um coeficiente de escoamento igual à 0,95, ou seja, considerou-se que 95% da precipitação sobre a área de captação é convertida em escoamento superficial.

Figura 4.1 – Apresentação dos cenários considerados



Fonte: Elaboração Própria.

4.3. SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO E DEMANDA

Para a verificação do funcionamento dos RAAC, foram consideradas as séries de precipitação das cinco cidades citadas no item 4.1 (Porto Alegre/RS, São Paulo/SP, Goiânia/GO, João Pessoa/PB e Manaus/AM). As séries foram obtidas pelo INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Os dados de chuva possuem discretização temporal de 60 minutos, e o período da série analisada foi igual à extensão da série de dados disponível, conforme pode ser observado no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Comprimento das séries de precipitação para cada cidade considerada.

Cidade	Comprimento de série de precipitação
Porto Alegre	15 anos
São Paulo	9 anos
Goiânia	14 anos
João Pessoa	8 anos
Manaus	15 anos

Fonte: Elaboração Própria.

Para determinação da série de demandas, formulada por Hentges (2013), que seguiu-se a orientação da NBR nº. 15.527/2007 (ABNT, 2007) na determinação dos possíveis usos do sistema de aproveitamento da água de chuva. Foi admitida uma população média de 5 pessoas na unidade habitacional. Dessa forma, os volumes demandados foram:

- Usos na bacia sanitária (6 L/descarga),
- Irrigação de jardim (190 L/10min),
- Lavagem de veículos (220 L/30min) e
- Limpeza das calçadas (280 L/30min).

A Tabela 4.1 apresentada a seguir, demonstra a frequência que foi considerada para cada uso.

Tabela 4.1 - Descrição da demanda sazonal de usos não potáveis na residência simulada, com exceção da irrigação.

Mês	Frequência		
	Limpeza de Calçadas	Lavagem de Veículos	Descarga da Bacia Sanitária
Janeiro	Quinzenal	Quinzenal	4 x /dia/pessoa
Fevereiro	Quinzenal	Quinzenal	4 x /dia/pessoa
Março	Quinzenal	Quinzenal	4 x /dia/pessoa
Abril	Quinzenal	Quinzenal	4 x /dia/pessoa
Maior	Quinzenal	Quinzenal	4 x /dia/pessoa
Junho	Quinzenal	Quinzenal	4 x /dia/pessoa
Julho	Quinzenal	Quinzenal	4 x /dia/pessoa
Agosto	Quinzenal	Quinzenal	4 x /dia/pessoa
Setembro	Quinzenal	Quinzenal	4 x /dia/pessoa
Outubro	Quinzenal	Quinzenal	4 x /dia/pessoa
Novembro	Quinzenal	Quinzenal	4 x /dia/pessoa
Dezembro	Quinzenal	Quinzenal	4 x /dia/pessoa

Fonte: Adaptado de Hentges (2013)

Com relação à irrigação, foram propostos diferentes padrões, conforme a ocorrência de períodos de estiagem e de temperaturas mais elevadas. Para os meses em que a temperatura foi superior a 20°C considerou-se que a irrigação seria realizada a cada dois dias, caso no período anterior a dois dias não ocorresse nenhum evento de precipitação. Nos meses em que a temperatura se apresentou menor do que 20°C, a irrigação de jardins foi considerada a cada sete dias, caso no período antecedente de sete dias não ocorresse nenhum evento de precipitação. Para isso, foram utilizadas as temperaturas médias compensadas apresentadas nas Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 (INMET, 2016), para cada uma das cinco cidades analisadas.

A Tabela 4.2 apresenta a síntese dos horários utilizados para a definição dos momentos de consumo de água não potável, os volumes utilizados e os volumes totais utilizados em cada horário. Uma descrição detalhada a respeito da série de demandas pode ser encontrada em HENTGES (2013).

Tabela 4.2 - Síntese dos horários utilizados para a definição dos momentos de consumo de água não potável e volumes utilizados.

Usos não potáveis	Horários	Volumes	Volumes Totais
Descarga da bacia sanitária	07:00	6 Litros/descarga	30 Litros
Descarga da bacia sanitária	12:00	6 Litros/descarga	30 Litros
Descarga da bacia sanitária	18:00	6 Litros/descarga	30 Litros
Descarga da bacia sanitária	22:00	6 Litros/descarga	30 Litros
Irrigação de Jardim	19:00	190Litros/irrigação	190 Litros
Limpeza de Calçadas	09:00	280 Litros/lavagem	280 Litros
Lavagem de Veículos	18:00	220 Litros/lavagem	220 litros

Fonte: Adaptado de Hentges (2013).

4.4. CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO E ANÁLISES REALIZADAS

Foram realizadas 2220 simulações, para avaliar o comportamento dos cinco diferentes volumes de reservatórios de aproveitamento de água da chuva, para as cinco diferentes cidades, considerando três distintas áreas de captação, frente aos cenários avaliados.

A seguir está apresentada uma descrição detalhada dos diferentes tratamentos considerados em cada simulação, considerando as falhas na série de

precipitações, os critérios de simulação, as influências das séries de demanda e precipitação.

4.4.1. Caracterização das séries de precipitação

Inicialmente foi realizada uma descrição das características de cada série de precipitações analisadas, a fim de embasar a discussão dos resultados encontrados nas simulações posteriores.

Realizou-se uma análise dos volumes médios mensais precipitados, sendo possível observar os períodos de cheias e estiagens nas diferentes cidades. Foram contabilizados totais anuais, chuva máxima de uma hora de duração, dias consecutivos sem ocorrência de precipitação e também número total de falhas, para as cinco cidades consideradas.

4.4.2. Tratamento de falhas nos dados de precipitação

Os dados de precipitação utilizados nas simulações possuíam diversas falhas ao longo dos anos considerados. Por se tratar de séries temporais de precipitação, com discretização horária, não é possível realizar um preenchimento de falhas seguindo a bibliografia. Portanto, foram realizados alguns tratamentos nas séries de precipitação a fim de analisar de que forma essas falhas na série de precipitação afetariam as porcentagens de falhas ao atendimento a demanda.

A partir do total de falhas anual de cada série, foram descartados todos os anos em que essas falhas ultrapassassem 30% do período de tempo, ou seja, admitiu-se até 4 meses de falhas, com exceção, apenas, dos locais com sazonalidade bem definida, e cujo período de falhas coincidia com o período de estiagem do ano.

Para os demais casos, ou seja, para aqueles anos em que as falhas eram menores que 30% do tempo, foram considerados três diferentes tratamentos para o preenchimento das falhas, conforme descrito a seguir:

- Tratamento I: foi atribuído o valor de chuva 0 (zero) para todas as falhas da série, pois esta condição representa a situação mais crítica no caso da simulação do reservatório de aproveitamento da água da chuva (Falha_{zero});

- Tratamento II: as falhas foram consideradas inexistentes, isto é, foram ignoradas todas as horas que continham falhas, sendo desconsideradas também qualquer demanda no mesmo horário($Falha_{ign.}$);

- Tratamento III: foi atribuído o valor de chuva 0 (zero) para todas as falhas com duração consecutiva inferior ou igual a 24 horas e foram ignoradas as falhas com duração consecutiva superior a 24 horas($Falha_{ing.-zero}$).

Nos três tratamentos não houve mudança nos totais anuais das séries de precipitação.

Para avaliar a influência do tratamento das falhas no funcionamento dos reservatórios foi considerada apenas a cobertura com 200 m² com área de captação. As simulações foram realizadas para os três tratamentos dados ao preenchimento de falhas, nas cinco cidades consideradas, para os cinco volumes comerciais, totalizando 75 simulações.

A fim de demonstrar melhor os resultados obtidos e facilitar a discussão em termos percentuais, foi calculada a eficiência de reservação da pior situação encontrada, comparando-a com a melhor situação encontrada. Ou seja, calculou-se a eficiência de reservação do Tratamento I comparativamente ao Tratamento II, e para expressar essa eficiência foi assumido o termo Ef_{I-II} expressa pela Equação 11.

$$Ef_{I-II} = \left(\frac{100 - Falhas_{TratamentoI}}{100 - Falhas_{TratamentoII}} \right) * 100 \quad (11)$$

Em que:

Ef_{I-II} = Eficiência do reservatório do Tratamento I em relação ao Tratamento II;

$Falhas_{TratamentoI}$ = Falhas ao atendimento à demanda encontradas na simulação com o Tratamento I;

$Falhas_{TratamentoII}$ = Falhas ao atendimento à demanda encontrados na simulação com o Tratamento II.

4.4.3. Critérios de simulação

4.4.3.1 Influência da condição captação-demanda

Durante as simulações, duas diferentes condições podem ser consideradas com relação ao emprego da equação 9: i) ocorrer a Demanda Antes do Volume

(DAV) captado entrar no reservatório; ii) o Volume captado entra Antes no reservatório e a Demanda ocorre posteriormente (VAD).

A principal investigação com relação a esse quesito, é avaliar se na condição DAV, o número de falhas no atendimento à demanda é significativamente maior que na condição VAD. Assim, para analisar a influência das duas condições de simulação foram realizadas 150 simulações, considerando as três áreas de captação, os cinco volumes comerciais e as cinco cidades consideradas. Para as falhas existentes na série de precipitações foi atribuído o valor de chuva zero.

A partir dos resultados encontrados, foi determinada a eficiência dos reservatórios, da condição DAV em relação ao VAD (Equação 12).

$$Ef_{VAD-DAV} = \left(\frac{100 - Falhas_{VAD}}{100 - Falhas_{DAV}} \right) * 100 \quad (12)$$

Sendo,

$Ef_{VAD-DAV}$ = Eficiência do reservatório da condição VAD em relação a condição DAV;

$Falhas_{VAD}$ = Falhas ao atendimento à demanda encontradas na simulação considerando VAD;

$Falhas_{DAV}$ = Falhas ao atendimento à demanda encontrados na simulação considerando DAV.

4.4.3.2 *Influência da condição inicial*

Para avaliar a influência da condição inicial na eficiência dos reservatórios foram realizadas simulações considerando duas condições iniciais para o reservatório: cheio ou vazio no início da simulação.

Para isso, foram realizadas 150 simulações, para as duas situações iniciais de reservatório, para as três áreas de captação, nas cinco cidades consideradas e para os cinco volumes comerciais adotados. Considerou-se também as falhas na série de precipitações como zeradas e a condição captação-demanda considerando o volume precipitado antes da demanda (VAD).

A eficiência do reservatório vazio, comparativamente ao reservatório cheio ($Ef_{Vazio-Cheio}$) foi determinado a partir da Equação 13.

$$Ef_{V=C} = \left(\frac{100 - Falhas_V}{100 - Falhas_C} \right) * 100 \quad (13)$$

Sendo,

E_{fv-c} = Eficiência do reservatório com a condição inicial de reservatório vazio, comparativamente ao reservatório inicialmente cheio;

F_{alhas_v} = Falhas ao atendimento à demanda encontradas na simulação considerando o reservatório inicialmente vazio;

F_{alhas_c} = Falhas ao atendimento à demanda encontrados na simulação considerando o reservatório cheio.

4.4.3.3 *Influência do descarte*

Foi avaliado o impacto que o descarte do escoamento inicial (*first-flush*) representa na eficiência dos reservatórios, considerando simulações que incluem o dispositivo de descarte. Para isso foi considerado que o volume de descarte correspondente aos 2 mm iniciais de chuva. Como critério para esvaziamento do dispositivo de descarte considerou-se que o mesmo seria esvaziado a cada sete dias, quando da ocorrência de precipitação na semana simulada.

Assim, foram realizadas 150 simulações, representadas pela situação da simulação com e sem o descarte, para as três diferentes áreas de captação, com os cinco volumes comerciais adotados, nas cinco cidades analisadas. Considerou-se também as falhas da série de precipitações iguais a zero, a condição VAD para captação-demanda e o reservatório considerado cheio no início da simulação.

Sabe-se que o descarte deveria ter ocorrido a cada sete dias, porém, em alguns períodos de sete dias não ocorreram volumes precipitados, não havendo também volume de descarte. Esse fato altera os resultados das simulações, pois podem haver variações menores do que o esperado, pelo fato de que, em alguns casos, o descarte não ocorre. Portanto, foi determinada a razão entre os dias em que o descarte ocorreu ($Desc_{efetivo}$) e o total de dias em que o descarte deveria ter ocorrido ($Desc_{total}$), com o intuito de explicar de forma mais clara algumas variações encontradas entre as cidades, nas simulações. A partir da Equação 14 foi determinada a razão de descartes, em porcentagem.

$$Razão_{desc.} = \left(\frac{Desc_{EFETIVO}}{Desc_{TOTAL}} \right) * 100 \quad (14)$$

Por fim, foi determinada a eficiência de armazenamento (Ef_{desc}), em termos quantitativos, do reservatório considerando o descarte do volume proveniente do primeiro escoamento, comparativamente ao reservatório em que o descarte da primeira água não foi considerado, apresentado pela equação 15.

$$Ef_{desc} = \left(\frac{100 - Falhas_{CD}}{100 - Falhas_{SD}} \right) * 100 \quad (15)$$

Ef_{desc} = Eficiência do reservatório considerando a situação com descarte, comparativamente a situação sem descarte;

Falhas_{CD} = Falhas ao atendimento à demanda encontradas na simulação considerando o descarte proveniente do primeiro escoamento;

Falhas_{SD} = Falhas ao atendimento à demanda encontrados na simulação sem considerar o descarte do primeiro escoamento.

4.4.4. Influência da Série de Demanda

A influência da série de demandas no aproveitamento de água da chuva foi realizada de duas formas. Primeiramente, foi contabilizado os diferentes volumes de demanda, em cada mês do ano, em todas as cidades analisadas, em virtude da variabilidade das demandas de irrigação. Com isso, foi realizada uma comparação mensal dos volumes de demanda com os volumes precipitados, para cada área de captação considerada, a fim de elucidar, os meses em que ocorrem os maiores volumes de falhas.

Após, foi determinada a influência da série de demandas na eficiência do reservatório a partir de quatro séries distintas de demandas, considerando diferentes consumos:

- Demanda 1: representa todos os usos considerados nas simulações (descarga da bacia sanitária, irrigação, lavagem de veículos e limpeza);
- Demanda 2: representa apenas o consumo da bacia sanitária;
- Demanda 3: representada pelos usos externos (irrigação, lavagem de veículos e limpeza);
- Demanda 4: representa apenas a irrigação de jardins.

Essas séries foram simuladas considerando a série real de precipitação para cada uma das cidades, o volume de descarte de 2 mm de precipitação, os cinco volumes comerciais e as três diferentes áreas de captação, totalizado 300 simulações.

4.4.5. Influência da série de precipitações

A influência da série de precipitação foi avaliada mediante simulações com diferentes rearranjos da mesma, conforme descrito a seguir.

4.4.5.1 Influência da discretização temporal

A primeira avaliação realizada foi para determinar a influência da discretização temporal (intervalo de tempo dos dados) da série de precipitações. Para isso, foram determinados três diferentes intervalos de tempo: i) intervalo de tempo horário; ii) intervalo de tempo diário, sendo que para isso a série horária de precipitação e de demandas, foi acumulada para o intervalo diário; iii) intervalo de tempo mensal. Esta última discretização foi considerada, pois, segundo a NBR 15.527/2007 (ABNT, 2007) o método da simulação pode ser utilizado para intervalos de tempo de até um mês.

Assim, foram realizadas 225 simulações, considerando as três discretizações temporais, para as cinco cidades analisadas, nas três áreas de captação, considerando-se os cinco volumes de reservação.

4.4.5.2 Influência da extensão da série

Foi realizada uma avaliação com relação à eficiência dos reservatórios quando simulados com série de precipitações com diferentes extensões.

As extensões das séries de precipitações para fins desta análise foram:

- Três anos de dados;
- Cinco anos de dados;
- Oito anos de dados;
- Dez anos de dados;
- Quinze anos de dados.

Algumas das cidades avaliadas possuem uma série com extensão inferior ao cenário considerado, nesses casos, portanto, as simulações foram realizadas para o período disponível de dados.

Assim, foram realizadas 375 simulações, considerando as cinco extensões das séries, para as cinco cidades avaliadas, nas três áreas de cobertura e para os cinco volumes de reservatórios considerados.

4.4.5.3 *Influência da condição inicial da série*

A fim de avaliar a influência da condição inicial da série de precipitação no funcionamento dos reservatórios, foram realizadas simulações considerando quatro diferentes condições da série de precipitação:

- Simulação iniciando no ano mais seco da série;
- Simulação com tendência crescente da série de precipitações (do ano mais seco para o ano mais chuvoso);
- Simulação iniciando no ano mais chuvoso;
- Simulação com tendência decrescente da série de precipitações (do ano mais chuvoso para o ano mais seco).

Assim, foram realizadas 375 simulações, para quatro diferentes configurações da série de precipitações, simulando para as cinco cidades, para as três áreas de cobertura e para os cinco volumes de reservatório.

Os resultados encontrados nessas simulações foram comparados com a série original, a fim de avaliar quais as interferências do início da série de precipitações.

Da mesma forma, a fim de avaliar a influência da variabilidade interanual da série de precipitações, também foram realizadas simulações considerando o início da série de precipitação nas diferentes estações do ano. Para isso foram avaliadas quatro novas séries de precipitação:

- Simulação com a série de precipitações iniciando o mês de janeiro (verão);
- Simulação iniciando no mês de abril (outono);
- Simulação com início no mês de julho (inverno);
- Simulação com início no mês de outubro (primavera).

Essa análise resultou em um total de 375 simulações, para as cinco cidades avaliadas, nas três áreas de captação e para os cinco volumes comerciais de reservatório adotados.

4.4.6. Análise das situações extremas

Ao final do trabalho, foram realizadas simulações considerando os dois casos mais extremos para cada uma das cidades avaliadas: a situação menos favorável e a situação mais favorável ao atendimento a demanda, ou seja, àquelas que gerariam as maiores e menores falhas ao atendimento às demandas. Para isso, foram consideradas na simulação, as cinco cidades, três áreas de captação e cinco volumes comerciais.

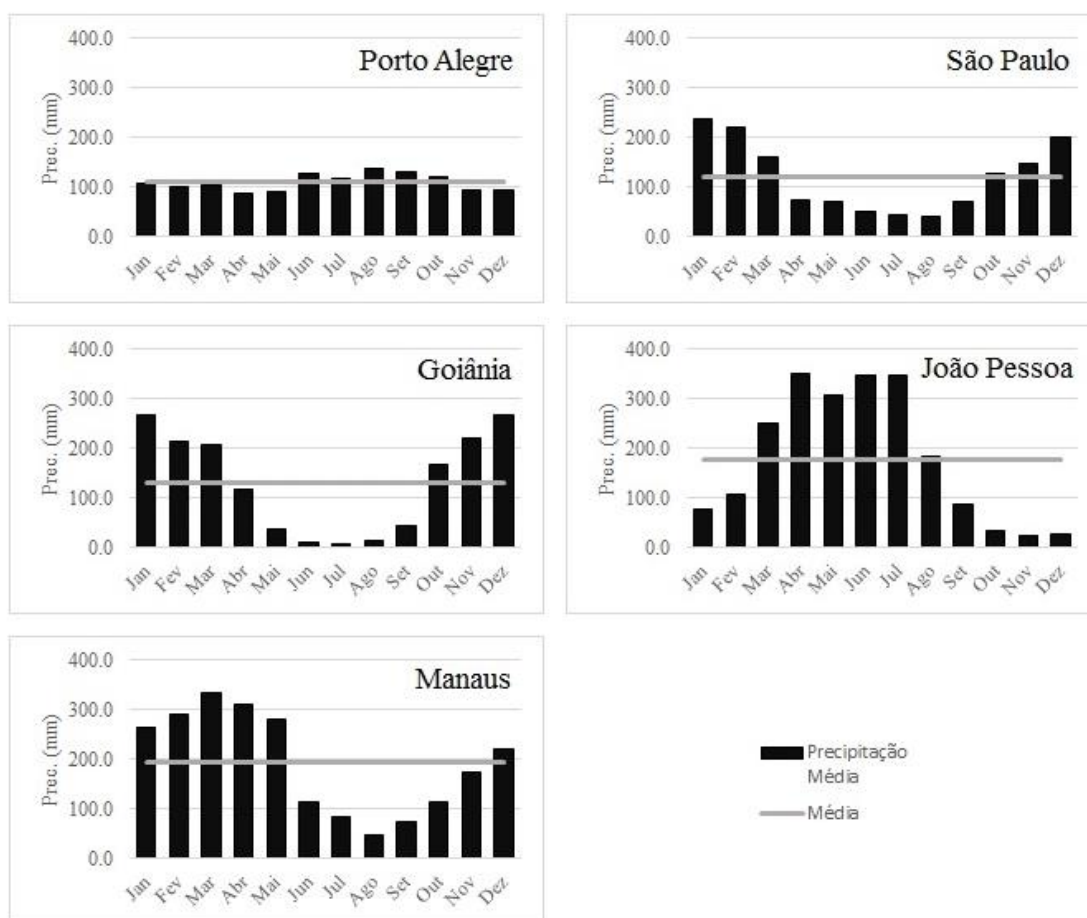
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados para as simulações propostas na metodologia estão apresentados e discutidos na mesma sequência da Figura 4.1, apresentada anteriormente.

5.1. CARACTERÍSTICAS DAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO

A Figura 5.1 apresenta os diferentes regimes pluviométricos encontrados nas cinco cidades do estudo, considerando a precipitação média de longo período (1961-1990). Observando a Figura 5.1 é possível distinguir diferentes padrões de precipitações para cada uma das cidades analisadas.

Figura 5.1– Precipitação média de longo período para as cidades de Porto Alegre, São Paulo, Goiânia, João Pessoa e Manaus.



Fonte: Adaptado de Inmet (2016).

A partir da Figura 5.1, observa-se que apenas Porto Alegre - RS apresenta volumes precipitados uniformes ao longo do ano. Em São Paulo - SP, os maiores volumes precipitados ocorrem na primavera e verão, com precipitações menos intensas nos meses de outono e inverno. O mesmo comportamento da cidade de São Paulo é possível observar na cidade de Goiânia – GO. Porém, os meses de inverno (junho, julho e agosto) possuem valores de precipitação muito baixos (próximos a zero). Ainda em Goiânia, percebe-se que no outono (abril, maio e junho) os volumes precipitados estão próximos à média dos totais mensais.

No caso de Manaus - AM, a estação chuvosa tem início nos meses de outubro e novembro, atingindo seu ápice no final do verão (março). A estação seca ocorre durante os meses de inverno (julho a setembro). Por fim, em João Pessoa - PB, a estação chuvosa se inicia no final do verão (março), findando-se no início da primavera. Os meses de primavera e verão possui totais mensais de precipitação bem abaixo da média. Na Tabela 5.1, está apresentado um resumo das principais características das séries de precipitação utilizadas para a simulação do aproveitamento da água de chuva em cada cidade analisada. De forma geral, as precipitações de cada cidade possuem características bem distintas umas das outras. Uma análise complementar a respeito das falhas nos dados pode ser consultada na seção de Apêndices.

Conforme Tabela 4.1, pode-se perceber que no município de Porto Alegre, a série possui início no ano de 2001, e que em nenhum ano da série ocorreu falhas nos dados maiores que 30%. Por este fato, não foi descartado nenhum ano desta série. Considerando os dados apresentados, o ano que possui maior precipitação acumulada corresponde ao de 2015, apresentando um total anual de 1.853,2 mm de chuva. O ano com o menor volume precipitado foi o de 2004, com um total de 854,4 mm de chuva. Ainda em Porto Alegre, percebe-se que a chuva máxima de uma hora de duração ocorreu no ano de 2007 (40,6 mm) e que o maior número de dias consecutivos sem precipitação ocorreu no ano de 2013, totalizando 17 dias.

No caso de São Paulo, a série de precipitações tem início no ano de 2007 e, igualmente à Porto Alegre, nenhum ano apresentou falhas maiores do que 30%. O maior total anual foi de 1.964,4 mm, no ano de 2009 e o menor total anual da série ocorreu no ano de 2014 (1.220,6 mm), correspondendo também ao maior número de dias consecutivos sem chuva (28 dias). A chuva máxima de uma hora de duração foi de 77,8 mm, ocorrendo no ano de 2015.

A série de precipitações considerada para Goiânia iniciou no ano de 2002, e em nenhum ano de monitoramento ocorreu falhas maiores do que 30%. O ano que ocorreu a maior precipitação total anual foi o de 2013, com 1.761,0 mm de chuva. O menor total anual ocorreu no ano de 2007, com 1.013,8 mm. Como característica bem marcante desta série, que afeta fortemente o dimensionamento de reservatórios de aproveitamento de água da chuva, podem-se destacar os dias consecutivos sem chuva, sendo o máximo de 90 dias sem precipitação, no ano de 2008. Outra característica que dever ser levada em consideração, no caso de Goiânia, é que ocorrem precipitações bem intensas, sendo que em 2005 ocorreu uma precipitação de 72 mm em uma hora.

A série de precipitação de João Pessoa teve início no ano de 2008, possuindo, ainda, dois anos em que o percentual de falhas ultrapassou 30%. Por esse motivo, os anos de 2012 e de 2015 foram descartados para as simulações posteriores. Portanto, a série de precipitações de João Pessoa é a série mais curta analisada, totalizando um período de 6 anos. O ano que apresentou o maior volume precipitado foi o de 2009 (2.468,8 mm), e o menor volume anual precipitado ocorreu no ano seguinte (2010), com apenas 873,8 mm precipitados. O ano de 2010 também apresentou o maior número de dias consecutivos sem chuva da série (20 dias) e a maior intensidade encontrada na série foi no ano de 2008, com 44 mm em uma hora.

Para Manaus, a série de precipitações considerada teve início no ano de 2001. Porém, vários anos (2002, 2003, 2004, 2005, 2008 e 2009) possuíram falhas maiores do que 30%, sendo estes desconsiderados em simulações futuras, com exceção apenas dos anos de 2002 e 2008, em que, apesar de extrapolar os 30%, (35,4 % e 37,2 %, respectivamente) as falhas ocorreram no período de seca, não interferindo nas demais características anuais.

O ano em que ocorreu o maior volume precipitado, para Manaus, foi o de 2011, com um total de 2.450,6 mm de chuva. Em contrapartida, o ano que apresentou o menor total anual de precipitação foi o de 2001, com 1.357,4 mm de chuva. A maior precipitação com uma hora de duração foi de 68,2 mm, no ano de 2002 e o período máximo sem precipitação foi de 33 dias, no ano de 2015.

Tabela 5.1 - Características da série de precipitação

Ano	Porto Alegre – RS				São Paulo - SP				Goiânia - GO				João Pessoa - PB				Manaus - AM			
	Falhas (%)	Total Anual (mm/ano)	Chuva máxima (mm/hora)	Dias cons. sem chuva	Falhas (%)	Total Anual (mm/ano)	Chuva máxima (mm/hora)	Dias cons. sem chuva	Falhas (%)	Total Anual (mm/ano)	Chuva máxima (mm/hora)	Dias cons. sem chuva	Falhas (%)	Total Anual (mm/ano)	Chuva máxima (mm/hora)	Dias cons. sem chuva	Falhas (%)	Total Anual (mm/ano)	Chuva máxima (mm/hora)	Dias cons. sem chuva
2001	12,6	1328,4	38,6	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22,0	1357,4	47,4	20
2002	13,7	1395,2	27,6	8	-	-	-	-	9,0	1139,6	36,6	29	-	-	-	-	35,4**	1605,4	68,2	10
2003	15,2	1176,6	31,2	10	-	-	-	-	9,5	1286,2	61,2	29	-	-	-	-	77,3*	-	-	-
2004	10,3	854,4	20,8	12	-	-	-	-	7,8	1470,2	35,2	23	-	-	-	-	34,7*	-	-	-
2005	8,2	1117,0	27,6	14	-	-	-	-	1,8	1536,8	72,0	32	-	-	-	-	50,2*	-	-	-
2006	6,6	1043,4	37,8	15	-	-	-	-	4,8	1651,6	44,0	22	-	-	-	-	5,4	2067,4	42,8	11
2007	1,2	1501,0	40,6	12	0,3	1539,4	54,4	22	0,5	1013,8	36,2	21	-	-	-	-	0,2	2275,2	46,8	14
2008	2,2	1518,8	22,2	12	1,3	1561,0	54,4	20	1,5	1673,6	55,2	90	0,1	2142,4	44	13	37,2**	2022,4	61,4	13
2009	0,2	1737,6	35,4	10	0,3	1964,4	42,4	13	3,5	1628,4	38,8	43	0,3	2468,8	41,4	12	97,0*	-	-	-
2010	0,1	1481,4	26,8	12	0,1	1833,6	57,6	22	0,8	1231,0	62,6	51	17,9	873,8	30,4	20	9,4	1704,0	42	16
2011	0,3	1299,6	34,6	11	0,3	1653,2	58,4	24	0,7	1287,8	43,8	72	14,1	1696,2	40,8	9	0,1	2450,6	48	18
2012	0,0	1394,4	27,4	13	0,4	1828,8	45,6	23	1,0	1710,2	46,4	43	82,3*	-	-	-	0,0	2131,6	45	10
2013	1,5	1381,2	27,2	17	0,5	1359,6	29,6	19	0,3	1761,0	60,4	31	7,9	1461,2	30,8	14	1,6	2291,2	60,6	10
2014	0,2	1787,4	23,8	11	2,3	1220,6	45,2	28	8,5	1412,0	36,6	51	13,2	1571,8	29,6	15	1,1	2123,8	39,2	25
2015	0,2	1853,2	30,4	15	0,0	1890,6	77,8	23	0,1	1105,4	29,8	51	37,2*	-	-	-	0,1	1502,6	34,4	33

*Anos desconsiderados nas simulações; ** Ano considerado na simulação apesar de ultrapassar 30% de falha.

