UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

IMPACTO DE VARIÁVEIS LOCAIS NO DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL SEGUNDO ASPECTOS ECONÔMICOS

LETÍCIA ALVES MUNIZ

GOIÂNIA
2016

LETÍCIA ALVES MUNIZ

IMPACTO DE VARIÁVEIS LOCAIS NO DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL SEGUNDO ASPECTOS ECONÔMICOS

Monografia apresentada na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás.
Orientador: Prof. Dr. Marcus André Siqueira Campus

GOIÂNIA
2016

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO ELETRÔNICA DE TRABALHOS DE CONCLUSÃO DE CURSO DA EECA-UFG

1. DADOS PESSOAIS DO AUTOR
Nome: Letícia Alves Muniz
CPF: 039.764.851-01 E-mail: leticia.muniz01@gmail.com
Telefone: (62) 98605-5780

2. IDENTIFICAÇÃO DO DOCUMENTO
Trabalho de Conclusão de Curso 2

Data de defesa: 08/12/2016
Título: Impacto De Variáveis Locais no Dimensionamento de Reservatórios de Aproveitamento De Água Pluvial Segundo Aspectos Econômicos
Curso: Graduação em Engenharia Civil
Orientador: Marcus André Siqueira Campos
CPF: 008.360.514-24 E-mail: marcusscampos@gmail.com

3. PERMISSÃO DE ACESSO AO DOCUMENTO:
Na qualidade de titular dos direitos autorais do trabalho acima citado, em consonância com a Lei n° 9610/98, **autorizo** a Escola de Engenharia Civil e Ambiental a disponibilizar gratuitamente em seu site institucional, sem ressarcimento dos direitos autorais, o referido documento de minha autoria, em formato PDF, para leitura, impressão e/ou download, conforme permissão assinalada.
O documento pode ser publicado:
( ) Na íntegra.
( ) Com restrição parcial por um período de _____, não podendo ser publicadas as seguintes informações e/ou documentos: _____
_____
(x) Com restrição total para publicação por um período de 12 meses, pelos seguintes motivos: publicação em periódico específico
_____

Assinatura do autor: Letícia Alves Muniz

Assinatura do orientador: _____

Goiânia, 08 de dezembro de 2016

LETÍCIA ALVES MUNIZ

IMPACTO DE VARIÁVEIS LOCAIS NO DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL SEGUNDO ASPECTOS ECONÔMICOS

Monografia apresentada no Trabalho de Conclusão de Curso 2 do Curso de Graduação em Engenharia Civil ou Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Goiás.

Aprovado em: 08 / 12 / 2016 .

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcus André Siqueira Campos – Universidade Federal de Goiás (Orientador)

Ricardo Prado Abreu Reis

Prof. MSc. Ricardo Prado Abreu Reis – Universidade Federal de Goiás (Examinador)

Gabriela C. R. Pacheco

Prof. Gabriela Cristina Ribeiro Pacheco – Instituto Federal de Goiás (Examinadora)

Atesto que as revisões solicitadas foram feitas:

Prof. Dr. Marcus André Siqueira Campos (orientador)

Em: 14 / 12 / 16

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Delineamento da Pesquisa.....22

Figura 3.2 – Atlas Pluviométrico do Brasil.....24

Figura 4.1 – Regime Pluviométrico das cinco cidades.....32

Figura 4.2 – Gráfico do preço pelo volume do reservatório para Curitiba.....35

Figura 4.3 – Gráfico do preço pelo volume do reservatório para Brasília.....35

Figura 4.4 – Gráfico do preço pelo volume do reservatório para Natal.....35

Figura 4.5 – Gráfico do preço pelo volume do reservatório para Palmas.....36

Figura 4.6 – Gráfico do preço pelo volume do reservatório para Belo Horizonte.....36

Figura 4.7 – Resultados das simulações para o CENÁRIO A.....41

Figura 4.8 – Resultados das simulações para o CENÁRIO B.....44

Figura 4.9 – Resultados das simulações para o CENÁRIO C.....47

Figura 4.10 – Resultados das simulações para o CENÁRIO D.....50

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Trabalhos encontrados e suas abordagens.....16

Tabela 3.1 – Demanda de água pluvial em uma edificação de ensino pública.....26

Tabela 4.1 – Demanda de água pluvial.....34

Tabela 4.2 – Custos de Manutenção e Operação para as cinco cidades.....37

Tabela 4.3 – Estrutura tarifárias das cidades.....38

Tabela 4.4 – Histórico de reajustes para as cinco cidades.....40

Tabela 4.5 – Volumes e máximos VPL para o CENÁRIO A.....40

Tabela 4.6 – Investimentos iniciais e índices de lucratividade para as cinco cidades.....42

Tabela 4.7 – Volumes e máximos VPL para o CENÁRIO B.....43

Tabela 4.8 – Diferenças percentuais dos VPL.....46

Tabela 4.9 – Volumes e máximos VPL para o CENÁRIO C.....47

Tabela 4.10 – Diferenças percentuais dos VPL.....49

Tabela 4.11 – Volumes e máximos VPL para o CENÁRIO D.....50

Tabela 4.12 – Diferenças percentuais dos VPL.....51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

Agritempo – Sistema de Monitoramento Agrometereológico

ASA – Articulação do Semiárido Brasileiro

CEF – Caixa Econômica Federal

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

FCD – Fluxo de Caixa Descontado

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

P1MC – Programa 1 milhão de cisternas

PSO – *Particle Swarm Optimization*

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SPAAP – Sistemas Prediais de Aproveitamento de Águas Pluviais

TIR – Taxa Interna de Retorno

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO 8

1.1. OBJETIVO GERAL 10

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 11

2.1. SISTEMAS PREDIAIS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS (SPAAP) 11

2.1.1. Elementos dos SPAAP 12

2.1.2. Determinação de Oferta e Demanda de Água Pluvial 13

2.1.3. Casos no mundo e no Brasil 14

2.2. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO 16

2.3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA 18

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA 22

3.1. DETERMINAÇÃO DO PROBLEMA 23

3.2. DELINEAMENTO DA PESQUISA 23

3.2.1. Escolha da edificação em estudo 23

3.2.2. Escolha das cidades analisadas 24

3.2.3. Dimensionamento do Reservatório 26

3.3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA 30

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS 32

4.1. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO 32

4.1.1. Oferta de água pluvial 32

4.1.2. Demanda de água pluvial 33

4.1.3. Função custo do reservatório 34

4.1.4. Custos de manutenção e operação 36

4.1.5. Estrutura tarifária e histórico de reajustes 38

4.2. DETERMINAÇÃO DO VOLUME ÓTIMO 40

4.2.1. Análise dos resultados para o CENÁRIO A 40

4.2.2. Análise dos resultados para o CENÁRIO B.....43

4.2.3. Análise dos resultados para o CENÁRIO C 46

4.2.4. Análise dos resultados para o CENÁRIO D 49

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES.....53

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 56

CAPÍTULO 1
INTRODUÇÃO

A crise hídrica é um problema que está afetando vários países em todo o mundo, inclusive países desenvolvidos; no entanto, estes possuem mais recursos para contornar esta situação. Assim, é possível perceber que outros motivos levaram a falta de água a se tornar uma questão global, como o aumento da demanda, as mudanças climáticas e a falta de cuidados com os recursos naturais, gerando poluição e degradação das reservas hídricas.

O crescimento populacional é um dos grandes responsáveis pelo aumento na demanda por água. Segundo o Instituto Francês de Estudos Demográficos (2015), atualmente existem cerca de 7 bilhões de habitantes em todo o mundo e estima-se que até 2050 este número aproxime-se de 10 bilhões de pessoas. Os números são preocupantes, porque quanto mais se aumenta o número de pessoas, mais reservas de água com qualidade são necessárias, sendo que na atualidade 10% da população mundial já não possui água potável disponível (BARBOSA, 2014).

O salto no número de pessoas no mundo não é um problema só pelo fato de que mais pessoas precisarão do recurso hídrico em si. Com o crescimento da população há a necessidade da intensificação tanto da atividade agrícola como da industrial, que representam, respectivamente, 70% e 20% do consumo de água mundialmente (REBOUÇAS, 2008), o que aumenta a poluição do meio ambiente, e consequentemente, afeta as reservas de água, quantitativa e qualitativamente.

Segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento de Recursos Hídricos (CONNOR *et al.*, 2015), estima-se que no ano de 2050 haja um aumento de 55% na demanda mundial de água para suprir o crescimento do setor industrial, da geração de energia por meio das termoelétricas, bem como do consumo doméstico. Este quadro pode gerar o chamado estresse hídrico, quando a quantidade de água utilizada é maior que sua possiblidade de renovação natural, o que causa redução das reservas disponíveis. No caso das mudanças climáticas, o aumento em apenas 1º C causaria o derretimento de geleiras e possível escassez de água para cerca de 50 milhões de pessoas, STERN[1] (2006, *apud* MARENGO, 2008). O Brasil possui uma grande quantidade de reservas hídricas, que vão desde longos rios a aquíferos

[1]STERN, N. *Stern Review*. The Economics of Climate Change, UK, 2006. 267p.

subterrâneos, como o aquífero Guarani, que ocupa oito estados e uma área de aproximadamente 850 km² (RIBEIRO, 2008).

No entanto, esta riqueza hídrica está distribuída de forma não uniforme ao longo do território nacional. A discrepância na disponibilidade de água dentro do país indica que regiões com maior densidade populacional e desenvolvimento econômico, por exemplo São Paulo, possuem maiores possibilidades de sofrerem com a falta de água. Segundo o Censo de 2010 (IBGE, 2010), a população da cidade de São Paulo era de 11,3 milhões de pessoas, o que é apenas um dos fatores que faz com que a quantidade de água à disposição não seja suficiente para suprir a demanda.

Outro fator responsável por reduzir as reservas de água é o climático. Em 2014, São Paulo começou a sentir os efeitos da maior seca dos últimos 80 anos, que levou à redução do volume dos reservatórios destinados a abastecer a região, principalmente por causa de algumas mudanças no clima, que reduziram o volume de chuva em épocas em que se esperava maior pluviosidade. O sistema Cantareira recebeu apenas 57% do volume esperado para o outono e inverno daquele ano (BARBOSA, 2014).

O uso doméstico de água representa apenas 10% do consumo mundial (BARBOSA, 2014), porém este número não deve ser visto como pequeno ou menos importante do que o uso agrícola e industrial, já que o uso doméstico também é responsável pela poluição das águas, bem como pelo aumento de sua escassez, principalmente nos aglomerados urbanos. Devido a essa contribuição das edificações no consumo de água em grandes cidades, medidas de proteção dos recursos hídricos devem ser tomadas.

O manual de Conservação e Reuso da Água em Edificações (SAUTCHUK *et al*, 2005), após a realização de uma auditoria em edificações, mostrou como a água estava sendo utilizada e em que pontos havia um grande consumo. Por fim elaborou uma série de ações que podem ser tomadas para que se melhore a eficiência do uso do água. A mais importante delas é a diminuição do desperdício, seja por meio do controle de vazamentos, da moderação no consumo ou do melhoramento do desempenho de equipamentos.

Entre outras indicações mostradas no manual estão a promoção de campanhas de conscientização da população. Sendo que a maior indicação, que promove uma considerável redução no consumo de água potável, está na implantação de sistemas de reaproveitamento de água.

Uma destas medidas são os Sistemas Prediais de Aproveitamento de Águas Pluviais (SPAAP), que permitem a conservação de água potável, principalmente no que diz respeito a atividades como descarga de banheiros, lavagem de carros e calçadas e limpeza em geral, já que ocorre uma substituição da água potável pela água reaproveitada para utilização nestas finalidades.

Um dos itens do SPAAP que mais merece atenção durante sua concepção é o reservatório. Isso acontece porque este é o elemento mais oneroso do sistema (AMORIM; PEREIRA, 2008); por isso, é necessário que se tenha cautela na escolha do material e também na definição de métodos de dimensionamento adequados, para que se possa estabelecer um volume ótimo para o reservatório e, como consequência, determinar a viabilidade técnica e econômica do sistema.

Com base na grande contribuição dos reservatórios de armazenamento nos custos totais dos SPAAP e nas diversas diferenças econômicas e climáticas existentes em cada região do Brasil, um estudo que permita aprimorar o conhecimento sobre a viabilidade econômica destes sistemas no país é necessário. Neste contexto, este trabalho se insere.

1.1. OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo a verificação do impacto que variáveis locais, tais como tarifa de água, preços de serviço e materiais de construção e regime pluviométrico, possuem na determinação do volume ótimo de um reservatório de um sistema predial de aproveitamento de água pluvial considerando aspectos econômicos.

CAPÍTULO 2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como foco a realização da revisão da literatura sobre SPAAP. Ele está dividido em duas grandes partes: os Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais e a Análise Econômica. A primeira aborda o histórico, elementos e funcionamento dos sistemas, a determinação de oferta e demanda de água, os casos no Brasil e no mundo, dimensionamento do reservatório. Já a segunda parte trata sobre as formas de se fazer a avaliação econômica destes sistemas, como o payback, VPL, TIR, custo-benefício bem como a definição adequada da taxa mínima de atratividade.

2.1. SISTEMAS PREDIAIS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS (SPAAP)

Não há um local específico do mundo que possa ser apontado como onde se originou a utilização de água da chuva para atividades cotidianas. Este costume foi surgindo em várias regiões do planeta de forma independente e se desenvolvendo de acordo com a evolução das sociedades. Segundo Gnadlinger (2006), há 200.000 anos, povos do sul da África armazenavam água da chuva em ovos de avestruz e os enterrava para utilizar na época da estiagem. Já na China, tanques e cacimbas eram usados para depositar água há mais de dois mil anos. Observa-se também que, no Irã, foram encontrados reservatórios de pedra e massa de cal com torres para resfriar a água, usados pela comunidade como um todo (GNADLINGER, 2006).

Nos países da América Latina, as civilizações Maia e Asteca construíram grandes sistemas de utilização de águas pluviais para abastecimento da agricultura e prática da piscicultura. No caso dos Maias, foram construídas cerca de 70 cisternas para armazenamento de águas pluviais, já os Astecas faziam sulcos artificiais que chegavam a 50 metros de diâmetro para armazenamento (COSTA, 2010). Anos mais tarde e com influência dos árabes, os portugueses contribuíram para a implantação de SPAAP em vários locais do mundo, mas não no Brasil, porque era considerado um local com abundância em água (GNADLINGER, 2006). Muitos destes sistemas desapareceram e o costume de utilizar água da chuva diminuiu devido às lutas entre povos e ao processo de colonização. Assim, o sistema caiu em desuso e foi esquecido com o advento de novas técnicas no século XX, como as construções de barragens, projetos de irrigação e utilização de águas subterrâneas A ideia do aproveitamento de águas pluviais voltou

a se destacar somente após o agravamento da crise hídrica e o aumento da necessidade de práticas mais sustentáveis (GNADLINGER, 2006).

2.1.1. Elementos dos SPAAP

Tendo em vista que os SPAAP são alternativas para amenizar crise hídrica, é preciso saber quais são os elementos constituintes e como eles funcionam, para que estudos mais aprofundados a respeito de sua viabilidade possam ser executados, incluindo estudos sobre os custos de implantação dos reservatórios e as expectativas de retorno financeiro.

Os SPAAP possuem elementos que são indispensáveis para seu funcionamento, e que não dependem do quão refinados eles são. Estes componentes são: a área de captação, calhas e condutores verticais e horizontais e o reservatório, que é a última parte constituinte do sistema. No caso de sistemas com mais elementos, estes são chamados de acessórios e englobam: válvulas de descarte dos primeiros volumes de escoamento sobre a superfície de captação, filtros, bombas e ferramentas de tratamento e desinfecção (CAMPOS *et al.*, 2007).

