

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO E PRÉ-
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE
ÁGUA PLUVIAL EM CENTROS URBANOS**

FELIPE EUGENIO DE OLIVEIRA VAZ SAMPAIO

ORIENTADORA: CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS**

PUBLICAÇÃO: PTARH.DM – 154/2013

BRASÍLIA/DF: NOVEMBRO – 2013

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO E PRÉ-
DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE
ÁGUA PLUVIAL EM CENTROS URBANOS**

FELIPE EUGENIO DE OLIVEIRA VAZ SAMPAIO

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E
RECURSOS HÍDRICOS.**

APROVADA POR:

**Prof.^a Conceição de Maria Albuquerque Alves, PhD (UnB).
(ORIENTADORA)**

**Prof. Marco Antonio Almeida de Souza, PhD (UnB).
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Prof. Christopher Freire Souza, Doutor (UFAL).
(EXAMINADOR EXTERNO)**

BRASÍLIA/DF, 28 DE NOVEMBRO DE 2013

FICHA CATALOGRÁFICA

SAMPAIO, F. E. O. V.

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM CENTROS URBANOS
xix, 165p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2013). Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

2. CONSERVAÇÃO DE ÁGUA

3. SISTEMA DE SUPORTE A DECISÃO

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Sampaio, F. V. (2013). *Análise da viabilidade de implantação e pré-dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial em centros urbanos*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM 154/2013 Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 165p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Felipe Eugenio de Oliveira Vaz Sampaio

TÍTULO: Análise da viabilidade de implantação e pré-dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial em centros urbanos.

GRAU: Mestre

ANO: 2013

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Felipe Eugenio de Oliveira Vaz Sampaio
CCSW 5 Lote 3 Bloco A Apt. 319 - Sudoeste
CEP: 70680-550, Brasília/DF, Brasil.
felsvaz@yahoo.com.br

Não saber o que as outras pessoas estão pensando não é causa de tanta desventura, mas falhar em compreender os processos da própria mente com certeza leva à infelicidade

Marco Aurélio, imperador-filósofo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me oferecer tantas oportunidades, permitindo-me chegar até aqui.

À minha mãe, Cida, pelo respeito à minha individualidade, por ser exemplo indiscutível de ética e por possibilitar, custear e incentivar minha instrução, entendendo que a educação transforma as pessoas.

À minha irmã, Ciça, e seu marido, Iuri, por tamanha estima que sentem por mim e pela honra de me convidarem para ser padrinho de sua filha.

Ao meu pai, Carlos, que, embora distante, sempre zelou e torceu por meu sucesso em todas as esferas de minha vida.

À minha avó, Sara, por toda a dedicação com seus familiares e congêneres, pelo exemplo de vida, de força, de constância, de coragem, de vontade e de inúmeras outras virtudes.

Aos meus grandes amigos Leandro, Rafael Rocha, Darwin e Rafael Lins, pelas valorosas discussões filosóficas, por me dizerem sempre a verdade e pela amizade incontestável.

Mais uma vez ao meu amigo Rafael Lins, por também me ajudar na confecção do *software* que realizou a reamostragem de minhas séries e, assim, possibilitou alcançar um dos objetivos deste trabalho.

À minha grande amiga, Marceli, por estar sempre comigo, proporcionando momentos de muita alegria e diversão, pela amizade verdadeira, pela companhia em momentos de estudo e por compartilhar o gosto pela ciência (*Science Bros*).

Ao meu grande amigo, Anand, pelas valiosas conversas linguísticas, pela consideração que sente por mim, pelos momentos divertidos e por me ajudar com tanta presteza e profissionalismo na tradução do resumo deste e de outros trabalhos.

À todos os meus amigos noturnos, pessoas B como eu, pelas companhias nas madrugadas de afazeres, fazendo com que estes períodos de labuta fossem regados de um pouco de diversão.

Ao Professor José Goes, que me orientou na graduação, por me incentivar a ingressar no curso de mestrado e pelo exemplo de profissional.

À minha orientadora, Professora Conceição, pelos conhecimentos transmitidos, por mostrar o caminho das pedras, por facilitar o processo de pesquisa para obtenção de base bibliográfica imprescindível para este trabalho e pela tremenda paciência.

Aos professores do PTARH, pelos preciosos ensinamentos.

Aos colegas do mestrado.

Aos funcionários do PTARH e da UnB.

A todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho, compartilhando ideias e me incentivando, meus agradecimentos.

RESUMO

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO E PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM CENTROS URBANOS

Autor: Felipe Eugenio de O. Vaz Sampaio

Orientador: Conceição de Maria Albuquerque Alves

Palavras-chave: conservação de água; aproveitamento de água pluvial; sistema de suporte a decisão.

Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Local e data da defesa: Brasília, 28 de novembro de 2013

A água é hoje um fator limitante para o desenvolvimento de diversas regiões no planeta, em especial em localidades populosas, como é o caso dos grandes centros urbanos. Nessas condições, os Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial (SAAP) surgem como fontes alternativas à água potável fornecida pelas companhias de saneamento, além de promover sua conservação. A disseminação dessa prática precisa da definição de método genérico e simplificado para dimensionamento otimizado de reservatórios de acumulação de SAAP, componentes mais onerosos do sistema, uma vez que os diversos métodos que podem ser encontrados na literatura conduzem a valores com grande variabilidade. Diante desse cenário, o principal objetivo deste trabalho é construir uma metodologia para padronização do dimensionamento preliminar de reservatórios de acumulação de SAAP e avaliação da viabilidade econômica de implantação desses sistemas. A metodologia proposta foi implementada em um Sistema de Suporte a Decisão (SSD), que realiza o dimensionamento otimizado dos reservatórios através de simulações diárias e analisa a viabilidade dos sistemas utilizando critérios técnicos e econômicos, preenchendo, dessa forma, uma lacuna nas ações que visam ampliar o uso de SAAP, já que os SSD voltados para determinação do volume de reservatórios de acumulação ainda deixam a desejar no que diz respeito à análise da viabilidade econômica e, acerca da viabilidade técnica, determinam o volume através de métodos empíricos ou conservadores, muitos ainda baseados em critérios de confiabilidade, que são pouco práticos para centros urbanos. Para avaliar a metodologia sugerida, foram efetuados, em centros urbanos selecionados, estudos de casos em diferentes tipos de edificações. Além disso, foram realizadas simulações, utilizando o SSD criado, para diversos cenários com o intuito de gerar diagramas capazes de promover o pré-dimensionamento e analisar a viabilidade de SAAP de forma fácil e rápida nos centros urbanos selecionados.

ABSTRACT

VIABILITY ANALYSIS OF INSTALLATION AND PRE-SIZING OF RAINWATER HARVESTING SYSTEMS IN URBAN AREAS

Author: Felipe Eugenio de O. Vaz Sampaio

Supervisor: Conceição de Maria Albuquerque Alves

Key-words: water conservation; rainwater harvesting; decision support systems.

Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

Place and date of defense: Brasília, 28th november of 2013

Nowadays water is a limiting factor hindering the development of many regions of the planet, especially in densely populated locations such as large urban areas. Therefore Rainwater Harvesting Systems (RWHS) are alternate sources of drinking water in lieu of supply companies and promote water conservation. To disseminate this practice a generic and simplified methodology to estimate the optimum size for the tanks is necessary, bearing in mind that these are the most expensive components of the system and that the various methods which can be found in literature lead to tank volumes with wide variability. The aim of this project was to create a methodology to both standardize dimensions for RWHS tanks and evaluate the economic viability to install such systems. The methodology was applied in a Decision Support System (DSS), which optimizes the size of rainwater tanks through daily simulations and analyzes the viability of installation according to technical and economical criteria, filling thus a gap in actions aimed at broadening the use of RWHS, since the DSS aimed at determining the volume of storage tanks still fall short with regard to the analysis of economic viability and, about the technical viability, determine the volume through empirical methods or conservatives, many still based on reliability criteria, which are impractical for urban areas. In order to evaluate the suggested method, case studies were carried out in different types of buildings of selected Brazilian urban areas. In addition, simulations were performed using the DSS created for various scenarios in order to generate diagrams that can quick and easily estimate the size of tanks and the economical viability of installation for RWHS in the selected urban areas.

Índice

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS.....	7
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
3.1	CONSERVAÇÃO DE ÁGUA E APROVEITAMENTO PLUVIAL	8
3.2	LEGISLAÇÃO PERTINENTE	11
3.2.1	Normas Brasileiras	12
3.3	COMPONENTES DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	13
3.3.1	Área de coleta	14
3.3.2	Condutores.....	15
3.3.3	Armazenamento.....	16
3.4	PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	28
3.4.1	Demanda de água para fins não potáveis	28
3.4.2	Outros parâmetros do SAAP	31
3.5	VIABILIDADE TÉCNICA PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL	33
3.5.1	Indicadores.....	33
3.5.2	Tamanho da série de chuva	34
3.6	VIABILIDADE ECONÔMICA PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL	35
3.7	SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO.....	36
3.7.1	Exemplos de Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) com aplicabilidades voltadas para SAAP	39
4	METODOLOGIA	41
4.1	DEFINIÇÃO DE INDICADORES DE VIABILIDADE DO SAAP	42
4.1.1	Indicadores de desempenho.....	43
4.1.2	Indicadores econômicos	43
4.2	PROPOSTA DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE DE SAAP.....	48
4.3	CONCEPÇÃO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL DE SUPORTE A DECISÃO PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE SAAP.....	51

4.4	SELEÇÃO DE CENTROS URBANOS E DE SÉRIES HISTÓRICAS DE CHUVAS	59
4.5	ESTUDOS DE CASOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	60
4.6	CONSTRUÇÃO DE DIAGRAMAS PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SAAP EM CENTROS URBANOS	61
5	RESULTADOS E ANÁLISES	63
5.1	SELEÇÃO DE CENTROS URBANOS E DE SÉRIES HISTÓRICAS DE CHUVAS	63
5.2	ESTUDOS DE CASOS	64
5.2.1	Estruturas tarifárias praticadas pelas companhias de saneamento.....	68
5.2.2	Estudos de caso para edificações do tipo residência unifamiliar.....	73
5.2.3	Estudos de caso para edificações do tipo edifício residencial	94
5.2.4	Estudos de caso para edificações do tipo edifício público	112
5.3	DIAGRAMAS PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SAAP EM CENTROS URBANOS	129
5.3.1	Belém/PA	131
5.3.2	Belo Horizonte/MG	134
5.3.3	Brasília/DF	136
5.3.4	Cuiabá/MT	138
5.3.5	Curitiba/PR.....	140
5.3.6	Fortaleza/CE	142
5.3.7	Manaus/AM.....	144
5.3.8	Porto Alegre/RS.....	146
5.3.9	Recife/PE.....	148
5.3.10	São Paulo/SP	150
5.3.11	Análises dos resultados.....	152
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	154
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	157

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - População urbana no Brasil - 1940/2010.....	2
Figura 3.1 - Áreas de coleta: telhado e pátio.	15
Figura 3.2 - Demonstração do modo gráfico do método de Rippl.	20
Figura 3.3 - Reservatório de autolimpeza com torneira bóia.	33
Figura 3.4 - Estrutura típica de um sistema de suporte à decisão.....	39
Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.	41
Figura 4.2 - Algoritmo do método proposto.....	42
Figura 4.3 - Representação esquemática do SAAP utilizada na simulação de balanço hídrico proposta.	50
Figura 4.4 - Interface gráfica de entrada das características básicas de projeto dos SAAP.....	53
Figura 4.5 - Interface gráfica de entrada das características de análise da viabilidade econômica dos SAAP.	53
Figura 4.6 - Interface geradora de gráficos do SARA com a curva eficiência de economia de água para diversos volumes do reservatório de SAAP.	55
Figura 4.7 - Representação, em planta, do reservatório padrão.	56
Figura 4.8 - Representação, em corte, do reservatório padrão considerado neste trabalho.	56
Figura 4.9 - Interface geradora de gráficos com a curva da relação benefício-custo para diversos volumes do reservatório de SAAP.	58
Figura 4.10 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para indicação do volume ótimo de pré-dimensionamento do reservatório de acumulação do SAAP.....	59
Figura 4.11: Tabela exemplificativa de dados agrupados e consolidados em planilha eletrônica para posterior inserção no <i>software</i> Surfer (2012).	62
Figura 5.1 - Parâmetros técnicos para pré-dimensionamento de reservatórios de SAAP em residência unifamiliar.	65
Figura 5.2 - Parâmetros técnicos para pré-dimensionamento de reservatórios de SAAP em edifício residencial.....	65
Figura 5.3 - Parâmetros técnicos para pré-dimensionamento de reservatórios de SAAP em edifício público.	65
Figura 5.4 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Belém/PA.....	75
Figura 5.5 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Belém/PA.	75
Figura 5.6 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Belo Horizonte/MG.	77
Figura 5.7 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Belo Horizonte/MG.	77
Figura 5.8 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Brasília/DF.....	79
Figura 5.9 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Brasília/DF.	79
Figura 5.10 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Cuiabá/MT.	80

Figura 5.11 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Cuiabá/MT.....	81
Figura 5.12 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Curitiba/PR.	82
Figura 5.13 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Curitiba/PR.....	83
Figura 5.14 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Fortaleza/CE.	84
Figura 5.15 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Fortaleza/CE.....	84
Figura 5.16 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Manaus/AM.	86
Figura 5.17 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Manaus/AM.....	86
Figura 5.18 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Porto Alegre/RS.....	87
Figura 5.19 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Porto Alegre/RS.....	88
Figura 5.20 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Recife/PE.	89
Figura 5.21 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Recife/PE.....	90
Figura 5.22 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em São Paulo/SP.....	91
Figura 5.23 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em São Paulo/SP.	91
Figura 5.24 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Belém/PA.....	95
Figura 5.25 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Belém/PA.	96
Figura 5.26 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Belo Horizonte/MG.	97
Figura 5.27 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Belo Horizonte/MG.	97
Figura 5.28 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Brasília/DF.....	98
Figura 5.29 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Brasília/DF.	99
Figura 5.30 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Cuiabá/MT.....	100
Figura 5.31 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Cuiabá/MT.....	100
Figura 5.32 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Curitiba/PR.	101

Figura 5.33 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Curitiba/PR.....	102
Figura 5.34 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Fortaleza/CE.....	103
Figura 5.35 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Fortaleza/CE.....	103
Figura 5.36 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Manaus/AM.....	104
Figura 5.37 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Manaus/AM.....	105
Figura 5.38 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Porto Alegre/RS.....	106
Figura 5.39 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Porto Alegre/RS.....	106
Figura 5.40 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Recife/PE.....	107
Figura 5.41 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Recife/PE.....	108
Figura 5.42 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em São Paulo/SP.....	109
Figura 5.43 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em São Paulo/SP.....	109
Figura 5.44 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Belém/PA.....	114
Figura 5.45 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Belém/PA.....	114
Figura 5.46 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Belo Horizonte/MG.....	115
Figura 5.47 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Belo Horizonte/MG.....	116
Figura 5.48 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Brasília/DF.....	117
Figura 5.49 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Brasília/DF.....	117
Figura 5.50 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Cuiabá/MT.....	118
Figura 5.51 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Cuiabá/MT.....	119
Figura 5.52 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Curitiba/PR.....	120
Figura 5.53 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Curitiba/PR.....	120
Figura 5.54 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Fortaleza/CE.....	121

Figura 5.55 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Fortaleza/CE.....	122
Figura 5.56 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Manaus/AM.....	123
Figura 5.57 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Manaus/AM.....	123
Figura 5.58 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Porto Alegre/RS.....	124
Figura 5.59 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Porto Alegre/RS.....	125
Figura 5.60 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Recife/PE.....	126
Figura 5.61 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Recife/PE.....	126
Figura 5.62 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em São Paulo/SP.....	127
Figura 5.63 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Porto São Paulo/SP.....	128
Figura 5.64 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho para Belém/PA.....	132
Figura 5.65 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Belém/PA.....	133
Figura 5.66 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho para Belo Horizonte/MG.....	135
Figura 5.67 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Belo Horizonte/MG.....	136
Figura 5.68 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho para Brasília/DF.....	137
Figura 5.69 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Brasília/DF.....	138
Figura 5.70 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho para Cuiabá/MT.....	139
Figura 5.71 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Cuiabá/MT.....	140
Figura 5.72 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho para Curitiba/PR.....	141
Figura 5.73 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Curitiba/PR.....	142

Figura 5.74 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho Fortaleza/CE.....	143
Figura 5.75 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Fortaleza/CE.....	144
Figura 5.76 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho Manaus/AM.....	145
Figura 5.77 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Manaus/AM.....	146
Figura 5.78 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho Porto Alegre/RS.	147
Figura 5.79 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Porto Alegre/RS.	148
Figura 5.80 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho Recife/PE.....	149
Figura 5.81 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Recife/PE.	150
Figura 5.82 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho São Paulo/SP.	151
Figura 5.83 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para São Paulo/SP.	152

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Estimativa de demanda residencial de água para uso interno nos EUA.	28
Tabela 3.2 - Estimativa de demanda residencial de água para uso externo nos EUA.....	29
Tabela 3.3 - Estimativa mundial de demanda de água em diversos pontos residenciais. ...	29
Tabela 3.4 - Estimativa de demanda de água em diversos pontos residenciais na Holanda, de 1976 a 1998.....	30
Tabela 3.5 - Vazão de utilização de água para fins não potáveis, segundo a NBR 5.626/1998.....	30
Tabela 3.6 - Coeficientes de escoamento superficial para diferentes tipos de telhados.....	31
Tabela 4.1 - Lista de serviços para construção de reservatório enterrado e a forma de cálculo de seus quantitativos em função do volume do reservatório	57
Tabela 5.1 - Cidades e estações pluviométricas selecionadas.	63
Tabela 5.2 - Consumo de água total e demanda por água não potável nas edificações dos estudos de caso.	64
Tabela 5.3 - Custos unitários para cálculo do custo total de reservatório enterrado padronizado.	66
Tabela 5.4 - Expectativa de reajuste para a tarifa média de água e esgoto nos municípios selecionados.....	67
Tabela 5.5 - Determinação da taxa mínima de atratividade.	67
Tabela 5.6 - Expectativa de percentual médio de evolução dos preços da tabela SINAPI.	68
Tabela 5.7 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia de Saneamento do Pará.....	68
Tabela 5.8 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais.	69
Tabela 5.9 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal.	69
Tabela 5.10 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia de Saneamento da Capital.	70
Tabela 5.11 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia de Saneamento do Paraná.	70
Tabela 5.12 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará.	71
Tabela 5.13 - Estrutura tarifária adotada por Águas do Amazonas S.A.....	71
Tabela 5.14 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia Rio-Grandense de Saneamento.	72
Tabela 5.15 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia Pernambucana de Saneamento.	72
Tabela 5.16 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.	73
Tabela 5.17 - Tarifas médias adotadas para realização dos estudos de caso para edificação do tipo residência unifamiliar.	73
Tabela 5.18 - Síntese dos resultados e características dos estudos de casos para edificações do tipo residência unifamiliar.	92
Tabela 5.19 - Tarifas médias adotadas para realização dos estudos de caso para edificação do tipo edifício residencial.	94
Tabela 5.20 - Tarifas médias adotadas para realização dos estudos de caso para edificação do tipo edifício residencial.	110

Tabela 5.21 - Tarifas médias adotadas para realização dos estudos de caso para edificação do tipo edifício público.....	113
Tabela 5.22 - Síntese dos resultados e características dos estudos de casos para edificações do tipo edifício público.....	128
Tabela 5.23 - Tarifas médias praticadas de 2006 a 2010 e previsões para 2011, 2012 e 2013.	131

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

A – Área de coleta;
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ANA – Agência Nacional de Águas;
AM – Amazonas;
 A_u – Água da chuva utilizada pelo SAAP anualmente;
B/C – Relação benefício-custo;
BDI – Bonificações e Despesas Indiretas;
 BT_{SAAP} – Benefícios totais obtidos após término de vida útil do SAAP trazidos a valores presentes;
C – Coeficiente de escoamento superficial;
CAIXA – Caixa Econômica Federal;
 CAP_{max} – Capacidade máxima do reservatório;
 C_d – Consumo diário de água pluvial;
CE – Ceará;
 Ch_t – Precipitação no intervalo de tempo t;
 CM_{SAAP} – Custo total de manutenção do SAAP trazidos a valores presentes;
CSV – *Comma Separated Value*;
CV – Coeficiente de variação;
D – Demanda de água de chuva ou água não potável;
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio;
DF – Distrito Federal;
Dsc – Intervalo médio de dias consecutivos sem chuva;
DesvPad – Desvio Padrão da série;
 DR_t – Volume de água descartada do reservatório quando ele se encontra em sua capacidade máxima de armazenamento no intervalo de tempo t;
 DT_t – Descarte de água de limpeza do telhado no intervalo de tempo t;
 D_t – Demanda de água de chuva ou água não potável no intervalo de tempo t;
Desp – Desperdício de água de chuva;
Eeco – Eficiência de economia de água;
 FR_t – Água de chuva utilizada para suprir a demanda no intervalo de tempo t;
i – Taxa de aumento;
I – Interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação;
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
j – Taxa de desconto;
MG – Minas Gerais;
MT – Mato Grosso;
 η – Eficiência do sistema de captação;
N – Número de meses considerado;
 N_r – Número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda;
P – Precipitação;
PA – Pará;
PE – Pernambuco;
PAE – Produção Antes do Enchimento;
PDE – Produção Depois do Enchimento;
PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos;
Pr – Falha;
PR – Paraná;
PURA-SP – Programa de Uso Racional da Água da USP;

PVC – Policloreto de vinila;
PIMC – Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência no Semiárido:
Um Milhão de Cisternas Rurais;
 Q_t – Vazão de água de chuva captada no intervalo de tempo t ;
 R^2 - Coeficiente de determinação;
RS – Rio Grande do Sul;
SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo;
SAAP – Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial;
SARA – Sistema de Aproveitamento Racional de Água;
SELIC – Sistema Especial de Liquidação e de Custódia;
SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil;
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento;
SP – São Paulo;
SSD – Sistema de Suporte a Decisão;
 T – Número de meses de pouca chuva ou seca;
TH – tempo de horizonte;
TIR – Taxa Interna de Retorno;
TMP – Total Médio Precipitado;
TR – Taxa Referencial;
 V – Volume;
 V_{\max} – Volume máximo reservatório para simulação;
 dV – Unidade em que o volume do reservatório é incrementado a cada rodada de simulação;
VPL – Valor Presente Líquido;
 V_t – Volume útil de água no reservatório no intervalo de tempo t ;
 \bar{x} – Média da série histórica;
WHO – *World Health Organization*;
WUCB – *Water Use and Conservation Bureau*.

1 INTRODUÇÃO

A água é fundamental para toda vida no planeta. Embora aproximadamente 75% da superfície terrestre seja composta por água, apenas uma pequena parcela é de água doce. Segundo Ward e Robinson (1990), cerca de 97,4% do total é composto por água salgada, quase 2% é de neve e gelo e somente 0,67% corresponde a água doce (águas subterrâneas e fontes superficiais). Tal cenário é ainda mais grave quando é levada em consideração a grande variabilidade na distribuição espacial e temporal da água doce no planeta e a crescente contaminação dos mananciais. Como consequência, a água hoje, embora renovável, visto a redução de sua quantidade e qualidade, tem sido tratada como um recurso finito e um bem econômico, devido a sua escassez relativa.

Segundo a Organização Mundial de Saúde, (WHO, 2003), cerca de mais de um bilhão de pessoas no mundo inteiro sofrem com a indisponibilidade de água tratada para consumo e higiene pessoal. Aproximadamente mais de 1,8 bilhão de pessoas não dispõem de serviços de saneamento básico e em muitas áreas urbanas o número de habitantes sem acesso ao saneamento tem crescido junto com o crescimento populacional. Muitos países que enfrentam carência de água potável frequentemente tem o problema agravado por baixo volume de precipitação, poluição hídrica (superficial e subterrânea) e alta densidade populacional.

A água é hoje um fator limitante para o desenvolvimento de diversas regiões no planeta. Além das regiões áridas e semiáridas, outras regiões, que dispõem de recursos hídricos significativos, mas insuficientes para atender a demandas excessivamente elevadas, também experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo que afetam as atividades econômicas e influem negativamente sobre a qualidade de vida de suas populações (HESPANHOL, 2002).

Desde o começo do século XX, o êxodo rural vem aumentando de maneira gradativa no Brasil, o que resulta num rápido crescimento das populações das cidades e, conseqüentemente, gera uma urbanização desordenada nos municípios, que não estão preparados para atender às necessidades básicas dos migrantes, o que causa uma série de problemas sociais e ambientais. Dentre eles destacam-se o desemprego, a criminalidade, a favelização, a poluição do ar e a escassez de água, este último gerado pelo aumento desenfreado de demanda sem um acréscimo proporcional de oferta. Atualmente, a

participação da população urbana no total da população brasileira atinge níveis próximos aos dos países de antiga urbanização da Europa e da América do Norte. Em 1940, os moradores das cidades somavam 12,9 milhões de habitantes, cerca de 30% do total da população do país, esse percentual cresceu aceleradamente: em 1970, mais da metade dos brasileiros já viviam nas cidades (55,9%). De acordo com os Censos de 2000 e 2010, a população brasileira é agora majoritariamente urbana, uma vez que de cada dez habitantes do Brasil, oito moram em cidades.

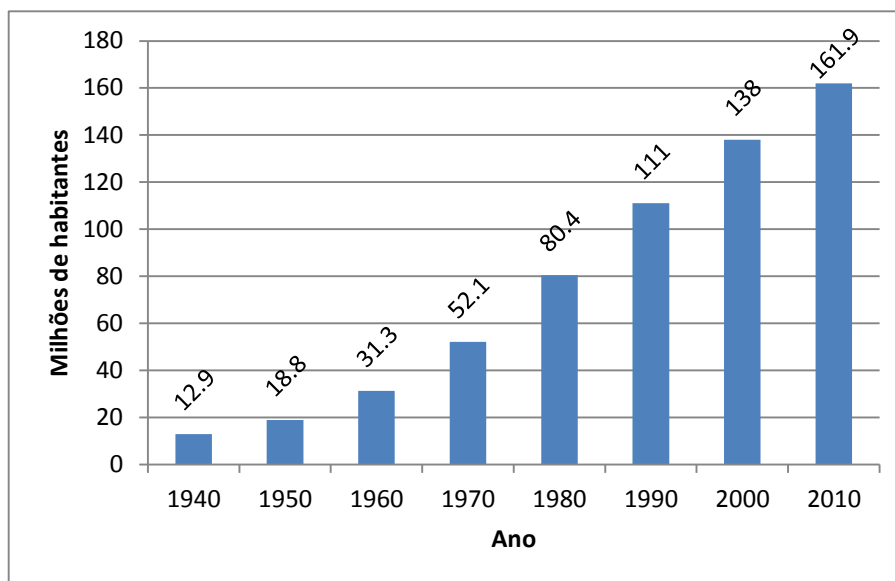


Figura 1.1 - População urbana no Brasil - 1940/2010.
Fonte: IBGE (2001 e 2010).

Segundo informa Rodrigues (2005), o consumo de água residencial pode constituir mais da metade do consumo total de água nas áreas urbanas. Na região metropolitana de São Paulo, o consumo de água residencial corresponde a 84,4% do consumo total urbano (incluindo também o consumo em pequenas indústrias). Na cidade de Vitória, a porcentagem desse consumo é bem similar, correspondendo a aproximadamente 85% desse total.

Estudos realizados pelo PURA-USP (1995) mostram que no Brasil, dentro de uma residência, os pontos de maior consumo de água são para dar descarga nos vasos sanitários, para a lavagem de roupas e para tomar banho, sendo que os dois primeiros somam aproximadamente 44% e dispensam água com padrão de potabilidade. Assim, verifica-se que quase metade do total de água consumida em uma residência é destinada a usos não potáveis.

Diante desse cenário, necessário se faz buscar soluções que preservem a quantidade e a qualidade da água nos centros urbanos. Essas soluções passam necessariamente por uma revisão dos métodos e sistemas relacionados com o uso da água pelas populações, tendo como meta a sua conservação. Segundo o WUCB (1999), a conservação de água pode ser definida como qualquer ação que:

- Reduza a captação de água dos mananciais;
- Reduza os usos consuntivos;
- Reduza o desperdício ou as perdas de água;
- Aumente a eficiência do uso da água;
- Aumente a reciclagem ou o reúso;
- Previna a poluição da água.

Para por em prática tais ações, é essencial a criação de programas de conservação da água potável, que são importantes ferramentas para assegurar sua oferta, evitando o desperdício e racionalizando o uso. Tratam-se de medidas que experimentam crescente aceitação social pelo seu caráter ecológico. Ressalte-se ainda que, além de economizar água, um programa de conservação bem sucedido resulta em menor gasto de energia, menor produção de esgoto sanitário e proteção dos mananciais de água.

Os programas de conservação de água compreendem ações que resultam em economia de água, incidindo não somente sobre os domicílios, redes de distribuição e em outras partes do sistema de abastecimento, mas também sobre os mananciais, por meio da criação de áreas de preservação, do combate à poluição na origem e ao desmatamento. Na prática, busca-se a racionalização do uso através de técnicas e procedimentos que resultem na conservação do recurso, sem que haja comprometimento dos usos fundamentais que mantém a vida nas áreas urbanas. Objetivamente, a conservação de água atua de maneira sistemática sobre a demanda e a oferta.

A conservação de água compreende seu uso racional, que pressupõe eficiência e/ou o uso de fontes alternativas. A utilização de fontes alternativas de água é, portanto, uma importante medida de racionalização, por evitar a utilização das fontes convencionais de suprimento. Para a efetiva redução do consumo de água, são práticas particularmente eficientes a eliminação ou a redução do consumo de água potável para fins que não necessitam desse nível de qualidade, como ocorre em descargas sanitárias, lavagem de

pátios, irrigação de jardins etc. Tal eliminação ou redução de consumo pode ocorrer por meio de substituição por águas menos nobres, provenientes, por exemplo, de reúso de águas utilizadas em dispositivos não sanitários da edificação ou de aproveitamento pluvial. Soluções que preservam a quantidade e a qualidade da água passam necessariamente por uma revisão de seu uso, tendo como meta a redução do consumo de água potável e, concomitantemente, da produção de águas residuárias. Nesse contexto, a utilização de fontes alternativas de água em edificações urbanas são opções que despertam o maior interesse.

Dessa forma, estabelecendo um modelo de abastecimento de rede dupla nas edificações, sendo uma rede de água potável, fornecida pela companhia de saneamento, e outra oriunda de fontes alternativas, a redução do consumo de água potável seria garantida.

Nesse contexto, o aproveitamento de água pluvial surge como técnica importante, capaz de promover a conservação da água. Em outras palavras, a implantação de Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial (SAAP) com respectivos usos da água para fins não potáveis equivale a criar uma fonte alternativa que resulta na diminuição da demanda por água potável fornecida pelas companhias de saneamento.

Segundo Tomaz (2003) “países industrializados, como Japão e a Alemanha, estão seriamente empenhados no aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis.” E outros países como Estados Unidos, Austrália e Singapura desenvolvem pesquisas na área. Dillaha e Zolan (1985) relatam a existência de um sistema integrado de manejo de água de chuva há 2.000 anos, no deserto de Negev, atualmente território de Israel. No período romano, esta prática também já era conhecida e utilizada em diversas regiões como na ilha da Sardenha e no norte da África. As vilas romanas coletavam água da chuva das casas como fonte de água para beber e para uso doméstico (RAINWATER HARVESTING AND UTILISATION, 2002).

No semiárido brasileiro, tem sido implementado o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido: Um Milhão de Cisternas Rurais – P1MC, iniciado em julho de 2003. O objetivo do P1MC é beneficiar cerca de cinco milhões de pessoas em toda região semiárida com água potável para beber e cozinhar, através das cisternas de placas. Juntas, elas formam uma infraestrutura descentralizada de abastecimento com capacidade para 16 bilhões de litros de água.

Importante salientar que há um grande esforço técnico-científico nessa área, denotado pela quantidade e diversidade de trabalhos desenvolvidos sobre o tema, dentre os quais pode-se citar os trabalhos realizados por Oliveira (1999), May (2004), Campos (2004) e Dornelles *et al.* (2010).

Apesar disso, a determinação do volume ótimo de reservatórios de acumulação de SAAP, componente mais oneroso do sistema, é ainda incipiente, uma vez que os diversos métodos que podem ser encontrados na literatura conduzem a valores com grande variação entre si, conforme exposto no capítulo de fundamentação teórica e revisão bibliográfica. Além disso, os métodos são fundamentalmente empíricos ou baseados essencialmente na confiabilidade dos SAAP, o que os torna demasiadamente conservadores, pois entende-se que não há necessidade de altos níveis de confiabilidade para SAAP instalados em centros urbanos, uma vez que no caso de falhas pode-se utilizar a água potável fornecida pela companhia de saneamento. Sendo assim, os SAAP desses locais funcionam como fontes alternativas de água para fins não potáveis, evitando, dessa forma, que seja utilizado água potável para usos que não precisam desse nível de qualidade. Portanto a vinculação dos métodos à necessidade de se atingir altos níveis de confiabilidade do sistema, em geral, conduz a grandes volumes de reservatórios, o que torna a implantação dos SAAP inviável do ponto de vista econômico.

Diante de todo exposto, não há ainda uma metodologia consagrada ou generalizada capaz de realizar o dimensionamento padronizado de forma otimizada, levando em consideração, de forma objetiva, características técnicas e econômicas dos SAAP e da região onde este será implantado. Essa conjuntura constitui uma problemática nas ações que pretendem ampliar a utilização de SAAP, uma vez que não há maneiras consolidadas para determinar a viabilidade de implantação desses sistemas.

Este trabalho se insere no esforço técnico-científico para expandir o uso de SAAP no país, buscando possibilitar a análise da viabilidade de implantação desses sistemas por meio da construção de uma metodologia generalizada que leve em consideração critérios técnicos e econômicos. A metodologia em tela foi implementada em um Sistema de Suporte a Decisão (SSD) capaz de simular qualquer cenário de implantação de SAAP e em seguida indicar sua viabilidade por meio da sinalização do tamanho ótimo de reservatórios de acumulação de SAAP em centros urbanos de forma automatizada.

Os SSD voltados para determinação do volume de reservatórios de acumulação de SAAP ainda deixam a desejar no que diz respeito à análise da viabilidade econômica, uma vez que não realizam esta análise ou delegam parte dela aos usuários, que precisam calcular os custos de implantação dos SAAP previamente e inseri-los manualmente no SSD. O SSD apresentado neste trabalho analisa a viabilidade econômica por meio de custos e benefícios calculados diretamente em função do volume do reservatório e seu funcionamento. Além disso, acerca da viabilidade técnica, o SSD aqui apresentado possui a vantagem de analisar o desempenho do sistema e indicar automaticamente o volume ótimo mais racional do ponto de vista da eficiência, enquanto outros SSD determinam o volume ótimo através de métodos empíricos, conservadores ou baseados na confiabilidade do SAAP e, quando o fazem por meio da eficiência, incumbem aos usuários a tarefa de informar critérios que determinam o ponto de parada para indicação do volume final.

Há ainda lacunas no que diz respeito à possibilidade de determinações preliminares de volumes de reservatório de SAAP por parte de profissionais que não possuem conhecimentos na área de recursos hídricos e, sendo assim, este trabalho também disponibilizou diagramas para determinação do volume ótimo do reservatório de forma fácil e rápida em centros urbanos selecionados. Os diagramas foram construídos através de resultados gerados com a simulação, utilizando o SSD, de diversos cenários de área de captação e demanda por água não potável.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é o de construir uma metodologia para indicação preliminar dos volumes de reservatórios de acumulação de SAAP e avaliação da viabilidade de implantação desses sistemas como alternativa para diminuir a demanda por água potável em centros urbanos.

Os objetivos específicos deste trabalho consistem em:

1. Desenvolvimento de sistema de suporte a decisão para implementação da metodologia construída;
2. Avaliação da metodologia sugerida a partir da realização de estudos de casos em centros urbanos selecionados;
3. Disponibilização de diagramas de aplicação fácil e expedita para promover o dimensionamento preliminar e possibilitar a avaliação da viabilidade de implantação de SAAP em centros urbanos selecionados.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CONSERVAÇÃO DE ÁGUA E APROVEITAMENTO PLUVIAL

Devido à crescente demanda de água para o desenvolvimento das diversas atividades humanas frente à limitada oferta, faz-se necessário estabelecer normas e técnicas que disciplinem a utilização dos recursos hídricos pelos diversos segmentos da sociedade.

A finalidade precípua das iniciativas de conservação de água é lograr um equilíbrio entre oferta e demanda, ou seja, identificar e captar recursos da natureza de forma racional para que possam cobrir a demanda atual da sociedade assim como as expectativas futuras.

A Constituição de 1988 estabelece que a água é um bem público, ressaltando que o seu aproveitamento econômico e social deve buscar a redução de desigualdades. Com base na Constituição de 1988, foi elaborada a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH, Lei nº 9.433 de 1997) que define a água como um bem de domínio público, dotado de valor econômico. A Política também estabelece diretrizes para o melhor aproveitamento e uso racional dos recursos hídricos.

A partir da instituição da PNRH, a água se tornou bem de valor econômico. Esse recurso natural não é mais visto como barato e inesgotável. Sendo assim, conservar a água, usando-a racionalmente significa agregar resultados econômicos e ambientais aos empreendimentos.

De forma direta e simples, conservação de água é definida como “qualquer redução de uso ou de perda de água que implique benefícios líquidos positivos” (BAUMANN, 1984). Segundo Montenegro e Silva (1987), o benefício líquido é positivo quando a agregação de todos os ganhos de uma ação ou de um programa de redução do uso ou da perda excede a agregação de todos os efeitos adversos (custos e benefícios negativos) ocasionados por ela. Além disso, considera-se que a redução de água não pode ser enfocada de forma unilateral, a respeito dos demais recursos. Dessa forma, se a conservação de um recurso implica dilapidação de outro, não existe uma ação verdadeiramente conservacionista.

É importante considerar também os conceitos de gestão de oferta e de demanda. Para o prestador do serviço de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, a gestão pela oferta corresponde ao retorno financeiro adequado quando do incremento de oferta

dos serviços prestados. Uma situação típica exemplifica bem esse tipo de gestão: dada uma certa área de expansão urbana, em fase de implantação, que deve ser abastecida com água, consideram-se duas formas simplificadas de abordagem que a prestadora do serviço pode adotar para abastecer essa população adicional. A mais tradicional delas é aumentar sua capacidade de produção de água, o que pode ser feito mediante o aumento da quantidade de água bruta captada, bombeada, tratada, reservada e distribuída. Em geral esse aumento de capacidade corresponde à implantação de novas estruturas ou da ampliação das existentes, situações nas quais a prestadora deverá empregar um montante de investimentos financeiros que será amortizado com participação dos recursos das contas de água cobradas dos novos usuários. A gestão da oferta foi praticada durante muito tempo pelos serviços públicos de abastecimento de água e correspondeu ao crescimento generalizado das companhias ou serviços públicos de saneamento e, eventualmente, de seus ganhos, dependendo da política adotada. Um fator ambiental deu suporte a essa prática durante um longo período: a disponibilidade de água, próxima e em quantidades suficientes para abastecer os centros urbanos. Entretanto, em certo momento as situações da disponibilidade hídrica começaram a se alterar. Mananciais tornaram-se impróprios e outros mais adequados situavam-se a distâncias muito grandes. Dessa forma, o investimento necessário ao crescimento da oferta tornou-se muito maior, ou seja, ficou economicamente inviável ofertar água adicional. Nessas circunstâncias, ficaram aparentes as possibilidades e vantagens de exercitar a gestão da demanda. Essa ótica explora as possibilidades de ampliação do uso da quantidade de água já existente. Referem-se às tecnologias adequadas à redução do consumo, das perdas e ao uso mais eficiente das águas, às mudanças de comportamento dos usuários e do prestador de serviço, bem como à aplicação de tarifas que provocam a contenção do consumo.

Esta conceituação sobre gestão de demanda e de oferta levou Gonçalves (2004) à formulação de uma terminologia associada a esses conceitos e que se mostra útil na denominação de ações conservacionistas em geral, segundo visem somente à gestão da demanda ou a gestão da demanda e da oferta. Assim, segundo o autor, define-se:

- **Uso racional de água:** objetiva o controle da demanda, através da redução do consumo, preservando a quantidade e a qualidade da água para as diferentes atividades consumidoras. São exemplos a instalação dispositivos economizadores de água e a detecção e correção de vazamentos;

- **Conservação de água:** prevê o controle da demanda juntamente com a ampliação da oferta, através do uso de fontes alternativas de água, tais como o aproveitamento da água de chuva e o reúso de águas cinzas.

As ações conservacionistas podem ser definidas também como um conjunto de práticas, técnicas e tecnologias que propiciam a melhoria da eficiência do seu uso, incidindo de maneira sistêmica sobre a demanda e a oferta.

Oliveira e Gonçalves (1999) classificam as ações conservacionistas da seguinte maneira:

- **Econômicas:** consistem na aplicação de incentivos ou de desincentivos econômicos. Os incentivos podem, por exemplo, se constituir em diferentes formas de subsídio à aquisição e implantação de sistemas e de dispositivos economizadores de água, incentivos fiscais para empreendimentos que possuam medidores individualizados etc. Os desincentivos podem ser constituídos, por exemplo, por tarifas mais elevadas para os maiores consumos;
- **Sociais:** tem como foco principal a conscientização dos usuários, através de campanhas educativas que buscam a adequação de procedimentos e modificações nos padrões de comportamento individual a cerca do uso da água;
- **Tecnológicas:** são ações que interferem na infraestrutura, como, por exemplo, a substituição de sistemas e dispositivos convencionais por outros economizadores de água. Outros exemplos são a implantação de sistemas de medição individualizada do consumo de água, a detecção e a correção de vazamentos e o uso de fontes alternativas de água, tais como reúso de águas cinzas e aproveitamento de água pluvial.

Dentro desse contexto, a implantação de SAAP para usos não potáveis em edificações pode ser agregada como técnica que gera uma fonte alternativa capaz por meio da qual é possível reduzir o consumo de água potável fornecida pelas companhias de saneamento, que muitas vezes é utilizada para realizar atividades que não necessitam desse nível de qualidade, tais como descarga sanitária, lavagem de carros e de pisos e rega de jardins.

3.2 LEGISLAÇÃO PERTINENTE

Existem poucas experiências práticas de aproveitamento de água pluvial nos centros urbanos no Brasil. Por isso, poucas ações têm sido tomadas para o seu desenvolvimento e pouco incentivo nacional para essa prática tem sido feito.

Entretanto, devido à preocupação com enchentes urbanas, diversas cidades apresentam leis que obrigam a retenção de parte da precipitação no terreno, através da construção de um reservatório para infiltração dessa água, diminuindo o volume de água pluvial jogado na rede de drenagem urbana.

Leis como estas estão em estudo em algumas cidades do Brasil. A obrigatoriedade de captação da água pluvial, através dessas leis, facilita a implantação de SAAP, embora, não tenham por objetivo principal a contribuição para a conservação da água com a gestão de oferta e demanda.

Com a obrigatoriedade da construção desses reservatórios, o custo de implementação de um sistema de captação e aproveitamento de água pluvial é bastante reduzido, pois esse item pode atingir cerca de 55% do investimento total de um sistema (SIQUEIRA CAMPOS, 2004).

Nesse contexto, e ainda considerando a ausência de metodologias consagradas, torna-se importante a construção de ferramentas ou modelos que orientem o dimensionamento do SAAP, favorecendo maior viabilidade técnica e econômica para esses sistemas e fazendo com que as legislações sejam cumpridas de fato.

Existem leis que tratam especificamente de aproveitamento de água pluvial, definindo parâmetros e regras de aprovação de projetos dentre outros aspectos, dentre as quais podem-se citar:

- Lei nº 4.181/2008 do Distrito Federal;
- Lei nº 7.863/2010 de Salvador/BA;
- Lei nº 10.785/2003 de Ponta Grossa/PR;
- Lei nº 8.718/2006 de Curitiba/PR;
- Lei nº 10.506/2008 de Porto Alegre/RS;
- Lei nº 13.276/2002 de São Paulo/SP.

Todas as leis mencionadas, ressalvadas características pontuais e específicas, tem o objetivo de instituir medidas que induzam a armazenagem e a conscientização dos usuários sobre a importância da utilização controlada da água captada da chuva. As disposições destas Leis são observadas na elaboração e aprovação dos projetos de construção de novas edificações. A água das chuvas deve ser captada na cobertura das edificações e encaminhada a uma cisterna ou tanque e pode ser utilizada em atividades que não requeiram o uso de água tratada proveniente das companhias de saneamento, tais como rega de jardins e horta, lavagem de roupas, lavagem de veículos, lavagem de vidros, calçadas e pisos e descargas sanitárias.

3.2.1 Normas Brasileiras

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o órgão que tem como responsabilidade a normalização técnica do Brasil, sugerindo o conteúdo necessário para que ocorra um desenvolvimento tecnológico.

A NBR 15.527/2007 versa sobre o aproveitamento da água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis e tem como objetivo a implementação de alternativas para captação de água nas novas edificações. Esta norma entrou em vigor em todo território nacional no dia 24/10/2007.

Na referida Norma, são citados termos e definições, condições gerais, concepção de SAAP, calhas e condutores, reservatórios, instalações prediais, qualidade da água, bombeamento e manutenção, além de conter, anexados, métodos de cálculos para dimensionamento dos reservatórios, tais como o método de Rippl, método da simulação, método prático alemão, método prático inglês e método prático australiano.

Outra Norma técnica existente que diz respeito às águas pluviais é a NBR 10.844/1989, porém esta visa à drenagem das águas pluviais e não ao aproveitamento da água, sendo que seu objetivo é estabelecer critérios necessários para o desenvolvimento das instalações de drenagem de águas pluviais.

3.3 COMPONENTES DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Segundo Iwanami (1985), é importante fazer o planejamento da utilização do sistema de aproveitamento de água de chuva para verificar a quantidade de água que poderá ser coletada e armazenada.

Soares *et al.* (1999) relatam que a utilização de água de chuva torna-se atraente nos seguintes casos:

- áreas de precipitação elevada;
- áreas com escassez de abastecimento;
- áreas com alto custo de extração de água subterrânea.

Cabe salientar que, para que haja atratividade em áreas de precipitação elevada, conforme indicam Soares *et al.* (1999), é necessário que a quantidade de chuva seja distribuída ao longo do tempo, pois é possível que o dimensionamento de reservatórios de acumulação de SAAP em áreas de precipitação elevada, mas não distribuídas no tempo, retorne volumes muito grandes, o que pode tornar o projeto inviável.

Existem alguns fatores positivos na implantação de SAAP em áreas urbanas, quais sejam:

- redução de consumo de água tratada e conseqüente redução na tarifa de água;
- melhor distribuição de carga de água de chuva imposta ao sistema de drenagem urbana e;
- contribuição para a conscientização para o uso racional da água e para a sustentabilidade de edificações.

No dimensionamento de SAAP, é preciso avaliar a disponibilidade de água de chuva em cada localidade de implantação do sistema, pois a diminuição exagerada do volume de água coletada em períodos de estiagem pode restringir o uso do SAAP em certos períodos do ano e comprometer a viabilidade do mesmo.

Soares *et al.* (1999) relataram que o SAAP em edificações, para fins não potáveis, pode ser aplicado na lavagem de vasos sanitários (descargas), sistemas de ar condicionado, sistemas de controle de incêndio, lavagem de veículos, lavagem de pisos e ainda na

irrigação de jardins. Nas indústrias e em estabelecimentos comerciais, a água de chuva pode ser utilizada para resfriamento de telhados e máquinas, climatização interna, lavanderia industrial, lava jatos de caminhões, carros e ônibus e limpeza industrial. Todas estas utilizações não carecem de qualidade de água potável fornecida pelas companhias de saneamento.

O SAAP funciona da seguinte maneira: a água é coletada de áreas impermeáveis, normalmente telhados, pátios ou pisos. Em seguida, é transportada por meio de condutores (tubulações, calhas ou dutos) e armazenada em reservatórios de acumulação, que pode ser apoiado, enterrado ou elevado e ser construído de diferentes materiais, tais como concreto armado, blocos de concreto, alvenaria de tijolos, aço, plástico, poliéster, polietileno e outros. Sendo que a água captada pode, dependendo da configuração do sistema, sofrer algum tipo de tratamento, como filtragem ou separação de sólidos grosseiros, antes de adentrar no reservatório. Por fim a água deve ser transportada por meio de condutores para sua destinação final, onde será utilizada para necessidades que não necessitam de padrão de potabilidade.

O sistema de coleta e aproveitamento de água de chuva em edificações é formado por diversos componentes, que serão relacionados nas seções subsequentes.

3.3.1 Área de coleta

A quantidade de água de chuva disponível para o SAAP depende da área de coleta, da precipitação do local e do coeficiente de escoamento superficial. Já a quantidade de água que pode ser armazenada está limitada ao tamanho do reservatório, que por sua vez é limitado por custos e parâmetros construtivos.

A área utilizada para coleta de água de chuva normalmente é o telhado ou a laje da edificação. Dependendo do uso final da água coletada e do tratamento a ser aplicado, a coleta de água de chuva também pode ser feita por meio de superfícies impermeabilizadas, localizadas no nível do chão tais como pátios, calçadas, estacionamentos etc. A Figura 3.1 exemplifica áreas de coleta.

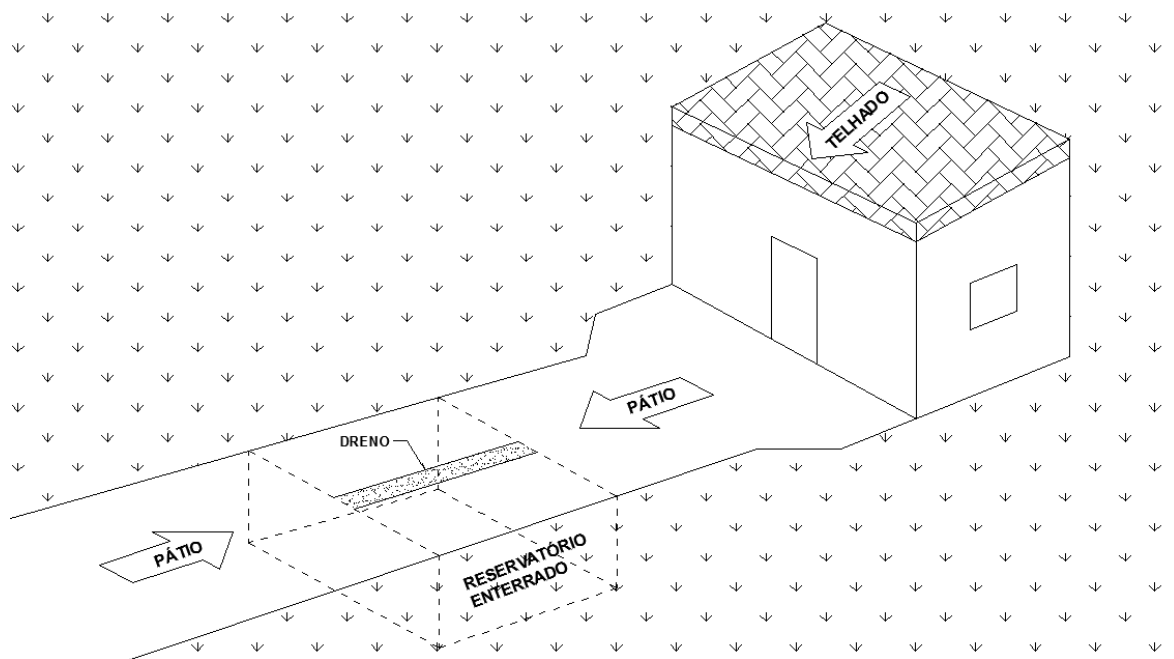


Figura 3.1 - Áreas de coleta: telhado e pátio.

Para não ocorrerem entupimentos nos condutores que levam a água até o reservatório ou outro dispositivo, o sistema de coleta de água de chuva deve conter um sistema de gradeamento (grades) para retirada de folhas e galhos. Para esse processo pode-se utilizar um dispositivo na saída da calha, uma grade que percorre toda a calha ou ainda uma grade na entrada de água do reservatório.

O telhado para a coleta da água de chuva pode ser feito de diversos materiais, como cerâmica, fibrocimento, zinco, ferro galvanizado, concreto armado, plástico, vidro, policarbonato, acrílico etc.

3.3.2 Condutores

São os condutores horizontais (calhas) e condutores verticais (tubos) que servem para transportar a água de chuva da área de captação até o sistema de armazenamento.

O dimensionamento das calhas e condutores deve ser feito como em qualquer edificação, considerando a intensidade pluviométrica da região, o período de retorno adequado, seguindo as normas da ABNT (NBR 10.844/1989).

Para que não ocorra transbordamento de água, é necessário que seja feito o correto dimensionamento das calhas e a especificação de um número adequado de coletores verticais. Caso contrário, os usuários terão transtornos em outras partes das edificações e,

além disso, a quantidade de água captada será menor (WERNECK, 2006 e ANNECCHINI, 2005).

Segundo Campos (2004), a manutenção/limpeza desses elementos do sistema influenciará diretamente na eficiência do mesmo. Essa manutenção permitirá que se evitem entupimentos e os riscos de contaminação serão reduzidos.

As calhas são encontradas no mercado pré-fabricadas em PVC ou laminadas metálicas. Entretanto essas calhas não suportam grandes volumes de água captada através de grandes áreas de captação exigindo a construção de calhas em alvenaria ou concreto.

É necessário citar a indispensabilidade dos condutores que transportam a água armazenada para seu destino final (descarga sanitária, lavagem de pisos etc). Sendo importante observar que esses condutores devem conter dispositivos, como *by pass*, por exemplo, que permitam a chegada alternativa de uso adicional de água potável ao destino final quando o reservatório do SAAP estiver vazio. Nesse caso, a água será a fornecida pelas companhias de saneamento.

3.3.3 Armazenamento

O armazenamento de água em geral é feito em reservatórios. Se a área de coleta, a precipitação da região e a demanda são conhecidas, pode-se calcular o volume mínimo de reservatório da água de chuva. Segundo Soares *et al.* (2000), o problema do tamanho do reservatório pode ser visto de duas maneiras:

- quantidade de água necessária para suprir a demanda;
- atender a demanda com um grau de confiabilidade aceitável.

Além disso, o volume do reservatório está limitado pelo seu custo, uma vez que o reservatório de acumulação é o componente mais dispendioso do SAAP. Por esse motivo, seu dimensionamento requer certo cuidado para não tornar a implantação do sistema inviável. Dependendo do volume obtido no cálculo e das condições do local, o armazenamento da água de chuva poderá ser realizado para atender a diversas situações.

3.3.3.1 Métodos de determinação de volumes de reservatórios para aproveitamento de água pluvial

Existem diversos métodos conhecidos para o cálculo do reservatório de água de chuva, que podem ser baseados em relações empíricas ou em dados concretos referentes aos parâmetros do sistema, tais como precipitação, demanda, curva de massa etc.

No que se refere a métodos baseados em relações empíricas conhecidas, vale destacar que Rocha (2009) alerta que dimensionar reservatórios para SAAP através destes métodos pode ser inadequado em virtude da generalização de grandezas de elevada variabilidade.

De acordo com Mierzwa *et al.* (2007), os métodos para dimensionamento de reservatórios baseados no conceito de regularização de vazão, ou seja, curva de massa, mostram-se pouco viáveis, pois podem conduzir a volumes de reservatórios muito grandes, sendo incompatíveis, econômica ou fisicamente, com as condições disponíveis onde se pretende implantar o reservatório. Além disso, muitas vezes, o objetivo principal da implementação do SAAP não é desenvolver uma nova fonte de abastecimento com alta confiabilidade, mas sim possibilitar a redução da demanda de outras fontes.

Mierzwa *et al.* (2007) também comentam que a priorização do aproveitamento de água pluvial para utilização concentrada em períodos mais chuvosos, em detrimento da regularização de vazão, permite obter razoável redução de demanda de água tratada das companhias de saneamento e obter menores volumes de reservatório.

Segundo Amorim e Pereira (2008), com o volume obtido no dimensionamento, a tecnologia pode ser utilizada para atender à demanda local por alguns dias, alguns meses ou por todo o ano. Geralmente o cálculo é realizado na tentativa de atender a toda a demanda pelo maior período possível e com o menor custo de implantação.

Para o dimensionamento do reservatório, é fundamental o conhecimento da área de captação, do regime pluviométrico local, do coeficiente de escoamento superficial e do volume de água potável a ser substituída por água pluvial no edifício em que se executará o sistema (AMORIM & PEREIRA, 2008).

Método de Rippl

Esse método, também chamado de Método do Diagrama de Massas, é o que mais aparece na literatura que trata desse assunto. Originalmente ele foi desenvolvido ao final do século XIX. Campos *et al.* (2007) comentam que o método é o mais utilizado, especialmente por sua fácil aplicação.

O método consiste na determinação do volume com base na área de captação e na precipitação registrada, considerando-se que nem toda a água precipitada seja armazenada e correlacionando tal volume ao consumo mensal da edificação, que pode ser constante ou variável (AMORIM & PEREIRA, 2008).

Campos (2004) recomenda que, quanto menor o intervalo nos dados pluviométricos, maior será a precisão no dimensionamento, devido ao conceito do Método de Rippl, sendo a utilização de valores diários suficiente. Muitas vezes devido à ausência de dados utilizam-se valores mensais, que também apresentam resultados satisfatórios, além de tornar o procedimento de cálculo menos trabalhoso.

O período de coleta dos dados da pluviometria local também é de extrema importância para a precisão no dimensionamento, pois quanto mais prolongado o período analisado menor será a quantidade de incertezas agregados ao processo de dimensionamento.

Existem duas maneiras de se verificar o volume do reservatório através desse método: o método analítico e o método gráfico. Sendo que o primeiro é o mais comum.

Método analítico

Nesse método os dados de entrada são: precipitação média mensal ou diária (mm); demanda mensal ou diária (m^3); área de coleta (m^2); coeficiente de escoamento superficial (C); e eficiência do sistema de captação (η).

A eficiência do sistema de captação refere-se à eficiência dos equipamentos colocados antes do reservatório, ou seja, filtros, equipamentos para retirada do escoamento inicial etc.

Os dados de saída são:

(a) Volume aproveitável (m^3): volume máximo de água pluvial que poderá ser coletado no intervalo de um mês ou diariamente, conforme Equação 3.1.

$$V = P \times A \times C \times \eta \quad (3.1)$$

onde:

V: volume mensal ou diário de água pluvial (m^3);

P: precipitação média mensal ou diária (mm);

A: área de coleta (m^2);

C: coeficiente de Runoff;

η : eficiência do sistema de captação.

(b) (Volume aproveitável – Demanda) (m^3): diferença entre o volume de água pluvial aproveitável e o volume da demanda a ser atendida;

(c) Diferença acumulada (m^3): volume obtido pelo somatório das diferenças negativas do volume aproveitável menos a demanda;

(d) Volume do reservatório de água pluvial (m^3): volume adquirido no somatório da diferença negativa do volume de chuva e da demanda.

Método gráfico

Segundo Tomaz (2003), para este método são utilizados os volumes de chuva acumulados e a demanda local acumulada no período de um ano (nos meses de janeiro a dezembro), os quais devem ser lançados em um gráfico, denominado Diagrama de Massas.

Para se obter o volume do reservatório deve-se seguir o seguinte procedimento:

- Traçar o Diagrama de Massas;
- Sobrepor ao diagrama a linha correspondente ao volume a ser retirado ao longo do tempo;
- Traçar retas paralelas à retirada tangentes aos maiores picos (A e E);
- Medir os maiores afastamentos entre as tangentes e a curva de massa (C1 e C2);
- Na Figura 3.2 o maior afastamento é C2, logo esta será a capacidade do reservatório.

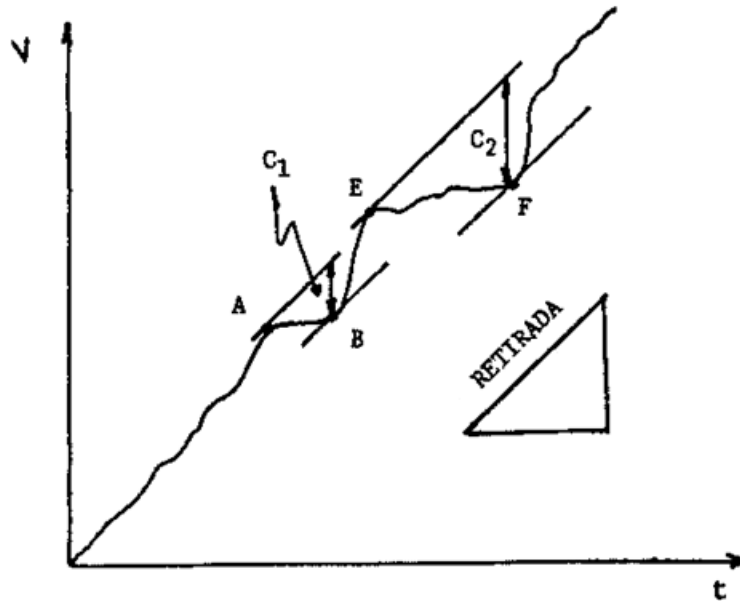


Figura 3.2 - Demonstração do modo gráfico do método de Rippl.

Método dos dias consecutivos sem chuva

O método é apresentado pelo *Group Raindrops* (2002). Para a utilização desse método, o ideal é a observação dos registros pluviométricos de anos (principalmente de décadas) anteriores para identificar os maiores períodos de dias consecutivos sem chuvas e sua taxa de repetição. A obtenção dos dados pluviométricos históricos muitas vezes é difícil, ou eles até mesmo inexistem dependendo da localidade. (AMORIM & PEREIRA, 2008).