Fonte: Elaboração Própria

5.2. TRATAMENTO DE DADOS

5.2.1. Determinação das demandas de irrigação

Para a determinação das diferentes demandas de irrigação foram consideradas as temperaturas médias compensadas, apresentadas nas Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990 (INMET, 2016). Na Figura 5.2 é possível analisar as temperaturas médias para as diferentes cidades, com seus respectivos desvios padrões.

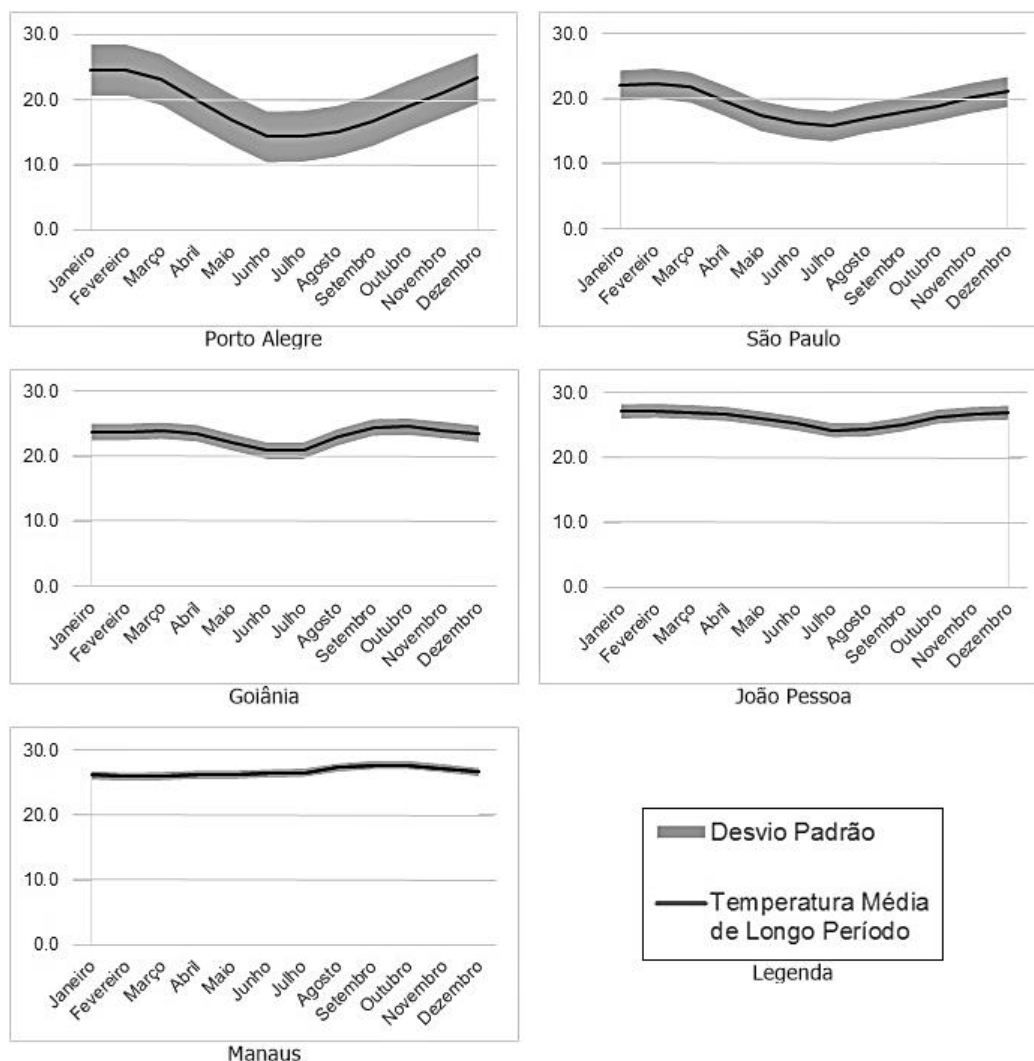
Pode-se observar que para as cidades de Goiânia, João Pessoa e Manaus, em nenhum dos meses do ano, as temperaturas médias de longo período ficaram aquém dos 20°C, e o desvio padrão é muito pequeno, em virtude de haver pouca variação de temperatura ao longo dos meses. Para essas cidades, a demanda de irrigação foi estabelecida a cada dois dias, desde que nos dois dias antecedentes não ocorresse nenhum evento de precipitação. Portanto, a partir dessa premissa, nos períodos de estiagem ocorreram maiores volumes de irrigação, comparativamente aos períodos de elevada precipitação.

Esta consideração foi realizada, em virtude de que, segundo Thornthwaite (1948) a evaporação da água no solo e a transpiração das plantas aumentam gradativamente com o aumento da temperatura.

Ainda referente à Figura 5.2, para Porto Alegre e São Paulo, nota-se que nos meses de abril a novembro, a temperatura média está abaixo dos 20°C, enquanto nos demais meses a temperatura média de longo período está acima dos 20°C. Percebe-se também, que o desvio padrão é consideravelmente maior, devido a maiores diferenças de temperatura durante os meses de verão e inverno.

Portanto, utilizando o mesmo parâmetro que foi empregado para as cidades de Goiânia, João Pessoa e Manaus, os meses de dezembro a março, a irrigação foi considerada a cada dois dias, se não ocorresse nenhum evento de precipitação nos dois dias antecedentes. Para os meses de abril a novembro, em que a temperatura esteve abaixo dos 20° C, o volume correspondente a irrigação foi considerada a cada sete dias, caso não houvessem registros de eventos de precipitação durante os sete dias anteriores à irrigação.

Figura 5.2 – Temperaturas médias de longo período, no decorrer de um ano.



Fonte: Elaboração Própria

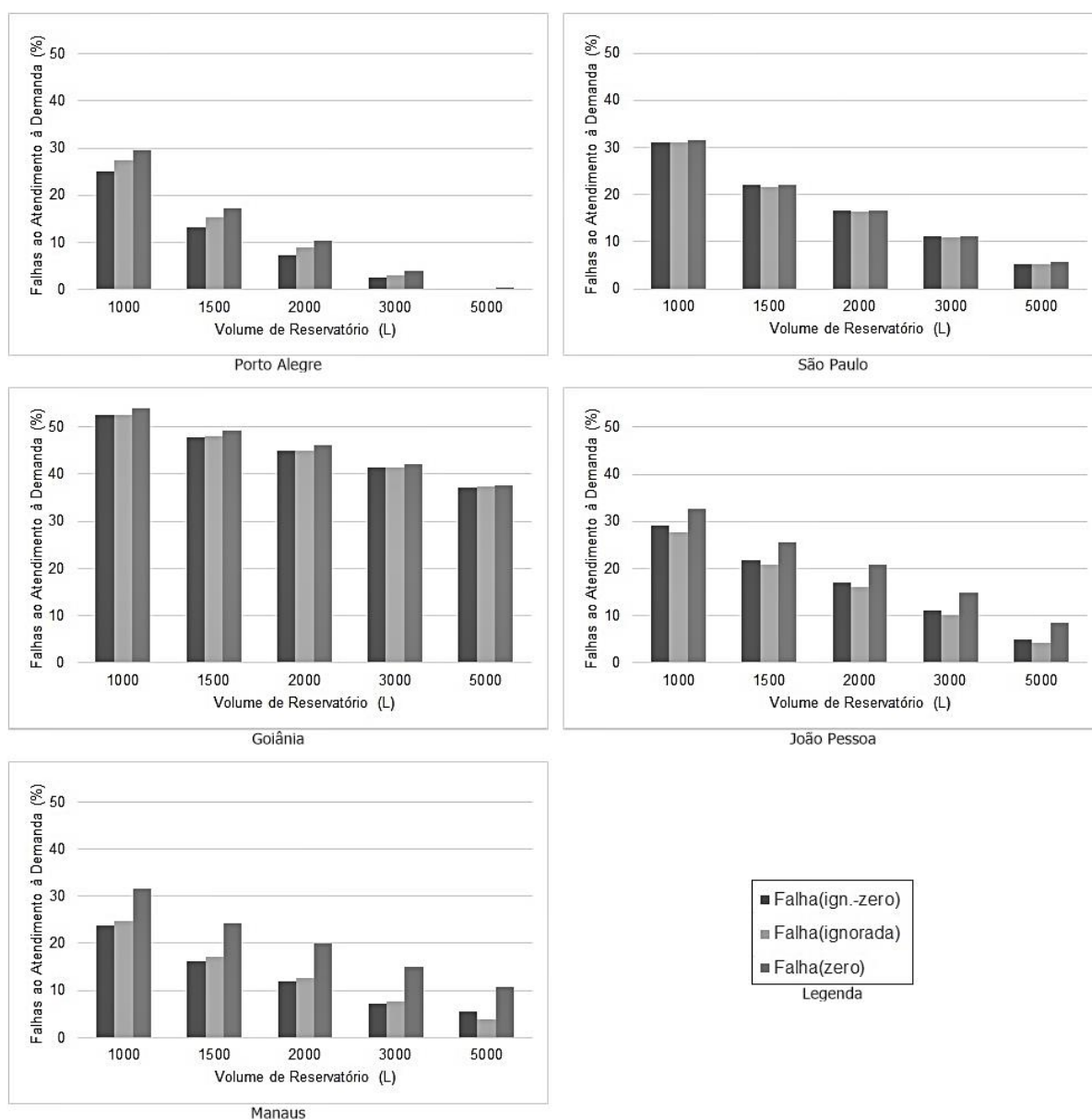
5.2.2. Tratamento de falhas nos dados de precipitação

Conforme descrito no item 5.1, as cidades de João Pessoa e Manaus tiveram alguns anos de suas séries de precipitações descartados pelo fato destes apresentarem falhas superiores a 30% do tempo. Para o tratamento das demais falhas, isto é, as falhas dos anos que apresentaram percentuais menores que 30% do tempo, foram testadas três diferentes formas de preenchimento, verificando de que forma impactariam a simulação do reservatório de aproveitamento de água de chuva.

Na Figura 5.3 é possível observar os três tratamentos empregados, para as cinco cidades avaliadas, considerando-se 5 diferentes volumes de reservatório e área de captação de 200 m².

Analisando a Figura 5.3, nota-se que, para todos os volumes simulados, em todas as cidades analisadas, a pior situação, ou seja, aquela que apresenta a maior falha ao atendimento a demanda, é aquela em que todas as falhas foram consideradas iguais a zero.

Figura 5.3 – Falhas no abastecimento de água da chuva, a partir de diferentes correções na série de precipitações para a área de 200 m².



Fonte: Elaboração Própria.

Observando cada cidade isoladamente, percebe-se que João Pessoa e Manaus apresentam as maiores diferenças entre tratamentos, para o mesmo volume. Possivelmente, isso se deve ao fato dessas duas cidades apresentarem uma grande variação sazonal e as falhas nas séries de precipitação coincidirem com o período de maiores totais precipitados dessas séries. Portanto, nas cidades que possuem uma alta sazonalidade na precipitação, deve-se ter um maior cuidado no tratamento das falhas, visto que esse fator pode interferir fortemente no sistema de aproveitamento de água da chuva.

O município de São Paulo e de Goiânia, praticamente não apresentaram variações entre os tratamentos utilizados, apesar das duas cidades também possuírem uma notória variação sazonal na série de precipitações. Isso ocorre, porque, no decorrer de toda a série de precipitações o percentual de dados falhados é muito pequeno, chegando ao máximo de 2,3% de falha, no caso de São Paulo, e de 9,5% em Goiânia (Tabela 5.1), não gerando, portanto, grandes variações nos tratamentos das falhas.

No caso de Porto Alegre, apesar de possuir falhas consideravelmente altas (15,2%), a diferença entre os tratamentos não é tão expressiva, em virtude de que esta série de precipitações não apresenta muita sazonalidade, ou seja, os volumes precipitados ao longo do ano são pouco variáveis.

A Figura 5.4 apresenta a eficiência do reservatório dimensionado considerando todas as falhas zeradas, comparativamente ao reservatório em que foi adotado as falhas como ignoradas, ou seja, a eficiência do tratamento I, comparado ao tratamento II (Ef_{I-II}).

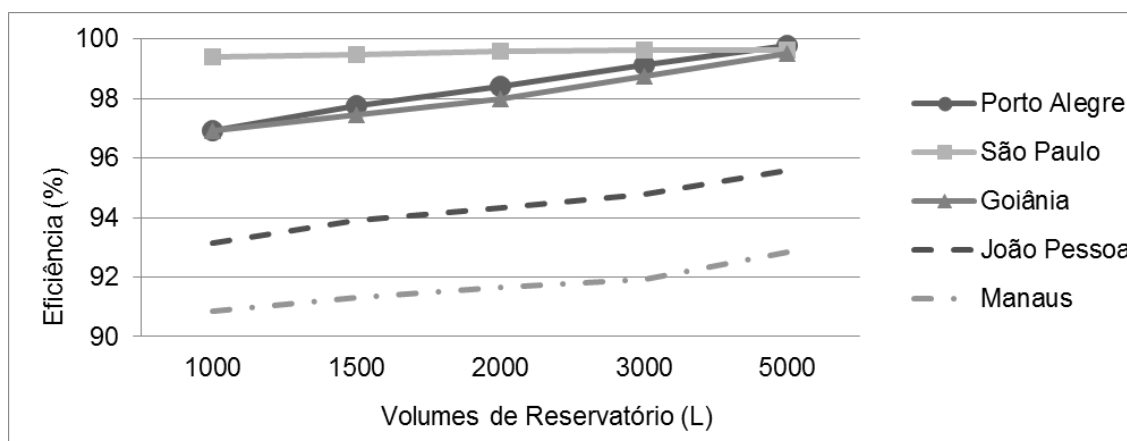
A partir das curvas de eficiências obtidas para cada cidade, reforça-se o que já foi discutido anteriormente. As cidades de São Paulo, Goiânia e Porto Alegre apresentam as maiores eficiências, em virtude, do número total de falhas ser reduzido. Já as cidades de João Pessoa e Manaus, que apresentam os maiores percentuais de falhas, apresentam também, os menores valores de eficiência.

Porém, é possível perceber que em todos os casos a eficiência aumenta, com o aumento do volume de reservação. Isso mostra que, quanto maior os volumes de reservatório adotados, menores podem ser as preocupações quanto às falhas apresentadas nas séries de precipitação.

Considerando-se, portanto, que a pior situação (maiores falhas ao atendimento à demanda, apresentadas na Figura 5.3) foi quando todas as falhas da

série foram zeradas (Tratamento I), empregou-se esta série de precipitações nas demais análises apresentadas, posteriormente, neste trabalho.

Figura 5.4 – Eficiência de reservação do Tratamento I, comparativamente ao Tratamento II.



Fonte: Elaboração Própria.

5.3. CRITÉRIOS DE SIMULAÇÃO

As análises apresentadas a seguir foram realizadas considerando a precipitação com intervalo de tempo horário e as falhas presentes nas séries de precipitações como zeradas. Pelo fato das simulações com diferentes áreas de captação não terem alterado o resultado, foram apresentados apenas os resultados encontrados para a área de captação de 200 m², os resultados para as simulações de 100 m² e de 300 m² encontram-se na seção de apêndices, ao final deste trabalho.

5.3.1. Influência da condição captação-demanda

Para a análise da influência da ordem de processos (captação e demanda) durante a simulação, foram realizadas duas simulações: na primeira o volume captado entra no reservatório antes da demanda ocorrer (VAD); na segunda condição a demanda é retirada do reservatório antes da entrada do volume captado (DAV).

A principal diferença entre as duas condições é que na DAV ocorrem mais falhas no atendimento à demanda, visto que em um determinado intervalo de tempo

o reservatório pode estar vazio e ocorrer uma demanda, indicando uma falha que será computada antes do ingresso de água no reservatório. Na VAD as falhas serão reduzidas pois, quando o reservatório estiver vazio inicialmente será computado o volume de chuva e, posteriormente a demanda; assim, caso o volume que entrou no reservatório supere a demanda a falha não será registrada.

A partir da Figura 5.5 é possível observar que não foram encontradas diferenças expressivas entre as simulações VAD e DAV. Para as cidades de Porto Alegre (1,3 %), de São Paulo (1,3 %) e de João Pessoa (0,8 %), pode-se perceber algumas pequenas diferenças nos menores volumes testados; no entanto, conforme o volume de reservação é aumentado, as diferenças praticamente se anulam. Para as cidades de Goiânia e de Manaus não foram encontradas diferenças nos resultados das simulações, mesmo com volumes comerciais pequenos.

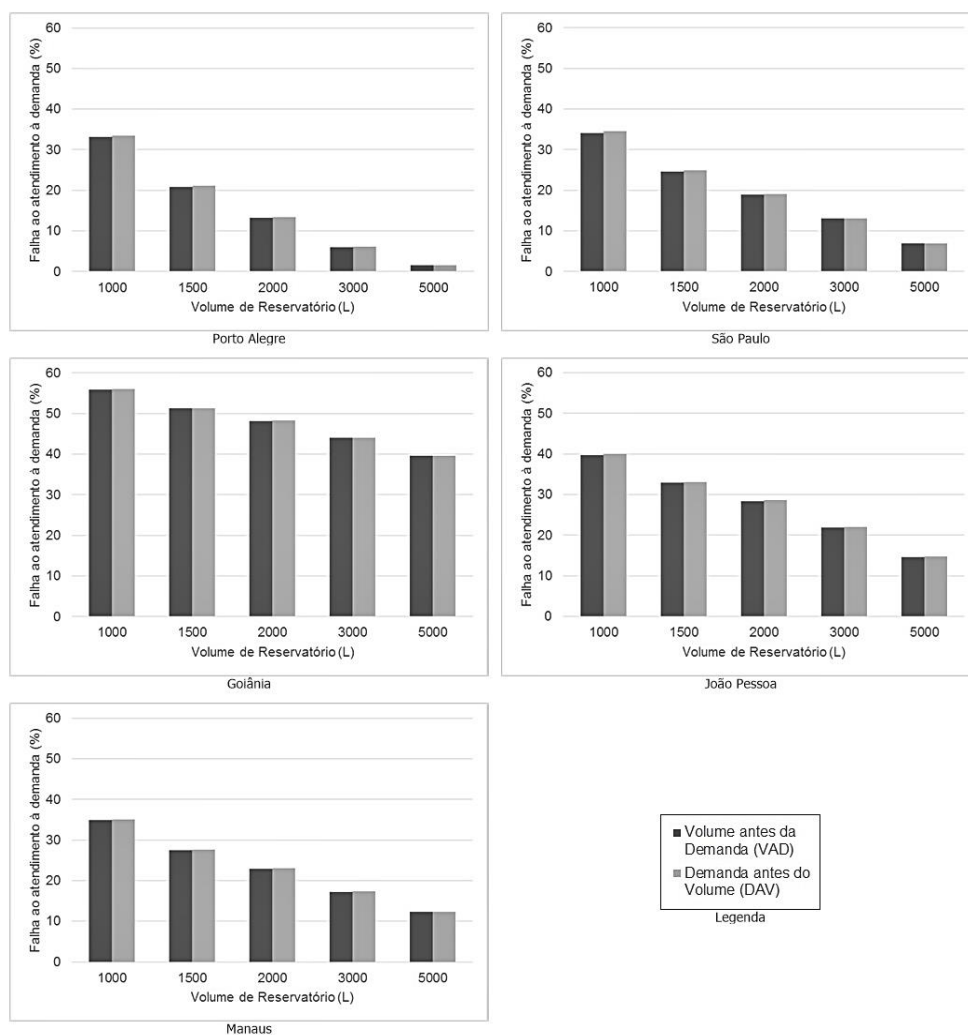
Para melhor evidenciar essas pequenas diferenças, a Figura 5.6 apresenta a as eficiências da simulação considerando a DAV, comparativamente com a simulação considerando a VAD ($Ef_{DAV-VAD}$), para a área de 200 m².

Na Figura 5.6 é possível perceber que, em termos de eficiência, quando comparado a DAV em relação a VAD (considerando que a VAD representa 100% de eficiência), conforme o aumento do volume de reservação, aumenta a eficiência de reservação. Em nenhuma das cidades analisadas foram encontradas grandes variações, permanecendo todas as cidades com eficiência acima de 99,20%. Para o maior volume de armazenamento considerado, todas as eficiências foram superiores a 99,80%, sendo que João Pessoa apresentou a menor eficiência para o maior volume.

As cidades que apresentaram menores variações na eficiência (0,4%) entre os volumes simulados foram Goiânia e Manaus. Porto Alegre e São Paulo apresentaram as maiores variações de eficiência entre os volumes considerados, ainda que pequenas (0,6%).

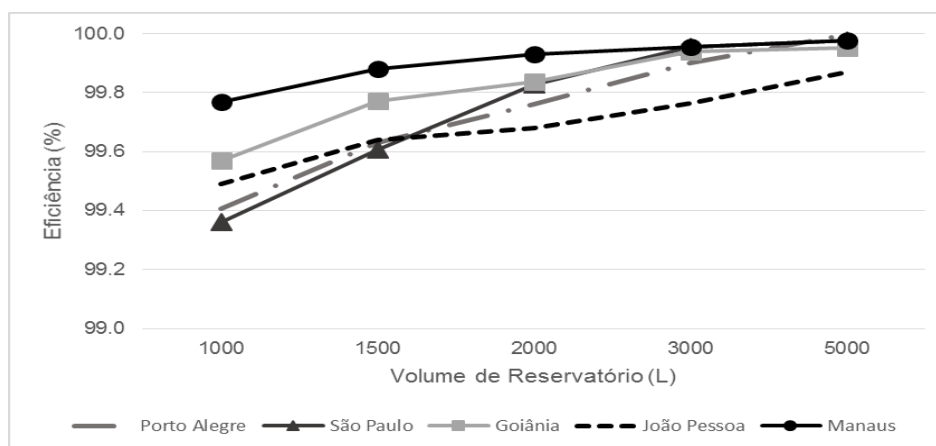
De acordo com os resultados encontrados nesta análise e, seguindo a recomendação de Fewkes e Butler (2000), as simulações realizadas neste trabalho consideraram que a demanda ocorria após a entrada de água no reservatório (VAD).

Figura 5.5– Falhas no atendimento à demanda, considerando VAD E DAV, para a área de 200 m².



Fonte: Elaboração Própria

Figura 5.6 – Eficiência de reservação considerando a DAV em relação a VAD.



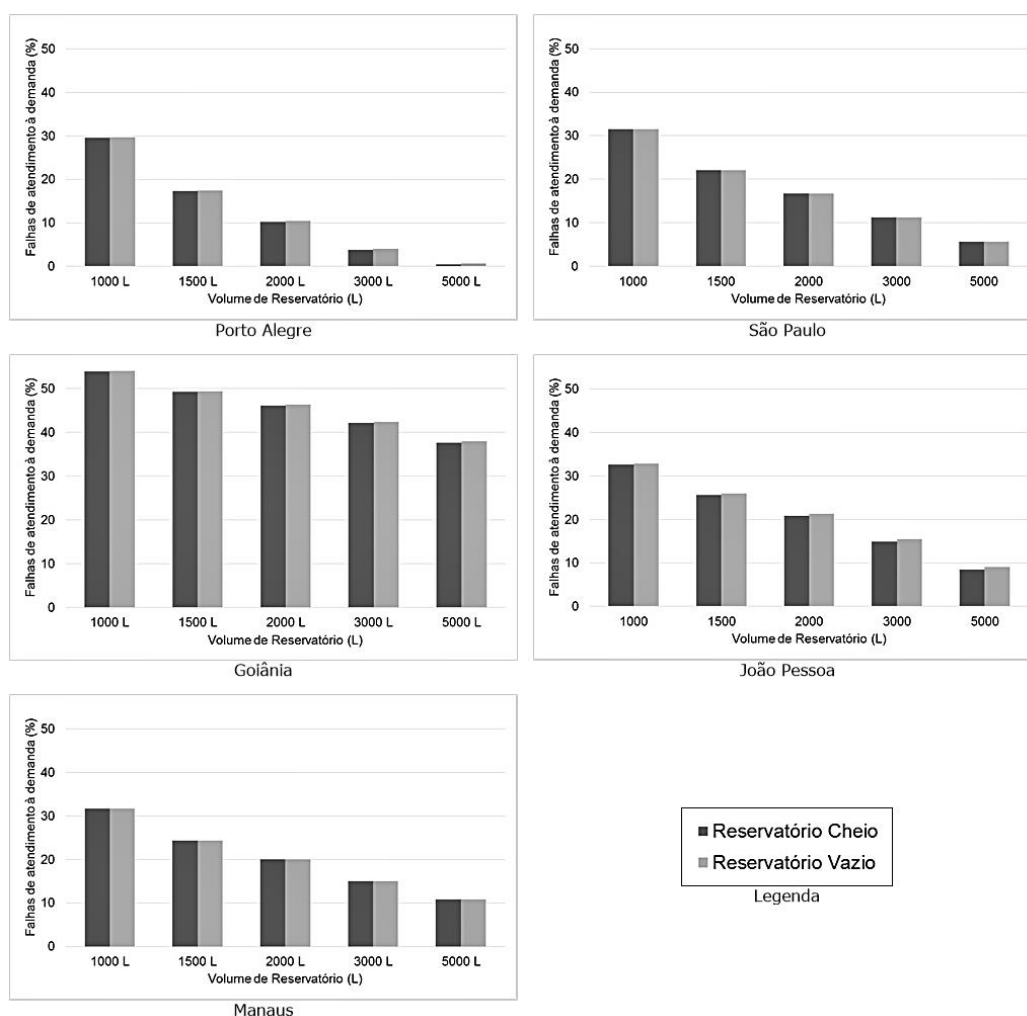
Fonte: Elaboração Própria.

5.3.2. Influência da condição inicial

A influência da condição inicial de reservação foi testada de duas formas: primeiramente considerando o reservatório cheio para o início da simulação e, posteriormente, considerando o reservatório vazio.

Na Figura 5.7 é possível visualizar as diferenças na falha ao abastecimento de água não potável, quando a simulação se inicia com o reservatório cheio e quando o início se dá com o reservatório vazio, para a área de captação de 200 m². Os resultados encontrados indicam que a condição inicial do reservatório não influenciou nas falhas de atendimento à demanda nas cidades analisadas, e para os volumes avaliados.

Figura 5.7 – Falhas no atendimento à demanda, considerando a situação de reservatório cheio e vazio no início da simulação, para área de captação de 200 m².



Fonte: Elaboração Própria

A cidade que apresentou a maior diferença para as duas condições iniciais foi João Pessoa (0,65%), conforme se observa na Figura 5.6. Provavelmente, essa diferença tenha ocorrido em virtude desta cidade possuir a menor série de precipitações simulada, repercutindo em maior sensibilidade à condição inicial de reservação.

Também, observa-se que, devido as relações volume/demanda serem altas, o sistema não apresenta grande sensibilidade. Caso a relação entre o volume de armazenamento e o consumo dentro da residência fosse baixo, poderiam ocorrer grandes períodos de estiagem no início da série e, devido a consideração de reservatório cheio, ocorressem atendimento a demanda.

Os resultados indicam, portanto, que no caso de uma série relativamente curta de precipitações (menor ou igual a cinco anos), é necessário, mais atenção para a condição inicial do reservatório (cheio ou vazio).

A partir da Figura 5.8 pode-se visualizar a eficiência no atendimento a demanda do reservatório vazio, comparativamente ao reservatório cheio no início da simulação (100%), para cada cidade analisada, nas diferentes áreas de captação.

Percebe-se que, em todos os casos, a simulação apresentou eficiência ($E_{f_{V-C}}$) maior ou igual a 99,0%, demonstrando, mais uma vez, a pouca variação entre os dois métodos de simulação. Para a cidade de João Pessoa, foi encontrada a menor eficiência entre as condições iniciais de reservação (99,1%), como consequência da extensão da série simulada.