O funcionamento do SPAAP começa com a captação de água da chuva. Pela norma brasileira NBR 15527 (ABNT, 2007), a captação de água pluvial deve ser feita apenas em coberturas.

As calhas e condutores verticais e horizontais são os elementos que transportam a água do telhado até o reservatório, e devem atender às determinações da NBR 10844 (ABNT, 1989).

O reservatório de armazenamento de água da chuva é o elemento que mais merece atenção na questão financeira, pois corresponde a cerca de 60% do custo total inicial do conjunto, ou seja, é parte crucial na determinação da viabilidade econômica e técnica do sistema. O reservatório também pode influenciar na qualidade da água a ser consumida, de acordo com o material escolhido para o mesmo (HERNANDES *et al.*, 2004).

Como a água é coletada principalmente pelo telhado, esta está sujeita à contaminação devido à grande quantidade de sujeira que se acumula nesta superfície. Assim, a norma NBR 15527 (ABNT, 2007) apresenta uma tabela que define parâmetros, como coliformes totais, turbidez e cloro residual livre, e seus valores aceitáveis que garantam a qualidade da água (ABNT, 2007). Para diminuir as chances de que a água a ser depositada no reservatório esteja contaminada por poluentes e dejetos de animais, por exemplo, é relevante que se desconsidere 2 mm da precipitação inicial que escoa pela superfície de captação (ABNT, 2007).

Para incrementar o sistema e possibilitar a melhoria da qualidade da água, reservatórios que além de armazenar a água, possuam elementos que realizem um certo tipo de tratamento também podem ser considerados. A eles podem ser anexados filtros de areia, que permitem a diminuição da cor e turbidez da água, bem como a utilização de produtos que promovam a desinfecção da água (SANTOS, 2002).

2.1.2. Determinação de Oferta e Demanda de Água Pluvial

A oferta de água pluvial de determinada região é obtida por meio do regime pluviométrico apresentado pelo local. Para que se obtenha esta oferta, é necessário que se tenha acesso a dados históricos, e também saber qual o comportamento da chuva ao longo do tempo. Para isso, existem bases de dados confiáveis de precipitações diárias em várias regiões de Brasil como a de Agritempo, que vem sendo utilizada para o dimensionamento dos sistemas no Brasil (CAMPOS, 2012).

Outra base de dados que pode ser utilizada é o INMET, que é o Instituto Nacional de Meteorologia. Ele também fornece séries históricas com base em medições diárias de pluviosidade, e por meio destas gera gráficos com as médias mensais, as chamadas "Normais Meteorológicas" (FLORES *et al.*, 2012).

A NBR 15527 (ABNT, 2007) determina uma formulação, que está descrita na Equação 1, para cálculo da quantidade diária de água proveniente da chuva a ser aproveitada, tendo como base as séries históricas obtidas:

$$V = P.A.C.\eta \tag{2.1}$$

Em que:

V – Volume de água de chuva aproveitável, em m³;

P – Precipitação média anual, mensal ou diária, em mm;

A – Área de coleta, em m²;

C – Coeficiente de escoamento superficial da cobertura;

η – Eficiência do sistema de captação.

Sendo que a eficiência do sistema inclui o dispositivo de descarte de sólidos, ou seja, as perdas geradas pela passagem por filtros ou retenção em telhados e calhas.

Para que se estabeleça a demanda de água de determinada edificação, é necessário saber qual a tipologia da mesma e quais são os usos da água, ou seja, qual volume de água é utilizado em cada atividade no local. No caso de SPAAP, a demanda de água se restringe a atividades que a utilizem para fins não potáveis, como descargas de bacias sanitárias e lavagem de pisos, por exemplo.

2.1.3. Casos no mundo e no Brasil

Existem muitos estudos de caso em todo o mundo acerca da viabilidade, praticidade e os efeitos em se implantar SPAAP. É interessante notar que não só os países desenvolvidos estão investindo e adotando estes sistemas como forma de conservação e economia de água.

Em Taiwan, os SPAAP estão sendo implantados em escolas desde 2002. Os sistemas são adotados em regiões com condições climáticas e de urbanização bem diferentes, o que resulta em vários modelos de sistemas, além do fato de que a destinação dada à água proveniente dos SPAAP se distingue de uma escola para outra. A implantação de SPAAP em 29 escolas distribuídas em quatro regiões com diferentes distribuições pluviométricas foi avaliada no ano de 2008 (SUNG *et al.*, 2010).

O estudo mostrou as distintas formas de captação e utilização da água da chuva. Sete escolas optaram por combinar os SPAAP com os sistemas para coleta de água cinza, ou seja, água residual proveniente do uso em torneiras e mangueiras, por exemplo. Umas destas escolas, coletava as águas cinzas juntamente com a água de chuva, sendo que primeiramente passavam por uma cisterna, para depois serem armazenadas em estruturas, nas quais passariam por processos de desinfecção.

Os pesquisadores concluíram que os SPAAP somente seriam economicamente viáveis para seis das 29 escolas estudadas. O maior exemplo é o de uma pequena escola, que tinha uma pequena capacidade de armazenamento de água, porém teve o maior custo de construção do sistema e, portanto, não desfrutaria de fato dos benefícios trazidos pelo SPAAP, já que o retorno econômico deste tipo de investimento é fator determinante na escolha por sua implantação ou não (SUNG *et al.*, 2010).

A cidade de Barcelona, na Espanha, consiste em um bom exemplo de região desenvolvida que adotou os SPAAP como fonte alternativa para o aumento da demanda de água, sendo que o clima também foi um fator determinante nesta escolha, já que entre os anos de 1999 e 2008, a cidade passou por longos períodos de seca. Sendo assim, Sant Cugat del Vallès foi o primeiro município a aprovar, em 2002, um código para edificações que garantia subsídios para os donos de habitações unifamiliares já existentes que decidiam construir os sistemas por iniciativa própria (DOMÈNECH; SAURÍ, 2010).

A maioria das pessoas que receberam subsídios do governo apontou como maiores motivações para introduzir o sistema, a capacidade de economia de água e a conservação do meio ambiente, o que pode ser explicado pelo alto nível de renda e de escolaridade da população, já que a região de Sant Cugat del Vallès é uma das mais ricas do subúrbio de Barcelona. Uma minoria afirmou ainda que o preço da tarifa de água também foi fator determinante na escolha. (DOMÈNECH; SAURÍ, 2010).

No Brasil também existem estudos sobre a possibilidade de implantação de SPAAP em várias regiões. Um exemplo disso é o estudo realizado em Florianópolis, para determinar a viabilidade econômica de SPAAP em um prédio de uma instituição de ensino, o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). Para a realização deste estudo foram levantados vários dados, como a área de captação da edificação, os dados pluviométricos da região e as estimativas de consumo de água dos usuários, ou seja, a demanda (MARINOSKI; GHISI, 2008).

O programa computacional Netuno foi utilizado para obter a economia de água potável correspondente a cada volume do reservatório, até se chegar a um volume ideal. Para que a análise econômica pudesse ser realizada, também foram levantados os custos de implantação do SPAAP, como preços de materiais e de mão de obra e também os custos de operação e manutenção do sistema. Com todos os dados em mãos, foi possível realizar várias simulações no Netuno para se chegar a uma conclusão sobre a viabilidade ou não do SPAAP nesta instituição (MARINOSKI; GHISI, 2008).

A conclusão do estudo, portanto foi a de um potencial de economia de água potável em torno de 45%, sendo que os volumes ideais dos reservatórios seriam de 30.000 e 6.000 litros, para o inferior e superior, respectivamente. Além disso, levantando em conta os custos de implantação e os custos de manutenção e operação, foi calculada uma economia de cerca de R$ 400,00 reais

por mês, o que evidenciou a viabilidade econômica e ambiental do SPAAP (MARINOSKI; GHISI, 2008).

Outros exemplos nacionais e estrangeiros foram relatados em Pacheco (2016). Neste trabalho a autora realizou um mapeamento sistemático da literatura, verificando as publicações presentes nesta área. Usando *Rainwater and feasibilty* como *String* de busca, verificou-se que 30 trabalhos estudaram a viabilidade econômica de SPAAP em várias tipologias diferentes. A Tabela 2.1 é uma adaptação da tabela encontrada em Pacheco (2016), apenas com os trabalhos relacionados à tipologia educacional.

Tabela 2.1 – Trabalhos encontrados e suas abordagens

Fonte	Local	Técnica	Economia (%)	Usos	Taxa de desconto	Valor da água
Werneck; Bastos (2006)	Barra do Piraí, Brasil	PB	0,404	B, I, L, LR, M	1% a. m.	-
Roebuck; Ashley (2007)	Inglaterra	PB	81 e 69	B, M	0 e 3,5% a.a.	-
Ferraz *et al.* (2012)	Cuiabá, Brasil	PB	-	B, I, L	-	0 a 10m³: 3,51 acima de 11m³: 5,75 R$/m³
Shah *et al.* (2013)	Scott lab., Estados Unidos	PB	-	-	-	$0,008 por galão
Yoshino *et al*. (2013)	Belém, Brasil	PB VPL	16,53 a 30,88	B, M	13,28% a.a.	R$ 4,71R$/m³
Ghisi *et al.* (2014)	Florianópolis, Brasil	PB TIR VPL	0,4248	B, M	0,68% a.m.	R$ 11,5294R$ /m³

Técnicas: PB - Payback; VPL - valor presente líquido; TIR - taxa interna de retorno

Usos: B: bacias sanitárias; I - irrigação; L - lavagem; LR - lavagem de roupas; M - mictórios

Fonte: adaptado de Pacheco (2016)

2.2. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

O dimensionamento do reservatório de armazenamento de água da chuva é muito importante para que se obtenha resultados satisfatórios com o SPAAP. Como ele é, normalmente, o item mais caro a ser implantado, o cálculo de uma capacidade errada pode resultar em prejuízos econômicos.

Quando superdimensionado, pode ocupar muito espaço da edificação e provocar perda de qualidade da água devido a longos períodos de reserva. Quando subdimensionado, não

proporcionará a economia de água potável esperada, pois não irá fornecer a quantidade de água necessária para suprir a demanda (CAMPOS, 2012). Segundo Amorim e Pereira (2008), o cálculo do volume do reservatório, em geral, deve ser feito para suprir a maior demanda pelo maior período de tempo possível, com os menores custos iniciais.

A NBR 15527 (ABNT, 2007) propõe seis métodos de dimensionamento dos reservatórios: (1) método de Rippl, (2) da simulação, e os métodos práticos (3) alemão, (4) inglês, (5) australiano e (6) Azevedo Neto (prático brasileiro). Para Amorim e Pereira (2008), os métodos práticos devem ser utilizados para residências unifamiliares ou pequenas instalações, pois não são tão complicados e são fáceis de se executar, já o método de Rippl e o da simulação devem ser aplicados em edificações maiores.

Segundo Rupp *et al.* (2011), os métodos normativos não são adequados nem suficientes para o dimensionamento do reservatório e, também, para análise do potencial de economia de água potável. Neste trabalho, os métodos da norma foram comparados com o programa Netuno desenvolvido por Ghisi *et al.* (2009). Com os métodos da ABNT, os volumes dos reservatórios aumentavam à medida que se aumentava a demanda. Apenas no Netuno, o volume modificou-se em função tanto da demanda quanto do regime pluviométrico. O Netuno também foi o único que emitiu como dado de saída o potencial de economia de água potável de acordo com o volume do reservatório.

Segundo Campos (2012), para países subdesenvolvidos como o Brasil, é necessário que haja uma motivação além da ideia de preservação do meio ambiente para a adoção de práticas de conservação de água. Por isso, novos métodos e programas computacionais de dimensionamento de volume dos reservatórios de águas pluviais devem ser desenvolvidos, levando em conta também os retornos financeiros e econômicos que os sistemas podem gerar, para que hajam maiores incentivos às práticas sustentáveis.

Assim, Campos (2012) desenvolveu o programa computacional *Raintool Box* destinado à análise econômica dos SPAAP, com base no dimensionamento do volume dos reservatórios e foco no máximo valor presente líquido (VPL) dado por eles. A utilização do VPL indica uma análise mais aprofundada dos investimentos, diferentemente de pesquisas anteriores que utilizavam apenas o payback (período de retorno) como forma de verificação da qualidade dos investimentos.

2.3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

A análise da viabilidade econômica é de grande importância para a definição quanto à implantação ou não de qualquer tipo de negócio. Sem ela, não é possível saber em quanto tempo ocorrerá a amortização do investimento inicial e nem qual é o rendimento do mesmo.

Um problema muito comum em análises econômicas está na dificuldade de se prever o futuro, pois todas as perspectivas de ganho ocorrem com base em suposições do quanto se lucrará, assim como na definição de taxas de atratividade (GARRÁN, 2006). Assim, devem ser utilizados métodos que procurem minimizar as incertezas advindas destes processos, para que se obtenham valores mais aproximados da realidade. Um destes métodos é o fluxo de caixa descontado (FCD).

Segundo Endler (2004), o FCD considera o investimento inicial para geração de lucros assim como o tempo em que eles ocorrem. É uma técnica muito utilizada na concepção de novos investimentos e considera que a agregação de valor somente ocorre, quando o retorno é maior do que aquele proveniente de investimentos de mesmo risco.

O FCD tem como base a determinação dos valores presentes de todos os fluxos de caixa que serão gerados pelo investimento ao longo de sua existência. Assim, é necessário que se tenha uma taxa de atratividade, para que seja possível levar todos os fluxos ocorridos em diversos momentos para a mesma data. Como dito anteriormente, a definição desta taxa de atratividade se constitui em uma complexidade ao processo dos FCD e depende do grau de risco de cada investimento, sendo maior quanto maior for o risco daquele ativo (GARRÁN, 2006).

Outro conceito que também deve ser definido para analisar a aceitação econômica de cada investimento é a taxa mínima de atratividade. Ela é um valor de referência para verificação da atratividade de um investimento, ou seja, uma aplicação só se torna lucrativa quando o seu retorno é maior que sua taxa mínima de atratividade (NETO *et al.*, 2008).

Segundo Puccini (2011), a taxa de atratividade pode ser definida também como o custo de oportunidade, ou seja, aquilo que se escolhe em detrimento de outra opção. É aquilo que se espera como retorno médio, ou um parâmetro para que se possa fazer a comparação quanto à lucratividade ou não do projeto.

A determinação da taxa mínima de atratividade depende do tipo de negócio que se está avaliando. Alencar (2004) estudou a taxa mínima de atratividade para edifícios de alto padrão com uso de elementos de sustentabilidade ecológica. Segundo ele, espera-se que o investimento inicial para este tipo de empreendimento seja maior quando comparado a edifícios convencionais, porém espera-se também que os custos de operação desta edificação sejam reduzidos devido à aplicação de tecnologias mais sustentáveis.

Com base na avaliação da economia brasileira, por exemplo, a expansão do PIB naquele momento e nos anos seguintes e nos preços de aluguel a serem praticados para aquela edificação, Alencar (2004) definiu que a valor de taxa de atratividade mais aceitável foi a de 10,43% ao ano.

Esta mesma ideia pode ser utilizada quando se estuda os SPAAP, devido ao fato de que os projetos possuem extensas durações e de que existem grandes imprecisões acerca dos valores econômicos a serem utilizados no porvir. O método do VPL é um dos mais confiáveis para avaliação da qualidade de um investimento, pois nele as incertezas são consideravelmente reduzidas, já que se soma algebricamente todos os elementos do fluxo de caixa, ou seja, faz-se a diferença entre os valores presentes das entradas e os valores presentes das saídas (PUCCINI, 2011).

$$VPL = \Sigma_0^n F_n \; x \; (1+i)^{-n} \qquad (2.2)$$

Em que:

Fn – entrada ou saída do fluxo de caixa no instante “n”;

i – taxa de atratividade;

n – duração da análise;

É um cálculo claro, fácil de ser entendido e que permite uma análise aprofundada do investimento. Quando a soma das receitas obtidas é maior que o valor investido, já sendo considerada a alteração de valor do dinheiro no tempo, o VPL é positivo e, portanto, o investimento é aceitável (CAMPOS, 2012).