De posse dos períodos de dias consecutivos sem chuva e do volume de água pluvial consumido diariamente na edificação, o volume mínimo a ser adotado para o reservatório é obtido a partir do produto desses dois valores, ou seja:

$$V = C_d \times D_{sc} \quad (3.2)$$

onde:

V: volume do reservatório de água pluvial (m³);

C_d: consumo diário de água pluvial (m³);

D_{sc}: intervalo de dias consecutivos sem chuva.

Importante destacar que o volume do reservatório calculado por esse método é insensível a outros parâmetros do regime de chuvas, tais como média, máxima, mínima e total de chuva precipitada, ficando restrito apenas à informação de dias consecutivos sem chuva.

Existe também a possibilidade de se fazer o dimensionamento com a consideração dos períodos de dias consecutivos com chuvas (ao invés dos dias sem chuvas), com a finalidade de captar o maior volume de água pluvial possível. Esse procedimento é mais apropriado em regiões onde os períodos de seca são mais extensos que os períodos chuvosos, como, por exemplo, na região Nordeste do Brasil. A intenção é captar o maior volume de água pluvial possível nas estações chuvosas, para que este possa suprir a demanda nos períodos de estiagem (AMORIM & PEREIRA, 2008).

Método de análise e simulação de reservatórios com capacidade suposta

Este método consiste basicamente na fixação de volumes para o reservatório e na verificação do percentual de consumo que será atendido.

O primeiro passo para a aplicação desse método é adotar alguns valores possíveis para o volume do reservatório, baseado na estimativa do consumo mensal de água não potável.

Werneck (2006) sugere um método que utiliza uma tabela em que os dados de entrada são a precipitação mensal e a demanda mensal. Para a utilização da tabela e o correto dimensionamento, recomenda-se seguir os seguintes passos, que resumem a aplicação do método:

- a) adotar os volumes do reservatório a serem analisados;
- b) para cada mês, adicionar ao valor inicial do volume do reservatório (o final do mês anterior) a quantidade de água;
- c) para cada mês, subtrair o volume consumido;
- d) desenvolver um gráfico, para cada reservatório, da variação dos volumes em função dos meses e
- e) analisar cada gráfico e calcular a eficiência de cada reservatório conforme apresentado por Tomaz (2003).

A eficiência é obtida da relação entre os meses em que o reservatório não se apresenta ocioso (não necessitando de outra fonte de abastecimento) e todos os meses do período estudado.

O volume do reservatório a ser escolhido é aquele que apresentar a maior eficiência entre os volumes adotados inicialmente. Pode-se, no caso de a eficiência encontrada ainda ser muito baixa, adotar outro volume para o reservatório e refazer esse procedimento, até que se chegue a um resultado satisfatório segundo o objetivo do projetista (AMORIM & PEREIRA, 2008).

Importante salientar um aspecto importante apresentado no trabalho de Dornelles *et al.* (2010), que demonstram que curvas de eficiência x volume, a partir de um certo ponto, crescem quase que assintoticamente, de modo que o volume que gera a eficiência total (100%) seria extremamente grande, fazendo com que, dessa forma, a melhor escolha para o volume do reservatório não seja o de maior eficiência dentre os volumes de reservatórios analisados, mas sim, aquele localizado no ponto de curvatura máxima a partir do qual esta apresenta comportamento assintótico.

Jenkins *et al.* (1978) desenvolveram um modelo comportamental para simulações e identificaram dois algoritmos fundamentais para descrever a operação de armazenamento e uso de água de chuva em SAAP. Produção Antes do Enchimento (PAE) e Produção Depois do Enchimento (PDE).

O algoritmo PAE é regido fundamentalmente pelas Equações 3.3 e 3.4.

$$FR_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + Q_t \end{array} \right. \quad (3.3)$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - FR_t \\ CAP_{\max} \end{array} \right. \quad (3.4)$$

Já o algoritmo PDE é regido fundamentalmente pelas Equações 3.5 e 3.6.

$$FR_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} \end{array} \right. \quad (3.5)$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - FR_t \\ CAP_{\max} - FR_t \end{array} \right. \quad (3.6)$$

onde:

Q_t : Volume de água de chuva captada, no intervalo de tempo t , em m^3 ;

CAP_{max} : Capacidade máxima do reservatório, em m^3 ;

V_t : Volume útil de água no reservatório, no intervalo de tempo t , em m^3 ;

D_t : Demanda de água da chuva, no intervalo de tempo t , em m^3 ;

FR_t : Água de chuva utilizada para suprir a demanda, no intervalo de tempo t , em m^3 .

Para o caso do algoritmo PDE, o volume de água no reservatório do SAAP, ao fim do intervalo de tempo t , nunca é equivalente à capacidade máxima do reservatório, ou seja, o reservatório de acumulação nunca está cheio, já que a água de chuva a ser utilizada no dia posterior é retirada do volume do reservatório do final do dia anterior. Nesse caso, considerando um SAAP com reservatório de acumulação inferior e reservatório de distribuição superior, a operação considerada é que há um único bombeamento da água do reservatório inferior para o superior, no fim de cada intervalo de tempo.

Já para o caso do algoritmo PAE, considera-se que pode haver mais de um bombeamento da água do reservatório inferior para o superior num mesmo intervalo de tempo. Dessa forma, a água captada pode ser utilizada no mesmo intervalo de tempo e o reservatório pode terminar este intervalo com água em sua capacidade máxima. Além disso, a água a ser usada no intervalo de tempo atual é retirada do total de chuva deste mesmo intervalo de tempo acrescida do volume disponível no reservatório e, somente depois dessa retirada, caso o reservatório esteja cheio, há descarte para rede de drenagem.

Método de Azevedo Netto ou método prático brasileiro

Conforme descreve Azevedo Netto (1991), o dimensionamento dos sistemas de abastecimento de água de chuva envolve os seguintes dados:

- Precipitação anual;
- Número máximo de dias sem chuvas significativas;
- Consumo de água mensal.

O método, também descrito na NBR 15.527/2007, informa que o volume do reservatório de água pluvial é obtido por meio da Equação 3.7.

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad (3.7)$$

onde:

V: volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório (L);

P: precipitação média anual (mm);

A: área de coleta em projeção (m²);

T: número de meses de pouca chuva ou seca.

O método sugere o aproveitamento máximo de 50% da precipitação anual, em função do escoamento superficial assim como de perdas inerentes ao sistema. Portanto, o coeficiente de segurança corresponde à fração mensal referente ao aproveitamento de 50% da precipitação anual, ou seja:

$$V = (50\% \times P)/12 \text{ meses} = 0,042 \times P \quad (3.8)$$

Azevedo Netto (1991) conclui ainda, através do estudo de dados estatísticos relativos a períodos críticos, que tais períodos geralmente são superiores a trinta dias, podendo ultrapassar os sessenta dias em regiões de baixas e irregulares precipitações.

Método prático alemão

É um método empírico apresentado na NBR 15.527/2007, segundo o qual se toma o menor entre os seguintes valores para o volume do reservatório: 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação aproveitável.

$$V_{\text{adotado}} = \text{mínimo entre (V e D)} \times 0,06 \quad (3.9)$$

onde:

V: volume anual de precipitação aproveitável (L);

D: demanda anual de água não potável (L).

Método prático inglês

O método prático inglês se caracteriza por sua origem empírica, fundamentada em certo percentual de aproveitamento da precipitação média anual em relação à área de captação da água. Diferentemente do método prático brasileiro, o método prático inglês não considera na sua formulação o período de seca.

Conforme a NBR 15.527/2007, o volume do reservatório de água pluvial é obtido por meio da Equação 3.10.

$$V = 0,05 \times P \times A \quad (3.10)$$

onde:

P: precipitação média anual (mm);

A: área de coleta em projeção (m²);

V: volume de água aproveitável e o volume de água do reservatório (L).

Por sua vez, o coeficiente de segurança corresponde à fração mensal referente ao aproveitamento de 60% da precipitação anual, ou seja:

$$V = (60\% \times P)/12 \text{ meses} = 0,05 \times P \quad (3.11)$$

Método prático australiano

O Método australiano é um método empírico onde o cálculo do volume do reservatório é realizado por tentativas até que sejam atingidos valores otimizados de confiança e de volume do reservatório (ABNT, 2007).

Segundo o método, quando o reservatório representar a única fonte de abastecimento de água, deverá ser calculada a capacidade necessária para assegurar que o volume de água coletado e armazenado seja suficiente para atender à demanda durante todo o ano, inclusive durante os períodos de baixa ou nenhuma precipitação.

O dimensionamento é feito por meio da Equação 3.12.

$$Q = (A \times C \times (P - I))/1000 \quad (3.12)$$

onde:

C: coeficiente de escoamento superficial, geralmente 0,8;

P: precipitação média do mês (mm);

I: interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2 mm;

A: área de coleta (m²);

Q : volume mensal produzido pela chuva no mês (m^3).

Para se obter o do volume do reservatório, podem ser arbitrados valores de volumes, de forma aleatória ou dimensionados através de outros métodos. Assim sendo, a partir da simulação destes valores analisa-se a respectiva confiança e determina-se o volume do reservatório através da Equação 3.13.

$$V_t = V_{t-1} + Q_t - D_t \quad (3.13)$$

onde:

Q_t : volume mensal produzido pela chuva no mês t (m^3);

V_t : volume de água que está no tanque no fim do mês t (m^3);

V_{t-1} : volume de água que está no tanque no início do mês t (m^3);

D_t : demanda mensal (m^3).

Inicialmente considera-se o reservatório vazio, portanto para o primeiro mês o valor do volume do reservatório será zero. O volume do reservatório (V) é obtido através da análise da relação:

$$V_{t-1} + Q_t - D_t < 0 \rightarrow V_t = 0 \quad (3.14)$$

A escolha do volume do reservatório acontece por meio da análise da confiança através das Equações 3.15 e 3.16.

$$Pr = N_r / N \quad (3.15)$$

$$\text{Confiança} = (1 - Pr) \quad (3.16)$$

onde:

Pr : falha;

N_r : número de meses em que o reservatório não atendeu à demanda, isto é, quando $V_t = 0$;

N : número de meses considerado, geralmente 12 meses.

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

3.3.3.2 Comentários gerais acerca dos métodos de determinação de volumes de reservatórios para aproveitamento de água pluvial

Existem diversos trabalhos que executaram a tarefa de comparar os volumes de reservatórios apontados pelos métodos expostos. Pode-se citar o estudo comparativo realizado por Amorim e Pereira (2008), que apresenta o dimensionamento de volumes de reservatórios calculados por diferentes métodos, podendo chegar a quase 2000% de diferença entre o maior e o menor volume determinado. Há ainda o trabalho de Rupp *et al.* (2011), que também realiza a comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial e percebe-se novamente demasiada variabilidade entre os resultados apresentados, dessa vez a máxima diferença, num mesmo cenário, chegou a mais de 100 vezes entre o maior e o menor volume. Por fim, cita-se ainda um trabalho mais recente, de Souza e Mumbach (2013), que repete a experiência de comparar os métodos para cálculo de volume de reservatórios para SAAP, dessa vez utilizando modelos mais racionais e também o método de Rippl. Os resultados dos autores, como já era esperado, indicam novamente que há grande diferença entre os volumes determinados por diferentes métodos, fazendo-os concluir, dentre outros pontos, que ainda não existe um modelo de dimensionamento ideal.

O que se pode dizer acerca do motivo de haver tanta diferença entre os métodos reside no fato de serem concebidos de forma muito distintas, pois são baseados em diferentes conceitos e premissas.

Os métodos práticos brasileiro, alemão e inglês assumem paradigmas de armazenamento, captação e/ou consumo diferentes e, claramente, os resultados para uma mesma situação também serão diferentes.

Já o método de Rippl parte da ideia de regularização de vazão, que é a compensação hídrica com o armazenamento da água no período chuvoso para ser utilizada no período de estiagem. É um método conservador que não permite falhas no sistema, o que equivale assumir uma confiabilidade de 100%. Por esse motivo retorna sempre os maiores volumes de reservatórios dentre os métodos comparados nos estudos mencionados, o que pode comprometer a viabilidade econômica de implantação do sistema.

Por sua vez, os métodos baseados em simulações/interações ensinam que se deve simular o funcionamento do SAAP para então analisar o comportamento de diferentes volumes e escolher o que mais se adequa ao caso. Entretanto, em geral, sugerem a confiabilidade como indicador a ser analisado, o que pode não ser prático ou aplicável para centros urbanos, já que não há necessidade de altos níveis de confiabilidade para SAAP instalados nesses locais, uma vez que no caso de falhas pode-se utilizar a água potável fornecida pela companhia de saneamento. Sendo assim, os SAAP de centros urbanos funcionam como fontes alternativas de água para fins não potáveis, evitando, dessa forma, seja utilizado água potável para fins que não precisam desse nível de qualidade.

3.4 PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Os parâmetros com maior influência no dimensionamento dos reservatórios dos SAAP são: área de coleta, quantidade de água disponível (precipitação) e demanda. As características principais da área de coleta já foram citadas na seção anterior e os aspectos que se referem à precipitação serão abordados na Seção 3.5, que trata sobre viabilidade técnica. Nesta seção serão tratadas as particularidades referentes à demanda e também a outros parâmetros do sistema com menor influência no dimensionamento dos reservatórios de acumulação dos SAAP.

3.4.1 Demanda de água para fins não potáveis

A água destinada para consumo humano pode ser classificada como potável e não potável. A água classificada como potável é utilizada para beber, preparação de alimentos e higiene pessoal. Já a classificada como não potável é usada para irrigação de jardins, lavagem de veículos, descarga de vasos sanitários etc.

Um dos parâmetros indispensáveis para a determinação do volume do reservatório destinado ao aproveitamento de água da chuva é a demanda de água ao qual este reservatório estará destinado, sendo normalmente utilizado para fins não potáveis, para o caso de áreas urbanas atendidas por SAAP.

Nas Tabelas 3.1 e 3.2 seguem valores para estimativas de demanda de utilização de água para fins não potáveis para usos interno e externo em residências nos EUA.

Tabela 3.1 - Estimativa de demanda residencial de água para uso interno nos EUA.

Uso externo	Unidades	Faixa	
Descarga do vaso sanitário	Descarga/pessoa/dia	4	6
Volume de descarga	Litros/descarga	6,8	18

Fonte: Tomaz (2003).

Tabela 3.2 - Estimativa de demanda residencial de água para uso externo nos EUA.

Uso externo	Unidades	Faixa
Casa com piscina	Porcentagem da água total utilizada (%)	0,1
Gramada ou jardim	Litros/dia/m ²	2
Lavagem de carros: frequência	Lavagem/mês	4
Lavagem de carros	Litros/lavagem/carro	150
Mangueira de jardim 1/2" x 20m	Litros/dia	50
Manutenção de piscina	Litros/dia/m ²	3
Perdas por evaporação em piscina	Litros/dia/m ²	5,75
Enchimento de piscinas	Anos	10

Fonte: Tomaz (2003).

A Tabela 3.3 mostra as demandas médias mundiais para diversos pontos residenciais.

Tabela 3.3 - Estimativa mundial de demanda de água em diversos pontos residenciais.

Local	Atividade	Unidade	Mínimo	Máximo	
Banheiros	Descarga convencional	L/descarga	6	23	
		L/dia	30	115	
	Descarga dupla (urina e fezes)	L/descarga	Urina	0.3	2.5
			Fezes		
	Torneiras	L/min	12	16	
	Lavagem de mãos	L/dia/pessoa	2	8	
	Barbear	L/dia/pessoa	8	19	
	Barbear com a torneira aberta	L/dia/pessoa	76		
	Escovar os dentes	L/dia/pessoa	8	12	
	Escovar os dentes com torneira aberta	L/dia/pessoa	40		
	Chuveiro/banho	L/dia/pessoa	20	50	

Cozinha	Preparo de comida e lavagem de louças à mão*	L/dia/pessoa	15	20
	Preparo de comida e lavagem de louças à mão com a torneira aberta*	L/dia/pessoa	100	150
Área de serviço	Lavagem de roupa à mão	L/lavagem/dia	10	20
	Lavagem de roupa em máquina	L/lavagem	15	250
		L/lavagem	50	
Jardim	Rega de grama	L/m ² de grama	8	10

*Média do Canadá

Fonte: *Wastewater Gardens* (WWG). Disponível em http://www.wastewatgardens.com/pdf/WWG_InfoSheet_InternationalWaterConsump.pdf

A Tabela 3.4 mostra as demandas residenciais por tipo de utilização para a Holanda, de 1976 até 1998.

Tabela 3.4 - Estimativa de demanda de água em diversos pontos residenciais na Holanda, de 1976 a 1998.

Atividade	Unidade	1976	1980	1985	1990	1992	1995	1998
Higiene pessoal	L/pessoa/dia	30.9	41.1	43.6	43.7	57.4	53.8	53.6
descarga sanitária		32	29	32.7	34	42.3	39	36.2
Lavagem de roupas		24.1	22	21.6	22.7	22.5	25.5	23.1
Lavagem de louças		11.9	10.4	11.6	10.2	5.8	5.8	5.7
Preparo de alimento e bebidas		4	4	4	4	2	2	1.7
Outros usos		2	2	3	8	8.2	8.2	7.7

Fonte: RIVM (1999).

Na Tabela 3.5, seguem valores para vazão de utilização de água para fins não potáveis recomendados pela NBR 5.626/1998 – Instalações prediais de água fria.

Tabela 3.5 - Vazão de utilização de água para fins não potáveis, segundo a NBR 5.626/1998.

Aparelho		Peça de utilização	Vazão (L/s)
Bacia sanitária		Caixa de descarga	0,15
		Válvula de descarga	1,70
Mictório cerâmico	com sifão integrado	Válvula de descarga	0,50
	sem sifão integrado	Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15
Mictório tipo calha		Caixa de descarga ou registro de pressão	0,15 por metro de calha

Torneira de jardim ou lavagem em geral	Torneira	0,20
--	----------	------

3.4.2 Outros parâmetros do SAAP

Nesta seção serão apresentados os demais parâmetros de SAAP que, embora com pouca influência no dimensionamento do reservatório de acumulação, são elementos necessários para um projeto adequado e completo de SAAP.

3.4.2.1 Coeficiente de escoamento superficial

Segundo Tomaz (2003), para efeito de cálculo, o volume de água de chuva que pode ser aproveitado não é o mesmo que é precipitado. Para isto usa-se um coeficiente de escoamento superficial chamado de coeficiente de escoamento superficial, que é o quociente entre a água que escoar superficialmente pelo total da água precipitada. Assim, são estimadas perdas que vão de 10% a 33% do volume precipitado. Tais perdas são devidas à interceptação, evaporação, infiltração e outras.

Usa-se a letra C para indicar o coeficiente de escoamento superficial. Os valores para esse coeficiente adotados por Tomaz (2003) são apresentados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Coeficientes de escoamento superficial para diferentes tipos de telhados.

Material	Coeficiente de escoamento superficial
Telhas cerâmicas	0,8 a 0,9
Telhas esmaltadas	0,9 a 0,95
Telhas corrugadas de metal	0,8 a 0,9
Telhas de cimento amianto	0,8 a 0,9
Telhas de plástico	0,9 a 0,95

Fonte: Tomaz (2003)

3.4.2.2 Descarte da água de limpeza do telhado

Como já mencionado, a área de coleta das águas pluviais nas edificações normalmente é o telhado ou laje, desta forma, como a estes lugares existe acesso a pequenos animais, tais como pássaros, ratos, gatos etc, é grande a probabilidade de conterem fezes destes animais ou mesmo seus cadáveres. Além disso, poeira, folhas e galhos de árvores podem ser trazidos pelo vento.

De acordo com Murça (2011), a técnica do descarte da água de limpeza do telhado realmente é eficiente como forma de melhorar a qualidade da água armazenada, uma vez que, segundo seu trabalho, essa técnica viabilizou redução acentuada dos valores de turbidez, cor aparente, cor verdadeira e DBO.

Desta forma, é recomendável o descarte da porção inicial da água que faz a limpeza do(s) telhado(s), especialmente após longo período de estiagem.

Segundo Zolet (2005), o volume de água a ser rejeitado no início das chuvas varia de acordo com o material constituinte do telhado e a quantidade de contaminação do mesmo. A norma NBR15.527/2007 define que o dispositivo de descarte deve ser dimensionado pelo projetista do sistema e que, na falta de dados, tal volume seja, no mínimo, referente à de 2 mm de chuva na área de coleta. Já Khastagir e Jayasuriya (2010) dizem que há necessidade de descartar os primeiros 0,33 mm diários de chuva, enquanto Basinger *et al.* (2010) assumem que se deve descartar 0,4 mm da primeira chuva, após 3 dias de estiagem.

Existem diversos dispositivos que fazem o descarte podendo ser manuais ou automáticos. No caso dos dispositivos manuais, pode ocorrer má operação do mecanismo provocando perdas desnecessárias ou a mistura entre a água reservada e a oriunda da lavagem. Além disso, os dispositivos manuais precisam ser acionados em momentos inconvenientes, ou seja, no início da precipitação.

May (2004) apresentou alguns exemplos de dispositivos para descarte da primeira chuva. Um deles, mostrado na Figura 3.3, refere-se ao reservatório de autolimpeza com torneira boia. Neste dispositivo a água captada é direcionada para o reservatório de autolimpeza, que se encontra vazio. Quando a água atinge uma determinada altura, representando o volume de descarte desejado, a bóia de nível é acionada, realizando o fechamento automático da torneira bóia (válvula). Com isso, a água começa a escoar diretamente para o reservatório de armazenamento. Importante salientar que, para um próximo evento chuvoso, é necessário que o dispositivo esteja vazio para receber uma nova água de lavagem.

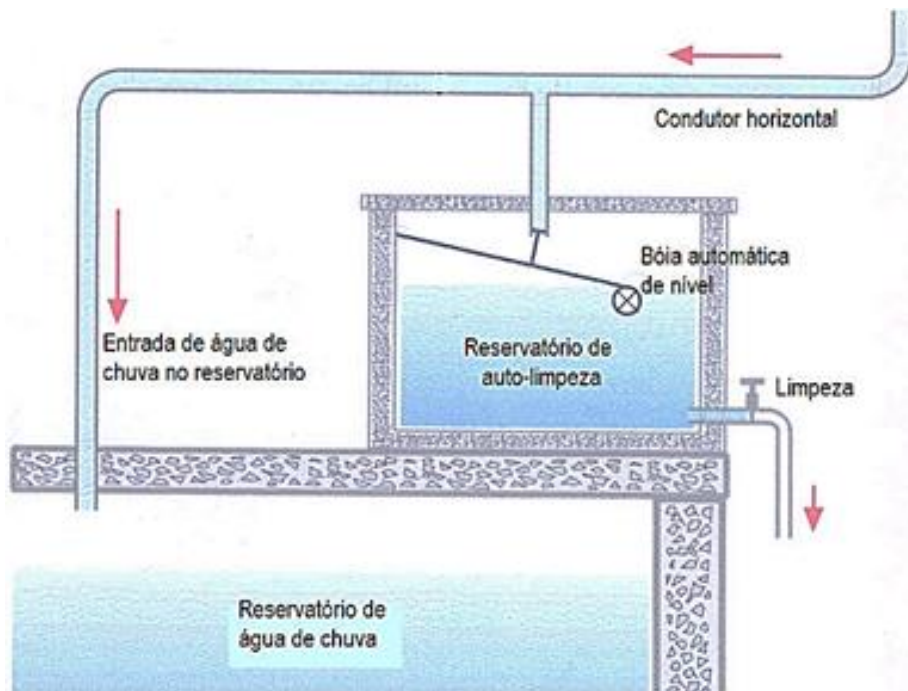


Figura 3.3 - Reservatório de autolimpeza com torneira bóia.
Fonte: May (2004).

3.5 VIABILIDADE TÉCNICA PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

3.5.1 Indicadores

Visando a obter indícios e interpretações mais objetivas acerca da viabilidade técnica de implantação de SAAP, alguns autores definiram indicadores que relacionam parâmetros de projeto utilizados nos SAAP com parâmetros pluviométricos.

Segundo Dixon *et al.* (1999), o indicador eficiência de economia de água é definido como a relação entre a somatória do volume de água de chuva utilizada diariamente em uma edificação e a somatória da demanda diária que pode ser substituída por água da chuva (em geral para fins não potáveis), num determinado período de tempo, conforme mostra a Equação 3.17.

$$E_{eco} = \frac{\sum_{i=1}^T FR_t}{\sum_{i=1}^T D_t} \quad (3.17)$$

onde:

E_{eco} : Eficiência de economia de água;

FR_t : Água de chuva utilizada para suprir a demanda do SAAP, no dia t , em m^3 ;

D_t : Demanda de água de chuva, no dia t , em m^3 .

Palla *et al.* (2011) definem o indicador desperdício de água de chuva como sendo a somatória do volume diário de água de chuva captada que excede a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP dividido pela somatória do volume total de água de chuva captada diariamente, num determinado período de tempo, de acordo com o que é apresentado na Equação 3.18.

$$\text{Desp} = \frac{\sum_{i=1}^T DR_t}{\sum_{i=1}^T Q_t} \quad (3.18)$$

onde:

Desp: Desperdício de água de chuva;

DR_t : Volume de água descartado do reservatório, quando ele se encontra em sua capacidade máxima de armazenamento, no dia t , em m^3 ;

Q_t : Volume de água de chuva captada, no dia t , em m^3 .

3.5.2 Tamanho da série de chuva

Atualmente existem muitos trabalhos que tratam sobre aproveitamento de água pluvial em diversas regiões do mundo. Entretanto poucas publicações buscaram determinar o tamanho da série de chuva necessária para viabilizar análises de sistemas que visem economizar água através do aproveitamento pluvial em edificações.

Existe uma grande variedade nos tamanhos das séries de chuva utilizadas por diversos autores. Zhang *et al.* (2009) consideram séries de 80 anos visando avaliar a viabilidade de SAAP em grandes edifícios residenciais na Austrália. Já no Brasil, Ghisi (2010) utiliza séries de 58, 63 e 64 anos para estimar o potencial de economia de água usando água da chuva em casas localizadas em três cidades do estado de São Paulo. Em outro estudo, Ghisi e Oliveira (2007) usam uma série de 34 anos para analisar SAAP em casas da cidade de Palhoça na região sul do Brasil. Campos e Amorim (2004), também no Brasil, realizaram estudo que levou em consideração séries de chuva de 60 anos para avaliar SAAP em São Carlos/SP.

Em alguns estudos também foram utilizadas séries de chuva com tamanhos menores, como é o caso dos trabalhos de Fewkes (1999) na Inglaterra e no país de Gales e

de Domènech e Saurí (2011) na Espanha, que usaram séries de 20 anos. Ghisi *et al.* (2009) usaram séries de 10 anos e meio para avaliar SAAP para lavagem de carros em estações de petróleo no Brasil. Herrmann e Schmida (1999) usaram séries de 10 anos para avaliação de SAAP na Alemanha. Existem ocorrências de utilização de séries de chuva menores do que 10 anos, como é o caso do trabalho de Wung *et al.* (2006) que analisaram a utilização de SAAP em escolas de Taiwan usando séries de chuva de 5 a 7 anos. Ghisi e Ferreira (2007) realizaram um estudo usando uma série de apenas 3 anos para avaliar o potencial de economia de água utilizando SAAP em edifícios residenciais na cidade de Florianópolis/SC. Villarreal e Dixon (2005) também usaram uma série de chuvas de apenas 3 anos para analisar coleta de chuva em edifícios residenciais na Suécia.

Ghisi *et al.* (2012) realizaram estudo que teve como objetivo analisar a possibilidade de se utilizar séries de chuvas de tamanhos reduzidos para avaliar o potencial de economia de água por meio da utilização de SAAP em residências unifamiliares, assim como a influência do tamanho das séries na determinação do volume do reservatório de acumulação ideal. Os autores concluíram que quanto maior a demanda por água de chuva maior deve ser o tamanho de série a ser utilizada nas simulações. Concluíram também que os tamanhos de séries de chuvas ideais variaram de 1 a 13 anos, sendo de 1 ano para os cenários com menores demandas por água de chuva e 13 anos para o cenário com maior demanda dentre todos os casos analisados no estudo. Para determinar a série ideal considerou-se a série de menor tamanho que apresentasse diferença de 5% ou menos para o valor final de potencial de economia de água quando comparada com este mesmo valor obtido através da série de referência do trabalho, com 36 anos de registros.

3.6 VIABILIDADE ECONÔMICA PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

Conforme já mencionado neste trabalho, desde o advento do PNRH, a água foi definida como bem de domínio público e dotado de valor econômico. Tratando-se de água potável entregue pelas companhias de saneamento, faz-se necessário agregar, ainda, custos provenientes do tratamento utilizado.

Um estudo do custo do metro cúbico de água de chuva para as condições de Salvador, Bahia, mostrou que, para uma residência fictícia com área de telhado de 100 m², o reservatório de 1 m³ é o que proporciona o menor custo, independentemente da demanda para a água de chuva (COHIM & GARCIA, 2009). Para reservatórios entre 0,5 e 3 m³ o

custo do metro cúbico produzido pelo aproveitamento de água de chuva é competitivo para demandas a partir de 40 litros por pessoa por dia (em uma casa com quatro pessoas). Deve-se destacar que na comparação não foram considerados os fortes subsídios presentes na composição do valor da tarifa de água.

Técnicas que permitem avaliar a viabilidade econômica são importantes pois constituem ferramentas para comparação entre alternativas de investimento de um mesmo recurso em outros projetos, possibilitando, assim, justificar a escolha pelo SAAP.

Uma vez que a água possui valor econômico, torna-se natural utilizar ferramentas e indicadores financeiros para avaliar a viabilidade econômica da implantação de SAAP. Além disso, possuir indicadores econômicos que forneçam indícios de viabilidade econômica positiva pode incentivar os usuários a implantarem SAAP.

São exemplos de indicadores financeiros o Valor Presente Líquido (VPL), Tempo de retorno do investimento (*payback*), Taxa Interna de Retorno (TIR) e relação benefício-custo (B/C). Todos amplamente conhecidos em diversas literaturas.

Destaca-se que existem outros critérios que poderiam ser incorporados à análise da viabilidade econômica, como por exemplo os benefícios ambientais e o amortecimento de cheias que podem ser logrados com a implantação de SAAP. Entretanto esses fatores não serão avaliados neste trabalho.

3.7 SISTEMAS DE SUPORTE A DECISÃO

Uma das principais maneiras que os gestores e agentes decisores que atuam na área de recursos hídricos possuem para identificar, prever e avaliar os impactos de planos alternativos ou políticas é através do desenvolvimento de modelos matemáticos.

Segundo Loucks e Costa (1990), programas interativos de computador baseados em gráficos que incorporam modelos matemáticos de otimização e/ou simulação, baseados em regras qualitativas ou algoritmos linguísticos e desenvolvidos para solucionar problemas de locais ou regiões específicas são chamados Sistemas de Suporte. Cada vez mais os Sistemas de Suporte estão sendo desenvolvidos para auxiliar aqueles que estão envolvidos em atividades de assessoramento, planejamento, gerenciamento, operação, projeto, negociação e tomada de decisão que envolvem recursos hídricos.

O Sistema de Suporte à Decisão (SSD) é uma metodologia de auxílio para tomada de decisões que possibilita tratar e resolver os problemas de gestão de recursos hídricos de forma mais rápida e eficiente, ajudando os agentes decisores a escolherem a melhor alternativa de forma mais clara e objetiva.

Ainda segundo Loucks e Costa (1990), os SSD aplicados ao planejamento e gerenciamento de recursos hídricos são desenvolvidos para proporcionar uma melhor forma de se trabalhar com dados e modelos e também para elucidar de maneira clara os dados de entrada e de saída para aqueles que precisam aprender mais sobre os seus problemas e que devem, eventualmente, recomendar ou decidir o que fazer.

Os SSD voltados para problemas associados a recursos hídricos começaram a aparecer no meio da década de 1970, mas apenas na década de 1980 tiveram um impacto significativo no mercado. Nesse período, a abordagem tradicional focou primeiramente no desenvolvimento de modelos para aplicação em problemas particulares e, em seguida, foram agregadas interfaces gráficas amigáveis que permitiram introduzir e editar dados e a exibição de resultados.

Dentro do processo de gestão de recursos hídricos, as decisões devem ser tomadas dentre diversas alternativas existentes. Tais decisões devem ser sustentadas a partir de conhecimentos sólidos sobre os aspectos ambientais, hidrológicos, econômicos, políticos e sociais.

Porto e Azevedo (1997) descreveram que SSD são sistemas computacionais que tem por objetivo ajudar indivíduos que tomam decisões na solução de problemas não estruturados (ou parcialmente estruturados). Os autores informam ainda que qualquer ferramenta que auxilie a tomada de decisão pode ser considerada um SSD.

Braga *et al.* (1998) relataram que a tomada de decisão é um tipo particular de procedimento que resulta na escolha de uma estratégia de ação e que o sistema de processamento de informação pode ser humano, por máquina, ou por sistema contendo a participação de ambos. Segundo Silva (2002) o SSD visa tornar o processo decisório mais ordenado, objetivo e transparente, não obrigatoriamente com as melhores técnicas científicas, mas de tal maneira que seja capaz apenas de elencar e sinalizar as melhores decisões, sem que a escolha no lugar do agente decisor. Nessa mesma linha, um relatório apresentado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2004) salientou que o

SSD é um instrumento potente para auxiliar o decisor na escolha do melhor curso de ação, mas que a finalidade de um SSD não é tomar decisões, mas auxiliá-lo na missão de decidir.

Conforme o número de informações aumenta e as variáveis crescem em complexidade, torna-se necessário desenvolver sistemas mais sofisticados. Dessa forma o agente decisor necessita da assessoria de técnicos especializados e muitas vezes do auxílio de modelos matemáticos para simular determinados cenários para poder ter uma visão do funcionamento dos processos, analisar de forma mais clara os resultados e, por fim, tomar a decisão mais adequada.

Segundo Braga *et al.* (1998), é preciso que os dados de entrada sejam processados eficientemente, rodem os modelos e exponham os resultados em formato fácil de ser interpretado. Tal conjunto pode ser denominado de Sistema de Suporte à Decisão. Assim a diferença entre modelos de simulação e SSD é o alto grau de interação que esse estabelece entre o homem e o computador, possibilitando ao agente decisor controlar diretamente as atividades computacionais e os resultados.

A Figura 3.4 mostra a estrutura típica de um Sistema de Suporte a Decisão apresentada pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2004).

A função dos diversos componentes da Figura 3.4 pode ser resumida como segue:

- **Base de Modelos:** constituída por modelos matemáticos responsáveis por reproduzirem as características do sistema real da maneira mais fiel possível;
- **Base de Dados:** inclui as informações sobre o sistema, alimenta a Base de Modelos e armazena os resultados dos modelos para futuras análises;
- **Módulo de Diálogo:** faz a comunicação entre o usuário e o computador por meio de interfaces.

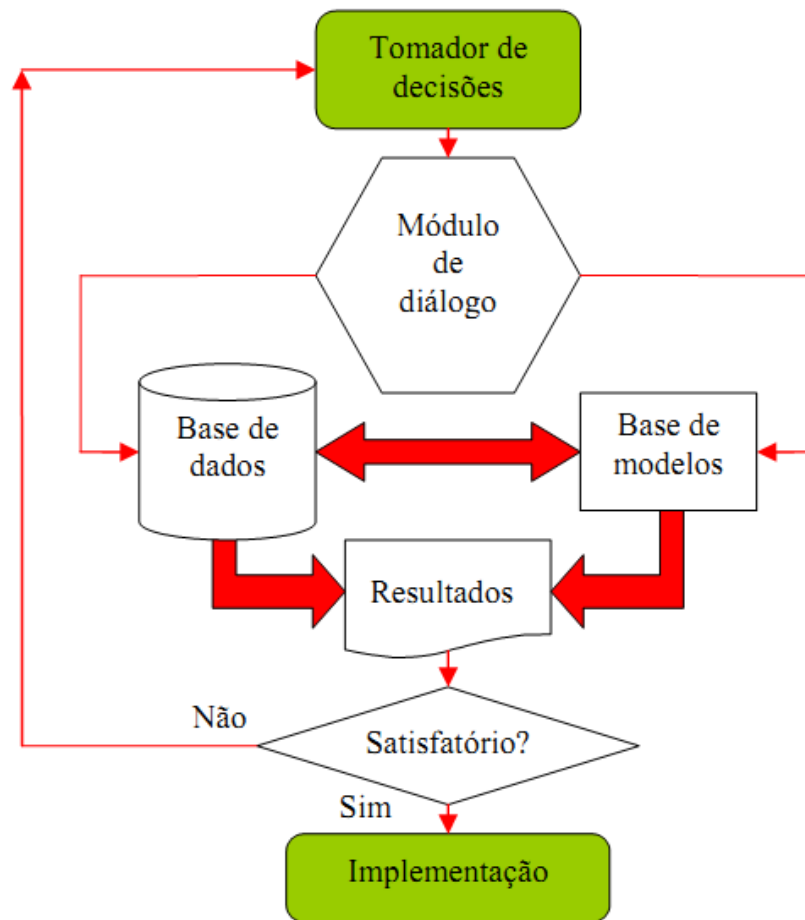


Figura 3.4 - Estrutura típica de um sistema de suporte à decisão.
 Fonte: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (2004).

3.7.1 Exemplos de Sistemas de Suporte à Decisão (SSD) com aplicabilidades voltadas para SAAP

Ghisi *et al.* (2009) criaram o *software* Netuno, que possui aplicação voltada para SAAP. O Netuno considera que a água pluvial é coletada e armazenada em um reservatório para ser utilizada posteriormente, após o seu enchimento. O *software* realiza simulações para uma faixa de volumes de reservatórios definida pelo usuário e, a partir dos potenciais de economia obtidos, calcula o volume para o reservatório de acordo com os critérios estabelecidos pelo usuário.

O Netuno já foi utilizado para analisar potenciais de economia de água potável utilizando modelos comportamentais (CORDOVA e GHISI, 2011), para realizar a comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial (RUPP *et al.*, 2011), além de outros estudos e análises.

Nascimento e Moruzzi (2009) desenvolveram um programa computacional de suporte a decisão para cálculo de volumes de reservatórios de armazenamento em sistemas de captação e aproveitamento de água pluvial em áreas urbanas, REZZ. O *software* em tela é capaz de realizar o dimensionamento de reservatório para SAAP empregando os métodos de cálculo constantes na NBR 15.527/2007 e foi utilizado para o dimensionamento de reservatório de SAAP na cidade de Ponta Grossa/PR (MORUZZI e Oliveira, 2010).

As diferenças entre o SSD apresentado neste trabalho e o Netuno estão basicamente na forma como indicam o volume ótimo do reservatório de acumulação dos SAAP, uma vez que no Netuno os usuários são incumbidos de informar critérios que determinam o ponto de parada para indicação do volume final enquanto que o SSD desta pesquisa analisa o desempenho do sistema e indica automaticamente o volume ótimo mais racional do ponto de vista da eficiência do SAAP. Há diferenças também em como o Netuno realiza a análise de viabilidade econômica, dado que delega parte da análise aos usuários, que precisam calcular os custos de implantação dos SAAP previamente e inseri-los manualmente no *software*. Já o SSD apresentado neste trabalho analisa por completo a viabilidade econômica, por meio de custos e benefícios calculados diretamente em função do volume do reservatório e de seu funcionamento.

Já a diferença com relação ao REZZ é que este realiza o dimensionamento por meio dos métodos apresentados na NBR 15.527/2007, que, como já apontado, apresentam grande variabilidade entre si e, como será observado nos capítulos seguintes, divergem muito do método proposto no SSD apresentado neste trabalho. Cabe destacar também que o REZZ não realiza nenhuma análise econômica.

4 METODOLOGIA

A metodologia traçada por esta pesquisa possui os seguintes passos:

1. Escolha de indicadores de viabilidade utilizados no pré-dimensionamento de reservatórios de SAAP;
2. Proposta do método de simulação para pré-dimensionamento de reservatórios de SAAP com implementação em SSD;
3. Seleção de centros urbanos e de séries históricas de chuva;
4. Estudos de casos e análises dos resultados;
5. Construção de diagramas para pré-dimensionamento padronizado e avaliação da viabilidade de implantação de SAAP nos centros urbanos selecionados.

A metodologia também pode ser analisada através do fluxograma apresentado na Figura 4.1.

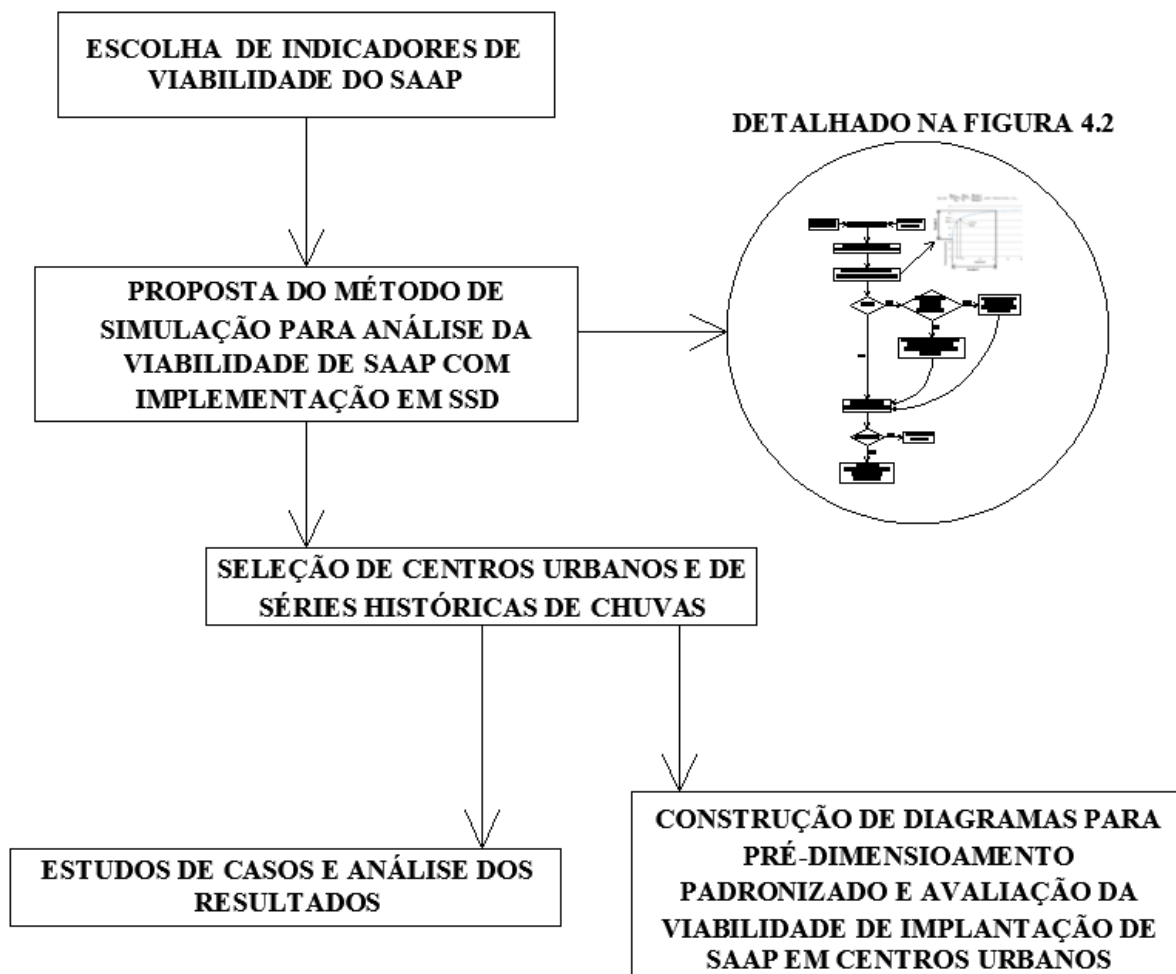


Figura 4.1 - Fluxograma da metodologia utilizada na pesquisa.

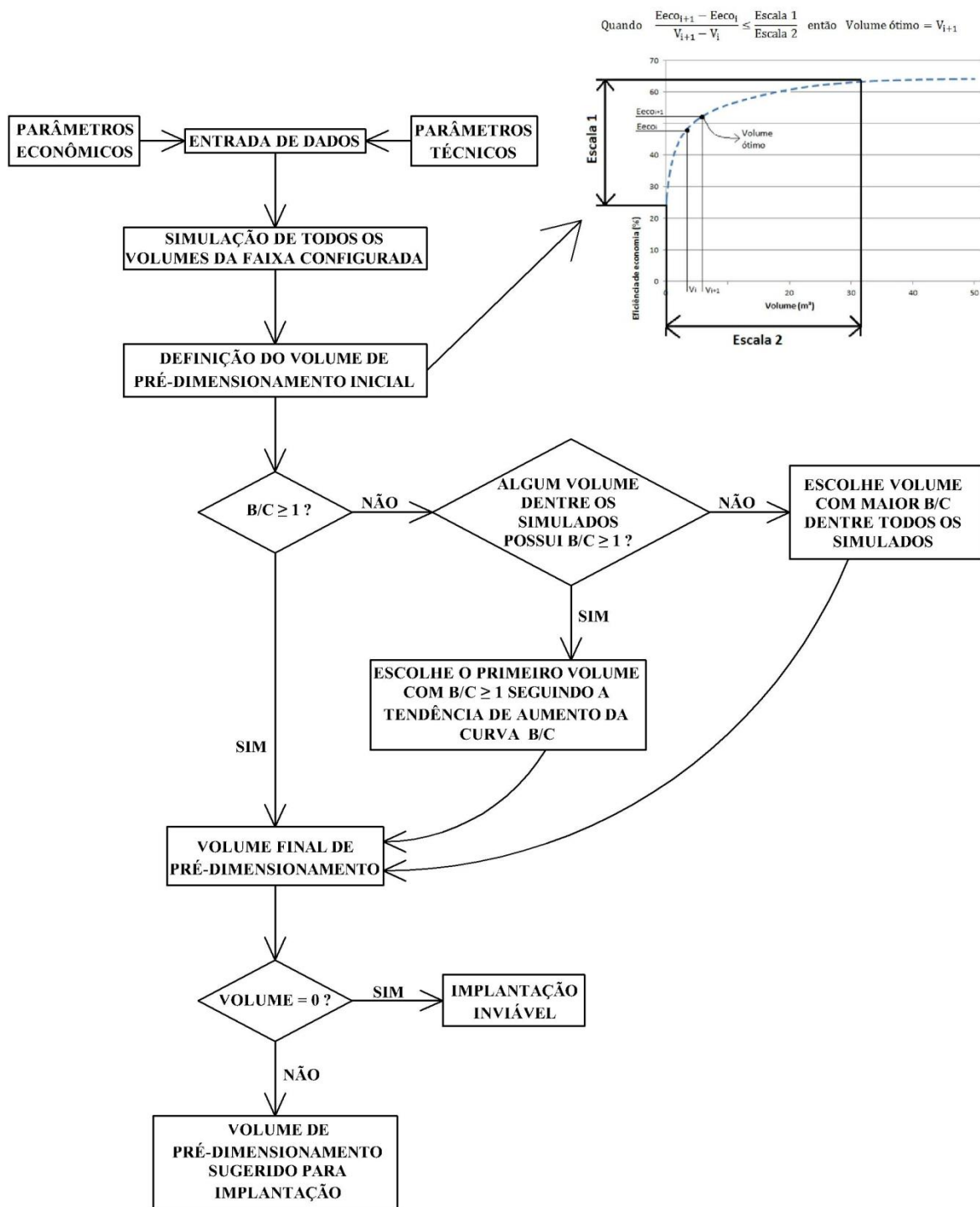


Figura 4.2 - Algoritmo do método proposto.

4.1 DEFINIÇÃO DE INDICADORES DE VIABILIDADE DO SAAP

Tendo procedido com as simulações adequadamente, passa-se a dispor de dados necessários para análises e investigações acerca de indicadores de viabilidade.

Considerando que o objetivo principal deste trabalho foi o de construir uma metodologia capaz de padronizar o dimensionamento de reservatórios e avaliar a

viabilidade de SAAP, a utilização de indicadores de viabilidade é um dos pontos-chave das investigações a que este estudo se propôs.

Os indicadores que fizeram parte da pesquisa se dividem em dois tipos:

- De desempenho;
- Econômicos.

4.1.1 Indicadores de desempenho

Realizaram-se investigações objetivando identificar indicadores que fornecessem indícios acerca da viabilidade técnica do SAAP. Estes indicadores, aqui chamados de indicadores de desempenho, normalmente relacionam parâmetros de projeto utilizados nos SAAP com parâmetros pluviométricos, conduzindo a unidades adimensionais.

Há diversos trabalhos na literatura que fizeram uso ou construíram estes indicadores, dentre os quais podem-se citar os estudos desenvolvidos por Palla *et al.* (2011) e por Dixon (1999). Neste trabalho foram utilizados os seguintes indicadores de desempenho:

- Confiabilidade plena: Quociente entre a quantidade de dias em que o reservatório atendeu a totalidade da demanda diária e a quantidade de dias total da simulação;
- Eficiência de Economia de Água, Eeco, já definido na Seção 3.5.1;
- Desperdício de água de chuva, Desp, já definido na Seção 3.5.1.

Para o caso do indicador de confiabilidade, optou-se por acrescentar o termo “plena” para denotar que se trata de um indicador conservador, uma vez que atualiza-se o contador do nível de confiabilidade somente se o SAAP for capaz de suprir toda a demanda diária.

4.1.2 Indicadores econômicos

Trata-se de indicadores econômicos de análise de projeto comumente utilizados em avaliações de viabilidade econômica de diversos empreendimentos. Existem vários tipos de indicadores econômicos, conforme mencionados no capítulo de fundamentação teórica e revisão bibliográfica.

Para o caso deste trabalho optou-se pelo uso da relação benefício-custo. A utilização desse indicador carece da definição dos valores a serem utilizados para mensurá-lo. Além disso, é importante definir maneiras de calcular os valores referentes aos custos totais associados ao SAAP, compostos pelo investimento inicial e pelos custos de operação e manutenção do sistema. Também é necessário expor com clareza como se definem os benefícios associados ao SAAP, para então calcular relações benefício-custo.

4.1.2.1 Taxa mínima de atratividade

Este parâmetro é utilizado para trazer todos os valores que não estão no momento inicial de implantação do SAAP a valores presentes, como é o caso dos custos com operação e manutenção do sistema e o caso dos benefícios totais. Optou-se por utilizar a mesma taxa utilizada pelas cadernetas de poupança oficiais, definida como 70% da taxa de juros do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (SELIC) mais a Taxa Referencial (TR), nos casos em que a taxa de juros SELIC seja de até 8,5% ao ano. Já no caso da taxa de juros SELIC ser maior do que 8,5% ao ano, as cadernetas de poupança remuneram com 0,5% ao mês mais a TR.

4.1.2.2 Horizonte de tempo do projeto

Neste caso é intuitivo que o tempo a ser considerado na análise seja igual ao tempo médio de vida útil para SAAP. Alguns autores, como May (2004) e Athayde *et al.* (2008) sugerem que o tempo de vida útil deste tipo de sistema é de 20 anos, sendo este o horizonte de tempo de projeto adotado nas simulações realizadas neste trabalho.

4.1.2.3 Custos totais associados ao SAAP

Sabe-se que o maior custo associado ao SAAP é referente à implantação do reservatório de armazenamento. No entanto, há ainda os custos referentes à manutenção e à operação do sistema. Dessa forma, o cálculo dos custos totais deve incorporar estes valores.

Para calcular o custo de construção do reservatório enterrado, incluindo bomba para recalque e reservatório superior de fibrocimento, faz-se uso da tabela de composições de serviços do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Trata-se de um sistema de pesquisa mensal que informa os custos e índices da construção civil e tem o banco Caixa Econômica Federal (CAIXA) e o Instituto Brasileiro

de Geografia e Estatística (IBGE) como responsáveis pela divulgação oficial dos resultados, manutenção, atualização e aperfeiçoamento do cadastro de referências técnicas, métodos de cálculo e do controle de qualidade dos dados disponibilizados pelo SINAPI.

Tem-se ainda que observar que, segundo Tomaz (2003), o custo do SAAP engloba o custo do reservatório em si e também custos contingenciais (projetos, despesas não esperadas, reservatório de autolimpeza, calhas, tubulações e demais dispositivos) estimados em 30% do custo do reservatório. Optou-se por este cálculo estimado para se obter de forma automatizada o custo total do SAAP em função apenas do volume do reservatório, o que é bastante razoável, uma vez que a complexidade e custos dos dispositivos do SAAP aumentam conforme o aumenta-se a demanda do sistema e, portanto, o volume do reservatório.

Além disso, ainda segundo Tomaz (2003), deve-se agregar o custo de manutenção e operação anual de 6% do custo de implantação do SAAP durante todo o tempo de horizonte do projeto. Considerando que a maioria dos SAAP são construídos com reservatório inferior de acumulação e reservatório superior de distribuição, este último com volume e custo muito menor do que o reservatório inferior, o custo de operação representa o valor que deve ser empregado para pagar a energia gasta com o bombeamento da água para o reservatório superior. Já os custos de manutenção representam os recursos que devem ser usados para promover a manutenção preventiva e corretiva do sistema.

O custo total de manutenção e operação do sistema em todo o tempo de horizonte do projeto, trazidos para o valor presente, ou instante inicial, é calculado conforme demonstrado na Equação 4.1.

$$CM_{SAAP} = \sum_{n=1}^{TH} 0,06 \cdot \frac{CC_{SAAP} \cdot (1+i)^n}{(1+j)^n} \quad (4.1)$$

onde:

CM_{SAAP} : custo total de manutenção do SAAP, em R\$;

TH: tempo de horizonte do SAAP, em anos;

CC_{SAAP} : custo de construção do SAAP, em R\$;

i: taxa de aumento anual do custo de construção do SAAP, considerado neste trabalho como a expectativa de aumento dos valores da tabela SINAPI para o tempo de horizonte do SAAP, em % a.a.;

j: taxa de desconto para trazer os custos de manutenção e operação a valores presentes, em % a.a.

Para estimar os custos de operação e manutenção do sistema é necessário corrigir o custo de implantação do reservatório anualmente através do percentual médio de atualização da tabela SINAPI. Além disso, por serem necessários apenas no decorrer do tempo de horizonte do projeto do SAAP, e não no momento inicial de implantação do sistema, devem ser trazidos a valores presentes através de alguma taxa de desconto, que no caso desta pesquisa é igual à taxa mínima de atratividade.

4.1.2.4 Benefícios totais associados ao SAAP

Os benefícios totais associados ao SAAP são equivalentes aos recursos financeiros economizados quando se substitui a utilização da água fornecida por companhias de saneamento por água de chuva durante todo o tempo de horizonte do projeto. Os benefícios representam o volume de água de chuva utilizado para suprir a demanda multiplicado pela tarifa cobrada por esta mesma água, caso fosse fornecida pela companhia na localidade de implantação do SAAP.

Para determinar os benefícios totais é importante observar que a água da chuva utilizada pelo SAAP anualmente é calculada pela multiplicação da demanda de água de chuva anual total pela eficiência de economia de água, conforme mostra a Equação 4.2.

$$A_u = (365,25 \cdot D_t) \cdot Eeco \quad (4.2)$$

onde:

A_u : Água da chuva utilizada pelo SAAP anualmente, em m³;

D_t : Demanda diária de água de chuva, em m³;

$Eeco$: Eficiência de economia de água, em %.

Os benefícios totais são os recursos economizados com a utilização da água aproveitada pelo SAAP e são traduzidos como sendo o volume de água que o sistema

fornece à edificação multiplicado pela tarifa média praticada para serviços de fornecimento de água e coleta e tratamento de esgoto cobrada pela companhia de saneamento. Cabe salientar que o valor da tarifa média deve ser dobrado, pois, ao deixar de usar água fornecida pela companhia o usuário também não pagará pela utilização do serviço de coleta de esgoto. Essa concepção poderá se alterar quando as companhias de saneamento definirem novas regras para cobrança por esgotamento sanitário quando parte da água utilizada na unidade seja oriunda do SAAP. Os benefícios totais são calculados de acordo com a Equação 4.3.

$$BT_{SAAP} = \sum_{n=0}^{TH} \frac{A_u \cdot [2 \cdot T \cdot (1+i)^n]}{(1+j)^n} \quad (4.3)$$

onde:

BT_{SAAP} : Benefícios totais obtidos após o término da vida útil do SAAP, trazidos a valores presentes, em R\$;

A_u : água da chuva utilizada pelo SAAP anualmente, em m^3 ;

TH: tempo de horizonte do SAAP, em anos;

T: tarifa média praticada para serviços de fornecimento de água e coleta e tratamento de esgoto no início do investimento (ano zero), em R\$/ m^3 ;

i: taxa média de aumento da tarifa praticada para serviços de fornecimento de água e coleta e tratamento de, em % a.a.;

j: taxa de desconto considerada para trazer os benefícios dos anos posteriores a valores presentes, em % a.a. Também considerada como a taxa mínima de atratividade.

Importante salientar que, assim como ocorre na atualização dos custos de implantação do SAAP, para calcular os custos de operação e manutenção do sistema, há necessidade de corrigir a tarifa cobrada pela companhia nos cálculos. Neste caso utilizou-se a média histórica de correções observadas para cada região estudada, valores estes que podem ser obtidos através de pesquisa no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2010), mantido e atualizado pela Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades. É ainda necessário trazer os benefícios a valores

presentes, da mesma forma como é feito com os custos de operação e manutenção do SAAP.

4.1.2.5 Relação benefício-custo

A relação benefício-custo é o indicador econômico utilizado neste trabalho e é obtida pela razão entre os benefícios totais e os custos totais associados ao SAAP, de acordo com a Equação 4.4.

$$B/C = \frac{BT_{SAAP}}{\text{Custo de construção} + \text{Custos contingenciais} + CM_{SAAP}} \quad (4.4)$$

4.2 PROPOSTA DO MÉTODO DE SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DA VIABILIDADE DE SAAP

Objetivando promover a análise da viabilidade de implantação de SAAP em centros urbanos, com possibilidade de pré-dimensionamento de seus reservatórios, decidiu-se utilizar o método de análise e simulação de reservatórios com capacidade suposta.

O método foi aplicado a partir de séries de precipitações diárias, com simulação do balanço hídrico do SAAP, de tal maneira a possibilitar maior facilidade em analisar a influência dos diferentes regimes pluviométricos para variados tamanhos de reservatórios e variados cenários de áreas de captação e demanda por água não potável. Além disso, a simulação forneceu os dados necessários para calcular os indicadores de viabilidade econômica e de desempenho.

Para tanto, poder-se-ia fazer uso de diversos métodos de simulação encontrados na literatura, como o caso do estudo realizado por Palla *et al.* (2011), o qual foi utilizado neste trabalho, com uma pequena adaptação que diz respeito ao descarte da água de limpeza do telhado que, embora citado no estudo em referência, não foi considerado no modelo proposto pelos autores. Decidiu-se proceder dessa forma, uma vez que para utilizar a água da chuva para fins não potáveis, esta precisa ser submetida a tratamento capaz de eliminar características de coloração, tornando-a minimamente clara. Com efeito, já há na literatura, como no caso do trabalho de Murça (2011), estudos que comprovam que os descartes possibilitam redução acentuada dos valores de turbidez, cor aparente, cor verdadeira e DBO das águas de chuva aproveitadas.

Embora a NBR15.527/2007 e alguns outros autores, como é o caso de Nascimento e Moruzzi (2009) e Moruzzi *et al.* (2012), sugerirem descartes que variam de 0 a 4 mm, o procedimento adotado nas simulações deste trabalho é o de separar 1 mm da primeira chuva para descarte, após 3 dias de estiagem, pois o objetivo não é o de conferir qualidade próxima à de potabilidade, mas sim apenas qualidade mínima para efeitos estéticos, em geral associados à redução da turbidez, já que o foco de utilização destas águas é para fins não potáveis, como é o caso de descargas em bacias sanitárias e limpeza de pisos e estacionamento. Ademais, resultados apresentados por Murça (2011) indicaram que há pouca redução de turbidez para descartes superiores a 1 mm.

Outro aspecto da simulação importante de ser salientado é o que diz respeito à maneira como são feitos a utilização e o descarte do excesso de água de chuva captada para a rede de drenagem quando o reservatório atinge a sua capacidade máxima. Em geral, as simulações de uso de reservatórios utilizam um dos dois algoritmos: Produção Antes do Enchimento (PAE) e Produção Depois do Enchimento (PDE), conforme descreve Jenkins *et al.* (1978) e posteriormente Fewkes (1999).

Para o caso deste trabalho, considerou-se na simulação o algoritmo PAE, já que o mais usual em sistemas hidráulicos prediais é que o bombeamento de água ocorra de forma automatizada, através de bóias de nível. Assim, sempre que o nível d'água do reservatório superior for reduzido, em função de sua utilização, a bomba é acionada. Dessa forma, podem ocorrer diversos bombeamentos ao longo do dia.

Importante destacar que, segundo Ghisi e Cordova (2011), as simulações que utilizaram os algoritmos PAE e PDE apresentaram resultados pouco diferentes. Isso significa que determinações de volumes ótimos utilizando os dois algoritmos apresentariam diferenças pouco significativas entre si, ou seja, a escolha de um ou outro algoritmo possui pouca influência nos resultados gerados.

A simulação que será utilizada neste trabalho será baseada nas características descritas e no esquema apresentado na Figura 4.3 e nas Equações 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8.

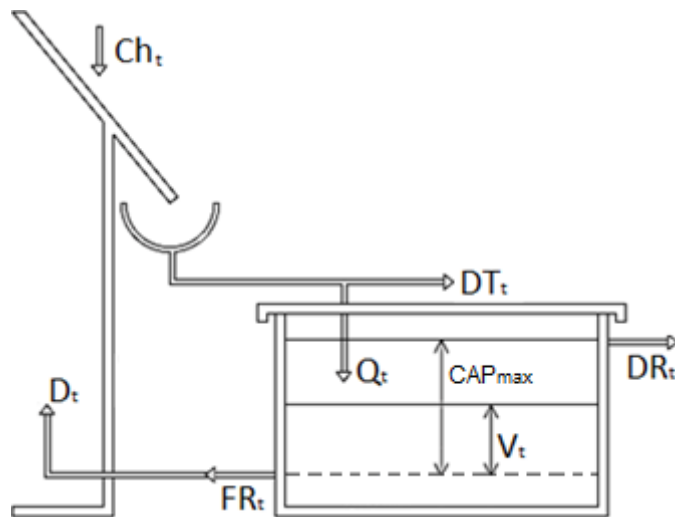


Figura 4.3 - Representação esquemática do SAAP utilizada na simulação de balanço hídrico proposta.