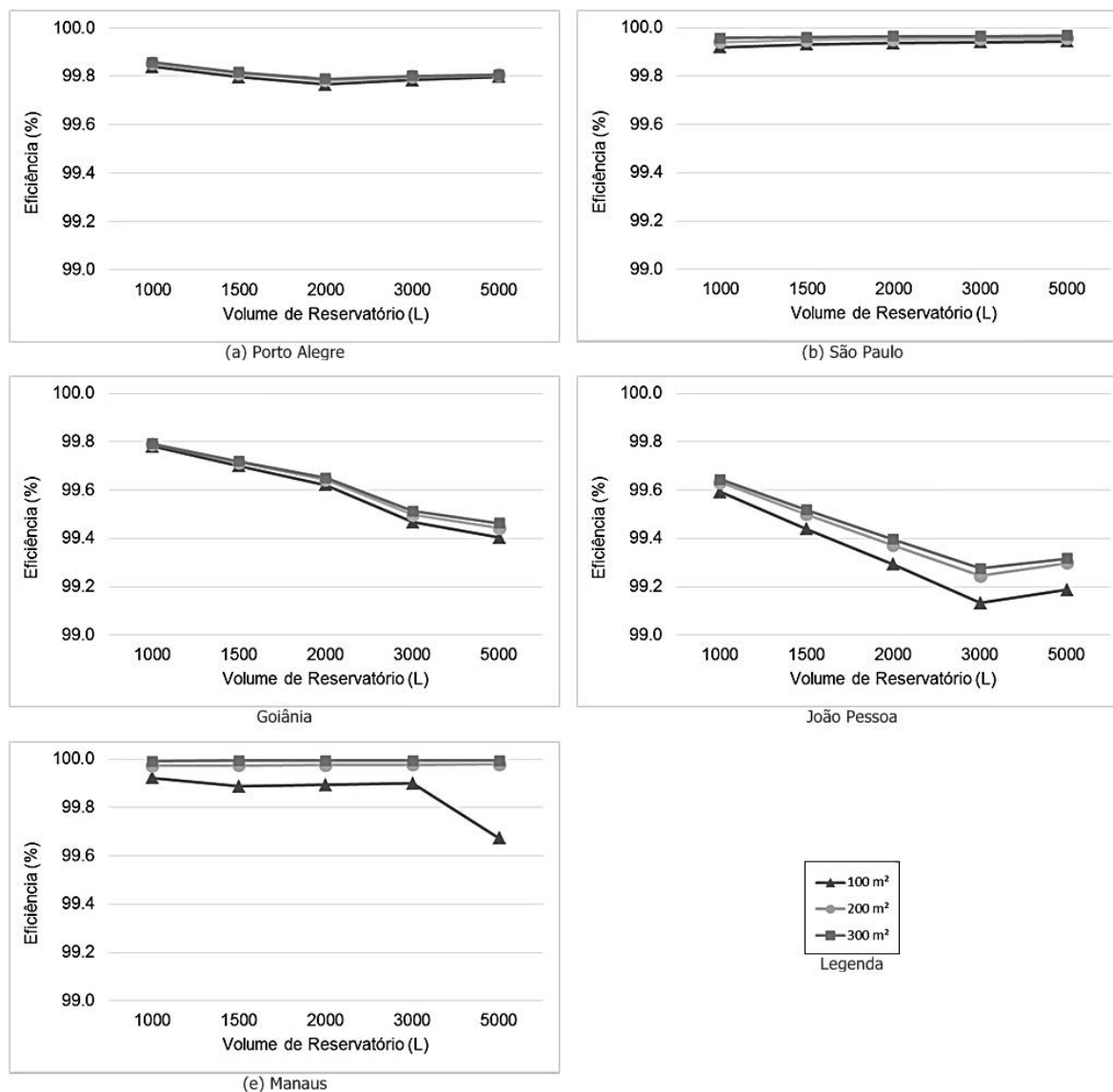
Conforme esperado, a simulação ocorre de forma idêntica, para as duas condições iniciais, após o primeiro enchimento ou o primeiro esvaziamento do reservatório.

É possível perceber que não existe uma relação linear entre o aumento da eficiência e volume de armazenamento, para as diferentes áreas de captação simuladas. Isso pode ser explicado com o auxílio da Tabela 5.2, que apresenta os volumes de falhas ao atendimento a demanda até o momento de igualdade de simulações.

No caso de Porto Alegre, percebe-se que até o volume de 2.000L, ocorre uma diminuição na $E_{f_{V-C}}$ e a partir deste volume a $E_{f_{V-C}}$ passa a aumentar conforme o aumento do volume de reservação (Figura 5.8). Quando analisados os volumes de falhas ao atendimento a demanda, apresentados na Tabela 5.2, percebe-se que, enquanto o volume de reservação é menor que o volume de falhas iniciais ao

atendimento a demanda, a eficiência diminui. A partir do momento em que o volume de reservação é maior que o volume de falhas, a E_{V-C} é aumentada.

Figura 5.8 – Eficiência do reservatório inicialmente vazio, comparativamente ao reservatório inicialmente cheio (100 %).



Fonte: Elaboração Própria

Para São Paulo, verifica-se que a eficiência ocorre linearmente para todas as áreas de captação, pelo fato de que, para cada área de captação simulada, os volumes iniciais de falhas são constantes, independente do volume de reservação (Tabela 5.2). Percebe-se ainda que, para todas as áreas de captação e volumes

simulados, ocorre primeiro o enchimento do reservatório vazio, visto que volumes de falhas iniciais são menores que os volumes de reservação.

Em Goiânia, percebe-se que as falhas ao atendimento a demanda sempre foram iguais aos volumes de armazenamento, independente da área de captação, mostrando que ocorreu o esvaziamento de todos os reservatórios. Por causa disso, observa-se que a E_{fV-C} diminui conforme o aumento de reservatório, em vista do aumento de falhas até a estabilização da simulação.

Na cidade de João Pessoa o comportamento foi similar ao resultado encontrado para Porto Alegre. Até o volume de 3.000L, ocorreu uma diminuição na eficiência dos reservatórios, para todas as áreas de captação, pois o volume de falhas até a estabilização da simulação é maior que o volume de armazenamento. Somente para volumes superiores a 3.000L, o volume de falhas foi menor que o volume de armazenamento, ocasionando o aumento da E_{fV-C} .

Em Manaus, a E_{fV-C} apresentou-se de forma linear para as áreas de 200m² e de 300m². A área de 100 m² apresentou um decréscimo para o volume de 5.000L, isso porque, neste caso o reservatório demorou mais tempo para alcançar a estabilização de simulação, aumentando assim, o volume inicial de falhas ao atendimento a demanda.

Tabela 5.2 – Volumes de falhas ao atendimento a demanda, em litros, até a estabilização da simulação.

	Área de Captação (m ²)	Volume de Reservatório (L)				
		1.000	1.500	2.000	3.000	5.000
Porto Alegre	100	1.000	1.500	1.880	1.880	1.880
	200	1.000	1.500	1.880	1.880	1.880
	300	1.000	1.500	1.880	1.880	1.880
São Paulo	100	283	283	283	283	283
	200	226	226	226	226	226
	300	169	169	169	169	169
Goiânia	100	1.000	1.500	2.000	3.000	5.000
	200	1.000	1.500	2.000	3.000	5.000
	300	1.000	1.500	2.000	3.000	5.000
João Pessoa	100	1.000	1.500	2.000	2.624	2.624
	200	1.000	1.500	2.000	2.624	2.624
	300	1.000	1.500	2.000	2.624	2.624
Manaus	100	310	310	310	310	2.880
	200	310	310	310	310	310
	300	310	310	310	310	310

Fonte: Elaboração Própria

Em resumo, não foram encontradas diferenças marcadas nos resultados das simulações em função da condição inicial do reservatório. Em nenhum dos casos simulados a eficiência se apresentou abaixo dos 99,0 %. Por isso, o restante das simulações apresentadas neste trabalho irá ser conduzida com a condição de reservatório cheio, pois é esta a condição apresentada pela NBR 15.527/2007 (ABNT, 2007).

5.3.3. Influência do descarte

Para avaliar a influência do descarte da primeira água da chuva na simulação dos reservatórios foi considerado a eliminação de 2 mm de água da chuva, em um intervalo de 7 dias. Ou seja, a cada 7 dias, considerou-se que o compartimento de descarte seria esvaziado, caso tivesse ocorrido algum evento de precipitação.

Sabe-se que, o volume de água, gerado por esses 2 mm de água da chuva, variam proporcionalmente com a área de captação, sendo que, conforme ocorre o aumento da área de captação, ocorre também o aumento do volume de descarte. A Tabela 5.3 apresenta os volumes em litros que foram descartados em cada uma das áreas de captação, sempre que foi feita a consideração de descarte.

Tabela 5.3 – Volume, em litros, do descarte em cada área de captação.

Área de Captação (m ²)	Volume do descarte (L)
100	200
200	400
300	600

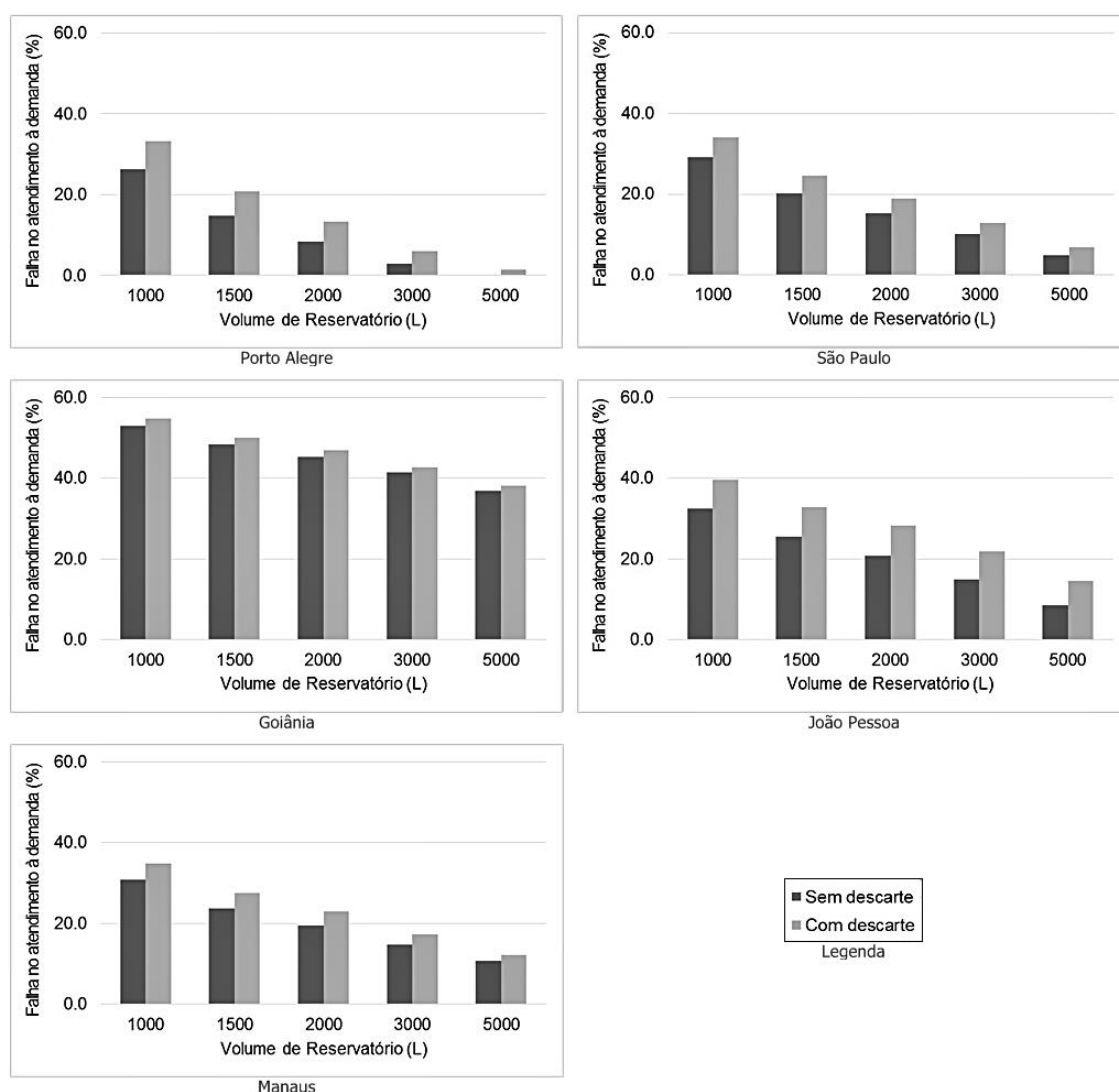
Fonte: Elaboração Própria

Devido às áreas de captação de 100 e 300m² apresentarem os mesmos resultados que a área de captação de 200m², considerou-se apenas demonstrar o comportamento da anterior. A Figura 5.9 apresenta as falhas de atendimento à demanda, para a área de captação, de 200 m². Para fins de visualização, os demais resultados estão contidos nos apêndices, ao final deste trabalho.

Observa-se, a partir da Figura 5.9 que, para um mesmo volume de reservatório, a falha é maior quando ocorre o descarte em comparação a simulação sem descarte da primeira água da chuva. Isso decorre em virtude de que a cada

sete dias, caso ocorra precipitação, são descartados até 400 L da simulação (área de 200 m²).

Figura 5.9 – Falhas no atendimento à demanda considerando o descarte da primeira água de chuva para a área de 200 m².



Fonte: Elaboração Própria

Quando se faz a comparação com os demais volumes, percebe-se que a falha ao atendimento à demanda decresce à medida em que ocorre o aumento do volume de armazenamento, devido ao volume de descarte permanecer constante. Conforme esperado, para a mesma área de captação, a diferença entre a falha considerando o descarte e a falha sem considerar o descarte diminui com o aumento do volume de armazenamento.

Para Porto Alegre, São Paulo, João Pessoa e Manaus, a diferença percentual entre a condição com o descarte e a condição sem descarte é maior, variando de 5% até, aproximadamente, 8% para os diferentes volumes. Já no caso de Goiânia, a diferença entre os dois tratamentos, na pior situação é de apenas 2%.

A fim de elucidar as variações encontradas entre as cidades, na Tabela 5.4 são apresentados os períodos de sete dias que tiveram descartes (Desc.EFETIVO), e os períodos de sete dias em que deveria ter ocorrido descartes (Desc.TOTAL).

Portanto, com o auxílio da Tabela 5.4, é possível perceber que a cidade de Goiânia possui a menor Razão_{desc} (59,86%), ou seja, em apenas 60% das vezes que deveria ter ocorrido o descarte, este descarte de fato ocorreu, demonstrando, dessa forma, o menor percentual de diferença entre as duas situações (Figura 5.7). Essa razão mais baixa ocorre por causa da alta sazonalidade na precipitação encontrada em Goiânia, pois em vários períodos que deveria ter ocorrido o descarte, por falta de precipitação antecedente, esse descarte não foi efetivado.

Tabela 5.4 – Períodos de descarte da primeira água de lavagem.

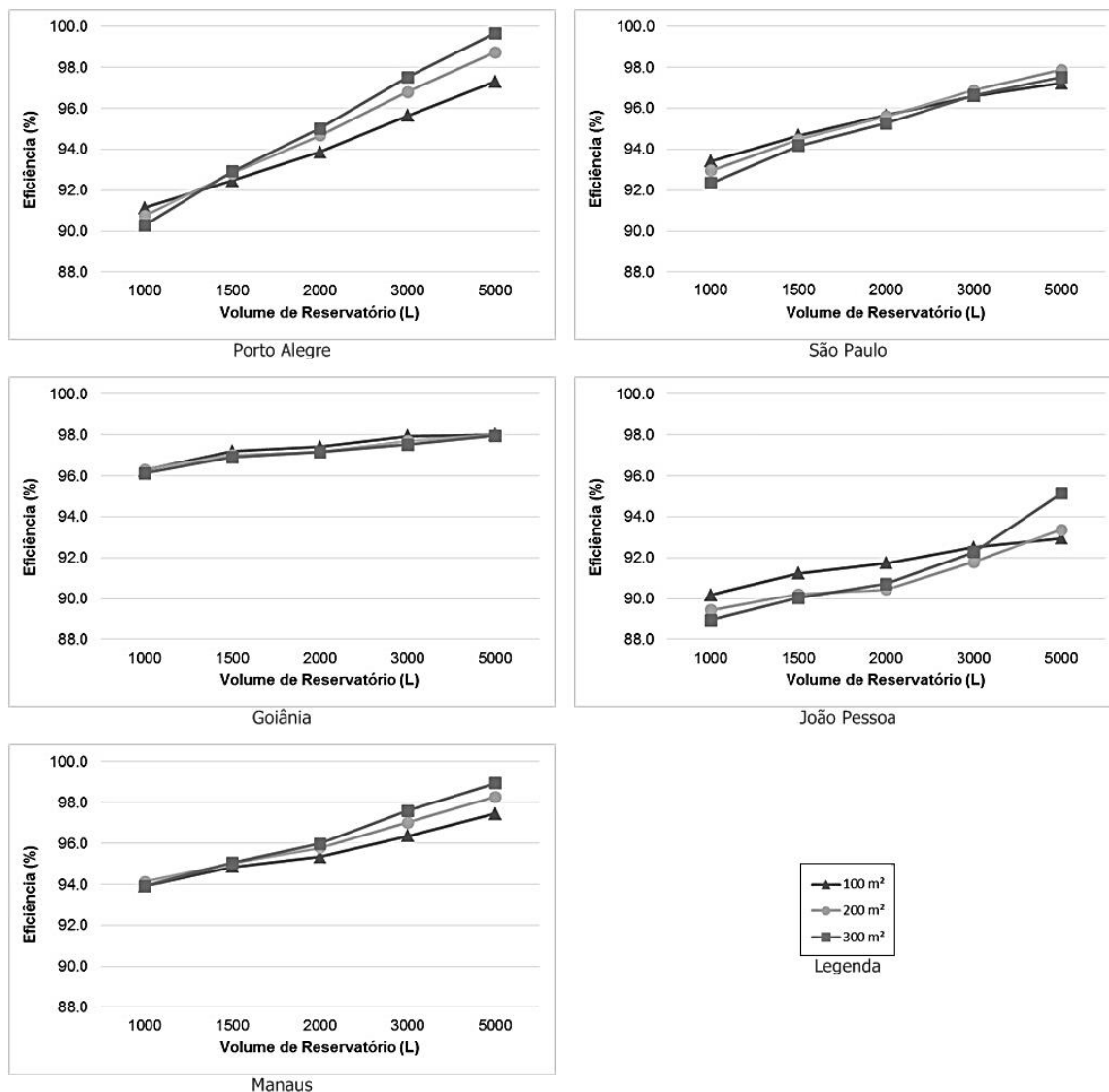
	Descarte Efetivo (Desc.EFETIVO)	Descarte Total (Desc.TOTAL)	Razão entre período com descarte e período que deveria ocorrer descarte (%)
Porto Alegre	643 dias	783 dias	82,12
São Paulo	358 dias	470 dias	76,17
Goiânia	437 dias	730 dias	59,86
João Pessoa	251 dias	313 dias	80,19
Manaus	460 dias	574 dias	80,14

Fonte: Elaboração Própria

As demais cidades estudadas apresentam as Razão_{desc} elucidadas na Tabela 5.4 e seus valores ficam próximos a 80% apresentando, dessa forma, uma maior diferença entre as situações simuladas, conforme demonstrado anteriormente pela Figura 5.9.

Na Figura 5.10 estão apresentadas as eficiências comparativas quanto ao descarte da primeira água de chuva, com a simulação sem considerar o descarte (Ef_{desc}). É possível perceber, que para todas as cidades o comportamento da eficiência é bem distinto.

Figura 5.10 - Eficiência da simulação considerando o descarte da água de lavagem, comparativamente a simulação sem considerar a água de lavagem da área de cobertura.



Fonte: Elaboração Própria

De forma geral, a Ef_{desc} aumenta, em uma mesma área de captação, conforme aumenta o volume do reservatório. Isso ocorre, porque o volume de descarte está relacionado com a precipitação e com a área de captação. Portanto, conforme o volume de reservatório aumenta, diminui a influência dos volumes de descarte, apresentados na Tabela 5.3, aumentando a eficiência de reservação.

No caso de Goiânia, a Ef_{desc} não apresenta variações consideráveis, quando observadas diferentes áreas de captação. Isso acontece, principalmente, porque

essa é a cidade que apresenta a menor Razão_{desc}, como é possível observar na Tabela 5.4.

No caso de Porto Alegre, São Paulo, João Pessoa e Manaus, acontece um ponto de inversão das curvas Ef_{desc} conforme ocorre o aumento do reservatório. Primeiramente, as menores áreas de captação apresentam maiores eficiências, devido, ao fato de que, em menores áreas de captação, são gerados menores volumes de descarte, ou seja, um reservatório de menor volume, acarreta em maiores eficiências. Conforme aumenta o volume de reservatório, o volume descartado para cada área de captação passa a ser menos representativo, e dessa forma, aumentam-se as eficiências das maiores áreas de captação.

Em virtude da simulação em que foi considerando o descarte ter apresentado diferenças nas falhas de até 8%, para alguns casos, e pelo fato de a NBR 15.527/2007 (ABNT, 2007) indicar o descarte, para a preservação da qualidade da água armazenada, o restante das simulações foi realizado preservando essas características, ou seja, descarte de 2 mm de precipitação a cada 7 dias de simulação.

5.4. SÉRIE DE DEMANDAS

Os resultados quanto a série de demandas foram divididos em duas partes. Inicialmente foi realizada uma análise dos volumes demandados, em todas as cidades e quanto esse volume representava do volume de precipitação nas três áreas de captação. Após analisadas quatro diferentes tipos de demanda (todos os usos, apenas bacia sanitária, demandas externas e irrigação), nas cinco cidades consideradas.

5.4.1. Análise das séries de demandas

Conforme explicado no item 5.2.1, para a cidade de Porto Alegre e de São Paulo, foram considerados diferentes padrões de demanda de irrigação. Para os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, a irrigação foi realizada a cada 2 dias. Para os demais meses, foi considerada uma irrigação a cada 7 dias, devido ao fato de que nesses meses a temperatura média de longo período encontrou-se abaixo dos 20 °C. Para as cidades de Goiânia, João Pessoa e

Manaus, a irrigação foi considerada a cada dois dias para todos os meses do ano, caso tivesse ocorrido algum evento de precipitação nos dois dias antecedentes.

O volume da bacia sanitária manteve-se constante para todas as cidades, durante todos os meses do ano, com um volume de 3720 L/mês, conforme pode ser observado na Tabela 5.5. Os demais volumes de demandas foram variáveis, de acordo com a descrição anterior.

Portanto, para as cidades de Porto Alegre e de São Paulo, em que todas as demandas representam uma média de 5900L/mês, o consumo da bacia sanitária representa 63%, o consumo externo representa 37%. Desse último, pouco mais da metade, cerca de 55%, são representados pela irrigação.

Para a cidade de Goiânia, em que todas as demandas apresentaram média de 6300L/mês, a bacia sanitária representa 59% da necessidade e as demandas externas representam 41%, dos quais, 65% são relativos a irrigação.

Para a cidade de João Pessoa e Manaus, o volume médio de demanda total foi de 6000L/mês, sendo que a bacia sanitária representa 62% e as demandas externas representam 38%. A irrigação em João Pessoa representa 48% das demandas externas e em Manaus representa 52%.

Tabela 5.5 - Síntese dos volumes de demandas médios.

	Todas as Demandas (m ³ /mês)	Bacia Sanitária (m ³ /mês)	Demandas Externas (m ³ /mês)	Irrigação (m ³ /mês)		
				T < 20° C	T > 20° C	Média
Porto Alegre	5.9	3.7	2.2	0.2	2.2	1.2
São Paulo	5.9	3.7	2.2	0.4	2.1	1.2
Goiânia	6.3	3.7	2.6	-	1.5	1.5
João Pessoa	6	3.7	2.3	-	1.5	1.5
Manaus	6	3.7	2.3	-	1.2	1.2

Fonte: Elaboração Própria.

As Tabelas 5.6 a 5.10 apresentam as porcentagens que a demanda média mensal representa na precipitação média ao longo dos anos. Na Tabela 5.6, referente a cidade de Porto Alegre, percebe-se que a situação mais crítica encontrada é quando se considera todas as demandas em uma área de captação de 100 m², no qual a necessidade representou, em média, 56% da precipitação do período. O mês mais crítico é março, em razão de maiores demandas para irrigação e menores volumes precipitados nesse período.

Para São Paulo, em dois meses do ano (maio e agosto) o volume de demandas foi maior que o volume de precipitações para a área de captação de 100 m². Considerando-se isoladamente a bacia sanitária, para a área de 100 m², o volume demandado foi superior ao volume precipitado no mês de agosto (Tabela 5.7).

Em Goiânia, conforme Tabela 5.8, observa-se que para qualquer tipo de necessidade analisada, os meses de junho, julho e agosto apresentam o volume de demanda superior ao volume precipitado, devido a precipitação ser praticamente nula nestes meses. Nesse período torna-se inviável manter o atendimento a demanda, pois o volume de armazenamento deverá ser tal que comporte o somatório da demanda desses meses, sem considerar nenhuma entrada de água no sistema.

A partir das médias apresentadas na Tabela 5.5, para a cidade de Goiânia, temos que a maior demanda é de 6,3 m³/mês. Portanto, considerando quatro meses sem entrada de água no sistema, pode-se afirmar que o volume de armazenamento deveria ser próximo a 25 m³. Foi devido a esses períodos (em que a demanda supera muito o volume da precipitação, chegando até 770%, em média, para a área de captação de 100 m²) que as falhas ao atendimento à demanda foram superiores a 50%, para todos os volumes de armazenamento simulados.

A cidade de João Pessoa (Tabela 5.9), apresenta os meses críticos em outubro, novembro e dezembro. Considerando-se todas as demandas, a relação entre volume demandado e volume precipitado encontra-se acima de 100%. Conforme diminui-se as demandas, considerando apenas a irrigação, todas as áreas de captação já apresentam relação de demanda pela precipitação abaixo de 100%.

Para Manaus, Tabela 5.10, verifica-se que os meses mais críticos são julho, agosto e setembro, apresentando valores de demanda que superam a chuva (100%), para a área de captação de 100 m², quando consideradas todas as demandas em uso. Conforme diminuem-se as demandas, as relações entre a demanda e a precipitação apresentam valores superiores a 100% apenas no mês de agosto, para a área de 100 m². Quando considerada apenas a irrigação, o volume demandado é sempre inferior ao volume precipitado, com um valor máximo de 80%, no mês de agosto, com uma área de captação de 100 m².

Tabela 5.6 – Razão, em porcentagem, da demanda em relação a precipitação para a cidade de Porto Alegre.

Porto Alegre													
Todas as Demandas													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	64,5	64,3	91,3	64,9	54,7	41,9	32,4	42,1	36,1	37,4	69,6	71,0	55,8
A = 200 m² (%)	32,3	32,1	45,6	32,4	27,4	20,9	16,2	21,0	18,1	18,7	34,8	35,5	27,9
A = 300 m² (%)	21,5	21,4	30,4	21,6	18,2	14,0	10,8	14,0	12,0	12,5	23,2	23,6	18,6
Bacia Sanitária													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	33,9	34,4	47,4	41,4	41,2	32,0	24,6	32,6	25,1	28,7	38,3	38,3	34,8
A = 200 m² (%)	17,0	17,2	23,7	20,7	20,6	16,0	12,3	16,3	12,6	14,4	19,1	19,2	17,4
A = 300 m² (%)	11,3	11,5	15,8	13,8	13,7	10,7	8,2	10,9	8,4	9,6	12,8	12,8	11,6
Demandas Externas													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	30,6	29,9	43,9	23,5	13,6	9,9	7,7	9,5	11,0	8,7	31,3	32,6	21,0
A = 200 m² (%)	15,3	14,9	22,0	11,7	6,8	5,0	3,9	4,8	5,5	4,3	15,6	16,3	10,5
A = 300 m² (%)	10,2	10,0	14,6	7,8	4,5	3,3	2,6	3,2	3,7	2,9	10,4	10,9	7,0
Irrigação													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	21,5	20,6	27,6	6,8	2,5	1,3	1,1	0,8	0,9	1,0	21,0	22,3	10,6
A = 200 m² (%)	10,7	10,3	13,8	3,4	1,3	0,7	0,5	0,4	0,4	0,5	10,5	11,2	5,3
A = 300 m² (%)	7,2	6,9	9,2	2,3	0,8	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	7,0	7,4	3,5

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 5.7– Razão, em porcentagem, da demanda em relação a precipitação para a cidade de São Paulo.

São Paulo													
Todas as Demandas													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	24,6	27,0	40,6	58,3	<u>107,4</u>	75,3	75,6	<u>173,6</u>	71,9	47,2	45,9	28,3	64,6
A = 200 m² (%)	12,3	13,5	20,3	29,2	53,7	37,7	37,8	86,8	35,9	23,6	22,9	14,1	32,3
A = 300 m² (%)	8,2	9,0	13,5	19,4	35,8	25,1	25,2	57,9	24,0	15,7	15,3	9,4	21,5
Bacia Sanitária													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	13,2	14,5	21,4	37,3	79,3	56,3	54,3	<u>123,1</u>	48,5	36,2	25,7	15,5	43,8
A = 200 m² (%)	6,6	7,3	10,7	18,7	39,7	28,2	27,1	61,5	24,2	18,1	12,9	7,8	21,9
A = 300 m² (%)	4,4	4,8	7,1	12,4	26,4	18,8	18,1	41,0	16,2	12,1	8,6	5,2	14,6
Demandas Externas													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	11,4	12,5	19,2	21,0	28,1	19,0	21,4	50,6	23,4	11,0	20,2	12,8	20,9
A = 200 m² (%)	5,7	6,2	9,6	10,5	14,0	9,5	10,7	25,3	11,7	5,5	10,1	6,4	10,4
A = 300 m² (%)	3,8	4,2	6,4	7,0	9,4	6,3	7,1	16,9	7,8	3,7	6,7	4,3	7,0
Irrigação													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	7,8	8,6	11,9	5,9	6,8	3,8	6,8	17,5	3,9	1,2	13,3	8,6	8,0
A = 200 m² (%)	3,9	4,3	5,9	3,0	3,4	1,9	3,4	8,7	1,9	0,6	6,6	4,3	4,0
A = 300 m² (%)	2,6	2,9	4,0	2,0	2,3	1,3	2,3	5,8	1,3	0,4	4,4	2,9	2,7

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 5.8– Razão, em porcentagem, da demanda em relação a precipitação para a cidade de Goiânia.