O maior obstáculo para utilização do VPL é a determinação da taxa mínima de atratividade, aquela que permite que se levem todas as receitas e gastos para a mesma data. É comum que se

adote o valor da taxa de atratividade como sendo o mesmo da taxa mínima de atratividade, para que se obtenha valores admissíveis (CAMPOS, 2012).

Outro indicador econômico determinado em função do FCD é a taxa interna de retorno (TIR). A TIR é uma taxa de desconto que resulta em um VPL igual a zero, ou seja, é a taxa que torna igual os valores presentes de entrada e de saída. Assim, para que se saiba a aplicabilidade dela é preciso compará-la a alguma taxa usualmente utilizada no mercado (CAMPOS, 2012).

No entanto, a TIR possui algumas desvantagens para a sua aplicação. É pressuposto que se reinvista as entradas do investimento com rendimento igual à taxa interna de retorno obtida, o que se torna quase impossível em casos que a taxa é muito alta, já que pode não ser fácil encontrar uma aplicação que renda nesta magnitude (PUCCINI, 2011).

Outra desvantagem é que os cálculos podem resultar em mais de um valor para a TIR ou até mesmo casos em que não se obtém um valor para a TIR, principalmente nos casos em que há mais de uma fonte de gastos e fluxos não convencionais, em que ocorrem várias mudanças de sinais nos fluxos de caixa, o que pode resultar em problemas para se fazer a análise (PUCCINI, 2011). Estes são motivos pelos quais a TIR não é largamente utilizada para se fazer a avaliação da atratividade dos investimentos.

Outra forma de avaliação econômica de investimentos é o payback, que é o tempo de retorno de um investimento, ou seja, em quanto tempo o investimento inicial será recuperado. Ele é considerado a forma mais comum para se analisar a qualidade dos investimentos, devido à facilidade em calculá-lo, bem como de entender sua aplicabilidade (CAMPOS, 2012).

Este método, porém, não leva em conta a variação do valor do dinheiro ao longo do tempo, ou seja, não considera que o investimento e os retornos ocorrem em períodos diferentes, e por isso é propenso a ter maiores retornos no caso de investimentos de curto prazo (ACCO, 2008).

Para aplicações analisadas apenas pelo payback, considera-se que quanto menor o payback, mais eficiente é o sistema. Como ele não considera o valor ao longo do tempo, criou-se o payback atualizado, que possui uma taxa de desconto para atualizar os valores do fluxo de caixa e atenuar os erros causados pela desconsideração inicial (ACCO, 2008). Outra desvantagem do método é que não inclui as receitas e gastos do fluxo de caixa após a reintegração do valor investido (CAMPOS, 2012).

O payback atualizado é definido pela Equação 3:

$$Payback = mínimo\ \{j\}, tal\ que\ \Sigma_{k=1}^{j} \frac{FC_k}{(1+TMA)^k} \geq |FC_0| \quad (2.3)$$

Em que:

|FC0| - módulo do investimento inicial ou fluxo de caixa no período zero;

FCk – fluxo de caixa no tempo k;

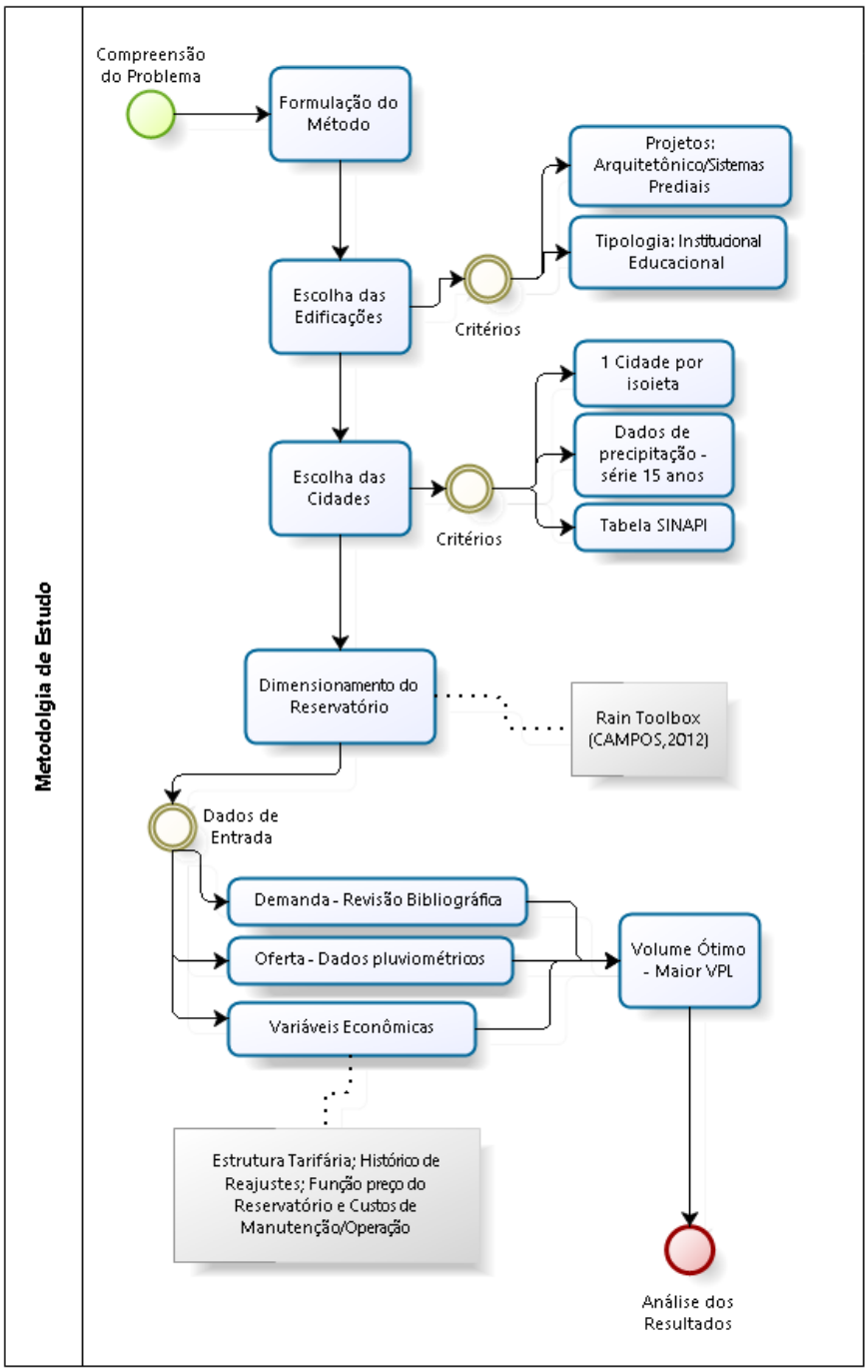
TMA – taxa mínima de atratividade utilizada para a descapitalização composta;

Sendo que o payback será o menor valor de "j" encontrado para que a desigualdade seja verdadeira.

CAPÍTULO 3
METODOLOGIA

Este trabalho seguirá a seguinte sequência: revisão bibliográfica, formulação do método, dimensionamento do reservatório e análise dos resultados, como explicitado na Figura 3.1:

Figura 3.1 Delineamento da Pesquisa



Fonte: o autor

3.1. DETERMINAÇÃO DO PROBLEMA

O primeiro momento do trabalho foi de percepção do tema por meio da revisão bibliográfica. Nela, foi possível entender o funcionamento dos SPAAP, saber como é possível determinar a oferta de água com dados pluviométricos e a demanda nas edificações, observar casos já aplicados no Brasil e no mundo, e saber como fazer uma avaliação econômica dos parâmetros a serem utilizados. Como resultado desse momento, definiu-se parâmetros como a taxa mínima de atratividade.

Uma vez conhecido o assunto, verificou-se o problema da questão a ser analisada, podendo assim formular o problema da pesquisa e objetivo do trabalho. Após a revisão e determinação do problema, ocorreu o delineamento da pesquisa, conforme apresentado na Figura 3.1 e a formulação do método descrita nos próximos itens.

3.2. DELINEAMENTO DA PESQUISA

Esta seção engloba as etapas em que a pesquisa se divide, sendo que a primeira é a escolha da edificação a ser estudar e sua tipologia; a segunda, é a escolha das cidades a serem analisadas e os critérios para seleção e a terceira é o dimensionamento do reservatório, que exige a inserção de vários dados para obtenção do volume ótimo.

3.2.1. Escolha da edificação em estudo

Em primeiro lugar, foi considerado que uma mesma edificação existe em cada uma das cidades escolhidas, ou seja, foi analisado o mesmo edifício para todas as cidades. Segundo, foi selecionada uma edificação na qual havia acesso a maior quantidade de projetos possível, em especial o projeto Arquitetônico e o de Sistemas Prediais.

O projeto Arquitetônico é importante para que se tenha ideia das áreas da construção, principalmente as áreas de cobertura, onde ocorre a maior parte da coleta de águas pluviais. Já os projetos de Sistemas Prediais Hidráulicos Sanitários mostram onde estão localizados os coletores de água, tanto verticais quanto horizontais, que se conectam às galerias de águas pluviais. Logo, é possível analisar qual a capacidade dos coletores, onde poderão ser colocados novos coletores, ou ainda, se é possível que se reorganize os já existentes. A edificação é do tipo institucional educacional pública. Inicialmente, o edifício foi projetado para servir à Faculdade de medicina da Universidade Federal de Goiás em Jataí, entretanto o mesmo poderá

ser construído em outras cidades. Desta forma, considerou-se que o mesmo seria construído nas cinco cidades estudadas. Foi considerada uma área total do lote de 4000m² e adotado o valor de 0,80 para o coeficiente de escoamento.

A edificação possui quatro pavimentos, sendo que o térreo possui 1335m², o primeiro pavimento, 1309m² e o segundo e terceiro pavimentos 1296,40m² cada um, além de 100,60m² do pavimento técnico. A área construída total é de 5337,40m² e área de cobertura de 1488,02m². O edifício conta com salas de aula, laboratórios, sala de professores, centro acadêmico, mini auditórios, consultórios, lanchonete e copiadora.

3.2.2. Escolha das cidades analisadas

O Brasil possui uma divisão do território conforme seus regimes pluviométricos. A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) faz o levantamento das médias anuais de precipitação para todo o país, sendo que o Brasil possui 30 isoietas, que vão de 300mm a 3000mm. As isoietas são linhas de mesma altura pluviométrica e são traçadas a partir da interpolação de dados de precipitação obtidos em vários pontos de coleta espalhados por todo o país (CECÍLIO; REIS, 2006).

Dessa forma, foi escolhida uma cidade por isoieta, mas isso não indica que todas as isoietas do Brasil foram contempladas, implica dizer que foram escolhidas cidades que apresentam diferentes regimes pluviométricos, ou seja, não foram analisadas duas cidades de uma mesma isoieta. Assim, foi possível analisar a influência da precipitação na viabilidade do sistema.

A escolha das cidades dentro das isoietas ocorreu de acordo com as seguintes condições:

3.2.2.1. Disponibilidade de dados pluviométricos

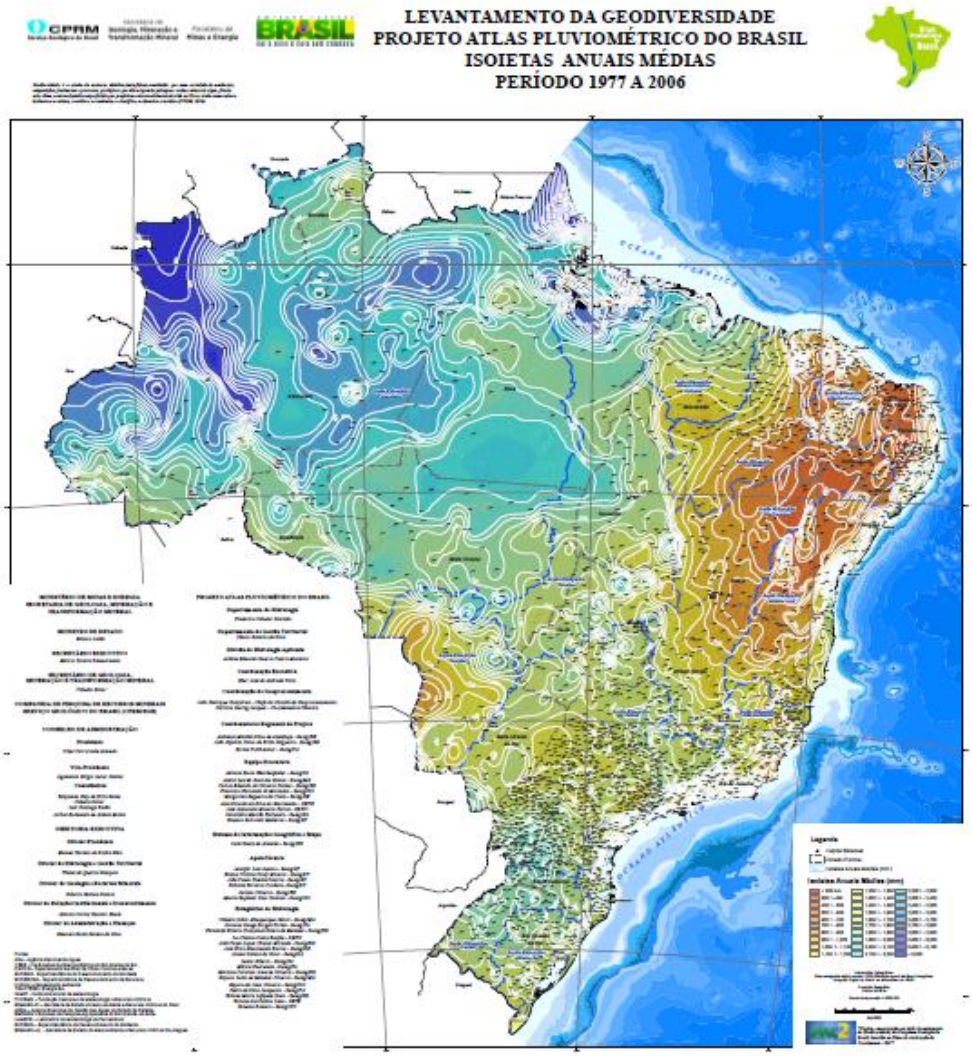
Para o dimensionamento de um SPAAP, é necessário que se saiba qual a oferta de água de cada localidade, isto é, a quantidade de água que o meio ambiente é capaz de fornecer àquele sistema. Para isso, era importante que as cidades escolhidas possuíssem dados de precipitação diária em séries de pelo menos 15 anos, para que houvessem informações suficientes sobre a oferta de água. A partir da série de dados, foi possível calcular a média e máxima de chuvas, bem como o período de estiagem; e dessa forma dimensionar o volume do reservatório corretamente; pois, geralmente, regiões com maiores períodos de estiagem, necessitam de uma maior quantidade de água armazenada (CAMPOS, 2012).

3.2.2.2. Disponibilidade de dados dos preços de construção no SINAPI

O SINAPI é o Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, que é gerido pela Caixa Econômica Federal (CEF) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo que o primeiro é responsável pela base técnica e o segundo pela pesquisa de preços, tratamento das informações e produção de índices (DECRETO Nº 7.983, 2013). Era de extrema relevância que as cidades escolhidas possuíssem a tabela SINAPI, pois foi por meio desta que foram retirados os preços dos materiais e mão de obra para construir o reservatório.