Fonte: Pallas *et al.* (2011), com adaptações.

$$FR_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + Q_t \end{array} \right. \quad (4.5)$$

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - FR_t \\ CAP_{max} \end{array} \right. \quad (4.6)$$

onde:

Q_t : Volume de água de chuva captada, no dia t , em m^3 ;

CAP_{max} : Capacidade máxima do reservatório, em m^3 ;

V_t : Volume útil de água no reservatório, no dia t , em m^3 ;

D_t : Demanda de água de chuva, no dia t , em m^3 ;

FR_t : Água de chuva utilizada para suprir a demanda, no dia t , em m^3 ;

Sendo que o volume de chuva diária aproveitável é relação direta da precipitação diária, conforme se observa na Equação 4.7.

$$Q_t = Ch_t \cdot C \cdot A - DT_t \quad (4.7)$$

onde:

Ch_t : Precipitação no dia t , em m ;

C : Coeficiente de escoamento superficial, adimensional;

A: Área do telhado/cobertura ou de outra superfície utilizada para coleta da água da chuva, em m²;

DT_t: Descarte de água de limpeza do telhado, no dia t, em m³.

Sendo que DT_t é igual a zero se em qualquer um dos três dias anteriores ao dia t tenha chovido.

$$DR_t = \max \left\{ \begin{array}{l} \text{zero} \\ V_{t-1} + Q_t - FR_t - V_{\max} \end{array} \right. \quad (4.8)$$

onde:

DR_t: Volume de água descartado do reservatório, quando ele se encontra em sua capacidade máxima de armazenamento, no dia t, em m³.

4.3 CONCEPÇÃO DE PROGRAMA COMPUTACIONAL DE SUPORTE A DECISÃO PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE SAAP

Visando implementar o método proposto para analisar a viabilidade de SAAP, foi criado um sistema de suporte a decisão (SSD), SARA (Sistema para Aproveitamento Racional de Água). O SARA foi desenvolvido em linguagem de programação orientada a objeto Delphi e promove o dimensionamento preliminar do volume do reservatório de acumulação do SAAP através da análise da viabilidade técnica e econômica de implantação do sistema. A viabilidade técnica contempla tanto os parâmetros de dimensionamento do SAAP quanto a localidade de implantação do sistema, considerando seu regime pluviométrico característico.

Para realizar o pré-dimensionamento do reservatório de acumulação do SAAP, o SARA promove a simulação, com o algoritmo PAE, do balanço hídrico utilizando uma série de chuvas diárias, de qualquer extensão, que deve ser previamente tratada pelo usuário de forma a deixá-la em formato apropriado para inserção no SSD. Esta série deve estar em arquivo em formato CSV (*comma separated value*), facilmente trabalhável por meio de planilhas eletrônicas. Cada valor diário de chuva deve estar em uma linha, de tal forma que o arquivo gerado deve ter disposição vertical, em que cada linha contém o valor total precipitado em um determinado dia. O SARA então lê e armazena o número total de

dias lidos, representando o número de dias em que ocorrerá a simulação de uso do SAAP para diferentes tamanhos de reservatório definidos como dado de entrada do SARA.

Os dados de entrada inseridos pelo usuário são aqueles que se referem aos parâmetros técnicos e econômicos associados ao SAAP:

- a) Demanda de água de chuva (D_t), em m^3 /dia: representa a demanda por água não potável a ser utilizada na edificação em que se pretende implementar o SAAP;
- b) Volume máximo do reservatório (V_{max}), em m^3 : representa o maior volume de reservatório a ser simulado com a série histórica de chuvas. Este será o volume final, e inclusive, da simulação;
- c) Incremento no volume (dV), em m^3 : representa a unidade em que o volume do reservatório será incrementado em cada rodada de simulação da série histórica de chuvas;
- d) Área de captação (A), em m^2 : representa a área de captação (em geral a área do telhado) da edificação em que se pretende implementar o SAAP;
- e) Coeficiente de escoamento superficial (C): trata-se do coeficiente de escoamento superficial adotado para o tipo de material presente na área de captação da edificação em que se pretende implementar o SAAP;
- f) Descarte de água de limpeza do telhado (DT_t), em mm: representa a lâmina d'água descartada para limpeza do telhado em um evento de chuva precedido de três dias de estiagem. Embora o campo esteja apto para edição, em todas as simulações foi utilizado o valor de 1 mm, conforme já explicado.

Uma vez que estas informações tenham sido digitadas no SSD, conforme exemplo da Figura 4.4, devem-se inserir os dados que serão utilizados na análise da viabilidade econômica, que são basicamente os custos unitários para serviços utilizados na construção de reservatórios, presentes da tabela de composições de serviços do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI). Nestes serviços estão inclusos o reservatório superior em fibrocimento e a bomba de recalque. É necessário inserir também a tarifa média de água e esgoto praticada pela companhia de saneamento da região e a sua expectativa de crescimento anual, a taxa mínima de atratividade, a expectativa de aumento dos custos do SINAPI, o tempo de horizonte do projeto a ser considerado nas simulações e o BDI (Bonificações e Despesas Indiretas) no caso de obras públicas. Ver exemplo na Figura 4.5.

Figura 4.4 - Interface gráfica de entrada das características básicas de projeto dos SAAP.

Figura 4.5 - Interface gráfica de entrada das características de análise da viabilidade econômica dos SAAP.

Após inserir todos os dados deve-se proceder com as simulações ao longo das séries de chuvas e para cada um dos tamanhos de reservatórios que serão simulados. Destaca-se que optou-se por sempre simular reservatórios a partir de volume zero, uma vez que, antes de ser uma ferramenta para dimensionamento preliminar de reservatórios de acumulação de SAAP, o SSD é também uma ferramenta para analisar a viabilidade de

implantação de SAAP em centros urbanos. Assim, quando o volume ótimo de acumulação indicado pelo SARA for muito pequeno ou zero deve-se interpretar que o SSD está sinalizando para a inviabilidade de implantação de SAAP na edificação.

O SSD calcula a quantidade de chuva captada (Q_t) por meio da Equação 4.7 e em seguida realiza a simulação utilizando as Equações 4.5 e 4.6 e obtém o volume de água no reservatório ao final do dia t (V_t). Para o primeiro dia de simulação, considera-se o reservatório vazio e para os dias seguintes são realizadas verificações que evitam que sejam atribuídos valores menores do que zero ou maiores do que a capacidade máxima do reservatório, também por meio das Equações 4.5 e 4.6.

Além disso, são calculados os valores referentes à quantidade de água descartada do reservatório (DR_t), o que ocorre quando o volume de água captada num dia de chuva supera a capacidade do reservatório de acumulação, considerando a utilização prevista para aquele dia e o que havia no reservatório no final do dia anterior, conforme Equação 4.8.

Outros parâmetros calculados ao final de cada dia de simulação referem-se à água da chuva utilizada para suprir a demanda do dia (FR_t), calculada por meio da Equação 4.5, e o contador ($cont$) utilizado para calcular a confiabilidade do sistema em suprir toda a demanda diária (confiabilidade plena), conforme Equações 4.9, 4.10 e 4.11.

$$\text{Se } FR_t = D \rightarrow cont_t = cont_{t-1} + 1 \quad (4.9)$$

$$\text{Se } FR_t < D \rightarrow cont_t = cont_{t-1} \quad (4.10)$$

$$\text{Confiabilidade plena} = \frac{\sum cont}{N^\circ \text{ total de dias simulados}} \quad (4.11)$$

Finalmente são atualizados, ao final de cada dia, os valores referentes às somatórias de Q_t , DR_t e FR_t , de tal forma a obter as quantidades totais destes valores após o SARA proceder com todos os dias de simulação.

Os valores das quantidades totais dos valores de Q_t , DR_t e FR_t são então armazenados para serem utilizados para obter os indicadores de desempenho, cujas metodologias de cálculo foram abordadas na Seção 3.5.1.

O SSD então calcula os indicadores de desempenho, que podem ser plotados em variados gráficos, em função do tamanho do reservatório, ou podem ser exportados para planilhas eletrônicas para serem analisados externamente. Os gráficos que podem ser

plotados são Volume do reservatório (m^3) x Eficiência de economia de água, Volume do reservatório (m^3) x Confiabilidade plena, Volume do reservatório (m^3) x Desperdício de água de chuva.

A Figura 4.6 mostra a interface geradora de gráficos em que os indicadores pluviométricos são plotados em várias modalidades.

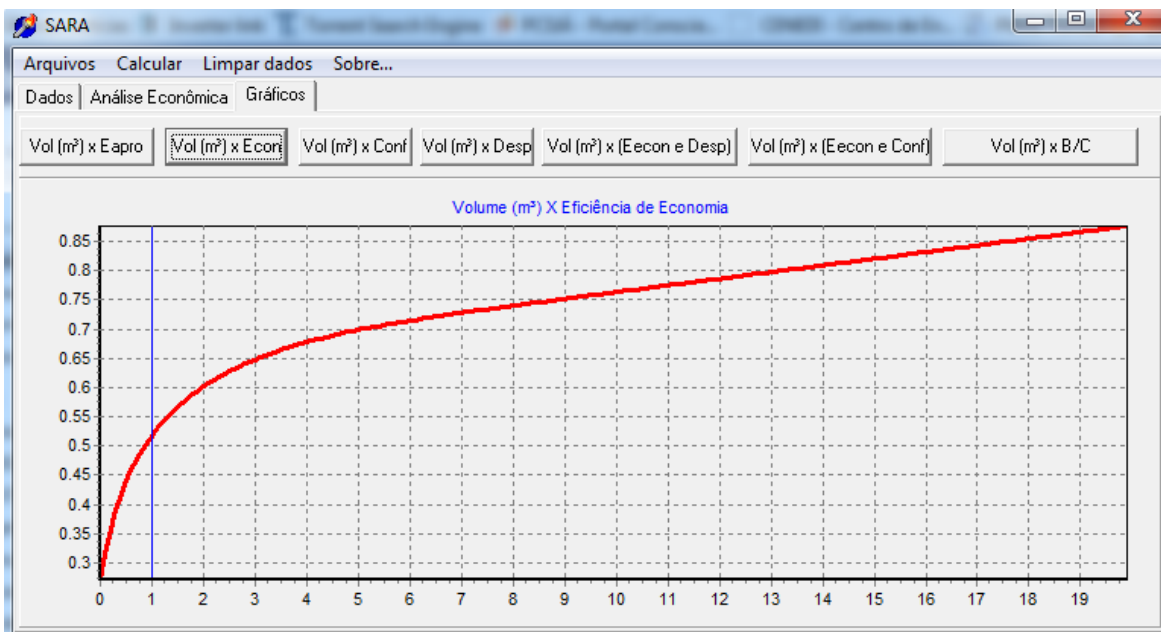


Figura 4.6 - Interface geradora de gráficos do SARA com a curva eficiência de economia de água para diversos volumes do reservatório de SAAP.

Outro aspecto do SARA se refere à análise da viabilidade econômica do SAAP feita com uso da relação benefício-custo. Para tanto, são calculados os benefícios totais e custos associados ao SAAP para cada um dos tamanhos de reservatórios simulados.

Os custos totais associados ao SAAP representam os recursos econômicos gastos na construção, operação e manutenção do sistema e são calculados conforme definido na Seção 4.1.2.3.

O SARA utiliza como modelo para o cálculo dos custos um reservatório enterrado padronizado, com largura e profundidade útil constantes de 2 metros e 1 metro, respectivamente, e comprimento variável de acordo com o volume do reservatório a ser simulado. Dessa forma, com uma largura constante de apenas 2 metros, não há necessidade de pilares intermediários para suportarem a laje superior (cobertura) de concreto do reservatório, ficando esta apoiada apenas nas laterais da caixa monolítica. As Figuras 4.7 e 4.8 representam o esquema em planta e em corte do reservatório enterrado padrão.

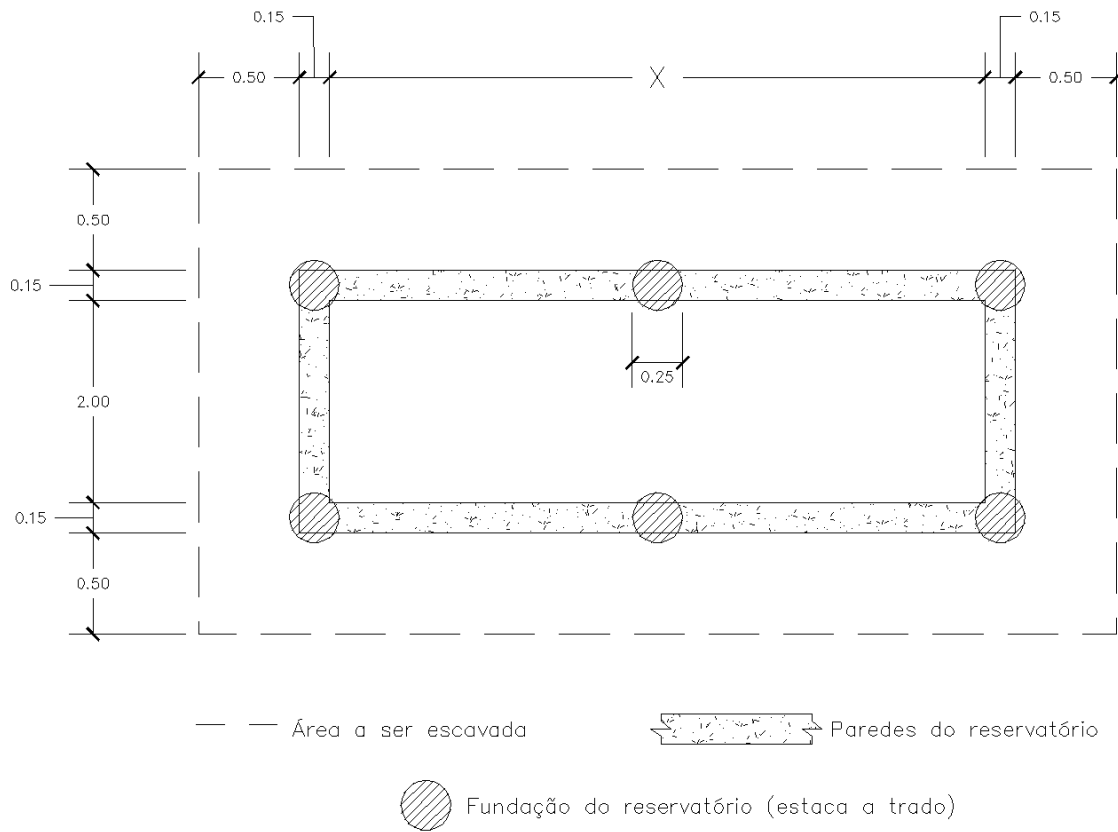


Figura 4.7 - Representação, em planta, do reservatório padrão.

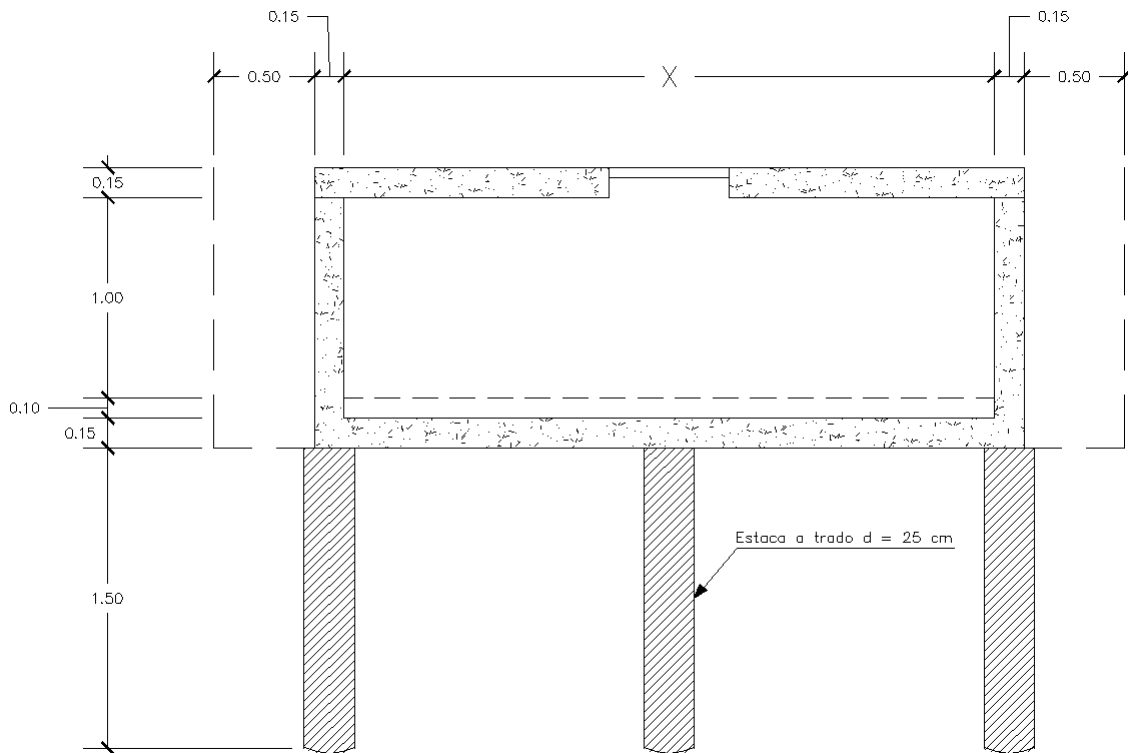


Figura 4.8 - Representação, em corte, do reservatório padrão considerado neste trabalho.

Os serviços necessários para construir o reservatório e a forma de cálculo de seus quantitativos, que são em função do volume do reservatório, seguem na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Lista de serviços para construção de reservatório enterrado e a forma de cálculo de seus quantitativos em função do volume do reservatório

Código SINAPI	Descrição do serviço	Unid.	Forma de cálculo das quantidades (em função do volume do reservatório)
79517/002	ESCAVACAO MANUAL EM SOLO, PROF. MAIOR QUE 1,5M ATE 4,00 M	m ³	$3.3*(1.3+(vol/2))*1.4$
74156/001	ESTACA A TRADO(BROCA) D=25CM C/CONCRETO FCK=15MPA+20KG ACO/M3 MOLD.IN-LOCO	m	se vol <= 4 m ³ = 4*1.5 se vol > 4 m ³ = 1.5*(volume arredondado para número inteiro)
5622	REGULARIZACAO E COMPACTACAO MANUAL DE TERRENO COM SOQUETE	m ²	$2.3*(0.3+(vol/2))$
74164/004	LASTRO DE BRITA	m ³	$2.3*(0.3+(vol/2))$
74007/001	FORMA TABUA P/ CONCRETO EM FUNDACAO C/ REAPROVEITAMENTO 10 X	m ²	$(2*(0.3+(vol/2))*1.4)+(2*2.3*1.4)+(2*(vol/2)*1.1)+(2*2*1.1)+(2*(vol/2))$
73346	CONCRETO ARMADO DOSADO 15 MPA INCL MAT PREPARO E ESCORAMENTO E MAO DE OBRA P/CORTE DOBRAGEM MONTAGEM E LANÇAMENTO	m ³	$(2*(vol/2)*0.15)+(2*2.3*1.4*0.15)+(2*(vol/2)*1.4*0.15)+[(2*(vol/2)*0.15)-(0.6*0.6*0.15)]$
6171	TAMPA DE CONCRETO ARMADO 60X60X5CM PARA CAIXA	un	1
79488	REATERRO MANUAL COM APILOAMENTO MECANICO	m ³	$[(3.3*(1.3+(vol/2)))-(2.3+0.3*(vol/2))]*1.4$
73735/001	RESERV. DE FIBROC. CAP=1000L C/ACESSORIOS	un	1
83486	BOMBA CENTRIFUGA C/ MOTOR ELETRICO TRIFASICO 1CV	un	1

Os custos dos reservatórios são calculados a partir da soma das quantidades de serviços, conforme Tabela 4.1, multiplicadas pelos custos unitários de cada um deles.

Dessa forma, uma vez que os custos totais para implantação do SAAP já tenham sido calculados, busca-se determinar os benefícios totais auferidos pelo sistema, conforme apontado na Seção 4.1.2.4, para então proceder com a análise da viabilidade econômica por meio da relação benefício-custo.

Finalmente, tendo calculados os custos e benefícios totais do SAAP para cada tamanho de reservatório simulado, procede-se com a determinação da relação benefício-custo para cada um deles, conforme definido na Seção 4.1.2.5, fornecendo, dessa maneira, informação importante acerca da viabilidade econômica da implantação do SAAP. A Figura 4.9 mostra a interface geradora de gráficos com a relação benefício-custo plotada para diversos tamanhos de reservatório de SAAP.

Uma vez que todos os indicadores (confiabilidade plena, eficiência de economia de água, desperdício do SAAP e relação benefício-custo) tenham sido calculados para cada tamanho de reservatório simulado, o SSD procede com a sinalização do volume ótimo de pré-dimensionamento.

O procedimento de pré-dimensionamento do reservatório de acumulação do SAAP é composto por duas etapas, a primeira delas utiliza um critério baseado apenas em um

indicador de desempenho, fixando um volume ótimo inicial. Na segunda etapa, este volume ótimo de pré-dimensionamento é submetido à análise da viabilidade econômica.

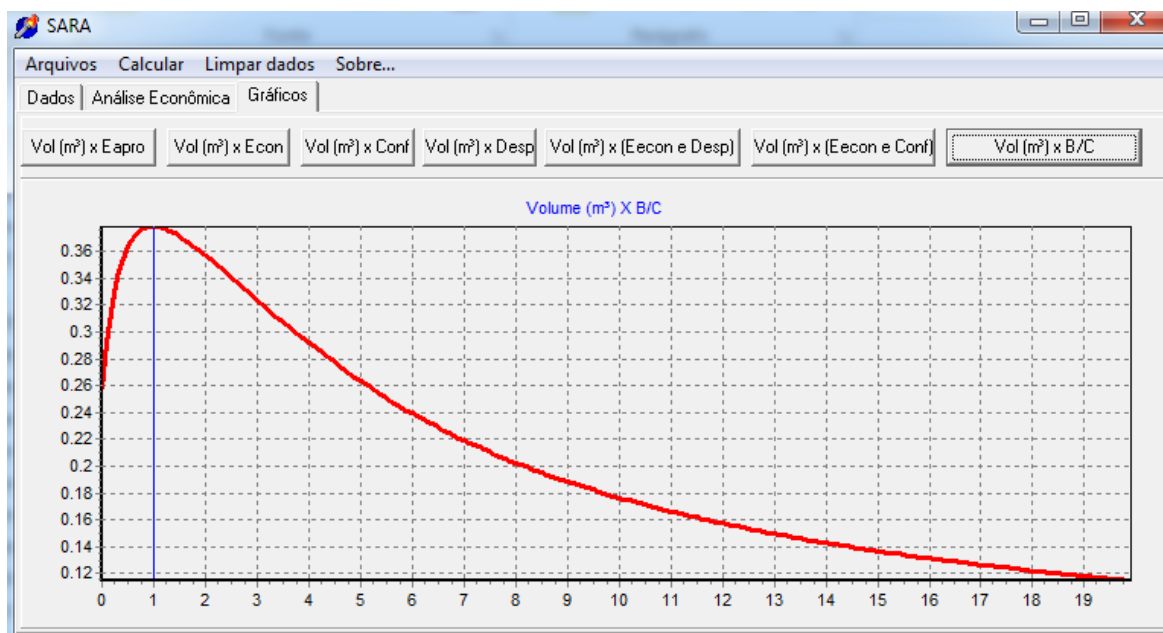


Figura 4.9 - Interface geradora de gráficos com a curva da relação benefício-custo para diversos volumes do reservatório de SAAP.

O procedimento de pré-dimensionamento do reservatório de acumulação do SAAP é composto por duas etapas, a primeira delas utiliza um critério baseado apenas em um indicador de desempenho, fixando um volume ótimo inicial. Na segunda etapa, este volume ótimo de pré-dimensionamento é submetido à análise da viabilidade econômica.

Para determinar o volume ótimo de pré-dimensionamento, o SARA usa o indicador eficiência de economia de água, pois este representa a eficiência de utilização do SAAP. O ponto é fixado através de considerações explicitadas pela Equação 4.12 e pela Figura 4.10, nas quais o volume ótimo de pré-dimensionamento é aquele onde aumentar o volume não representa, proporcionalmente, ganho de eficiência de economia de água. Este ponto fica situado nas proximidades do ponto de curvatura máxima da curva a partir do qual esta apresenta comportamento assintótico.

Numa segunda etapa, este volume ótimo de pré-dimensionamento então é submetido à análise de viabilidade econômica. Optou-se por utilizar a relação benefício-custo como indicador de viabilidade econômica por ser um indicador adimensional, uma vez que índices adimensionais possibilitam análises generalizadas de variados cenários.

Primeiramente o SARA verifica se a relação benefício-custo (B/C) para este volume é maior do que 1 e, em caso positivo, o volume ótimo é mantido. No entanto, caso se verifique que este volume tenha B/C menor do que 1, o SSD vasculha os volumes vizinhos, seguindo a tendência de aumento da curva volume x B/C, até que encontre um volume que possua B/C maior do que 1 e, neste caso, o volume ótimo de pré-dimensionamento é alterado para este outro volume que tem viabilidade econômica. Existe ainda a possibilidade de que nenhum dos volumes simulados tenha B/C maior do que 1. Quando isso ocorre, o SARA fixa como volume ótimo aquele que possua maior B/C dentre todos os volumes simulados.

$$\text{Quando } \frac{E_{\text{eco}i+1} - E_{\text{eco}i}}{V_{i+1} - V_i} \leq \frac{\text{Escala 1}}{\text{Escala 2}} \text{ então Volume ótimo} = V_{i+1} \quad (4.12)$$

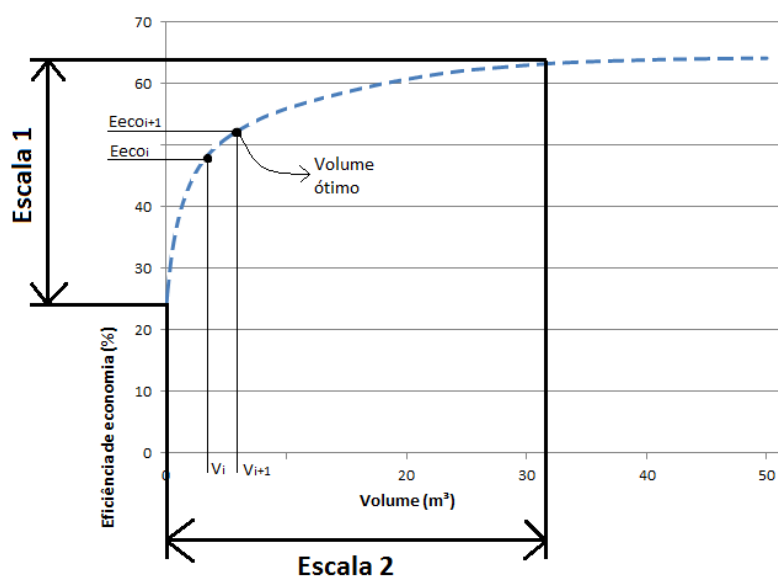


Figura 4.10 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para indicação do volume ótimo de pré-dimensionamento do reservatório de acumulação do SAAP.

4.4 SELEÇÃO DE CENTROS URBANOS E DE SÉRIES HISTÓRICAS DE CHUVAS

Como o objetivo de realizar simulações utilizando a metodologia de pré-dimensionamento e análise de viabilidade implementada no SARA, foram selecionados alguns centros urbanos. Procurou-se selecionar cidades de forma distribuídas no território nacional e em localidades que apresentam regimes de chuva diferenciados entre si. A partir da definição das cidades, foram selecionadas séries de chuva diárias, com o mínimo de falhas dentre as existentes, de 30 anos de extensão. Foram atribuídos valor zero aos dias com falha no registro da chuva.

4.5 ESTUDOS DE CASOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para demonstrar o funcionamento do SARA, foram realizados estudos de casos que consistiram no pré-dimensionamento e análise da viabilidade de implantação de SAAP em três tipos de edificações, para todas as cidades selecionadas.

Os tipos de edificação foram definidos visando exemplificar os resultados para três condições diferenciadas no que diz respeito aos aspectos técnicos do projeto:

- Residência unifamiliar com 4 habitantes e área de captação de 200 m²;
- Edifício residencial de 20 andares-tipo, 4 apartamentos por andar, média de 3 habitantes por unidade, totalizando 240 habitantes e 800 m² de área de captação;
- Edifício público com 15 andares-tipo, 400 funcionários e 500 m² de área de captação.

Os estudos de caso consistiram em implantar SAAP para substituir o uso de água potável em bacias sanitárias e mictórios, pois estes dispositivos são os que mais utilizam água para fins não potáveis, representando sua maior demanda. Assim esta demanda será sempre referenciada neste trabalho como demanda por água não potável.

As estimativas do consumo total de água e da demanda por água não potável foram realizadas de acordo com apontamentos apresentados no capítulo de fundamentação teórica e revisão bibliográfica e conforme segue.

Para determinar o consumo total de água em edificações residenciais, considerou-se que cada habitante de residências unifamiliares consome em média, segundo a SABESP (2012), 150 litros de água por dia. Já para o caso de apartamentos, considerou-se que cada habitante consome em média, também de acordo com SABESP (2012), 200 litros de água por dia. Esta informação é necessária para enquadrar o consumo da edificação na estrutura tarifária adotada pela companhia de saneamento da região estudada.

Para definir a demanda de água para fins não potáveis, considerou-se, conforme indica a Tabela 3.1, que cada habitante aciona a descarga da bacia sanitária em média 5 vezes por dia e que cada acionamento consome em média 12,4 litros de água. Assim a demanda de água para fins não potáveis por habitante é indicada na Equação 4.13.

$$D_{\text{Resid}} = 5 \cdot 12,4 = 62 \approx 60 \text{ L/hab/dia} \quad (4.13)$$

onde:

D_{Resid} : Demanda diária por água não potável em edificações de uso residencial, em L/hab/dia.

Já para determinar o consumo total de água em edifícios públicos, considerou-se que cada funcionário consome em média, segundo a SABESP (2012), 50 litros de água por dia.

Para estimar a quantidade de água usada para fins não potáveis, foi utilizado o levantamento realizado por Kammers (2004), que analisou os usos finais de água em dez edifícios públicos na cidade de Florianópolis/SC. O autor indica que, em média, 72,1% da água consumida nos edifícios públicos analisados é utilizada em bacias sanitárias e mictórios. Assim, a demanda de água para fins não potáveis por funcionário é indicada na Equação 4.14.

$$D_{\text{Pub}} = 50 \cdot 0,721 = 36,05 \approx 35 \text{ L/hab/dia} \quad (4.14)$$

onde:

D_{Pub} : Demanda diária por água não potável em edifícios públicos, em L/func/dia.

4.6 CONSTRUÇÃO DE DIAGRAMAS PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SAAP EM CENTROS URBANOS

Os diagramas foram construídos a partir dos resultados gerados pelo SARA para 400 combinações de cenários de demanda por água não potável, que variou de 0,5 a 20 m³/dia, a cada 0,5 m³/dia, e área de captação, que variou de 100 a 1000 m², a cada 100 m². Estes resultados foram agrupados e consolidados em planilhas eletrônicas, conforme exemplo da Figura 4.11, em que na primeira coluna estão os dados de área de captação, em m², na segunda coluna a demanda por água não potável, em m³/dia, e na terceira coluna o volume ótimo sinalizado pelo SARA, em m³. Em seguida os dados foram inseridos no *software* Surfer (2012) para processamento por meio da técnica de krigagem para criar os diagramas, que são superfícies contínuas aproximadas.

A krigagem é um método de regressão usado em geoestatística para aproximar ou interpolar dados. A técnica consiste em estimar valores médios e também uma medida de

acurácia dessa estimativa. Seus pesos são calculados com base na distância entre a amostra e o ponto estimado na continuidade espacial e no arranjo geométrico do conjunto (BETTINI, 2007).

	A	B	C
48	200	4	5.2
49	200	4.5	5.2
50	200	5	5.3
51	200	5.5	5.1
52	200	6	4.8
53	200	6.5	4.6
54	200	7	4.3
55	200	7.5	4.3
56	200	8	4.2
57	200	8.5	3.9
58	200	9	3.6
59	200	9.5	3.5
60	200	10	3.4
61	200	10.5	3.1
62	200	11	2.6

Figura 4.11: Tabela exemplificativa de dados agrupados e consolidados em planilha eletrônica para posterior inserção no *software* Surfer (2012).

A utilização dos diagramas permite avaliar a viabilidade de implantação e promover o dimensionamento preliminar do volume do reservatório de acumulação do SAAP de forma fácil e expedita, não demandando conhecimentos de alto nível na área de recursos hídricos.

Para cada cidade foram construídos dois tipos de diagrama, um deles que promove o pré-dimensionamento e análise da viabilidade do reservatório de acumulação do SAAP por meio apenas do critério de desempenho e o outro que utiliza tanto o critério de desempenho como também o econômico.

5 RESULTADOS E ANÁLISES

5.1 SELEÇÃO DE CENTROS URBANOS E DE SÉRIES HISTÓRICAS DE CHUVAS

Conforme já exposto no capítulo de metodologia, o primeiro passo para gerar os resultados desta pesquisa foi a seleção de centros urbanos e séries históricas de chuvas. Foram selecionadas dez capitais de estados brasileiros. A seleção procurou escolher cidades bem distribuídas dentro do território nacional, de maneira a tentar obter diferenciação entre os regimes de chuva.

Para obter as séries históricas para as cidades selecionadas, foi utilizado o Sistema de Informações Hidrológicas, HidroWeb, mantido pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2005).

A pesquisa foi realizada dentre as estações pluviométricas de cada um dos municípios escolhidos de tal forma a selecionar as que possuíssem séries históricas com 30 anos de registros diários de chuva e que apresentassem a menor quantidade de falhas (dias sem registros) possível. Em algumas cidades conseguiu-se eleger séries com nenhuma falha, entretanto, para algumas outras capitais foram selecionadas séries com falhas pontuais. As cidades selecionadas com suas respectivas estações pluviométricas podem ser observadas na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Cidades e estações pluviométricas selecionadas.

Cidade	Estação		Coordenadas		Período de dados	Nº de dias sem registro de chuva (falhas)	Tamanho da série
	Código	Nome	Latitude	Longitude			
Belém/PA	00148002	Belém	-1:26:6	-48:26:16	jan/1982 a dez/2011	33 dias	30 anos
Belo Horizonte/MG	01943055	Belo Horizonte (Horto)	-19:54:0	-43:55:0	jan/1982 a dez/2011	10 dias	30 anos
	01547004	Brasília	-15:47:24	-47:55:22	jan/1982 a dez/2011	6 dias	30 anos
Brasília/DF	01547008	ETE Sul	-15:50:29	-47:54:31	jan/1977 a dez/2005	0	30 anos
	01555000	Ponte Alta	-15:24:28	-55:17:48	jan/1971 a dez/2000	49 dias	30 anos
Cuiabá/MT	01556003	Coxipo da Ponte	-15:36:0	-56:6:0	jan/1936 a dez/1965	37 dias	30 anos
	02549002	Curitiba	-25:25:0	-49:18:0	jan/1950 a dez/1979	0	30 anos
Curitiba/PR	02549075	Prado Velho - UCP	-25:27:0	-49:15:0	jan/1982 a dez/2011	0	30 anos
	00338026	Fortaleza Centro	-3:44:0	-38:33:0	jan/1931 a dez/1960	0	30 anos
Fortaleza/CE	00338048	Funceme	-3:44:0	-38:34:0	jan/1978 a dez/2007	0	30 anos
	00360000	Manaus	-3:7:0	-59:57:0	jan/1982 a dez/2011	8 dias	30 anos
Manaus/AM	03051011	Porto Alegre	-30:3:13	-51:10:24	jan/1971 a dez/2000	136 dias	30 anos
Porto Alegre/RS	00834007	Recife (Curado)	-8:3:0	-34:55:0	jan/1982 a dez/2011	12 dias	30 anos
Recife/PE	02346034	Barrocada	-23:25:0	-46:34:0	jan/1968 a dez/1997	0	30 anos
	02346117	São Paulo (Mirante Santana)	-23:30:0	-46:37:0	jan/1982 a dez/2011	0	30 anos
São Paulo/SP							

5.2 ESTUDOS DE CASOS

Com o objetivo de demonstrar o funcionamento do SARA, serão realizados estudos de caso em três tipos de edificações, para cada uma das cidades selecionadas neste trabalho.

O consumo de água total e a demanda por água não potável para cada tipo de edificação que serão usadas nos estudos de caso foram calculados conforme exposto na seção 4.5 e são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Consumo de água total e demanda por água não potável nas edificações dos estudos de caso.

Tipo de edificação	nº habitantes ou funcionários	Consumo de água por pessoa (m ³ /dia)	Consumo de água total da edificação (m ³)		Demanda de água não potável por pessoa (m ³ /dia)	Demanda por água não potável total da edificação (m ³)	
			diário	mensal		diário	mensal
Residência Unifamiliar	4	0.15	0.6	18.3	0.06	0.24	7.3
Edifício residencial	240	0.2	48	1461	0.06	14.4	438.3
Edifício público	400	0.05	20	608.8	0.035	14	426.1

Os parâmetros técnicos de projeto para o pré-dimensionamento de reservatórios de acumulação de SAAP em residência unifamiliar, edifício residencial e edifício público foram considerados, para os presentes estudos de casos, conforme apresentado nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.3, respectivamente.

SARA

Arquivos Calcular Limpar dados Sobre...

Dados | Análise Econômica | Gráficos

Entrada de dados:

Demanda d'água (m³/dia) 0.24

Volume máximo do reservatório (m³) 100

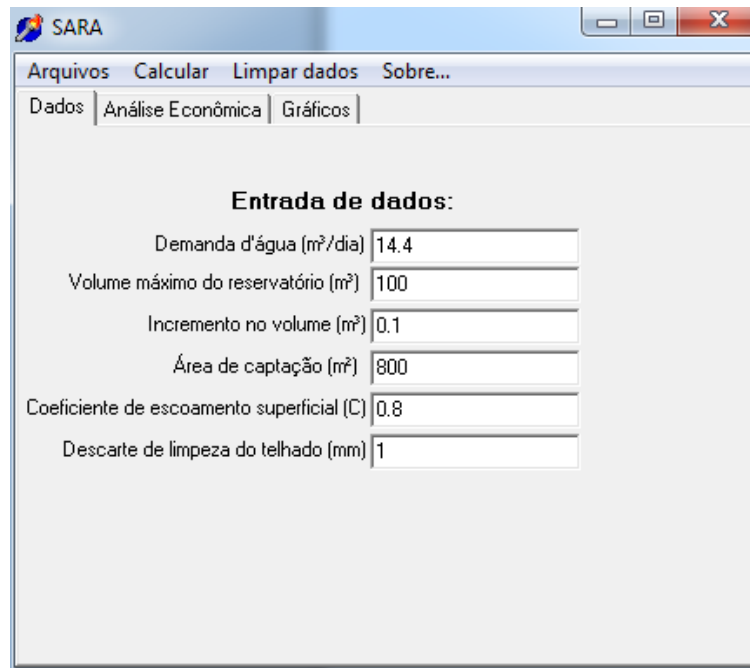
Incremento no volume (m³) 0.1

Área de captação (m²) 200

Coeficiente de escoamento superficial (C) 0.8

Descarte de limpeza do telhado (mm) 1

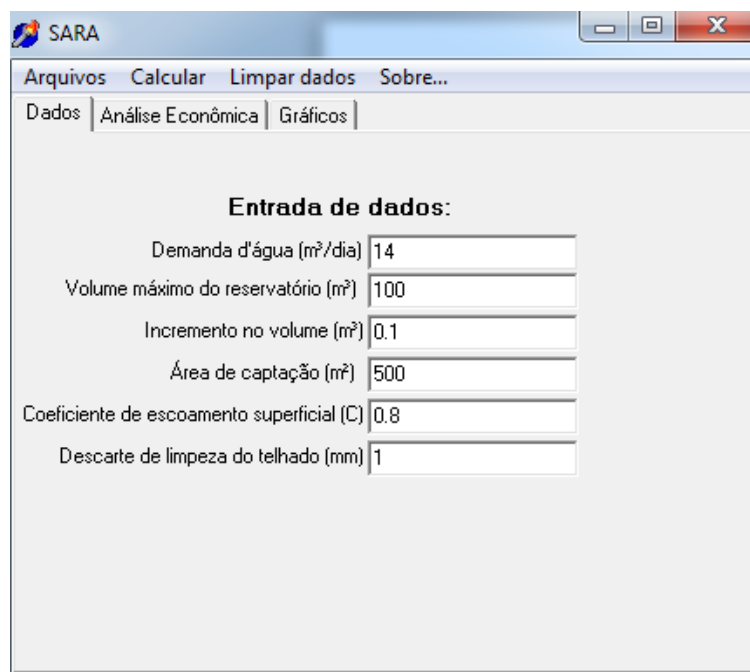
Figura 5.1 - Parâmetros técnicos para pré-dimensionamento de reservatórios de SAAP em residência unifamiliar.



The screenshot shows the SARA software window with the 'Dados' tab selected. The 'Entrada de dados:' section contains the following parameters:

Parâmetro	Valor
Demanda d'água (m³/dia)	14.4
Volume máximo do reservatório (m³)	100
Incremento no volume (m³)	0.1
Área de captação (m²)	800
Coefficiente de escoamento superficial (C)	0.8
Descarte de limpeza do telhado (mm)	1

Figura 5.2 - Parâmetros técnicos para pré-dimensionamento de reservatórios de SAAP em edifício residencial.



The screenshot shows the SARA software window with the 'Dados' tab selected. The 'Entrada de dados:' section contains the following parameters:

Parâmetro	Valor
Demanda d'água (m³/dia)	14
Volume máximo do reservatório (m³)	100
Incremento no volume (m³)	0.1
Área de captação (m²)	500
Coefficiente de escoamento superficial (C)	0.8
Descarte de limpeza do telhado (mm)	1

Figura 5.3 - Parâmetros técnicos para pré-dimensionamento de reservatórios de SAAP em edifício público.

Os custos unitários para calcular o custo total da construção do reservatório enterrado padronizado, utilizado na análise da viabilidade econômica realizada pela SARA,

foram levantados através da tabela SINAPI do mês de março de 2013 para cada uma das cidades elencadas no presente trabalho e são apresentados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Custos unitários para cálculo do custo total de reservatório enterrado padronizado.

Código	Descrição do serviço	Unid.	Belém/PA	Belo Horizonte/MG	Brasília/DF	Cuiabá/MT	Curitiba/PR	Fortaleza/CE	Manaus/AM	Porto Alegre/RS	Recife/PE	São Paulo/SP
79517/002	ESCAVACAO MANUAL EM SOLO, PROF. MAIOR QUE 1,5M ATE 4,00 M	m³	R\$ 22.70	R\$ 23.83	R\$ 22.13	R\$ 23.46	R\$ 29.07	R\$ 20.27	R\$ 22.34	R\$ 22.65	R\$ 24.32	R\$ 31.08
74156/001	ESTACA A TRADO(BROCA) D=25CM C/CONCRETO FCK=15MPA+20KG ACO/M3 MOLD.IN-LOCO	m	R\$ 37.74	R\$ 37.50	R\$ 35.93	R\$ 38.16	R\$ 40.54	R\$ 32.83	R\$ 40.67	R\$ 34.22	R\$ 38.47	R\$ 41.28
5622	REGULARIZACAO E COMPACTACAO MANUAL DE TERRENO COM SOQUETE	m²	R\$ 2.34	R\$ 2.45	R\$ 2.28	R\$ 2.42	R\$ 2.99	R\$ 2.09	R\$ 2.30	R\$ 2.33	R\$ 2.50	R\$ 3.20
74164/004	LASTRO DE BRITA	m³	R\$ 108.69	R\$ 74.64	R\$ 82.08	R\$ 127.54	R\$ 64.58	R\$ 65.17	R\$ 129.46	R\$ 61.20	R\$ 89.75	R\$ 71.40
74007/001	FORMA TABUA P/ CONCRETO EM FUNDACAO C/ REAPROVEITAMENTO 10 X	m²	R\$ 24.19	R\$ 27.94	R\$ 28.18	R\$ 24.47	R\$ 28.86	R\$ 30.60	R\$ 23.95	R\$ 25.91	R\$ 24.75	R\$ 29.82
73346	CONCRETO ARMADO DOSADO 15 MPA INCL MAT PREPARO E ESCORAMENTO E MAO DE OBRA P/CORTE DOBRAGEM MONTAGEM E LANÇAMENTO	m³	R\$ 1,300.00	R\$ 1,405.44	R\$ 1,443.57	R\$ 1,299.20	R\$ 1,383.52	R\$ 1,551.06	R\$ 1,377.80	R\$ 1,318.68	R\$ 1,304.89	R\$ 1,420.51
6171	TAMPA DE CONCRETO ARMADO 60X60X5CM PARA CAIXA	un	R\$ 17.21	R\$ 18.27	R\$ 18.08	R\$ 18.30	R\$ 16.43	R\$ 18.73	R\$ 19.93	R\$ 15.26	R\$ 18.80	R\$ 17.33
79488	REATERRO MANUAL COM APILOAMENTO MECANICO	m³	R\$ 3.76	R\$ 3.75	R\$ 3.85	R\$ 4.08	R\$ 4.74	R\$ 3.31	R\$ 3.74	R\$ 3.63	R\$ 3.96	R\$ 4.95
73735/001	RESERV. DE FIBROC. CAP=1000L C/ACESSORIOS	un	R\$ 487.65	R\$ 521.13	R\$ 552.34	R\$ 472.96	R\$ 505.22	R\$ 510.81	R\$ 485.36	R\$ 524.48	R\$ 563.30	R\$ 533.10
83486	BOMBA CENTRIFUGA C/ MOTOR ELETRICO TRIFASICO 1CV	un	R\$ 804.95	R\$ 667.13	R\$ 625.62	R\$ 740.22	R\$ 799.34	R\$ 684.57	R\$ 636.28	R\$ 740.20	R\$ 685.88	R\$ 793.96

Para determinar as expectativas de aumento médio das tarifas médias de água e esgoto nas cidades selecionadas, foi realizada pesquisa no SNIS através do aplicativo Série Histórica 2010 (SNIS, 2010). Os resultados da pesquisa são mostrados na Tabela 5.4.

Os demais parâmetros econômicos, comuns a todos os casos utilizados nas simulações são:

- Taxa mínima de atratividade: considerada como a remuneração da poupança para o mês de março de 2013, acrescida da média observada para a taxa referencial, equivalendo a 6,98% a.a., conforme apresentado na Tabela 5.5.
- Expectativa de percentual médio de evolução dos preços da tabela SINAPI: equivalente a 8,51% a. a., conforme levantamento realizado e apresentado na Tabela 5.6.
- Tempo de horizonte de projeto: 20 anos, conforme explicado na metodologia.

Tabela 5.4 - Expectativa de reajuste para a tarifa média de água e esgoto nos municípios selecionados.

Cidade	Tarifa média de água e esgoto praticada (R\$/m³)	Reajuste 2006-2007	Tarifa média de água e esgoto praticada (R\$/m³)	Reajuste 2007-2008	Tarifa média de água e esgoto praticada (R\$/m³)	Reajuste 2008-2009	Tarifa média de água e esgoto praticada (R\$/m³)	Reajuste 2009-2010	Tarifa média de água e esgoto praticada (R\$/m³)	Reajuste médio
	2006		2007		2008		2009		2010	
Belém/PA	1.77	6.21%	1.88	5.32%	1.98	0.51%	1.99	-5.03%	1.89	1.75%
Belo Horizonte/MG	2.03	9.85%	2.23	8.52%	2.42	2.89%	2.49	0.40%	2.50	5.42%
Brasília/DF	2.30	6.52%	2.45	4.49%	2.56	1.95%	2.61	6.51%	2.78	4.87%
Cuiabá/MT	1.21	3.31%	1.25	42.40%*	1.78	9.27%	1.95	8.48%	2.11	7.02%
Curitiba/PR	1.78	0.56%	1.79	1.68%	1.82	1.10%	1.84	1.09%	1.86	1.11%
Fortaleza/CE	1.36	3.68%	1.41	9.22%	1.54	4.55%	1.61	9.32%	1.76	6.69%
Manaus/AM	2.33	20.17%	2.80	-0.71%	2.78	1.80%	2.83	-9.19%	2.57	3.02%
Porto Alegre/RS	2.54	3.94%	2.64	7.95%	2.85	7.37%	3.06	3.27%	3.16	5.63%
Recife/PE	1.81	12.71%	2.04	-4.41%	1.95	12.31%	2.19	6.39%	2.33	6.75%
São Paulo/SP	1.93	4.66%	2.02	3.96%	2.10	2.86%	2.16	1.39%	2.19	3.22%

*Não utilizado para o cálculo da média pro se tratar de valor exorbitante

Tabela 5.5 - Determinação da taxa mínima de atratividade.

Ano	TR
2003	4.65%
2004	1.82%
2005	2.83%
2006	2.04%
2007	1.45%
2008	1.63%
2009	0.71%
2010	0.69%
2011	1.21%
2012	0.23%
Média	1.73%
Selic	7.50%
70% da selic	5.25%
Poupança (70% de selic + TR)	6.98%

Fonte: Base de dados do Banco Central do Brasil. Consulta disponível em:

<http://www.bcb.gov.br/?serietemp>

Tabela 5.6 - Expectativa de percentual médio de evolução dos preços da tabela SINAPI.

Ano	Aumento dos custos SINAPI
2001	8.94%
2002	13.42%
2003	14.31%
2004	10.95%
2005	6.98%
2006	5.13%
2007	6.08%
2008	11.73%
2009	5.85%
2010	7.36%
2011	5.65%
2012	5.68%
Aumento médio	8.51%

Fonte: O Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil - SINAPI (Caixa). Consulta disponível em: <https://webp.caixa.gov.br/casa/sinapi/index.asp?menu=8>

5.2.1 Estruturas tarifárias praticadas pelas companhias de saneamento

Nesta seção são apresentadas, para cada um dos municípios estudados, as estruturas tarifárias praticadas pelas companhias de saneamento de cada região para o mês de março de 2013.

5.2.1.1 Belém/PA

A estrutura tarifária praticada pela Companhia de Saneamento do Pará, aplicada para Belém/PA, é apresentada na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia de Saneamento do Pará.

Categoria	Faixa de consumo (m ³)	Tarifa (R\$/m ³)		Tarifa média (R\$/m ³)
		Água	Esgoto	
Residencial	0-10	1.40	0.84	1.12
	11-20	2.00	1.20	1.60
	21-30	2.68	1.61	2.15
	31-40	3.02	1.81	2.42
	41-50	4.18	2.50	3.34
	> 50	5.43	3.26	4.35
Público	0-10	4.18	2.50	3.34
	> 10	5.22	3.13	4.18

5.2.1.2 Belo Horizonte/MG

A estrutura tarifária praticada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais, aplicada para Belo Horizonte/MG, é apresentada na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais.

Categoria	Faixa de consumo (m ³)	Tarifa (R\$/m ³)		Tarifa média (R\$/m ³)
		Água	Esgoto	
Residencial	0 - 6	13.75	12.37	13.06
	> 6 - 10	2.29	2.06	2.18
	> 10 - 15	4.46	4.01	4.24
	> 15 - 20	4.47	4.02	4.25
	> 20 - 40	4.49	4.04	4.27
	> 40	8.24	7.42	7.83
Público	0 - 6	1.99	1.79	1.89
	> 6 - 10	3.32	2.98	3.15
	> 10 - 20	5.72	5.14	5.43
	> 20 - 40	6.91	6.22	6.56
	> 40 - 100	7.00	6.30	6.65
	> 100 - 300	7.02	6.32	6.67
	> 300	7.08	6.37	6.72

5.2.1.3 Brasília/DF

A estrutura tarifária praticada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, aplicada para Brasília/DF, é apresentada na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal.

Categoria	Faixa de consumo (m ³)	Tarifa (R\$/m ³)		Tarifa média (R\$/m ³)
		Água	Esgoto	
Residencial	0 - 10	2.07	2.07	2.07
	11 - 15	3.84	3.84	3.84
	16 - 25	4.91	4.91	4.91
	26 - 35	7.92	7.92	7.92
	36 - 50	8.74	8.74	8.74
	> 50	9.57	9.57	9.57
Público	0 - 10	5.25	5.25	5.25
	> 10	8.67	8.67	8.67

5.2.1.4 Cuiabá/MT

A estrutura tarifária praticada pela Companhia de Saneamento da Capital, aplicada para Cuiabá/MT, é apresentada na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia de Saneamento da Capital.

Categoria	Faixa de consumo (m ³)	Tarifa (R\$/m ³)		Tarifa média (R\$/m ³)
		Água	Esgoto	
Residencial	0 - 10	1.99	1.99	1.99
	11 - 20	2.43	2.43	2.43
	21 - 30	4.06	4.06	4.06
	31 - 40	4.96	4.96	4.96
	> 40	6.57	6.57	6.57
Público	0 - 10	3.88	3.88	3.88
	11 - acima	6.35	6.35	6.35

5.2.1.5 Curitiba/PR

A estrutura tarifária praticada pela Companhia de Saneamento do Paraná, aplicada para Curitiba/PR, é apresentada na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia de Saneamento do Paraná.

Categoria	Faixa de consumo (m ³)	Tarifa (R\$/m ³)		Tarifa média (R\$/m ³)
		Água	Esgoto	
Residencial	0 - 10	2.19	2.19	2.19
	> 10 - 30	3.28	3.28	3.28
	> 30	5.59	5.59	5.59
Público	0 - 10	3.93	3.93	3.93
	> 10	4.42	4.42	4.42

5.2.1.6 Fortaleza/CE

A estrutura tarifária praticada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará, aplicada para Fortaleza/CE, é apresentada na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia de Água e Esgoto do Ceará.

Categoria	Faixa de consumo (m ³)	Tarifa (R\$/m ³)		Tarifa média (R\$/m ³)
		Água	Esgoto	
Residencial	0 - 10	2.00	2.21	2.11
	11 - 15	2.56	2.82	2.69
	16 - 20	2.74	3.01	2.88
	21 - 50	4.68	5.15	4.92
	> 50	8.24	9.07	8.66
Público	0 - 15	2.89	3.19	3.04
	16 - 50	4.25	4.67	4.46
	> 50	6.78	7.46	7.12

5.2.1.7 Manaus/AM

A estrutura tarifária praticada pela companhia Águas do Amazonas S.A., aplicada para Manaus/AM, é apresentada na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 - Estrutura tarifária adotada por Águas do Amazonas S.A.

Categoria	Faixa de consumo (m ³)	Tarifa (R\$/m ³)		Tarifa média (R\$/m ³)
		Água	Esgoto	
Residencial	0 - 10	2.36	2.36	2.36
	11 - 20	4.57	4.57	4.57
	21 - 30	6.98	6.98	6.98
	31 - 40	9.51	9.51	9.51
	41 - 60	10.97	10.97	10.97
	> 60	12.50	12.50	12.50
Público	0 - 12	10.91	10.91	10.91
	> 12	14.97	14.97	14.97

5.2.1.8 Porto Alegre/RS

A estrutura tarifária praticada pela Companhia Rio-Grandense de Saneamento, aplicada para Porto Alegre/RS, é apresentada na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia Rio-Grandense de Saneamento.

Categoria	Faixa de consumo (m³)	Tarifa (R\$/m³)		Tarifa média (R\$/m³)	Categoria	Faixa de consumo (m³)	Tarifa (R\$/m³)		Tarifa média (R\$/m³)
		Água	Esgoto				Água	Esgoto	
Residencial	0 - 20	3.86	2.70	3.28	Público	0 - 21	4.38	3.07	3.73
	21	3.98	2.78	3.38		22	4.52	3.17	3.84
	22	4.11	2.87	3.49		23	4.66	3.27	3.97
	23	4.24	2.97	3.60		24	4.82	3.38	4.10
	24	4.38	3.07	3.72		25	4.98	3.49	4.24
	25	4.53	3.17	3.85		26	4.99	3.50	4.24
	26	4.69	3.28	3.99		27	5.00	3.50	4.25
	27	4.86	3.40	4.13		28	5.00	3.51	4.26
	28	5.04	3.52	4.28		29	5.18	3.63	4.41
	29	5.05	3.53	4.29		30	5.19	3.64	4.42
	30	5.24	3.67	4.45		31	5.38	3.77	4.58
	31	5.26	3.68	4.47		36	5.63	3.95	4.79
	36	5.52	3.86	4.69		41	5.68	3.98	4.83
	41	5.60	3.91	4.76		46	5.95	4.17	5.06
	46	5.88	4.11	5.00		51	6.24	4.37	5.31
	51	5.95	4.16	5.05		101	7.28	5.10	6.19
	101	7.03	4.92	5.98		151	7.56	5.30	6.43
	151	7.36	5.15	6.26		201	7.75	5.43	6.59
	201	7.59	5.31	6.45		301	7.97	5.59	6.78
	301	7.88	5.51	6.69		501	8.16	5.72	6.94
501	8.14	5.69	6.92	1001	8.54	5.99	7.27		
1001	8.25	5.77	7.01	2001	8.68	6.08	7.38		
2001	8.25	5.77	7.01	9001	9.57	6.71	8.14		
9001	8.43	5.90	7.16						

5.2.1.9 Recife/PE

A estrutura tarifária praticada pela Companhia Pernambucana de Saneamento, aplicada para Recife/PE, é apresentada na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia Pernambucana de Saneamento.

Categoria	Faixa de consumo (m³)	Tarifa (R\$/m³)		Tarifa média (R\$/m³)
		Água	Esgoto	
Residencial	0 - 10	2.76	2.76	2.76
	> 10 - 20	3.17	3.17	3.17
	> 20 - 30	3.77	3.77	3.77
	> 30 - 50	5.18	5.18	5.18
	> 50 - 90	6.14	6.14	6.14
	> 90	11.79	11.79	11.79
Público	0 - 10	3.92	3.92	3.92
	> 10	5.95	5.95	5.95

5.2.1.10 São Paulo/SP

A estrutura tarifária praticada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, aplicada para São Paulo/SP, é apresentada na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 - Estrutura tarifária adotada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

Categoria	Faixa de consumo (m ³)	Tarifa (R\$/m ³)		Tarifa média (R\$/m ³)
		Água	Esgoto	
Residencial	0 - 10	1.63	1.63	1.63
	11 - 20	2.55	2.55	2.55
	21 - 50	6.37	6.37	6.37
	> 50	7.02	7.02	7.02
Público	0 - 10	2.45	2.45	2.45
	11 - 20	4.77	4.77	4.77
	21 - 50	9.18	9.18	9.18
	> 50	9.54	9.54	9.54

5.2.2 Estudos de caso para edificações do tipo residência unifamiliar

Para cada uma das cidades em análise são apresentados os estudos de caso para edificação do tipo residência unifamiliar, cujos parâmetros técnicos já foram definidos anteriormente.

Os enquadramentos nas estruturas tarifárias de cada região foram realizados para cada município estudado, considerando o consumo total mensal para residências unifamiliares, a demanda por água não potável e o potencial de economia de água da região para a tipologia da edificação. Assim a tarifa média a ser considerada em cada cidade é apresentada na Tabela 5.17.

Tabela 5.17 - Tarifas médias adotadas para realização dos estudos de caso para edificação do tipo residência unifamiliar.

Tarifa média adotada (R\$/m ³)				
Belém/PA	Belo Horizonte/MG	Brasília/DF	Cuiabá/MT	Curitiba/PR
1.60	4.24	3.84	2.43	3.28
Fortaleza/CE	Manaus/AM	Porto Alegre/RS	Recife/PE	São Paulo/SP
2.69	4.57	3.28	3.17	2.55

5.2.2.1 Belém/PA

O estudo de caso realizado para a cidade de Belém é apresentado de forma mais pormenorizada do que os dos demais municípios para que seja possível demonstrar os procedimentos desenvolvidos pelo SARA até a determinação do volume ótimo de pré-dimensionamento do reservatório de acumulação do SAAP.

A série histórica utilizada nos estudos de casos de Belém/PA é a única apresentada para esta cidade na Tabela 5.1, obtida por meio da estação Belém (00148002). A série possui registros diários de janeiro de 1982 a dezembro de 2011 e possui apenas 33 dias sem registros, aos quais são atribuídos valor zero pelo SARA durante as simulações.