Goiânia													
Todas as Demandas													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	25,4	24,7	24,2	54,1	<u>373,9</u>	<u>716,5</u>	<u>5811,4</u>	<u>1902,7</u>	<u>209,4</u>	54,7	26,3	20,2	770,3
A = 200 m² (%)	12,7	12,4	12,1	27,1	<u>187,0</u>	<u>358,3</u>	<u>2905,7</u>	<u>951,4</u>	<u>104,7</u>	27,3	13,2	10,1	385,1
A = 300 m² (%)	8,5	8,2	8,1	18,0	<u>124,6</u>	<u>238,8</u>	<u>1937,1</u>	<u>634,2</u>	69,8	18,2	8,8	6,7	256,8
Bacia Sanitária													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	18,2	17,3	16,5	31,7	<u>194,2</u>	<u>365,2</u>	<u>2830,4</u>	<u>950,4</u>	<u>104,0</u>	33,4	18,5	14,9	382,9
A = 200 m² (%)	9,1	8,6	8,2	15,8	97,1	<u>182,6</u>	<u>1415,2</u>	<u>475,2</u>	52,0	16,7	9,3	7,5	191,4
A = 300 m² (%)	6,1	5,8	5,5	10,6	64,7	<u>121,7</u>	<u>943,5</u>	<u>316,8</u>	34,7	11,1	6,2	5,0	127,6
Demandas Externas													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	7,2	7,4	7,7	22,5	<u>179,7</u>	<u>351,3</u>	<u>2981,0</u>	<u>952,4</u>	<u>105,3</u>	21,3	7,8	5,2	387,4
A = 200 m² (%)	3,6	3,7	3,9	11,2	89,9	<u>175,7</u>	<u>1490,5</u>	<u>476,2</u>	52,7	10,6	3,9	2,6	193,7
A = 300 m² (%)	2,4	2,5	2,6	7,5	59,9	<u>117,1</u>	<u>993,7</u>	<u>317,5</u>	35,1	7,1	2,6	1,7	129,1
Irrigação													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	2,3	2,8	2,0	9,7	<u>127,5</u>	<u>253,2</u>	<u>2220,1</u>	<u>696,9</u>	63,4	12,3	2,8	1,2	282,8
A = 200 m² (%)	1,1	1,4	1,0	4,9	63,8	<u>126,6</u>	<u>1110,1</u>	<u>348,4</u>	31,7	6,1	1,4	0,6	141,4
A = 300 m² (%)	0,8	0,9	0,7	3,2	42,5	84,4	<u>740,0</u>	<u>232,3</u>	21,1	4,1	0,9	0,4	94,3

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 5.9 – Razão, em porcentagem, da demanda em relação a precipitação para a cidade de João Pessoa.

João Pessoa													
Todas as Demandas													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	68,2	48,9	57,9	21,2	18,5	21,6	26,9	40,0	52,4	<u>287,3</u>	<u>302,9</u>	<u>285,7</u>	102,6
A = 200 m² (%)	34,1	24,4	29,0	10,6	9,2	10,8	13,5	20,0	26,2	<u>143,6</u>	<u>151,4</u>	<u>142,9</u>	51,3
A = 300 m² (%)	22,7	16,3	19,3	7,1	6,2	7,2	9,0	13,3	17,5	95,8	<u>101,0</u>	95,2	34,2
Bacia Sanitária													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	41,3	31,4	33,4	13,6	13,7	15,1	18,1	26,4	30,8	<u>162,2</u>	<u>163,2</u>	<u>158,3</u>	59,0
A = 200 m² (%)	20,7	15,7	16,7	6,8	6,9	7,6	9,0	13,2	15,4	81,1	81,6	79,1	29,5
A = 300 m² (%)	13,8	10,5	11,1	4,5	4,6	5,0	6,0	8,8	10,3	54,1	54,4	52,8	19,7
Demandas Externas													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	26,9	17,5	24,5	7,7	4,7	6,5	8,8	13,6	21,6	<u>125,1</u>	<u>139,7</u>	<u>127,4</u>	43,7
A = 200 m² (%)	13,5	8,8	12,3	3,8	2,4	3,3	4,4	6,8	10,8	62,5	69,8	63,7	21,8
A = 300 m² (%)	9,0	5,8	8,2	2,6	1,6	2,2	2,9	4,5	7,2	41,7	46,6	42,5	14,6
Irrigação													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	15,8	9,1	13,1	2,2	1,1	2,4	4,0	6,5	9,2	81,5	95,8	84,9	27,1
A = 200 m² (%)	7,9	4,5	6,5	1,1	0,5	1,2	2,0	3,3	4,6	40,7	47,9	42,4	13,6
A = 300 m² (%)	5,3	3,0	4,4	0,7	0,4	0,8	1,3	2,2	3,1	27,2	31,9	28,3	9,0

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 5.10 – Razão, em porcentagem, da demanda em relação a precipitação para a cidade de Manaus.

Manaus													
Todas as Demandas													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	22,44	22,70	18,80	20,30	24,29	51,51	<u>119,81</u>	<u>244,15</u>	<u>147,94</u>	63,21	35,00	35,91	67,17
A = 200 m² (%)	11,22	11,35	9,40	10,15	12,15	25,75	59,91	<u>122,08</u>	73,97	31,60	17,50	17,95	33,59
A = 300 m² (%)	7,48	7,57	6,27	6,77	8,10	17,17	39,94	81,38	49,31	21,07	11,67	11,97	22,39
Bacia Sanitária													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	15,94	15,81	12,91	13,53	17,03	32,60	67,50	<u>130,07</u>	74,75	36,08	21,40	22,93	38,38
A = 200 m² (%)	7,97	7,90	6,46	6,76	8,51	16,30	33,75	65,03	37,38	18,04	10,70	11,46	19,19
A = 300 m² (%)	5,31	5,27	4,30	4,51	5,68	10,87	22,50	43,36	24,92	12,03	7,13	7,64	12,79
Demandas Externas													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	6,50	6,89	5,88	6,77	7,27	18,91	52,31	<u>114,08</u>	73,18	27,13	13,60	12,98	28,79
A = 200 m² (%)	3,25	3,45	2,94	3,39	3,63	9,45	26,15	57,04	36,59	13,56	6,80	6,49	14,40
A = 300 m² (%)	2,17	2,30	1,96	2,26	2,42	6,30	17,44	38,03	24,39	9,04	4,53	4,33	9,60
Irrigação													
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Média (%)
A = 100 m² (%)	2,22	2,64	1,44	1,32	2,69	10,14	34,16	79,12	43,04	17,43	7,85	6,81	17,40
A = 200 m² (%)	1,11	1,32	0,72	0,66	1,34	5,07	17,08	39,56	21,52	8,71	3,92	3,41	8,70
A = 300 m² (%)	0,74	0,88	0,48	0,44	0,90	3,38	11,39	26,37	14,35	5,81	2,62	2,27	5,80

Fonte: Elaboração Própria.

5.4.2. Influência da série de demandas

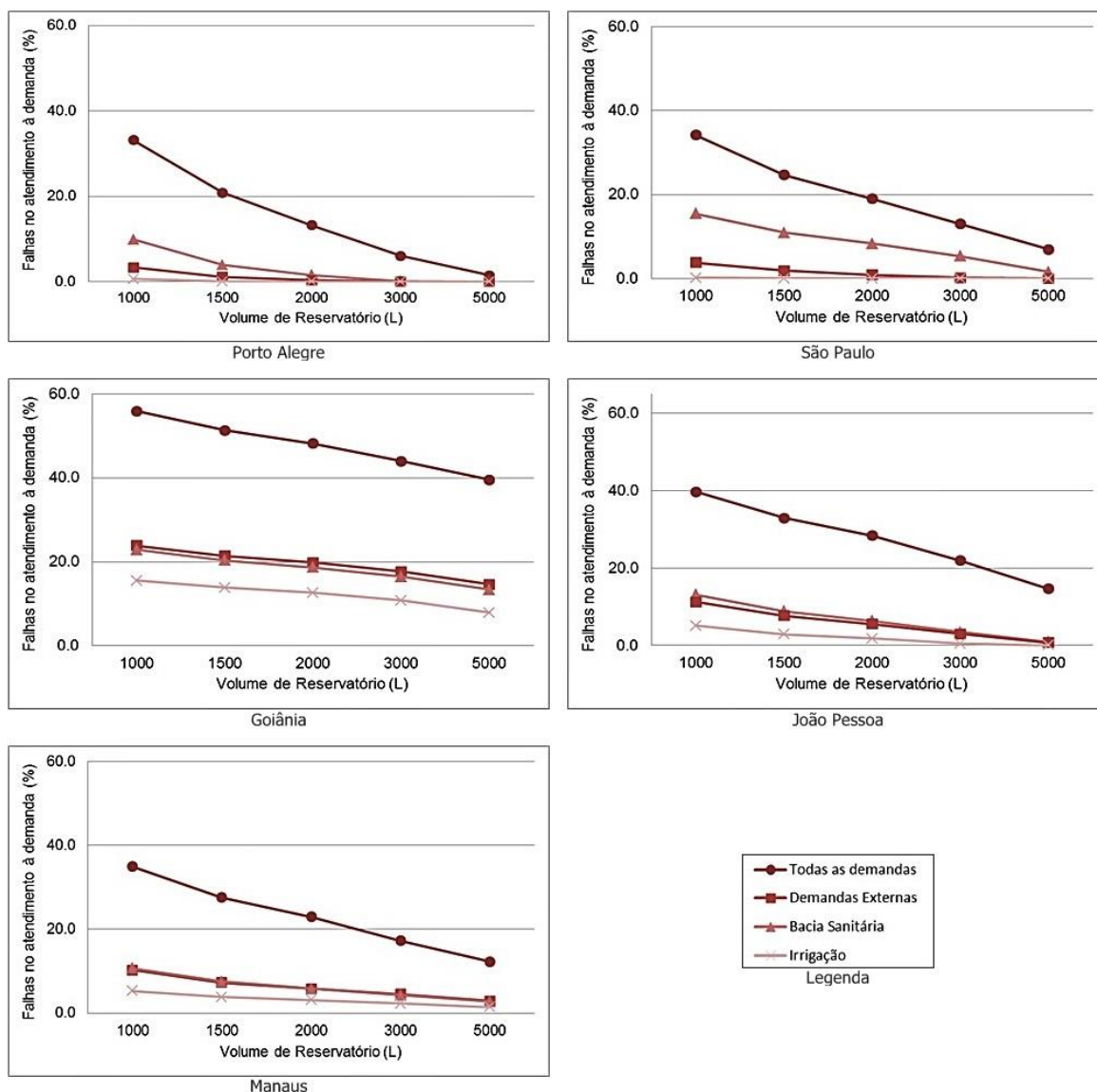
A partir da Figura 5.11 é possível perceber que todas as cidades simuladas seguem um mesmo padrão com relação às falhas no atendimento à demanda, variando apenas quantitativamente. A demanda para a bacia sanitária representa o consumo que possui mais peso dentre as demais demandas avaliadas.

A demanda da irrigação de jardim gerou as menores falhas no atendimento à demanda, sendo que para Porto Alegre e São Paulo esses valores foram próximo ou iguais a zero. Para as cidades de João Pessoa e Manaus, as falhas estão abaixo de 10%, chegando a 0% de falhas para o reservatório de 5.000L, no caso de João Pessoa. Na cidade de Goiânia, as falhas para usos somente na irrigação são mais elevadas seguindo, no entanto, o padrão das demais cidades, com as menores falhas, comparativamente aos outros consumos.

O aumento do volume dos reservatórios promoveu uma redução nas falhas no atendimento à demanda (Figura 5.11), conforme já era esperado pois, com o aumento do volume armazenado há mais água disponível no sistema para os períodos de estiagem, reduzindo assim, as falhas de atendimento. Um aumento de 100% no volume de reservação de, por exemplo, 1.000L para o volume de 2.000L promoveu uma redução das falhas em aproximadamente 49% para a cidade de Porto Alegre, 39% para São Paulo, 14% para Goiânia, 22% e 28%, para João Pessoa e Manaus, respectivamente.

Em um estudo realizado por Imteaz et al. (2012), verificou-se que, para um aumento de 36% na demanda, o reservatório deveria ser duplicado. Realizando a mesma comparação para as cidades de Porto Alegre e de São Paulo, percebe-se que com um aumento de aproximadamente 36% na demanda, deve-se aumentar o volume, aproximadamente, 2,5 vezes. Para as cidades de João Pessoa e Manaus, quando considerada que a demanda aumente em 38% (correspondente ao uso da bacia sanitária), percebe-se que o reservatório deve ser aumentado em 5 vezes, a fim de apresentar o mesmo número de falhas.

Figura 5.11 – Falhas no atendimento à demanda nas cidades, considerando diferentes tipos de demanda, para uma área de captação de 200 m².



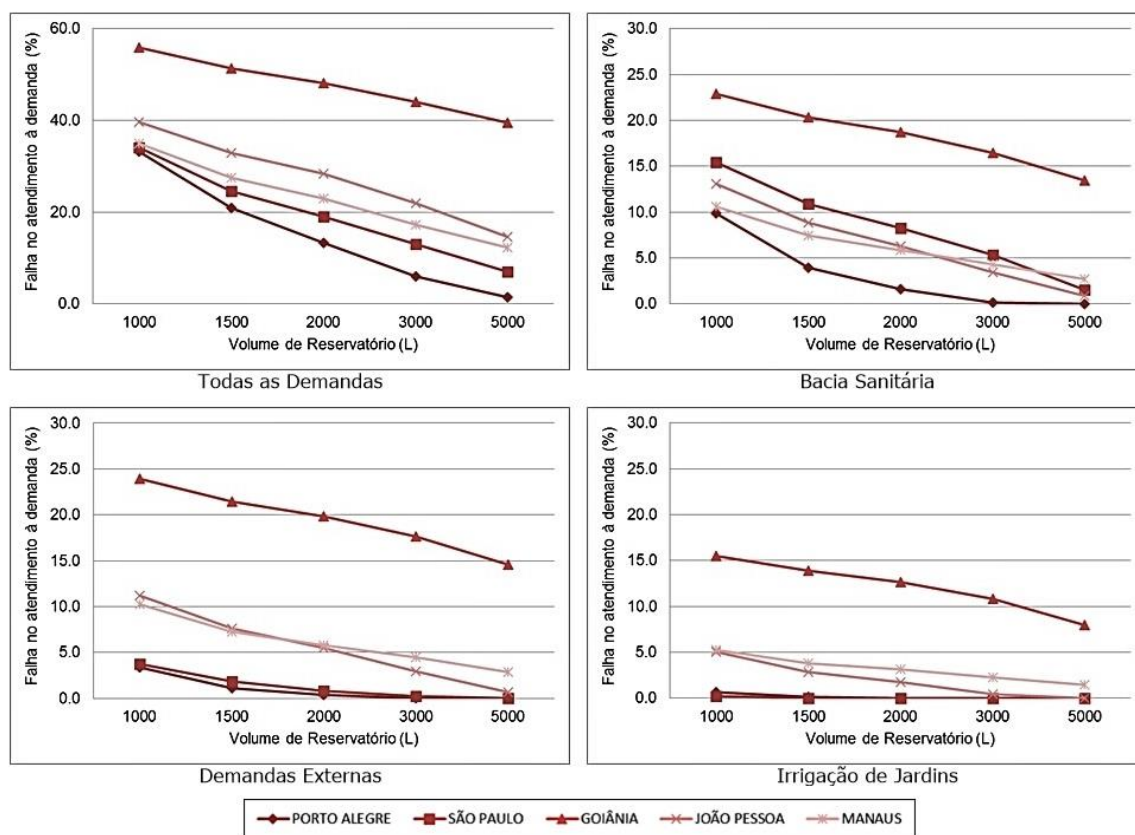
Fonte: Elaboração Própria

A Figura 5.12 apresenta as falhas ao atendimento para diferentes tipos de demanda, considerando as cidades simuladas. De modo geral, é possível perceber que as maiores falhas ao atendimento as demandas estão entre o uso da bacia sanitária e os usos externos considerados. Cabe ressaltar que o eixo de falhas ao atendimento à demanda, para a situação em que se considera todas as demandas, possui uma escala diferente das demais situações analisadas.

Dentre as cidades avaliadas, Goiânia apresentou maior incidência de falhas, pois o volume de demandas, durante alguns meses do ano é muito superior ao volume precipitado. Para todas as demandas analisadas na Figura 5.12, percebe-se

que as falhas são de 10% a 15% superiores aos outros municípios analisados. Quando consideradas as demandas externas, ou apenas o consumo da bacia sanitária, pode-se considerar que a cidade apresenta o mesmo padrão de falhas. Os valores variam de 25% para o volume de 1.000 L, e chegando a, aproximadamente, 15% para o volume de 5.000 L (o maior volume considerado).

Figura 5.12 – Falhas no atendimento à demanda, considerando diferentes tipos de demanda, para a área de 200 m².



Fonte: Elaboração Própria.

Para as demais cidades, quando são analisadas as falhas provocadas pela demanda da bacia sanitária, percebe-se que para o volume de 1.000L, São Paulo é a cidade que apresenta a maior porcentagem de falhas (cerca de 15%) e Porto Alegre é a cidade que apresenta o menor número de falhas. Conforme o volume de reservatório aumenta há uma diminuição das falhas no atendimento à demanda, tendendo a zero.

Em relação às falhas, considerando-se apenas as demandas externas, é possível perceber que os maiores percentuais (com exceção a Goiânia) estão nas

idades de João Pessoa e Manaus, este último, variando de 10% a 5%, aproximadamente.

No caso da irrigação de jardins, os valores de falhas são os mais baixos para todos os casos analisados, chegando ao percentual de zero falhas para as cidades de Porto Alegre, São Paulo e João Pessoa, no volume de 5.000L. As cidades de João Pessoa e Manaus apresentam falhas em torno de 5%, no volume de 1.000L, devido ao fato de que nessas duas cidades a irrigação ocorre a cada dois dias.

5.5. INFLUÊNCIA DA SÉRIE DE PRECIPITAÇÕES

A influência da série de precipitações foi analisada através de quatro diferentes formas. A primeira análise foi realizada considerando diferentes intervalos de tempo da série de precipitações. Para a segunda análise, foram simuladas séries com diferentes comprimentos em anos. Por fim, a terceira e a quarta avaliação foi realizada considerando diferentes variações na condição inicial da série: interanual e intra-anual.

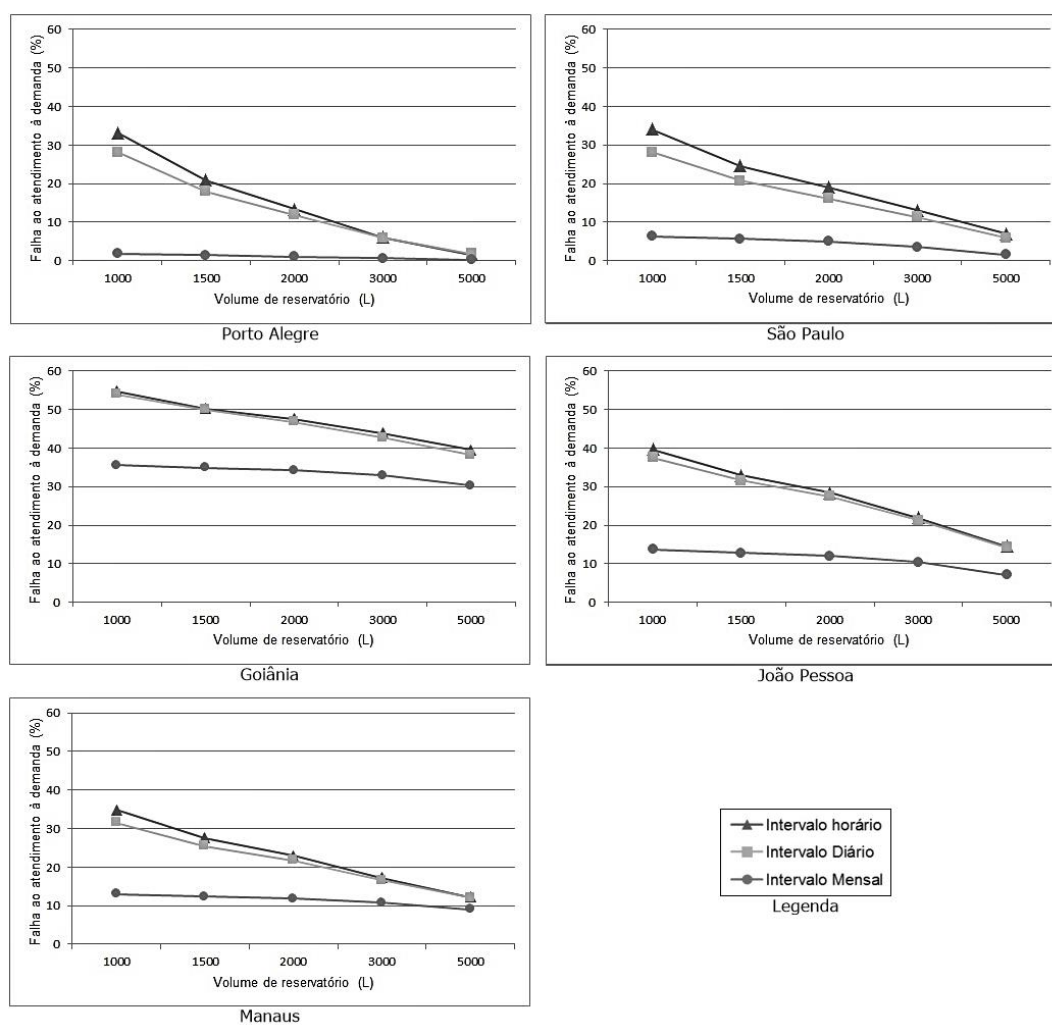
5.5.1. Influência da discretização temporal

Observando a Figura 5.13, de forma geral, é possível perceber que o aumento do intervalo de tempo dos dados de chuva promove uma redução das falhas no atendimento à demanda. Isto é, para um mesmo volume simulado, as falhas no atendimento à demanda reduzem na medida em que se passa do intervalo temporal de horas para meses. Ainda, conforme o volume do reservatório é aumentado, a diferença é reduzida, em razão do menor número de falhas.

Os resultados obtidos para as séries de precipitações diárias, em relação as séries horárias, possuem valores de falhas muito próximos, para todas as cidades analisadas. Para o intervalo de tempo mensal, as falhas no atendimento à demanda foram muito inferiores às falhas dos outros dois intervalos, sendo praticamente invariável mesmo com o aumento do volume do reservatório. Destaca-se que a NBR 15527/2007 (ABNT, 2007), permite a utilização de precipitações com intervalo de tempo mensal. Porém, a partir desta análise pode-se afirmar que, com a utilização de séries de precipitação mensais, tem-se uma diminuição considerável das falhas

ao atendimento a demanda, de 20% até 35%, podendo levar a um subdimensionamento do volume de reservação.

Figura 5.13 – Comparação de diferentes escalas temporais na avaliação das falhas ao atendimento a demanda para a área de 200 m².



Fonte: Elaboração Própria.

Relatos de subestimativa de volumes para simulações com intervalos de tempo mensal também foram realizados por autores como Imteaz et al. (2012), indicando que o reservatório poderia ter um volume 1,6 vezes menor que o necessário dimensionado com intervalo de tempo diário. Campisano e Modica (2014) também avaliaram a influência do intervalo de tempo no dimensionamento de dos reservatórios, mostrando que as diferenças de volume podem ser de até 17%, quando comparados o intervalo de tempo diário para o intervalo de tempo de cinco minutos, para pequenos reservatórios. Porém, vale enfatizar que a discretização

temporal de cinco minutos é muito difícil de ser encontrada, tanto para séries de precipitação, quanto para séries de demandas.

É possível observar a partir da Figura 5.13, que a série diária e a série horária de precipitações apresentam comportamento muito semelhante, diferindo apenas quantitativamente entre si. Graças a essa semelhança de comportamento, foi possível determinar um fator de correção (F_c), que permite a correção das falhas ao atendimento à demanda de uma simulação diária para uma simulação horária, facilitando assim, a utilização de banco de dados que apresentam dados diários de precipitação, a exemplo da plataforma Hidroweb (ANA, 2016). Na Tabela 5.11 é possível observar valores de correções para cinco volumes e três diferentes áreas de captação. Verifica-se, que o fator de correção é, em geral, inferior a 20%.

Tabela 5.11 – Fator de correção para a utilização da precipitação com intervalo de tempo diário.

	Área de Captação	Volume de Reservatório					Média
		1.000 L	1.500 L	2.000 L	3.000 L	5.000 L	
Porto Alegre	100 m ²	1.11	1.08	1.04	1.00	1.00	1,10
	200 m ²	1.18	1.16	1.12	1.01	1.01	
	300 m ²	1.22	1.22	1.18	1.10	1.03	
São Paulo	100 m ²	1.16	1.14	1.13	1.11	1.11	1,17
	200 m ²	1.21	1.19	1.17	1.15	1.17	
	300 m ²	1.23	1.21	1.19	1.16	1.17	
Goiânia	100 m ²	1,02	1,01	1,01	1,0	1,0	1,02
	200 m ²	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04	
	300 m ²	1,07	1,05	1,05	1,04	1,03	
João Pessoa	100 m ²	1.04	1.03	1.02	1.01	1.01	1,03
	200 m ²	1.06	1.04	1.03	1.03	1.02	
	300 m ²	1.07	1.05	1.05	1.04	1.03	
Manaus	100 m ²	1,08	1,05	1,04	1,03	1,01	1,10
	200 m ²	1,11	1,08	1,06	1,04	1,01	
	300 m ²	1,12	1,09	1,07	1,05	1,02	

Fonte: Elaboração Própria.

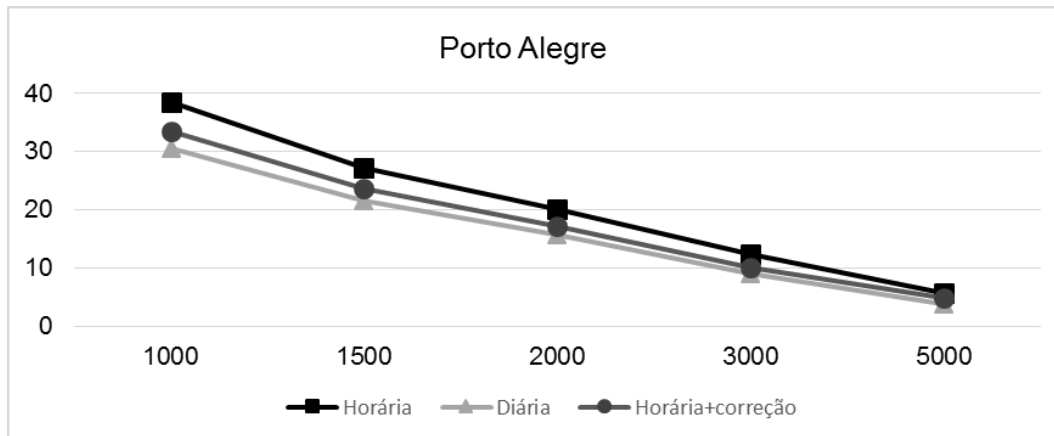
Não foi possível determinar um fator de correção que descrevesse adequadamente um ajuste da simulação com intervalo de tempo mensal para a simulação com tempo horário, pois as duas simulações não apresentam

comportamentos similares e, por isso, a correção não apresenta o mesmo padrão nos diferentes volumes e áreas.

A fim de testar os coeficientes para a correção das falhas, quando realizado o dimensionamento diário para horário, foi realizada uma simulação com a série diária de precipitações para o município de Porto Alegre, contemplando o período de 1961 a 2015.

Observando a Figura 5.14, que apresenta as falhas ao atendimento a demanda considerando a série diária (1961-2015) e a série horária (2001-2015) é possível notar que a condição de subestimativa do volume de reservatório permanece. Porém, percebe-se que o coeficiente de correção de 1,10, encontrado anteriormente, não corrige de forma satisfatória o valor de falhas ao atendimento a demanda. Nota-se que, para essa situação um coeficiente de correção próximo a 2,3 seria o mais indicado.

Figura 5.14 - Falhas ao atendimento a demanda considerando a série diária (1961-2015) e a série horária (2001-2015).



Fonte: Elaboração Própria

5.5.2. Influência da extensão da série

Para a análise da influência da extensão das séries de precipitações no comportamento do reservatório, foram realizadas 330 simulações com diferentes extensões de série. Como cada uma das cidades possui séries com diferentes números de anos, foram consideradas diferentes comprimentos (em anos) para cada simulação, conforme Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Extensão total da série de precipitações e diferentes cenários simulados.