A Figura 3.2 apresenta o mapa das isoietas no Brasil, com médias anuais do período de 1977 a 2006.

Figura 3.2 - Atlas Pluviométrico do Brasil



Fonte: Serviço Geológico do Brasil (2006)

As cidades foram escolhidas com base na disponibilidade de dados de precipitação diárias, com registros históricos de15 anos e dos preços de materiais e mão de obra segundo a tabela SINAPI. Assim, foi decidido que seriam escolhidas cidades entre as capitais do país, o que facilitaria o acesso a dados da tabela SINAPI. Quanto à precipitação, foram escolhidas cidades em isoietas diferentes, assim foram escolhidas: Natal, Brasília, Curitiba, Belo Horizonte e Palmas, sendo que as isoietas nas quais elas se encontram são mostradas no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Isoietas Anuais Médias das cidades escolhidas

Cidades	Isoietas Anuais Médias (mm)
Natal	1200,1 a 1300
Brasília	1300,1 a 1400
Curitiba	1400,1 a 1500
Belo Horizonte	1500,1 a 1600
Palmas	1800,1 a 1900

Fonte: CPRM (2006)

3.2.3. Dimensionamento do Reservatório

O método escolhido para o dimensionamento do reservatório, foi o desenvolvido por Campos (2012). Neste método, o volume determinado vem da otimização da função VPL, através da técnica de otimização PSO (particle swarm optimization - Otimização por enxames de partículas). Sendo assim, o volume encontrado será o que trará o maior VPL. Para a utilização desta técnica, algumas informações são necessárias e a determinação das mesmas são essenciais para o sucesso do trabalho. Para dar início às simulações foi considerada uma profundidade máxima do reservatório de 2 m e que o material para construção do mesmo é o concreto armado, o que significa uma vida útil de 20 anos, ou seja, o VPL será calculado para este tempo de vida do reservatório.

3.2.3.1. Determinação da Demanda

A demanda de água de um SPAAP corresponde à quantidade de água que é retirada do sistema destinada ao consumo na edificação, em atividades que não exigem o uso de água potável. A quantidade de água necessária e os locais de utilização são dados que serão retirados da Tabela 2.1 apresentada no capítulo de revisão bibliográfica. Para esta tipologia estudada, a água pluvial será utilizada na descarga de bacias sanitárias, irrigação de jardins e lavagem de piso.

Campos (2012) realizou um levantamento para estimar a demanda em uma edificação representativa do tipo institucional educacional pública, ou seja, uma caracterização que pode ser adotada em outros contextos, levando em conta o uso de água em bacias sanitárias, mictórios, lavatórios, na irrigação dos jardins e lavagem de pisos. A Tabela 3.1 é uma adaptação da tabela encontrada no trabalho de Campos (2012):

Tabela 3.1 - Demanda de água pluvial em uma edificação de ensino pública

Demanda	
Bacias sanitárias	0,9 descarga/aluno/dia, 25% com volume total (6,8 L/descarga) e 75% com volume parcial (3,4 L/descarga). Número médio para dias da semana e aos sábados
Lavagem	0,5 L/m², com pano e balde nos dias úteis e 1,0 L/m², com balde e rodo nos sábados
Irrigação	3 vezes por semana (segundas, quartas e sextas) com vazão de 2,4 L/m², em toda a área de jardim

Fonte: Campos (2012)

A lavagem de piso ocorre ao longo do ano, independente das férias escolares; o uso de bacias sanitárias foi considerado conforme o período letivo de atividades, ou seja, nos meses de março a junho, na primeira quinzena de julho, de agosto a novembro e nos primeiros vinte dias no mês de dezembro.

Foi previsto ainda que nos meses em que a precipitação é maior que 150mm não haverá irrigação, sendo que nos demais meses ela será realizada três vezes por semana, isto indica que a demanda para cada cidade não é a mesma, pois o período seco de cada localidade está sendo considerado. A área de jardim interno de 18m² localizado no térreo do edifício é irrigada durante todo o ano independente do período letivo ou altura de precipitação. Considerou-se também que não há consumo de água aos domingos.

3.2.3.2. Determinação da Oferta

A oferta de água está diretamente relacionada à escolha das cidades. Isso ocorre porque, cada cidade possui uma oferta de água em função de seu regime pluviométrico, e este será determinado a partir da obtenção da série de dados citada no item 3.2.2. Neste trabalho, os dados de precipitação dos últimos 15 anos foram obtidos na base de dados de INMET.

3.2.3.3. Determinação da função custo do reservatório

A função custo do reservatório é uma relação entre o volume do reservatório e o custo de execução do mesmo. Ela pode ser elaborada a partir da realização de quantitativos, isto é, levantamentos dos materiais e mão de obra necessários para a construção do reservatório, de suas quantidades e dos preços. Cada cidade possui custos diferentes para estes itens, porém a composição de serviços e materiais por unidade será a mesma; assim há uma função para cada cidade escolhida. O Quadro 3.1 mostra o levantamento de serviços necessários para a construção do reservatório.

Quadro 3.1 – Listagem dos serviços e materiais para construção do reservatório

LOCAÇÃO CONVENCIONAL DA OBRA
ESCAVAÇÃO MANUAL EM SOLO ATÉ 2M DE PROFUNDIDADE
ESCAVAÇÃO MANUAL EM SOLO DE 2M ATÉ 4M DE PROFUNDIDADE
REGULARIZAÇÃO E COMPACTAÇÃO MANUAL DE TERRENO COM SOQUETE
REATERRO INTERNO (EDIFICAÇÕES) COMPACTADO MANUALMENTE
LASTRO DE BITRA
CONCRETO USINADO BOMBEADO FCK=15 MPA (INCLUI LANÇAMENTO E ADENSAMENTO)
ARMAÇÃO AÇO CA 50 PARA 1M³ DE CONCRETO
FORMA TÁBUA PARA CONCRETO, 05 UTILIZAÇÕES
IMPERMEABILIZACAO DE SUPERFICIE COM ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA TRAÇO 1:3 E=2,5CM

Fonte: o autor

Após o levantamento dos dados é possível gerar um gráfico, no qual o valor de execução do reservatório varia de acordo com o volume do mesmo. Após isso, é acrescentada uma linha de tendência polinomial de segundo grau ao gráfico, e gerada uma função que somente é considerada válida se o valor de R^2 estiver entre 0,90 e 1,00.

3.2.3.4. Determinação dos custos de operação e manutenção

O valor dos custos de operação e manutenção variam de acordo com a frequência em que são considerados, e podem ser mensais, bimestrais, semestrais ou anuais. Alguns custos de operação que podem ser considerados são: o consumo de energia pela bomba e a realização de ensaios para verificação da qualidade da água, conforme delineados na ABNT NBR 15527 (ABNT, 2007). Entre os possíveis custos de manutenção estão os produtos de desinfecção, limpeza do filtro e manutenção geral do reservatório, calhas e bomba.

No caso dos testes, a periodicidade está determinada na norma, já o consumo de energia é medido mensalmente pela companhia de energia local. Segundo Campos (2012), a periodicidade dos produtos de desinfecção deve ser mensal, a de limpeza do filtro, bimestral e a de manutenção geral, anual. Os custos também foram levantados de acordo com a cidade.

Para obtenção dos custos com a limpeza do filtro e manutenção geral do reservatório, foi retirado da tabela SINAPI de agosto de 2016 o preço da mão de obra de um servente com encargos para cada cidade. No caso da limpeza do filtro foi considerada a mão de obra de meia diária de um servente, já no caso da manutenção geral, uma diária.

Para obtenção dos custos com o consumo de energia proveniente da utilização da bomba, foi utilizada a tarifa de energia de cada concessionária, ou seja, o preço por kWh. Tendo todas as especificações da bomba foi possível calcular seu gasto mensal com energia elétrica.

Para a determinação do valor a ser pago pelo consumo mensal de energia da bomba, a fórmula utilizada é a mostrada na Equação 4:

$$CM = P.t.N.V \tag{3.1}$$

Em que:

CM – é o consumo mensal de energia pela bomba, em R$/mês;

P – potência da bomba escolhida, em kWh;

t – tempo de funcionamento da bomba em h/dia;

N – número de dias em que a bomba funciona no mês, em dias;

V – valor do kWh praticado pela concessionária de energia elétrica, em R$/kWh.

Sendo que a bomba escolhida para esta determinação é uma bomba submersa vibratória para reservatório ou cisterna, com potência de 450 kW e elevação máxima de 50 metros, seu tempo de funcionamento é de 6 horas por dia, e o número médio de dias em funcionamento é de 25 dias por mês.

3.2.3.5. Determinação da estrutura tarifária e histórico de reajustes

Por meio da estrutura tarifária é possível determinar o valor da conta de água e analisar várias situações diferentes. A estrutura tarifária, com os valores das tarifas atuais praticadas, foi obtida na concessionária de água de cada cidade escolhida, assim como o histórico de reajustes das tarifas, que não são uniformes no país e variam por cidade ou estado. As tarifas atuais são inseridas no programa computacional com seus valores, enquanto o histórico de reajustes a partir do ano de 2001 é inserido em arquivos no formato .csv.

3.2.3.6. Determinação da taxa mínima de atratividade

A taxa mínima de atratividade é um valor utilizado para comparação do retorno do investimento. Caso este retorno seja maior que a taxa, o projeto é considerado viável. Neste trabalho, foi adotado 0,83% ao mês para a taxa de atratividade, os mesmos valores utilizados por Campos (2012).

3.3. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Para se fazer a análise econômica para implantação dos reservatórios de SPAAP foram feitas simulações considerando quatro cenários diferentes. O primeiro deles consistiu em se utilizar os dados reais de cada cidade, ou seja, para cada cidade foram inseridos seus dados de tarifa de água e reajustes, precipitação e custos de manutenção e operação, para que dessa forma fosse possível analisar qual a viabilidade econômica real de cada cidade para a construção de reservatórios para SPAAP (CENÁRIO A).

No segundo cenário, então, foi estudada a influência da precipitação no VPL. Para isto, foi necessário congelar os dados de tarifas, reajustes e custos de manutenção e operação, ou seja, para a simulação de todas as cidades estes dados foram os mesmos da cidade de Brasília, sendo que os dados da terceira variável, a precipitação, foram inseridos os de cada cidade específica que estava sendo analisada (CENÁRIO B).

No terceiro cenário, foi estudada a influência dos preços das tarifas de água e seus reajustes no VPL. Assim, os dados de precipitação e custos de manutenção e operação foram mantidos os mesmos de Brasília para todas as cidades, e os dados de tarifas e reajustes foram variando para cada cidade analisada (CENÁRIO C).

No quarto cenário, foi estudada a influência dos custos de manutenção e operação no VPL. Dessa forma, foram mantidos os mesmos dados de tarifas de água, reajustes e precipitação de Brasília para todas as cidades e variados os custos de manutenção e operação para análise de cada cidade (CENÁRIO D).

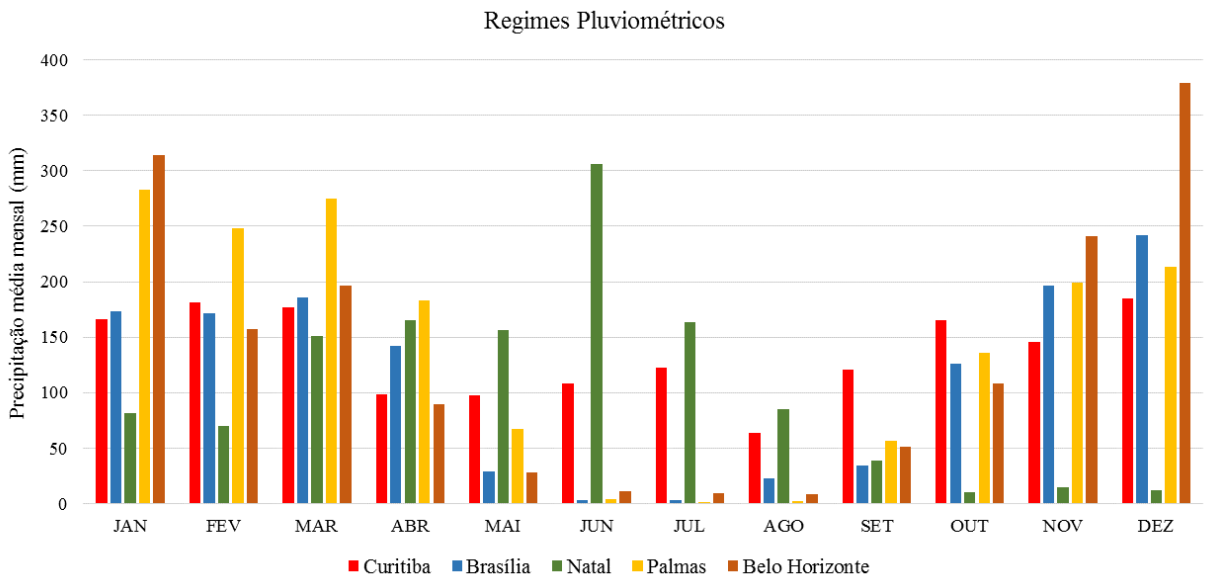
CAPÍTULO 4
RESULTADOS

4.1. DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

4.1.1. Oferta de água pluvial

Os regimes pluviométricos foram obtidos por meio de séries históricas de 15 anos, de 2001 a 2015 registradas nas estações meteorológicas do INMET em cada cidade. Os dados obtidos eram diários e por meio deles foi possível calcular as precipitações médias mensais e verificar os períodos de menor altura pluviométrica. A Figura 4.1 mostra a precipitação média mensal para cada cidade.

Figura 4.1 – Regime Pluviométrico das cinco cidades



Fonte: elaborado a partir de dados do INMET

A cidade de Curitiba é a que possui o regime pluviométrico mais uniforme, ou seja, as chuvas são muito bem distribuídas aso longo do ano. Outra peculiaridade de Curitiba, é que suas médias mensais não ultrapassam os 200 mm e as mínimas não são menores do que 50 mm, o que indica que o local não sofre de extensos períodos de seca. A precipitação média anual é de 1630,35 mm.

As cidades de Belo Horizonte e Brasília possuem o mesmo período do ano de seca, com precipitações abaixo de 50 mm, que vai de maio a agosto, sendo que em setembro a precipitação média de Belo Horizonte é somente um pouco superior aos 50 mm, e a de Brasília ainda é inferior à 50 mm.

Por meio destes gráficos de regime pluviométrico também é possível retirar a média anual de chuvas em cada cidade. A média anual para a cidade de Belo Horizonte é de 1594,07 mm, enquanto para a cidade de Brasília é de 1329,22 mm, o que motiva estas cidades a estarem em isoietas diferentes. Assim, as máximas precipitações de Brasília não ultrapassam os 250 mm, enquanto as de Belo Horizonte chegam a quase 400mm em dezembro.

Em Palmas, o período com o maior volume de chuvas é de janeiro a março, quando as máximas vão de 250 mm a 300 mm, já o período de seca, com precipitação menor que 50 mm vai de junho a agosto, sendo que a média total anual é de 1668,83 mm.

Natal possui um regime diferente, em que a média anual é de 1254,37 mm, a menor média anual dentre as cidades estudadas. A máxima precipitação acontece no mês de junho, com média de aproximadamente 300 mm, sendo que as precipitações menores que 50 mm podem ser observadas entre os meses de setembro e dezembro e em todo o ano, exceto no mês de junho, as precipitações não ultrapassam os 170 mm.