Após proceder com as simulações e analisando detalhadamente o procedimento de obtenção do volume ótimo de pré-dimensionamento, observa-se que o SARA obteve como primeira estimativa, utilizando apenas o critério de desempenho, o volume de 1,6 m³. Para isso o SARA definiu que o valor da variável Escala1 é de 0,3757 e o valor da variável Escala2 é de 9,6 m³, seguindo os critérios apresentados na Figura 4.10. A partir daí o SARA realizou a verificação imposta pela Equação 4.12 para cada tamanho de reservatório simulado, indicando o volume ótimo conforme é mostrado numericamente na Equação 5.1.

$$\text{Como } \frac{0,9563-0,9525}{1,6-1,5} \leq \frac{0,3757}{9,6} \text{ então Volume ótimo} = V_{i+1} = 1,6 \text{ m}^3 \quad (5.1)$$

Após isso, o SARA verificou se a relação benefício-custo para o volume ótimo indicado é maior do que 1 e constatou que é de apenas 0,244. Sendo assim, procedeu com uma varredura em todos os tamanhos de reservatórios simulados em busca de algum volume, maior ou menor, que possuísse B/C acima do que 1. Feito isso, o SARA verificou que nenhum tamanho de reservatório possuía esta característica e, sendo assim, definiu como volume ótimo aquele com a maior relação benefício-custo dentre todos os simulados, que no caso em tela é 0,5 m³, com B/C de 0,28, confiabilidade plena de 83,2% e desperdício de água de chuva de 84,8%, sendo este o volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA. Os gráficos das Figuras 5.4 e 5.5 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

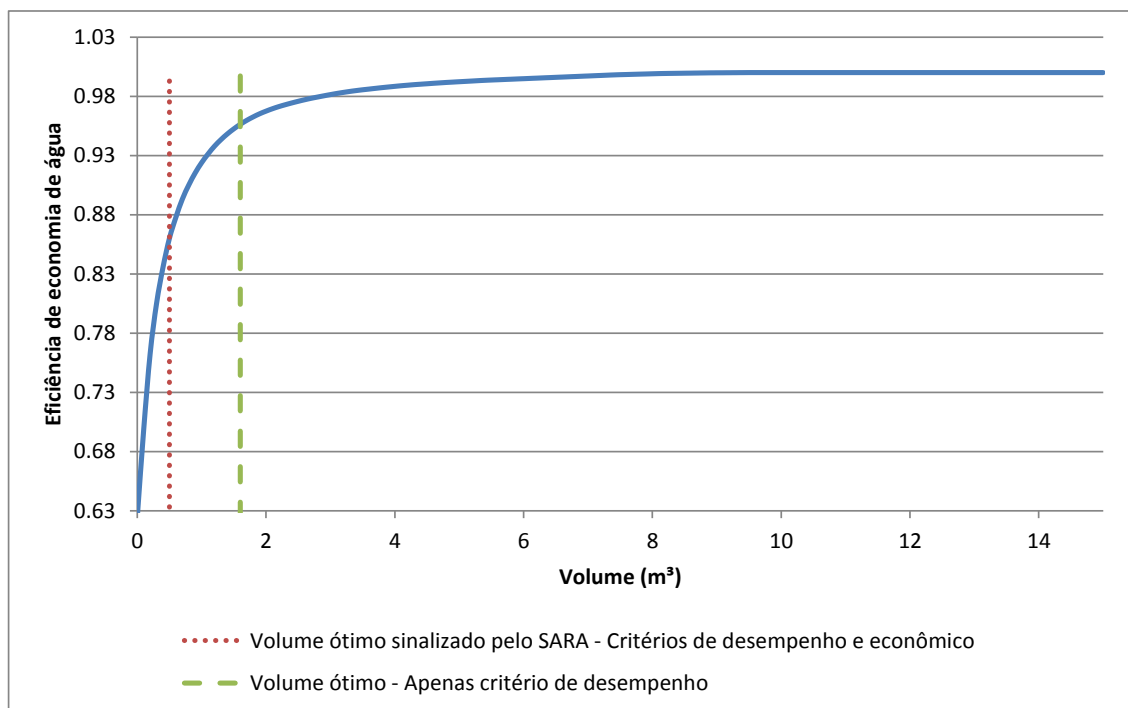


Figura 5.4 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Belém/PA.

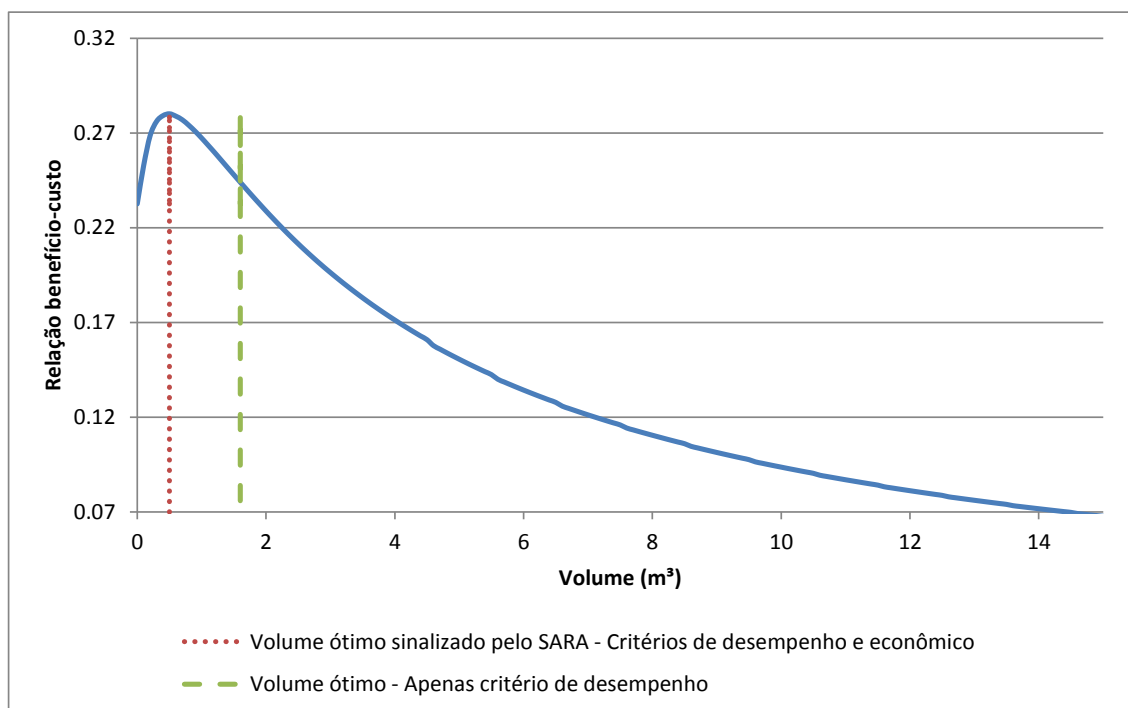


Figura 5.5 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Belém/PA.

Conforme pode ser visto na Figura 5.4, a eficiência de economia de água para o volume fixado utilizando apenas o critério de desempenho é de aproximadamente 95%.

Isso significa que em média 95% da demanda diária poderia ser suprida pelo SAAP caso fosse este o volume adotado. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 100%, apenas 5% acima do alcançado pelo volume fixado pelo SARA usando somente o critério de desempenho, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 9,5 m³.

5.2.2.2 Belo Horizonte

A partir da cidade de Belo Horizonte/MG os estudos de casos serão apresentados de maneira mais expedita, uma vez que os procedimentos já foram exaustivamente descritos nos estudos de casa para a cidade de Belém/PA.

A série histórica utilizada nos estudos de casos de Belo Horizonte/MG é a única apresentada para esta cidade na Tabela 5.1, obtida por meio da estação Belo Horizonte (Horto) (01943055). A série possui registros diários de janeiro de 1982 a dezembro de 2011 e possui apenas 10 dias sem registros, aos quais são atribuídos valor zero pelo SARA durante as simulações.

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 1,2 m³ como volume ótimo de pré-dimensionamento, com relação benefício-custo de 0,514, confiabilidade plena de 51,2% e desperdício de água de chuva de 82,1%. Para chegar a este valor o SARA alterou o volume inicialmente designado utilizando apenas o critério de desempenho, já que este possuía B/C menor do que 1. O SARA então procurou algum volume dentre os simulados que possuísse relação benefício-custo maior ou igual a 1 e, uma vez que não encontrou nenhum, fixou como volume ótimo de pré-dimensionamento aquele que possuía a maior relação benefício-custo dentre todos os volumes simulados. Os gráficos das Figuras 5.6 e 5.7 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

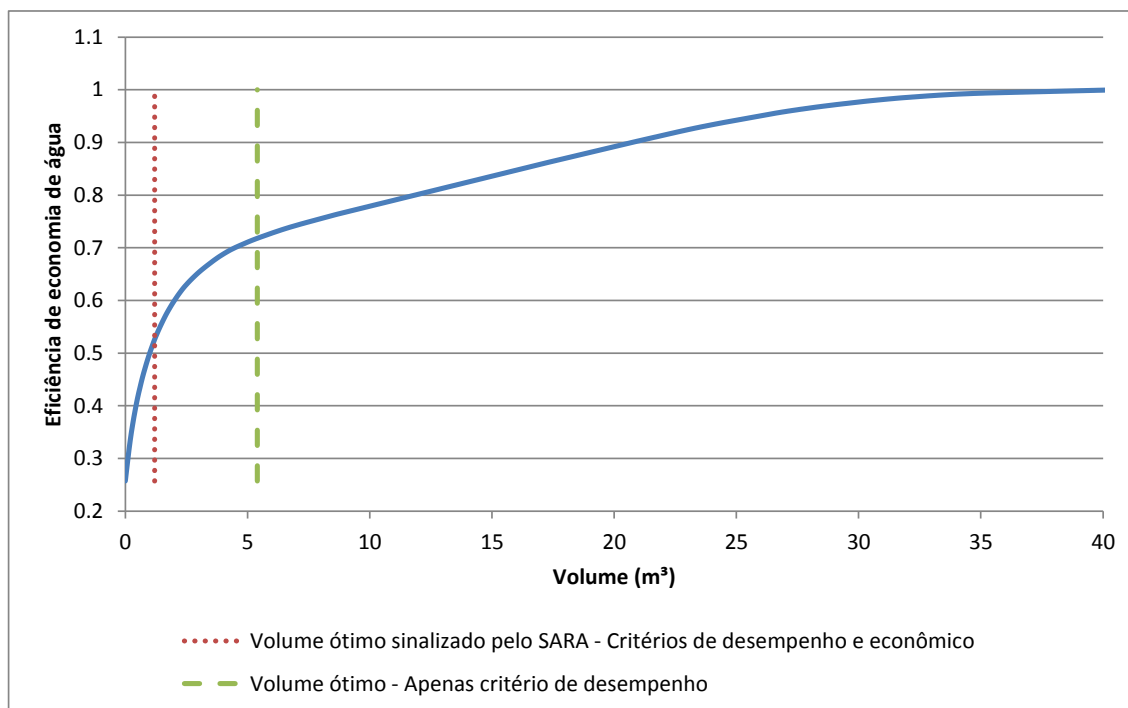


Figura 5.6 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Belo Horizonte/MG.

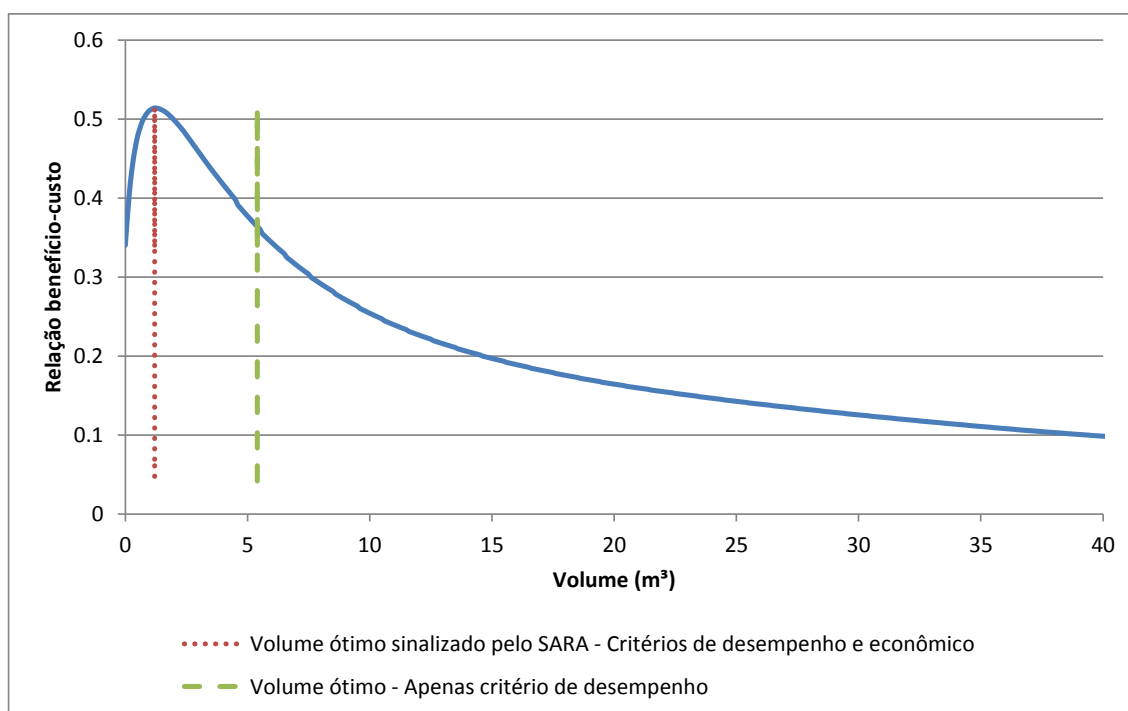


Figura 5.7 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Belo Horizonte/MG.

Conforme pode ser visto na Figura 5.6, a eficiência de economia de água para o volume fixado utilizando apenas o critério de desempenho é de aproximadamente 72%. Isso significa que em média 72% da demanda diária poderia ser suprida pelo SAAP caso

fosse este o volume adotado. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 100%, ou seja, 28% acima do alcançado pelo volume fixado pelo SARA usando somente o critério de desempenho, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 35 m³, pois o ganho de eficiência a partir daquele volume é muito pequeno.

5.2.2.3 Brasília/DF

A série histórica utilizada nos estudos de casos de Brasília/DF foi obtida por meio da estação ETE Sul (01547008). A série possui registros diários de janeiro de 1977 a dezembro de 2005 e não possui falhas de registro.

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 1 m³ como volume ótimo de pré-dimensionamento, com relação benefício-custo de 0,453, confiabilidade plena de 50,3% e desperdício de água de chuva de 60,5%. Para chegar a este valor o SARA alterou o volume inicialmente designado utilizando apenas o critério de desempenho, já que este possuía B/C menor do que 1. O SARA então procurou algum volume dentre os simulados que possuísse relação benefício-custo maior ou igual a 1 e, uma vez que não encontrou nenhum, fixou como volume ótimo de pré-dimensionamento aquele que possuía a maior relação benefício-custo dentre todos os volumes simulados. Os gráficos das Figuras 5.8 e 5.9 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

Conforme pode ser visto na Figura 5.8, a eficiência de economia de água para o volume fixado utilizando apenas o critério de desempenho é de aproximadamente 70%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 100%, ou seja, 30% acima do alcançado pelo volume fixado pelo SARA usando somente o critério de desempenho, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 40 m³, pois o ganho de eficiência a partir daquele volume é muito pequeno.

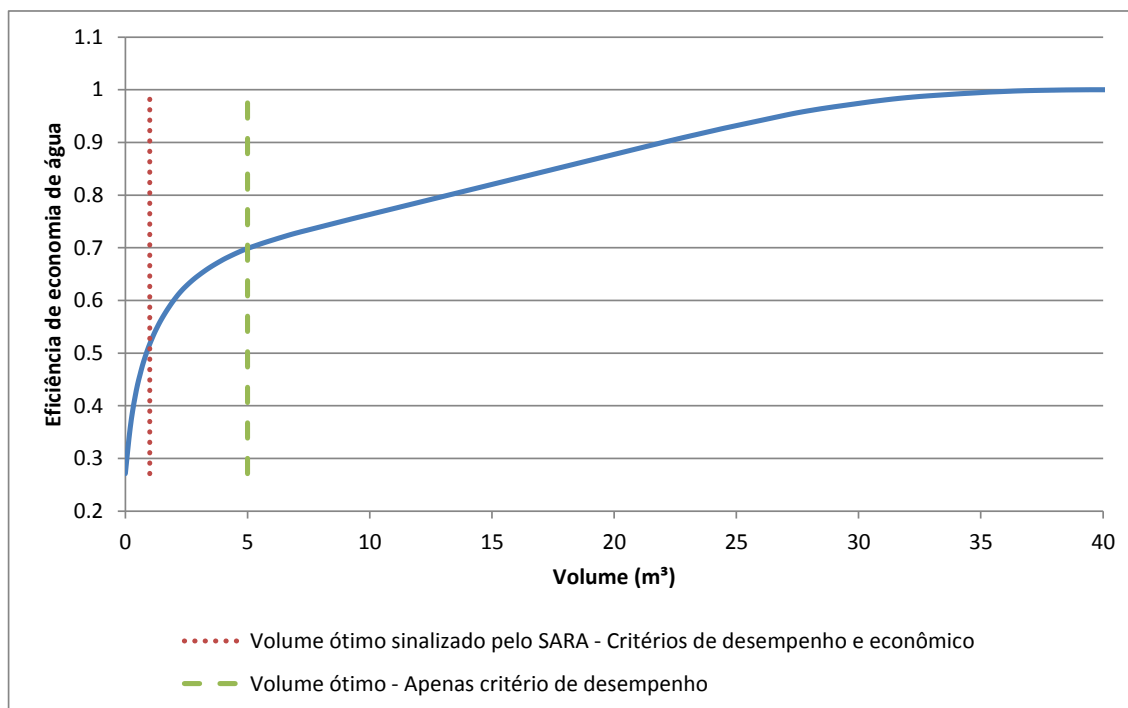


Figura 5.8 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Brasília/DF.

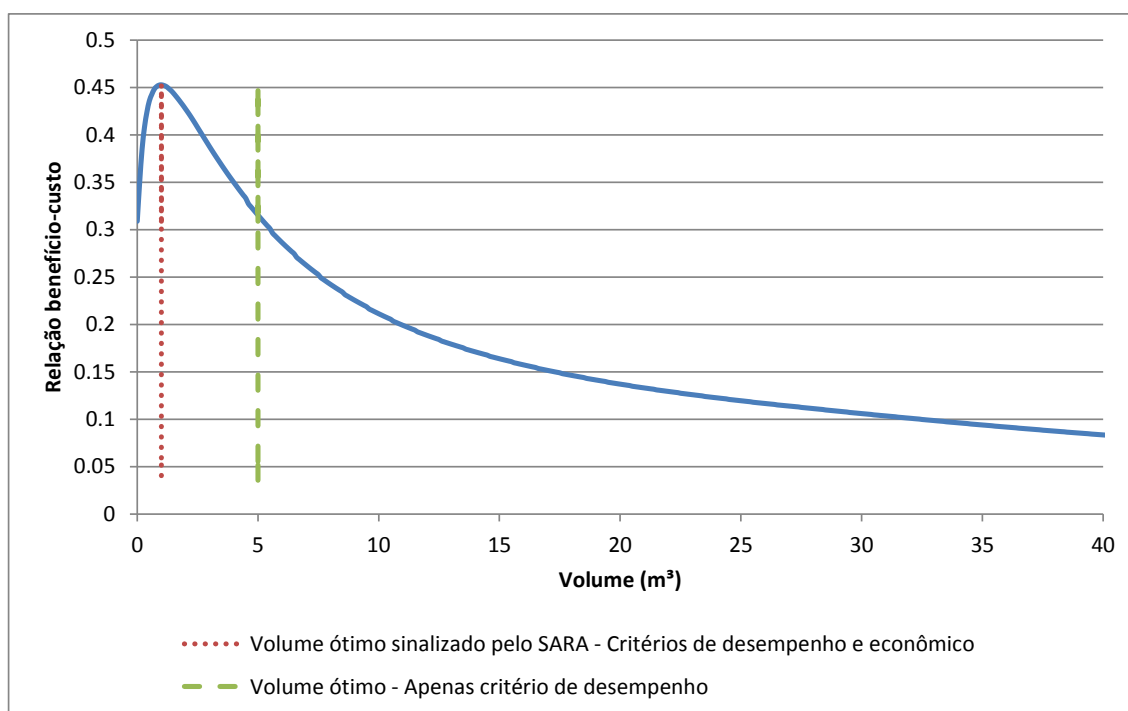


Figura 5.9 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Brasília/DF.

5.2.2.4 Cuiabá/MT

A série histórica utilizada nos estudos de casos de Cuiabá/MT foi obtida por meio da estação Ponte Alta (01555000). A série possui registros diários de janeiro de 1971 a

dezembro de 2000 e possui 49 dias sem registros, os quais são atribuídos valor zero pelo SARA durante as simulações.

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 1 m³ como volume ótimo de pré-dimensionamento, com relação benefício-custo de 0,424, confiabilidade plena de 60,2% e desperdício de água de chuva de 81%. Para chegar a este valor o SARA alterou o volume inicialmente designado utilizando apenas o critério de desempenho, já que este possuía B/C menor do que 1. O SARA então procurou algum volume dentre os simulados que possuísse relação benefício-custo maior ou igual a 1 e, uma vez que não encontrou nenhum, fixou como volume ótimo de pré-dimensionamento aquele que possuía a maior relação benefício-custo dentre todos os volumes simulados. Os gráficos das Figuras 5.10 e 5.11 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

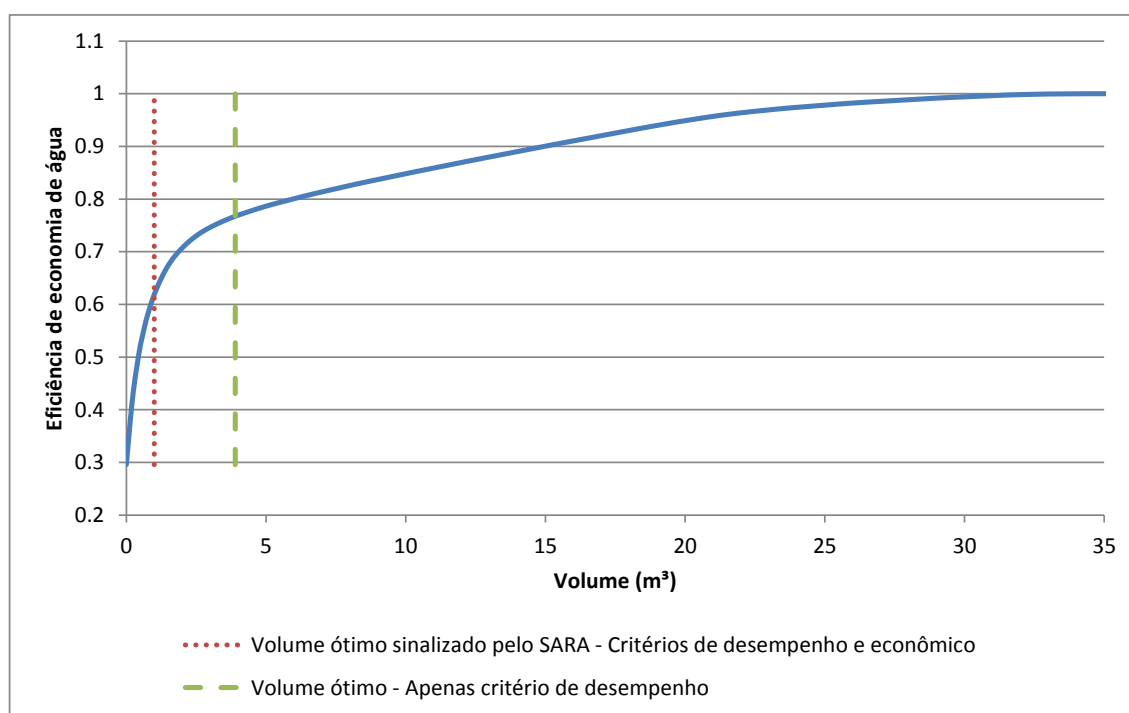


Figura 5.10 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Cuiabá/MT.

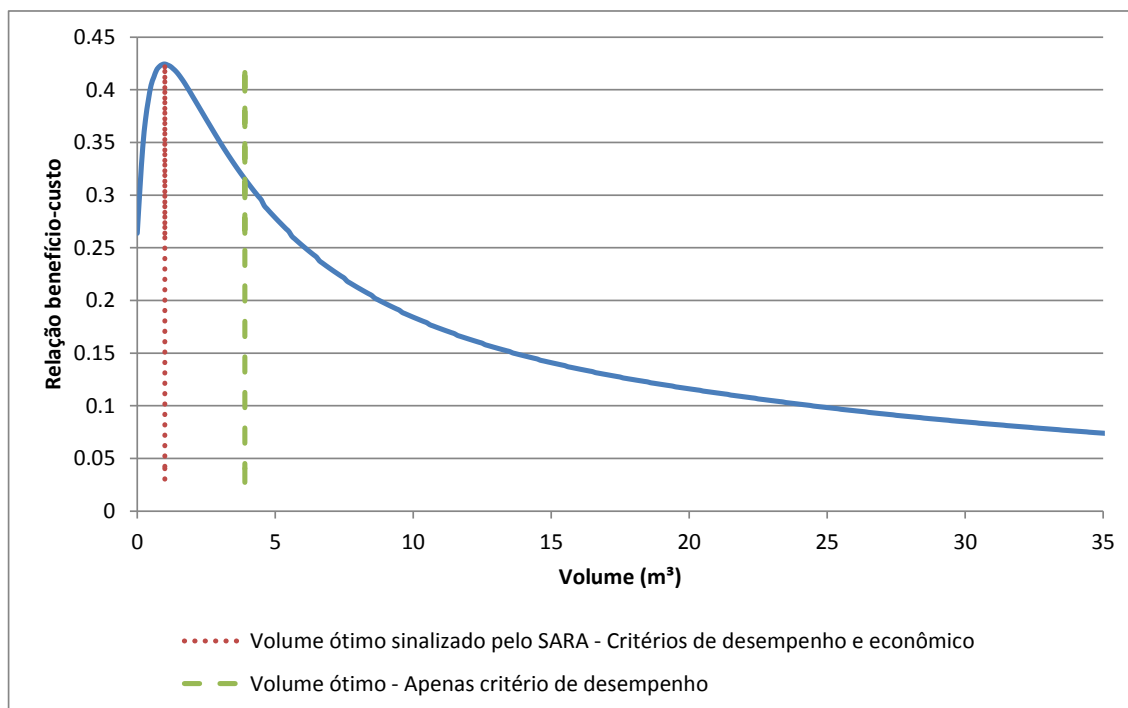


Figura 5.11 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Cuiabá/MT.

Conforme pode ser visto na Figura 5.10, a eficiência de economia de água para o volume fixado utilizando apenas o critério de desempenho é de aproximadamente 76,7%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 100%, ou seja, 23,3% acima do alcançado pelo volume fixado pelo SARA usando somente o critério de desempenho, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 35 m³, pois o ganho de eficiência a partir daquele volume é muito pequeno.

5.2.2.5 Curitiba/PR

A série histórica utilizada nos estudos de casos de Curitiba/PR foi obtida por meio da estação Prado Velho – UCP (02549075). A série possui registros diários de janeiro de 1982 a dezembro de 2011 e não possui falhas de registro.

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 1,3 m³ como volume ótimo de pré-dimensionamento, com relação benefício-custo de 0,366, confiabilidade plena de 69,2% e desperdício de água de chuva de 72,8%. Para chegar a este valor o SARA alterou o volume inicialmente designado utilizando apenas o critério de desempenho, já que este possuía B/C menor do que 1. O SARA então procurou algum volume dentre os simulados que possuísse relação benefício-custo maior ou igual a 1 e, uma vez que não

encontrou nenhum, fixou como volume ótimo de pré-dimensionamento aquele que possuía a maior relação benefício-custo dentre todos os volumes simulados. Os gráficos das Figuras 5.12 e 5.13 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

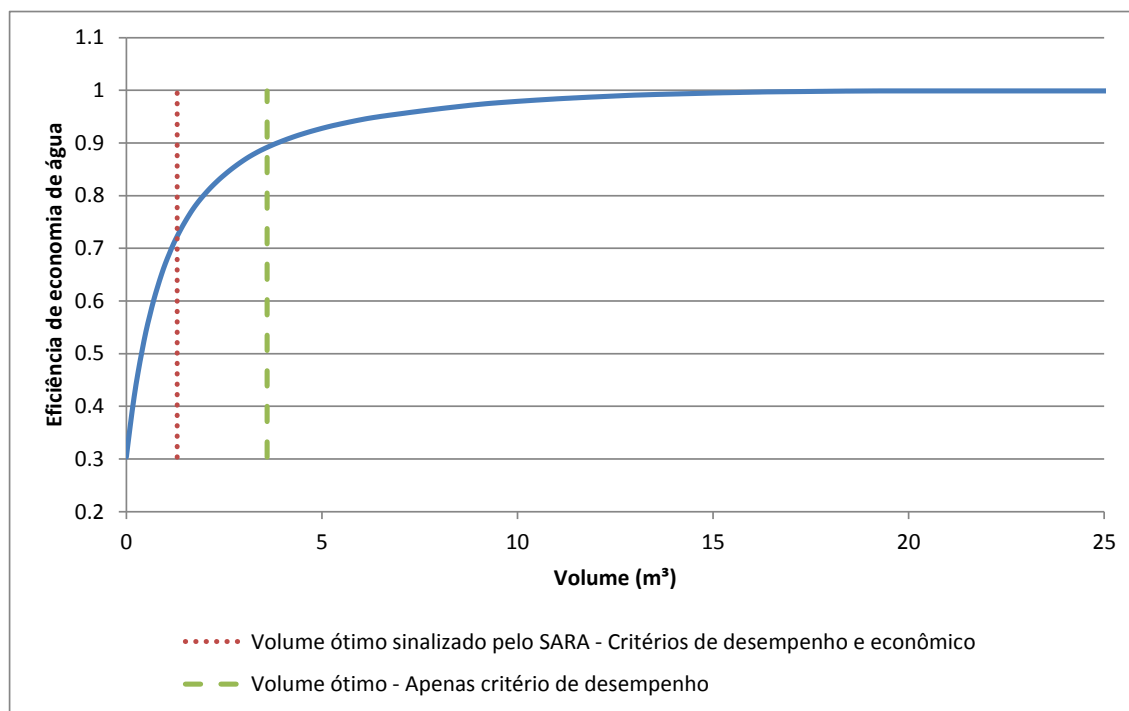


Figura 5.12 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Curitiba/PR.

Conforme pode ser visto na Figura 5.12, a eficiência de economia de água para o volume fixado utilizando apenas o critério de desempenho é de aproximadamente 89%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 100%, apenas 11% acima do alcançado pelo volume fixado pelo SARA usando somente o critério de desempenho, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 20 m³.

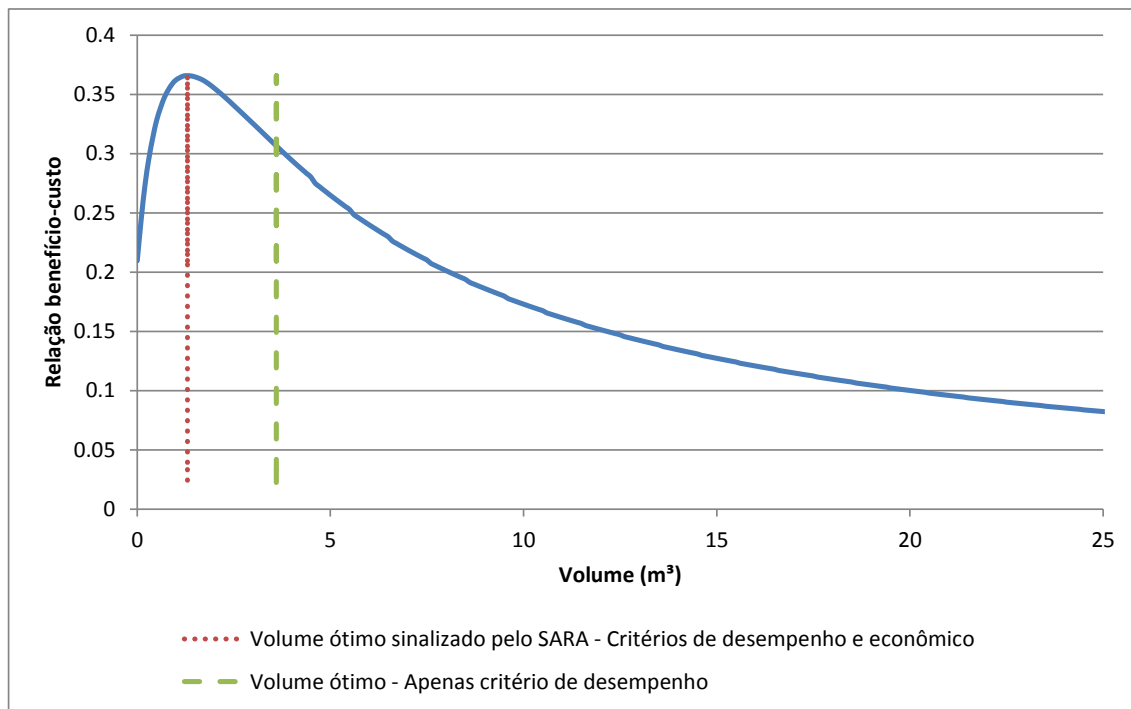


Figura 5.13 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Curitiba/PR.

5.2.2.6 Fortaleza/CE

A série histórica utilizada nos estudos de casos de Fortaleza foi obtida por meio da estação Funceme (00338048). A série possui registros diários de janeiro de 1978 a dezembro de 2007 e não possui falhas de registro.

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 0,8 m³ como volume ótimo de pré-dimensionamento, com relação benefício-custo de 0,38, confiabilidade plena de 48,7% e desperdício de água de chuva de 81,4%. Para chegar a este valor o SARA alterou o volume inicialmente designado utilizando apenas o critério de desempenho, já que este possuía B/C menor do que 1. O SARA então procurou algum volume dentre os simulados que possuísse relação benefício-custo maior ou igual a 1 e, uma vez que não encontrou nenhum, fixou como volume ótimo de pré-dimensionamento aquele que possuía a maior relação benefício-custo dentre todos os volumes simulados. Os gráficos das Figuras 5.14 e 5.15 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

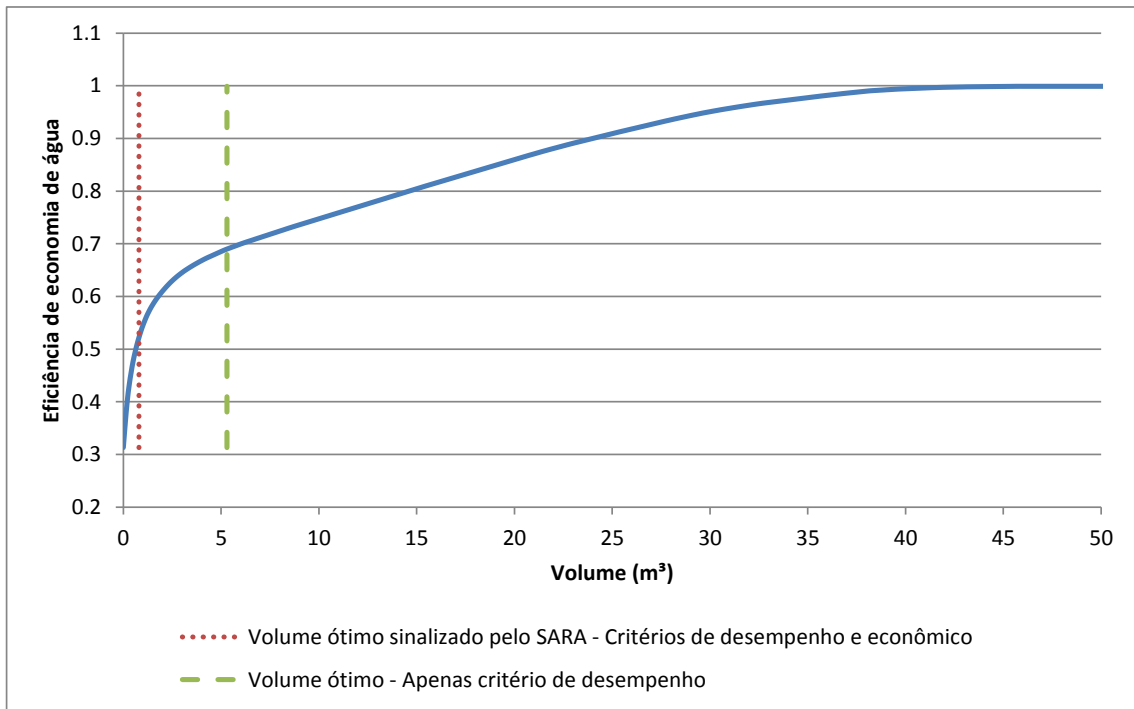


Figura 5.14 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Fortaleza/CE.

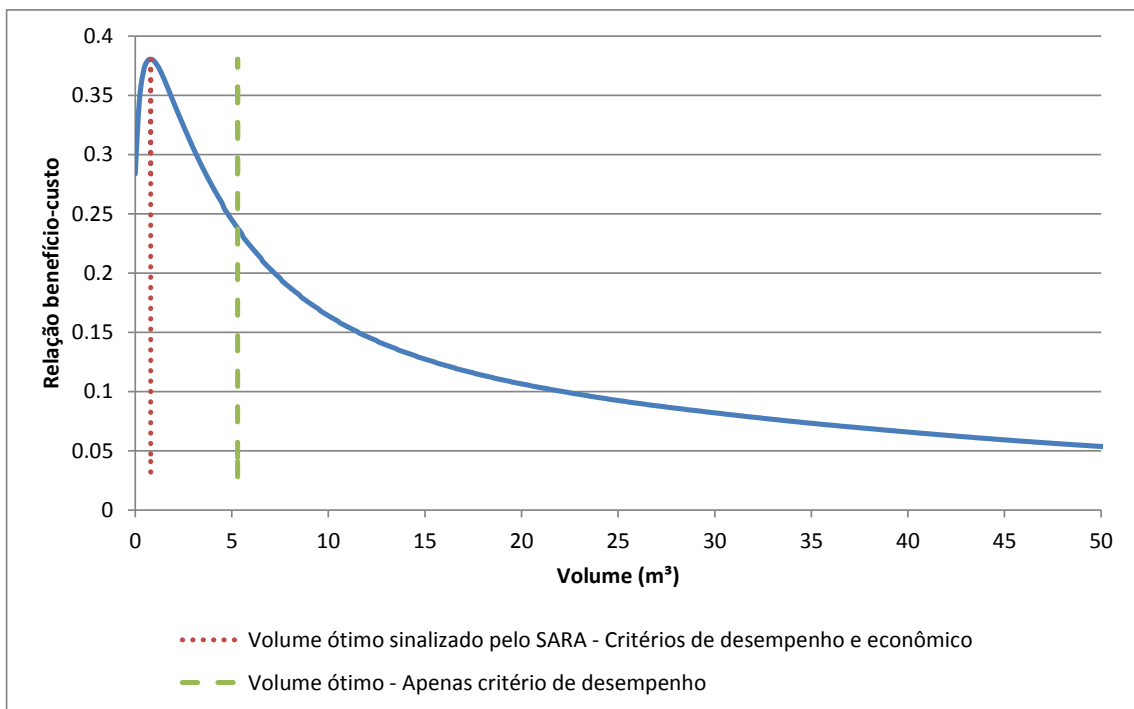


Figura 5.15 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Fortaleza/CE.

Conforme pode ser visto na Figura 5.14, a eficiência de economia de água para o volume fixado utilizando apenas o critério de desempenho é de aproximadamente 69%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é

de 100%, ou seja, 31% acima do alcançado pelo volume fixado pelo SARA usando somente o critério de desempenho, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 45 m³, pois o ganho de eficiência a partir daquele volume é muito pequeno.

5.2.2.7 Manaus/AM

A série histórica utilizada nos estudos de casos de Manaus/AM foi obtida por meio da estação Manaus (00360000). A série possui registros diários de janeiro de 1982 a dezembro de 2011 e possui apenas 8 dias sem registros, os quais são atribuídos valor zero pelo SARA durante as simulações.

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 0,8 m³ como volume ótimo de pré-dimensionamento, com relação benefício-custo de 0,728, confiabilidade plena de 73% e desperdício de água de chuva de 82%. Para chegar a este valor o SARA alterou o volume inicialmente designado utilizando apenas o critério de desempenho, já que este possuía B/C menor do que 1. O SARA então procurou algum volume dentre os simulados que possuísse relação benefício-custo maior ou igual a 1 e, uma vez que não encontrou nenhum, fixou como volume ótimo de pré-dimensionamento aquele que possuía a maior relação benefício-custo dentre todos os volumes simulados. Os gráficos das Figuras 5.16 e 5.17 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

Conforme pode ser visto na Figura 5.16, a eficiência de economia de água para o volume fixado utilizando apenas o critério de desempenho é de aproximadamente 93%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 100%, apenas 7% acima do alcançado pelo volume fixado pelo SARA usando somente o critério de desempenho, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 20 m³.

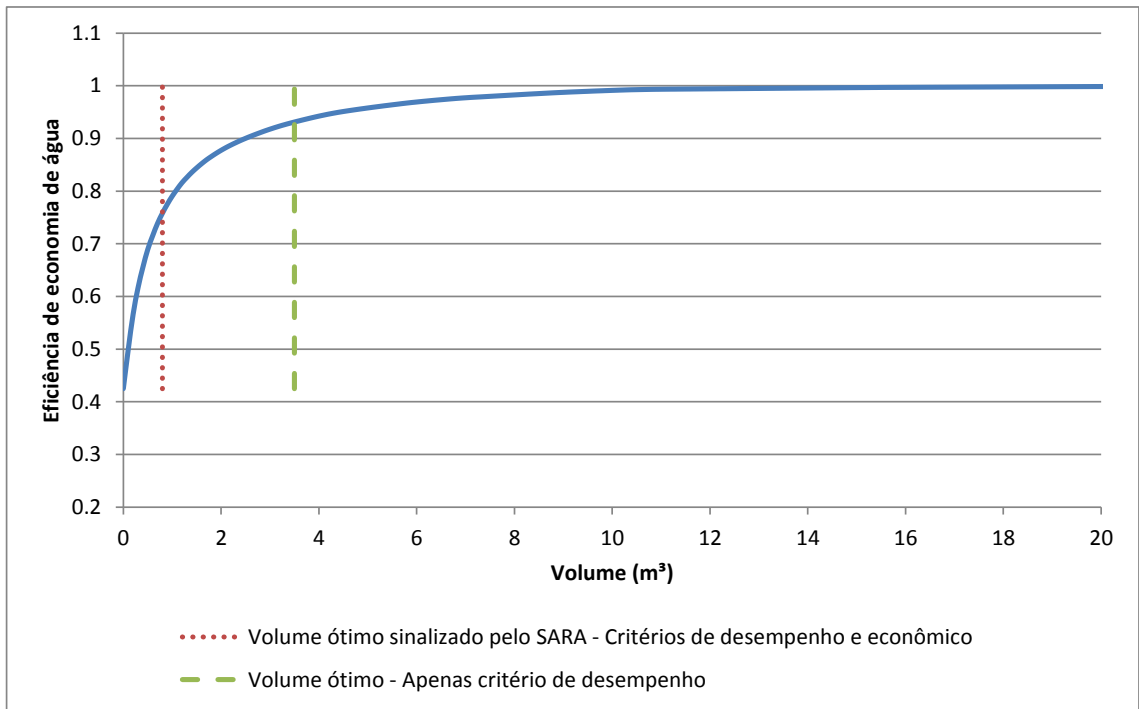


Figura 5.16 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Manaus/AM.

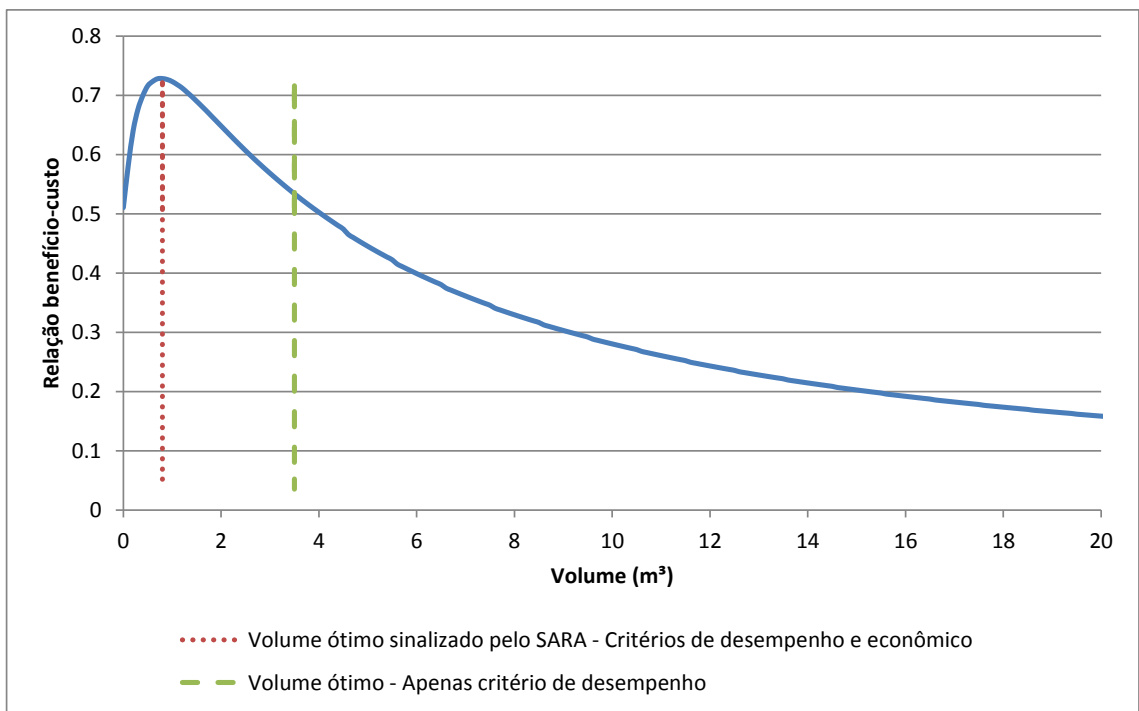


Figura 5.17 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Manaus/AM.

5.2.2.8 Porto Alegre/RS

A série histórica utilizada nos estudos de casos de Manaus/AM foi obtida por meio da estação Porto Alegre (03051011). A série possui registros diários de janeiro de 1971 a dezembro de 2000 e possui 136 dias sem registros, aos quais são atribuídos valor zero pelo SARA durante as simulações.

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 1,5 m³ como volume ótimo de pré-dimensionamento, com relação benefício-custo de 0,566, confiabilidade plena de 72,8% e desperdício de água de chuva de 69,5%. Para chegar a este valor o SARA alterou o volume inicialmente designado utilizando apenas o critério de desempenho, já que este possuía B/C menor do que 1. O SARA então procurou algum volume dentre os simulados que possuísse relação benefício-custo maior ou igual a 1 e, uma vez que não encontrou nenhum, fixou como volume ótimo de pré-dimensionamento aquele que possuía a maior relação benefício-custo dentre todos os volumes simulados. Os gráficos das Figuras 5.18 e 5.19 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

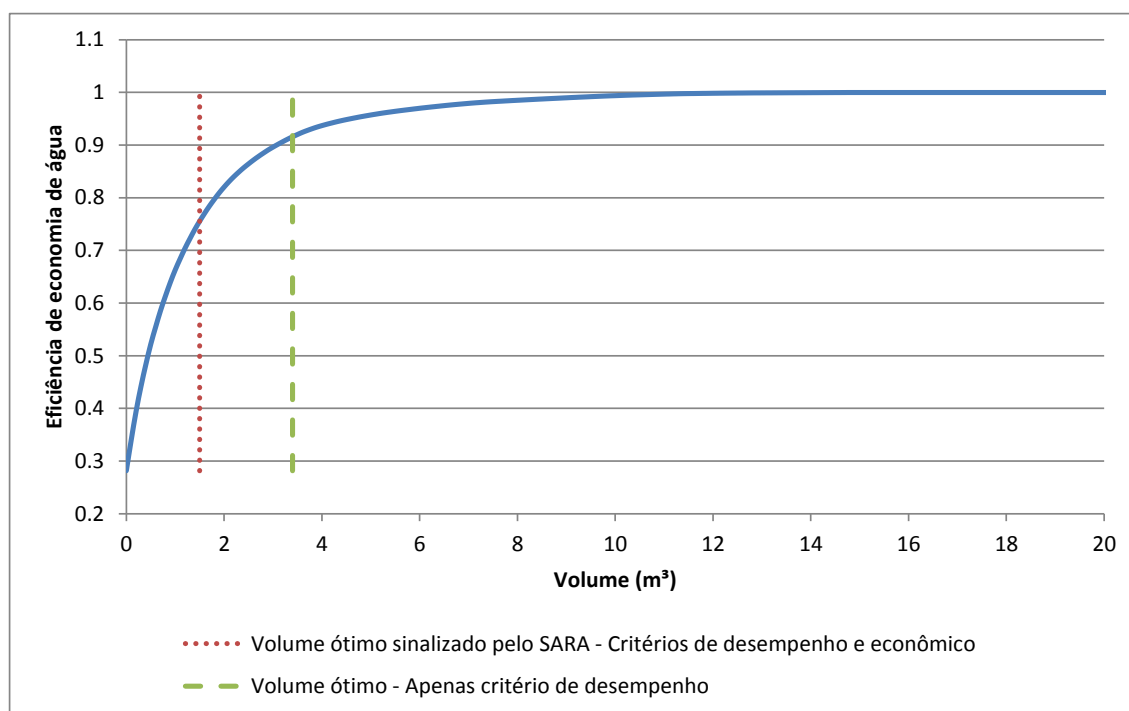


Figura 5.18 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Porto Alegre/RS.

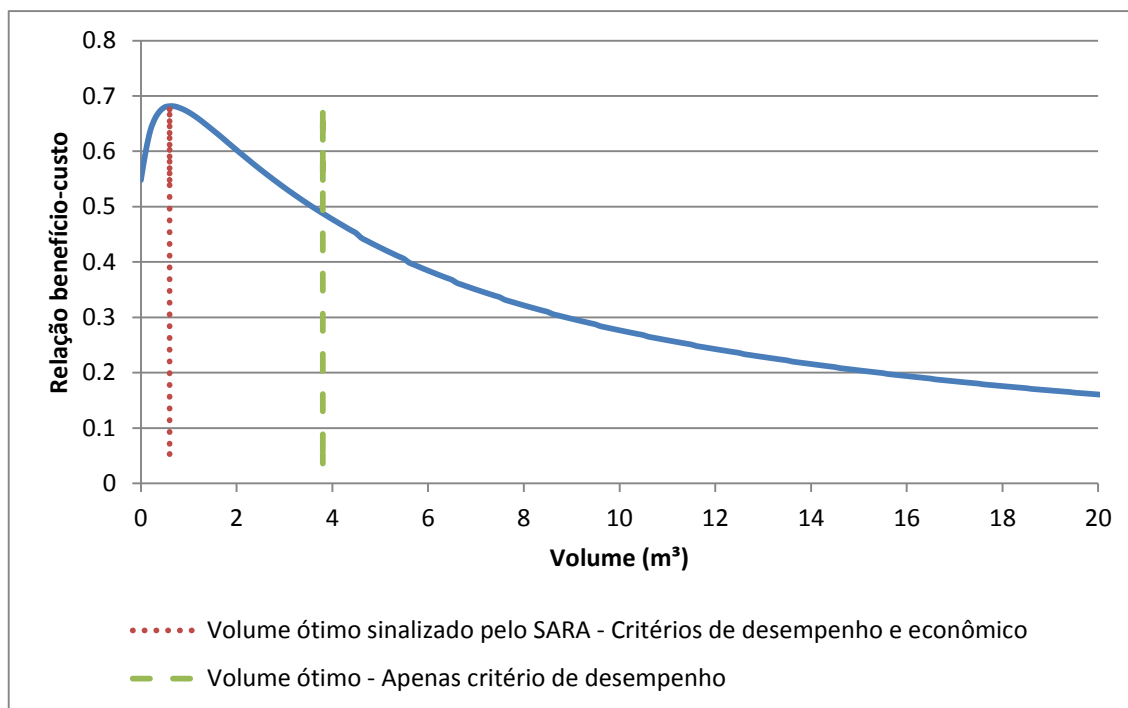


Figura 5.19 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Porto Alegre/RS.

Conforme pode ser visto na Figura 5.18, a eficiência de economia de água para o volume fixado utilizando apenas o critério de desempenho é de aproximadamente 91,6%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 100%, apenas 8,4% acima do alcançado pelo volume fixado pelo SARA usando somente o critério de desempenho, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 15 m³.

5.2.2.9 Recife/PE

A série histórica utilizada nos estudos de casos de Recife/PE foi obtida por meio da estação Recife (Curado) (00834007). A série possui registros diários de janeiro de 1982 a dezembro de 2011 e apenas 12 dias sem registros, aos quais são atribuídos valor zero pelo SARA durante as simulações.

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 0,6 m³ como volume ótimo de pré-dimensionamento, com relação benefício-custo de 0,682, confiabilidade plena de 65,9% e desperdício de água de chuva de 83,1%. Para chegar a este valor o SARA alterou o volume inicialmente designado utilizando apenas o critério de desempenho, já que este possuía B/C menor do que 1. O SARA então procurou algum volume dentre os simulados que possuísse relação benefício-custo maior ou igual a 1 e, uma vez que não

encontrou nenhum, fixou como volume ótimo de pré-dimensionamento aquele que possuía a maior relação benefício-custo dentre todos os volumes simulados. Os gráficos das figuras 5.20 e 5.21 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

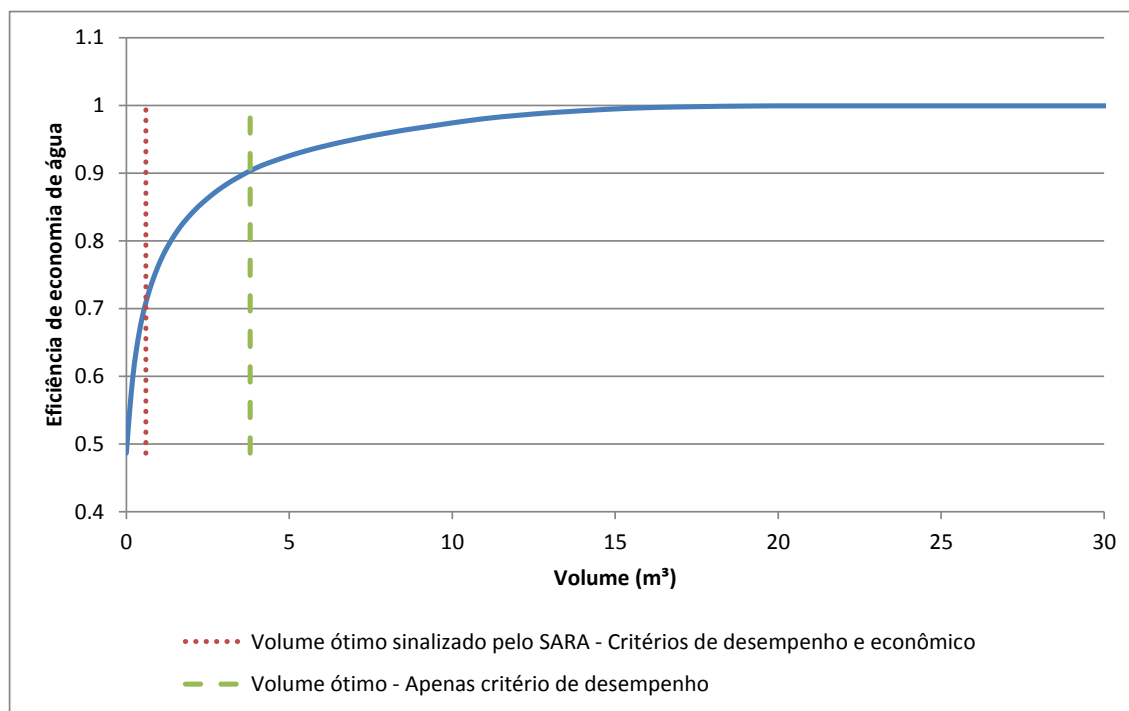


Figura 5.20 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em Recife/PE.

Conforme pode ser visto na Figura 5.20, a eficiência de economia de água para o volume fixado utilizando apenas o critério de desempenho é de aproximadamente 90,3%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 100%, apenas 9,7% acima do alcançado pelo volume fixado pelo SARA usando somente o critério de desempenho, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 20 m³.

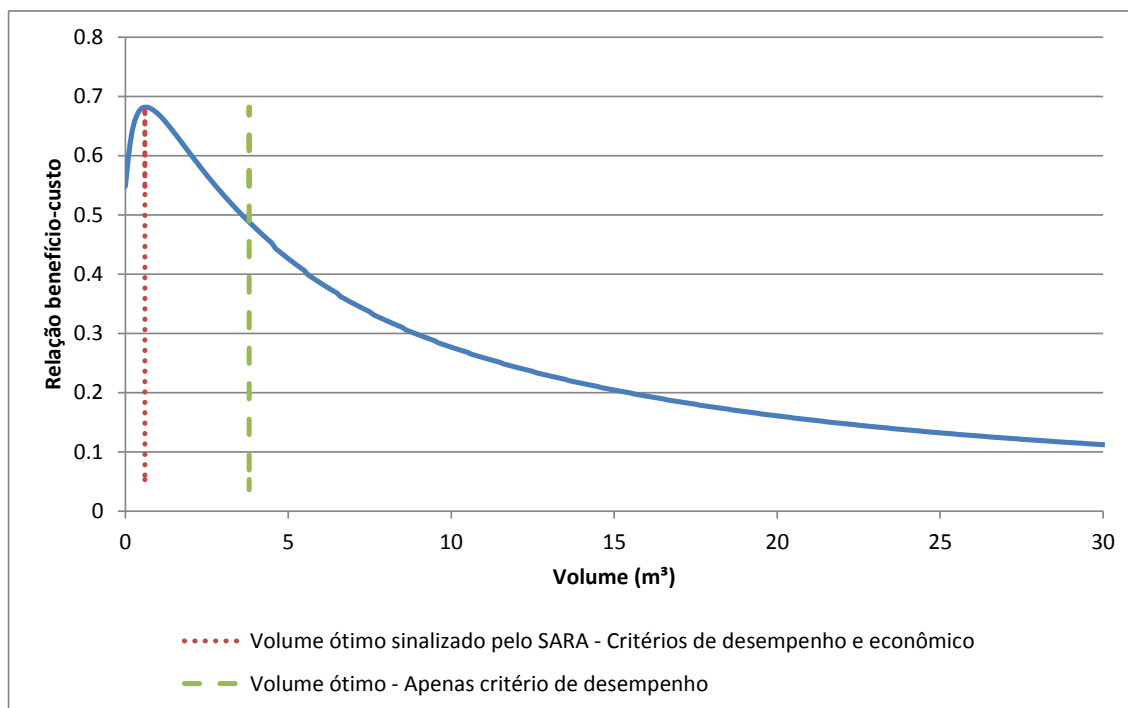


Figura 5.21 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em Recife/PE.

5.2.2.10 São Paulo/SP

A série histórica utilizada nos estudos de casos de São Paulo/SP foi obtida por meio da estação São Paulo (Mirante Santana) (02346117). A série possui registros diários de janeiro de 1982 a dezembro de 2011 e não possui registros de falhas.

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 1,2 m³ como volume ótimo de pré-dimensionamento, com relação benefício-custo de 0,310, confiabilidade plena de 65,4% e desperdício de água de chuva de 77,2%. Para chegar a este valor o SARA alterou o volume inicialmente designado utilizando apenas o critério de desempenho, já que este possuía B/C menor do que 1. O SARA então procurou algum volume dentre os simulados que possuísse relação benefício-custo maior ou igual a 1 e, uma vez que não encontrou nenhum, fixou como volume ótimo de pré-dimensionamento aquele que possuía a maior relação benefício-custo dentre todos os volumes simulados. Os gráficos das Figuras 5.22 e 5.23 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

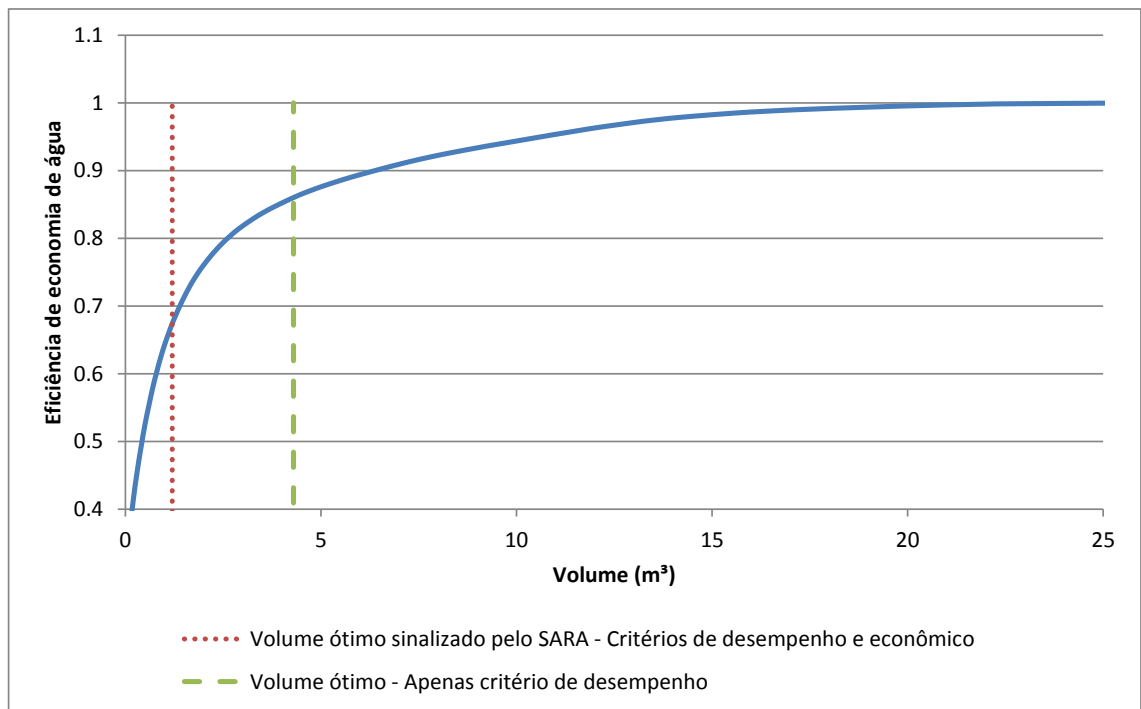


Figura 5.22 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para residência unifamiliar em São Paulo/SP.