Cidade	Extensão total da série de precipitações	Cenários simulados
Porto Alegre	15 anos	15; 10 e 5 anos
São Paulo	9 anos	9 e 5 anos
Goiânia	14 anos	14; 10 e 5 anos
João Pessoa	6 anos	6 e 3 anos
Manaus	11 anos	11; 8 e 5 anos

Na Figura 5.15 são apresentadas as falhas no atendimento à demanda em função dos cenários de extensão das séries de precipitação simuladas. A redução da extensão das séries de precipitações provocou um aumento das falhas no atendimento à demanda, para todas as cidades analisadas, com maior ou menor variação. Isso, provavelmente ocorre pois, quanto mais curta a série de precipitações, mais incertezas essa série pode gerar no resultado final da simulação. Por exemplo, um ano seco em uma série de três ou cinco anos tem uma influência muito maior no resultado que esse mesmo ano seco em uma série mais longa de precipitações. Observa-se que os totais anuais mínimos das séries de precipitações, para todas as cidades analisadas, não estão localizadas nos últimos três e cinco anos, não sendo esse o fator que influencia nestas simulações.

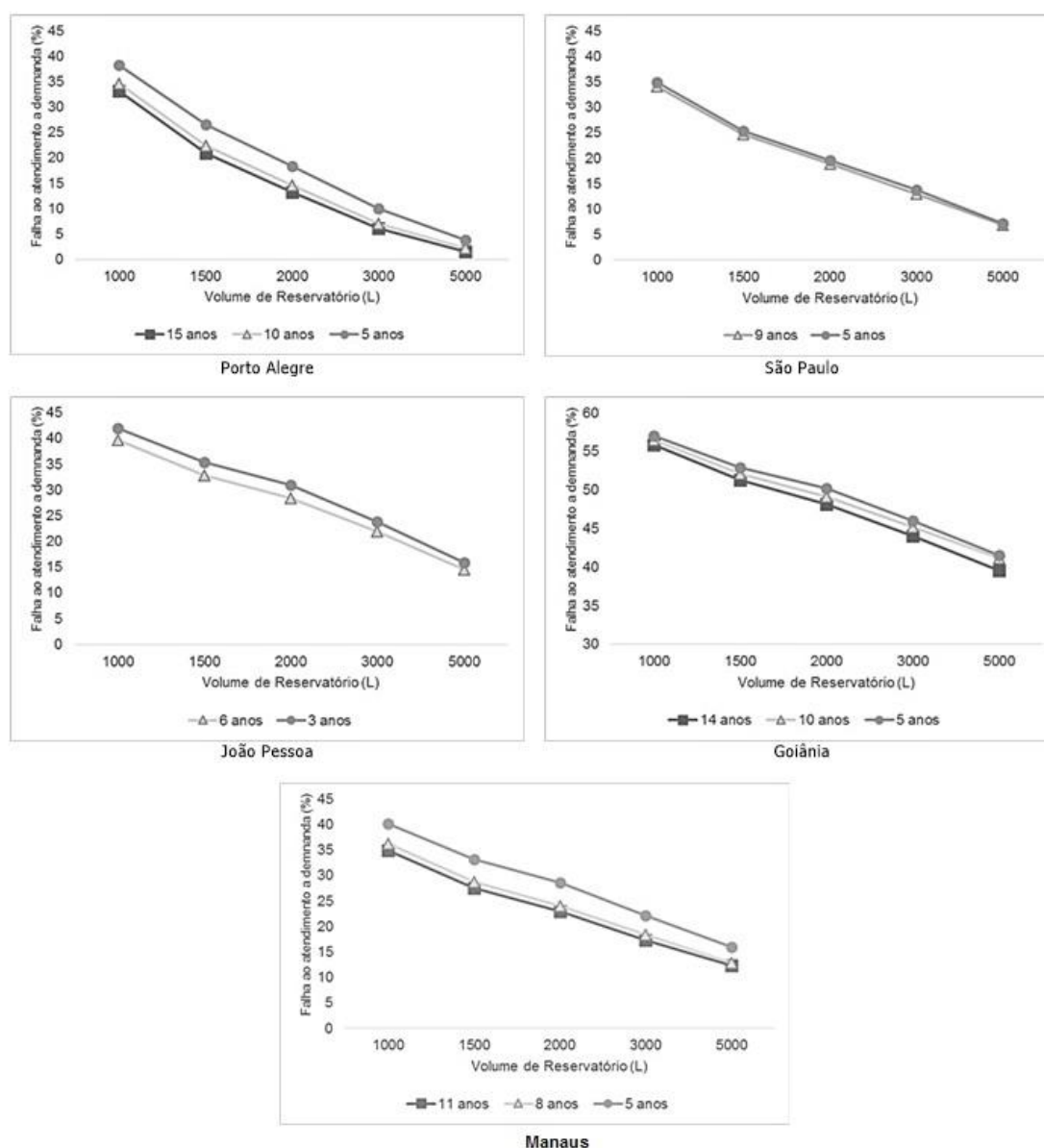
O aumento do número de falhas no atendimento à demanda, em razão de uma série de dados muito curta pode levar a um superdimensionamento do reservatório, o que acarreta no aumento do custo para concepção do sistema.

Para a cidade de Porto Alegre, considerando o reservatório de 1.000L, ocorreu um pequeno aumento (4,5%) nas falhas no atendimento à demanda, com a redução da extensão da série de 15 anos para 10 anos e, comparativamente à série de 15 anos para a de 5 anos, o aumento já foi maior (13%).

Quando o comprimento da série de precipitações de São Paulo foi reduzido de 9 anos para 5 anos, ocorreu um aumento de, aproximadamente, 3% no número de falhas. Já, para a cidade de João Pessoa, quando se reduziu a extensão da série de 6 anos para 3 anos ocorreu um aumento de 4% nas falhas ao atendimento à demanda. Para ambos os casos, esses valores de variação são relativamente pequenos.

Referente a série de Goiânia, quando esta foi reduzida de 14 anos para 10 anos e posteriormente para 5 anos, ocorreu apenas uma variação muito pequena (de 1% e 2%, respectivamente). Em Manaus, a diminuição da série de 11 anos para 8 anos e após para 5 anos, resultou em um aumento de 3,5% e 13,6%, respectivamente, para o volume de 1.000L. Este último possui bastante representatividade.

Figura 5.15 – Falhas ao atendimento à demanda a partir de diferentes extensões da série de precipitações para uma área de 200 m².



Fonte: Elaboração Própria.

Segundo Immich Junior (2013), séries de 5 anos podem subestimar a eficiência de um reservatório de 20.000L em até 8%, quando comparada com uma série de 48 anos. Ainda, segundo o autor, quando a extensão da série aumenta para 20 anos, a garantia passa a ser subestimada em 2% e com o aumento para 30 anos, as diferenças na eficiência foram muito pequenas.

5.5.3. Influência da condição inicial da série

5.5.3.1 Análise da variação interanual da série de precipitações

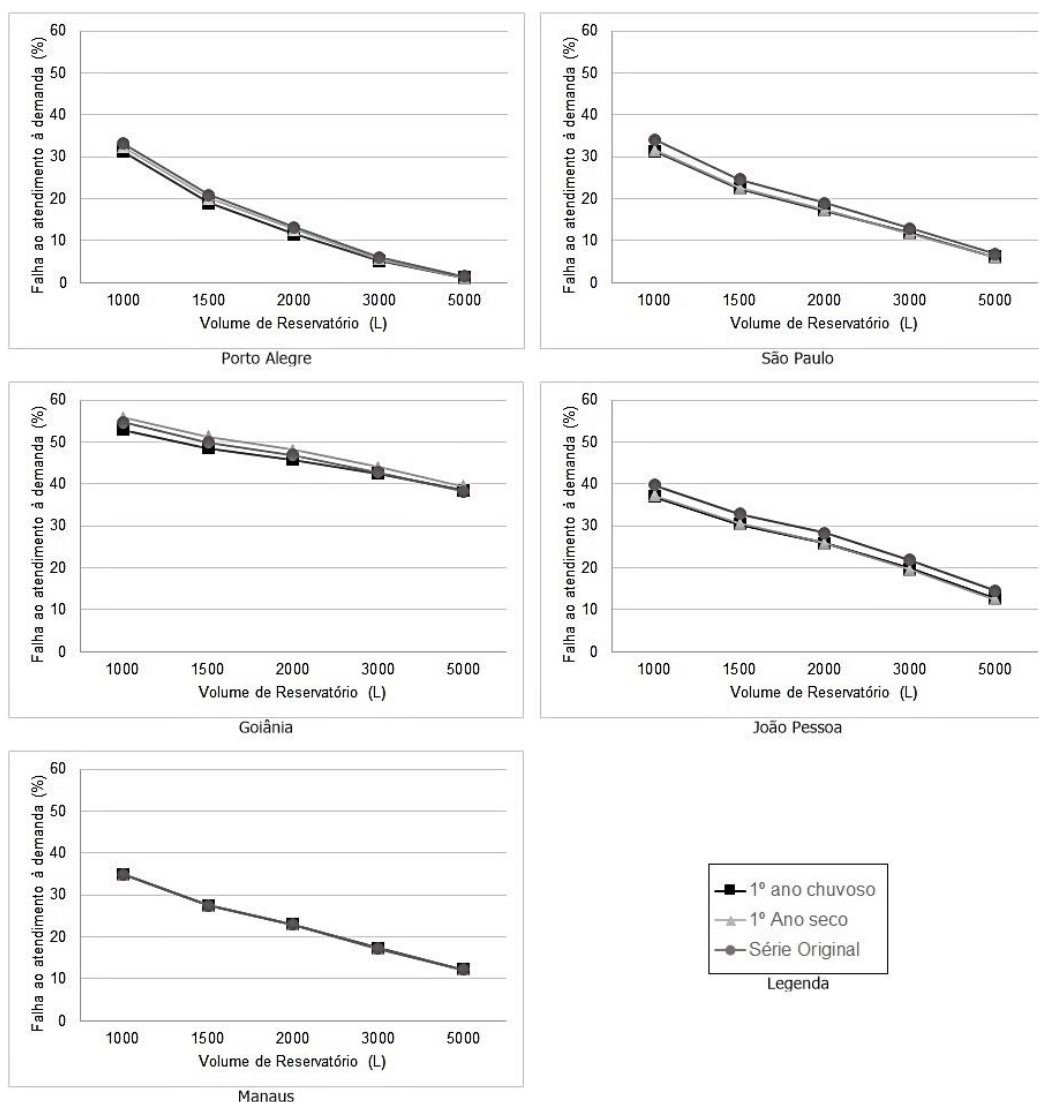
Para analisar como as variações interanuais afetam os reservatórios de aproveitamento de água da chuva, foram realizadas 300 simulações, considerando quatro variações na série de precipitações: simulação iniciando no ano mais seco da série; simulação com tendência crescente de volumes precipitados (do ano mais seco para o ano mais chuvoso); simulação iniciando no ano mais chuvoso e; simulação com tendência decrescente de volumes precipitados (do ano mais chuvoso para o ano mais seco).

A Figura 5.16 apresenta as falhas no atendimento à demanda quando considerados o ano mais seco e o ano mais chuvoso no início da simulação. Ainda, apresenta as falhas no atendimento à demanda quando considerada a série original de simulação.

De modo geral, analisando-se a Figura 5.16 pode-se observar, que para as cidades de Porto Alegre, São Paulo e Goiânia, existem pequenas diferenças (menores que 2%), para os menores volumes de armazenamento e, conforme o volume de reservatório vai aumentando, essas diferenças acabam se extinguindo. Para as cidades de João Pessoa e Manaus, mesmo para os volumes de reservatórios pequenos, não foram identificadas diferenças nos resultados entre iniciar a simulação em um ano seco ou chuvoso.

Quando comparadas as séries simuladas (ano seco e ano chuvoso) com as séries originais de precipitação, nota-se que ocorrem pequenas diferenças, sendo a maior delas encontrada em João Pessoa (aproximadamente 3%).

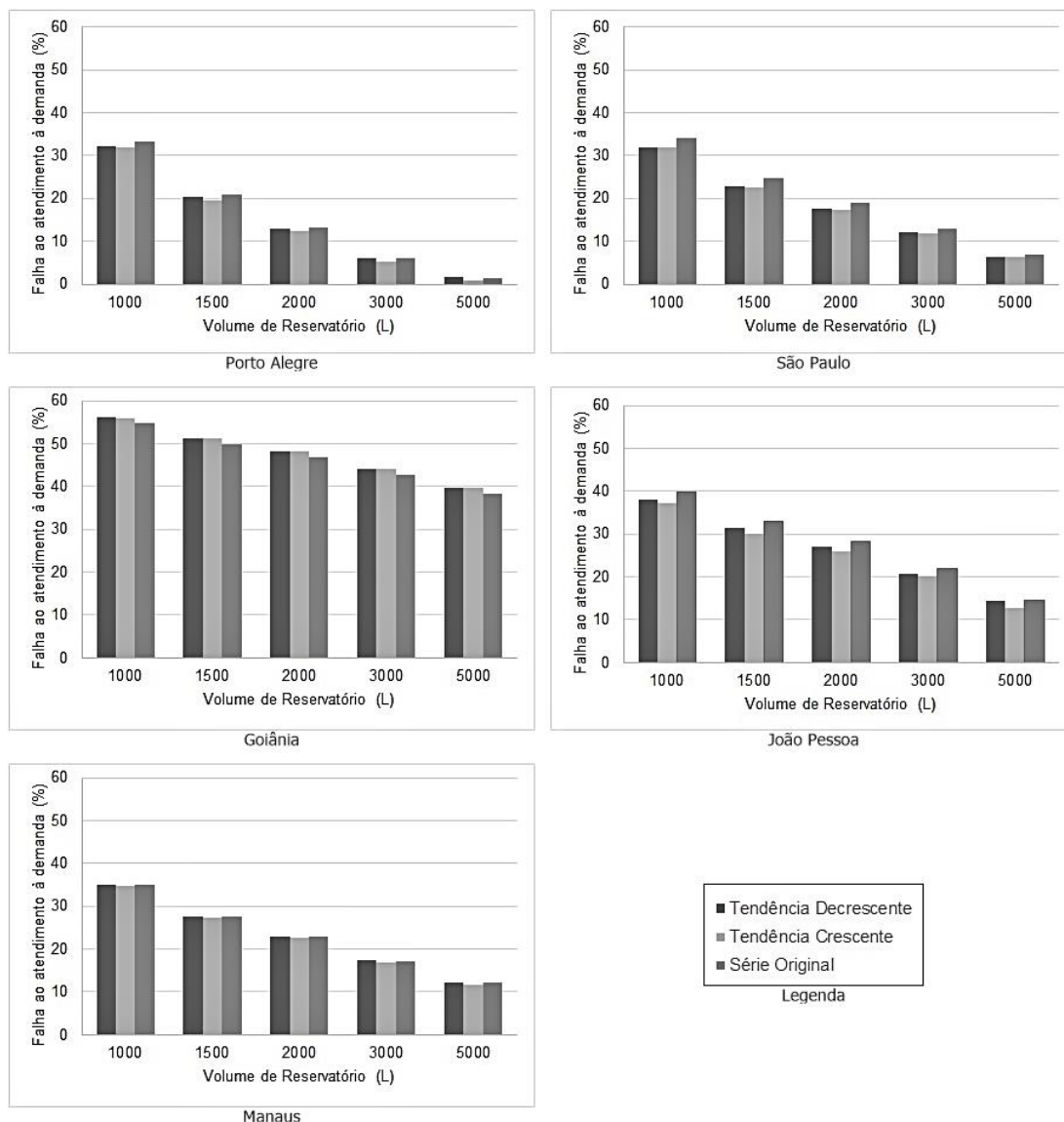
Figura 5.16 - Falhas ao atendimento à demanda considerando o ano mais seco e o ano mais chuvoso no início da simulação para uma área de 200 m².



Fonte: Elaboração Própria.

Por fim, foram simuladas duas outras situações, distintas das já apresentadas. Primeiro, os anos foram ordenados considerando uma tendência decrescentes de volumes totais anuais precipitados, isto é, do mais chuvoso para o mais seco. Após, gerou-se uma nova série de dados de precipitação em que os anos foram ordenados respeitando uma tendência crescente de volumes totais anuais precipitados, isto é, do mais seco para o mais chuvoso. As falhas geradas pelas simulações com estas séries foram comparadas com aquelas provocadas pela série original de precipitações, conforme pode ser observado na Figura 5.17.

Figura 5.17 – Falhas no atendimento à demanda, considerando uma tendência crescente e tendência decrescente de volumes precipitados, para uma área de captação de 200 m².



Fonte: Elaboração Própria.

Percebe-se que o rearranjo das séries de precipitações não provocou grandes variações nos resultados de falhas, para nenhuma das cidades analisadas. Para o caso de Manaus, também não foram detectadas nenhuma alteração comparativamente à série original de precipitações.

No caso de João Pessoa, que é a menor série em número de anos, podem ser observadas diferenças mais evidentes, ainda que pequenas (aproximadamente 2%, para o menor volume simulado) entre as séries com tendência crescente e com

tendência decrescente de volumes precipitados. Para as demais cidades as diferenças são menores que 1% para estas mesmas séries.

Nas cidades de Porto Alegre, São Paulo e João Pessoa, observa-se que a série original de precipitações apresentou as maiores falhas de atendimento à demanda. Isso demonstra que a aleatoriedade das séries de precipitação, aumenta o volume de falhas, aumentando assim o tamanho do reservatório.

No caso de Goiânia, percebe-se que, devido a sazonalidade bem marcada, a aleatoriedade da série de precipitações produziu volumes de falhas menores que quando ordenadas de forma crescente ou decrescente. Portanto, para esse caso, percebe-se que as séries ordenadas, superestimam o volume de reservação, quando comparadas à série real de precipitações.

5.5.3.2 *Análise da variação intra-anual da série de precipitações*

A análise das variações intra-anuais foi realizada a partir de 300 simulações, considerando-se as quatro estações do ano como diferentes inícios para cada simulação, isto é, as simulações foram realizadas considerando seu início na primavera, no verão, no outono e no inverno.

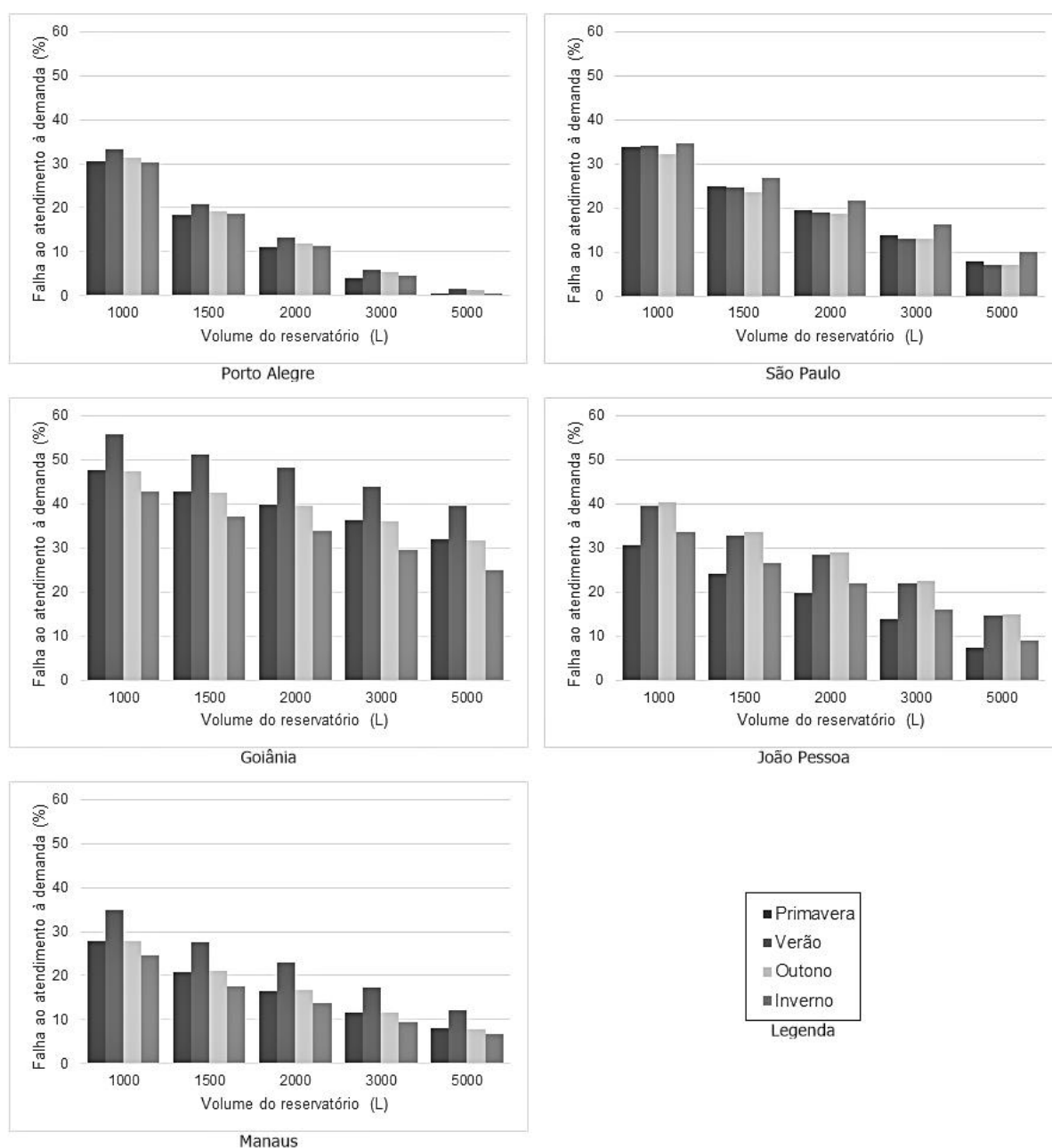
Como pode ser observado na Figura 5.18, que apresenta a simulação com período inicial nas diferentes estações no ano, para a área de 200 m², ocorreram algumas variações no número de falhas no atendimento à demanda, mesmo que pequenas, entre as estações, para todas as cidades analisadas.

Em Porto Alegre, a maior diferença entre as falhas ao atendimento à demanda pode ser observada entre a primavera e o verão, (3% maiores no verão que na primavera). Apesar de muito pequena, esta diferença se deve, principalmente, ao fato de que o verão é a estação com um menor volume precipitado e, no caso de Porto Alegre, é uma das estações em que ocorrem maiores volumes demandados, em razão da irrigação ocorrer a cada dois dias.

A cidade de São Paulo teve comportamento similar a Porto Alegre, sendo que no outono estão apresentadas as menores falhas, acompanhadas de um período com poucas precipitações. Isso ocorre por que considerou-se o reservatório cheio no início da simulação, não ocasionando falhas no atendimento à demanda. O inverno é a estação que apresenta as maiores falhas de atendimento a demanda em todos os volumes de reservatório testados, apesar da variação ser mínima (cerca de 3%).

Isso ocorre porque, neste período, as precipitações são menores e, na primavera, período seguinte cronologicamente, inicia-se a demanda de irrigação a cada dois dias, o que aumenta consideravelmente o consumo de água da chuva, aumentando assim as falhas ao atendimento.

Figura 5.18 – Falhas no atendimento à demanda, com início nas diferentes estações do ano, para a área de captação de 200 m².



Fonte: Elaboração Própria.

Nas cidades de Goiânia, João Pessoa e Manaus, percebe-se o mesmo padrão nas diferentes estações do ano, conforme a precipitação de cada cidade. Ou seja, as menores falhas estão presentes nas estações com os menores volumes precipitados. No caso de Goiânia, as menores falhas estão no inverno, período que também apresenta os menores volumes precipitados. Para João Pessoa, as menores falhas estão nos meses de primavera (8% menores que no outono) e no caso de Manaus, nos meses de inverno (7% menores que verão). Isso ocorre, devido a condição inicial de reservatório cheio, ou seja, no período em que ocorreriam as maiores falhas, devido aos menores volumes precipitados, tem-se o reservatório considerado cheio, atendendo, portanto, as demandas da residência. Assim, destaca-se que, de maneira geral, as mudanças no início das simulações nas diferentes estações do ano não acarretaram em grandes diferenças, atingindo um máximo de 10% a mais nas falhas ao atendimento a demanda.

5.6. ANÁLISE DAS SITUAÇÕES EXTREMAS

A análise das situações extremas foi realizada considerando as duas situações apresentadas no Quadro 5.5. Pode-se observar que a condição menos favorável ao aproveitamento da água da chuva é aquela em que são considerados reservatório vazio no início da simulação, descarte da primeira água da chuva, todas as demandas sendo atendidas na residência, a precipitação com série curta e discretização temporal horária. Para a análise da melhor situação foi considerado o reservatório cheio no início da simulação, sem o descarte da primeira água da chuva, apenas a demanda de irrigação, a série de precipitações longa, com discretização mensal.

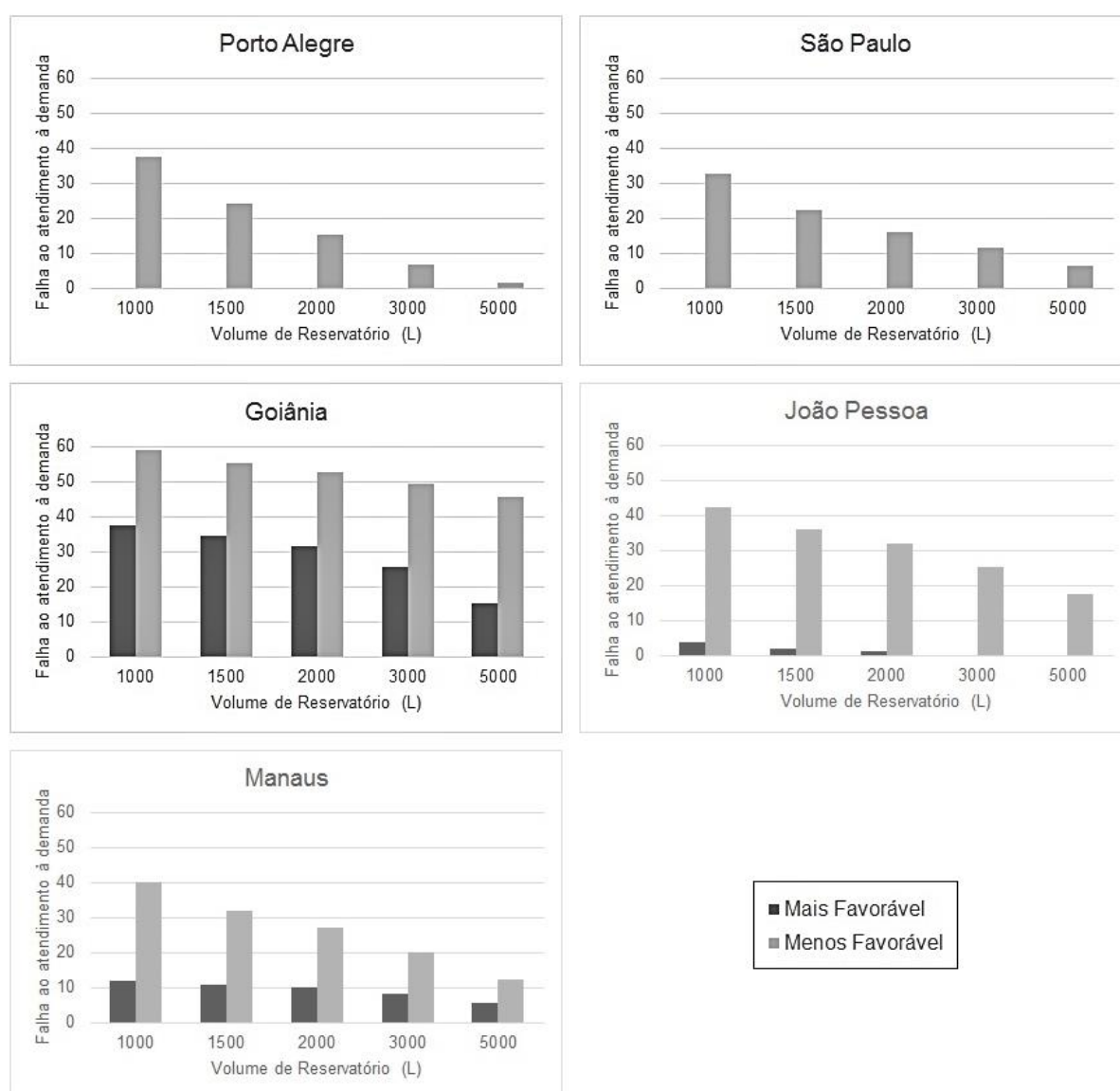
Quadro 5.2 – Situações Extremas

Critério	Situação menos favorável	Situação mais favorável
Condição Inicial	Reservatório vazio	Reservatório Cheio
Descarte	Com descarte	Sem Descarte
Demanda	Todas as demandas	Apenas Irrigação
Discretização temporal	Horária	Mensal
Extensão da Série	Série curta	Série Longa

Fonte: Elaboração Própria.