4.1.2. Demanda de água pluvial

Para determinação da demanda foram consideradas as áreas de lavagem de piso e de irrigação, bem como a quantidade de usuários em cada época do ano, além dos parâmetros apresentados na Tabela 3.1. Para os dias de recesso e finais de semana, foi considerado que apenas 20% dos usuários frequentes utilizam o edifício. A área de lavagem é de 5281,71 m², área de irrigação de 153,41 m² e de irrigação interna de 18 m². O número de usuários em período letivo é de 763 e nos períodos de recesso e finais de semana é de 153, sendo que estas quantidades seguem previsões estabelecidas nos projetos da edificação. A Tabela 4.1 mostra a demanda para cada uma das cidades.

Tabela 4.1 – Demanda de água pluvial

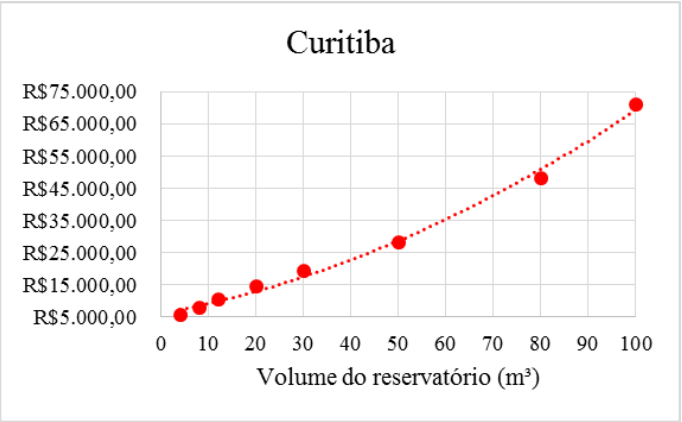
	Mês	Demanda Diária Estimada (m³)						
		Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab
Palmas	Jan/Fev	0,00	3,62	3,58	3,62	3,58	3,62	6,22
	Mar/Abr	0,00	7,35	7,31	7,35	7,31	7,35	6,22
	Mai/Jun/Jul (1 a 15)	0,00	7,72	7,31	7,72	7,31	7,72	6,22
	Jul (16 a 31)	0,00	3,99	3,58	3,99	3,58	3,99	6,22
	Ago/Set/Out	0,00	7,72	7,31	7,72	7,31	7,72	6,22
	Nov/Dez (1 a 20)	0,00	7,35	7,31	7,35	7,31	7,35	6,22
	Dez (21 a 31)	0,00	3,62	3,58	3,62	3,58	3,62	6,22
Belo Horizonte	Jan/Fev	0,00	3,62	3,58	3,62	3,58	3,62	6,22
	Mar	0,00	7,35	7,31	7,35	7,31	7,35	6,22
	Abr/Mai/Jun/Jul (1 a 15)	0,00	7,72	7,31	7,72	7,31	7,72	6,22
	Jul (16 a 31)	0,00	3,99	3,58	3,99	3,58	3,99	6,22
	Ago/Set/Out	0,00	7,72	7,31	7,72	7,31	7,72	6,22
	Nov/Dez (1 a 20)	0,00	7,35	7,31	7,35	7,31	7,35	6,22
	Dez (21 a 31)	0,00	3,62	3,58	3,62	3,58	3,62	6,22
Brasília	Jan/Fev	0,00	3,62	3,58	3,62	3,58	3,62	6,22
	Mar	0,00	7,35	7,31	7,35	7,31	7,35	6,22
	Abr/Mai/Jun/Jul (1 a 15)	0,00	7,72	7,31	7,72	7,31	7,72	6,22
	Jul (16 a 31)	0,00	3,99	3,58	3,99	3,58	3,99	6,22
	Ago/Set/Out	0,00	7,72	7,31	7,72	7,31	7,72	6,22
	Nov/Dez (1 a 20)	0,00	7,35	7,31	7,35	7,31	7,35	6,22
	Dez (21 a 31)	0,00	3,62	3,58	3,62	3,58	3,62	6,22
Natal	Jan/Fev	0,00	3,99	3,58	3,99	3,58	3,99	6,22
	Mar/Abr/Mai/Jun/Jul (1 a 15)	0,00	7,35	7,31	7,35	7,31	7,35	6,22
	Jul (16 a 31)	0,00	3,62	3,58	3,62	3,58	3,62	6,22
	Ago/Set/Out/Nov/Dez (1 a 20)	0,00	7,72	7,31	7,72	7,31	7,72	6,22
	Dez (21 a 31)	0,00	3,99	3,58	3,99	3,58	3,99	6,22
Curitiba	Jan/Fev	0,00	3,62	3,58	3,62	3,58	3,62	6,22
	Mar	0,00	7,35	7,31	7,35	7,31	7,35	6,22
	Abr/Mai/Jun/Jul (1 a 15)	0,00	7,72	7,31	7,72	7,31	7,72	6,22
	Jul (16 a 31)	0,00	3,99	3,58	3,99	3,58	3,99	6,22
	Ago/Set	0,00	7,72	7,31	7,72	7,31	7,72	6,22
	Out/Nov/Dez (1 a 20)	0,00	7,35	7,31	7,35	7,31	7,35	6,22
	Dez (21 a 31)	0,00	3,62	3,58	3,62	3,58	3,62	6,22

Fonte: o autor

4.1.3. Função custo do reservatório

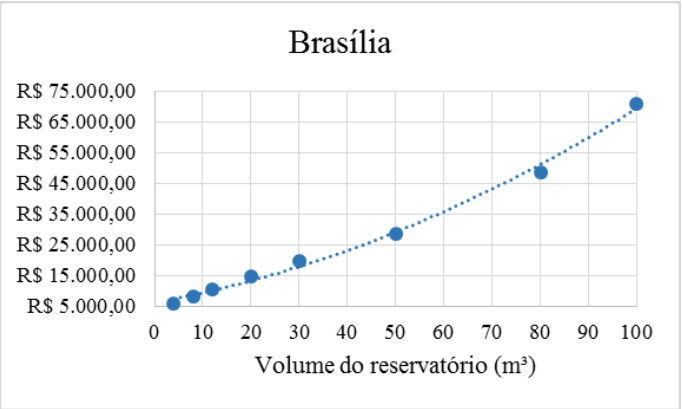
Após a determinação de todos os elementos que envolvem a construção do reservatório, os gráficos do preço dos materiais e serviços pelo volume do reservatório foram construídos e adicionados a eles linhas de tendência que mais se ajustavam aos valores calculados, que neste caso foram do tipo polinomiais do segundo grau. É importante ressaltar que para todas as cidades foi obtido um R^2 entre 0,90 e 1,00. As Figuras 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 mostram os gráficos da função custo do reservatório para cada cidade, com as linhas de tendência inseridas a eles. Abaixo de cada figura se encontram as equações 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5, referentes aos gráficos expostos. Sendo que o R^2 para as cidades de Curitiba, Brasília, Natal, Palmas e Belo Horizonte é de 0,9942; 0,9945; 0,9946; 0,9946 e 0,9946, respectivamente.

Figura 4.2 – Gráfico do preço pelo volume do reservatório para Curitiba



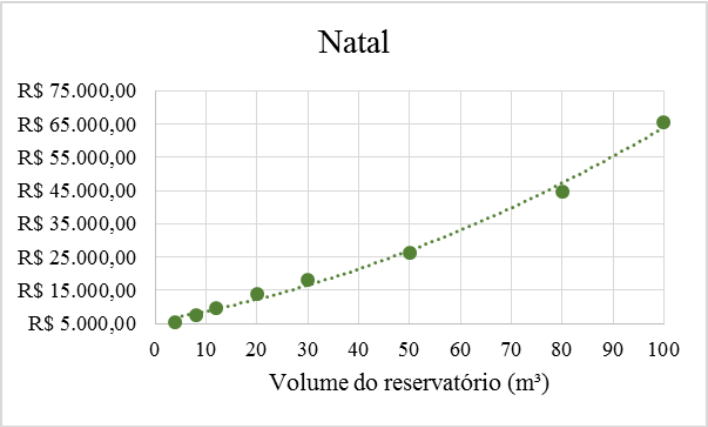
$$C_{reservatório-Curitiba} = 3{,}564875385.10^{-6}.V^2 + 0{,}2746542764.V + 6117{,}598493 \quad (4.1)$$

Figura 4.3 – Gráfico do preço pelo volume do reservatório para Brasília



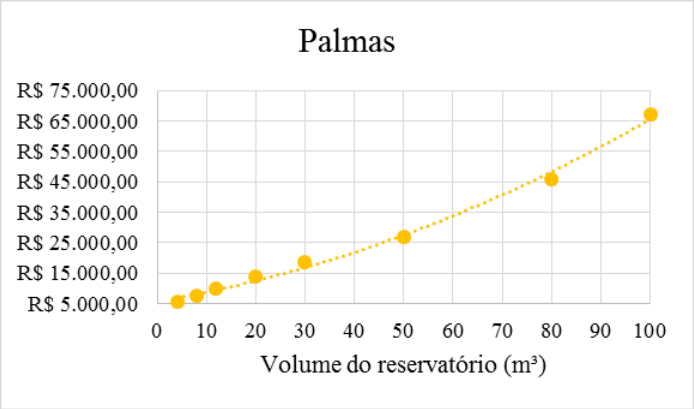
$$C_{reservatório-Brasília} = 3{,}453529347.10^{-6}.V^2 + 0{,}2862143067.V + 6161{,}740924 \quad (4.2)$$

Figura 4.4 – Gráfico do preço pelo volume do reservatório para Natal



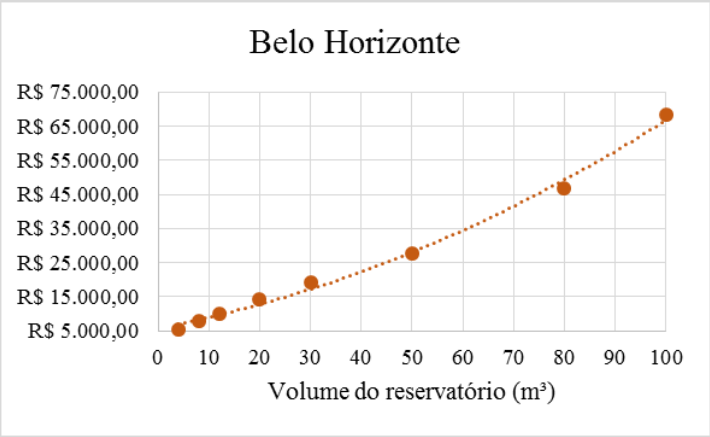
$$C_{reservatório-Natal} = 3{,}146250305.10^{-6}.V^2 + 0{,}2679008989.V + 5699{,}002545 \quad (4.3)$$

Figura 4.5 – Gráfico do preço pelo volume do reservatório para Palmas



$$C_{reservatório-Palmas} = 3{,}238000008.10^{-6}.V^2 + 0{,}2725700271.V + 5823{,}525094 \quad (4.4)$$

Figura 4.6 – Gráfico do preço pelo volume do reservatório para Belo Horizonte



$$C_{reservatório-Belo\ Horizonte} = 3{,}309389537.10^{-6}.V^2 + 0{,}2772344392.V + 5934{,}586154 \quad (4.5)$$

4.1.4. Custos de manutenção e operação

Para obtenção dos custos dos ensaios foram feitas cotações em laboratórios de análise de água de cada cidade. Em Palmas não foram encontrados laboratórios para realização dos ensaios; assim, foi decido que as amostras seriam enviadas para Goiânia e incluída uma taxa referente ao envio das amostras nos custos de Palmas. Em Brasília, foi dado o valor do pacote para a realização dos ensaios mensais, ou seja, não foram fornecidos os valores de cada ensaio, o que não afeta a análise, já que estes valores são somados para inserção no programa. É preciso notar que os custos anuais não foram determinados em função do volume do reservatório, já que este valor é da diária ou meia diária de um servente, independente do serviço a ser realizado.

Tabela 4.2 - Custos de Manutenção e Operação para as cinco cidades

Descrição	Periodicidade	Critérios		Curitiba	Brasília	Natal	Palmas	Belo Horizonte
Consumo de energia	Mensal	Conjunto motor-bomba com 6h de funcionamento por dia	Valor Unitário	R$ 0,64543/kWh	R$ 0,40994/kWh	R$ 0,52540/kWh	R$ 0,35768/kWh	0,57622/kWh
			Valor Total	R$ 43,57	R$ 26,56	R$ 35,46	R$ 24,14	R$ 38,89
Consumo de produto de desinfecção	Mensal	4g para 1m³ de água - Balde de 1L de cloro	Valor/m³	R$ 0,1118/m³	R$ 0,1996/m³	R$ 0,1996/m³	R$ 0,1180/m³	R$ 0,2076/m³
Realização de ensaios previstos pela ABNT (2007)	Mensal	Cloro	Valores Totais	R$ 15,00	R$ 110,00	R$ 10,00	R$ 10,00	R$ 20,00
		PH		R$ 10,00		R$ 5,00	R$ 15,00	R$ 20,00
		Turbidez		R$ 10,00		R$ 10,00	R$ 15,00	R$ 25,00
		Cor		R$ 15,00		R$ 10,00	R$ 10,00	R$ 25,00
		Sedex		R$ -		R$ -	R$ 43,80	R$ -
Limpeza do filtro	Bimestral	Mão de obra (meia diária de um servente)	Valor Unitário	R$ 14,54/h	R$ 13,25/h	R$ 10,57/h	R$ 11,50/h	R$ 11,50/h
			Valor Total	R$ 58,16	R$ 53,00	R$ 42,28	R$ 46,00	R$ 46,00
Realização de ensaios previstos pela ABNT	Semestral	Coliformes totais e termotolerantes	Valor Total	R$ 60,00	R$ 50,00	R$ 60,00	R$ 50,00	R$ 110,00
Manutenção em geral (limpeza do reservatório, calhas e verificação da bomba)	Anual	Mão de obra (diária de um servente)	Valor Unitário	R$ 14,54/h	R$ 13,25/h	R$ 10,57/h	R$ 11,50/h	R$ 11,50/h
			Valor Total	R$ 116,32	R$ 106,00	R$ 84,56	R$ 92,00	R$ 92,00

Fonte: elaborada a partir de dados da Tabela SINAPI e cotações de preços

4.1.5. Estrutura tarifária e histórico de reajustes

Levantou-se a estrutura tarifária das cinco concessionárias das cidades analisadas. As concessionárias de água de cada cidade possuem diferentes faixas de consumo com diferentes preços para edificações públicas, devido a isso foi criada uma tabela para explicitar essas diferenças entre as cidades e suas faixas de consumo.

Tabela 4.3 – Estrutura tarifárias das cidades

	Faixa	Valor (R$)
Palmas	0 a 15 m³	6,23
	> 15 m³	9,24
Belo Horizonte	0 a 5 m³	2,07
	5 a 10 m³	2,637
	10 a 20 m³	7,536
	20 a 40 m³	8,289
	40 a 200 m³	9,419
	> 200 m³	9,984
Brasília	0 a 10 m³	7,26
	> 10 m³	12,00
Natal	0 a 10 m³	3,096
	11 a 15 m³	3,45
	16 a 20 m³	4,08
	21 a 30 m³	4,6
	31 a 50 m³	5,29
	51 a 100 m³	6,85
	> 100 m³	7,79
Curitiba	0 a 10 m³	6,066
	> 10 m³	6,84

Fonte: elaborada a partir de dados das concessionárias de água

É possível perceber na tabela que para cada cidade existem diferentes faixas de consumo, ou seja, não há uma regra quanto a isso e cada concessionária pratica as faixas e os preços que que se encaixam à realidade de cada localidade.