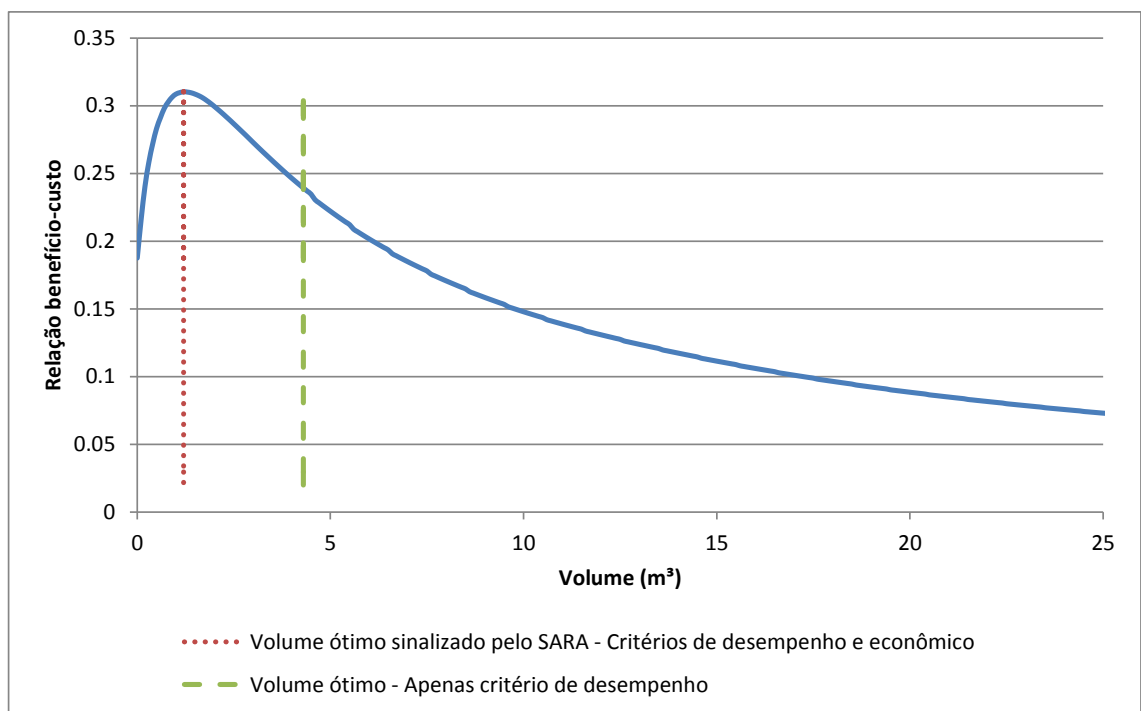


Figura 5.23 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para residência unifamiliar em São Paulo/SP.

Conforme pode ser visto na Figura 5.22, a eficiência de economia de água para o volume fixado utilizando apenas o critério de desempenho é de aproximadamente 86%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é

de 100%, apenas 14% acima do alcançado pelo volume fixado pelo SARA usando somente o critério de desempenho, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 25 m³.

5.2.2.11 Síntese dos resultados e análises

A Tabela 5.18 sintetiza os resultados e características aferidas nos estudos de casos.

Tabela 5.18 - Síntese dos resultados e características dos estudos de casos para edificações do tipo residência unifamiliar.

Cidade	Volume ótimo (m ³)	relação benefício-custo	Eficiência de economia de água	Confiabilidade plena	Desperdício de água de chuva
Belém/PA	0.5	0.28	86.0%	83.2%	84.8%
Belo Horizonte /MG	1.2	0.514	52.6%	51.2%	82.1%
Brasília/DF	1	0.453	51.7%	50.3%	60.5%
Cuiabá/MT	1	0.424	61.9%	60.2%	81.0%
Curitiba/PR	1.3	0.366	72.3%	69.2%	72.8%
Fortaleza/CE	0.8	0.38	52.2%	48.7%	81.4%
Manaus/AM	0.8	0.728	75.8%	73.0%	82.0%
Porto Alegre/RS	1.5	0.566	75.5%	72.8%	69.5%
Recife/PE	0.6	0.682	90.3%	65.9%	83.1%
São Paulo/SP	1.2	0.31	67.4%	65.4%	77.2%
Média	1.0	0.47	68.6%	64.0%	77.4%

É importante salientar que, para efeitos práticos, o volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA deve ser um ponto de partida para projetistas, que precisarão observar características específicas das edificações e também definir o tipo do reservatório de acumulação que irão utilizar, que não necessariamente seguirá o tipo padronizado que o SARA considera.

O exame dos estudos de casos para edificações do tipo residência unifamiliar mostra que, conforme descrito no capítulo de metodologia, as primeiras indicações dos volumes ótimos de pré-dimensionamento, realizadas apenas utilizando a eficiência de economia de água (critério de desempenho), conduziram sempre a volumes ótimos que se situam nas proximidades do ponto de curvatura máxima da curva de volume x eficiência de economia de água a partir do qual esta apresenta comportamento assintótico.

É interessante destacar um comportamento que pode ser percebido quando se compara os resultados dos indicadores de eficiência de economia de água e confiabilidade.

Constata-se que, para os casos das residências unifamiliares, estes indicadores apresentam valores muito próximos. Isso ocorre porque em cenários mais favoráveis, em que a demanda é pequena e/ou a área de captação é grande, como é o caso das residências unifamiliares, a eficiência de economia de água e a confiabilidade tendem a ter o mesmo valor, uma vez que na maioria das vezes em que é possível prover abastecimento de água por meio do SAAP, consegue-se suprir toda a demanda diária. Já em casos menos favoráveis, com alta demanda e/ou área de captação pequena, na maioria das vezes não é possível suprir toda a demanda diária, e, quando isso ocorre, o SAAP apresenta confiabilidade baixa, apesar de prover parte da demanda solicitada.

Após analisar todos os estudos de casos apresentados e sintetizados na Tabela 5.18, percebe-se que em todos eles as relações benefício-custo foram menores do que 1. Esse resultado era esperado, pois não é razoável presumir que um reservatório de acumulação de SAAP para uma residência unifamiliar seja do tipo enterrado, uma vez que, em geral, não há restrições de espaço e também não são necessários volumes muito grandes, podendo ser usadas caixas d'água de fibrocimento ou de fibra de vidro, reduzindo consideravelmente os custos de implantação. Por se tratar de uma metodologia generalizada construída para analisar a viabilidade e promover o pré-dimensionamento do reservatório de acumulação do SAAP para qualquer cenário de demanda por água não potável e área de captação, situações como estas não são identificadas e analisadas isoladamente pelo modelo. Além disso, as residências unifamiliares, por terem baixo consumo de água mensal, são enquadradas nas estruturas tarifárias das companhias de saneamento de tal forma que possuem tarifas reduzidas para fornecimento de água e tratamento de esgoto, o que, em conjunto com a baixa demanda por água não potável que as residências unifamiliares apresentam, diminui os benefícios auferidos, contribuindo também para obtenção de pequenos valores para a relação benefício-custo.

Para investigar a possibilidade de conferir viabilidade econômica a edificações do tipo residência unifamiliar foi realizado um teste para a cidade de Brasília/DF, que apresentou volume ótimo de pré-dimensionamento de 1 m³, considerando a utilização de reservatório de acumulação de fibrocimento com a mesma capacidade de 1 m³, ao invés de reservatório enterrado que o SARA adota. O resultado para a relação benefício-custo para o teste foi de 0,89 que, embora ainda seja menor do que 1, é consideravelmente maior do que o obtido pelo SARA. Este resultado corrobora a hipótese levantada acerca da baixa relação B/C estar relacionada com o alto custo do reservatório enterrado, além de outros

fatores. Ressalta-se ainda que o valor de relação benefício-custo de 0,89 está muito próximo de apresentar viabilidade econômica e, desta forma, um detalhamento mais cuidadoso do SAAP por parte do projetista provavelmente conduziria a um B/C maior do que 1.

Por fim, acerca dos resultados para o indicador desperdício de água de chuva, observa-se que os valores desse indicador foram sempre elevados, com média de 77,4%. Isso ocorre porque a demanda por água não potável é muito pequena para os casos das residências unifamiliares, fazendo com que, tão logo a demanda diária seja atendida, todo o excesso de chuva seja descartado. Além disso os volumes fixados inicialmente pelo critério de desempenho foram reduzidos em função da análise econômica realizada pelo SARA, o que também contribuiu para que esses valores fossem tão elevados, uma vez que quanto menor for o reservatório maior é o desperdício de chuva, já que há menos acumulação.

5.2.3 Estudos de caso para edificações do tipo edifício residencial

São apresentados, para cada uma das cidades em análise, os estudos de caso para edificação do tipo edifício residencial, cujos parâmetros técnicos já foram definidos anteriormente.

Os enquadramentos nas estruturas tarifárias de cada região foram realizados para cada município estudado, considerando o consumo total mensal para edifícios residenciais, a demanda por água não potável e o potencial de economia de água da região para a tipologia da edificação. Assim a tarifa média a ser considerada em cada cidade é apresentada na Tabela 5.19.

Tabela 5.19 - Tarifas médias adotadas para realização dos estudos de caso para edificação do tipo edifício residencial.

Tarifa média adotada (R\$/m ³)				
Belém/PA	Belo Horizonte/MG	Brasília/DF	Cuiabá/MT	Curitiba/PR
4.35	7.83	9.57	6.57	5.59
Fortaleza/CE	Manaus/AM	Porto Alegre/RS	Recife/PE	São Paulo/SP
8.66	12.50	7.01	11.79	7.02

5.2.3.1 Belém/PA

Assim como na seção anterior, o estudo de caso realizado para a cidade de Belém é apresentado de forma mais pormenorizada do que os dos demais municípios para que seja

possível demonstrar os procedimentos desenvolvidos pelo SARA até a determinação do volume ótimo de pré-dimensionamento do reservatório de acumulação do SAAP.

Após proceder com a simulação e analisando detalhadamente o procedimento de obtenção do volume ótimo de pré-dimensionamento, observa-se que o SARA obteve como primeira estimativa, utilizando apenas o critério de desempenho, o volume de 19,4 m³. Para isso o SARA definiu que o valor da variável Escala1 é de 0,0795 e o valor da variável Escala2 é de 59,8 m³, seguindo os critérios apresentados na Figura 4.10. A partir daí o SARA realizou a verificação imposta pela Equação 4.12 para cada tamanho de reservatório simulado, indicando o volume ótimo conforme é mostrado numericamente na Equação 5.2.

$$\text{Como } \frac{0,3566-0,3564}{19,4-19,3} \leq \frac{0,0795}{59,8} \text{ então Volume ótimo} = V_{i+1} = 19,4 \text{ m}^3 \quad (5.2)$$

Após isso o SARA calculou a relação benefício-custo para o volume ótimo indicado e constatou que é igual a 3,18. Já a confiabilidade plena ficou em 17,1% e o desperdício de água de chuva em 5,5%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, uma vez que o volume fixado inicial já possui viabilidade econômica ($B/C \geq 1$), o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.24 e 5.25 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

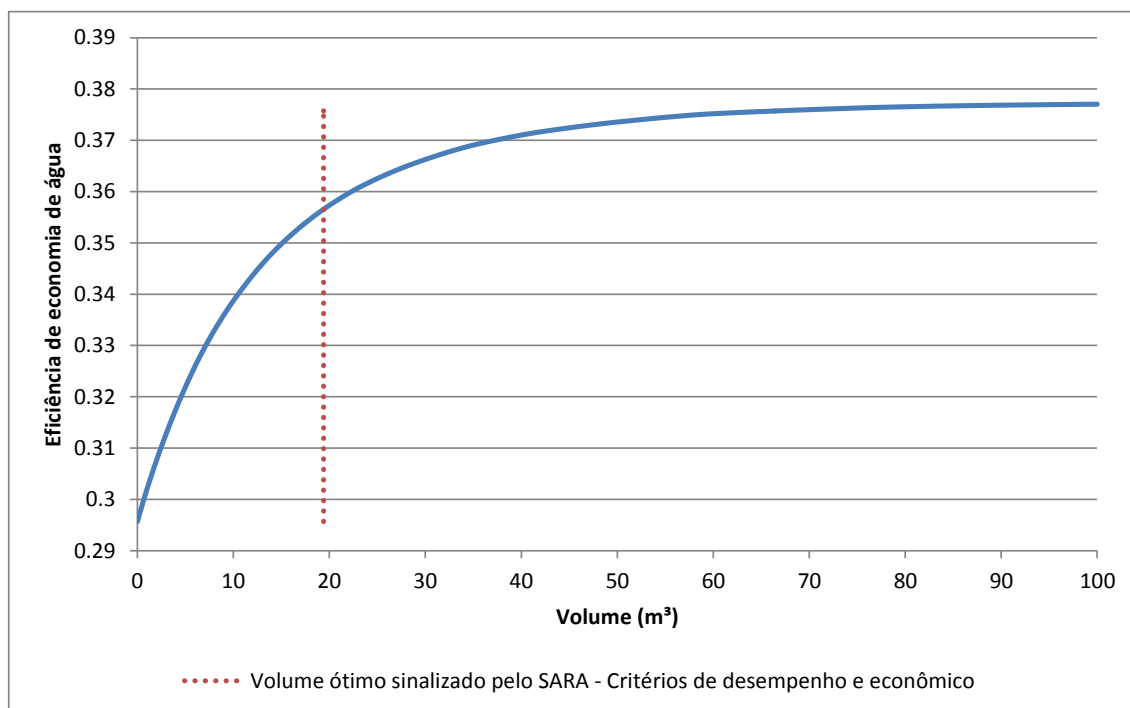


Figura 5.24 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Belém/PA.

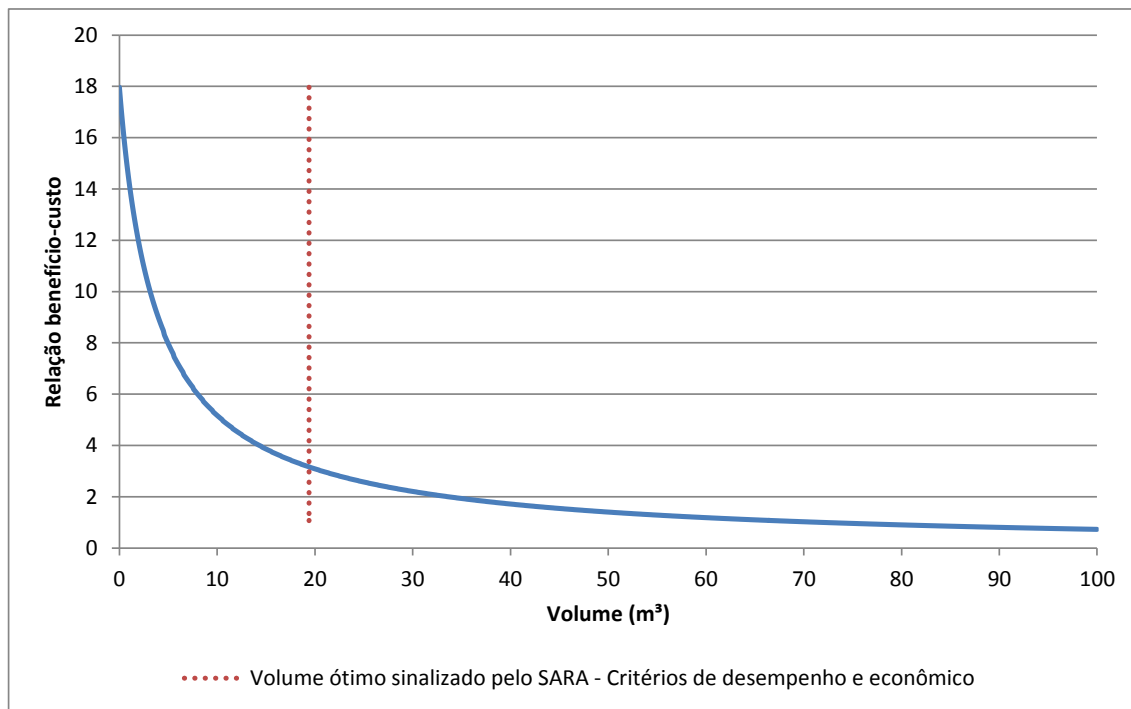


Figura 5.25 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Belém/PA.

Como pode ser observado na Figura 5.24, a eficiência de economia de água para o volume ótimo de pré-dimensionamento fixado pelo SARA é de aproximadamente 35,5%. Isso significa que em média apenas 35,5% da demanda diária poderá ser suprida pelo SAAP caso este seja o volume adotado. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 38%, apenas 2,5% acima do alcançado pelo volume fixado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 60 m³.

5.2.3.2 Belo Horizonte/MG

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 24,8 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de 3, confiabilidade plena de 10,4% e desperdício de água de chuva de 9%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.26 e 5.27 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

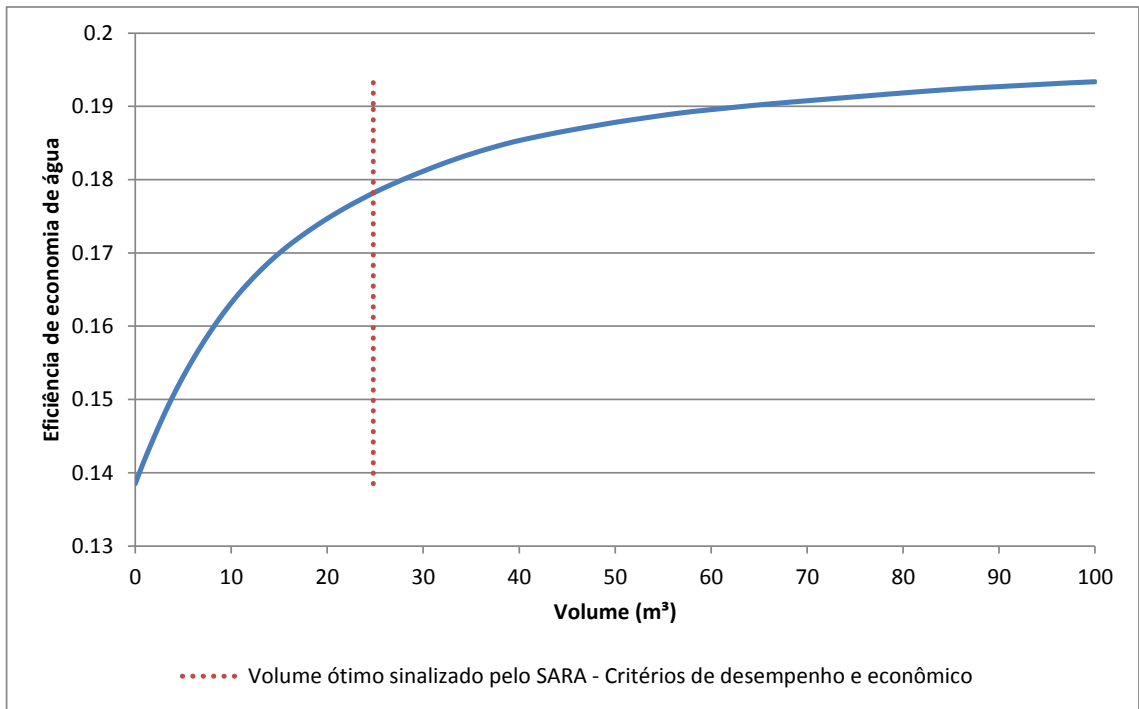


Figura 5.26 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Belo Horizonte/MG.

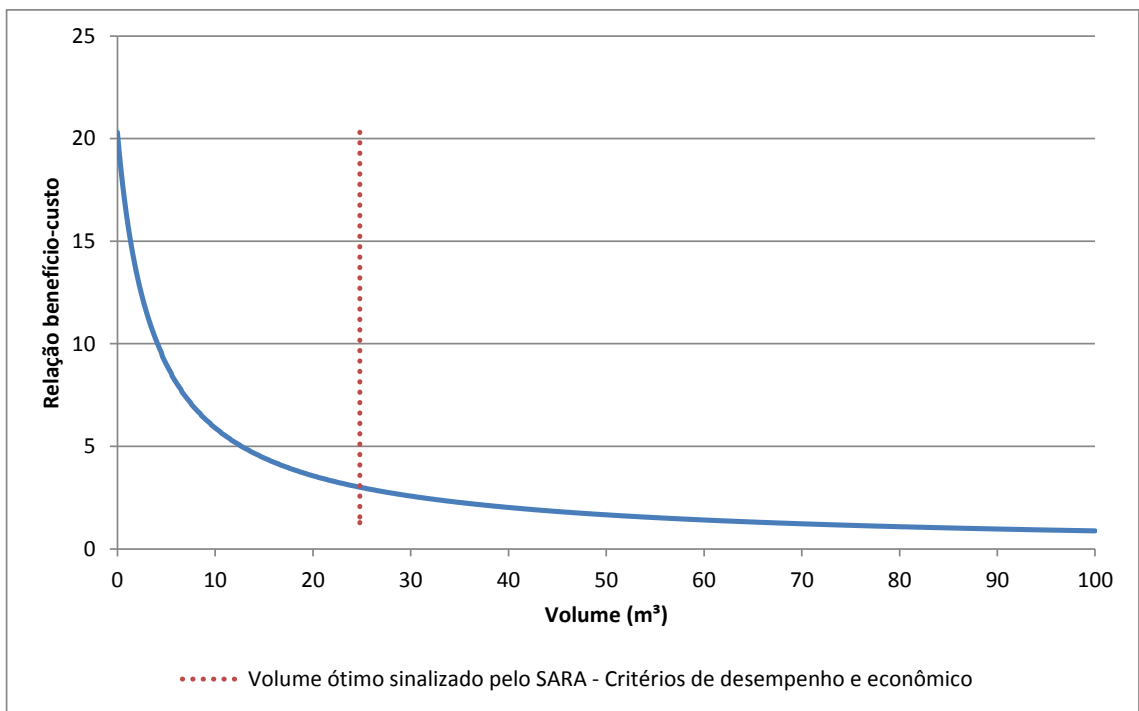


Figura 5.27 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Belo Horizonte/MG.

Conforme pode ser visto na Figura 5.26, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 18%. Isso significa que em média 18% da demanda diária poderia ser suprida pelo SAAP caso fosse este o volume adotado.

Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 19,3%, apenas 1,3% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 90 m³.

5.2.3.3 Brasília/DF

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 15,9 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de 4,32, confiabilidade plena de 6,9% e desperdício de economia de água de 5,9%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.28 e 5.29 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

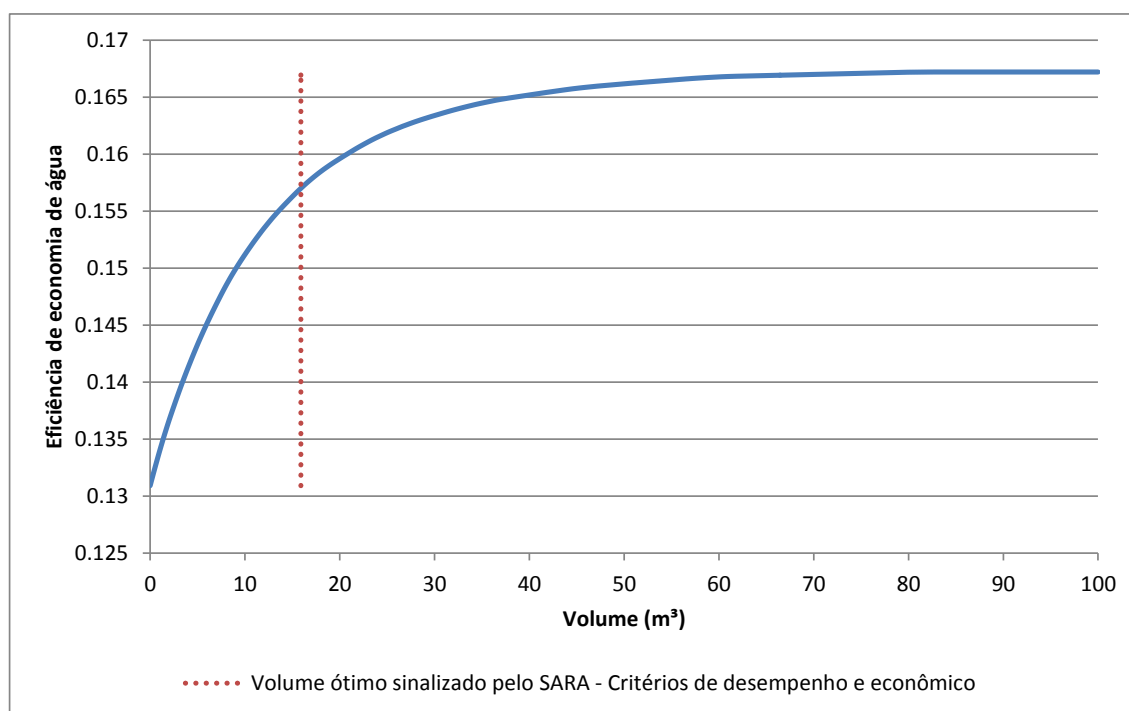


Figura 5.28 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Brasília/DF.

Conforme pode ser visto na Figura 5.28, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 15,7%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 16,7%, apenas 1% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 60 m³.

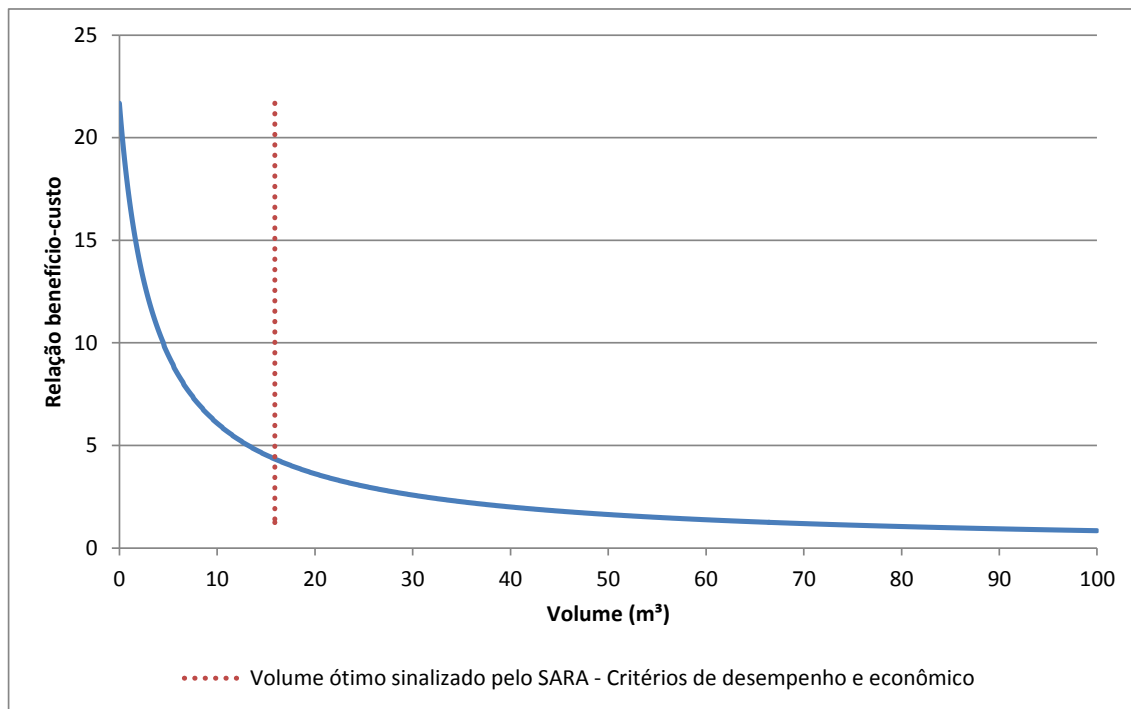


Figura 5.29 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Brasília/DF.

5.2.3.4 Cuiabá/MT

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 18 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de 4,38, confiabilidade plena de 10,8% e desperdício de água de chuva de 7,5%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.30 e 5.31 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

Conforme pode ser visto na Figura 5.30, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 20,1%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 21,7%, apenas 1,6% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 80 m³.

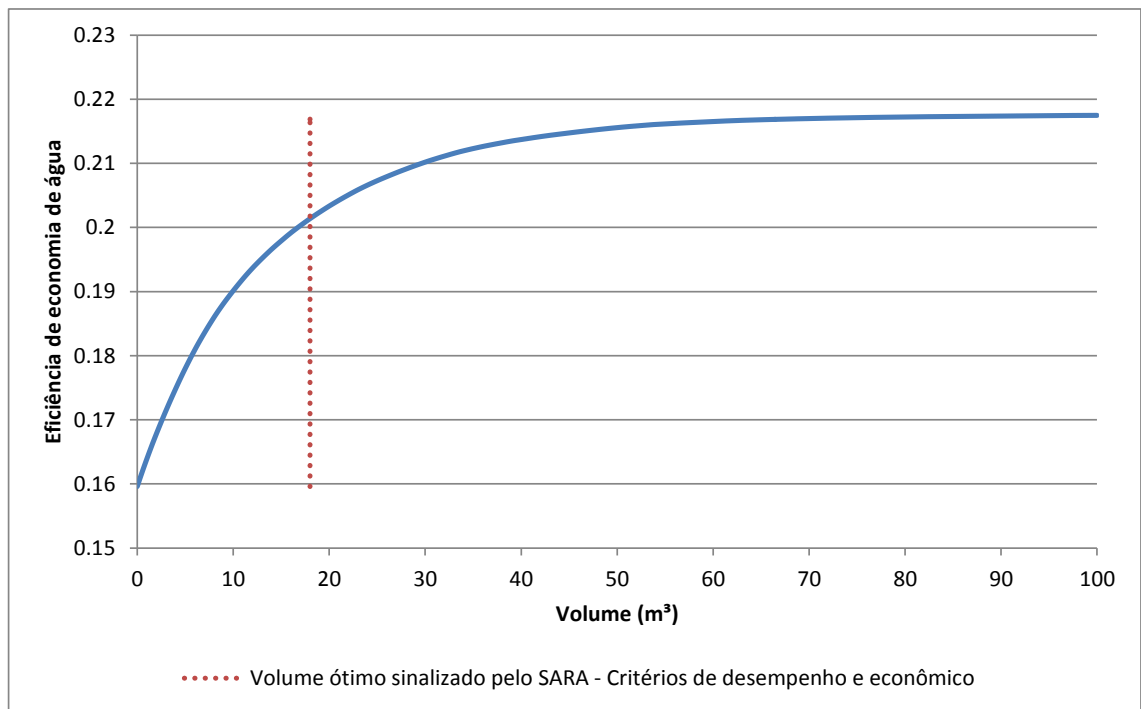


Figura 5.30 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Cuiabá/MT.

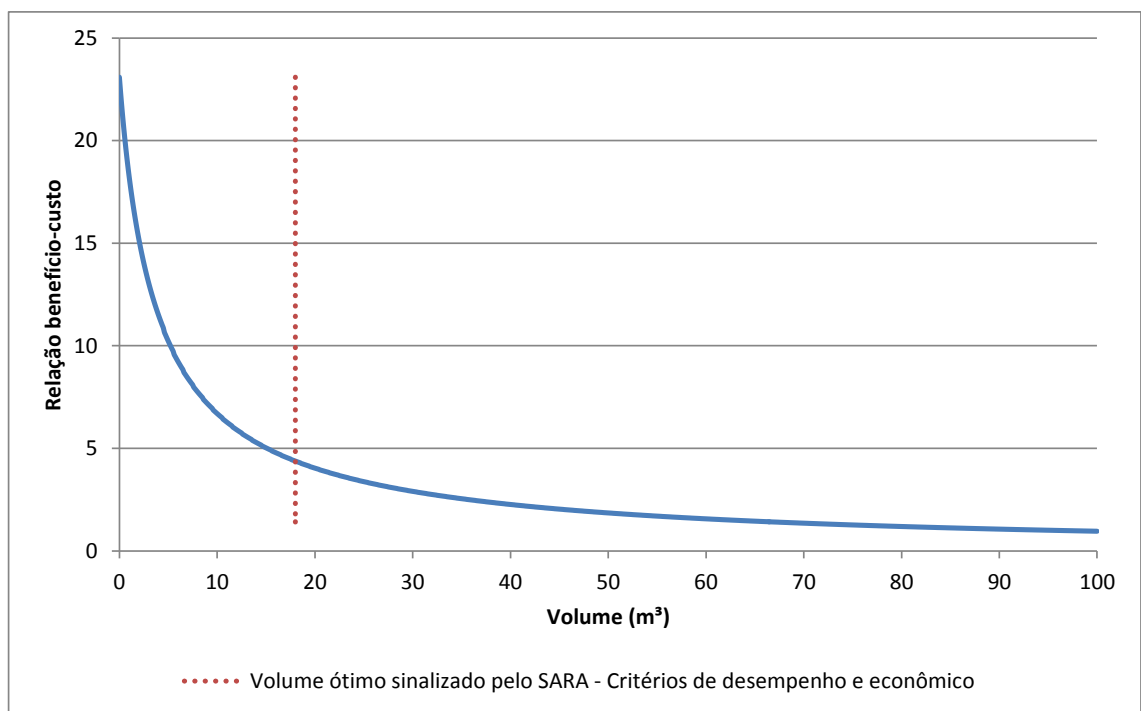


Figura 5.31 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Cuiabá/MT.

5.2.3.5 Curitiba/PR

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 15,5 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de

2,12, confiabilidade plena de 7,6% e desperdício de água de chuva de 6%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.32 e 5.33 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

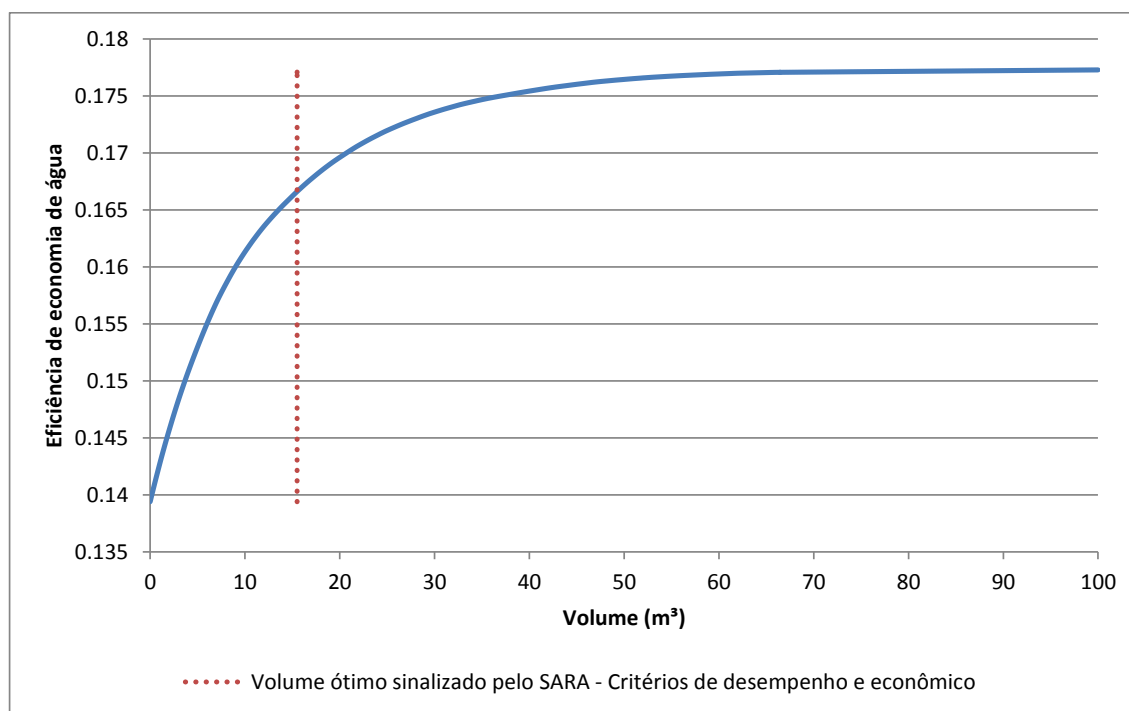


Figura 5.32 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Curitiba/PR.

Conforme pode ser visto na Figura 5.32, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 16,7%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 17,7%, apenas 1% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 60 m³.

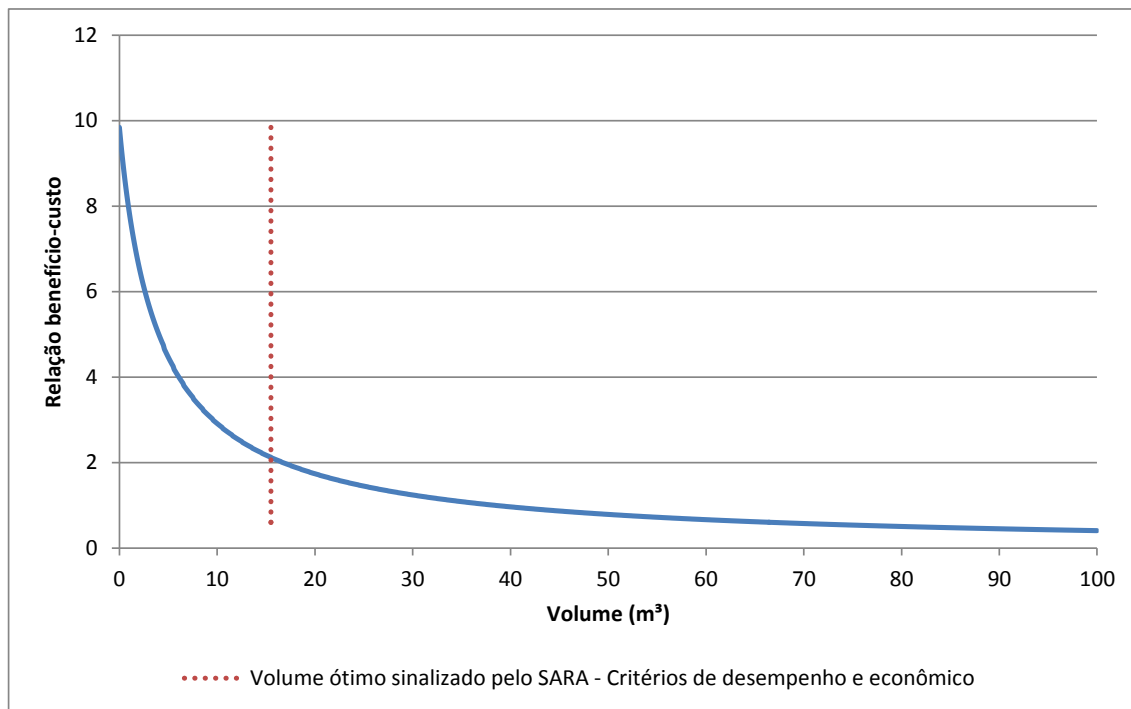


Figura 5.33 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Curitiba/PR.

5.2.3.6 Fortaleza/CE

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 23,5 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo 3,51, confiabilidade plena de 8,8% e desperdício de água de chuva de 9,4%. Após isso verificou que este valor é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.34 e 5.35 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

Conforme pode ser visto na Figura 5.34, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 17%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 18,5%, apenas 1,5% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 100 m³.

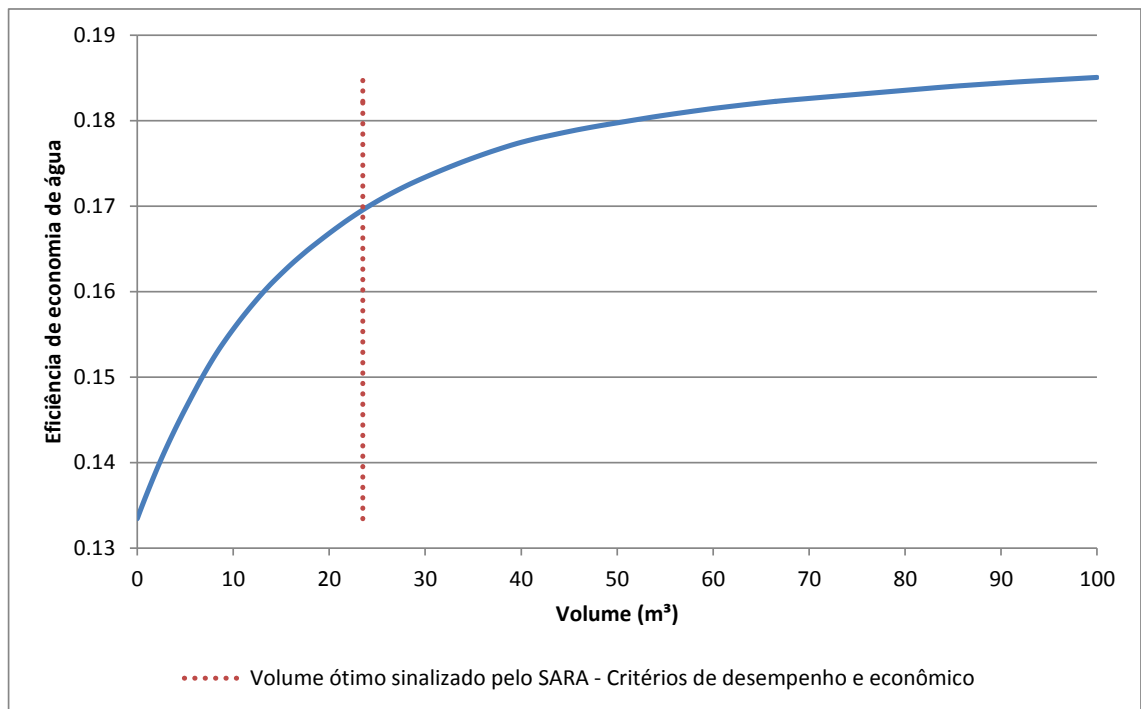


Figura 5.34 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Fortaleza/CE.

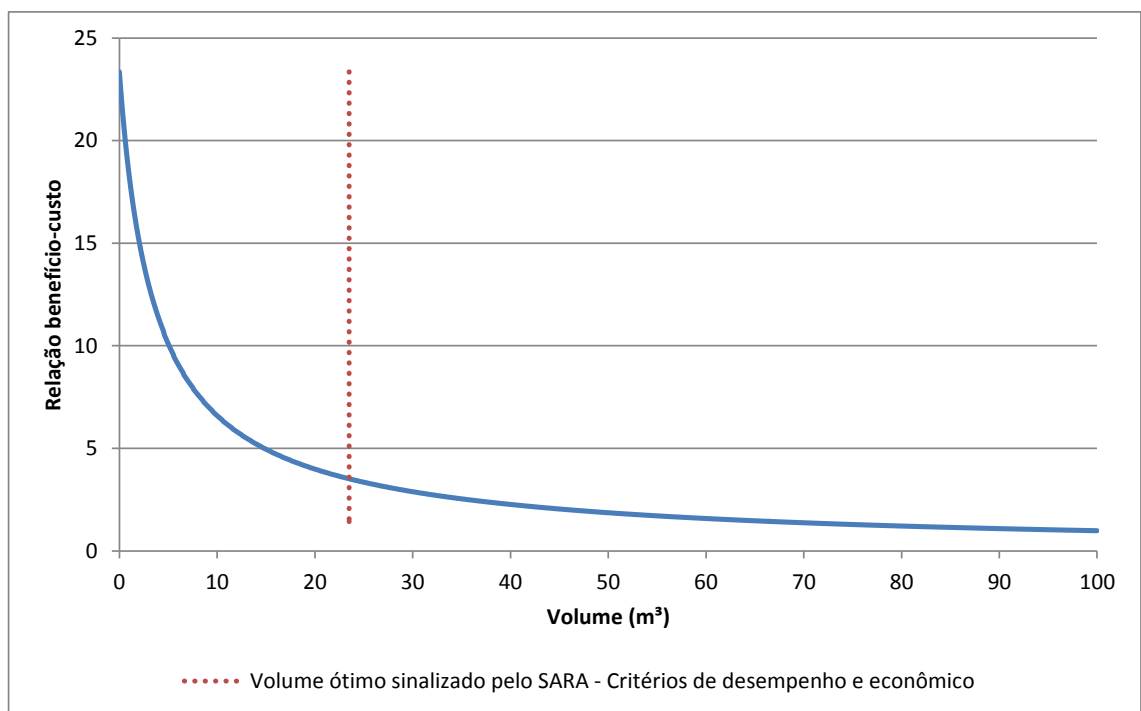


Figura 5.35 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Fortaleza/CE.

5.2.3.7 Manaus/AM

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 20,5 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de

6,64, confiabilidade plena de 13,3% e desperdício de água de chuva de 6,8%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.36 e 5.37 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

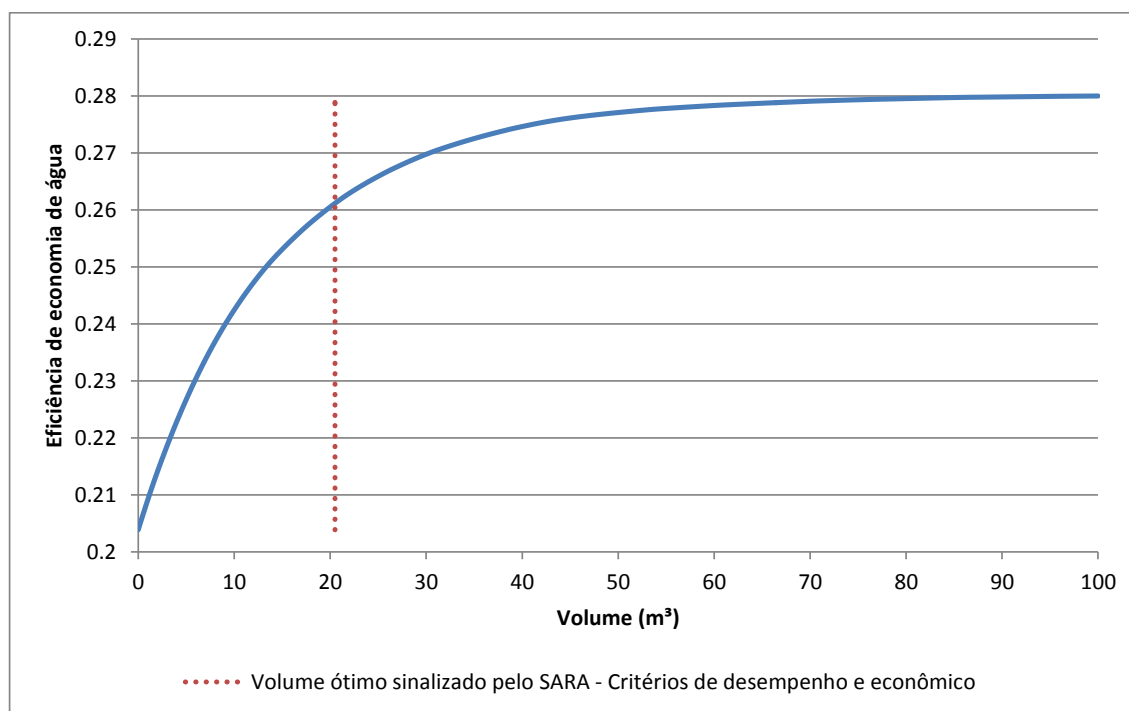


Figura 5.36 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Manaus/AM.

Conforme pode ser visto na Figura 5.36, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 26,1%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 28%, apenas 1,9% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 90 m³.

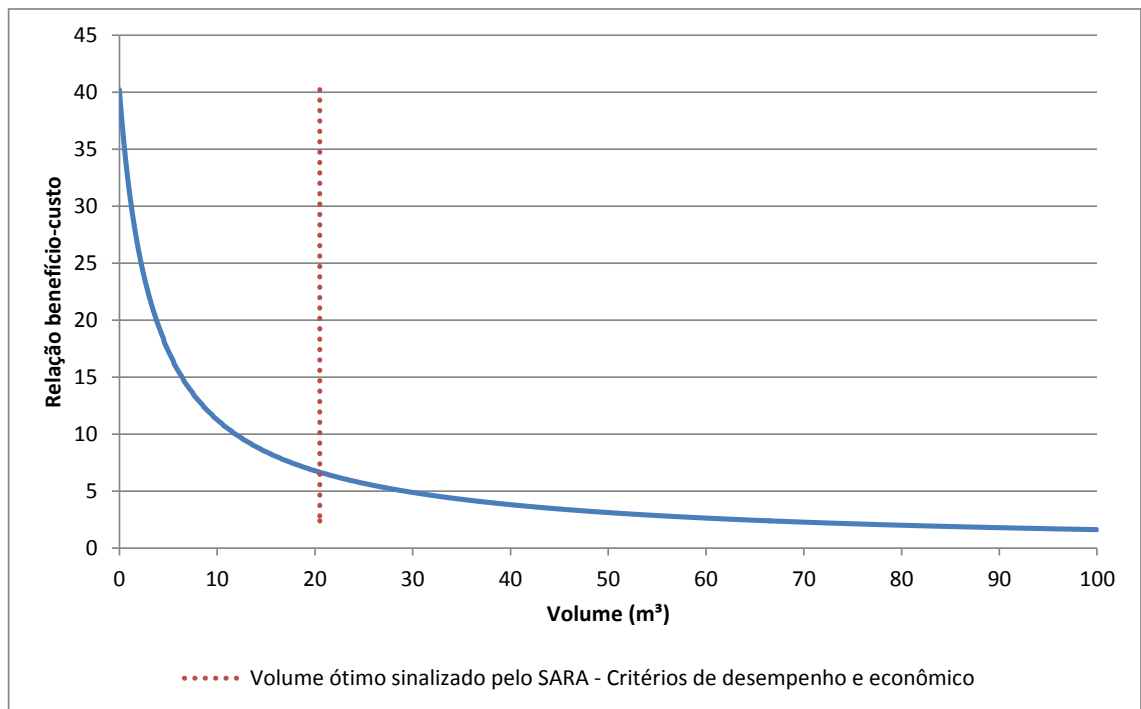


Figura 5.37 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Manaus/AM.

5.2.3.8 Porto Alegre/RS

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 14,6 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de 4,03, confiabilidade plena de 7,3% e desperdício de água de chuva de 5,8%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das figuras 5.38 e 5.39 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

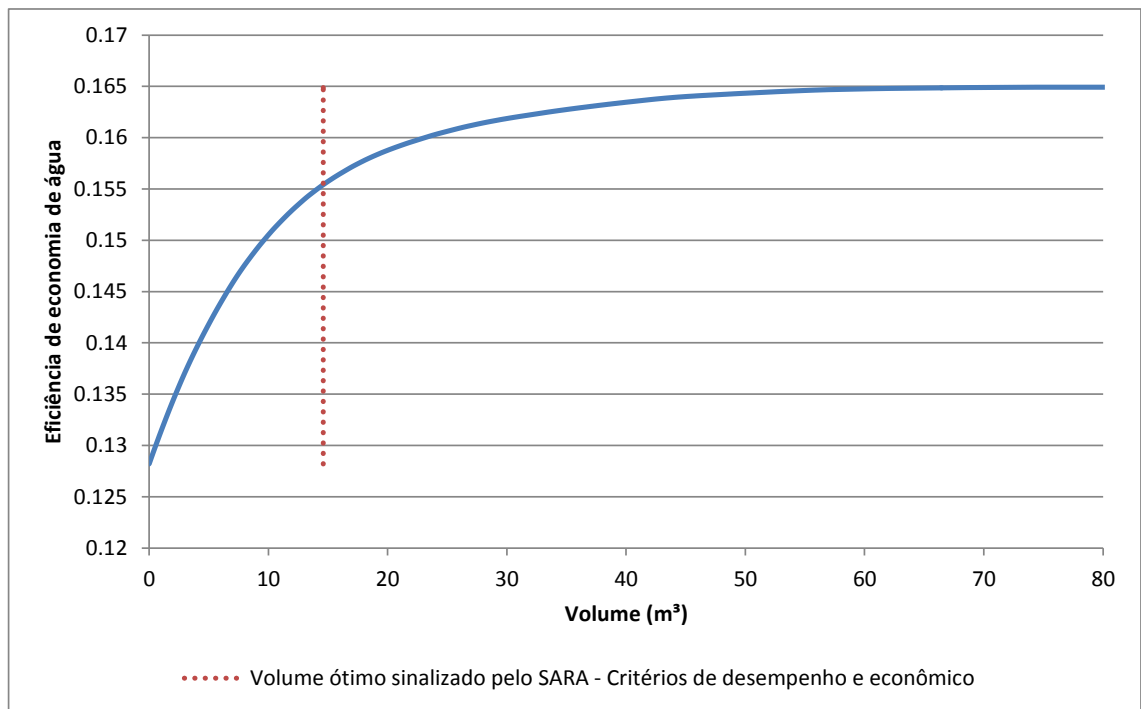


Figura 5.38 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Porto Alegre/RS.

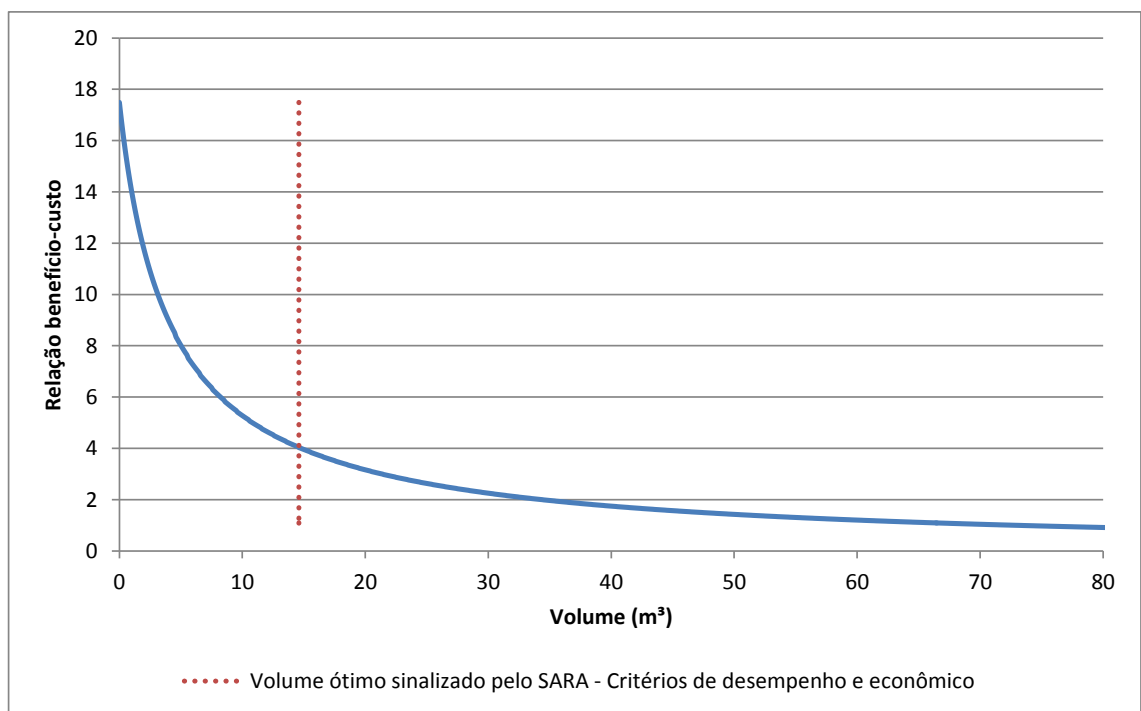


Figura 5.39 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Porto Alegre/RS.

Conforme pode ser visto na Figura 5.38, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 15,6%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 16,5%, apenas 0,9%

acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 80 m³.

5.2.3.9 Recife/PE

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 30 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de 6,37, confiabilidade plena de 13,9% e desperdício de água de chuva de 9%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.40 e 5.41 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

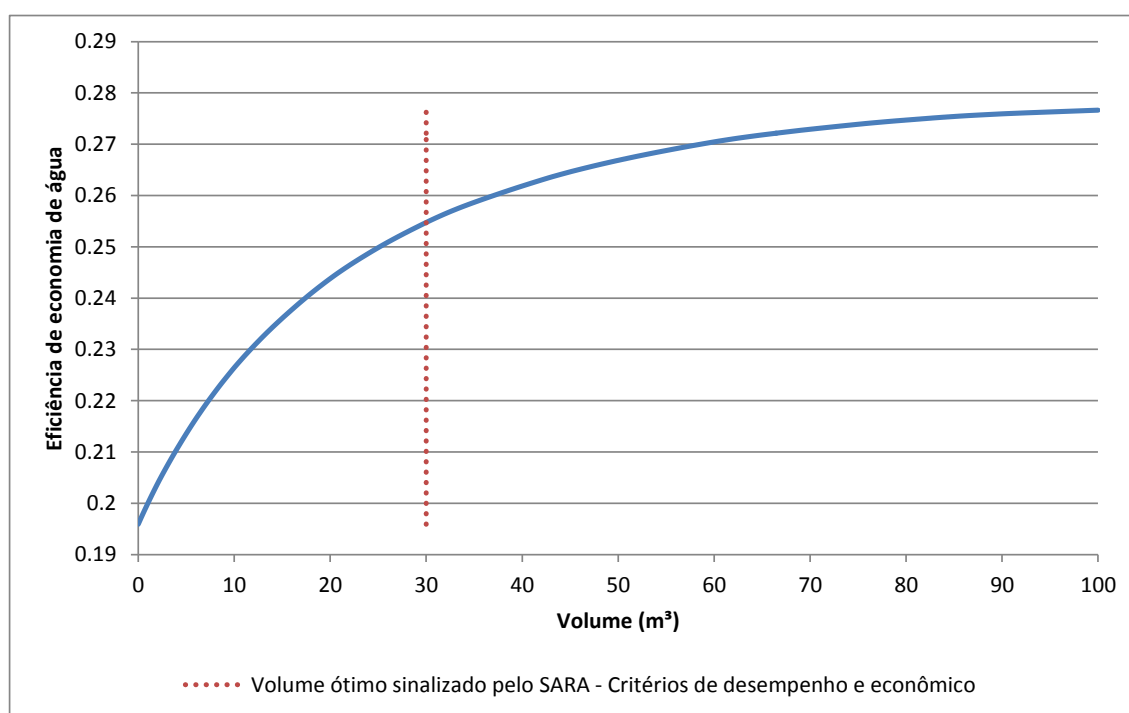


Figura 5.40 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em Recife/PE.

Conforme pode ser visto na Figura 5.40, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 25,5%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 27,7%, apenas 2,2% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 100 m³.

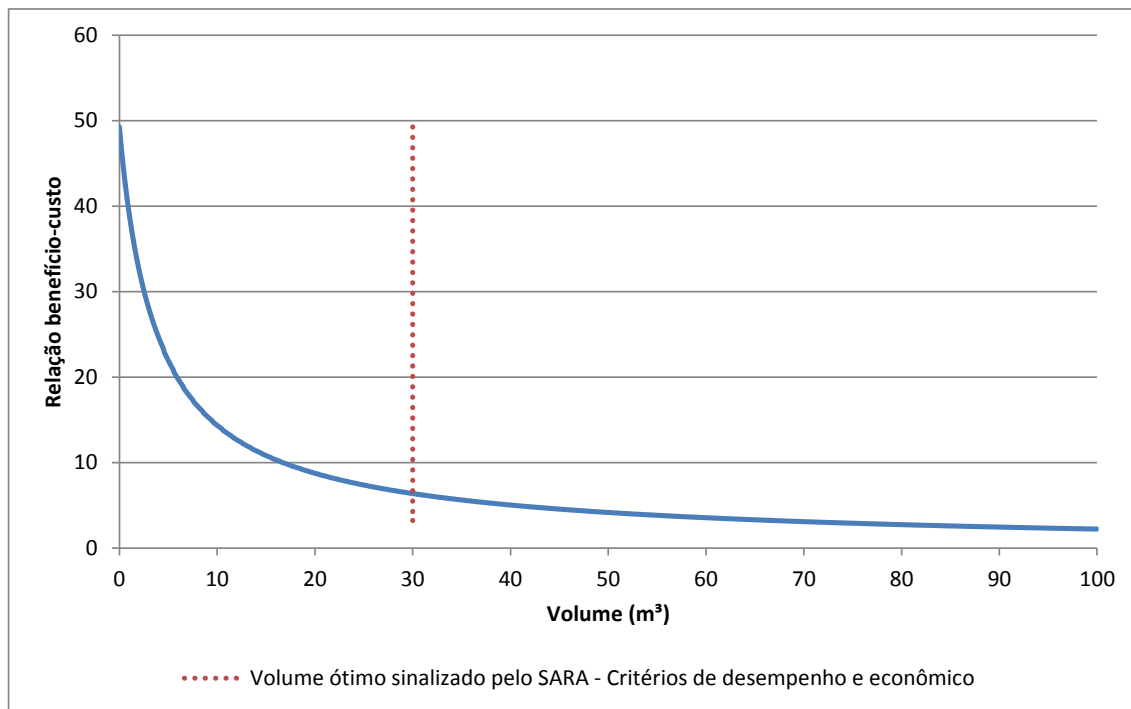


Figura 5.41 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em Recife/PE.

5.2.3.10 São Paulo/SP

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 17,3 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de 3,04, confiabilidade plena de 9,4% e desperdício de água de chuva de 7,3%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.42 e 5.43 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

Conforme pode ser visto na Figura 5.42, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 18,3%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 19,7%, apenas 1,4% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 80 m³.