A partir da Figura 5.19 é possível observar as falhas ao atendimento à demanda, considerando as duas situações extremas na simulação. Percebe-se que, de modo geral, todas as cidades apresentaram percentual de falhas ao atendimento à demanda consideravelmente menores do que àquelas considerando a situação menos favorável. Para as cidades de Porto Alegre e São Paulo a situação mais favorável ao aproveitamento da água da chuva não gerou nenhuma falha ao atendimento à demanda. Nota-se que, para a cidade de João Pessoa, os maiores volumes de armazenamento também não geraram falhas.

Figura 5.19 – Falhas ao atendimento à demanda considerando duas situações extremas.



Fonte: Elaboração Própria.

Para as cidades de Goiânia e Manaus, que possuem sazonalidade bem marcada, a situação mais favorável ao atendimento à demanda foi, aproximadamente, 22% e 29% menor que a situação menos favorável, respectivamente.

A partir da análise dos resultados, para as diferentes cidades, percebe-se que, as variáveis de projeto devem ser representativas da realidade, pois, escolhas imprecisas podem acarretar em dimensionamentos errôneos dos reservatórios de armazenamento da água da chuva.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência das distintas variáveis de projeto (falhas na série de precipitações, condições captação-demanda, situação inicial de reservação, volumes de descarte, diferentes séries de demandas, mudanças nas séries de precipitações) no volume e desempenho de reservatórios de aproveitamento de água de chuva para cinco cidades no Brasil. Para isso foram consideradas diferentes áreas de captação, volumes de armazenamento e regimes pluviométricos. Com relação aos resultados encontrados, são apresentados alguns comentários a seguir.

As cinco cidades escolhidas para as simulações apresentaram diferenças quanto à sazonalidade das precipitações, temperaturas e, por consequência, das demandas. Porto Alegre possui as precipitações bem constantes ao longo do tempo, São Paulo apresenta um menor volume precipitado durante os meses de abril até setembro. Goiânia, João Pessoa e Manaus apresentam diferentes padrões de precipitação. Goiânia tem o período de estiagem bem marcado nos meses de maio a setembro. Manaus possui um padrão bem parecido, porém menos marcado, com os menores volumes precipitados nos meses de junho a setembro. Já João Pessoa, possui o período de estiagem nos meses de outubro a janeiro.

Quanto ao preenchimento das falhas nas séries de precipitação, a condição que considerou todas as falhas das séries de precipitações como zeradas apresentou as maiores falhas no atendimento à demanda, sendo que a maior diferença entre as configurações adotadas foi para a cidade de Manaus, com aproximadamente 10% de diminuição na eficiência do reservatório. Devido ao fato desse tipo de preenchimento ter acarretado as maiores falhas ao atendimento à demanda, recomenda-se a utilização do mesmo.

Para os critérios de simulação, a condição de reservatório cheio ou vazio no início da simulação e a condição captação-demanda não apresentaram diferenças consideráveis. O descarte do primeiro escoamento, responsável pela limpeza da área de captação, foi a que apresentou resultados mais expressivos dentre os critérios de simulação, com diferenças de até 12% na eficiência de reservação.

Quanto à análise da influência das séries de demandas, foi possível perceber, que um aumento de aproximadamente 35% nas demandas, pode acarretar em um

aumento de até 2,5 vezes o tamanho do reservatório, nas regiões em que a precipitação não possui alta variabilidade sazonal. Nas cidades com sazonalidades mais marcadas, percebe-se que um aumento de 40% na demanda, pode ocasionar um aumento de até 5 vezes no volume de reservação. Ainda, nas cidades com uma maior sazonalidade, garantir o abastecimento da demanda de água da chuva durante todo o período de estiagem torna-se praticamente inviável, pelo aumento considerável no volume de reservação, principalmente para as pequenas áreas de captação.

Quanto aos diferentes rearranjos da série de precipitações, foi possível perceber que as variações interanuais e intra-anuais não acarretaram em grandes alterações nas falhas no atendimento à demanda. Quanto às alterações nas extensões da série de precipitações, percebeu-se que, conforme se reduz o número de anos de dados utilizados na simulação, pode ocorrer um superdimensionamento do reservatório, gerando aumento desnecessário dos custos.

Com relação à discretização temporal dos dados das séries de precipitações, foi possível observar que, quanto mais detalhadas as séries, mais preciso se torna o dimensionamento. Um intervalo de tempo diário pode subestimar o volume de reservatório em até 1,5 vezes; quando considerado um intervalo mensal, pode-se subestimar consideravelmente o volume de reservação, sendo até 5 vezes menor que o ideal.

Quando analisadas as situações extremas no aproveitamento da água da chuva percebe-se que a escolha adequada das variáveis, condizentes a situação real do projeto, é de fundamental importância.

Recomenda-se a validação dos resultados a partir da utilização de métodos estatísticos para a comparação de médias. Para isso, aconselha-se a utilização do método de Monte Carlo, a fim de criar séries sintéticas de precipitação e, a partir dessas séries, promover a realização de novas simulações (considerando os mesmos tratamentos utilizados neste trabalho), gerando uma nuvem de resultados, para um mesmo volumes e uma mesma área de captação.

Recomenda-se também a utilização de áreas de captação e volumes de reservatórios diferentes dos testados neste trabalho, para verificar se o comportamento das falhas ao atendimento à demanda permanece semelhante ao encontrado neste trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR13.969/1989**, Instalações prediais de águas pluviais: procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 1998, 13p.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR:5.625/1998**, Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: ABNT, 1998, 41p.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.527/2007**, Água de chuva - aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2007, 8p.

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. **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.

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

ANA; FIESP e SINDUSCON-SP. **Conservação e reuso de água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005. 152 p.

ANNECCHINI, K.P.V. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. 2005. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

ASA, **ARTICULAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO**. Disponível em: <<http://www.asabrasil.org.br/>>. Acesso em: 23 set, 2015.

BRASIL. **Projeto de Lei Nº. 7818 de 16 de Julho de 2014**, Estabelece a Política Nacional de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e define normas gerais para sua promoção. Brasília, 2014.

CAMPISANO, A.; MODICA, C. Regional scale analysis for the design of storage tanks for domestic rainwater harvesting systems. **Water Science and Technology**. London, v. 66, n. 1, p. 1–8, 2012.

CÁRITAS BRASILEIRA – CPT–FIAN/Brasil. **Água de Chuva: o segredo da convivência com o Semi-Árido brasileiro**. São Paulo: Editora Paulinas 2001, 104p.

CIPRIANO, R. F. P. **Tratamento das águas da chuva escoadas sobre telhado e avaliação do seu uso**. 2004. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004.

COHIM, E.; GARCIA, A. P.; KIPERSTOCK, A. Captação de chuva no meio urbano para usos não potáveis. In: VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Belo Horizonte, 2007. **Anais...** Belo Horizonte: ABRH, 2007.

COHIM, E.; GARCIA, A. P.; KIPERSTOCK, A. Captação e Aproveitamento da Água da Chuva: Dimensionamento de Reservatórios. In: IX SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. Salvador, 2008. **Anais...** Salvador: ABRH, 2008.

CONSUMO SUSTENTÁVEL. **Manual de educação**. Brasília: Consumers International/MMA/MEC/IDEC. 2005. 160p.

DYER, R. Promotion of rainwater catchment in Southern Africa. In: 9ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA. Petrolina, 1999. **Anais...** Petrolina: EMBRAPA, 1999.

DORNELLES, F. **Aproveitamento de água de chuva no meio urbano e seu efeito na drenagem pluvial**. 2012, 219f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2012.

ELETROSUL. **Casa eficiente: sistema de aproveitamento de águas pluviais**. Disponível em: <http://www2.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/conteudo.php?cd=8>. Acesso em: 19 de set, de 2015.

FEWKES, A.; BUTLER, D. Simulating the performance of rainwater collection and reuse systems using behavioural models. **Buildings Service Engineering Research and Technology**. London: v. 21, n.1 p. 99-106, 2000

GNADLINGER, J. **Relatório sobre a participação no 3º Fórum Mundial da Água (FMA), em Kioto, Japão, de 16 a 23 de março de 2003**. Disponível em < <http://docplayer.com.br/14206151-Relatorio-sobre-a-participacao-no-3o-forum-mundial-da-agua-fma-em-kioto-japao-16-a-23-de-marco-de-2003.html>>. Acesso em 11 de out. de 2015.

GNADLINGER, J. Estratégias para uma legislação favorável à captação e manejo de água da chuva no Brasil. In: V SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA. 2005. Petrolina. **Anais...** Petrolina: ABCMAC, 2005.

GOIÂNIA. **Lei Municipal Nº 9.511 de 15 de dezembro de 2014** - Estabelece regras de Controle de Águas Pluviais e Drenagem Urbana e dá outras providências. Goiânia: Prefeitura Municipal, 2014.

GOIÁS. **Projeto de Lei Nº. 1.400 de 30 de Abril de 2015** - Torna obrigatório a instalação de sistemas de aproveitamento de água da chuva em novas construções de prédios públicos do Estado de Goiás. Estado de Goiás, 2015.

GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento de Água da Chuva**. Curitiba: Organic Traging, 2002. 196p.

HAGEMANN S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso.** 2009, 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009.

HENTGES, S. C. **Efeito de reservatório de aproveitamento de água de chuva sobre redes de drenagem pluvial.** 2013, 258f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2013.

IMMICH JÚNIOR, E. G. **Eficácia de sistema de aproveitamento de água da chuva: efeito do tamanho da série de precipitações.** 2013, 91f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

IMTEAZ, M. A.; ADEBOYEB, O.B.; RAYBURG, S.; SHANABLEH, A. Rainwater harvesting potential for southwest Nigeria using daily water balance model. **Resources, Conservation and Recycling.** n. 62, p. 51-55, 2012

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estação automática de Porto Alegre – RS, Código A801.** Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTgwMQ > Acesso em: 31 dez. 2015a.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estação automática de São Paulo – Mirante de Santana, SP, Código A701.** Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTcwMQ > Acesso em: 31 dez. 2015b.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estação automática de Goiânia, GO, Código A002.** Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTAwMg > Acesso em: 31 dez. 2015c.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estação automática de João Pessoa, PB, Código A320.** Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTMymA > Acesso em: 31 dez. 2015d.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estação automática de Manaus, AM, Código A101.** Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTEwMQ > Acesso em: 31 dez. 2015e.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais Climatológicas.** Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas> > Acesso em: 12 mar. 2016.

JAQUES, R.C. **Qualidade da água da chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para o aproveitamento em edificações**. 2005. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

JOÃO PESSOA. **Lei Municipal Nº 12.166 de 15 de setembro de 2011** - Cria o sistema de reuso de água de chuva para utilização não potável em mercados municipais, subprefeituras, condomínios, clubes, entidades, conjuntos habitacionais e demais imóveis residenciais, indústrias e comerciais dentro de João Pessoa e dá outras providências. João Pessoa: Prefeitura Municipal, 2011.

JONES, M. P.; HUNT, W. F. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. **Resources, Conservation and Recycling**, v.54, n.10, August 2010, p. 623–629. 2010.

KITA, I.; TAKEYAMA, K.; TAKEUCHI, A.; KITAMURA, K. Local government's financial assistance for rainwater utilization in Japan. In: 9ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA. Petrolina, 1999. **Anais...** Petrolina: EMBRAPA, 1999.

MANAUS. **Lei Municipal Nº 1.192 de 31 de dezembro de 2007** - Cria o programa de tratamento e uso racional das águas nas edificações – PRO-ÁGUAS. Manaus: Prefeitura Municipal, 2007.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água da chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I.; DA SILVA, M. C. C.; RODRIGUES, L. B. Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. **REGA. Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v. 4, p. 29-37, 2007.

MINAS GERAIS. **Projeto de Lei Nº 4.279 de 12 de Julho de 2013** - Institui o Programa Estadual de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas. Estado de Minas Gerais, 2013.

OKEREKE, J. N.; OBASI, K. O.; OBIEKEZIE, S. O.; OKECHUKWU R. I. Bacterial quality of rainwater in selected communities in Imo state, Nigeria. **Estudos de Biologia - Ambiente e Diversidade**, v. 28, n. 63, p.51-59, 2006.

PORTO ALEGRE. **Lei Municipal Nº 10.506 de 05 de agosto de 2008** - Institui o programa de conservação, uso racional e reaproveitamento das águas. Porto Alegre: Prefeitura Municipal, 2008.

RIBEIRO, C. B. M.; MORAES, M. F.; ROCHA, N. H.; COELHO, S. O. Aproveitamento da água de chuva – Campus UFJF/MG. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2011, Maceió. **Anais...** Maceió: ABRH, 2011.

RIO GRANDE DO SUL. **Projeto de Lei Nº 164 de 5 de Julho de 2012**. Institui a Política Estadual de Captação, Armazenamento e Aproveitamento da Água da Chuva do Estado do Rio Grande do Sul, e dá outras providências. Estado do Rio Grande do Sul, 2012.

RUTASHOBYA, D. G. Experiences gained in the development of rainwater catchment in Tanzania. In: 9ª CONFERÊNCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA. Petrolina, 1999. **Anais...** Petrolina: EMBRAPA, 1999.

SANTA CATARINA, **Projeto de Lei Nº 12.5 de 11 de Fevereiro de 2015**. Institui a Campanha de Conscientização da utilização da água no âmbito do Estado de Santa Catarina. Estado de Santa Catarina, 2015

SÃO PAULO. **Lei Municipal Nº 13.276 de 4 de janeiro de 2002** - Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m² (quinhentos metros quadrados). São Paulo: Prefeitura Municipal, 2002.

SÃO PAULO. **Projeto de Lei Municipal Nº 39/2011**. Institui o programa de incentivo e desconto, denominado "IPTU VERDE" no âmbito do município de São Paulo e dá outras providências. São Paulo: Prefeitura Municipal, 2011.

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. **The Texas Manual on Rainwater Harvesting**. 3ed. Austin, 2005.

THORNTHWAITTE, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate, **Geographical Review**, v. 38., n.1., p. 55-94, 1948.

TOMAZ, P. **Conservação da água**. São Paulo: Digihouse Editoração Eletrônica. 1998, 294p.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis**. São Paulo: Navegar Editora. 2005.180p.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre: v.5, n.1, p.61-68, 2000.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Rainwater Harvesting and Utilisation** (2002). Disponível em: <<http://www.unep.or.jp/ietc/publications/urban/urbanenv-2/index.asp>>. Acessado em: 20 de nov. de 2015.

VELOSO, N. S. L.; MENDES, R. L. R. Aspectos legais do uso da água da chuva no Brasil e a gestão dos recursos hídricos: notas técnicas. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013. Bento Gonçalves, **Anais...** Bento Gonçalves: ABRH, 2013.

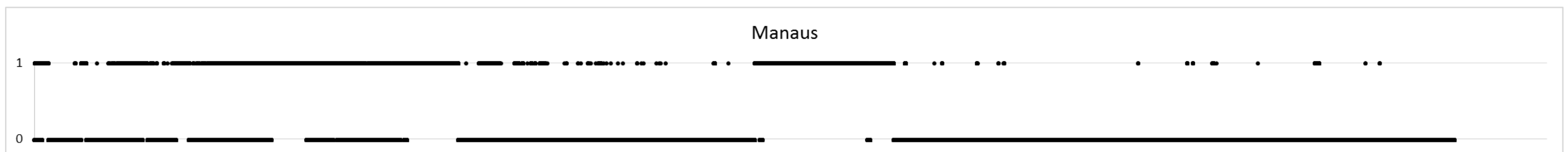
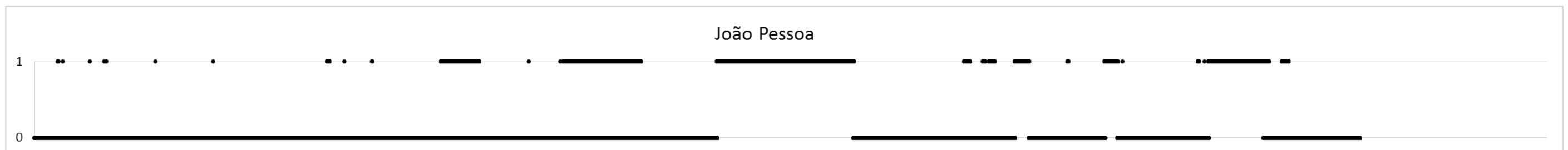
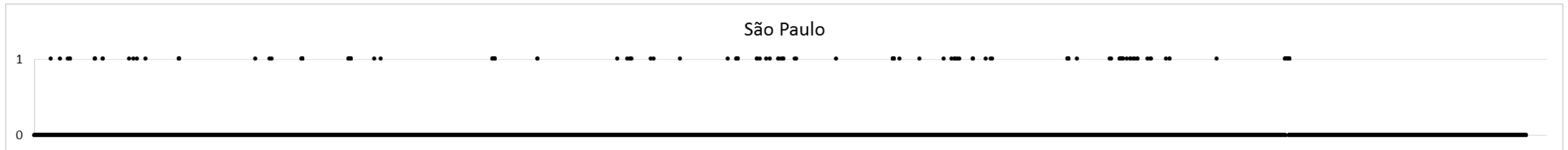
WILKEN, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo: CETESB, 1978.

ZAIZEN, M; URAKAWAA, T.; MATSUMOTOA, Y.; TAKAIB, H. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. **Urban Water**, v. 1, p. 355-359, 2000.

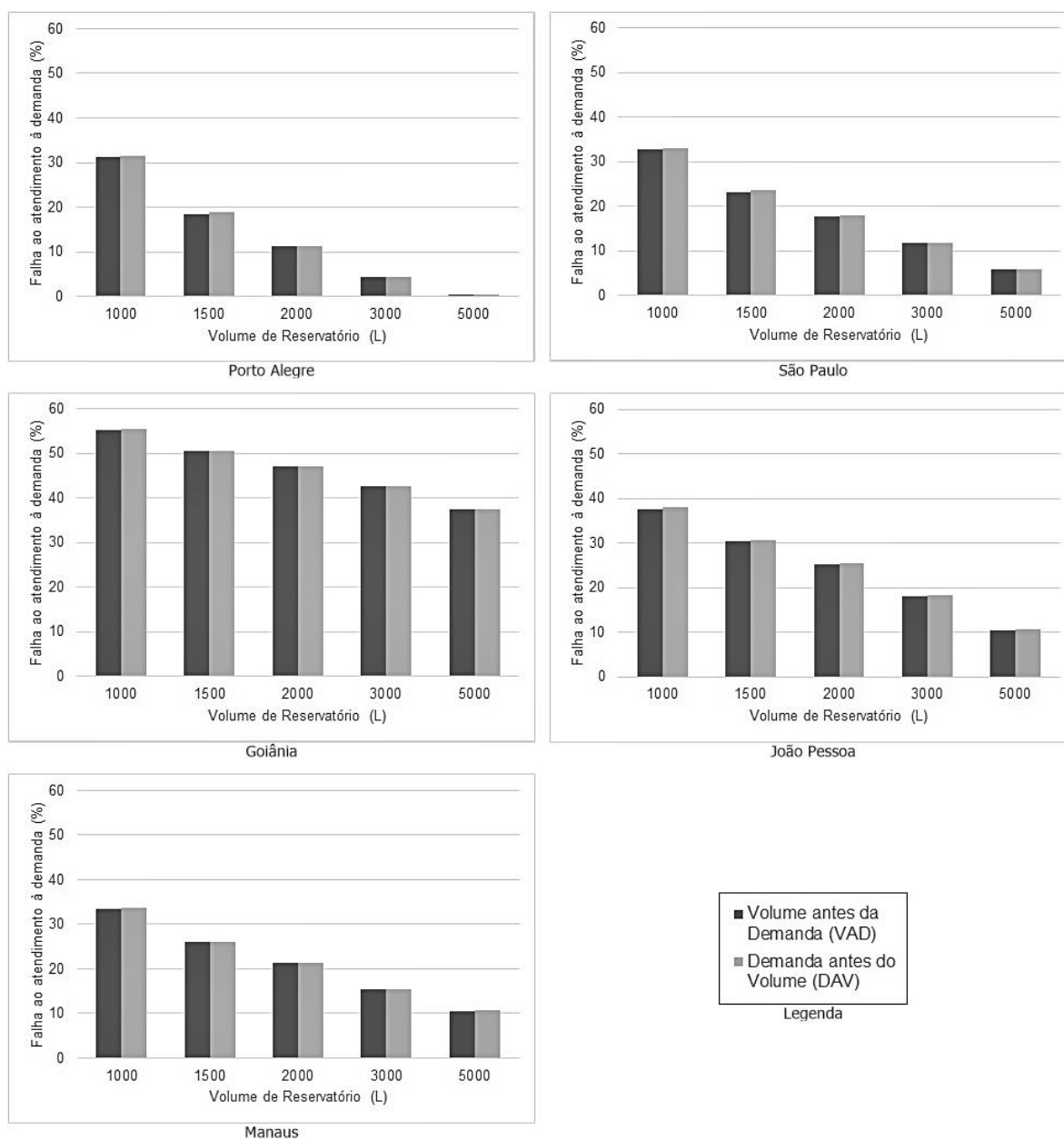
8. APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Discretização temporal das falhas presentes nas séries de precipitação para cada cidade analisada.

Adotou-se o valor da falha como igual a um e valores quando ocorreu precipitação igual a zero.

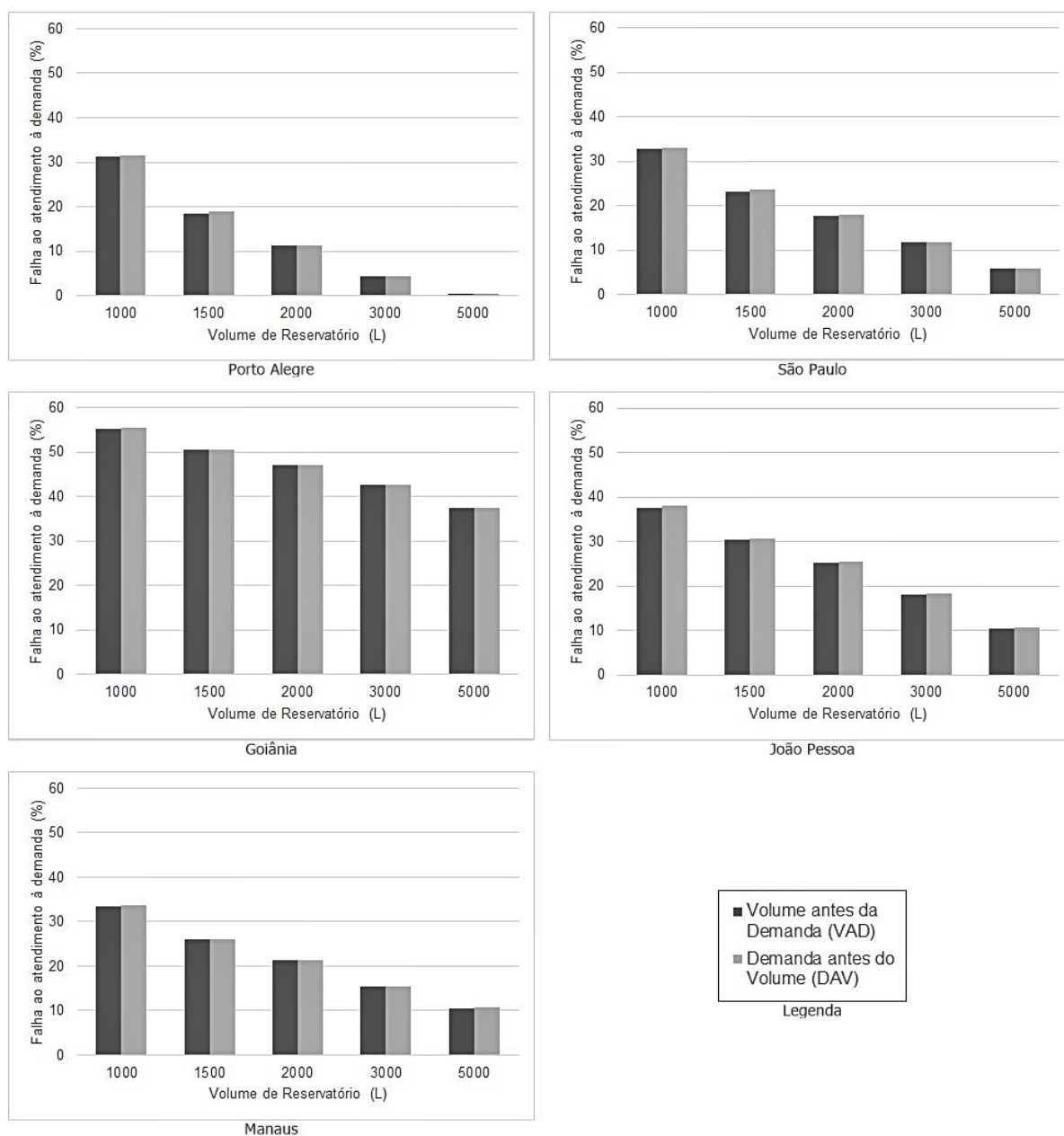


APÊNDICE 2 - Falhas no atendimento à demanda, considerando VAD E DAV, para a área de 100 m².



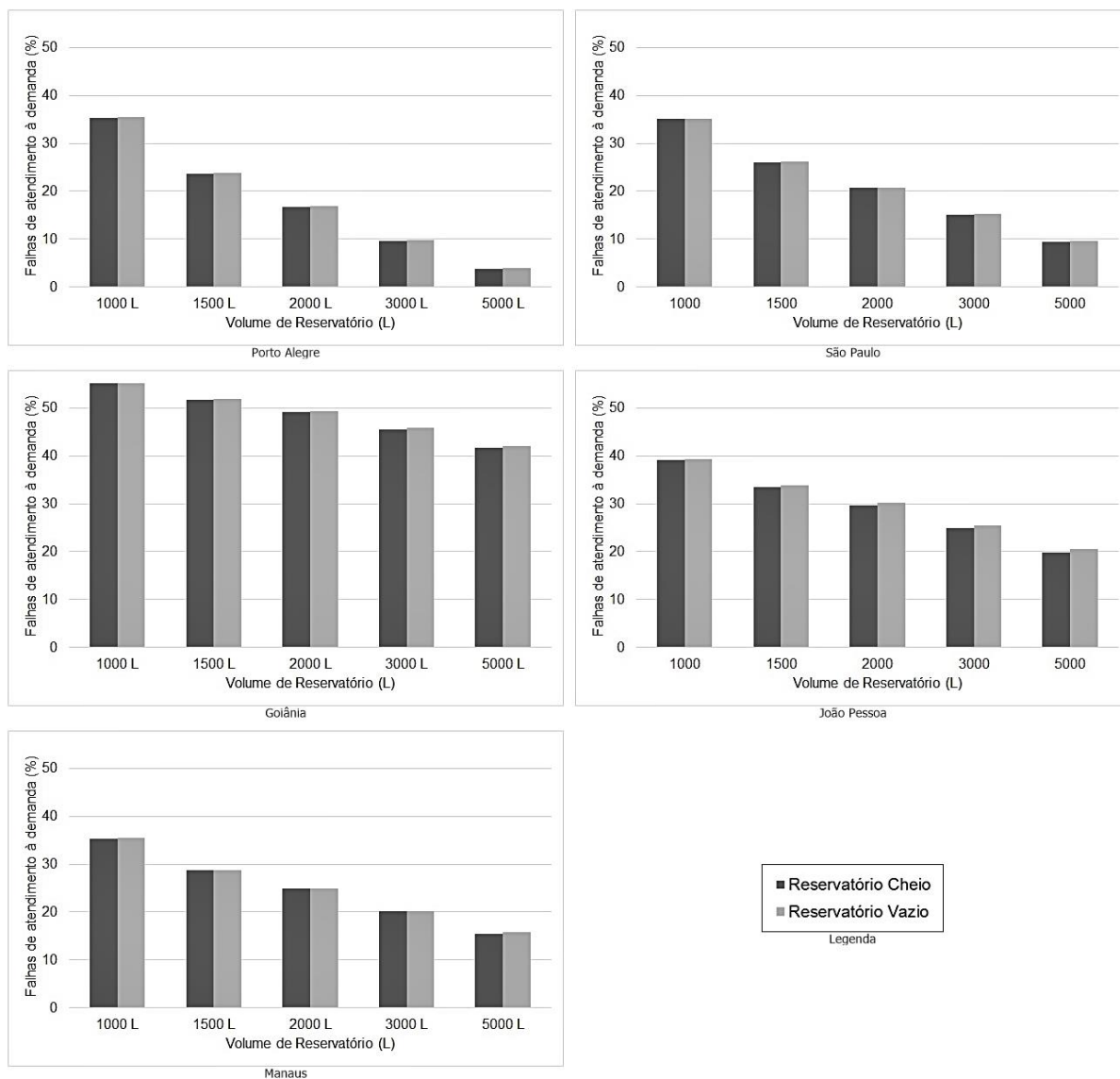
Fonte: Elaboração Própria.

APÊNDICE 3- Falhas no atendimento à demanda, considerando VAD E DAV, para a área de 300 m².