As cidades de Natal e Belo Horizonte são as que possuem a maior quantidade de faixas de consumo praticadas, mas não possuem a mesma proporcionalidade de faixas ou de preços. Assim, as tarifas de Belo Horizonte são mais caras que as da cidade de Natal, tendo em vista a última faixa de Natal é a que comtempla consumos maiores que 100 m³ e custam R$ 7,79/m³,

enquanto em Belo Horizonte, a última faixa é de 200 m³, com um valor de R$ 9,98/m³, o que representa um valor 21,94% maior para consumos acima de 200 m³.

Belo Horizonte é a cidade que começa com a menor tarifa, com valor de R$ 2,07 para consumos menores que 5 m³, sendo que Curitiba é a cidade que possui a menor tarifa, quando se considera consumos muito altos, de 200 m³ ou mais, com um valor de R$ 6,84.

Brasília, em contrapartida, é a cidade que possui as maiores tarifas quando comparada com às respectivas faixas de consumo de cada cidade. Para consumos em torno de 10m³, a tarifa de Brasília é superior à de Palmas, Belo Horizonte, Natal e Curitiba em 23,00%, 37,20%, 71,25% e 43,00%, respectivamente.

Quando a faixa de consumo analisada é a de 200 m³ ou mais, as tarifas de Brasília possuem valores maiores, mas a diferença percentual quando comparada com as outras cidades é menor ou igual aos valores comparados na faixa dos 10 m³, este valor superior à de Palmas, Belo Horizonte, Natal e Curitiba em 23,00%, 16,80%, 35,08% e 43,00%, respectivamente.

Pode-se observar também que apesar de terem as mesmas faixas de consumo, Curitiba e Brasília praticam tarifas bem distintas. A tarifa de Brasília para a segunda faixa de consumo, acima de 10 m³, é 43% superior que a de Curitiba, o que representa uma enorme diferença entre estas duas regiões do país.

A cidade de Palmas se diferencia de todas as cidades, tanto na escolha das faixas de consumo quanto no preço praticado. As faixas de Palmas envolvem consumos de 0 a 15 m³ e consumos maiores que 15 m³. Quando comparada a outras cidades, na faixa de 15 m³, a tarifa só é menor que a da cidade de Brasília.

Para que a tarifa de esgoto não interferisse nos resultados obtidos, ela foi considerada como sendo 100% da tarifa de água para todas as cidades.

Outra questão levantada foi o histórico de reajustes das tarifas de água. Para este trabalho, foram analisados reajustes de 2001 a 2016. Em quatro das cinco cidades estudadas, não foram encontrados dados oficiais sobre o reajuste de pelo menos um ano deste intervalo considerado; porém, foi ponderado que esta ausência de um ano em cada cidade não causaria interferência na análise final dos resultados obtidos. Os reajustes de 2001 a 2016 para cada cidade podem ser observados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Histórico de reajustes para as cinco cidades

	Curitba	**Brasília**	**Natal**	**Palmas**	**Belo Horizonte**
2016/2017	10,48%	7,98%	13,09%	17,15%	13,90%
2015/2016	12,50%	16,20%	10,28%	10,99%	15,04%
2014/2015	6,40%	7,39%	0,00%	13,90%	11,34%
2013/2014	6,90%	9,50%	11,22%	0,00%	6,18%
2012/2013	16,50%	11,20%	5,10%	7,00%	4,34%
2011/2012	16,00%	7,23%	5,70%	6,53%	7,02%
2010/2011	0,00%	4,31%	5,26%	0,00%	0,00%
2009/2010	0,00%	6,29%	14,12%	7,53%	9,05%
2008/2009	0,00%	5,78%	4,46%	9,80%	0,00%
2007/2008	0,00%	2,97%	3,14%	6,64%	18,75%
2006/2007	0,00%	14,87%	4,43%	12,00%	7,66%
2005/2006	0,00%	27,54%	0,00%	9,96%	24,15%
2004/2005	14,01%	20,00%	12,28%	5,22%	14,28%
2003/2004		16,56%	0,00%		31,01%
2002/2003	8,40%	16,58%	0,00%	9,11%	
2001/2002	19,30%	9,48%		25,00%	17,00%

Fonte: elaborada a partir de publicações oficiais dos reajustes aplicados

4.2. DETERMINAÇÃO DO VOLUME ÓTIMO

Com todos os dados de entrada já mencionados obtidos, realizou-se simulações no *RAIN Toolbox*. Foram feitas simulações para os quatro cenários citados no capítulo de metodologia.

4.2.1. Análise dos resultados para o CENÁRIO A

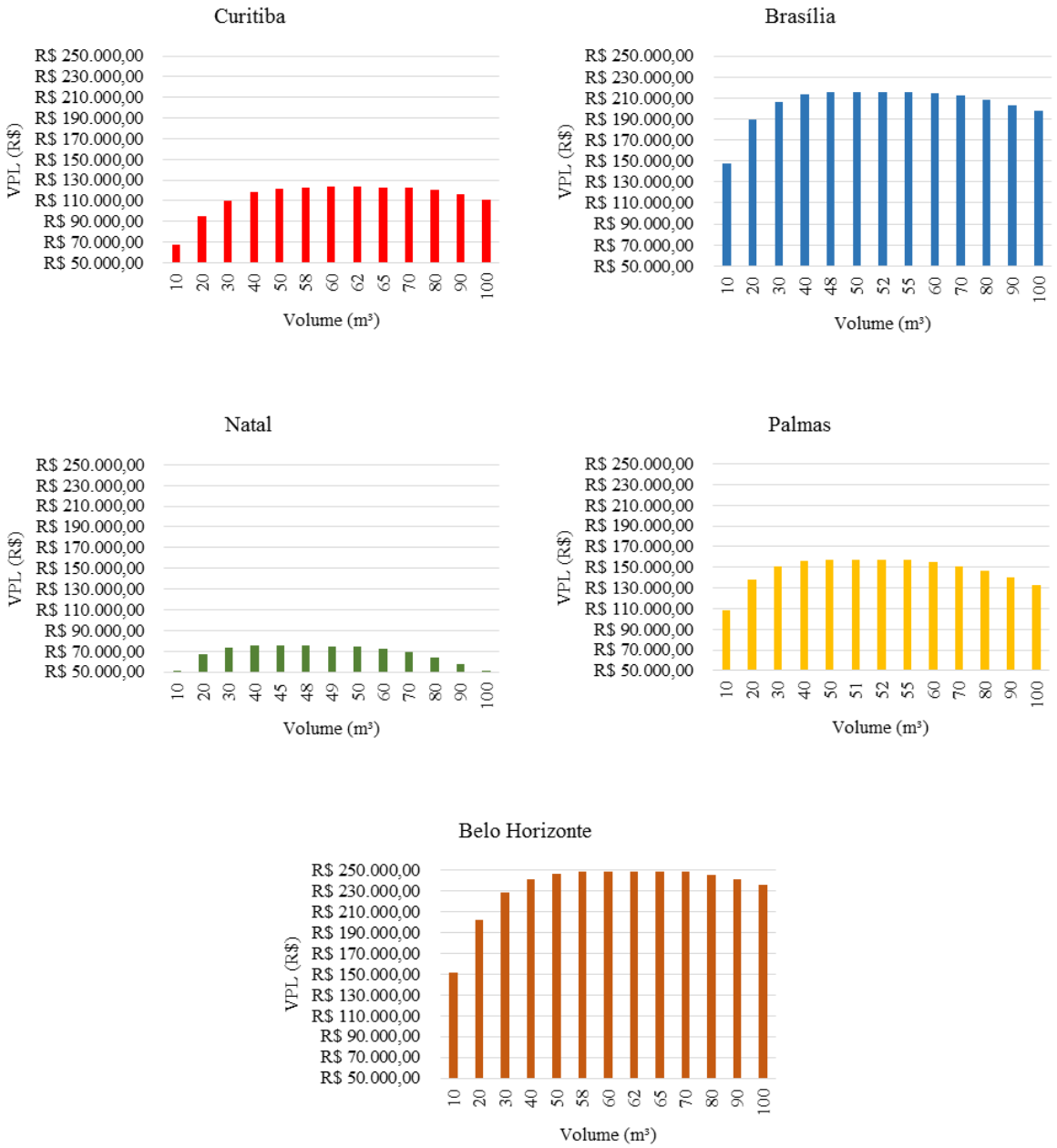
Os resultados ótimos obtidos para o CENÁRIO A, que se refere às condições reais de cada cidade, bem como seus respectivos VPL encontram-se na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Volumes e máximos VPL para o CENÁRIO A

Cidades	Volume (m³)	VPL (R$)
Curitiba	62	R$ 123.327,56
Brasília	50	R$ 215.538,13
Natal	45	R$ 75.253,74
Palmas	50	R$ 157.375,61
Belo Horizonte	62	R$ 248.914,12

Para corroborar com os resultados obtidos pelo programa, também foram feitas simulações do VPL para outros volumes, iniciando-se em 10 m³ e refeitas para outros volumes de 10 em 10 m³ até chegar a 100 m³. A Figura 4.7 mostra os resultados das simulações efetuadas para o CENÁRIO A

Figura 4.7 – Resultados das simulações para o CENÁRIO A



Verificou-se que o VPL foi positivo para todas as cidades, o que indica que o investimento é aceitável para todas elas. Quando se compara cada uma das cidades entre si, nota-se que a cidade de Belo Horizonte possui o maior VPL, com um volume ótimo de 62 m³. É possível perceber que mesmo tendo o mesmo volume ótimo da cidade de Belo Horizonte, Curitiba não possui nem o segundo maior VPL obtido entre as cidades estudadas, e é aproximadamente duas vezes menor que o VPL de Belo Horizonte. Isto indica que o volume do reservatório pode não ser fator determinante no valor do VPL, já que este é um dado de saída das simulações efetuadas

no *RAIN Toolbox*. O volume do reservatório será influenciado pelos preços de materiais e serviços praticados em cada cidade, além dos fatores de tarifa de água e regime pluviométrico.

É possível perceber também que as cidades de Brasília e Palmas também possuem o mesmo volume ótimo, mas o VPL de Palmas é 26,98% menor que o de Brasília. Já a cidade de Natal possui tanto o menor volume ótimo, de 45 m³, quanto o menor VPL associado, que é 65,08% menor que o de Belo Horizonte.

Com o maior VPL obtido, então, Belo Horizonte seria a cidade que possui a maior viabilidade econômica quando analisado o VPL isoladamente, com um VPL aproximadamente 3,3 vezes maior que o menor VPL obtido, que é da cidade de Natal. Isso significa que, analisando todos os fatores como os custos de manutenção e operação do reservatório, tarifa de água e o próprio regime pluviométrico de cada uma das cidades, a situação de Belo Horizonte, quando comparada com as outras, é mais adequada para implantação destes tipos de sistemas.

Além do VPL, porém, também é possível analisar o índice de lucratividade do investimento, já que nem sempre a situação que possui o maior VPL é necessariamente a mais interessante do ponto de vista econômico, na hora da implantação do sistema. Isso ocorre porque mesmo possuindo um alto VPL, este pode ser gerado devido a um alto investimento inicial, o que pode inviabilizar a construção do reservatório. A Tabela 4.6 mostra os valores de investimento inicial, os VPL e os índices de lucratividade para as cinco cidades.

Tabela 4.6 – Investimentos iniciais e índices de lucratividade para as cinco cidades

Cidades	Volume (m³)	VPL (R$)	Investimento Inicial	Índice de Lucratividade
Curitiba	62	R$ 123.327,56	R$ 36.849,54	3,347
Brasília	50	R$ 215.538,13	R$ 29.106,28	7,405
Natal	45	R$ 75.253,74	R$ 24.125,70	3,119
Palmas	50	R$ 157.375,61	R$ 27.547,03	5,713
Belo Horizonte	62	R$ 248.914,12	R$ 35.844,41	6,944

Pode-se perceber que os investimentos iniciais variam de forma considerável, tanto que a diferença entre o menor e o maior investimento é de R$ 12.723,84, o que representa 34,52% do maior valor para investimento inicial. A cidade de Natal, que possui o menor VPL, também é a que possui o menor investimento inicial, bem como o menor índice de lucratividade. Sendo assim, Natal seria a cidade que possui a menor viabilidade econômica para implantação do reservatório, quando analisados os fatores mencionados acima.

Este menor VPL pode ser explicado pela combinação de baixas tarifas de água com baixos custos de manutenção e operação, pois quando comparados e trazidos para o valor presente, a diferença entre valores economizados na conta de água e valores gastos com manutenção e operação do reservatório, bem como o valor inicial aplicado não tornaria o investimento atrativo para este tipo de sistema, já que esta economia é muito menor do que nas outras cidades.

A cidade de Brasília, ao contrário, é a que possui o maior índice de lucratividade quando comparada às outras cidades. Isso significa que em Brasília, a implantação do reservatório seria mais lucrativa quando se compara o investimento aos retornos advindos dele, sendo que seu índice de lucratividade é aproximadamente 2,4 vezes que o menor índice calculado, que é da cidade de Natal.

Quando se compara Brasília com a cidade de Curitiba, nota-se que Curitiba possui um alto valor inicial de investimento, porém não atinge um VPL que torne a construção do reservatório lucrativa, já que seu VPL é 42,78% menor que o que Brasília. Para todas as cidades, no entanto, este é um investimento que deve ser aprovado, já que o índice de lucratividade é maior que 1.

4.2.2. Análise dos resultados para o CENÁRIO B

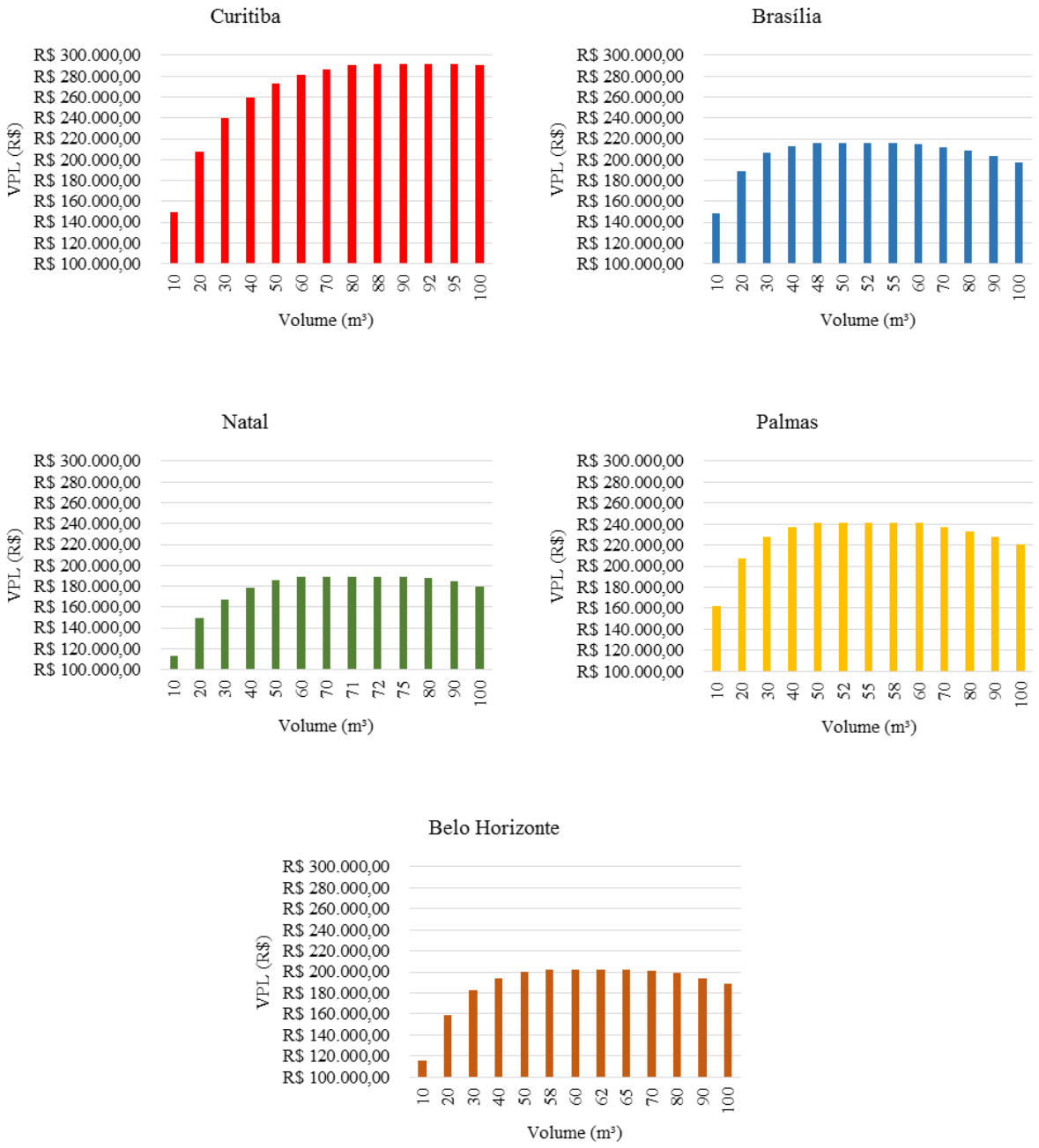
No CENÁRIO B, verificou-se a influência apenas dos regimes pluviométricos de cada cidade estudada. Sendo assim, todos os custos de manutenção e operação e de tarifas de água foram fixados conforme valores praticados em uma cidade de referência, utilizando o regime pluviométrico de cada cidade. Os valores do VPL encontram-se na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Volumes e máximos VPL para o CENÁRIO B

Cidades	Volume (m³)	VPL (R$)
Curitiba	90	R$ 291.709,35
Brasília	50	R$ 215.538,13
Natal	70	R$ 189.153,43
Palmas	55	R$ 241.581,73
Belo Horizonte	60	R$ 202.031,80

Neste segundo cenário, é possível perceber que novamente, assim como no primeiro cenário, todas as cidades possuem viabilidade econômica para implantação do reservatório, já que seus VPL são positivos, ou seja, são maiores do que zero, sendo que a cidade de Curitiba possui tanto o maior VPL, como também o maior volume ótimo, de 90 m³. As simulações para cada cidade estão na Figura 4.8.