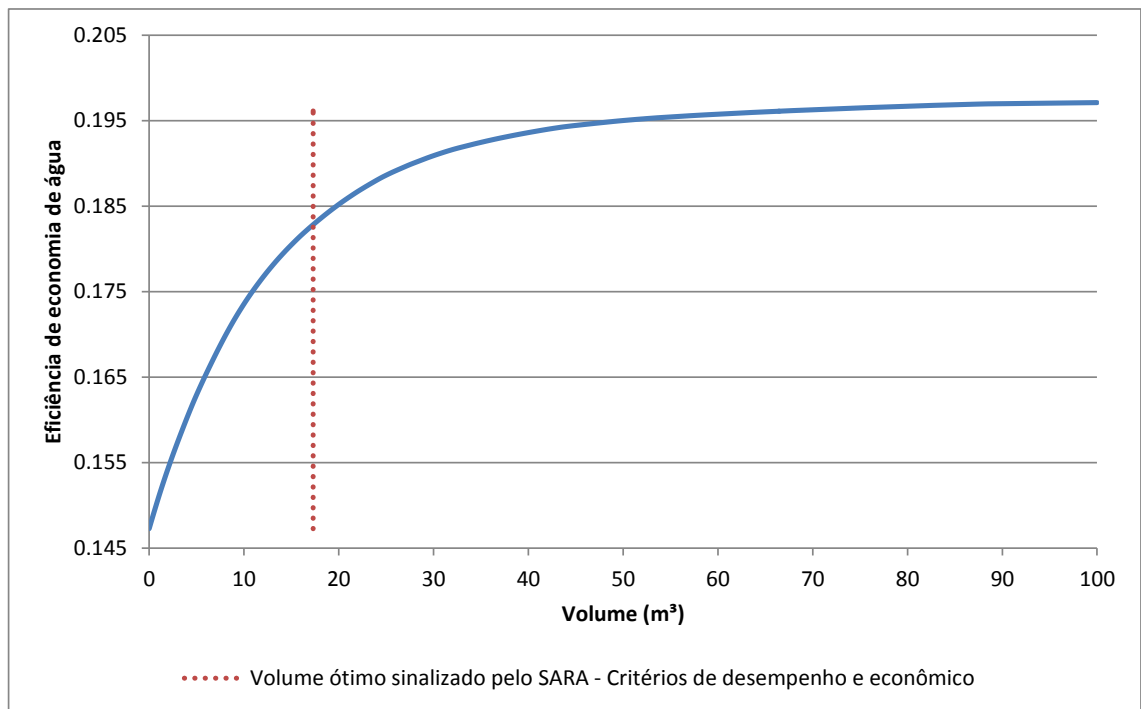


Figura 5.42 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício residencial em São Paulo/SP.

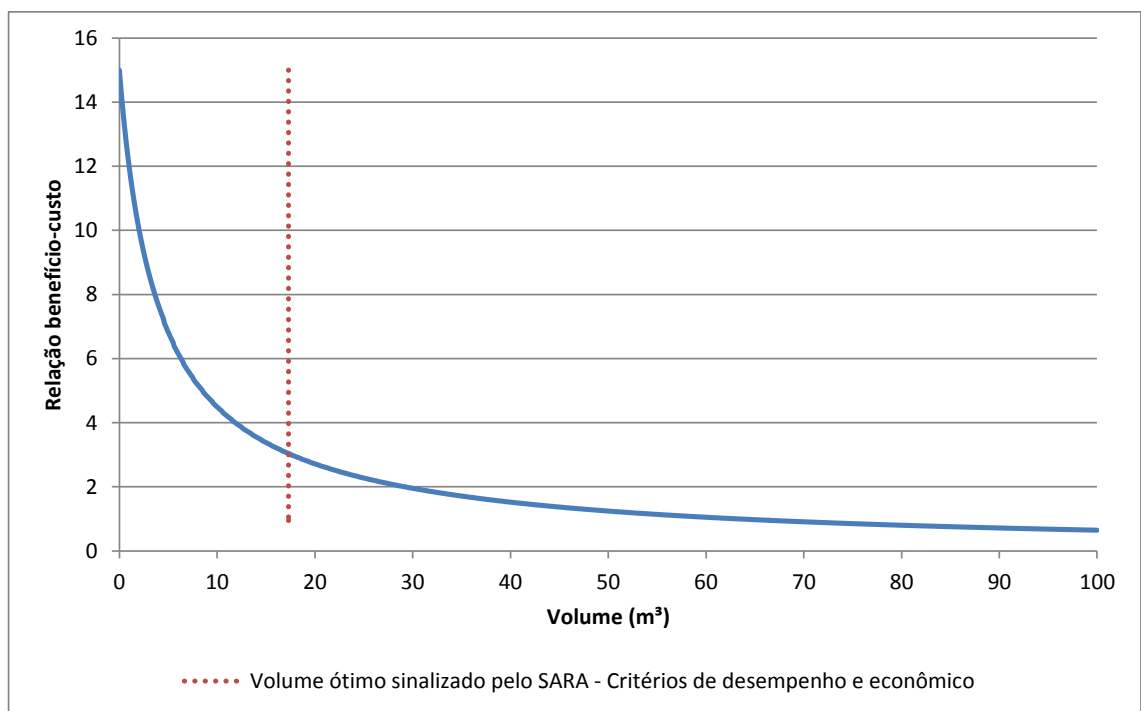


Figura 5.43 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício residencial em São Paulo/SP.

5.2.3.11 Síntese dos resultados e análises

A Tabela 5.20 sintetiza os resultados e características aferidas nos estudos de casos.

Tabela 5.20 - Tarifas médias adotadas para realização dos estudos de caso para edificação do tipo edifício residencial.

Cidade	Volume ótimo (m ³)	relação benefício custo	Eficiência de economia de água	Confiabilidade plena	Desperdício de água de chuva
Belém/PA	19.4	3.18	35.5%	17.1%	5.5%
Belo Horizonte /MG	24.8	3	18.0%	10.4%	9.0%
Brasília/DF	15.9	4.32	15.7%	6.9%	5.9%
Cuiabá/MT	18	4.38	20.1%	10.8%	7.5%
Curitiba/PR	15.5	2.12	16.7%	7.6%	6.0%
Fortaleza/CE	23.5	3.51	17.0%	8.8%	9.4%
Manaus/AM	20.5	6.64	26.1%	13.3%	6.8%
Porto Alegre/RS	14.6	4.03	15.6%	7.3%	5.8%
Recife/PE	30	6.37	25.5%	13.9%	9.0%
São Paulo/SP	17.3	4.13	18.3%	9.4%	7.3%
Média	20.0	4.17	20.9%	10.6%	7.2%

Assim como já mencionado na seção anterior, é importante salientar que o volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA deve ser um ponto de partida para projetistas, que precisarão observar características específicas das edificações e também definir o tipo do reservatório de acumulação que irão utilizar, que não necessariamente seguirá o tipo padronizado que o SARA considera.

Através da análise dos resultados apresentados para os estudos de casos de edificações do tipo edifício residencial constata-se que os volumes ótimos de pré-dimensionamento fixados pelo SARA se situam sempre nas proximidades do ponto de curvatura máxima da curva de volume x eficiência de economia de água a partir do qual esta apresenta comportamento assintótico, assim como foi observado nos estudos de casos de residências unifamiliares e conforme preconizado pela metodologia construída.

Ao analisar a Tabela 5.20, percebe-se que a maior eficiência de economia de água é a obtida para a cidade de Belém/PA. Isso era esperado pois, como pode ser visto na Tabela 5.24, Belém/PA é o município com maior total médio precipitado anualmente e, sendo assim, há mais chuva captada e disponível para utilização. Observa-se também que os valores de eficiência de economia de água foram em geral baixos, com média de 20,9%. Isso ocorre porque o cenário desta tipologia de edificação é considerado crítico, pois, apesar de apresentar área de captação favorável, possui demanda por água de chuva alta.

Depreende-se então que cenários críticos são encontrados para edificações com pequenas áreas de captação e/ou grandes demandas por água de chuva.

Constata-se também que as confiabilidades plenas apresentadas são muito baixas, o que não quer dizer que o SAAP é ineficiente ou não cumpre seu papel. Isso ocorre porque a metodologia de pré-dimensionamento e análise da viabilidade aqui definida foi construída para aplicação em centros urbanos, onde presume-se haver fornecimento de água por companhias de saneamento, ou seja, o objetivo não é promover uma nova fonte de abastecimento com alta confiabilidade, mas sim possibilitar a redução da demanda de outras fontes. Além disso, outro fator que contribui para que os valores de confiabilidade plena sejam pequenos é que o método de cálculo deste indicador é deveras conservador, uma vez que atualiza-se o contador de nível de confiabilidade somente se o SAAP for capaz de suprir toda a demanda diária por água não potável da edificação. Por este motivo optou-se por chamar este indicador de confiabilidade plena.

No que diz respeito às relações benefício-custo expostas na Tabela 5.20, observa-se que todas elas são superiores a 1, com média de 4,17, evidenciando que para todas as cidades houve viabilidade econômica na implantação do SAAP para os casos estudados. Esse resultado pode ser explicado pela alta economia de água tratada que implantação de SAAP proporciona, mesmo que toda a demanda não possa ser atendida. Além disso, os edifícios residenciais, por terem alto consumo de água mensal, são enquadrados nas estruturas tarifárias das companhias de saneamento de tal forma que possuem elevadas tarifas para fornecimento de água e tratamento de esgoto, fazendo com que cada m³ economizado através do SAAP agregue grande valor aos benefícios auferidos pelo sistema.

Ao observar os gráficos de relação benefício-custo de todas as cidades percebe-se um comportamento atípico, pois gráficos de relações B/C costumam apresentar formatos próximos aos apresentados nos estudos de casos para residências unifamiliares, onde há um crescimento, um pico e um decaimento do valor de B/C ao longo do gráfico. Isso acontece por conta de características do algoritmo de simulação PAE, utilizado pelo SARA. Ocorre que o algoritmo permite que a água de chuva captada num determinado dia seja usada para suprir a demanda deste mesmo dia (ver Equação 4.1) sem que haja necessidade de armazenamento prévio. Assim, os custos de construção e manutenção considerados são baixos para reservatórios muito pequenos ou com volume zero, já que são dados em função do tamanho do reservatório. Entretanto os benefícios podem ser

consideravelmente altos em situações como a de edifícios residenciais, em que há elevadas demanda e tarifa para água e esgoto, mesmo para reservatórios muito pequenos, uma vez que, como já mencionado, o algoritmo permite que a chuva de um determinado dia seja utilizada para suprir a demanda deste mesmo dia.

É importante destacar que a situação descrita no parágrafo anterior não representa aspectos práticos e realísticos, uma vez que não se constrói SAAP com reservatórios muito pequenos ou nulos, sendo normalmente usado o valor de 1 m³ como menor volume de acumulação. Apesar disso, conforme explicado na seção 4.3, optou-se por manter essas características no SARA e sempre simular reservatórios a partir de volume zero, uma vez que, antes de ser uma ferramenta para dimensionamento preliminar de reservatórios de acumulação de SAAP, o SSD é também uma ferramenta para analisar a viabilidade de implantação de SAAP em centros urbanos. Assim, quando o volume ótimo de acumulação indicado pelo SARA for muito pequeno ou zero deve-se interpretar que o SSD está sinalizando para a inviabilidade de implantação de SAAP na edificação.

Ao analisar novamente os gráficos de relação benefício-custo destes estudos de casos, nota-se que o maior valor de B/C é para o volume zero. Assim, gráficos com estes mesmos formatos e que não apresentem nenhum valor de relação benefício-custo maior do que 1, farão com que o SARA indique zero como sendo volume ótimo de acumulação, sinalizando, desta forma, que há inviabilidade de implantação do SAAP.

Finalmente, acerca dos resultados para o indicador desperdício de água de chuva, observa-se que, diferentemente do que ocorreu para os estudos de casos para residências unifamiliares, os valores desse indicador foram sempre baixos, com média de 7,2%. Isso ocorre porque a demanda por água não potável é muito alta para os casos das edifícios residenciais, fazendo com que quase a totalidade da chuva captada seja direcionada para suprir a demanda, gerando pouco desperdício, portanto. Isso também denota que o SAAP gera um amortecimento de cheias, pois muito pouco do que é captado é lançado na rede de drenagem urbana.

5.2.4 Estudos de caso para edificações do tipo edifício público

São apresentados, para cada um dos municípios em análise, os estudos de caso para edificação do tipo edifício público, cujos parâmetros técnicos já foram definidos anteriormente.

Os enquadramentos nas estruturas tarifárias de cada região foram realizados para cada cidade estudada, considerando o consumo total mensal para edifícios públicos, a demanda por água não potável e o potencial de economia de água da região para a tipologia da edificação. Assim a tarifa média a ser considerada em cada cidade é apresentada na Tabela 5.21.

Tabela 5.21 - Tarifas médias adotadas para realização dos estudos de caso para edificação do tipo edifício público.

Tarifa média adotada (R\$/m ³)				
Belém/PA	Belo Horizonte/MG	Brasília/DF	Cuiabá/MT	Curitiba/PR
4.18	6.72	8.67	6.35	4.42
Fortaleza/CE	Manaus/AM	Porto Alegre/RS	Recife/PE	São Paulo/SP
7.12	14.97	6.94	5.95	9.54

5.2.4.1 Belém/PA

Da mesma forma como foi feito nas seções anteriores, o estudo de caso realizado para a cidade de Belém é apresentado de forma mais pormenorizada do que os dos demais municípios para que seja possível demonstrar os procedimentos desenvolvidos pelo SARA até a determinação do volume ótimo de pré-dimensionamento do reservatório de acumulação do SAAP.

Após proceder com a simulação e analisando detalhadamente o procedimento de obtenção do volume ótimo de pré-dimensionamento, observa-se que o SARA obteve como primeira estimativa, utilizando apenas o critério de desempenho, o volume de 9,7 m³. Para isso o SARA definiu que o valor da variável Escala1 é de 0,0236 e o valor da variável Escala2 é de 27,2 m³, seguindo os critérios apresentados na Figura 4.10. A partir daí o SARA realizou a verificação imposta pela Equação 4.12 para cada tamanho de reservatório simulado, indicando o volume ótimo conforme é mostrado numericamente na Equação 5.3.

$$\text{Como } \frac{0,2351-0,2350}{9,7-9,6} \leq \frac{0,0236}{27,2} \text{ então Volume ótimo} = V_{i+1} = 9,7 \text{ m}^3 \quad (5.3)$$

Após isso o SARA calculou a relação benefício-custo para o volume ótimo indicado e constatou que é igual a 3,45. Já a confiabilidade plena ficou em 5,6% e o desperdício de água de chuva em 3,1%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, uma vez que o volume fixado inicial já possui viabilidade econômica (B/C ≥ 1), o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das

Figuras 5.44 e 5.45 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

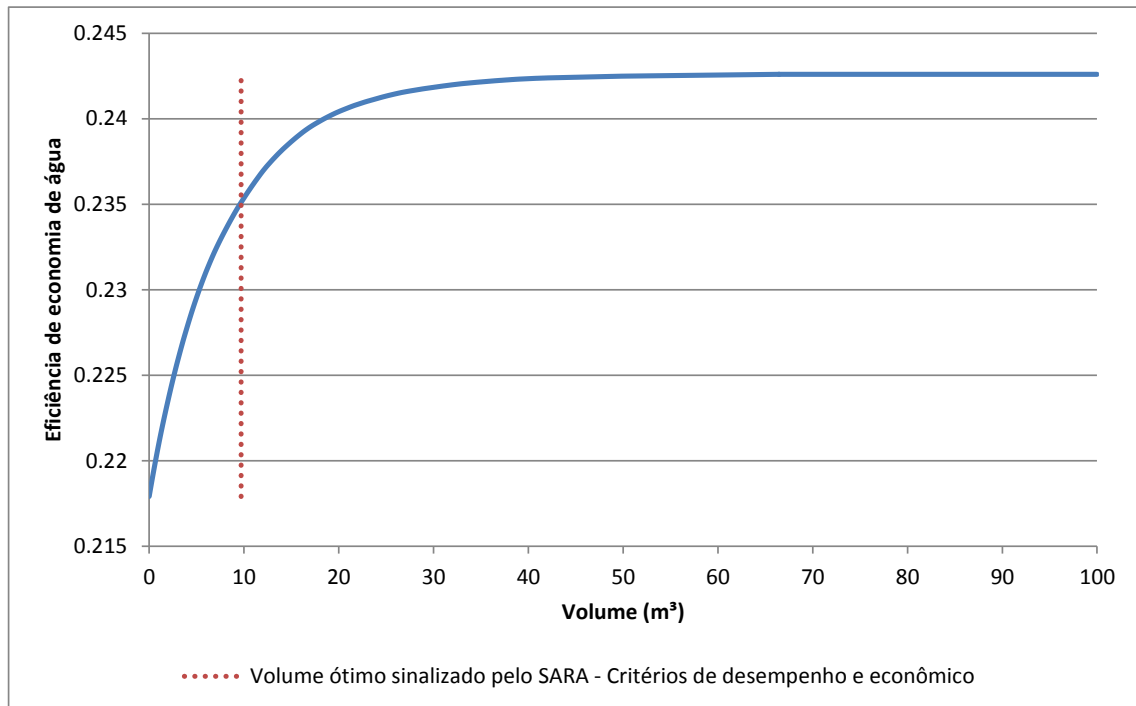


Figura 5.44 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Belém/PA.

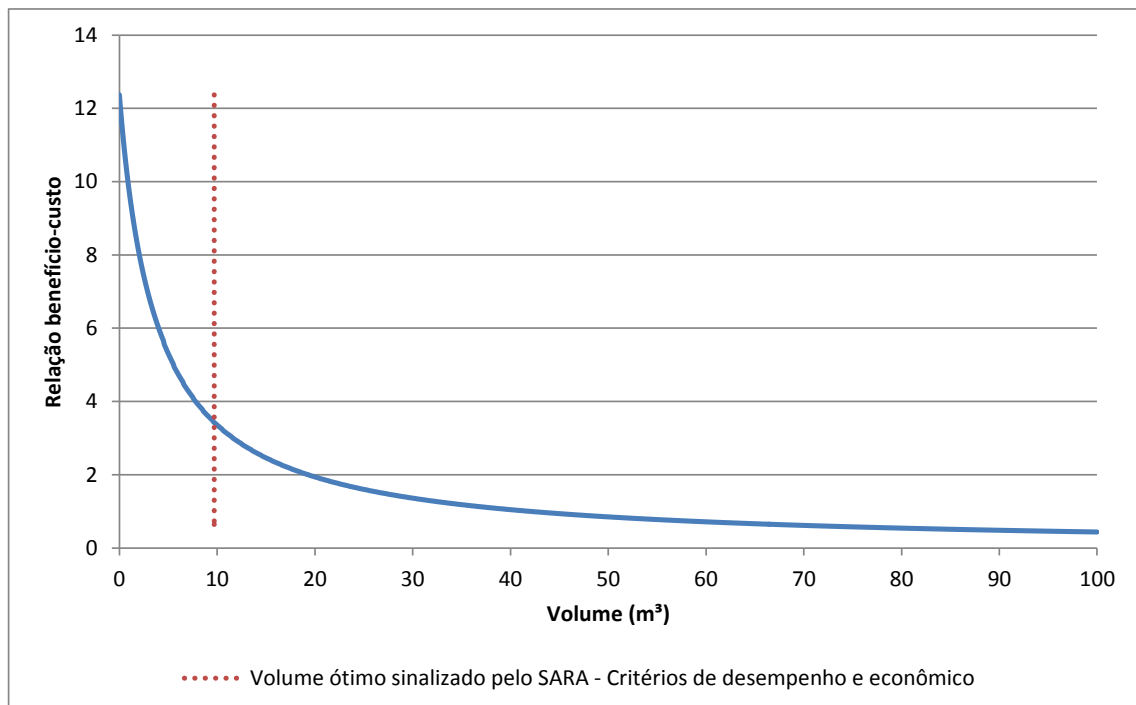


Figura 5.45 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Belém/PA.

Como pode ser observado na Figura 5.44, a eficiência de economia de água para o volume ótimo de pré-dimensionamento fixado pelo SARA é de aproximadamente 23,5%. Isso significa que em média apenas 23,5% da demanda diária poderá ser suprida pelo SAAP caso este seja o volume adotado. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 24,3%, apenas 0,8% acima do alcançado pelo volume fixado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 30 m³.

5.2.4.2 Belo Horizonte

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 11,5 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de 3,23, confiabilidade plena de 4,3% e desperdício de água de chuva de 5,2%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.46 e 5.47 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

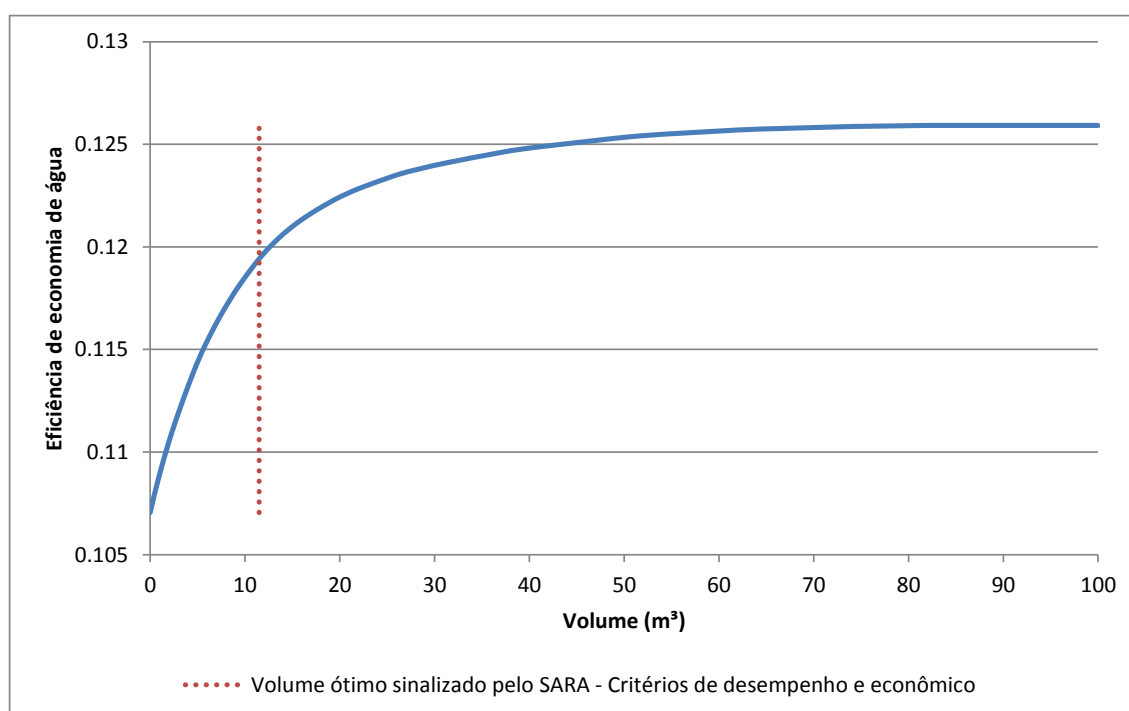


Figura 5.46 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Belo Horizonte/MG.

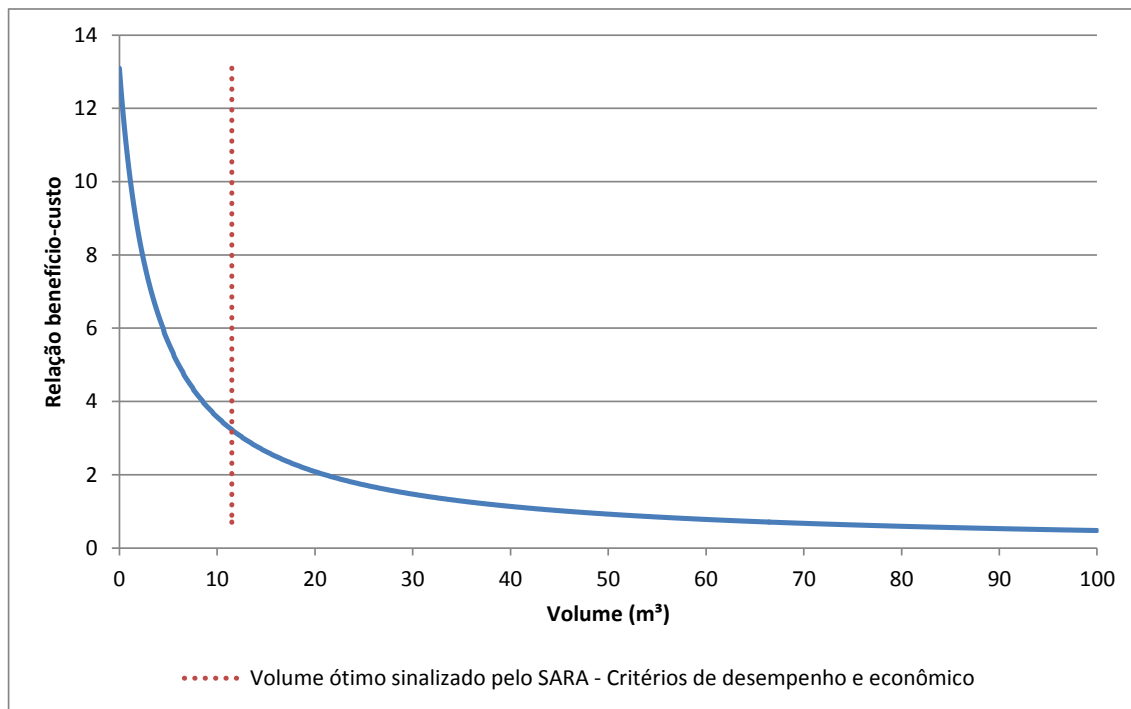


Figura 5.47 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Belo Horizonte/MG.

Conforme pode ser visto na Figura 5.46, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 12%. Isso significa que em média somente 12% da demanda diária poderia ser suprida pelo SAAP caso fosse este o volume adotado. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 12,6%, apenas 0,6% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 80 m³.

5.2.4.3 Brasília/DF

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 7,3 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de 4,67, confiabilidade plena de 2,4% e desperdício de água de chuva de 3,4%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.48 e 5.49 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

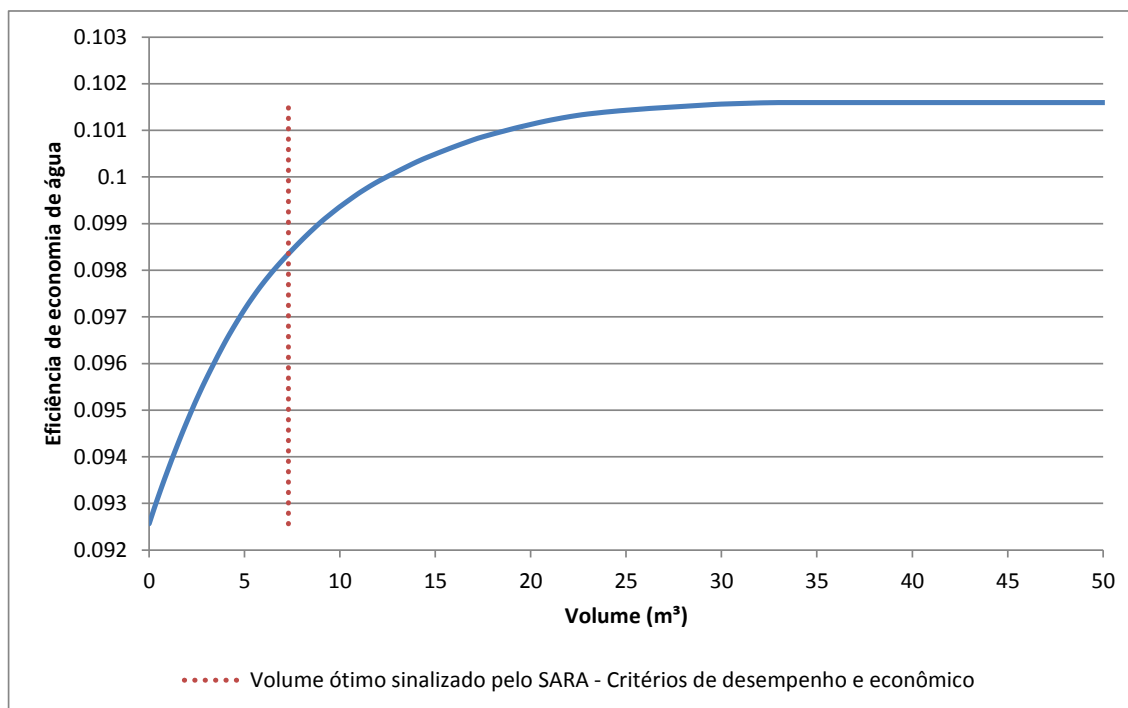


Figura 5.48 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Brasília/DF.

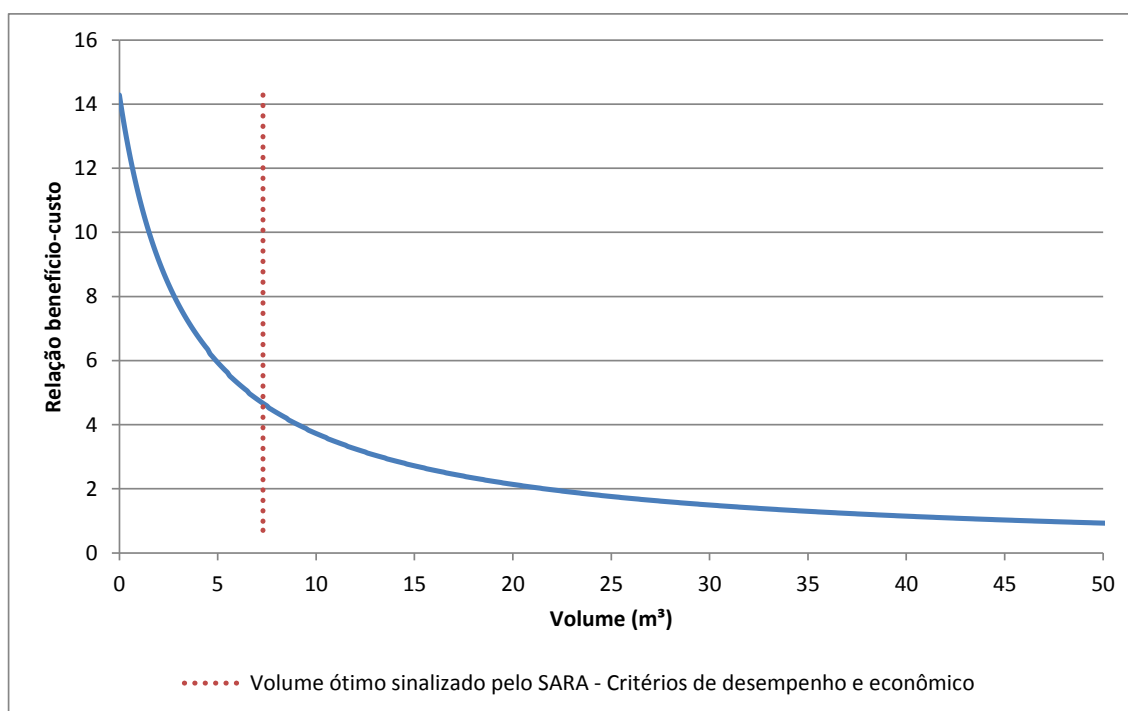


Figura 5.49 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Brasília/DF.

Conforme pode ser visto na Figura 5.48, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 9,8%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de quase 10,2%, apenas

0,4% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 30 m³.

5.2.4.4 Cuiabá/MT

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 9,2 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de 4,75, confiabilidade plena de 4,1% e desperdício de água de chuva de 3,8%. Após isso verificou que este valor é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.50 e 5.51 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

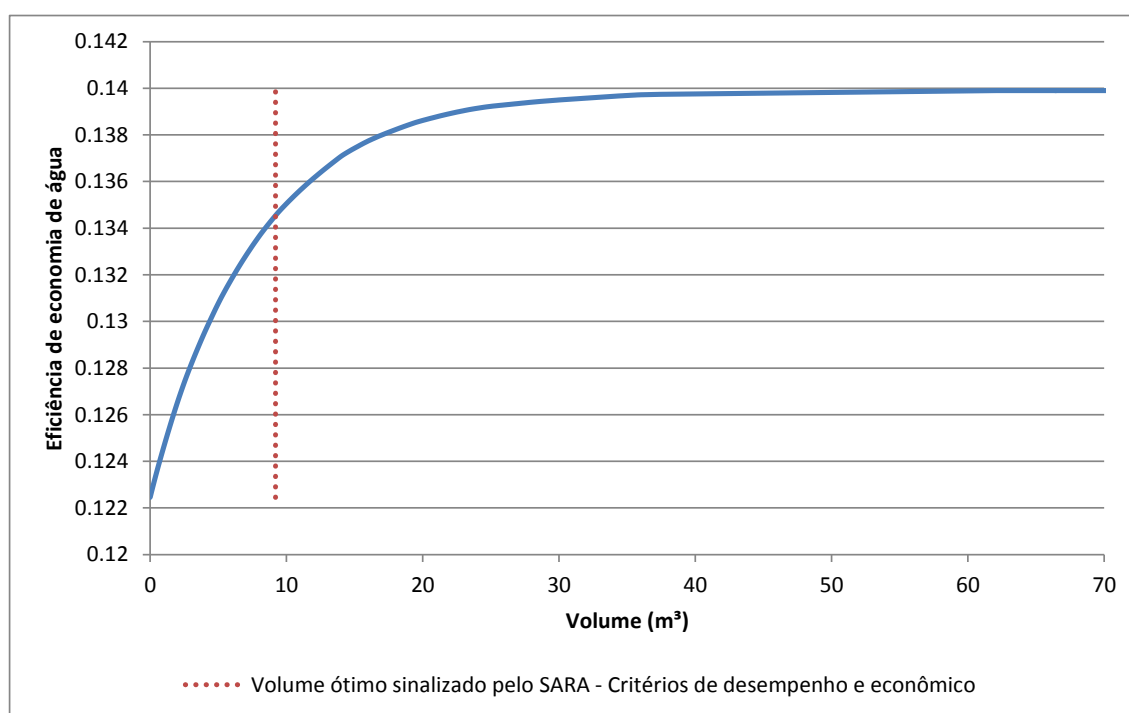


Figura 5.50 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Cuiabá/MT.

Conforme pode ser visto na Figura 5.50, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 13,5%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 14%, apenas 0,5% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 60 m³.

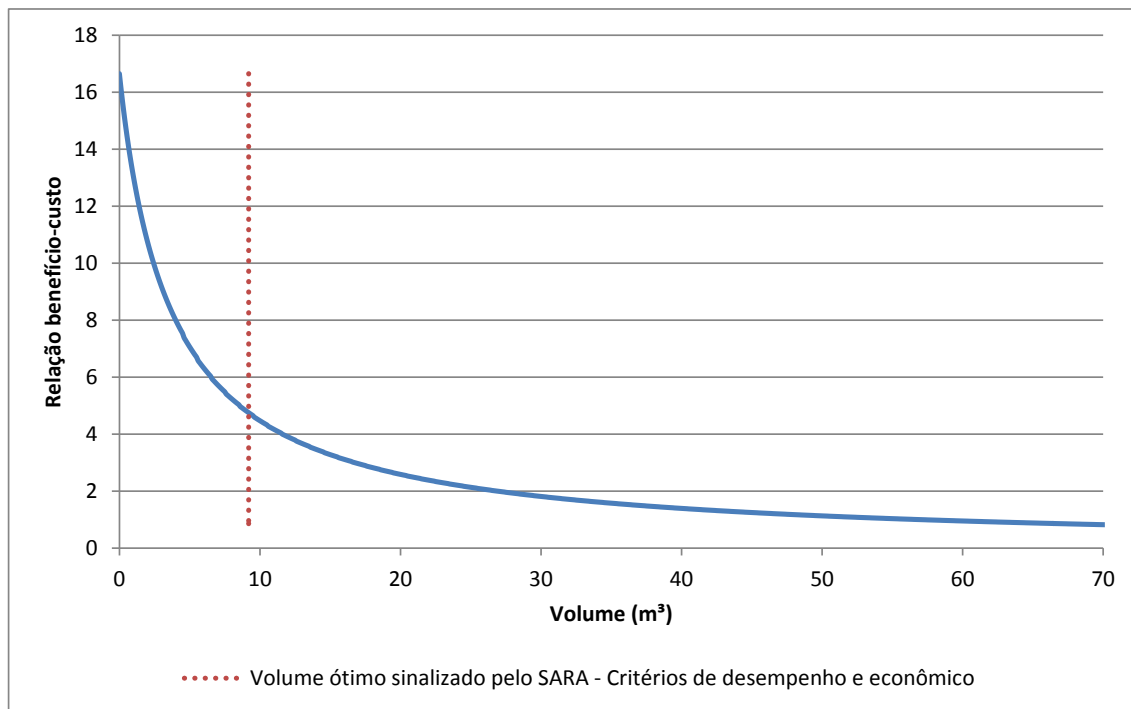


Figura 5.51 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Cuiabá/MT.

5.2.4.5 Curitiba/PR

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 8,3 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de 2,23, confiabilidade plena de 2,6% e desperdício de água de chuva de 3,1%. Após isso verificou que este valor é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.32 e 5.33 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

Conforme pode ser visto na Figura 5.52, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 11%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 11,4%, apenas 0,4% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 35 m³.

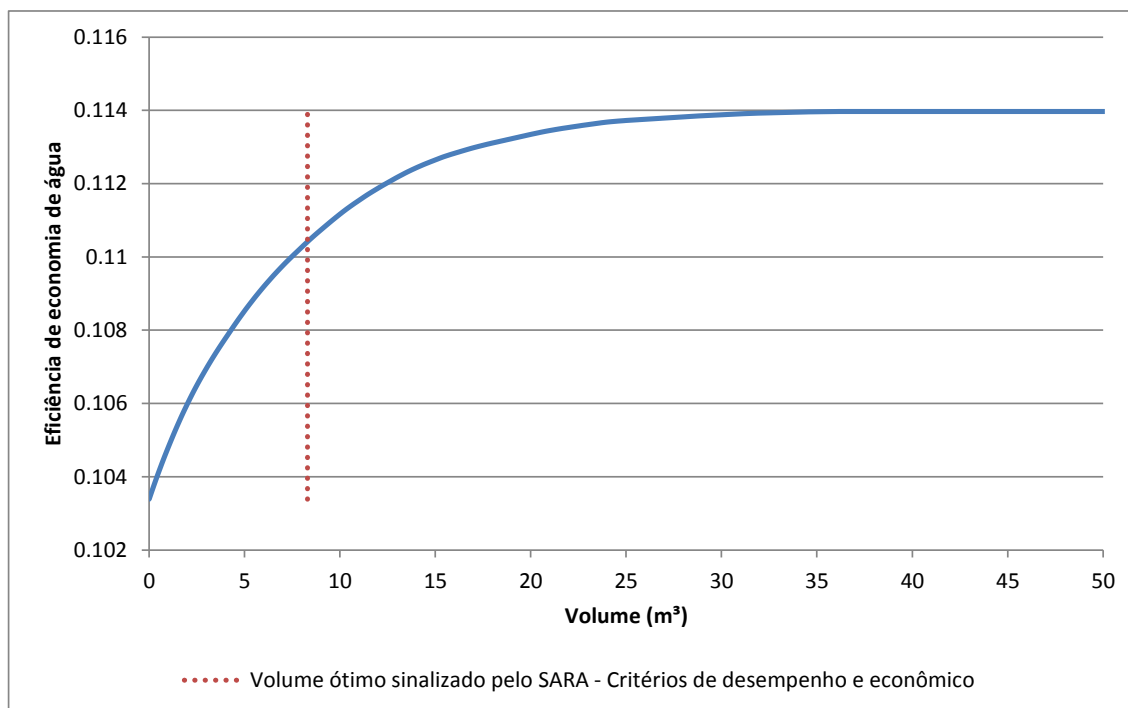


Figura 5.52 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Curitiba/PR.

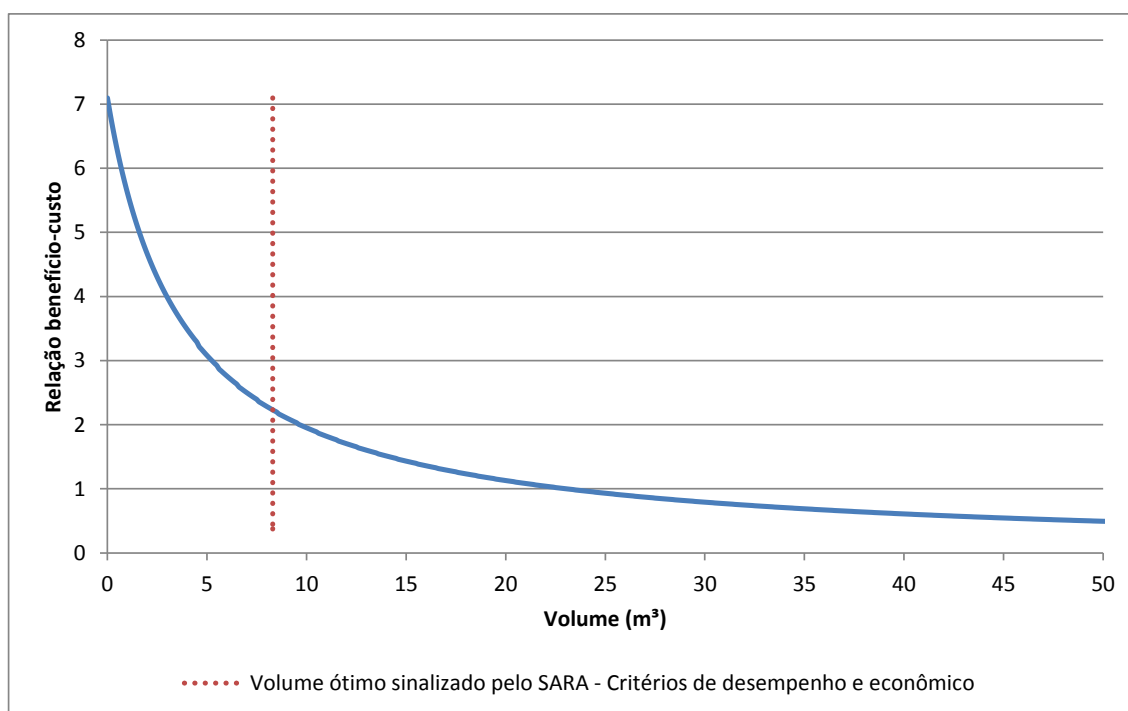


Figura 5.53 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Curitiba/PR.

5.2.4.6 Fortaleza/CE

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 12,5 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de

3,92, confiabilidade plena de 3,8% e desperdício de água de chuva de 5,8%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.54 e 5.55 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

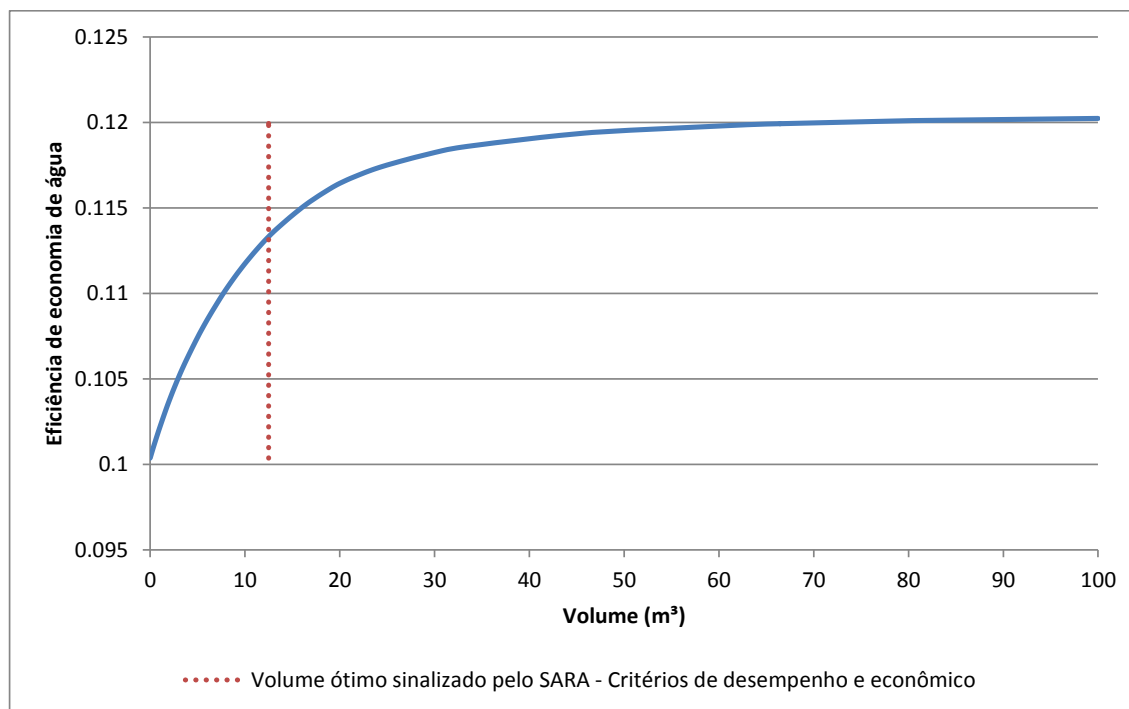


Figura 5.54 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Fortaleza/CE.

Conforme pode ser visto na figura 5.54, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 11,3%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 12%, apenas 0,7% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 70 m³.

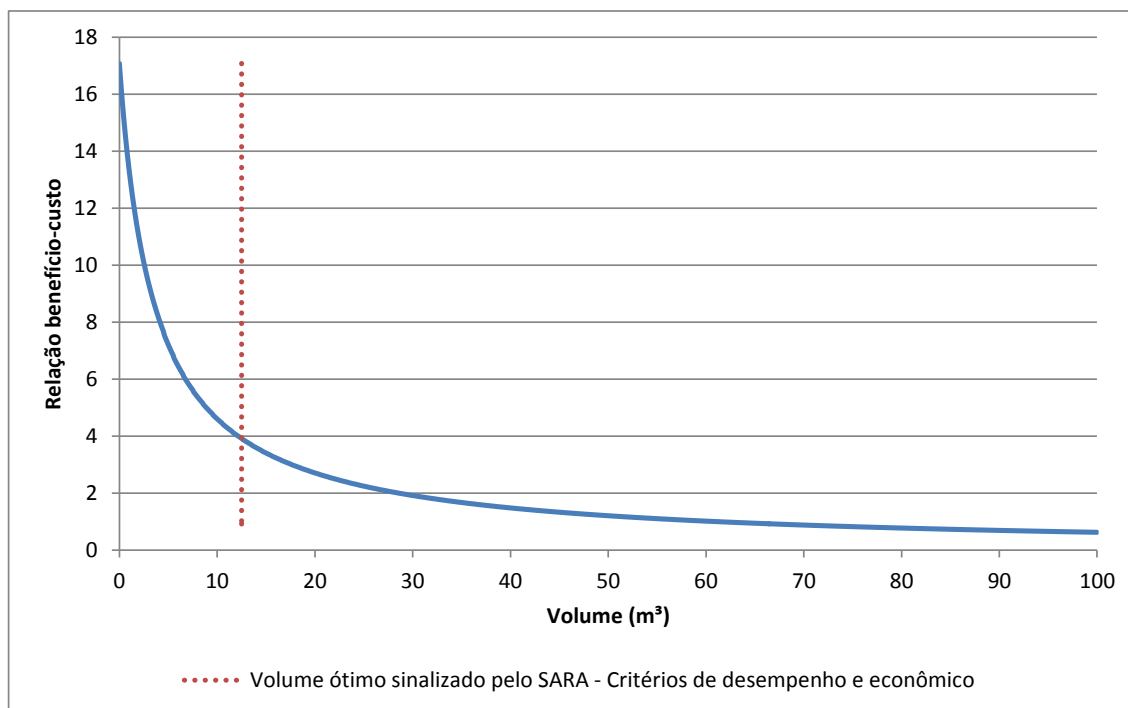


Figura 5.55 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Fortaleza/CE.

5.2.4.7 Manaus/AM

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 10,6 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de 8,89, confiabilidade plena de 5,1% e desperdício de água de chuva de 4,2%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.56 e 5.57 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

Conforme pode ser visto na Figura 5.56, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 17,3%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 18%, apenas 0,7% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 50 m³.

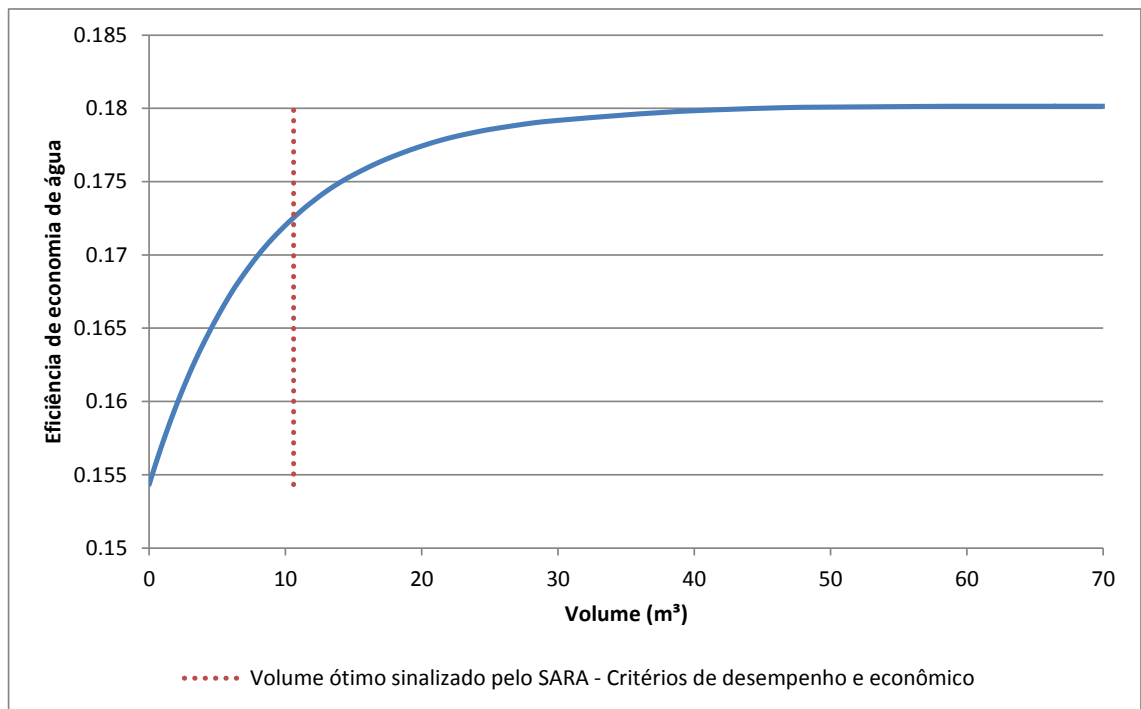


Figura 5.56 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Manaus/AM.

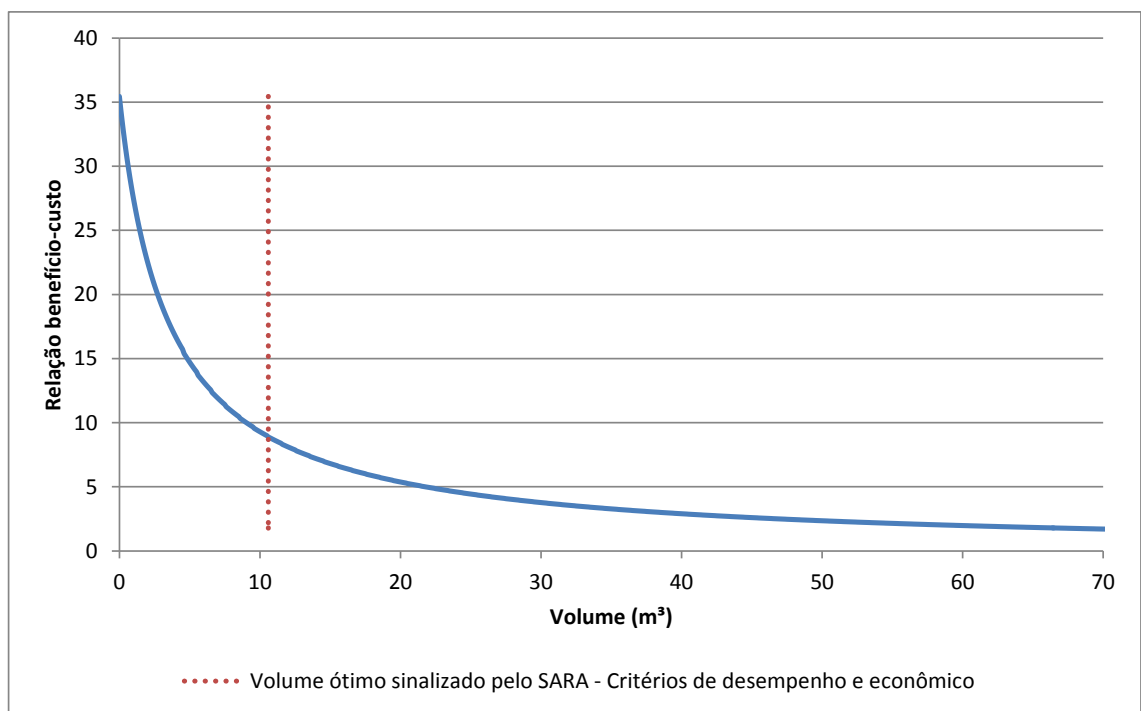


Figura 5.57 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Manaus/AM.

5.2.4.8 Porto Alegre/RS

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 7 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de 4,49,

confiabilidade plena de 2,5% e desperdício de água de chuva de 3,2%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.58 e 5.59 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

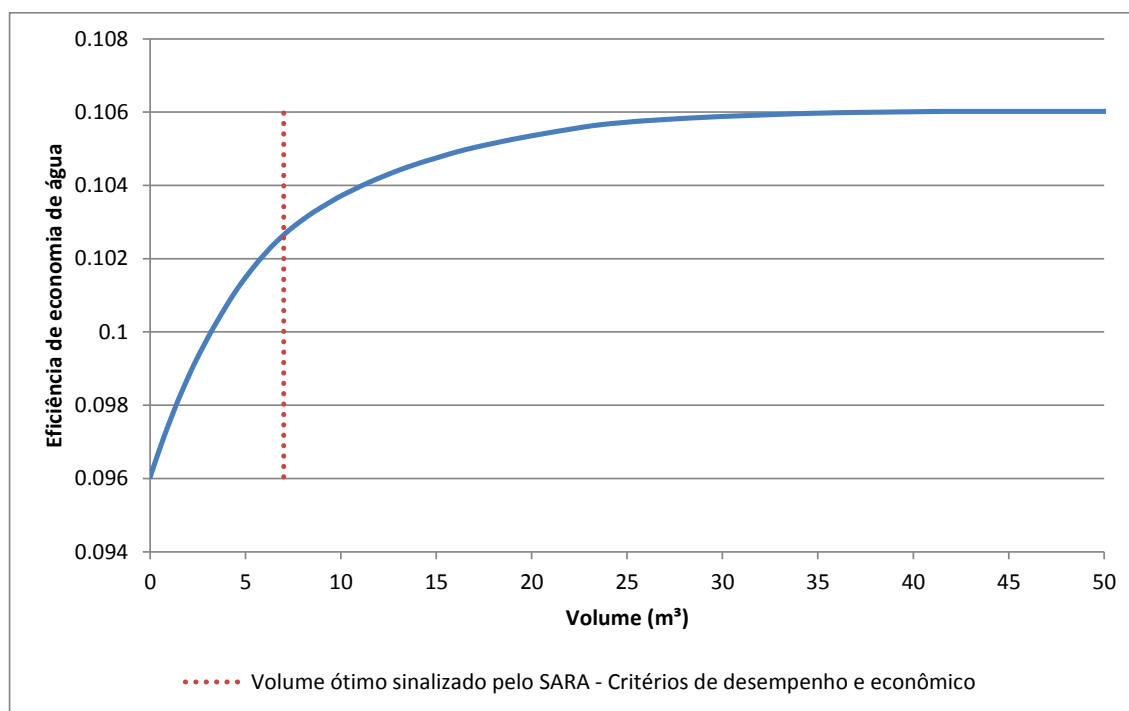


Figura 5.58 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Porto Alegre/RS.

Conforme pode ser visto na Figura 5.58, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 10,3%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 10,6%, apenas 0,3% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 50 m³.

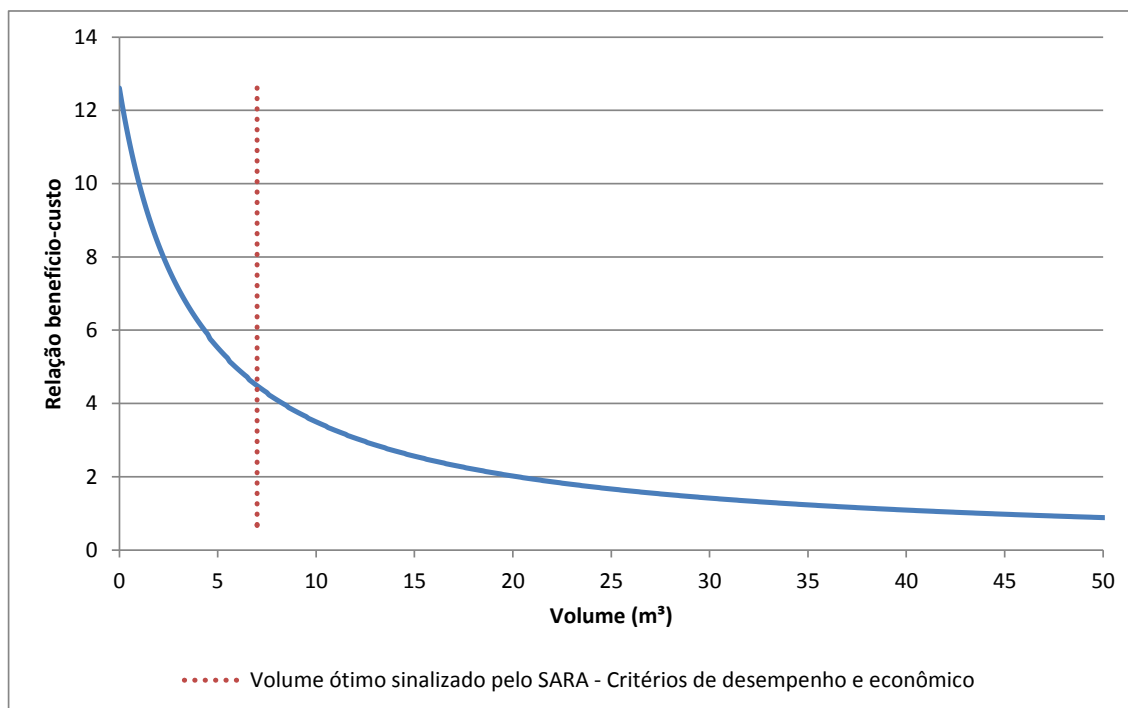


Figura 5.59 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Porto Alegre/RS.

5.2.4.9 Recife/PE

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 15,4 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de 3,73, confiabilidade plena de 6,4% e desperdício de água de chuva de 5,8%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.60 e 5.61 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

Conforme pode ser visto na Figura 5.60, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 17%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 18%, apenas 1% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 100 m³.

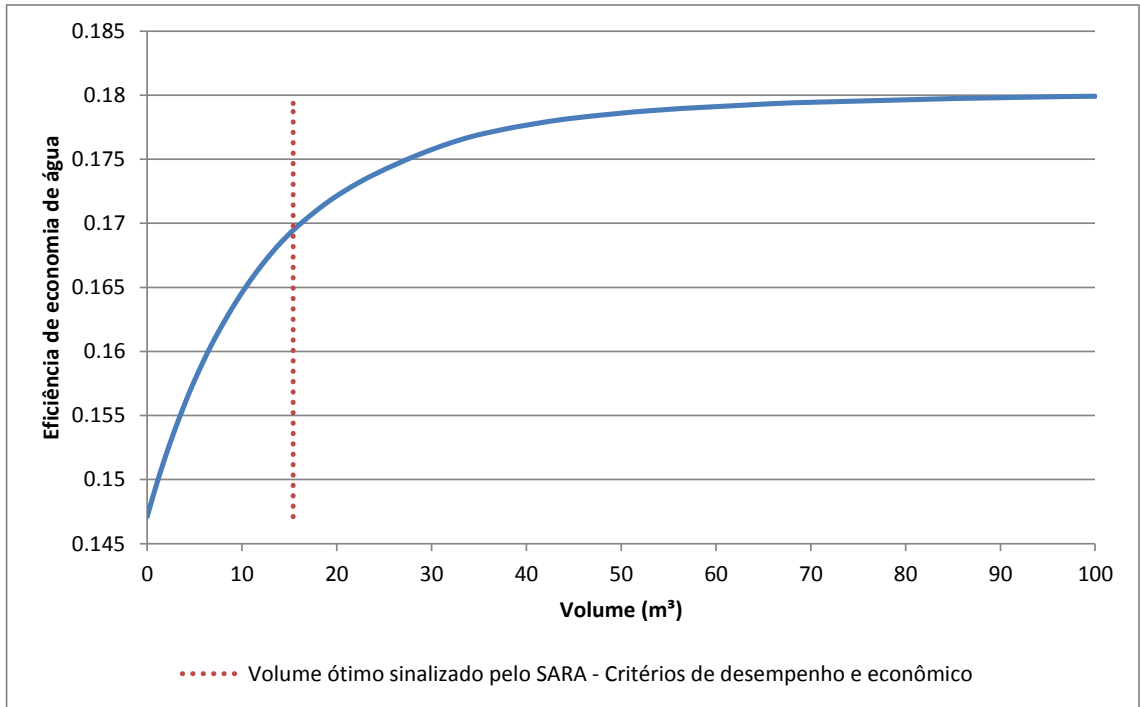


Figura 5.60 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em Recife/PE.