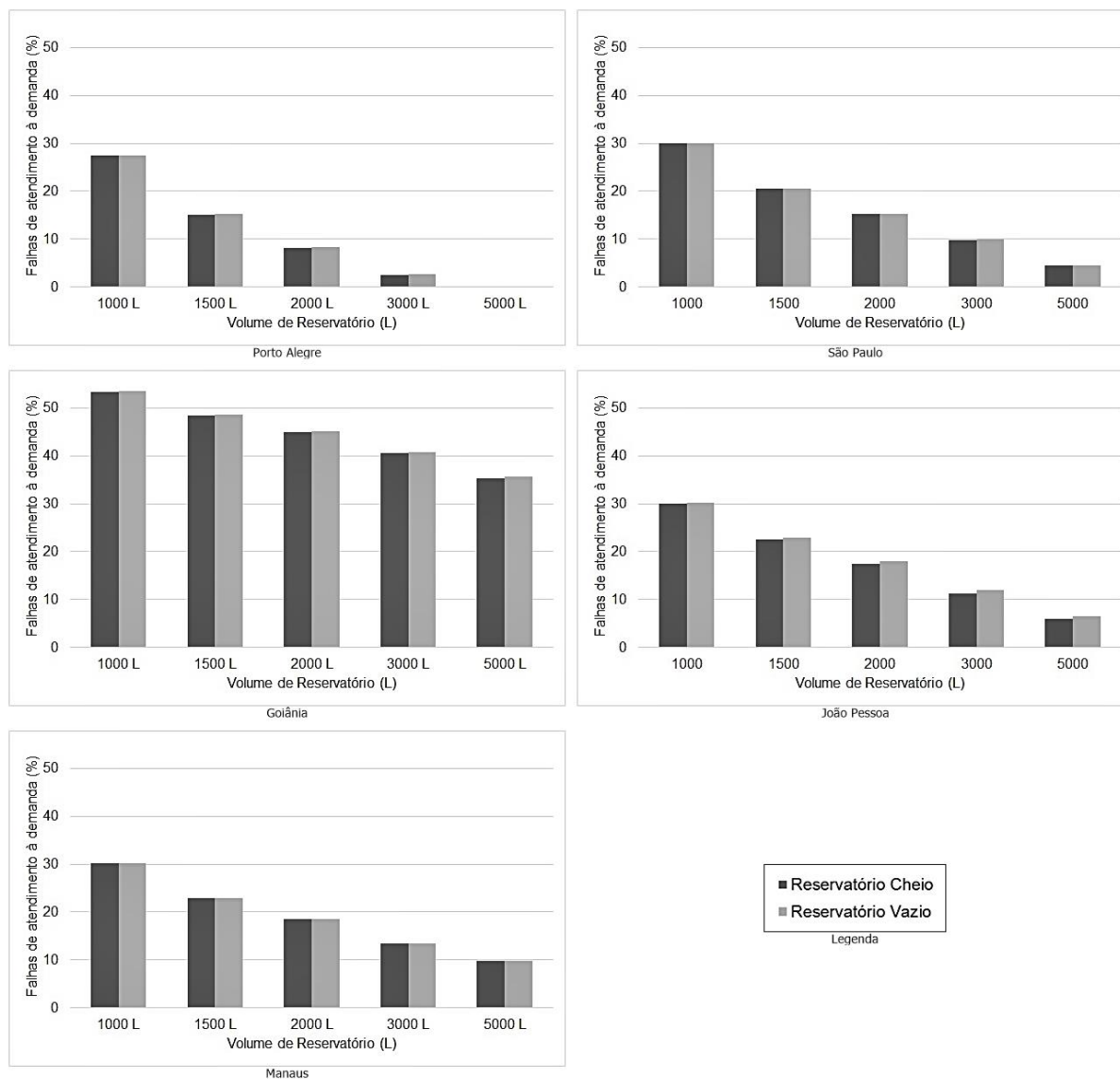
Fonte: Elaboração Própria.

APÊNDICE 4 - Falhas ao atendimento a demanda, considerando a situação de reservatório cheio e vazio no início da simulação, para área de captação de 100 m².



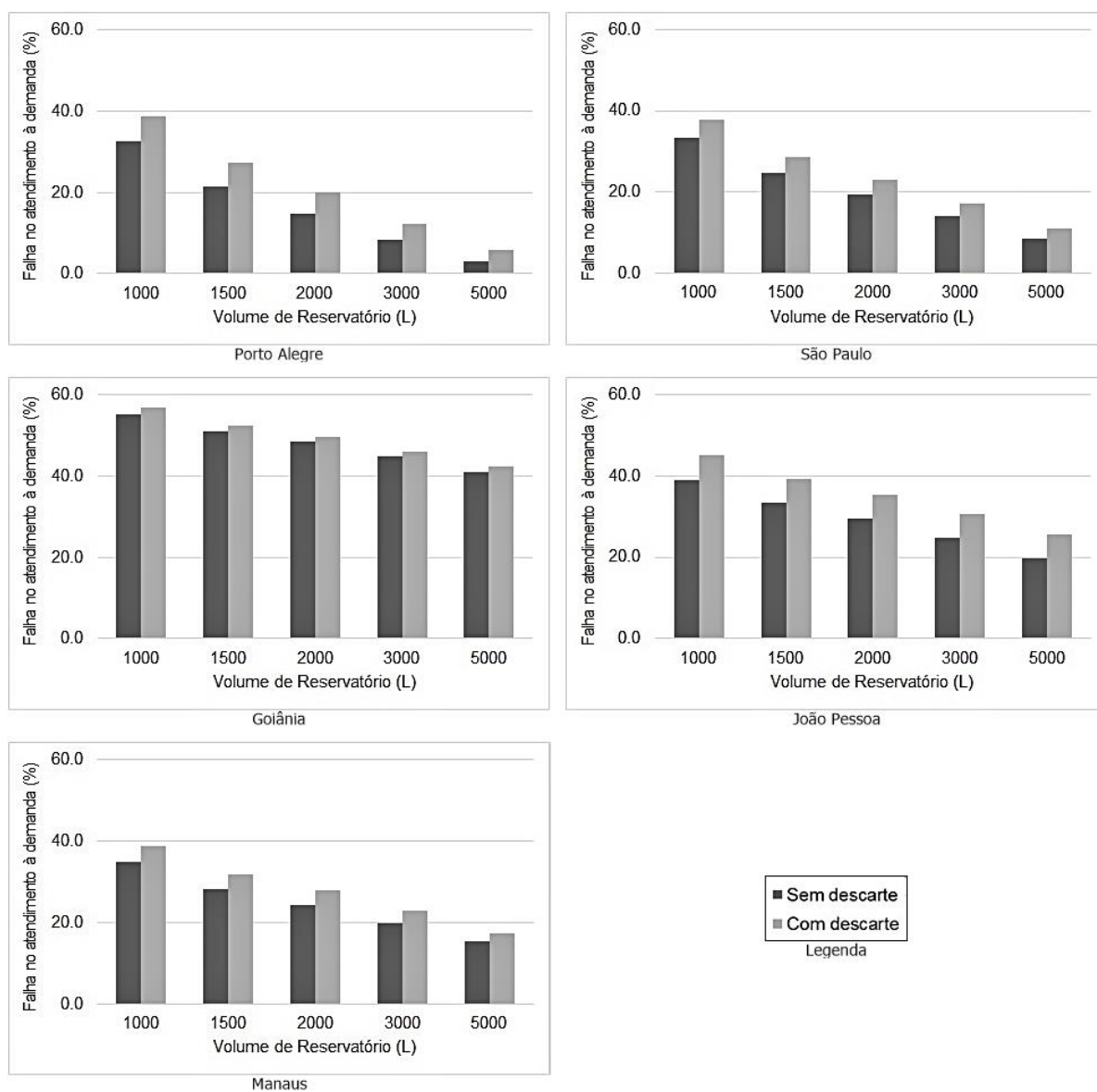
Fonte: Elaboração Própria.

APÊNDICE 5 - Falhas ao atendimento a demanda, considerando a situação de reservatório cheio e vazio no início da simulação, para área de captação de 300 m².



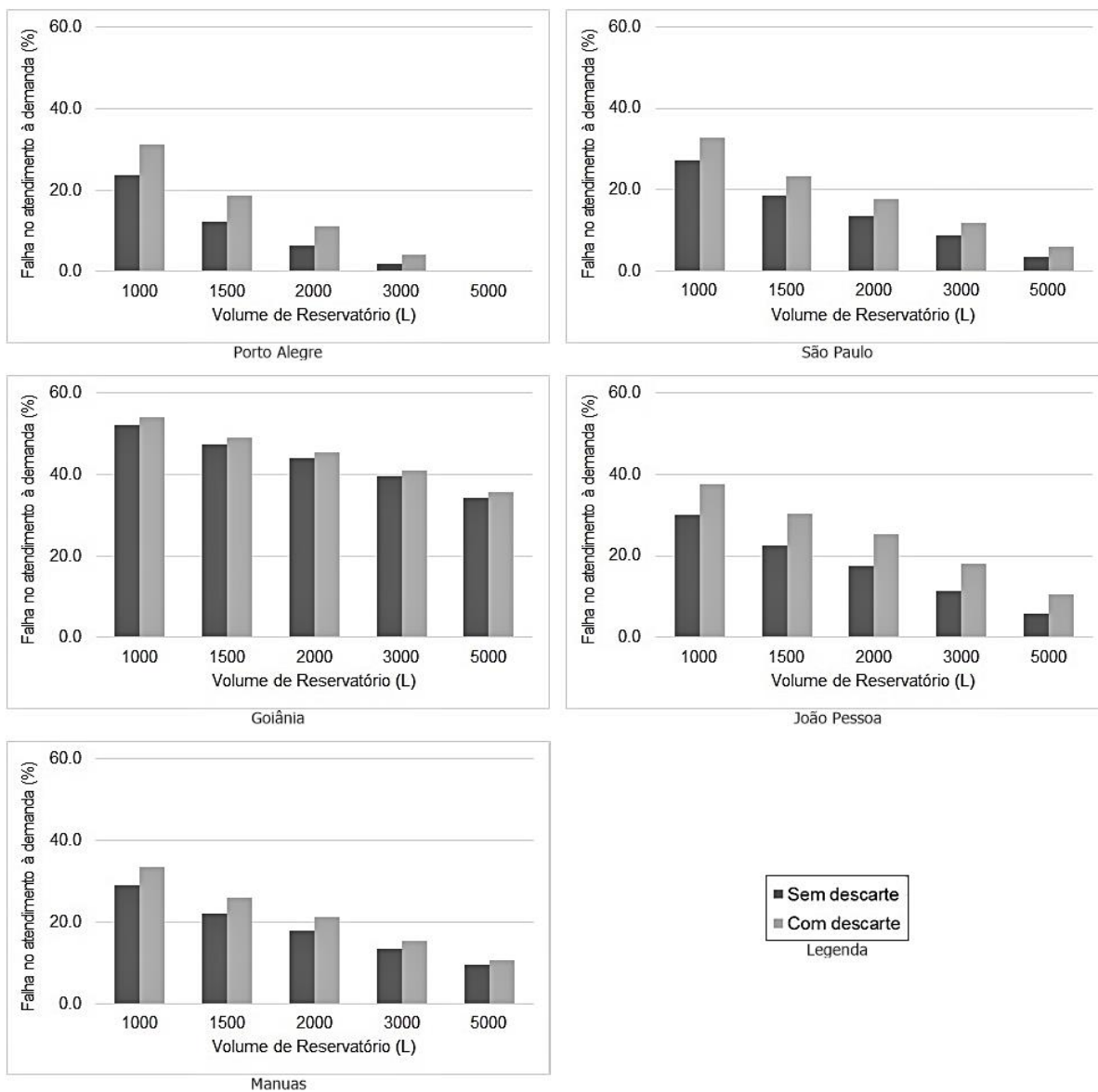
Fonte: Elaboração Própria.

APÊNDICE 6 - Falhas no atendimento à demanda considerando o descarte da primeira água de chuva para a área de 100 m².



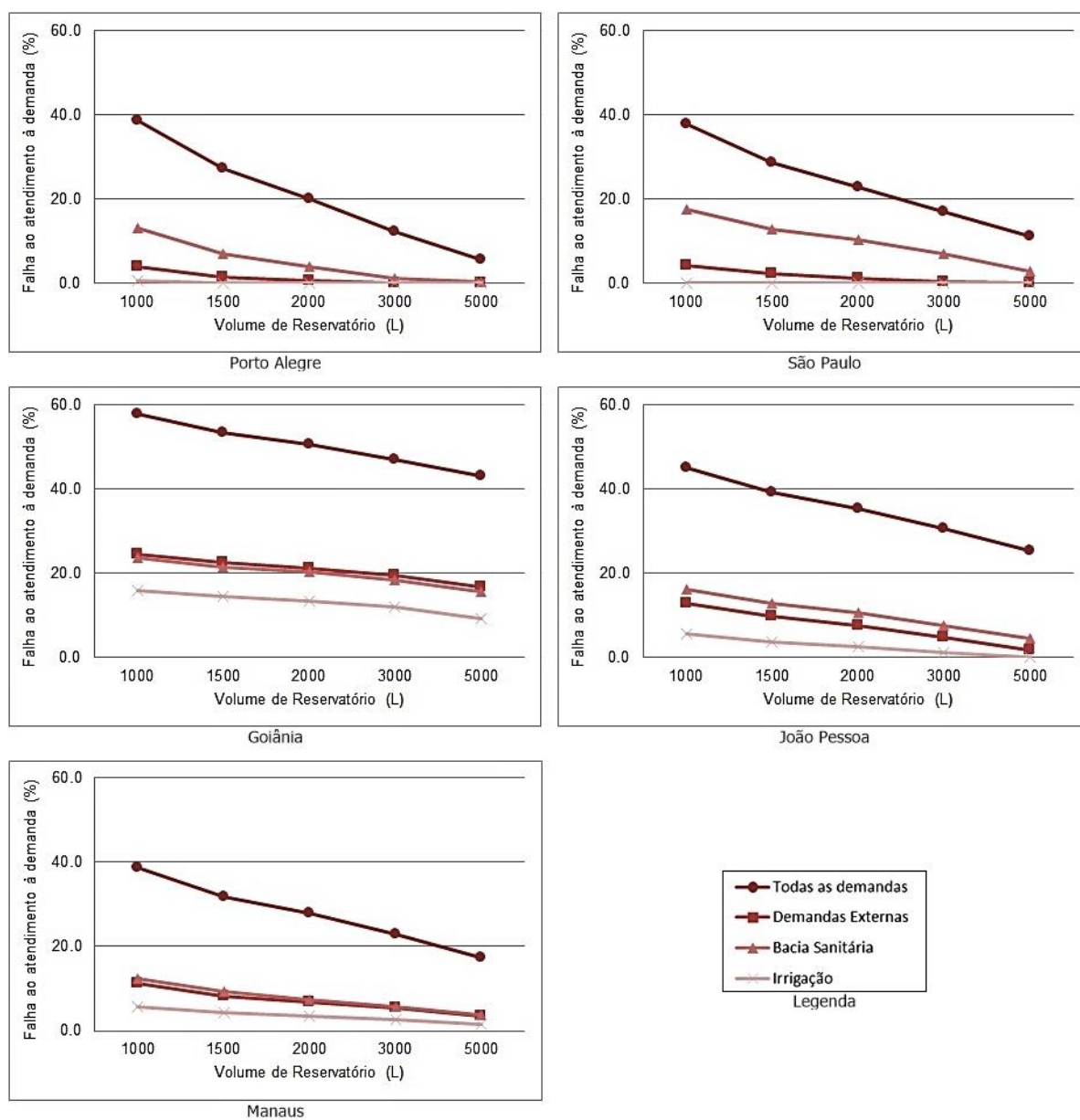
Fonte: Elaboração Própria.

APÊNDICE 7 - Falhas no atendimento à demanda considerando o descarte da primeira água de chuva para a área de 300 m².



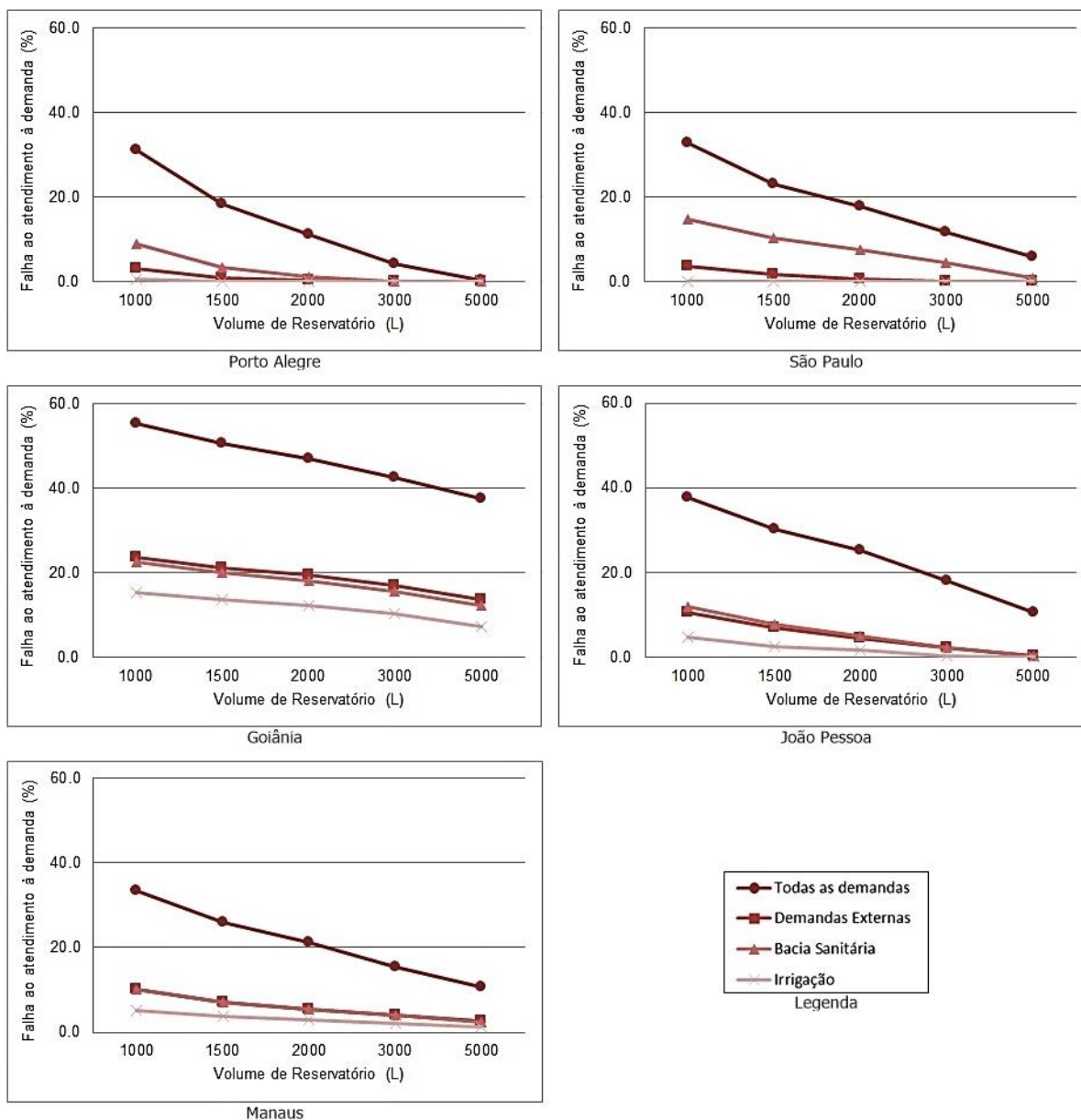
Fonte: Elaboração Própria.

APÊNDICE 8 - Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes tipos de demanda, para uma área de 100 m².



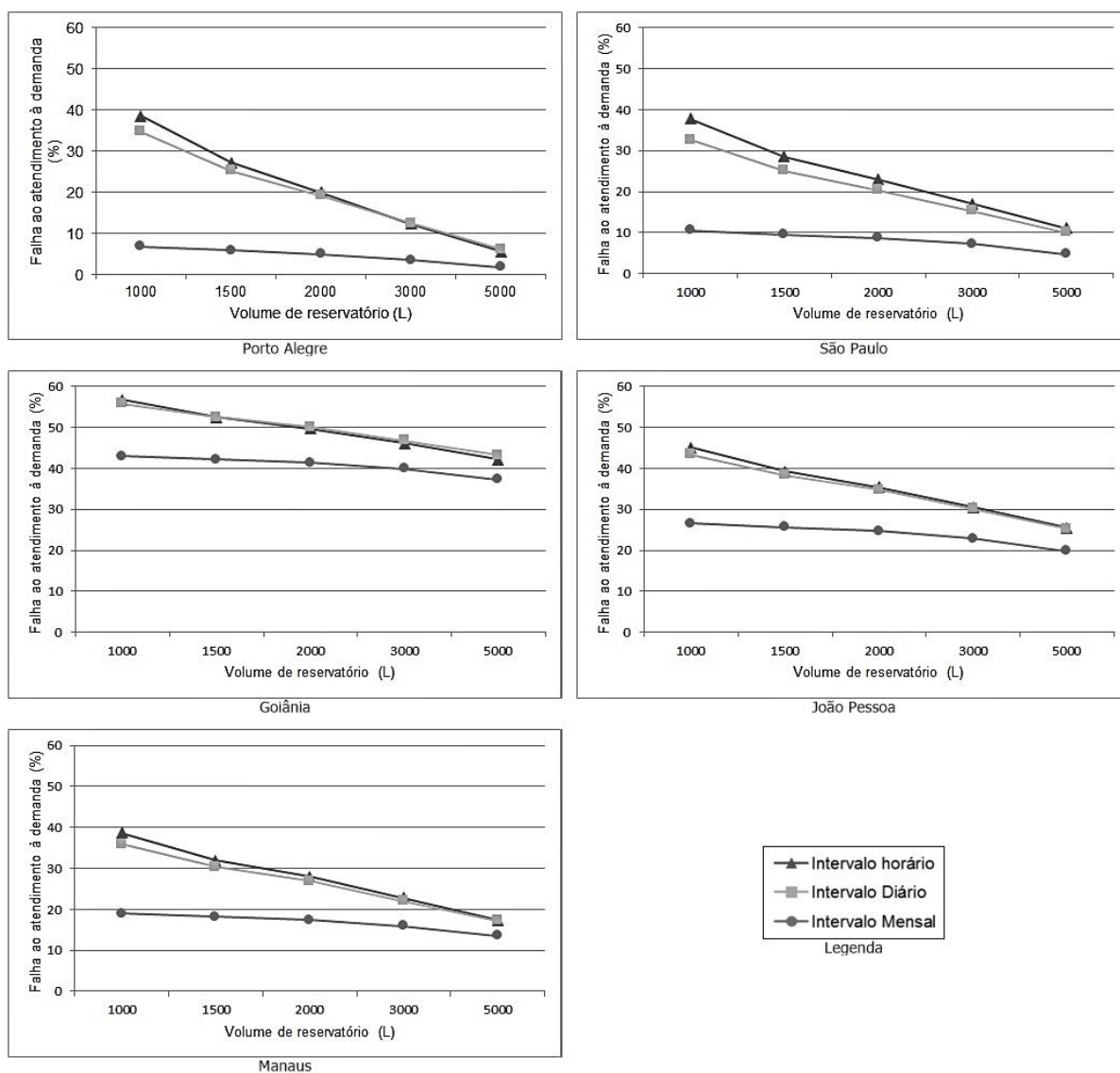
Fonte: Elaboração Própria.

APÊNDICE 9 - Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes tipos de demanda, para uma área de 300 m².



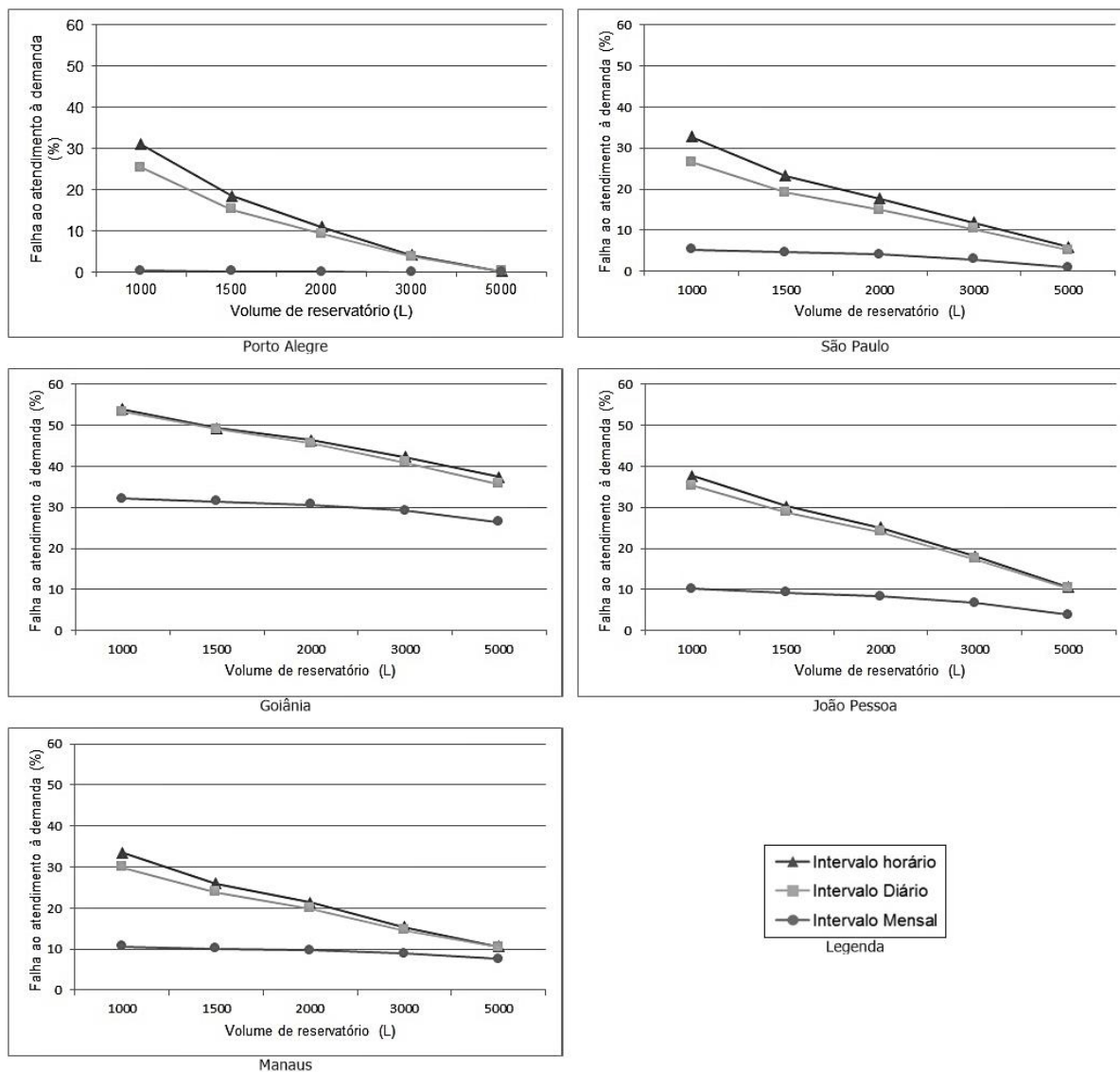
Fonte: Elaboração Própria.

APÊNDICE 10 - Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes intervalos de tempo, para uma área de 100 m².



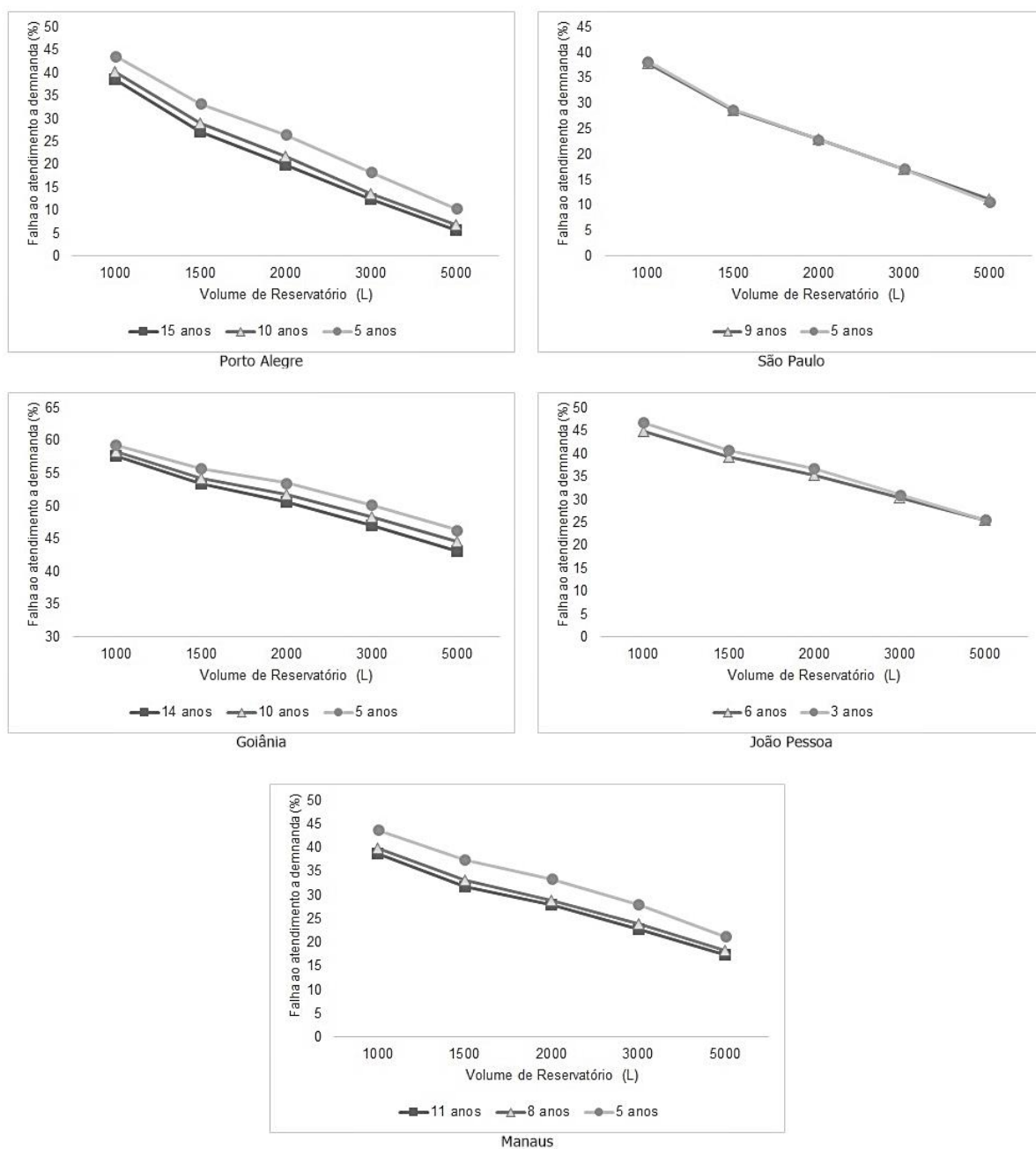
Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE 11 - Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes intervalos de tempo, para uma área de 300 m².