Figura 4.8 – Resultados das simulações para o CENÁRIO B



Em comparação com as outras cidades, Curitiba possui VPL 26,11% maior que o de Brasília, 35,16% maior que o de Natal, 17,18% maior que o de Palmas e 30,74% maior que o de Belo Horizonte. Isso indica que, quando a precipitação é analisada isoladamente, o regime pluviométrico de Curitiba é o que apresenta as características mais favoráveis para a implantação de reservatórios de SPAAP.

Analisando as precipitações médias mensais de todas as cidades, percebe-se que Curitiba possui o regime pluviométrico mais uniforme ao longo do ano, apesar de as médias mensais não serem altas. Assim, é esperado que localidades com regimes de chuva melhor distribuídos no decorrer do ano sejam mais propícios à adoção de investimentos como este.

Isso também pode ser observado no trabalho de Campos e Pacheco (2016), no qual foram comparadas as cidades de Goiânia, Manaus e Recife quanto à influência da precipitação, sendo que Manaus apresentou o maior VPL e maior volume e era a cidade que possuía o regime pluviométrico mais homogêneo dentre as outras cidades analisadas.

Neste caso, verificou-se que nenhuma cidade obteve o mesmo volume ótimo, e todos os valores de VPL superam os R$ 180.000,00, diferentemente do cenário exposto anteriormente. O menor volume ótimo, de 50 m³, é de Brasília, sendo que este não representa o menor VPL obtido. A cidade de Natal é a cidade que possui o segundo maior volume ótimo quando comparada às outras cidades, porém é a que possui o menor VPL. Natal possui um volume de armazenamento ótimo 40% maior que o de Brasília, sendo que seu VPL é 12,24% menor que o de Brasília.

Estes resultados são explicados pela diferença de regimes pluviométricos entre as duas cidades, desde o fato de que a média anual de chuvas de Brasília, de 1329,22 mm, é maior que a de Natal, que é de 1254,37 mm, como pela diferença no período de secas das duas cidades. O período de estiagem de Natal vai de setembro a dezembro, já em Brasília este período vai de maio a agosto. O período chuvoso de Natal se resume basicamente ao mês de julho, quando são registradas as maiores alturas pluviométricas que ultrapassam os 300 mm, quase 24% do total anual. Já em Brasília, este período, que vai de outubro a abril, acumula médias próximas a 250 mm.

No cenário anterior, a cidade de Natal também obteve o menor VPL, o que foi explicado pelas menores tarifas, custos de manutenção e operação, bem como de preços de materiais e serviços. Neste cenário, no entanto, a tarifa de água e custos de manutenção e operação para todas as cidades são os mesmos; assim, pode-se afirmar, que para a cidade de Natal, o regime pluviométrico, isoladamente, também não colabora para tornar este tipo de investimento atrativo.

Quando se analisa a diferença percentual do VPL das cidades em relação ao menor VPL obtido, é possível que se analise qual é o grau de influência da precipitação na determinação do volume ótimo e do VPL correspondente. As diferenças em relação à Natal estão na tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Diferenças percentuais dos VPL

Cidades	Diferença percentual do VPL
Curitiba	54,22%
Brasília	13,95%
Natal	0,00%
Palmas	27,72%
Belo Horizonte	6,81%

Com base na Tabela 4.8, pode-se observar que a maior diferença ultrapassa os 50%, o que retrata a grande influência que a precipitação possui nos retornos deste investimento. Isso pode ser explicado pelo fato de que a cidade de Curitiba é a que possui o regime pluviométrico mais uniformemente distribuído, enquanto Natal possui quatro meses em que as médias mensais não ultrapassam os 40 mm.

Porém, Natal não é a cidade que possui as menores médias mensais nestes períodos de seca. Na cidade de Palmas, as médias nos meses de junho, julho e agosto, que correspondem ao período de estiagem, são menores que 4mm, sendo que o VPL da cidade de Palmas é superior ao de Natal em 25%. A explicação para esta grande diferença pode estar no período chuvoso de cada região, já que a cidade de Palmas possui médias mensais superiores a 250 mm neste período, enquanto as de Natal giram em torno de 150 mm, havendo apenas um mês em que ela supera os 300mm.

Pode-se dizer também que cidades que possuam tarifas de água e custos com manutenção e operação muito próximos, podem ter a atratividade de investimentos deste tipo determinada pelo regime pluviométrico dos locais analisados.

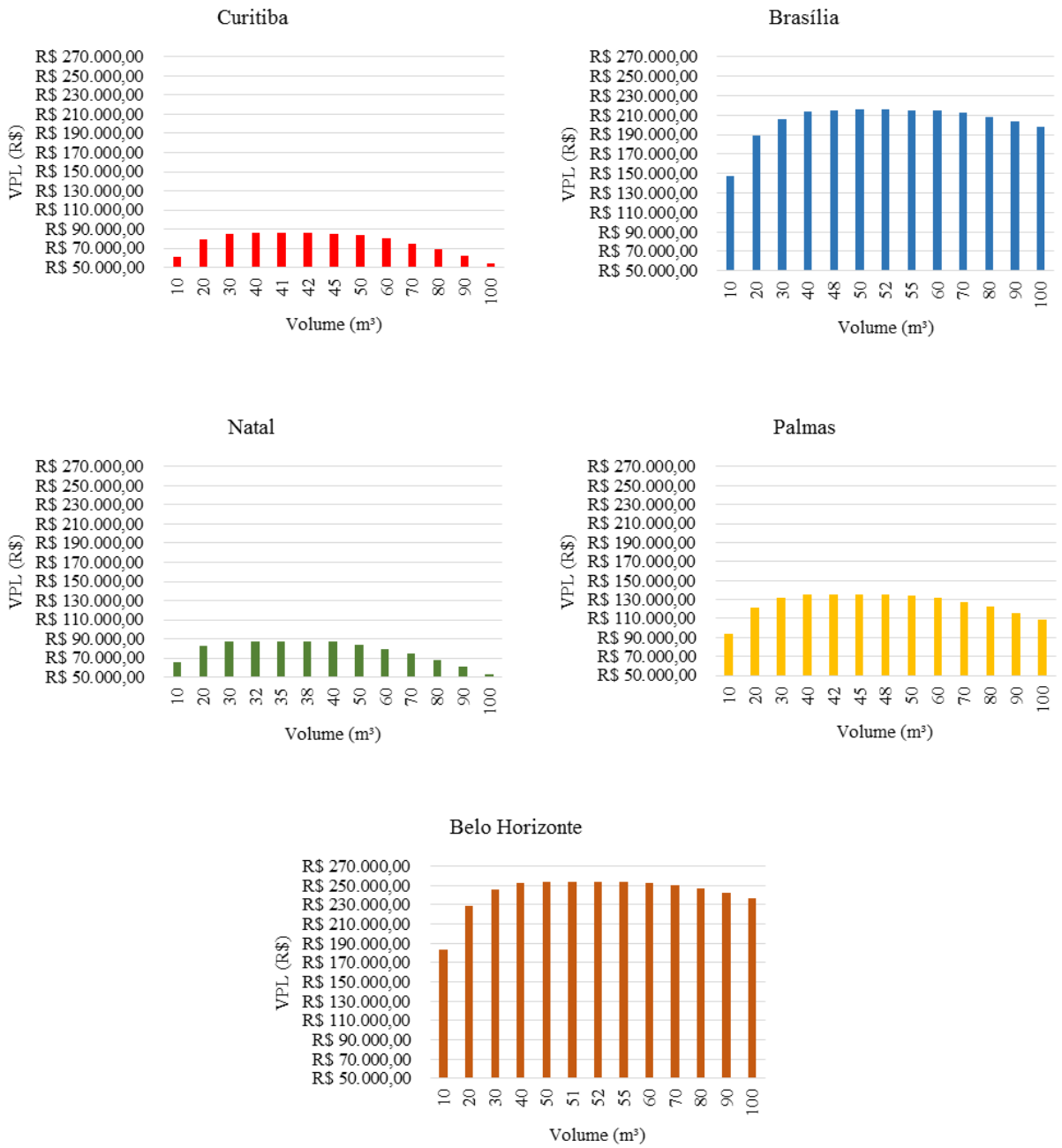
4.2.3. Análise dos resultados para o CENÁRIO C

No CENÁRIO C, verificou-se a influência das tarifas de água praticadas em cada cidade, bem como dos seus reajustes. Sendo assim, todos os valores de custos de manutenção e operação e de precipitação foram fixados conforme valores praticados em uma cidade de referência, utilizando as tarifas de água de cada cidade.

Tabela 4.9 – Volumes e máximos VPL para o CENÁRIO C

Cidades	Volume (m³)	VPL (R$)
Curitiba	40	R$ 85.829,98
Brasília	50	R$ 215.538,13
Natal	35	R$ 87.209,31
Palmas	45	R$ 135.027,68
Belo Horizonte	50	R$ 253.824,68

Figura 4.9 – Resultados das simulações para o CENÁRIO C



Na análise deste cenário, é possível perceber que todas as cidades possuem viabilidade, já que seus VPL são maiores que zero, mas que a cidade que possui o maior VPL é Belo Horizonte, com um volume associado de 50 m³. É possível observar que a cidade de Brasília também possui o volume ótimo de 50 m³, porém seu VPL é 85% do valor do VPL obtido para Belo Horizonte.

Comparando com as outras cidades, tem-se que o VPL de Belo Horizonte é 66,19% maior que o de Curitiba, 15,08% maior que o de Brasília, 65,64% maior que o de Natal e 46,80% maior que o de Palmas. Isso indica que, quando analisadas as tarifas de água e reajustes isoladamente, os preços praticados pela concessionária de água de Belo Horizonte, bem como suas políticas de reajustes, possuem muito mais capacidade de atração de investimentos deste tipo do que as outras cidades analisadas.

O menor VPL obtido foi para a cidade de Curitiba, que é quase três vezes menor que o de Belo Horizonte; no cenário anterior, no entanto, foi a cidade que o obteve o maior VPL. Isso indica que apesar de ter um regime pluviométrico totalmente propício à atração destes investimentos, as tarifas de água praticadas não têm influência positiva para atrair as aplicações.

Curitiba, porém, não possui o menor volume ótimo. Este foi encontrado nas simulações da cidade de Natal, o qual está associado ao segundo menor VPL obtido. Como mostrado anteriormente, Natal não possui grandes potenciais de atração de investimentos quando se estuda a influência da precipitação, o que pode ser estendido quando o estudo em questão são as tarifas. Como neste cenário, a precipitação e os custos de manutenção e operação são os mesmos para todas as cidades, isto significa que as baixas tarifas de água de Natal, isoladas, também não representam grandes chances de atração destes investimentos.

Era esperado que a cidade com as maiores tarifas de água obtivesse os maiores valores de VPL, no entanto, a cidade de Brasília possui apenas o segundo maior VPL. Belo Horizonte, que possui a segunda maior tarifa, foi a cidade que obteve o maior VPL. Isto poderia ser explicado pela política de reajustes praticada em Belo Horizonte.

Enquanto em Brasília, a média dos reajustes é de 11,49%, ao longo dos 15 anos analisados, em Belo Horizonte esta média é de 11,98%, quando considerado 2002, o ano em que não foi possível encontrar dados a respeito do reajuste aplicado. Assim, caso neste ano tenha havido um reajuste, a média de reajustes em Belo Horizonte seria ainda maior. Assim, apesar de a

diferença nas médias ser pequena, ela pode explicar a discrepância de pouco mais de R$ 38.000, 00 entres os VPL das duas cidades.

A diferença percentual dos VPL de todas as cidades em relação a que possui o menor VPL, neste caso a cidade de Curitiba, também é muito grande, como pode ser observado no Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Diferenças percentuais dos VPL

Cidades	Diferença percentual do VPL
Curitiba	0,00%
Brasília	151,12%
Natal	1,61%
Palmas	57,32%
Belo Horizonte	195,73%

Este cenário é o que apresentou as maiores diferenças percentuais quando comparadas com a cidade que obteve o menor VPL. A maior diferença é de quase 200%, o que caracteriza uma influência das tarifas ainda maior que a obtida pela precipitação.

As maiores diferenças são justamente entre Curitiba e Brasília e Curitiba e Belo Horizonte, que são as cidades que possuem as maiores tarifas de água dentre as capitais estudadas. Isso indica que quanto maior a tarifa de água, maior é a capacidade de atração deste tipo de investimento, pois a economia de agua potável com o uso da água pluvial será muito considerável, o que leva a altos valores de VPL.

Neste caso, os preços das tarifas exercem papel fundamental na escolha da localidade a se implantar o reservatório. Desta forma, cidades que possuam regimes pluviométricos e custos de manutenção e operação muito próximos, terão os retornos deste investimento determinados pelas tarifas de água do local.