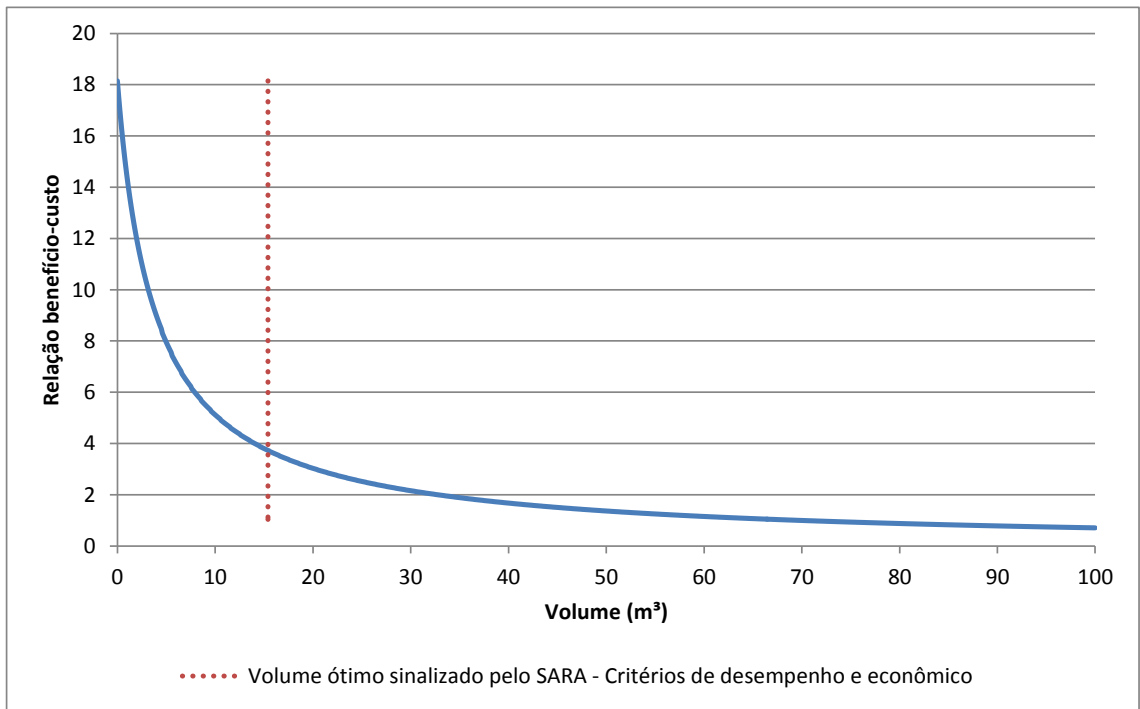


Figura 5.61 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Recife/PE.

5.2.4.10 São Paulo/SP

Após proceder com as simulações o SARA fixou o valor de 8,9 m³ para a capacidade do reservatório de armazenamento do SAAP, com relação benefício-custo de 4,55, confiabilidade de 3,5% e desperdício de água de chuva de 3,8%. Após isso verificou que B/C é maior do que 1 e, sendo assim, o SARA fixou-o como sendo o volume ótimo de pré-dimensionamento. Os gráficos das Figuras 5.62 e 5.63 apresentam a variação da eficiência da economia de água e da relação benefício-custo em função de tamanhos de reservatórios, respectivamente.

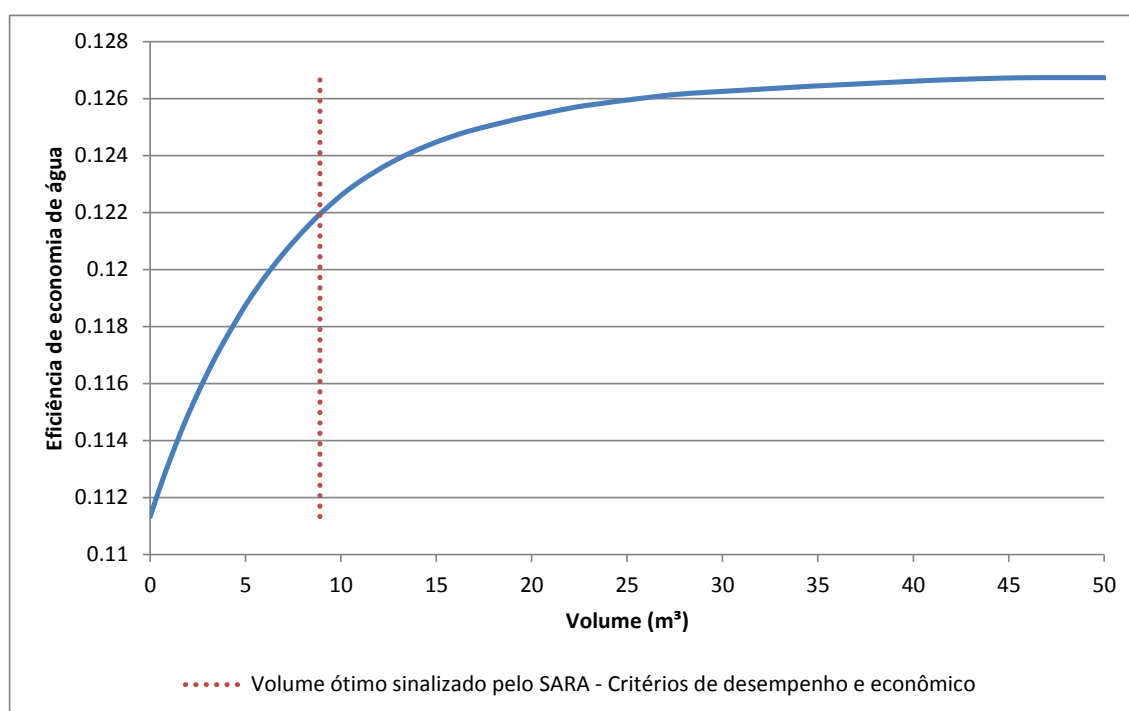


Figura 5.62 - Gráfico de volume x eficiência de economia de água para edifício público em São Paulo/SP.

Conforme pode ser visto na Figura 5.62, a eficiência de economia de água para o volume fixado pelo SARA é de aproximadamente 12,2%. Observa-se também que a eficiência de economia de água máxima que pode ser atingida é de 12,7%, apenas 0,5% acima do alcançado pelo volume ótimo de pré-dimensionamento sinalizado pelo SARA, mas com tamanho de reservatório muito maior, de aproximadamente 50 m³.

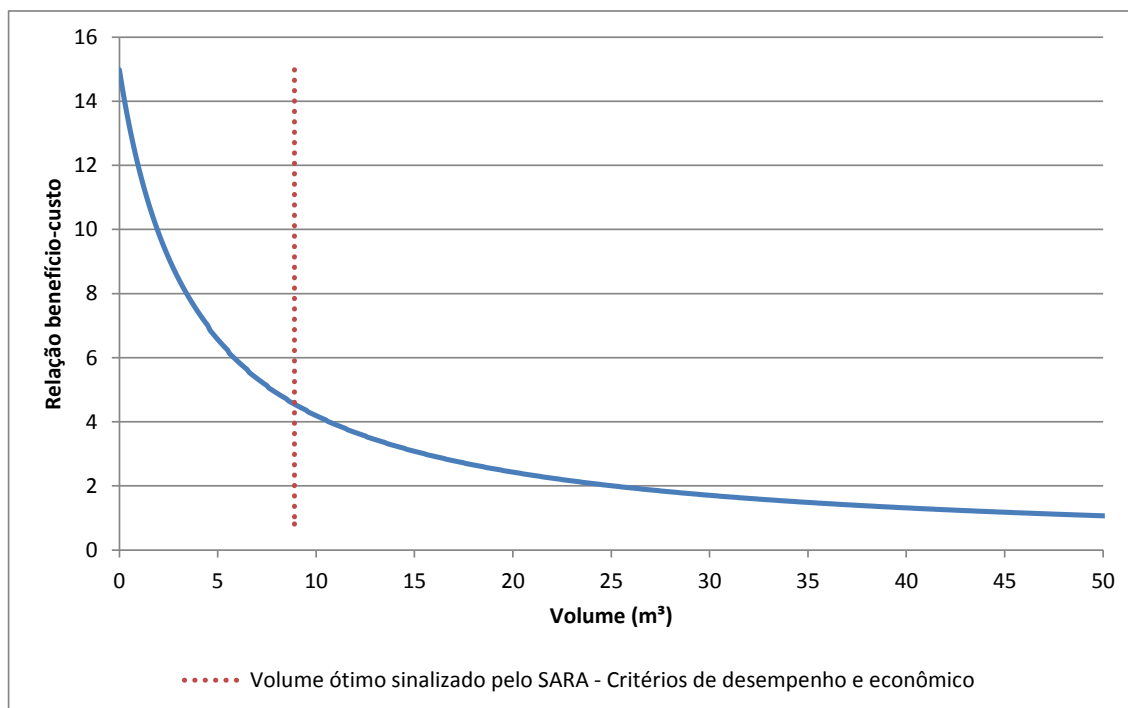


Figura 5.63 - Gráfico de volume x relação benefício-custo para edifício público em Porto São Paulo/SP.

5.2.4.11 Síntese dos resultados e análises

A Tabela 5.22 sintetiza os resultados e características aferidas nos estudos de casos.

Tabela 5.22 - Síntese dos resultados e características dos estudos de casos para edificações do tipo edifício público.

Cidade	Volume ótimo (m³)	relação benefício-custo	Eficiência de economia de água	Confiabilidade plena	Desperdício de água de chuva
Belém/PA	9.7	3.45	23.5%	5.6%	3.1%
Belo Horizonte /MG	11.5	3.23	12.0%	4.3%	5.2%
Brasília/DF	7.3	4.67	9.8%	2.4%	3.4%
Cuiabá/MT	9.2	4.75	13.5%	4.1%	3.8%
Curitiba/PR	8.3	2.23	11.0%	2.6%	3.1%
Fortaleza/CE	12.5	3.92	11.3%	3.8%	5.8%
Manaus/AM	10.6	8.89	17.3%	5.1%	4.2%
Porto Alegre/RS	7	4.49	10.3%	2.5%	3.2%
Recife/PE	15.4	3.73	17.0%	6.4%	5.8%
São Paulo/SP	8.9	4.55	12.2%	3.5%	3.8%
Média	10.0	4.39	13.8%	4.0%	4.1%

Como já era esperado, da mesma maneira como ocorreu nos outros estudos de casos, ao examinar os resultados constata-se que os volumes ótimos de pré-

dimensionamento fixados pelo SARA se situam sempre nas proximidades do ponto de curvatura máxima da curva de volume x eficiência de economia de água a partir do qual esta apresenta comportamento assintótico.

Observam-se comportamentos e características semelhantes entre os resultados aqui apresentados e os obtidos para edifícios residenciais. Isso ocorre pela proximidade entre seus parâmetros técnicos, já que as demandas por água não potável são muito semelhantes entre esses dois tipos de edificações, havendo diferenciação apenas na área de captação, que no caso dos edifícios públicos são menores, transformando-os em cenários mais críticos.

Com efeito, por se tratar de um cenário mais crítico, nota-se que as médias de quase todas as características apresentadas na Tabela 5.22 são menores do que as da Tabela 5.20, com exceção da relação benefício-custo. A eficiência de economia de água e a confiabilidade plena são menores porque, como é fácil compreender, quanto mais crítico é o cenário menores são seus valores. Com relação ao desperdício de água de chuva, também é natural entender que quanto mais crítico o cenário é menor será o desperdício. No que diz respeito à relação benefício-custo ser o único parâmetro com valor médio maior do que o apresentado na Tabela 5.20, isso se dá porque o volume ótimo médio apontado para edifícios públicos é menor do que o apontado para edifícios residenciais e a análise de todos os gráficos de volume x relação benefício-custo para os estudos de casos de edifícios residenciais e públicos torna claro o entendimento de que quanto menor for o volume maior será a relação B/C.

Dada a semelhança entre os resultados para os estudos de casos para edifícios residenciais e públicos, todas as análises e apontamentos realizados para o primeiro também valem para os estudos de casos desta seção.

5.3 DIAGRAMAS PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SAAP EM CENTROS URBANOS

Através do SARA foram realizadas simulações para indicar o volume ótimo de pré-dimensionamento de reservatórios de acumulação de SAAP para 400 combinações de cenários de demanda por água não potável, que variou de 0 a 20 m³/dia, e área de captação, que variou de 0 a 1000 m². Estes resultados foram agrupados, consolidados e processados pelo *software* Surfer (2012) para gerar os diagramas apresentados nesta Seção.

O objetivo desses diagramas é fornecer uma ferramenta prática e de aplicação fácil e expedita para promover um dimensionamento preliminar de reservatórios de acumulação de SAAP. São apresentados dois diagramas por cidade estudada, um construído a partir das simulações que levaram em conta apenas o critério de desempenho para indicar o volume ótimo e outro que construído com base em simulações que consideraram a combinação do critério de desempenho e econômico para fixar o volume ótimo de pré-dimensionamento.

O motivo de criar dois diagramas para cada cidade é para oferecer aos usuários a possibilidade de promover o pré-dimensionamento dos reservatórios tendo por critério apenas o indicador de desempenho eficiência de economia de água, nos casos em que a maneira de construção ou instalação do reservatório de acumulação do SAAP não é o mesmo adotado neste trabalho, conforme descrito na Seção 4.3. Já o diagrama construído a partir das simulações que determinaram os volumes ótimos por meio da combinação dos indicadores de desempenho e econômicos pode ser útil para usuários que pretendem construir um SAAP com reservatório de acumulação semelhante ao que é considerado nesta pesquisa.

Para proceder com a constituição dos resultados das simulações foi necessário estabelecer um critério para definir o valor da tarifa média de água e esgoto praticada em cada cidade, pois ao analisar os dados apresentados na Seção 5.2.1, percebe-se que para cada combinação de demanda por água não potável e utilização da edificação os valores para as tarifas de água e esgoto são distintos e são obtidos, caso a caso, em função do enquadramento da faixa de consumo dentro da estrutura tarifária adotada pelas diversas companhias de saneamento. Entretanto os resultados gerados nesta seção são generalizados, pois não há um empreendimento específico a ser analisado, pois foram realizadas simulações para diversos cenários de demanda por água não potável e área de captação.

Diante do exposto, para padronizar a tarifa média de água e esgoto para cada cidade estudada, foi realizada pesquisa por meio aplicativo Série Histórica 2010 (SNIS, 2010), que obteve a informação da tarifa média de água e esgoto auferida pelas companhias de saneamento de 2006 a 2010. Com base nessas informações foi determinado o reajuste médio, utilizado para prever os valores das tarifas médias para os anos de 2011, 2012 e 2013. As tarifas médias de água e esgoto utilizadas nas simulações são as previstas para 2013, conforme é mostrado na Tabela 5.25.

Tabela 5.23 - Tarifas médias praticadas de 2006 a 2010 e previsões para 2011, 2012 e 2013.

Cidade	Tarifa média de água e esgoto praticada (R\$/m³)	Reajuste 2006-2007	Tarifa média de água e esgoto praticada (R\$/m³)	Reajuste 2007-2008	Tarifa média de água e esgoto praticada (R\$/m³)	Reajuste 2008-2009	Tarifa média de água e esgoto praticada (R\$/m³)	Reajuste 2009-2010	Tarifa média de água e esgoto praticada (R\$/m³)	Reajuste médio	Previsão de tarifa média de água e esgoto praticada (R\$/m³)	Previsão de tarifa média de água e esgoto praticada (R\$/m³)	Previsão de tarifa média de água e esgoto praticada (R\$/m³)
	2006		2007		2008		2009		2010		2011	2012	2013
Belém/PA	1.77	6.21%	1.88	5.32%	1.98	0.51%	1.99	-5.03%	1.89	1.75%	1.92	1.96	1.99
Belo Horizonte/MG	2.03	9.85%	2.23	8.52%	2.42	2.89%	2.49	0.40%	2.50	5.42%	2.64	2.78	2.93
Brasília/DF	2.30	6.52%	2.45	4.49%	2.56	1.95%	2.61	6.51%	2.78	4.87%	2.92	3.06	3.21
Cuiabá/MT	1.21	3.31%	1.25	42.40%*	1.78	9.27%	1.95	8.48%	2.11	7.02%	2.26	2.42	2.59
Curitiba/PR	1.78	0.56%	1.79	1.68%	1.82	1.10%	1.84	1.09%	1.86	1.11%	1.88	1.90	1.92
Fortaleza/CE	1.36	3.68%	1.41	9.22%	1.54	4.55%	1.61	9.32%	1.76	6.69%	1.88	2.00	2.14
Manaus/AM	2.33	20.17%	2.80	-0.71%	2.78	1.80%	2.83	-9.19%	2.57	3.02%	2.65	2.73	2.81
Porto Alegre/RS	2.54	3.94%	2.64	7.95%	2.85	7.37%	3.06	3.27%	3.16	5.63%	3.34	3.53	3.72
Recife/PE	1.81	12.71%	2.04	-4.41%	1.95	12.31%	2.19	6.39%	2.33	6.75%	2.49	2.66	2.83
São Paulo/SP	1.93	4.66%	2.02	3.96%	2.10	2.86%	2.16	1.39%	2.19	3.22%	2.26	2.33	2.41

*Não utilizado para o cálculo da média pro se tratar de valor exorbitante

Os demais parâmetros econômicos e os parâmetros técnicos de projeto, como coeficiente de escoamento superficial e descarte de limpeza do telhado, utilizados nas simulações foram os mesmos apresentados nos estudos de casos da Seção 5.2.

5.3.1 Belém/PA

Os diagramas da cidade de Belém serão apresentados de forma mais pormenorizada do que os dos demais municípios para que seja possível demonstrar a utilização dos diagramas e o que representam alguns aspectos.

A série histórica utilizada para gerar os diagramas de Belém/PA é a única apresentada para esta cidade na Tabela 5.1, obtida por meio da estação Belém (00148002). A série possui registros diários de janeiro de 1982 a dezembro de 2011 e possui apenas 33 dias sem registros, aos quais são atribuídos valor zero pelo SARA durante as simulações.

5.3.1.1 Diagrama construído apenas pelo critério de desempenho

O diagrama construído utilizando apenas o indicador de desempenho eficiência de economia de água é exposto na Figura 5.64.

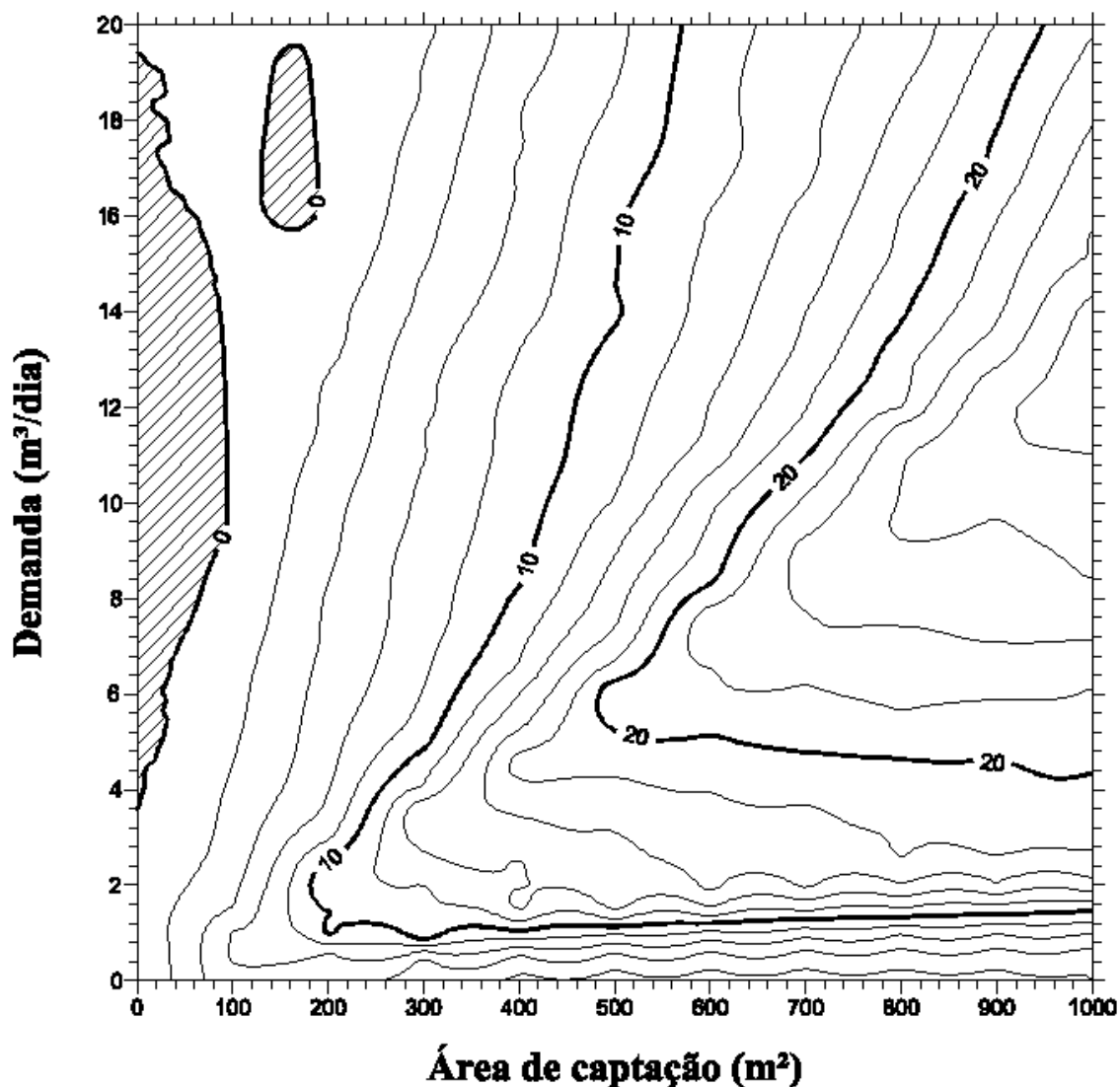


Figura 5.64 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho para Belém/PA.

O diagrama funciona como uma curva de nível, assim o volume ótimo de pré-dimensionamento é obtido ao cruzar os parâmetros de projeto área de captação (m²) e demanda (m³/dia). O pré-dimensionamento pode ser realizado para uma gama de edificações ou empreendimentos em que a demanda por água não potável pode variar de 0 a 20 m³/dia e a área de captação de 0 a 1000 m².

As áreas hachuradas retornam valor zero para o volume ótimo, assim indicam que implantar um SAAP naquelas condições de demanda e área de captação pode ser uma alternativa inviável, sob a luz de análise baseada apenas no critério de desempenho.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama 65,9% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1. Significa dizer que aproximadamente 65,9% dos

reservatórios de acumulação de SAAP dimensionados preliminarmente por este diagrama serão viáveis do ponto de vista econômico, considerando o padrão de reservatório enterrado apresentado na Seção 4.3.

5.3.1.2 Diagrama construído pela combinação dos critérios de desempenho e econômico

O diagrama construído utilizando a combinação do indicador de desempenho eficiência de economia de água e do indicador econômico relação benefício-custo é exposto na Figura 5.65.

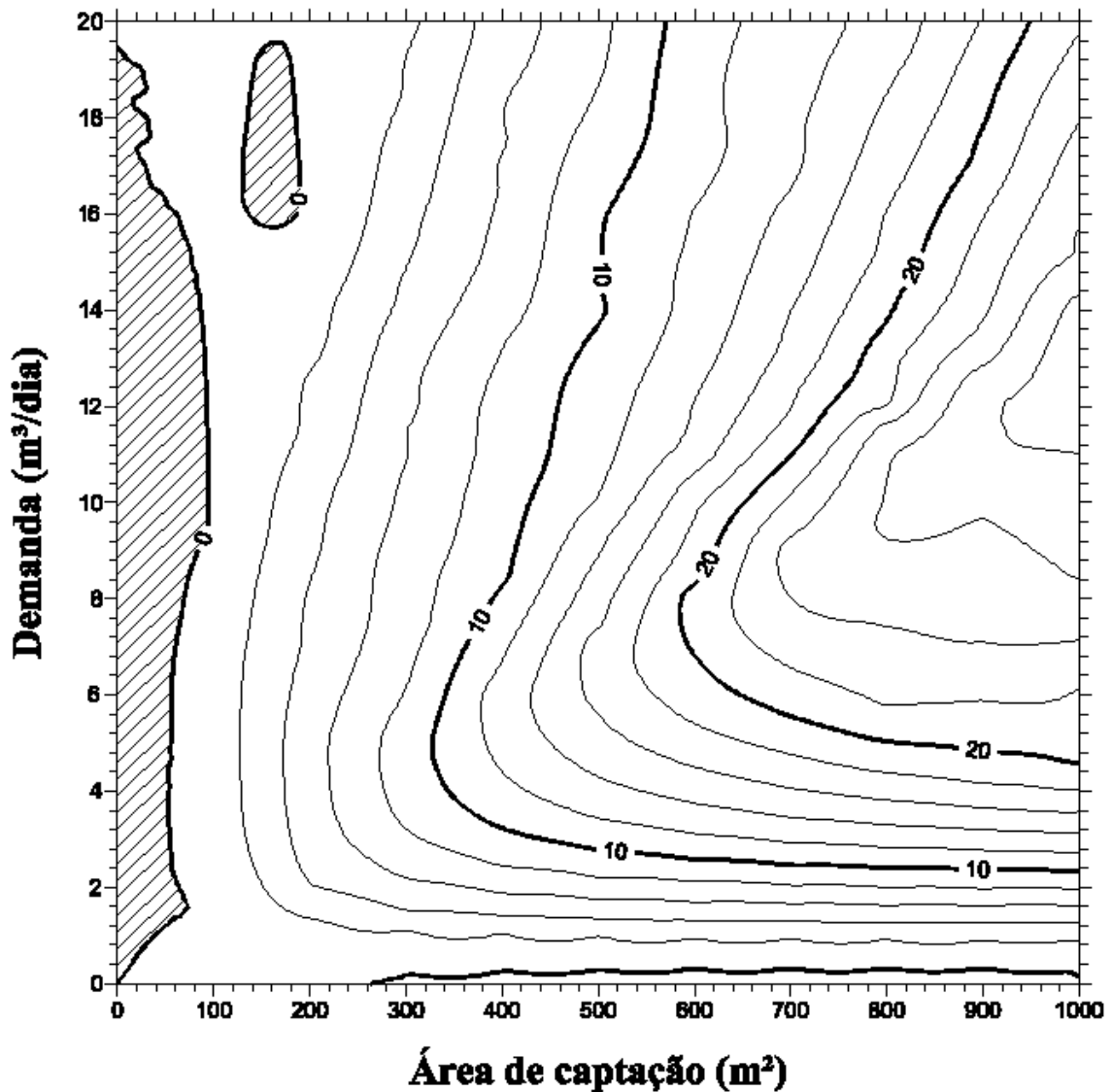


Figura 5.65 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Belém/PA.

Da mesma forma como no caso anterior, as áreas hachuradas indicam que implantar um SAAP naquelas condições de demanda e área de captação pode ser uma alternativa

inviável, sob a luz de análise baseada na combinação dos critérios de desempenho e econômico. Repara-se que a área hachurada apresentada neste diagrama é maior do que a do diagrama anterior. Esse fato denota claramente que existe um novo critério delimitador de viabilidade, que no caso é o econômico.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama 96,8% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1. Significa dizer que aproximadamente 96,8% dos reservatórios de acumulação de SAAP dimensionados preliminarmente por este diagrama serão viáveis do ponto de vista econômico, considerando o padrão de reservatório enterrado apresentado na Seção 4.3.

5.3.2 Belo Horizonte/MG

A série histórica utilizada para gerar os diagramas de Belo Horizonte/MG é a única apresentada para esta cidade na Tabela 5.1, obtida por meio da estação Belo Horizonte (Horto) (01943055). A série possui registros diários de janeiro de 1982 a dezembro de 2011 e possui apenas 10 dias sem registros, aos quais são atribuídos valor zero pelo SARA durante as simulações.

5.3.2.1 Diagrama construído apenas pelo critério de desempenho

O diagrama construído utilizando apenas o indicador de desempenho eficiência de economia de água é exposto na Figura 5.66.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama 55,5% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

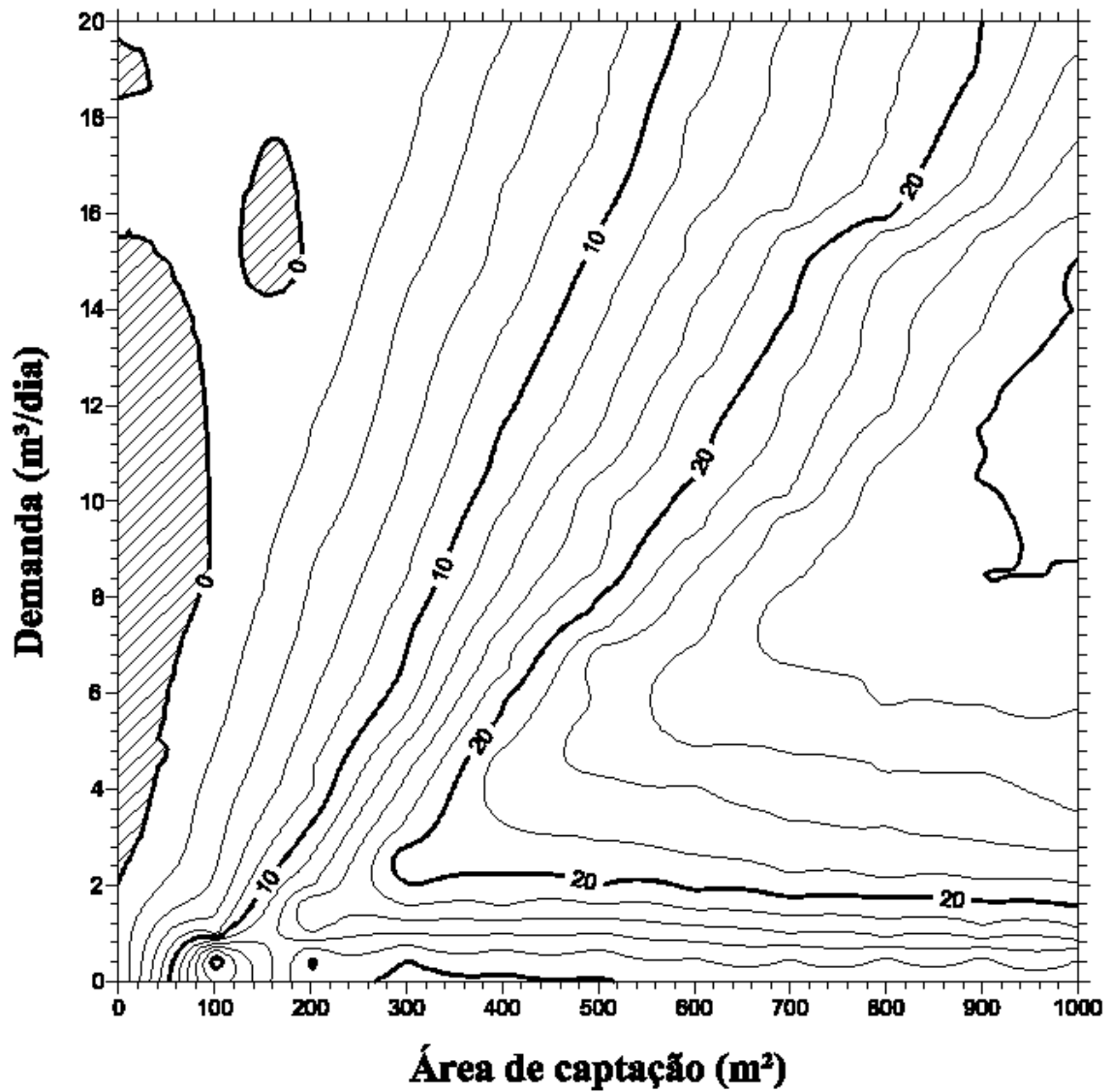


Figura 5.66 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho para Belo Horizonte/MG.

5.3.2.2 Diagrama construído pela combinação dos critérios de desempenho e econômico

O diagrama construído utilizando a combinação do indicador de desempenho eficiência de economia de água e do indicador econômico relação benefício-custo é exposto na Figura 5.67.

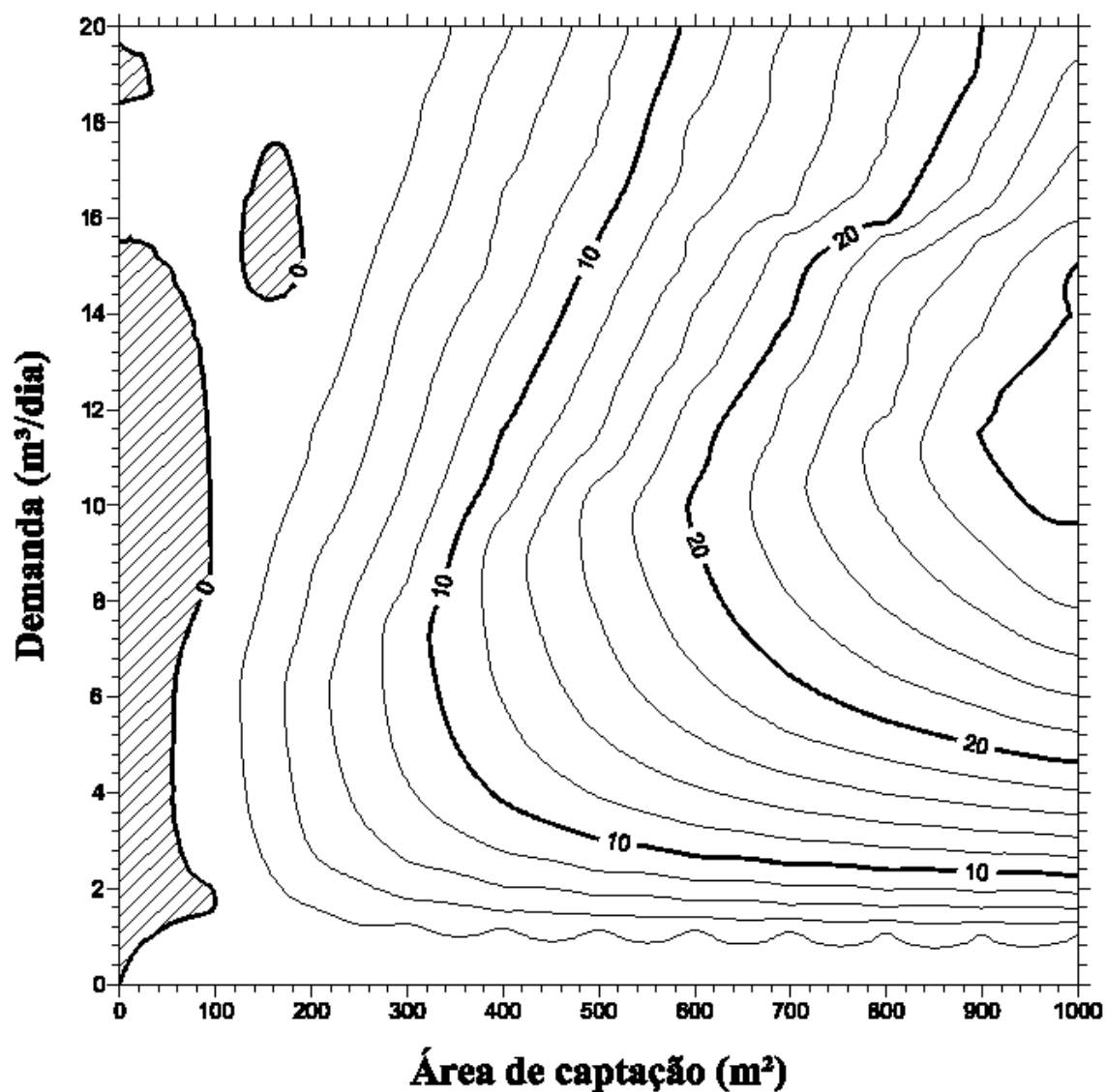


Figura 5.67 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Belo Horizonte/MG.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama 95,5% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

5.3.3 Brasília/DF

A série histórica utilizada para gerar os diagramas de Brasília/DF foi obtida por meio da estação ETE Sul (01547008). A série possui registros diários de janeiro de 1977 a dezembro de 2005 e não possui falhas de registro.

5.3.3.1 Diagrama construído apenas pelo critério de desempenho

O diagrama construído utilizando apenas o indicador de desempenho eficiência de economia de água é exposto na Figura 5.68.

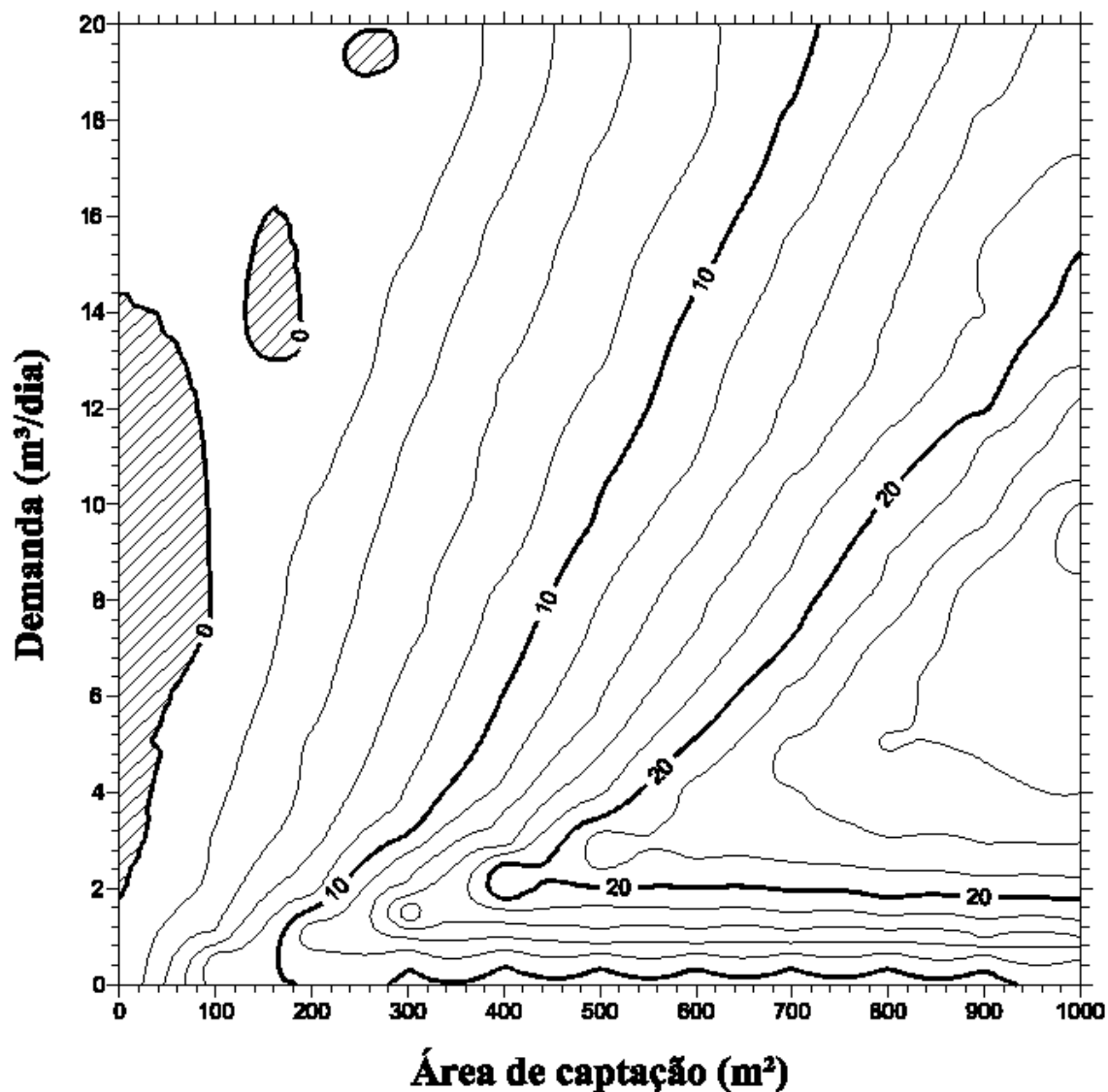


Figura 5.68 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho para Brasília/DF.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama 68,8% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

5.3.3.2 Diagrama construído pela combinação dos critérios de desempenho e econômico

O diagrama construído utilizando a combinação do indicador de desempenho eficiência de economia de água e do indicador econômico relação benefício-custo é exposto na Figura 5.69.

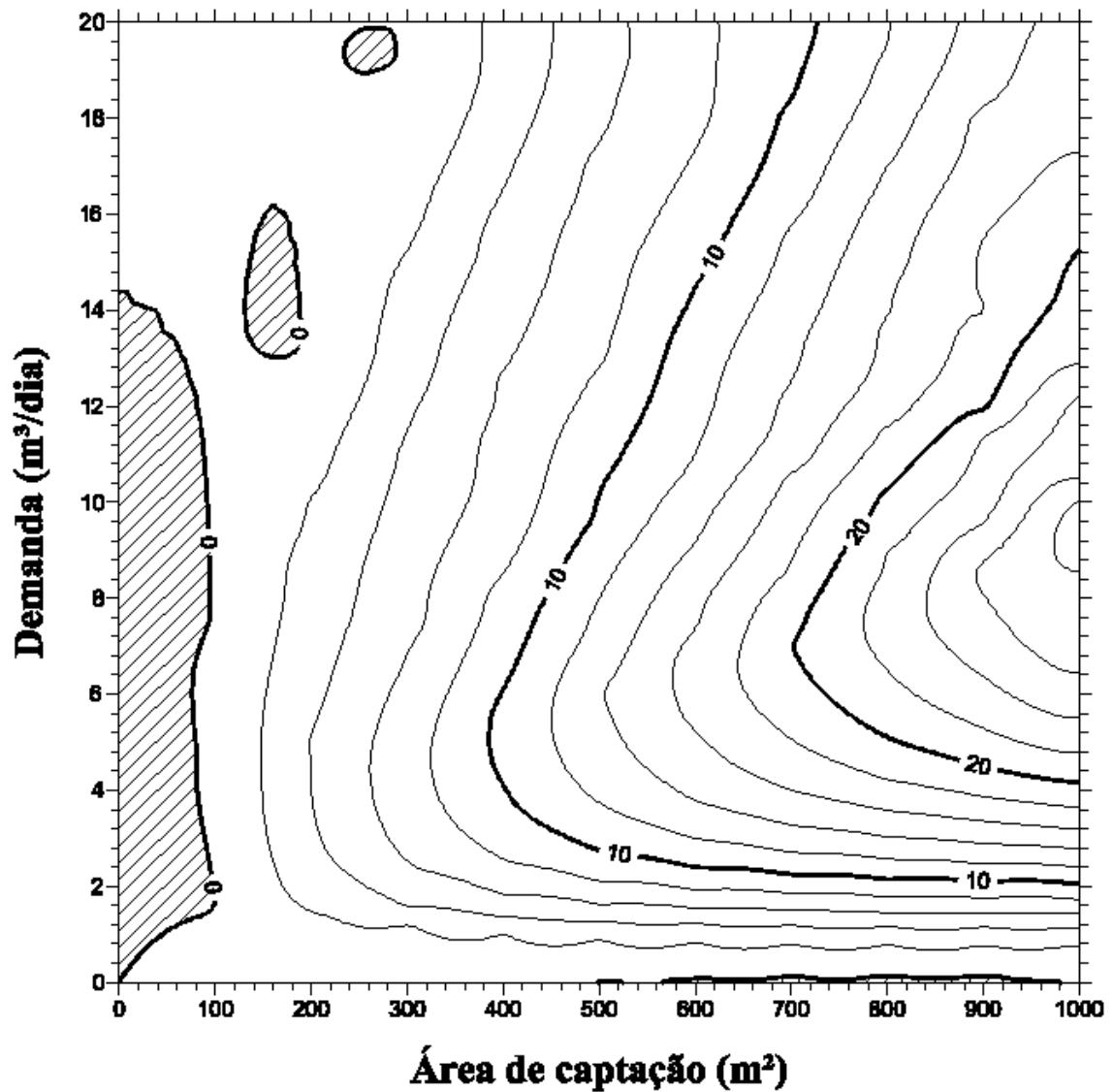


Figura 5.69 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Brasília/DF.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama 96,5% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

5.3.4 Cuiabá/MT

A série histórica utilizada para gerar os diagramas de Cuiabá/MT foi obtida por meio da estação Ponte Alta (01555000). A série possui registros diários de janeiro de 1971 a dezembro de 2000 e possui 49 dias sem registros, os quais são atribuídos valor zero pelo SARA durante as simulações.

5.3.4.1 Diagrama construído apenas pelo critério de desempenho

O diagrama construído utilizando apenas o indicador de desempenho eficiência de economia de água é exposto na Figura 5.70.

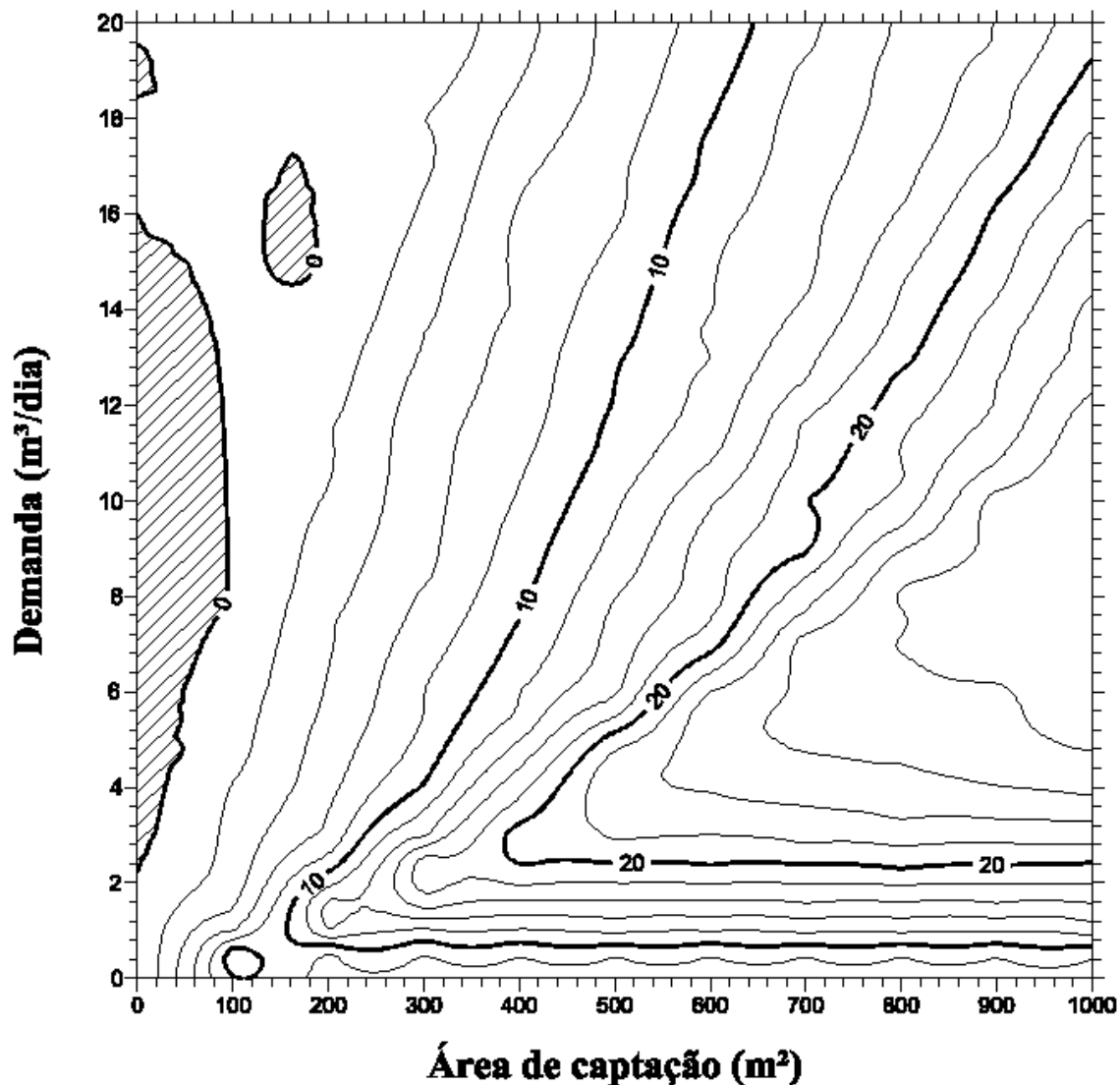


Figura 5.70 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho para Cuiabá/MT.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama 78% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

5.3.4.2 Diagrama construído pela combinação dos critérios de desempenho e econômico

O diagrama construído utilizando a combinação do indicador de desempenho eficiência de economia de água e do indicador econômico relação benefício-custo é exposto na Figura 5.71.

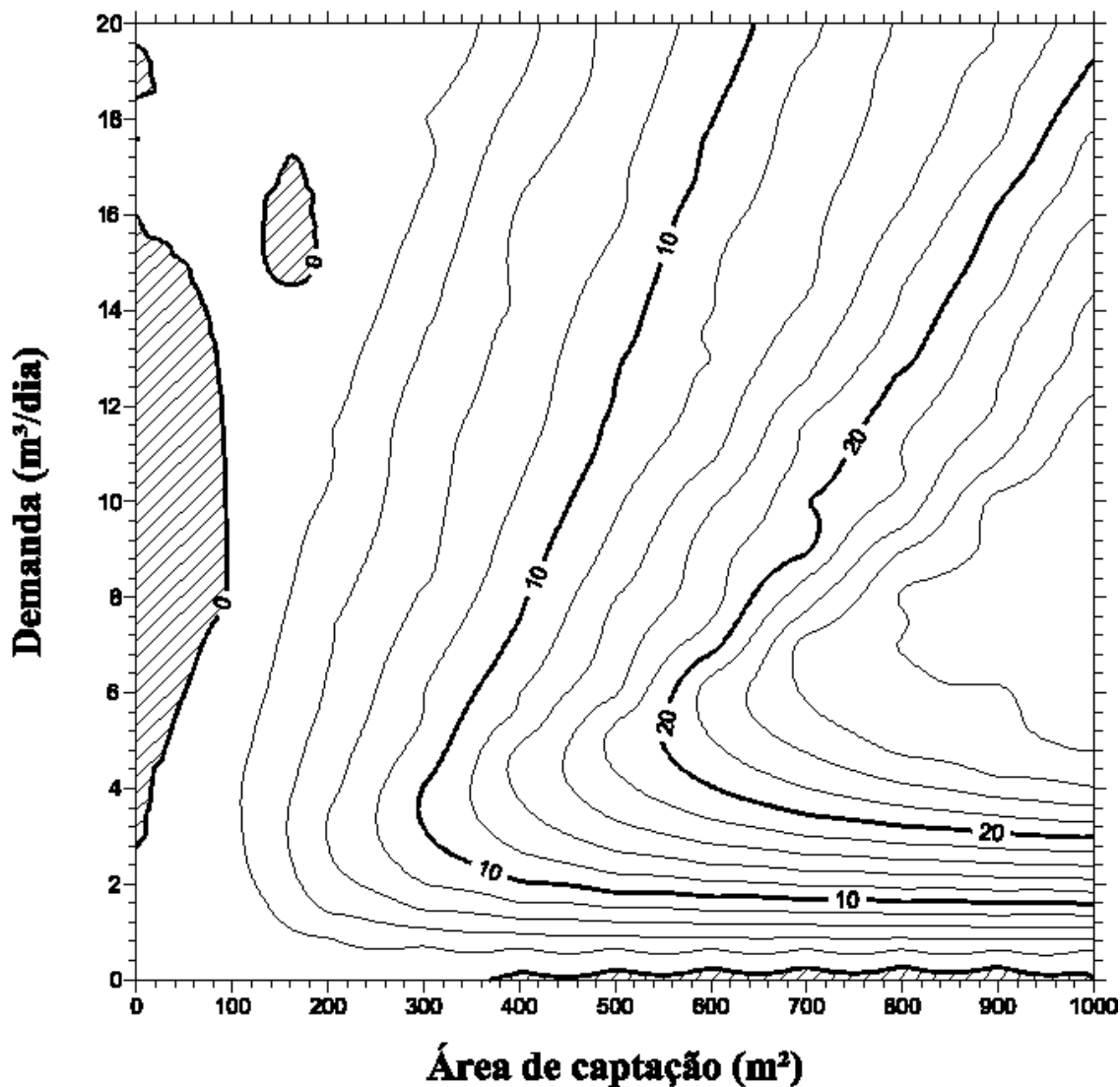


Figura 5.71 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Cuiabá/MT.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama 97,3% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

5.3.5 Curitiba/PR

A série histórica utilizada para gerar os diagramas de Curitiba/PR foi obtida por meio da estação Prado Velho – UCP (02549075). A série possui registros diários de janeiro de 1982 a dezembro de 2011 e não possui falhas de registro.

5.3.5.1 Diagrama construído apenas pelo critério de desempenho

O diagrama construído utilizando apenas o indicador de desempenho eficiência de economia de água é exposto na Figura 5.72.

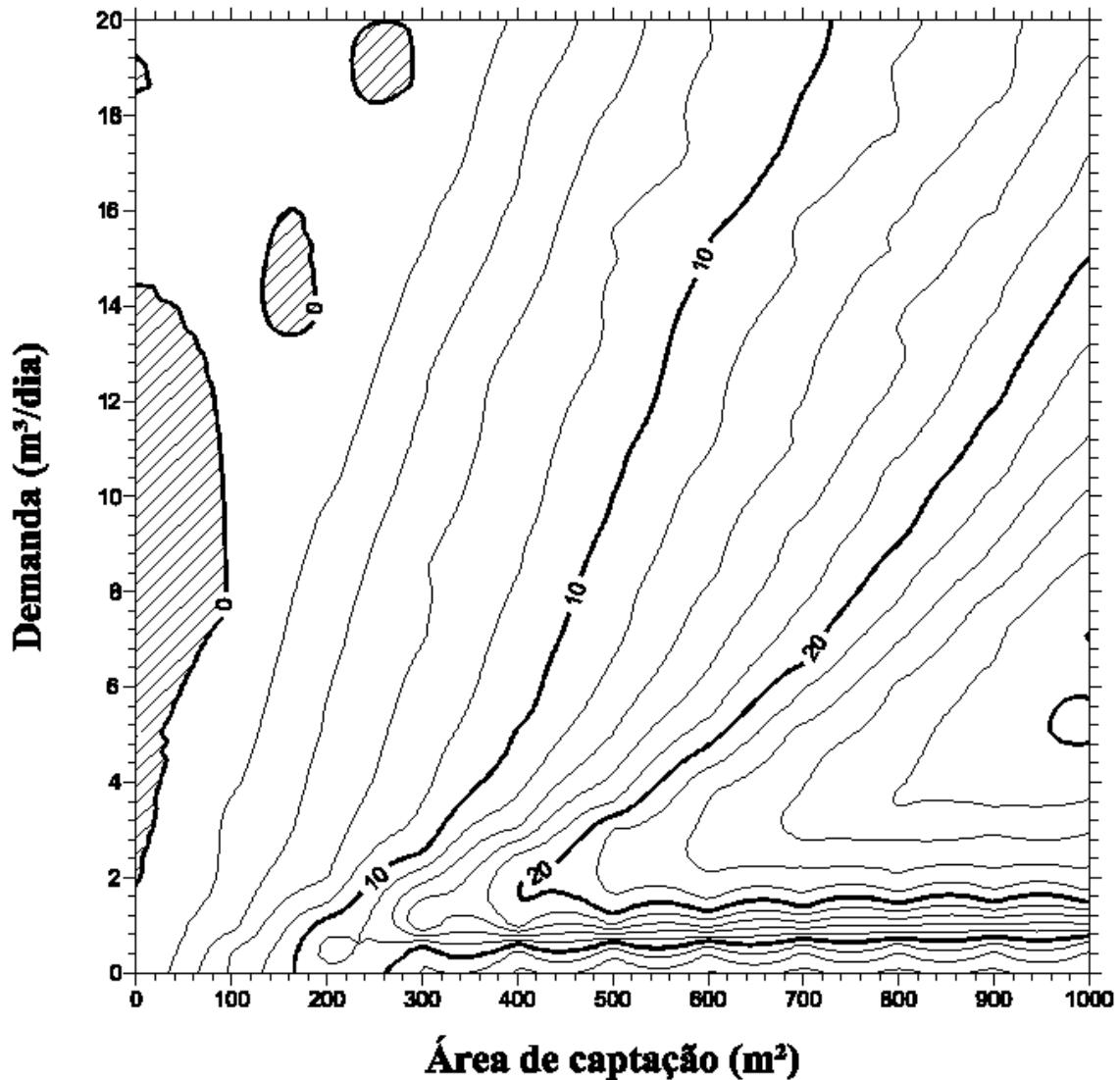


Figura 5.72 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho para Curitiba/PR.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama apenas 9% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

5.3.5.2 Diagrama construído pela combinação dos critérios de desempenho e econômico

O diagrama construído utilizando a combinação do indicador de desempenho eficiência de economia de água e do indicador econômico relação benefício-custo é exposto na Figura 5.73.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama 78,5% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

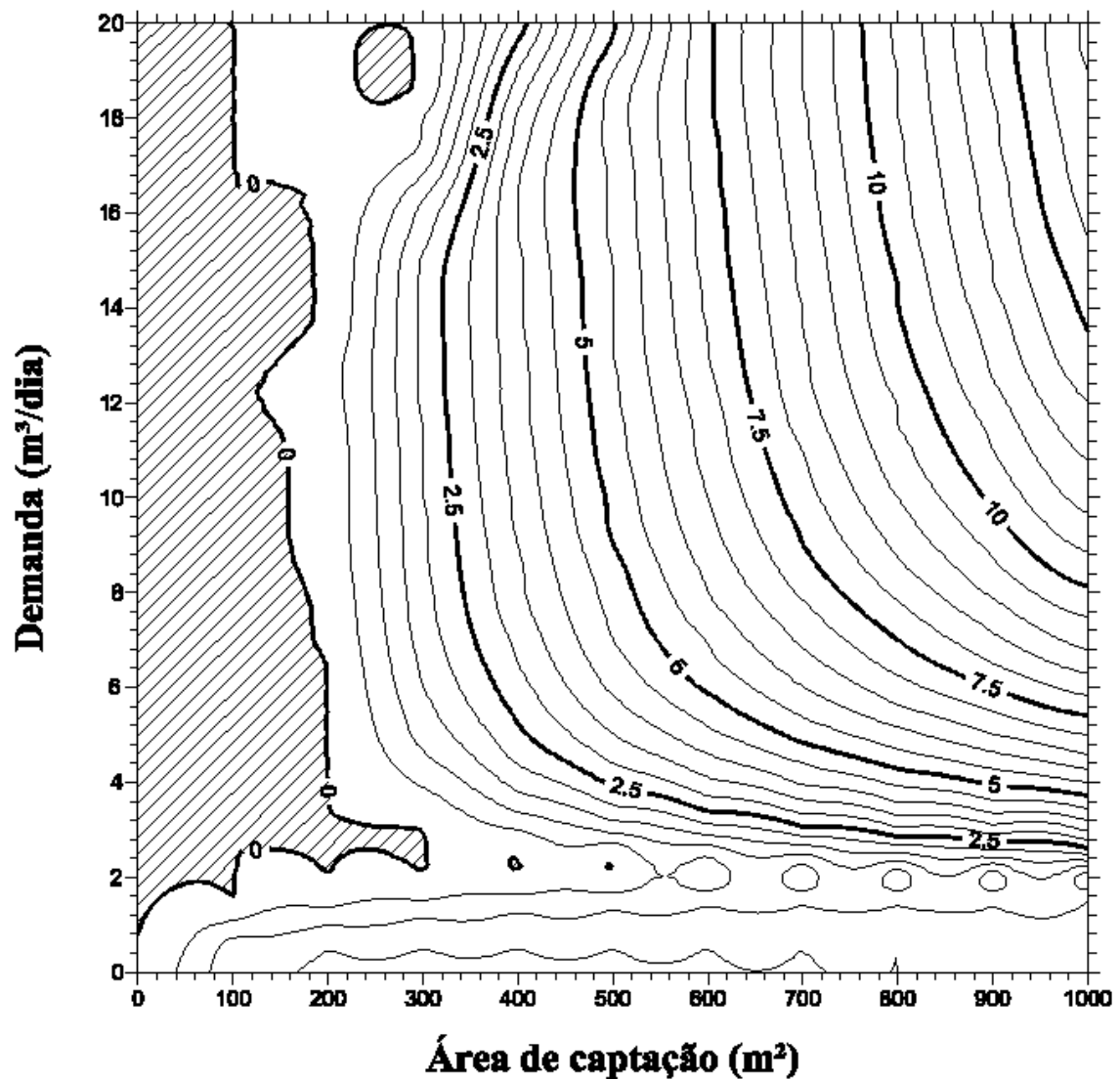


Figura 5.73 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Curitiba/PR.

5.3.6 Fortaleza/CE

A série histórica utilizada para gerar os diagramas de Fortaleza foi obtida por meio da estação Funceme (00338048). A série possui registros diários de janeiro de 1978 a dezembro de 2007 e não possui falhas de registro.

5.3.6.1 Diagrama construído apenas pelo critério de desempenho

O diagrama construído utilizando apenas o indicador de desempenho eficiência de economia de água é exposto na Figura 5.74.