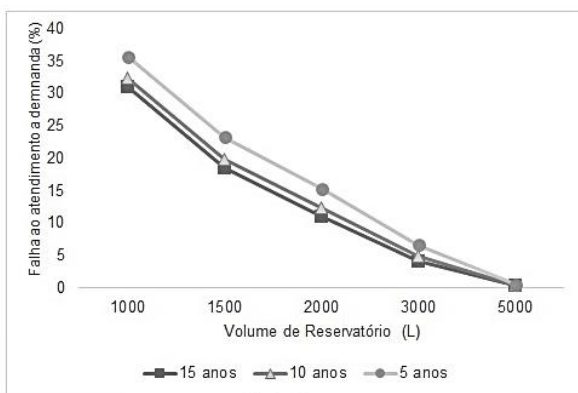
Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE 12 - Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes comprimentos de série, para uma área de 100 m².

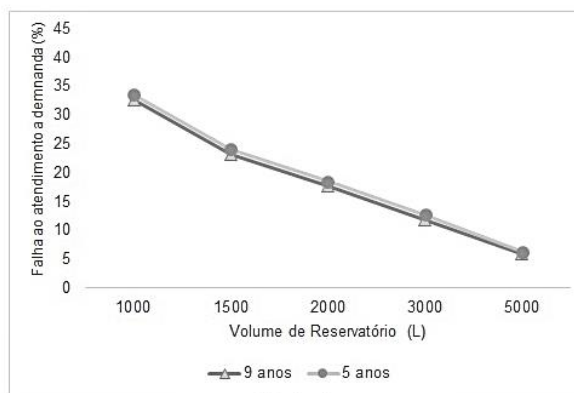


Fonte: Elaboração Própria

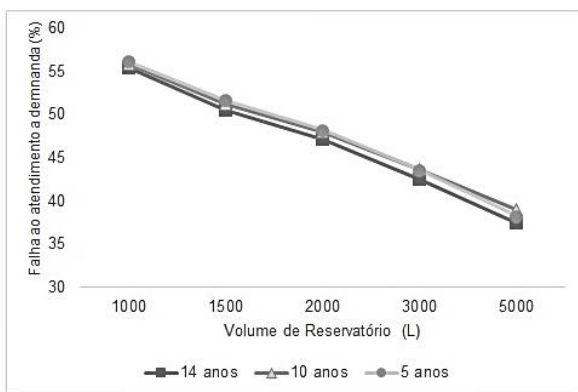
APÊNDICE 13- Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes comprimentos de série, para uma área de 300 m².



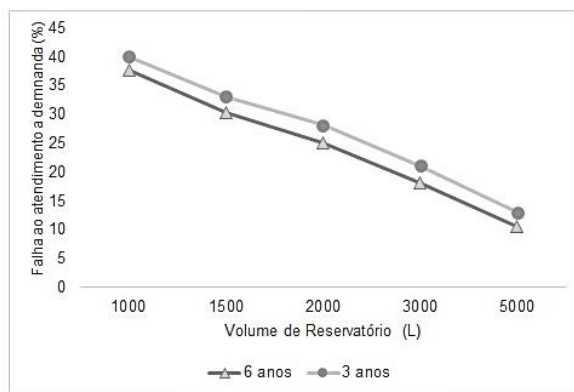
Porto Alegre



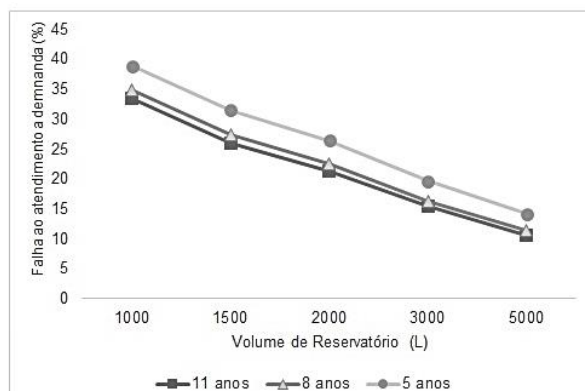
São Paulo



Goiânia



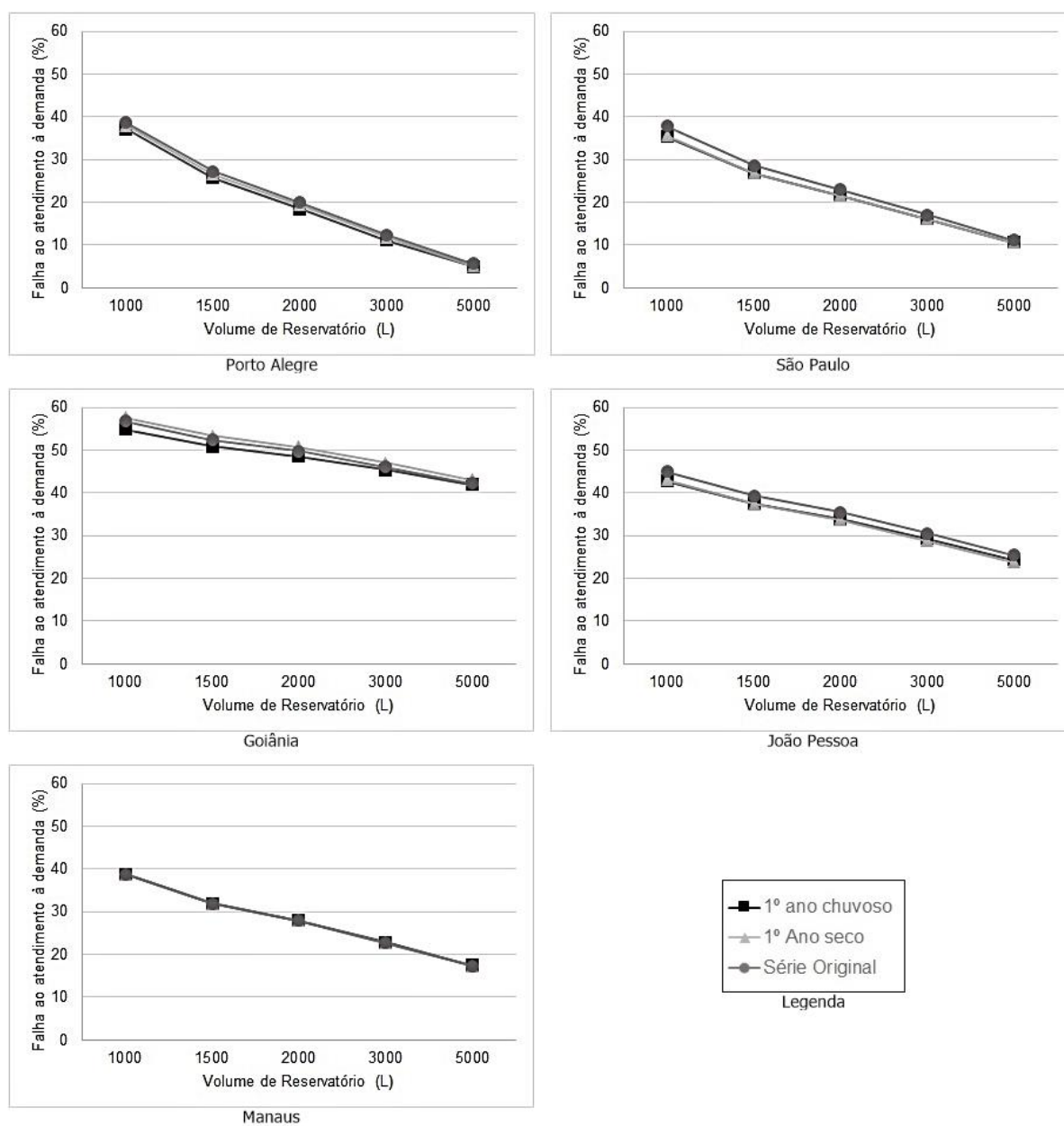
João Pessoa



Manaus

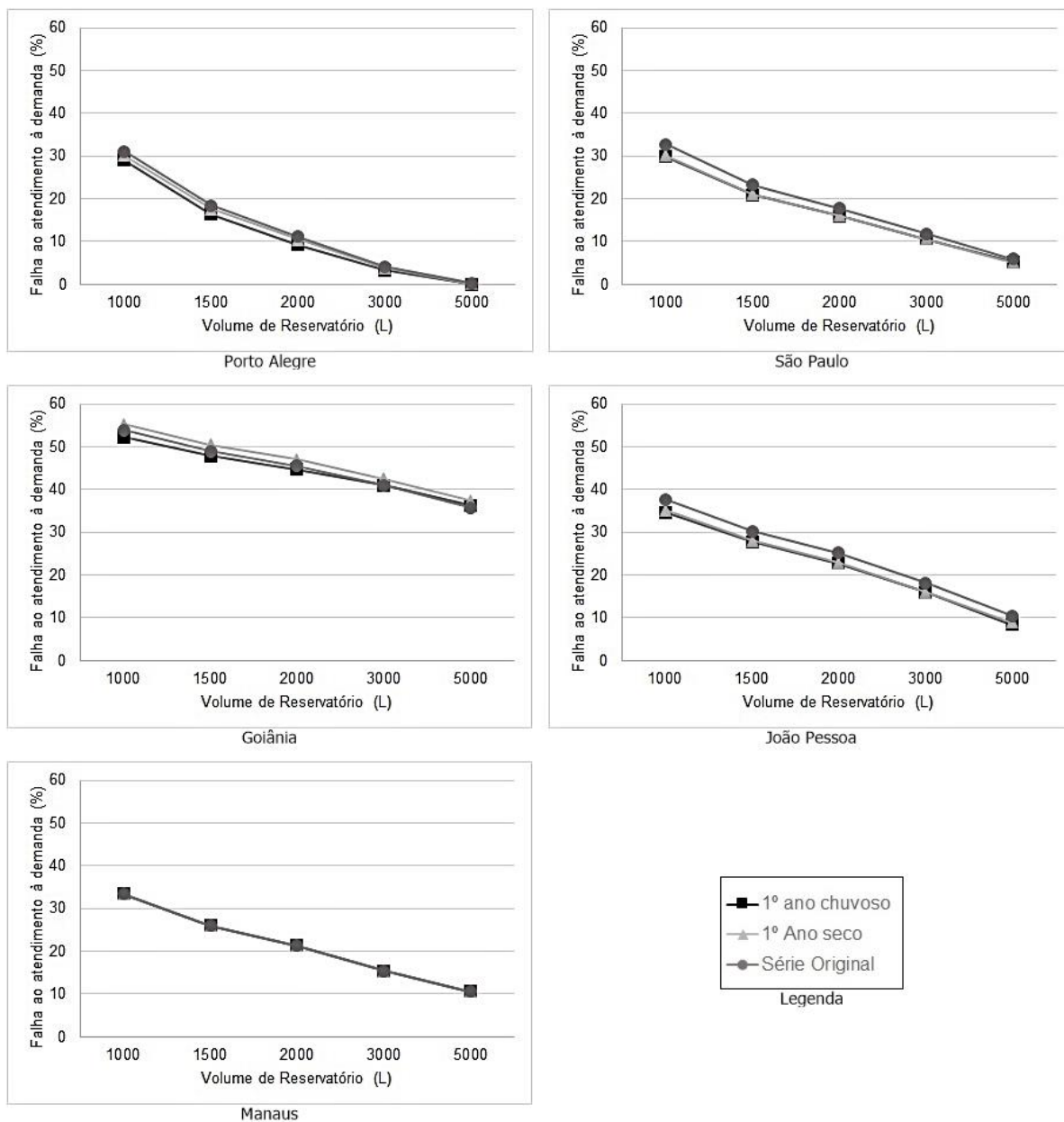
Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE 14 - Falhas ao atendimento à demanda considerando o ano mais seco e o ano mais chuvoso no início da simulação para uma área de 100 m².



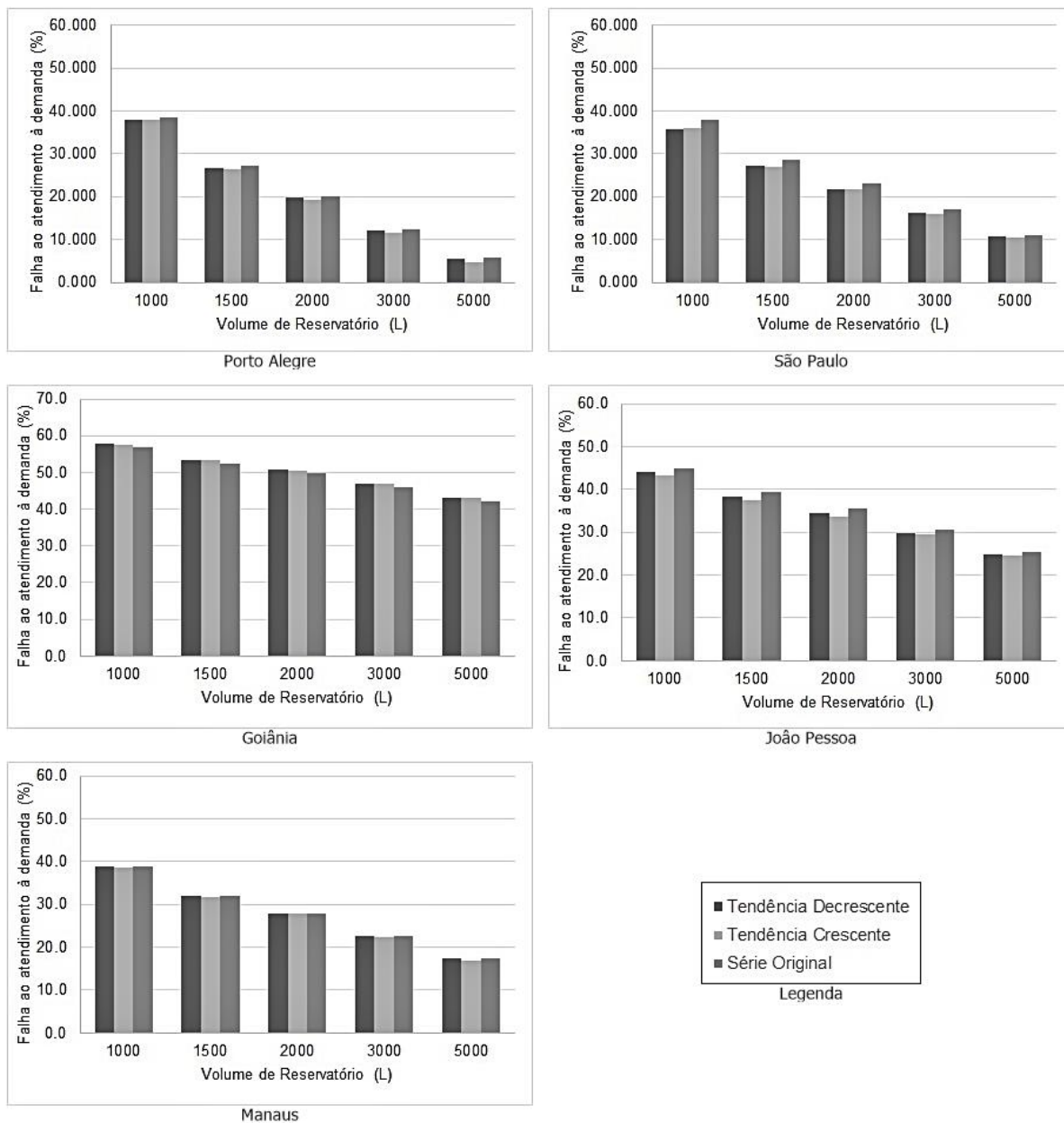
Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE 15 - Falhas ao atendimento à demanda considerando o ano mais seco e o ano mais chuvoso no início da simulação para uma área de 300 m².



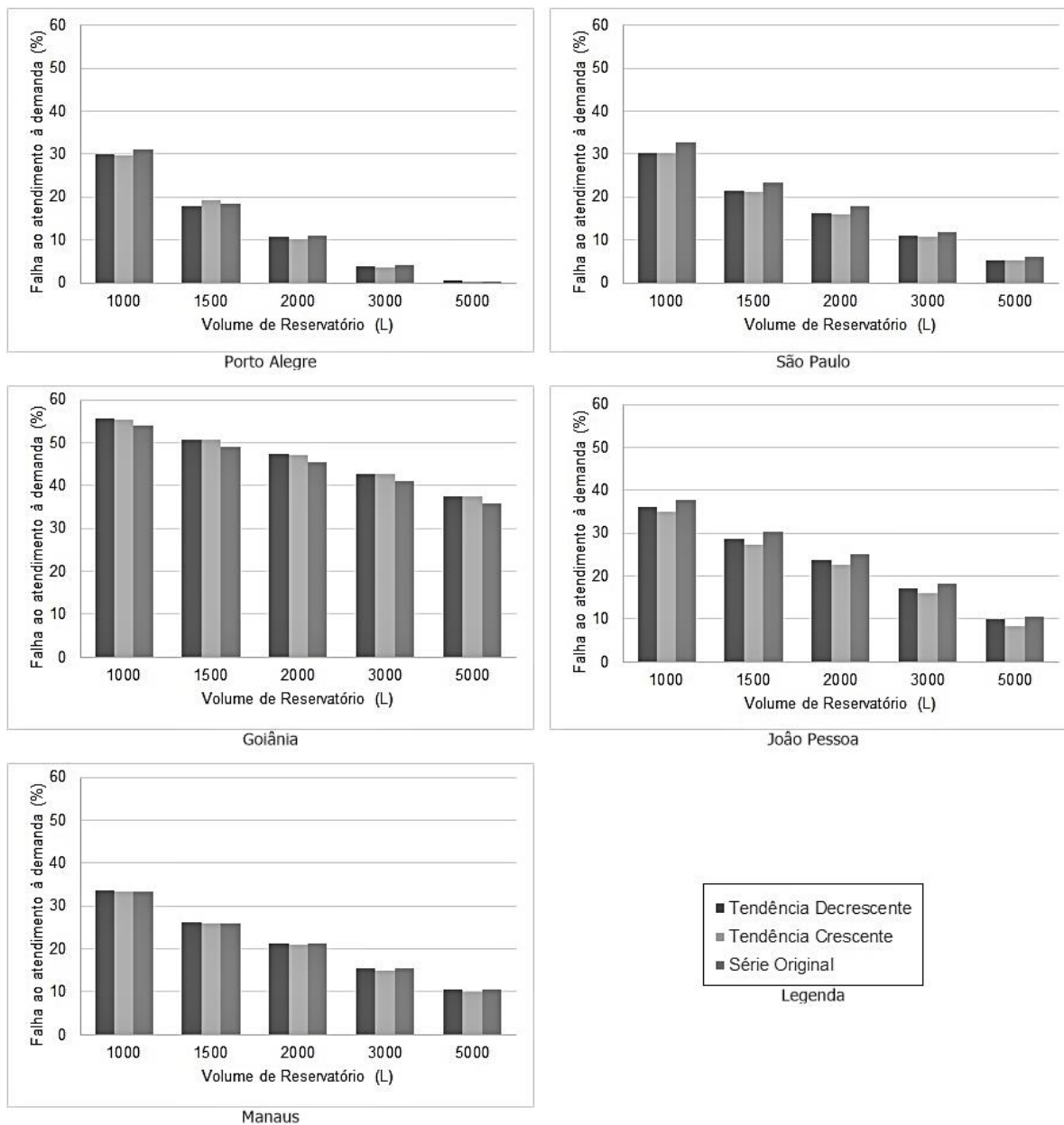
Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE 16 - Falhas no atendimento à demanda, considerando uma tendência crescente e tendência decrescente de volumes precipitados, para uma área de captação de 100 m².



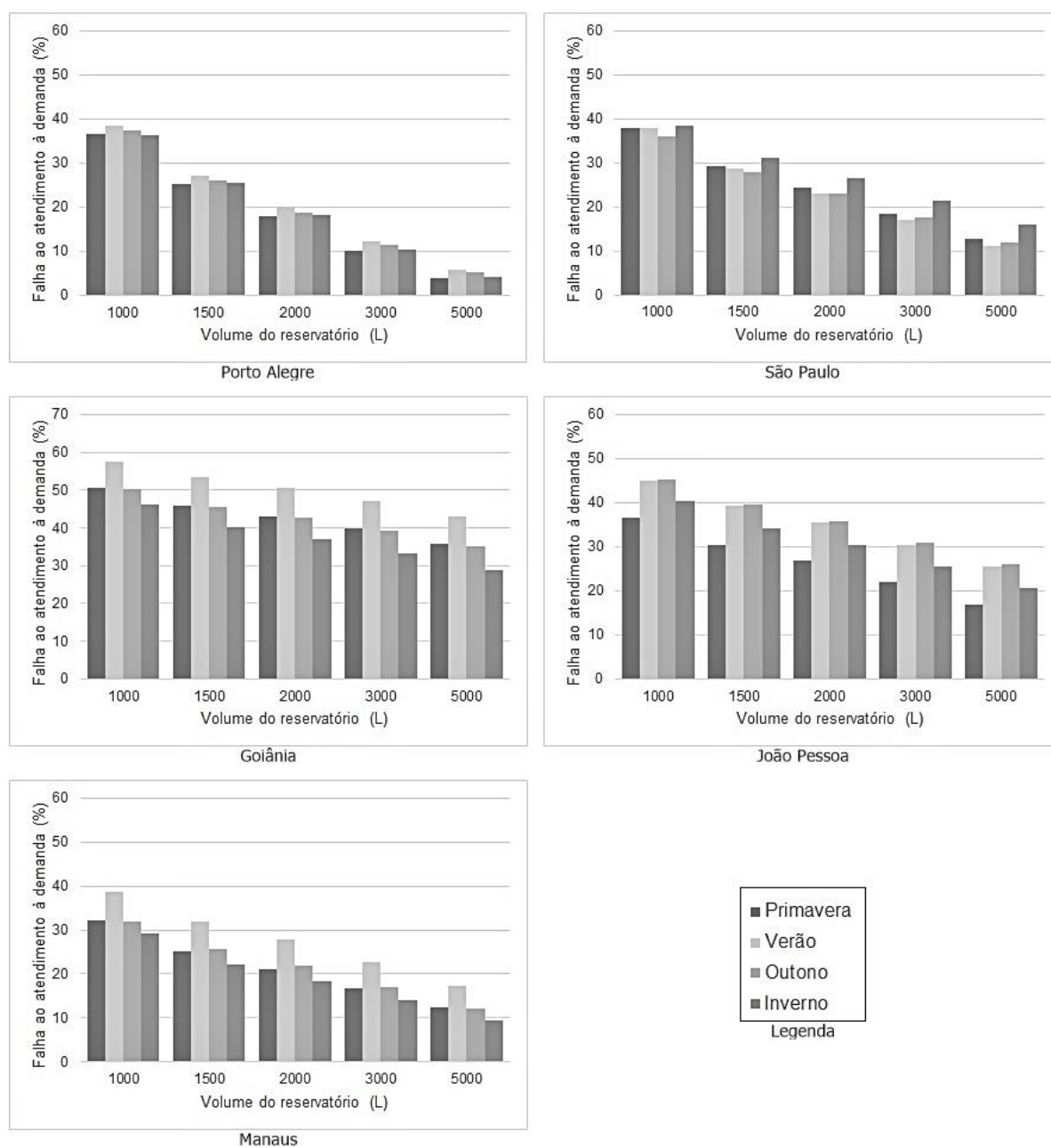
Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE 17 - Falhas no atendimento à demanda, considerando uma tendência crescente e tendência decrescente de volumes precipitados, para uma área de captação de 300 m².



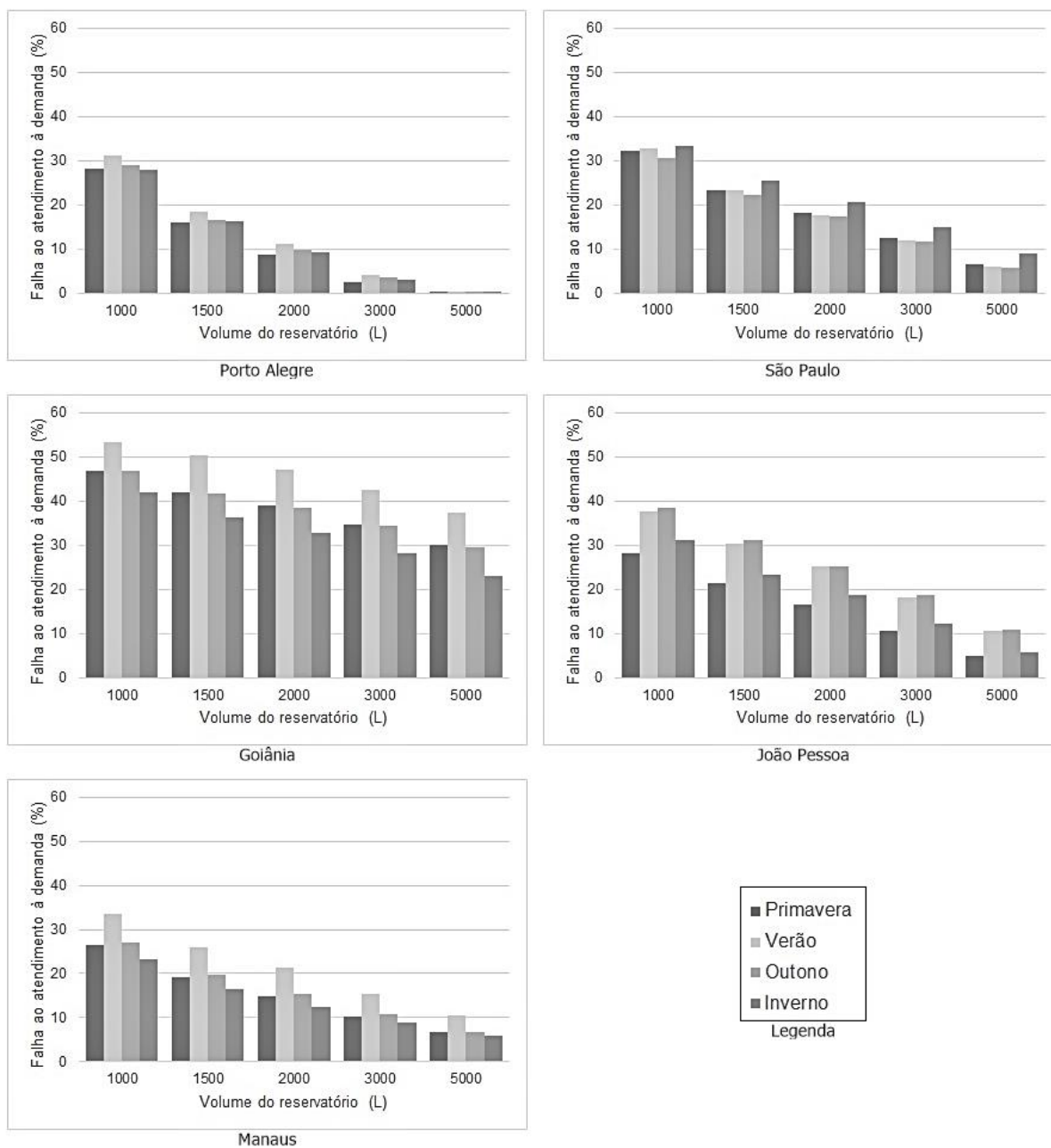
Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE 18 - Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes variações intra-anuais, para uma área de 100 m².



Fonte: Elaboração Própria

APÊNDICE 19 - Falhas no atendimento a demanda, considerando diferentes variações intra-anuais, para uma área de 300 m².



Fonte: Elaboração Própria