4.2.4. Análise dos resultados para o CENÁRIO D

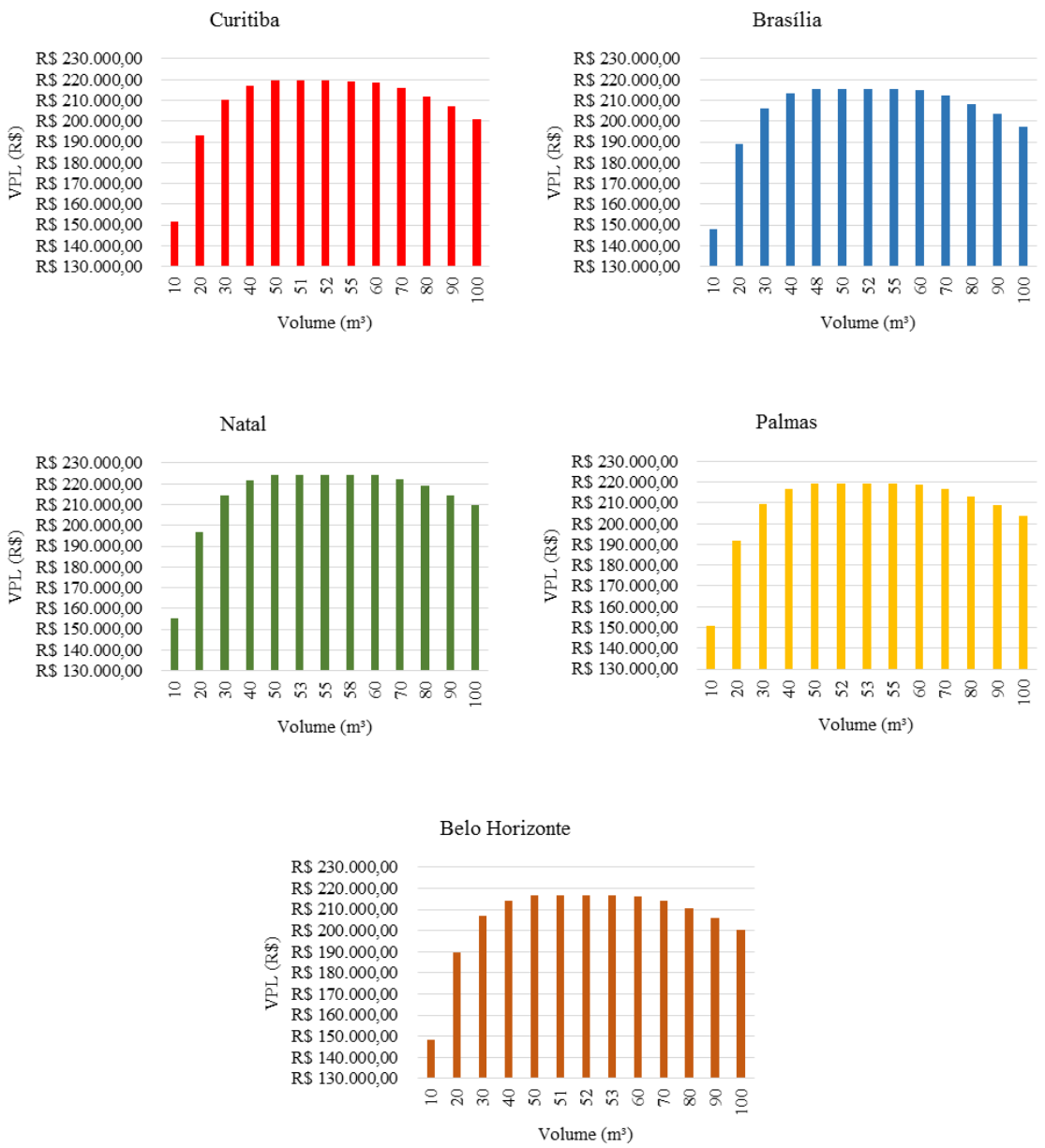
No CENÁRIO D, verificou-se a influência dos custos de manutenção e operação de cada cidade estudada. Sendo assim, todos os valores de tarifa de água e de precipitação foram fixados conforme valores praticados em uma cidade de referência, utilizando os custos de manutenção e operação, bem como preços de materiais e serviços de cada cidade. Os resultados ótimos

obtidos quando considerado o CENÁRIO D são mostrados na Tabela 4.11 e o resultado das simulações na Figura 4.10.

Tabela 4.11 – Volumes e máximos VPL para o CENÁRIO D

Cidades	Volume (m³)	VPL (R$)
Palmas	52	R$ 219.332,89
Belo Horizonte	51	R$ 216.838,79
Brasília	50	R$ 215.538,13
Natal	53	R$ 224.459,00
Curitiba	51	R$ 219.433,61

Figura 4.10 – Resultados das simulações para o CENÁRIO D



No CENÁRIO D, assim como nos outros cenários, todas as cidades possuem viabilidade econômica para implantação do reservatório, tendo em vista que todos os VPL são positivos. Pode-se observar também que é o único cenário em que todos os VPL são maiores que R$ 200.000,00.

Neste caso, a cidade que o possui a maior viabilidade econômica para implantação de reservatório de SPAAP é Natal, já que possui o maior VPL, com um volume associado de 53 m³. Isto pode ser explicado pelo fato de que os custos de manutenção e operação de Natal são os menores dentre as cidades analisadas, assim como os preços de materiais e serviços para a construção do reservatório.

Quando comparada às outras cidades, Natal possui VPL 2,24% maior que o de Curitiba, 3,97% maior que o de Brasília, 2,28% maior que o de Palmas e 3,39% maior que o de Belo Horizonte. Esta pequena diferença entre os VPL obtidos indica que, quando analisados os custos de manutenção e operação isoladamente, Natal não possui grande vantagem econômica em relação às outras cidades.

As cidades de Belo Horizonte e Brasília são as que possuem os menores VPL neste cenário, com uma diferença de apenas R$ 1.300,66 entre elas. Isto pode ser explicado pelo fato de que são as duas cidades com os maiores custos de manutenção e operação, o que tornaria o investimento menos aceitável, tendo em vista que a diferença entre o valor economizado e os valores gastos para manter o reservatório não é considerável para tornar o VPL mais atrativo do que nas outras capitais.

Quando a comparação é feita entre todas as cidades e o menor VPL obtido, que neste caso é de Brasília, a diferença também não é grande, como pode ser percebido na Tabela 4.12.

Tabela 4.12 – Diferenças percentuais dos VPL

Cidades	Diferença percentual do VPL
Curitiba	1,81%
Brasília	0,00%
Natal	4,14%
Palmas	1,76%
Belo Horizonte	0,60%

O menor VPL é o da cidade de Brasília, assim a maior diferença observada é em relação a cidade de Natal, que possui o maior VPL. Porém, esta diferença não chega a 4,5%, o que caracteriza a pequena influência que os custos de manutenção e operação possuem na viabilidade econômica dos reservatórios.

Apesar de esta diferença percentual do VPL ser pequena, a diferença nos custos de manutenção e operação da cidade com os menores custos, Natal, e a cidade com os maiores custos, Belo Horizonte, é considerável, sendo de aproximadamente R$ 120,00, quando os custos com o cloro para limpeza são desconsiderados, já que este depende do volume do reservatório.

Desta forma, cidades que possuam regimes pluviométricos e tarifas de água muito próximos, não terão os custos de manutenção e operação como fatores determinantes para os retornos deste investimento. Isso significa que o impacto da variação nos custos de manutenção e operação entre uma cidade e outra é muito pequena, tendo pouco impacto na determinação de qual cidade é mais interessante para implantação de SPAAP.

Assim, os custos de manutenção e operação não apresentam a mesma sensibilidade que a estrutura tarifária ou o regime pluviométrico possuem na determinação de uma localidade para se realizar um investimento desta natureza.

CAPÍTULO 5
CONCLUSÕES

Este trabalho cumpriu seu objetivo de verificar qual era o impacto de variáveis locais na determinação de volumes ótimos para SPAAP, segundo aspectos econômicos, com a análise do VPL e do índice de lucratividade. Dessa forma, foi possível entender a situação atual de cada uma das capitais estudadas, bem como o papel de cada variável na escolha de uma localidade para se investir na implantação dos reservatórios.

Por meio dos dados reais e atuais das cidades, foi possível observar que, com o conjunto de fatores utilizados, que evolveram a estrutura tarifária, o regime pluviométrico e os custos de manutenção e operação do reservatório, Belo Horizonte apresentou a maior viabilidade econômica para este investimento, quando analisado o VPL isoladamente. No entanto, Brasília apresentou um maior índice de lucratividade, o que tornou o investimento nesta cidade mais atrativo na hora de construção do reservatório, tanto pelo volume ótimo obtido, quanto pelos preços dos materiais e serviços praticados na cidade.

A avalição do VPL isoladamente pode, então, não ser a forma mais completa de se analisar a viabilidade de um sistema, já que este investimento pode ser inviabilizado pelos altos custos iniciais de construção do reservatório. Assim, quando se analisa a situação de cada cidade, com dados reais, também é de extrema importância que se avalie o índice de lucratividade do investimento.

O índice de lucratividade está diretamente relacionado ao volume ótimo do reservatório, já que ele depende do valor investido inicialmente, que é definido pela inserção do volume ótimo na função custo do reservatório. Desta forma, o volume do reservatório também pode exercer influência nos retornos financeiros do investimento, quando a análise envolve o índice de lucratividade.

É preciso ressaltar que o CENÁRIO A é aquele que apresenta os dados de cada cidade, levantados e cotados para a situação atual de cada uma delas, e que este é o cenário que deve ser analisado na hora de se optar por um investimento deste tipo. Verificou-se, assim, que independente de suas características locais, cada uma das cidades estudadas possui viabilidade econômica para a implantação do reservatório, já que apresentaram VPL maior que zero. É preciso destacar também, que o VPL calculado neste trabalho foi apenas do reservatório, ou

seja, não envolve nenhum outro elemento do SPAAP, já que se levou em conta que o reservatório é o item mais oneroso do sistema. Assim, o VPL real deve ser bem menor do que o encontrado aqui, e que este é apenas um custo de oportunidade para se analisar a viabilidade econômica.

Os cenários subsequentes B, C e D foram construídos para que se pudesse analisar qual seria o impacto que cada uma das três variáveis estudadas poderia apresentar para a escolha de uma cidade a se investir, independente dos valores praticados em cada uma delas. Assim, estes cenários variaram apenas o fator o qual se pretendia estudar, para que as outras variáveis não influenciassem no impacto que cada um deles poderia oferecer.

Foi comprovado, assim, que a estrutura tarifária é o fator local que mais influencia nos retornos financeiros. As situações em que a tarifa de água ou seus reajustes são maiores caracterizam um ganho de oportunidade, já que resultarão em economias de água potável mais consideráveis com a possibilidade de implantação de reservatórios maiores, e consequentemente maiores retornos financeiros.

Foi possível perceber também que o fator menos influenciador no valor do VPL foram os custos de manutenção e operação, bem como os preços de materiais e serviços para a construção do reservatório. Assim, se não houver dados consistentes acerca destas variáveis, o estudo da viabilidade de seu investimento não deverá ficar comprometido, desde que tenha acesso às informações de precipitação, tarifas de água e seus reajustes.

No entanto, o cenário de investimentos é repleto de incertezas, o que faz com que se deva utilizar mais de um critério econômico para analisar a possibilidade de investimento nos reservatórios de SPAAP. Isto se faz necessário porque algumas simplificações podem mostrar a inviabilidade de implantação do reservatório.

Assim, é preciso que se analise além do retorno financeiro, a finalidade ambiental de se instalar este tipo de reservatório. Afinal, os reservatórios e os SPAAP como um todo são uma das alternativas utilizadas para amenizar a crise hídrica que vem afetando vários países em todo mundo, uma das justificativas para a elaboração deste trabalho.

Recomenda-se que trabalhos futuros possam aumentar a quantidade de cidades estudadas, e fazer um mapeamento total do Brasil, para que dessa forma resultados mais consistentes e com maior margem de comparação possam ser utilizados para realmente colaborar com o aumento

de investimentos em SPAAP como um todo. Assim, será possível unir a sustentabilidade ambiental à sustentabilidade econômica, e disseminar os estudos a este respeito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, C. **O equilíbrio entre a sustentabilidade e a atratividade do investimento em edifícios de escritórios para locação em São Paulo**. . In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. 2004

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

CAMPOS, M. A. S. et al. Sistema de Aproveitamento de Água Pluvial: aspectos qualitativos e quantitativos. p. 10, 2007.

CAMPOS, M. A. S. **Qualidade de investimentos em sistemas prediais de aproveitamento de água pluvial: Uso de Particles Swarm Optimization**. [s.l.] Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo daUniversidade Estadual de Campinas, 2012.

CAMPOS, M. A. S.; AMORIM, S. V. DE. **Aproveitamento de água pluvial em um edifício residencial multifamiliar no município de São Carlos**. I CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL e X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais… São Paulo. **Anais**...2004Disponível em: <ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0134d.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2016

CAMPOS, M. A. S.; ILHA, M.; GRANJA, A. Investimento em Sistemas de Aproveitamento de Água Pluvial: Estudo de caso para uma edificação residencial multifamiliar no município de Campinas. **Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção**, p. 10, [s.d.].

CAMPOS, M. A. S.; PACHECO, G. C. R. ECONOMICAL CRITERIA TO SIZE RAINWATER HARVESTING TANKS: HOW THE RAINFALL DATA CAN INTERFERE? Setembro 2016.

CONNOR, R.; KONCAGUL, E. **Água para um mundo sustentável**. [s.l.] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, [s.d.]. . Acesso em: 25 jun. 2016.

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

DE CARVALHO, J. A. M. Para onde iremos: algumas tendências populacionais no século XXI. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 18, n. 1/2, p. 7–13, 2013.

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**, v. 19, n. 6–7, p. 598–608, abr. 2011.

ENDLER, L. Avaliação de empresas pelo método de fluxo de caixa descontado e os desvios causados pela utilização de taxas de desconto inadequadas. **Contexto**, v. 4, n. 6, 2004.

FLORES, R. et al. Potencial de captação de água de chuva para abastecimento: o caso da cidade de Belém (PA, Brasil). **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 8, n. 2, p. 69–80, 31 dez. 2012.

GARRÁN, F. **Metologias em uso no Brasil para determinação do custo de capital próprio para avaliação de ativos por fluxo de caixa descontado**. [s.l.] Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, 2006.

LIMA, J. D. et al. Propostas de ajuste no cálculo do payback de projetos de investimentos financiados. **CEP**, v. 85, p. 390, 2013.

MALMEGRIN, M. L. **Gestão operacional**. [s.l: s.n.]. v. 1

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **estudos avançados**, v. 22, n. 63, 2008.

MEC, E.; HERNANDES, C. A. T.; SIQUEIRA, E. C. M. A. ANÁLISE DE CUSTO DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL PARA UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR NA CIDADE DE RIBEIRÃO PRETO. [s.d.].

MORUZZI, R. B. et al. Avaliação do aproveitamento de água pluvial para atendimento de uso não potável no Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 17–28, mar. 2016.

MUTEKWA, V.; KUSANGAYA, S. Contribution of rainwater harvesting technologies to rural livelihoods in Zimbabwe: The case of Ngundu ward in Chivi District. **Water SA**, v. 32, n. 3, p. 437–444, 2006.

NASCIMENTO, T. V.; FERNANDES, L. L.; YOSHINO, G. H. Potencial de aproveitamento de água de chuva na Universidade Federal do Pará-Belém/PA. **Revista Monografias Ambientais**, v. 15, n. 1, 2016.

PACHECO, G. **ANÁLISE DE OPÇÕES REAIS COMO MÉTODO DE AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE SISTEMAS PREDIAIS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL**. [s.l.] Universidade Federal de Goiás, 2016.

RIBEIRO, W. C. Aqüífero Guarani: gestão compartilhada e soberania. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 64, p. 227–238, dez. 2008.

RUPP, R. F. et al. Comparação de métodos para dimensionamento de reservatórios de água pluvial. **CEP**, v. 88040, p. 900, 2011.

SACADURA, F. O. M. O. **Análise de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edifícios**. [s.l.] Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2011.

SANTOS, D. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. **Ambiente Construído**, v. 1, p. 12, 2012.

TUCCI, C. E.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. DE M. C. Cenários da gestão da água no Brasil: uma contribuição para a “Visão Mundial da Água”. **Interações**, v. 1980, p. 90, 2003.