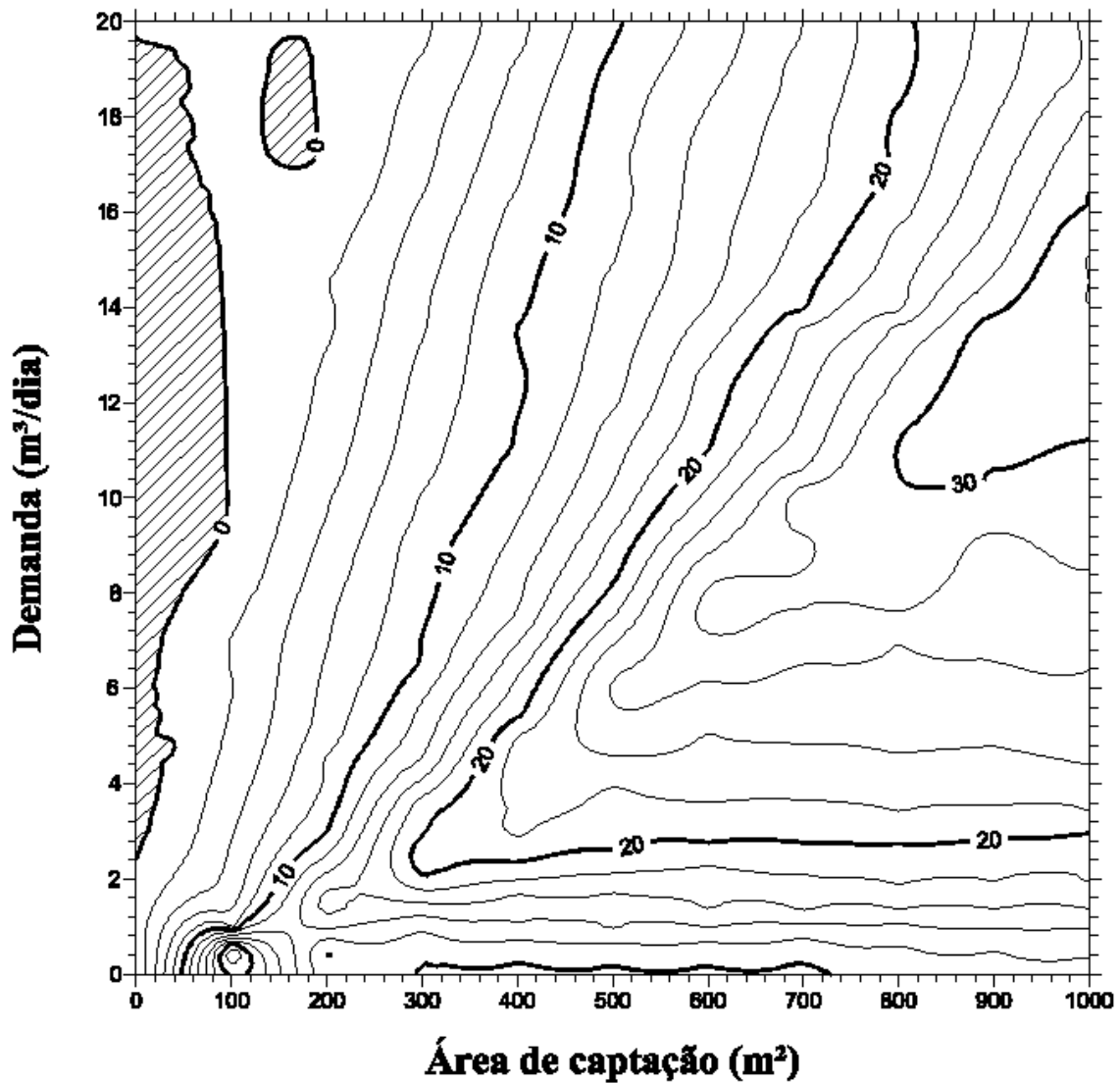


Figura 5.74 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho Fortaleza/CE.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama apenas 19,8% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

5.3.6.2 Diagrama construído pela combinação dos critérios de desempenho e econômico

O diagrama construído utilizando a combinação do indicador de desempenho eficiência de economia de água e do indicador econômico relação benefício-custo é exposto na Figura 5.75.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama 91,3% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

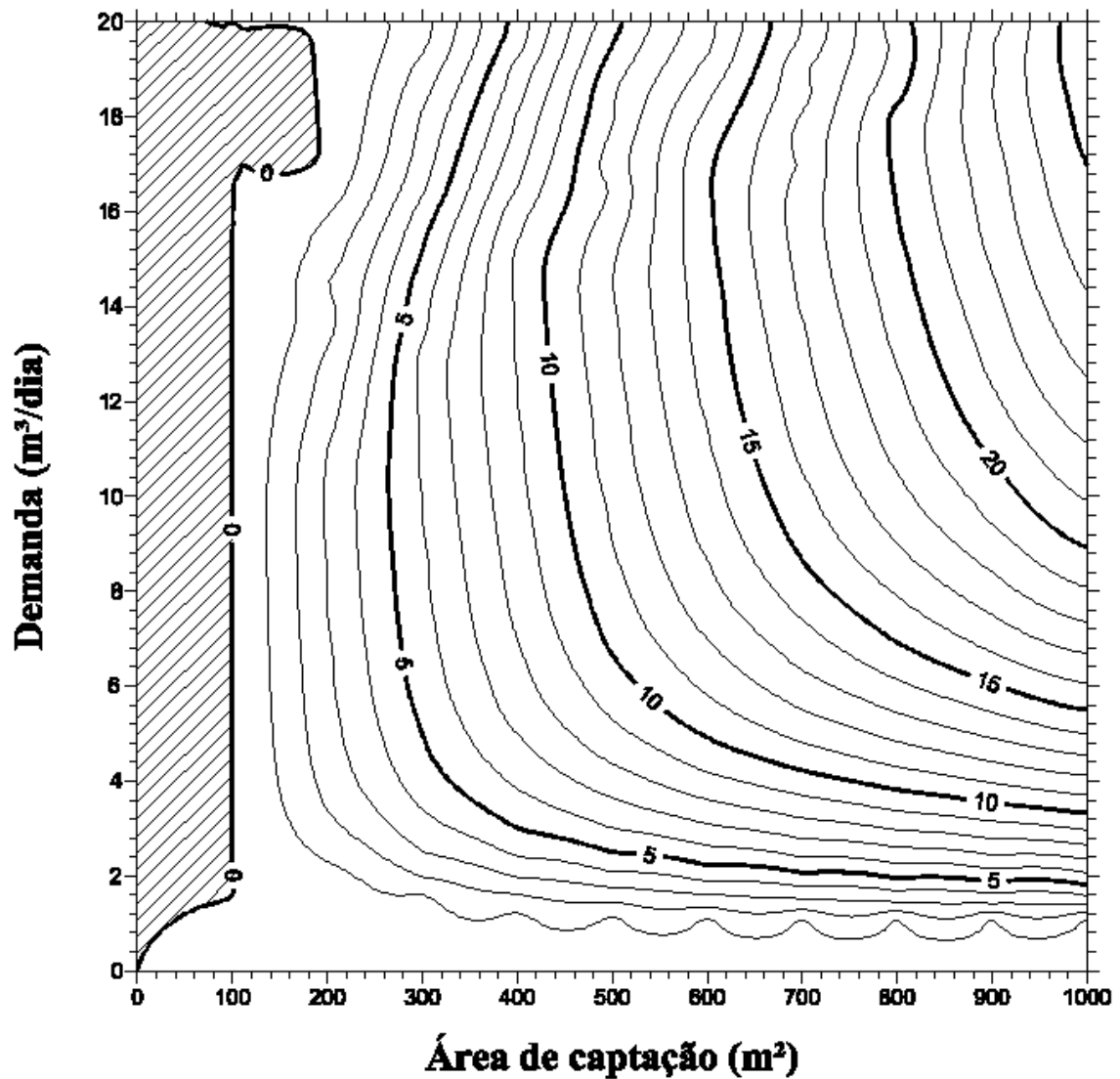


Figura 5.75 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Fortaleza/CE.

5.3.7 Manaus/AM

A série histórica utilizada para gerar os diagramas de Manaus/AM foi obtida por meio da estação Manaus (00360000). A série possui registros diários de janeiro de 1982 a dezembro de 2011 e possui apenas 8 dias sem registros, os quais são atribuídos valor zero pelo SARA durante as simulações.

5.3.7.1 Diagrama construído apenas pelo critério de desempenho

O diagrama construído utilizando apenas o indicador de desempenho eficiência de economia de água é exposto na Figura 5.76.

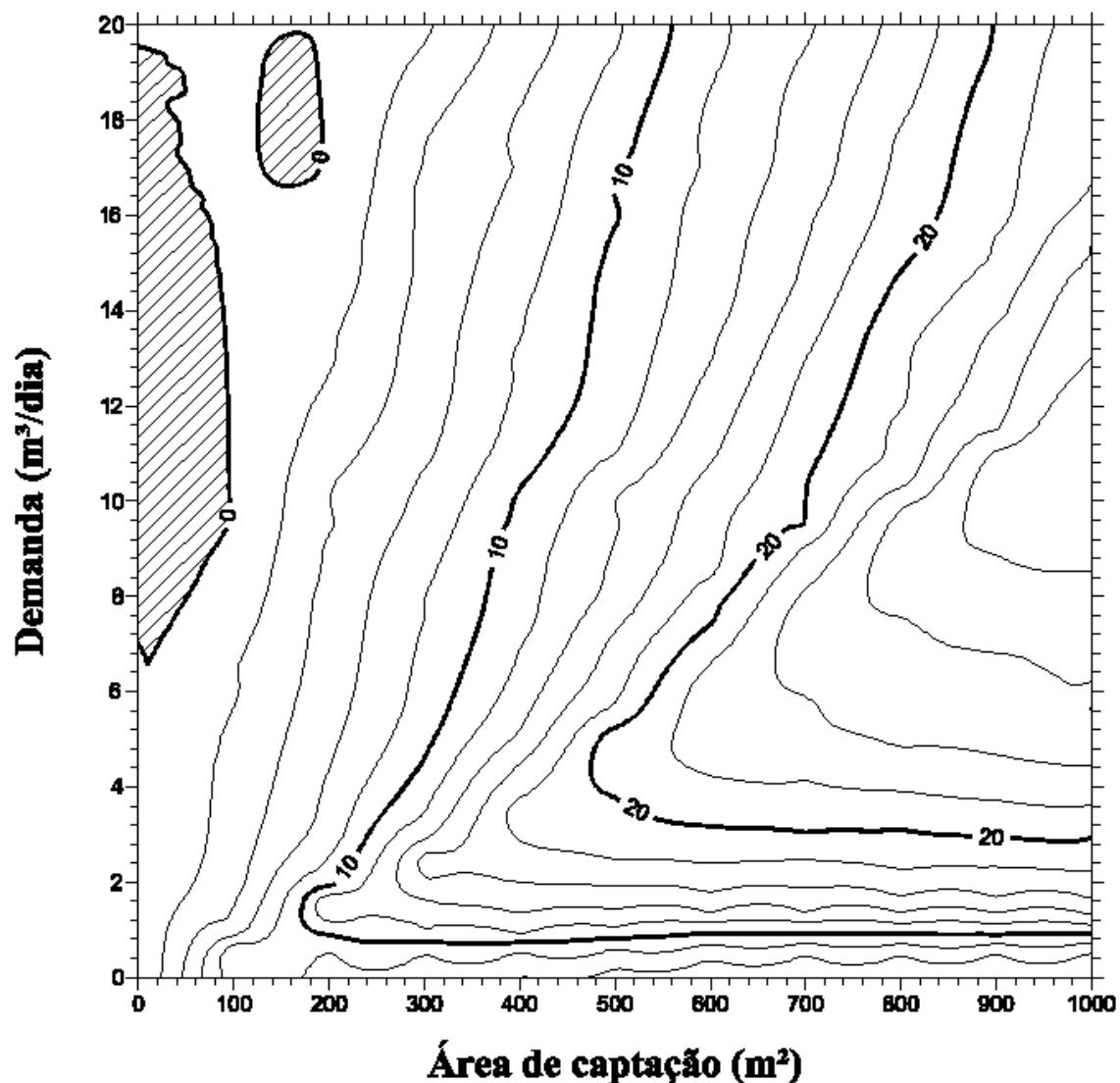


Figura 5.76 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho Manaus/AM.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama apenas 76,5% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

5.3.7.2 Diagrama construído pela combinação dos critérios de desempenho e econômico

O diagrama construído utilizando a combinação do indicador de desempenho eficiência de economia de água e do indicador econômico relação benefício-custo é exposto na Figura 5.77.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama 97,3% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

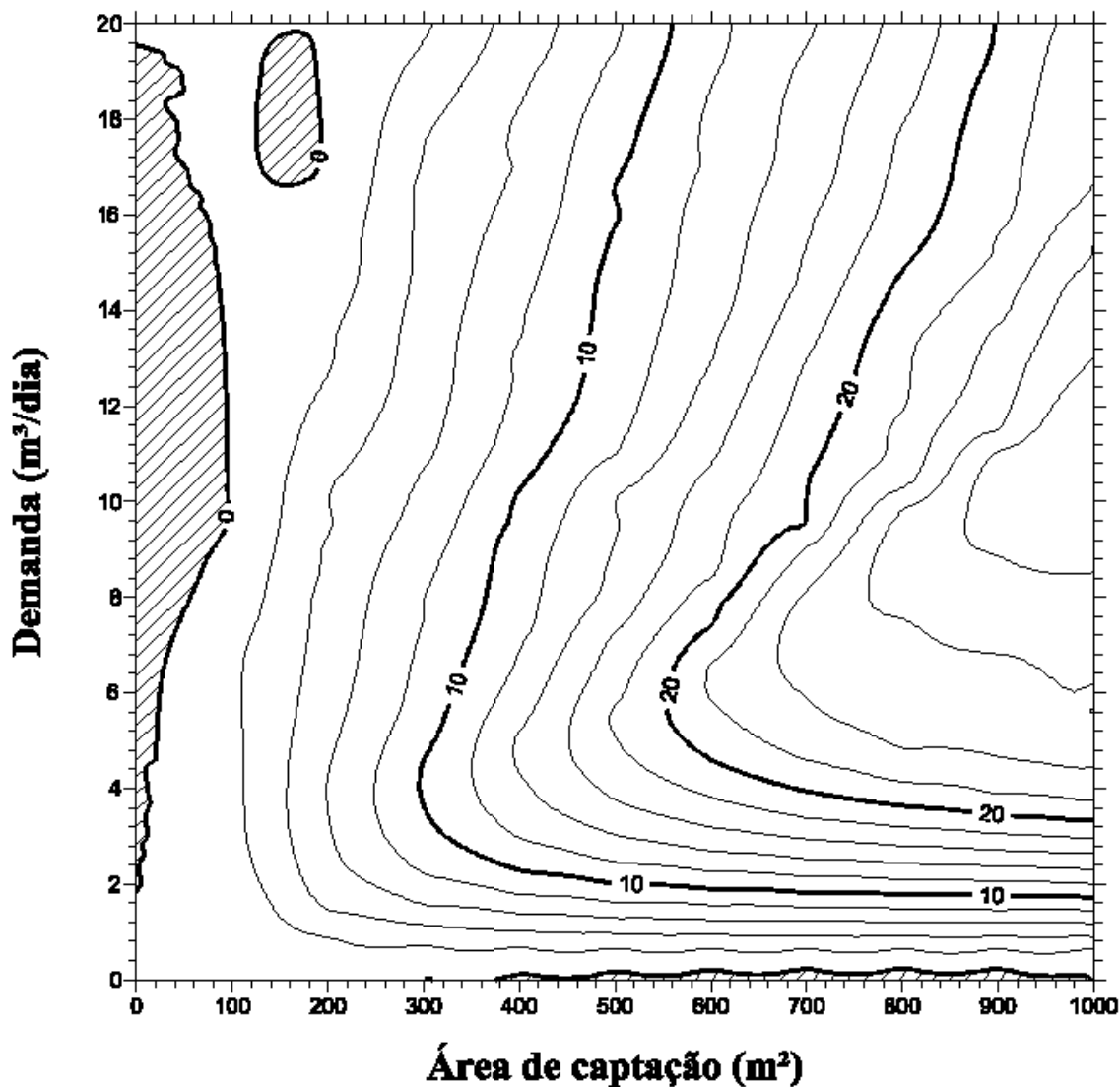


Figura 5.77 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Manaus/AM.

5.3.8 Porto Alegre/RS

A série histórica utilizada para gerar os diagramas de Manaus/AM foi obtida por meio da estação Porto Alegre (03051011). A série possui registros diários de janeiro de 1971 a dezembro de 2000 e possui 136 dias sem registros, aos quais são atribuídos valor zero pelo SARA durante as simulações.

5.3.8.1 Diagrama construído apenas pelo critério de desempenho

O diagrama construído utilizando apenas o indicador de desempenho eficiência de economia de água é exposto na Figura 5.78.

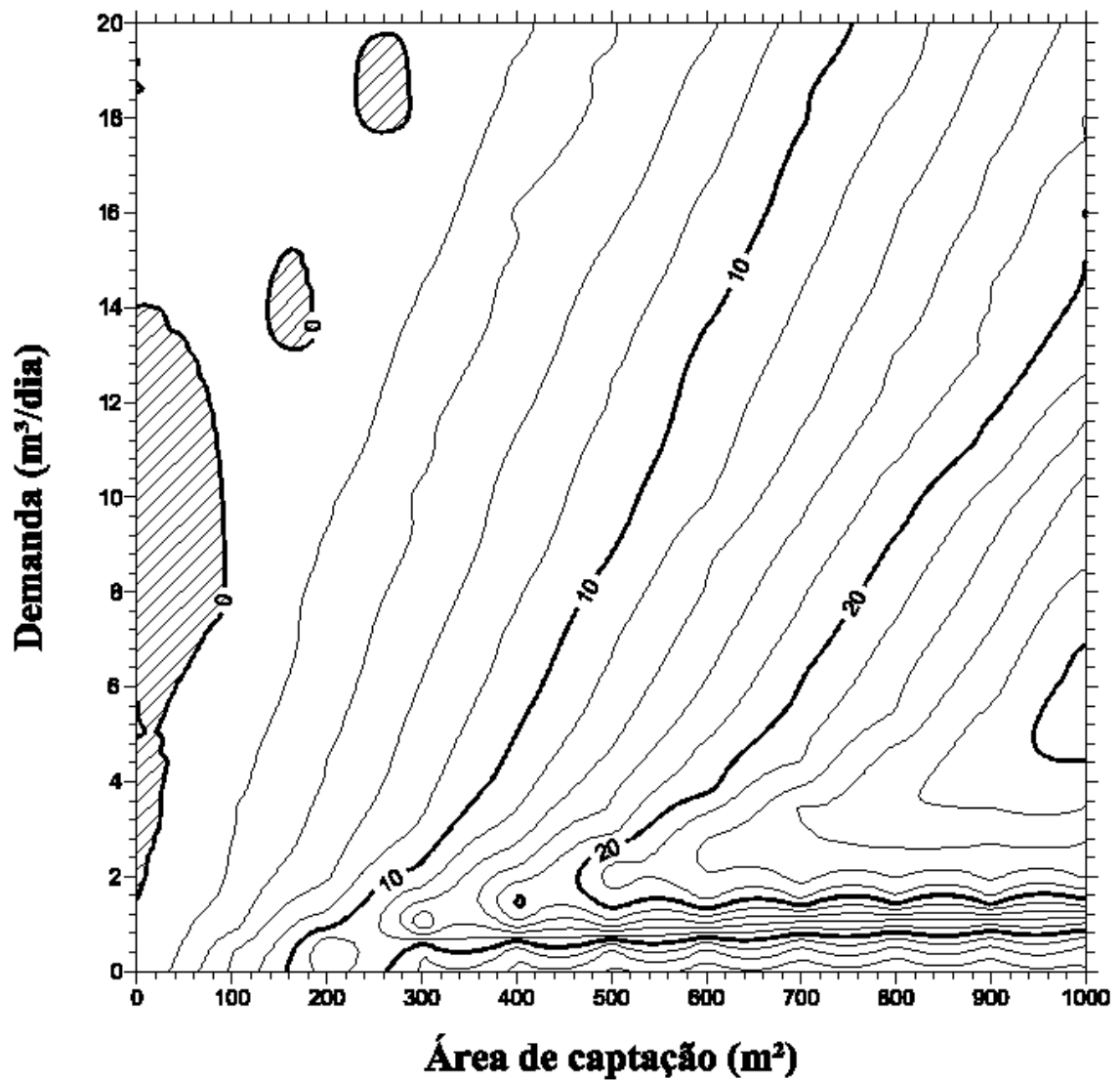


Figura 5.78 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho Porto Alegre/RS.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama apenas 83,9% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

5.3.8.2 Diagrama construído pela combinação dos critérios de desempenho e econômico

O diagrama construído utilizando a combinação do indicador de desempenho eficiência de economia de água e do indicador econômico relação benefício-custo é exposto na Figura 5.79.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama 99,3% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

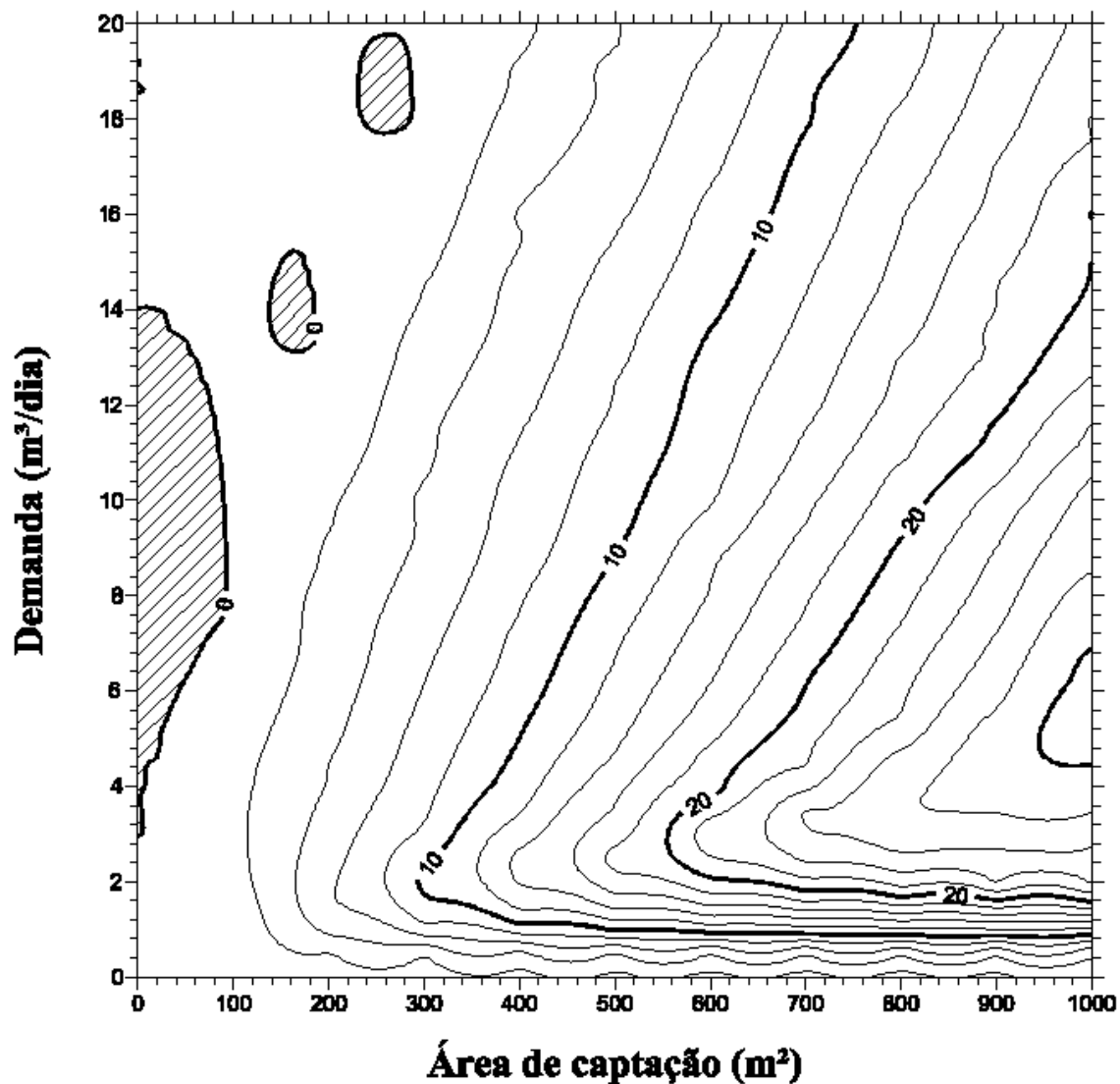


Figura 5.79 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Porto Alegre/RS.

5.3.9 Recife/PE

A série histórica utilizada para gerar os diagramas de Recife/PE foi obtida por meio da estação Recife (Curado) (00834007). A série possui registros diários de janeiro de 1982 a dezembro de 2011 e apenas 12 dias sem registros, aos quais são atribuídos valor zero pelo SARA durante as simulações.

5.3.9.1 Diagrama construído apenas pelo critério de desempenho

O diagrama construído utilizando apenas o indicador de desempenho eficiência de economia de água é exposto na Figura 5.80.

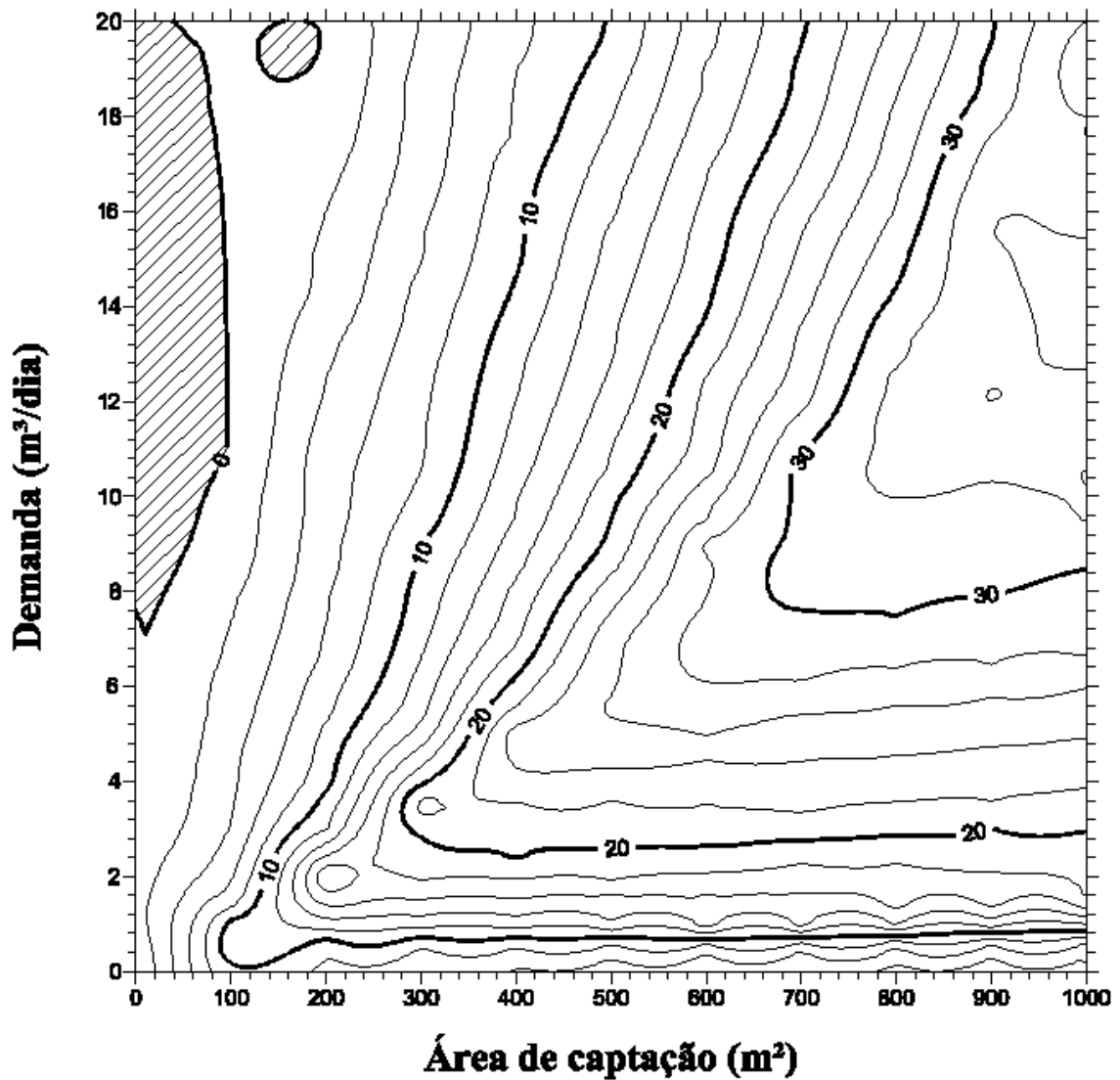


Figura 5.80 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho Recife/PE.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama apenas 85,8% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

5.3.9.2 Diagrama construído pela combinação dos critérios de desempenho e econômico

O diagrama construído utilizando a combinação do indicador de desempenho eficiência de economia de água e do indicador econômico relação benefício-custo é exposto na Figura 5.81.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama 99,8% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

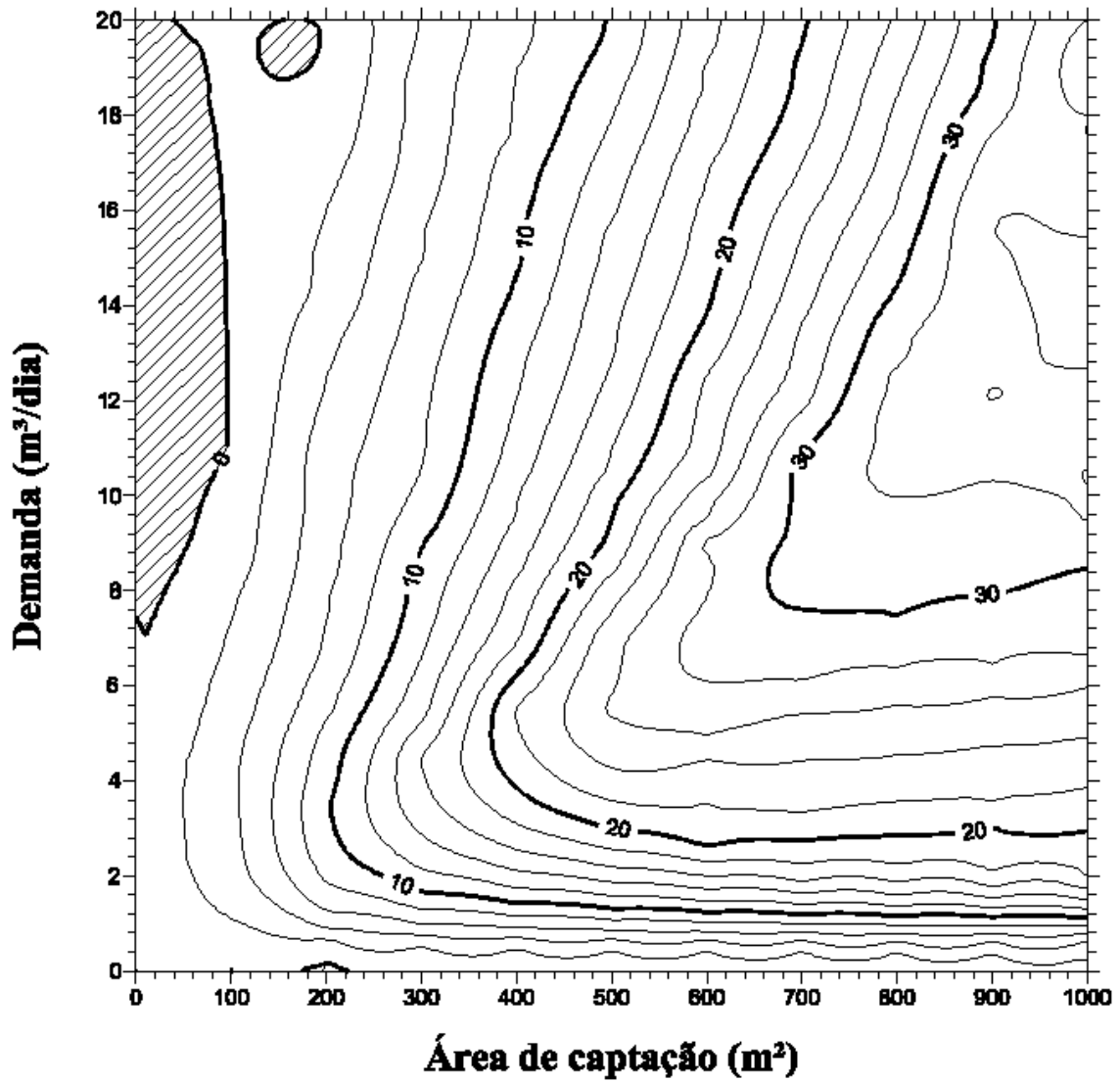


Figura 5.81 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para Recife/PE.

5.3.10 São Paulo/SP

A série histórica utilizada para gerar os diagramas de São Paulo/SP foi obtida por meio da estação São Paulo (Mirante Santana) (02346117). A série possui registros diários de janeiro de 1982 a dezembro de 2011 e não possui registros de falhas.

5.3.10.1 Diagrama construído apenas pelo critério de desempenho

O diagrama construído utilizando apenas o indicador de desempenho eficiência de economia de água é exposto na Figura 5.82.

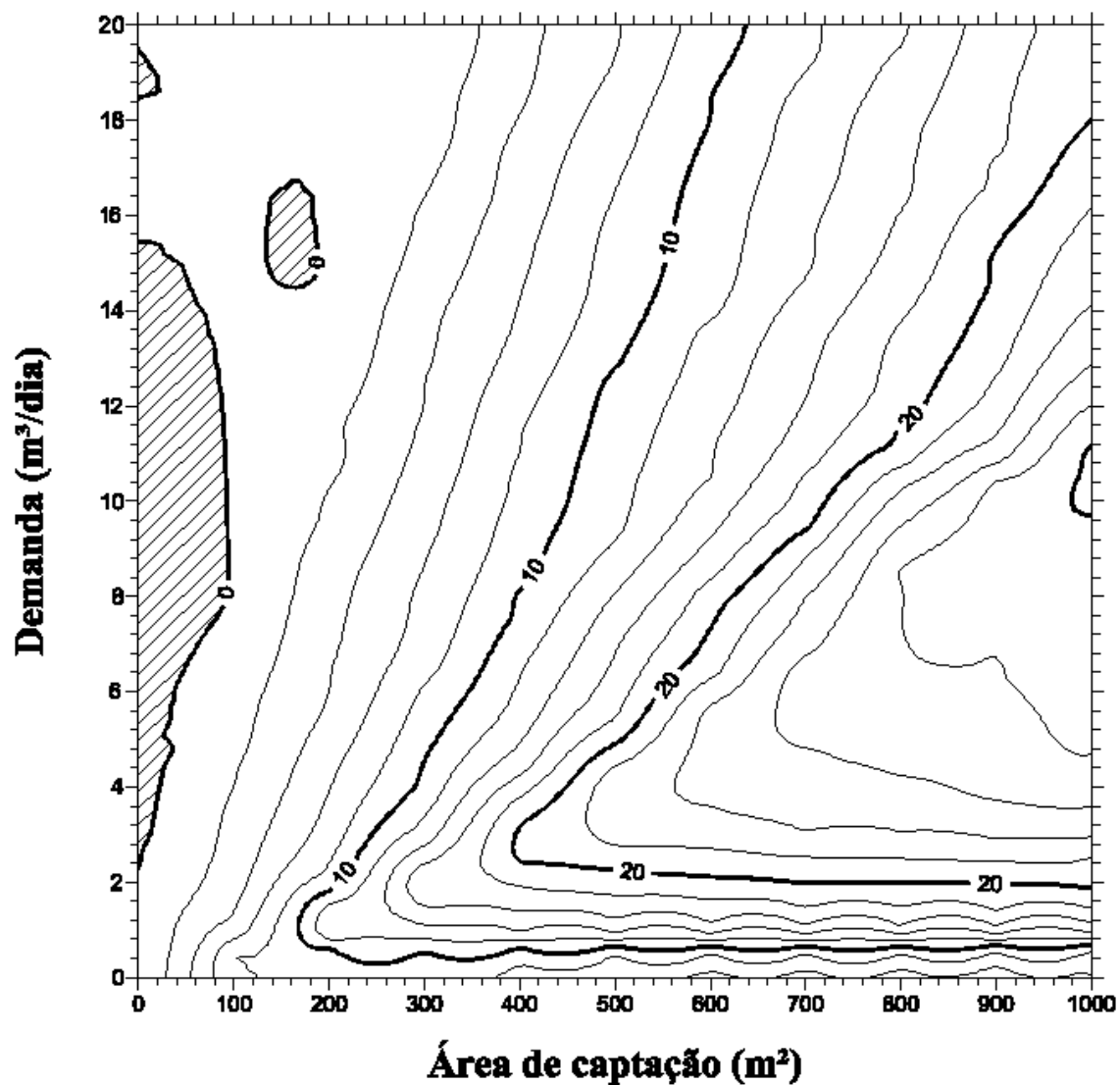


Figura 5.82 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado apenas no critério de desempenho São Paulo/SP.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama apenas 35,8% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

5.3.10.2 Diagrama construído pela combinação dos critérios de desempenho e econômico

O diagrama construído utilizando a combinação do indicador de desempenho eficiência de economia de água e do indicador econômico relação benefício-custo é exposto na Figura 5.83.

Dentre todos os pontos utilizados para construir este diagrama 84,3% apresentaram relação benefício-custo maior do que 1.

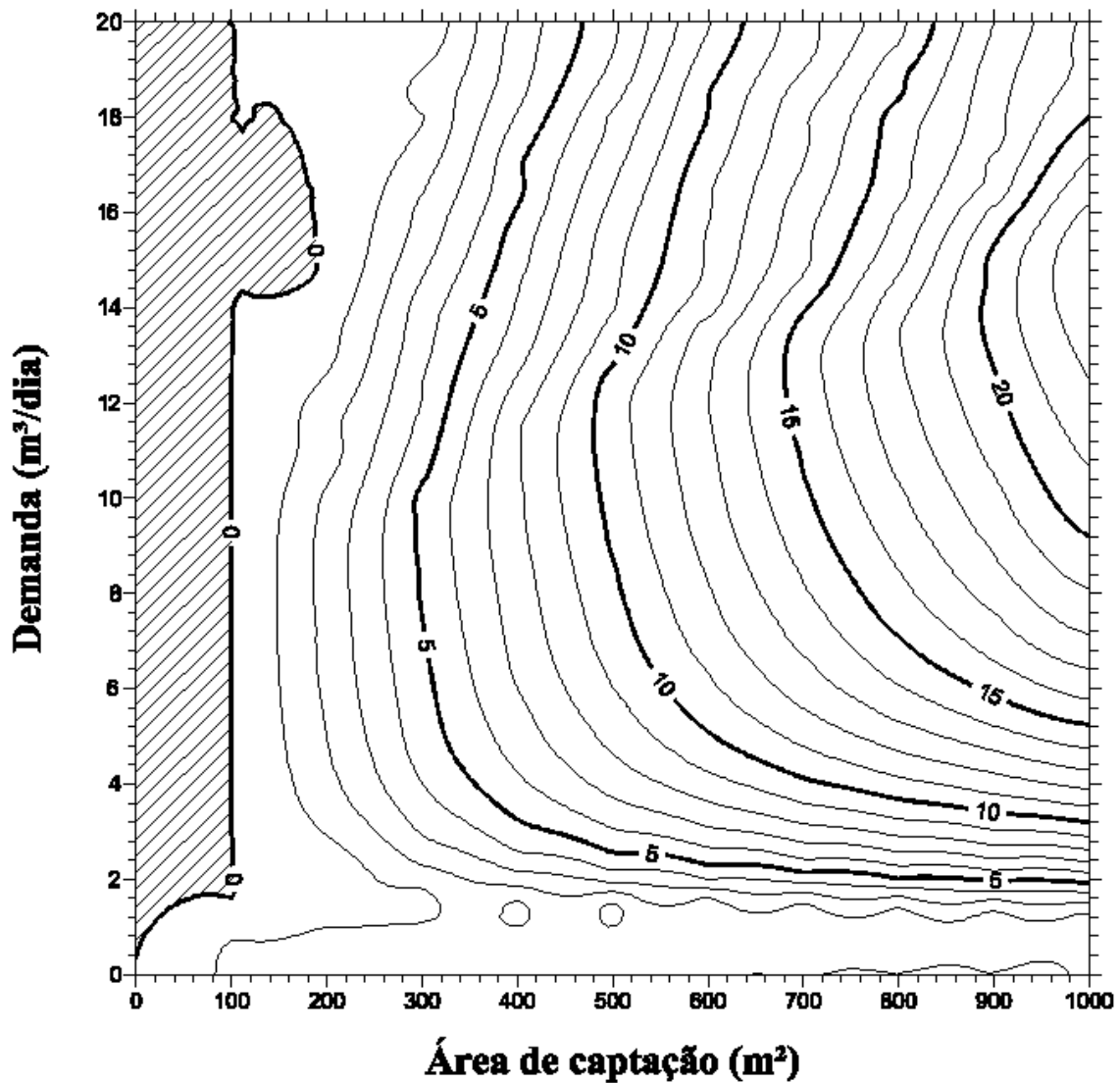


Figura 5.83 - Diagrama para pré-dimensionamento de reservatório de acumulação de SAAP baseado na combinação dos critérios de desempenho e econômico para São Paulo/SP.

5.3.11 Análises dos resultados

É importante deixar claro que, semelhante ao já discutido na Seção 5.2, o volume ótimo de pré-dimensionamento obtido através dos diagramas deve ser um ponto de partida para projetistas, que precisarão observar características específicas das edificações e também definir o tipo do reservatório de acumulação que irão utilizar, que não necessariamente seguirá o tipo padronizado que o SARA considera.

A análise dos diagramas apresentados permite observar que em geral os volumes ótimos obtidos pelos diagramas gerados a partir da combinação dos critérios de desempenho e econômico retornam volumes menores do que os obtidos pelos diagramas

gerados com base apenas no critério de desempenho. Isso era esperado, uma vez que, a partir de certo ponto, quanto maiores forem os volumes menores são as relações benefício-custo.

Destaca-se que o diagrama gerado a partir da combinação dos critérios de desempenho e econômico apresentados para Curitiba/PR expressou grande diferença em relação aos das outras cidades, com grande área que indica inviabilidade de implantação de SAAP. Isso ocorre porque os custos unitários do SINAPI para Curitiba/PR são os que possuem maior valor acima da média dos preços das demais cidades. Além disso, a estimativa de tarifa média de água de esgoto e do seu reajuste médio são, para Curitiba, os menores dentre todos.

Percebe-se ainda que o número de pontos com B/C maior do que 1 aumentaram consideravelmente nos diagramas gerados partir da combinação dos critérios de desempenho e econômico em relação aos diagramas construídos com base apenas no critério de desempenho. Isso ocorre porque, conforme demonstrado na Seção 4.3, quando o volume ótimo sinalizado pelo SARA na primeira etapa, baseado apenas no critério de desempenho, apresenta B/C menor do que 1 os volumes vizinhos são vasculhados até que se encontre um volume que possua B/C maior do que 1 e, neste caso, o volume ótimo de pré-dimensionamento é alterado para este outro volume que tem viabilidade econômica. Existe ainda a possibilidade de que nenhum dos volumes simulados tenha B/C maior do que 1. Quando isso ocorre o SARA fixa como volume ótimo aquele que possua maior B/C dentre todos os volumes simulados. Assim, uma vez que os pontos utilizados para construir os diagramas gerados a partir da combinação dos critérios de desempenho e econômico foram obtidos junto ao SARA dessa maneira, há um aumento na quantidade de volumes que possuem B/C maior do que 1.

Outro aspecto que pode ser observado é que todos os diagramas retornam valores constantes de volumes ótimos de pré-dimensionamento, a partir de determinadas áreas de captação, para demandas menores, em média, do que 2 m³/dia. Isso ocorre porque diante de uma demanda não muito elevada não faz sentido aumentar o reservatório conforme se aumenta a área de captação já que a água captada seria descartada. Essa característica dos diagramas faz com que haja a possibilidade de que uma mesma área de captação tenha a possibilidade de ter um mesmo volume ótimo de dimensionamento preliminar para duas demandas diferentes.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo principal a construção de uma metodologia para dimensionamento preliminar de reservatórios de acumulação de SAAP e avaliação da viabilidade de implantação desses sistemas como alternativa para diminuir a demanda por água potável em centros urbanos. Optou-se por construir a metodologia em tela por meio da implementação de um sistema de suporte a decisão capaz de realizar as tarefas supramencionadas de maneira simples e orientada.

Já os objetivos específicos foram o desenvolvimento de sistema de suporte a decisão para implementação da metodologia construída, a avaliação da metodologia sugerida a partir da realização de estudos de casos em centros urbanos selecionados e, por fim, a disponibilização de ferramenta de fácil e rápida aplicação para realizar o dimensionamento preliminar e a avaliação da viabilidade de implantação de SAAP nos centros urbanos selecionados.

O programa computacional de suporte a decisão (SSD), SARA (Sistema para Aproveitamento Racional de Água), foi desenvolvido em linguagem de programação orientada a objeto Delphi e promove o dimensionamento preliminar do reservatório de acumulação do SAAP através da análise da viabilidade técnica e econômica de implantação do sistema.

Os estudos de caso foram realizados nas cidades escolhidas neste trabalho, com o uso do SARA, e cumprem o objetivo de avaliar a metodologia sugerida. Foram definidos três tipologias de edificações para proceder com os estudos: residência unifamiliar, edifício residencial, edifício público.

As primeiras indicações de volumes ótimos para as três tipologias de edificações, realizadas apenas com o indicador eficiência de economia de água (critério de desempenho) conduziram sempre a volumes que se situam nas proximidades do ponto de curvatura máxima da função volume x eficiência de economia de água a partir da qual esta apresenta comportamento assintótico, permitindo concluir que este método de indicação do volume ótimo funciona corretamente no SARA.

Os resultados para as residências unifamiliares indicaram, em média, volume ótimo de 1 m³, relação benefício-custo de 0,47, sendo que em nenhum caso foi maior do que 1,

eficiência de economia de água de 68,6%, confiabilidade plena de 64% e desperdício de água de chuva de 77,4%.

O fato de não terem sido registradas relações benefício-custo maiores do que 1 em nenhum estudo de caso para residências unifamiliares permite concluir que, por se tratar de uma metodologia generalizada e construída para analisar a viabilidade e promover o pré-dimensionamento do reservatório de acumulação do SAAP para qualquer cenário de demanda por água não potável e área de captação, situações muito específicas, como é o caso desta tipologia de edificação, não são identificadas e analisadas isoladamente pelo modelo, necessitando, desta forma, apreciação pormenorizada por parte do projetista.

Com relação aos resultados para edifícios residenciais, sinalizaram, em média, volume ótimo de 20 m³, relação benefício-custo de 4,17, eficiência de economia de água de 20,9%, confiabilidade plena de 10,6% e desperdício de água de chuva de 7,2%.

Já os resultados para os estudos de casos em edifícios públicos, com comportamentos muito similares aos registrados para os edifícios residências, indicaram, em média, volume ótimo de 10 m³, relação benefício-custo de 4,39, eficiência de economia de água de 13,8%, confiabilidade plena de 4% e desperdício de água de chuva de 4,1%.

Uma vez que a análise dos resultados permitiu depreender que cenários críticos são encontrados para edificações com pequenas áreas de captação e/ou grandes demandas por água de chuva, percebe-se que, tendo em vista que a média do indicador eficiência de economia de água para os estudos de casos em edifícios residenciais e públicos foram de, respectivamente, apenas 20,9% e 13,8%, os cenários para essas duas tipologias de edificações são considerados críticos, pois, apesar de apresentarem áreas de captação consideráveis, possuem demandas por água de chuva elevadas. Apesar disso todas as relações benefício-custo para ambas as tipologias foram maiores do que 1, com médias de 4,17 e 4,39, respectivamente, fazendo concluir que, mesmo em cenários críticos, a implantação de SAAP pode ser viável técnica e economicamente.

Acerca dos resultados apresentados para o indicador desperdício de água de chuva, considerados elevados para os estudos de casos das residências unifamiliares e reduzido para os edifícios residenciais e públicos, foi possível concluir que, para cenários críticos, implantar SAAP gera um amortecimento de cheias, pois os resultados indicam que muito pouco do que é captado é lançado na rede de drenagem urbana, o que pode ser considerado

como um benefício indireto agregado ao SAAP e que não foi apreciado objetivamente neste trabalho. Dessa forma recomenda-se que futuras investigações sobre aproveitamento de água pluvial adotem procedimentos para incorporar esse benefício aos SAAP.

O objetivo de disponibilizar ferramenta de fácil e rápida aplicação para realizar o dimensionamento preliminar e a avaliação da viabilidade de implantação de SAAP nos centros urbanos selecionados foi concretizado através da construção de diagramas por meio de simulações realizadas pelo SARA para indicar o volume ótimo de pré-dimensionamento de reservatórios de acumulação de SAAP para 400 combinações de cenários de demanda por água não potável e área de captação. Estes resultados foram agrupados, consolidados e processados pelo *software* Surfer (2012) para gerar dois tipos de diagramas para cada um dos centros urbanos selecionados neste trabalho.

Um dos diagramas promove o pré-dimensionamento e a análise da viabilidade de reservatórios de acumulação de SAAP considerando apenas o critério de desempenho e o outro realiza a mesma função considerando a combinação do critério de desempenho e econômico. Acrescenta-se que os diagramas podem ser usados para edificações que possuem área de captação de até 1000 m² e demanda por água não potável de até 20 m³/dia.

Acerca dos diagramas disponibilizados, conclui-se que cumprem sua função, pois sinalizam a viabilidade dos SAAP e executam o dimensionamento preliminar de seus reservatórios de acumulação de forma expedita e sem demandar conhecimentos de alto nível na área de recursos hídricos, podendo ser usados diretamente por profissionais de outras áreas.

Por fim é muito importante esclarecer que os volumes ótimos indicados pelos métodos apresentados neste trabalho, seja por meio do SARA ou utilizando os diagramas, devem ser um ponto de partida para projetistas, que precisarão considerar características específicas das edificações e também definir o tipo do reservatório de acumulação que irão utilizar, que não necessariamente seguirá o tipo padronizado que o SARA considera. Apesar disso, infere-se, através do exame dos resultados, que muito provavelmente os volumes finais a serem adotados serão os mesmos ou muito próximos dos sinalizados pela metodologia construída.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA, Sistema de Informações Hidrológicas, disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. 2005.

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. Ambiente Construído (São Paulo). 2008. v. 08, p. 53/2-66.

ANNECCHINI, K. P. V. Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis na região metropolitana de Vitória (ES). 2005. 124 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 10.844: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro. 1989. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 15.527: aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis – requisitos. Rio de Janeiro. 2007. 8p.

ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; DIAS, I. C. S.; GADELHA, C. L. M. Viabilidade econômica e aceitação social do aproveitamento de águas pluviais em residências na cidade de João Pessoa. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 41-54, abr./jun. 2008.

AZEVEDO NETTO, J. M. Aproveitamento de águas de chuvas para abastecimento. Rio de Janeiro: 1991. Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente – Revista Bio. Rio de Janeiro, ano III, número 2, abr/jun.

BASINGER, M.; MONTALTO, F.; UPMANU, L. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. Journal of Hydrology, 392 (3-4), 105-118. 2010.

BAUMANN, D.D. Water conservation: the struggle over definition. Water Resources Research, 20 (4): 428-434, 1984.

BETTINI, C. Conceitos básicos de geoestatística. *In*: Geomática: modelos e aplicações ambientais. MEIRELLES, M. S. P.; CAMARA, G.; ALMEIDA, C. M. Brasília: Embrapa. Cap. 4, pp. 193-234. 2007.

BRAGA, B; BARBOSA, P. S. F.; NAKAYAMA, P. T. Sistema de suporte à decisão em recursos hídricos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH*, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 73-95, 1998.

BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Planejamento Econômico e Social. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Diagnóstico dos serviços de água e esgotos 200, 2 v. Brasília. 2007. Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República (SEDU-PR).

CAMPOS, M. A. S. Aproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Carlos. 2004. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP.

CAMPOS, M. A. S.; AMORIM, S.V. Aproveitamento de água pluvial em um edifício residencial multifamiliar no município de São Carlos. I Conferência Latino-americana de Construção Sustentável e X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Brasil, São Paulo. 2004.

CAMPOS, M. A. S.; ILHA, M. S. O.; NOUR, E. A. A.; FRANÇA, V. H.; ALVIM, C. R. Sistema de aproveitamento de água pluvial: aspectos qualitativos e quantitativos. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS*, 10., São Carlos. 2009. Anais. São Carlos: UFSCar, 1 CD-ROM.

COHIM, E.; GARCIA, A.P. Análise econômica da utilização de água de chuva. 25º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 2009.

CORDOVA, M. M.; GHISI, E. (2011). Analysis of Potable Water Savings Using Behavioural Models, *Water Conservation*, Dr. Manoj Jha (Ed.), ISBN: 978-953-307-960-8, InTech.

DILLAHA III, T. A.; ZOLAN, W. J. Rainwater catchment water quality in Micronesia. *Water Research*. v. 19, n. 6, p. 741-746, 1985.

DIXON, A.; BUTLER, D; FEWKES, A. Computer simulation of domestic water reuse system: investigating greywater and rainwater in combination. *Water Sci.* 1999.

Technol. 38 (4), 25–32.

DOMÈNECH, L.; SAURÍ, D. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. *Journal of Cleaner Production* (6-7), 598-608. 2011.

DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J. A. Avaliação das técnicas de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 2010. V. 15, n.2, 59-68.

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (EPUSP/FCTH). Relatório final: sistema de suporte a decisões aplicados à gestão e planejamento de recursos hídricos. São Paulo: EPUSP/FCTH, 2004. (Parte I - Módulo 1).

FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach. *Urban Water*, 1999. 1 p-323-333.

GHISI, E. Parameters influencing the sizing of rainwater tanks for use in houses. *Water Resources Management* 24 (10). 2381-2403. 2010.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M.; ROCHA, V. L. Netuno 2.1. Programa computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. 2009. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>.

GHISI E.; CORDOVA M. M. Analysis of Potable Water Savings Using Behavioural Models. *Water Conservation*, Dr. Manoj Jha (Ed.), ISBN: 978-953-307-960-8, InTech. 2011. Disponível em: <http://www.intechopen.com/books/water-conservation/analysis-of-potable-water-savings-using-behavioural-models>.

GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. *Building and Environment* 42 (7), 2512-2522. 2007.

GHISI, E.; CARDOSO, K. A.; RUPP, R. F. Short-term versus long-term rainfall time series in the assessment of potable water savings by using rainwater in houses. *Journal of Environmental Management*, 100, 109-119. 2012.

GHISI, E., OLIVEIRA, S.M. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. *Building and Environment* 42 (4), 1731e1742. 2007.

GHISI, E.; TAVARES, D. F.; ROCHA, V. L. Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: potential for potable water savings and investment feasibility analysis. *Resources, Conservation and Recycling* 54 (2), 79-85. 2009.

GOLDEN SOFTWARE. Surfer versão 11.0.64 Surface Mapping System. Disponível em: <http://www.goldensoftware.com>. 2012.

GOLDENFUM, J. A. Reaproveitamento de águas pluviais. *In: Simpósio Nacional Sobre o Uso da Água na Agricultura, Passo Fundo. Simpósio Nacional Sobre o Uso da Água na Agricultura*. 2006. v. 1, p. 1-14.

GONÇALVES, R. F. Plano de integração – Rede 5. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, Edital 4 (PROSAB 4). 2004. 12p.

GONÇALVES, R. F. (Coordenador), ABES. Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro. 2009. 352p.: il.

GROUP RAINDROPS. Aproveitamento da água da chuva. Tradução de Masato Kobiyama *et al.* Curitiba: Organic Trading. 2002. 196 p.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil. Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre. 2002. Vol 7, n.4, p. 75-95.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban Water* 1 (4), 307-316. 1999.

IBGE. Tendências demográficas: Uma análise dos resultados do Censo Demográfico 2000.

IBGE. Censo Demográfico 2010.

IWANAMI, H. Rainwater utilization system in building. *In: CIBW62 SEMINAR*, Tokyo, Japan. 1985.

JENKINS, D.; PEARSON, F.; MOORE, E.; SUN, J. K.; VALENTINE, R. Feasibility of rainwater collection systems in California. Californian Water Resources Centre, University of California, USA. 1978.

KAMMERS, P. C. Usos finais de água em edifícios públicos: estudo de caso em Florianópolis. Relatório de Iniciação Científica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.

KHASTAGIR, T.; JAYASURIYA, N. Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. *Journal of Hydrology*, 381 (3-4), 181-188. 2010.

LEAL, A. C. Ciclo de água na edificação. *Téchne*. 2000. v. 9, n. 48, p. 45-6.

MAY, S. Estudo de viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 159p.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. Reuso de água. Ed. Manole. São Paulo. 2003. 579p.

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

MONTENEGRO, M. H. F.; SILVA, R. T. Economia de água: quadro de necessidades e linhas de ação. *In: Anais do Simpósio Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público*, São Paulo, 28 a 30 de outubro de 1986. São Paulo, IPT, 1987, pp. 7-26.

MORUZZI, R. B.; CARVALHO, G. S.; OLIVEIRA, S. C. Procedimento para dimensionamento de reservatório de água pluvial para residências unifamiliares: viabilidade e aprimoramento metodológico. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, n.19, p.89-99. 2012.

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. Aplicação de programa computacional no dimensionamento de volume de reservatório para sistema de aproveitamento de água pluvial da cidade de Ponta Grossa, PR. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, SSN 2176-7270, V. 2, Nº 1, 2010.

MOURA, G. N. P. A relação entre água e energia: gestão energética nos sistemas de abastecimento de águas das companhias de saneamento básico do Brasil. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 222p.

MURÇA, M. C. R. Aproveitamento de águas pluviais em instalações militares do Comando da Aeronáutica: aplicação ao caso do PAMA-GL. 2011. Trabalho de graduação (Engenharia Civil) – Divisão de Engenharia civil – Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São José dos Campos. 138f.

NASCIMENTO, P. H. R.; MORUZZI, R. B. Programa computacional de suporte à decisão para cálculo de reservatórios de armazenamento em sistemas de captação e aproveitamento de água pluvial em áreas urbanas. *In* 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambientla. Recife/PE. 2009.

OLIVEIRA; GONÇALVES; Metodologia para implantação de programa de uso racional da água em edifícios. Boletim Técnico BT/PCC/247 da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1999, 16p.

PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L. G. Non-dimensional design parameters and performance assessment of rainwater harvesting systems. *Journal of Hydrology*, 401, 65-76. 2011.

PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T. Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos. *In*: PORTO R. L. L. Técnicas quantitativas para o gerenciamento dos recursos hídricos. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 1997. p. 43-95.

PROGRAMA DE USO RACIONA DA ÁGUA (PURA). USP, 1995.

RAINWATER HARVESTING AND UTILISATION. An environmentally sound approach for sustainable urban water management - An introductory guide for decision-makers. UNEP-DTIE-IETC/Sumida City Government/People for Promoting Rainwater Utilization. Japan, 2002.

RIVM, Milieucompendium 1999: Huishoud elijk waterverbruik per hoofd van de bevolking, 1976-1998.

ROCHA, V. L. Validação do algoritmo do programa netuno para avaliação do potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações. 166p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2009.

RODRIGUES, L. C. S. Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória-ES. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória/ES. 2005.

RUPP, R. F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47-64, out./dez. 2011.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Norma Técnica Sabesp NTS 181. Dimensionamento de Ramal Predial de água, cavalete e hidrômetro – Primeira ligação. São Paulo. Novembro/2012. Revisão 3.

SOARES, D. A. F.; SOARES, P. F.; PORTO, M. F. A. Considerações a respeito da reutilização das águas residuárias e aproveitamento das águas pluviais em edificações. *In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Vitória/ES. Anais. Vitória: ABRH. 1999. p 7. CD-ROM.

SOARES, D. A. F.; ROESNER, L. A.; GONÇALVES, O. M. Sizing a rainwater reservoir to assist toilet flushing. *In: CIB W62 Seminar*, Rio de Janeiro. 2000.

SOUZA, L. A. F.; MUMBACH, G. D. Estudo de modelos para cálculo do volume de reservatório de sistema de aproveitamento de água pluvial para casa unifamiliar. *In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Bento Gonçalves/RS. Anais. ABRH. 2003. 8p.

SILVA, L. M. C. Açudes e reservatórios: mecanismos técnicos, legais e institucionais para uma gestão sustentável. 319 f. Tese (Doutorado Política e Gestão Ambiental) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

SIQUEIRA CAMPOS, M. A. Aproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Carlos. 2004. 157 p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos.

SNIS, Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. Aplicativo Série Histórica. 2010. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=29>

TOMAZ, P. Conservação da água. 1ª ed. São Paulo. 1998.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva: Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo. Navegar. 2003.

TUCCI, C. E. M. (org.). Hidrologia – Ciência e Aplicação. ABRH/EDUSP/Editora da UFRGS, Porto Alegre. 1993.

U.S. EPA. United States Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse. U.S. Environmental Protection Agency, Washington DC, EUA. 2004.

VICKERS, A. Handbook of water use and conservation. Massachussets. 2001 *apud* MAY, S. Estudo de viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 159p.

VYAS, V. Modeling temporal variability in natural resources - Rainwater harvesting systems as example. RWH. Conference, IITD, New Delhi. 2001.

WARD, R.C.; ROBINSON, M. Principles of Hydrology, 3rd edition. 1990. McGraw-Hill Book Company, Londres, 365p.

WATERFALL, P. H. Harvesting Rainwater for Landscape Use. University of Arizona Cooperative. 2002. *apud* MAY, S. Estudo de viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 159p.

WERNECK, G. A. M. Sistemas de utilização da água da chuva nas edificações: o estudo de caso da aplicação em escola da Barra do Pirai, RJ. 2006. 201f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

WHO. World Health Organization. *In*: The Right to Water. Cap. II, General Comment on the Right to Water. 2003. pp. 12-21.

WUCB. A water conservation guide for commercial, institutional and industrial users, Ed. Water Use and Conservation Bureau, New Mexico Office of the State Engineer, EUA, 108p, 1999.

WUNG, T. C.; LIN, S. H.; HUANG, S. M. Rainwater reuse supply and demand response in urban elementary school of different districts in Taipei. Resources, Conservation and Recycling 46 (2), 149-167. 2006.

ZHANG, Y.; CHEN, D.; CHEN, L.; ASHBOLT, S. Potential for rainwater use in highrise buildings in Australian cities. Journal of Environmental Management 91 (1), 222-226. 2009.

ZOLET, M. Potencial de Aproveitamento de Água de Chuva Para Uso Residencial na Região Urbana de Curitiba. 2005. 33f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Pontífica Universidade Católica do Paraná. Curitiba.