

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM DEFESA E SEGURANÇA CIVIL

IVAN AURÉLIO FORTUNA KALIL DE FARIA

**ALTERNATIVAS PARA MITIGAÇÃO DE ENCHENTES NOS
CENTROS URBANOS. ESTUDO DE CASO: RESERVATÓRIO
PARA AMORTECIMENTO DE CHEIAS NA SUB-BACIA DO RIO
ICARAÍ, MUNICÍPIO DE NITERÓI - RJ**

Niterói

2012

IVAN AURÉLIO FORTUNA KALIL DE FARIA

**ALTERNATIVAS PARA MITIGAÇÃO DE ENCHENTES NOS
CENTROS URBANOS. ESTUDO DE CASO: RESERVATÓRIO
PARA AMORTECIMENTO DE CHEIAS NA SUB-BACIA DO RIO
ICARAÍ, MUNICÍPIO DE NITERÓI - RJ**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Área de concentração: Planejamento e Gestão de Eventos Críticos. Linha de Pesquisa: Desastres Naturais

Orientadora:

Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora, D.Sc.

Niterói

2012

Ficha elaborada pela UFF/NDC/Biblioteca Central do Valonguinho

F 224 Faria, Ivan Aurélio Fortuna Kalil de
Alternativas para mitigação de enchentes nos centros urbanos.
Estudo de caso: reservatório para amortecimento de cheias na
sub-bacia do Rio Icaraí, município de Niterói-RJ/Ivan Aurélio
Fortuna Kalil de Faria. – Niterói: [s.n.], 2012.
73f.

Dissertação – (Mestrado em Defesa e Segurança Civil) - Uni-
versidade Federal Fluminense, 2012.

1. Controle de enchentes. 2. Reservatório. 3. Águas pluviais-
Escoamento. 4. Controle de cheias. 5. Bacia do Rio Icaraí, RJ. I.
Título.

CDD.: 904.5

IVAN AURÉLIO FORTUNA KALIL DE FARIA

**“ALTERNATIVAS PARA MITIGAÇÃO DE ENCHENTES NOS CENTROS
URBANOS. ESTUDO DE CASO: RESERVATÓRIO PARA
AMORTECIMENTO DE CHEIAS NA SUB-BACIA DO RIO ICARAÍ,
MUNICÍPIO DE NITERÓI - RJ”**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Área de concentração: **Planejamento e Gestão de Eventos Críticos**. Linha de Pesquisa: **Desastres Naturais**

Aprovada em

Banca Examinadora

Prof^a. Dr^a. Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Dr. Antonio Ferreira da Hora
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Dr. Adacto Benedicto Ottoni
Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

Prof. M.Sc. Gustavo Carneiro de Noronha
Universidade Federal Fluminense - UFF

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, e a seu filho Jesus Cristo, aos meus pais Ivan e Mariza pelo constante apoio ao desejar-me o melhor sempre, a minha irmã Andressa por ajudar-me no mestrado, aos meus tios Luís Carlos e Ivanda (Mima) por acreditarem em mim. Ao meu tio José (Zu) por fazer concretizar mais uma etapa na minha vida ao ajudar realizar efetivamente nas minhas pesquisas de minha tese de mestrado.

A minha orientadora Mônica da Hora pelo atencioso comprometimento na realização e elaboração de minha tese de mestrado sem a qual não teria conseguido a perfeita direção de pesquisas, demonstrando uma incrível dimensão de orientador e orientação.

Aos meus demais mestres e amigos que participaram direta ou indiretamente na conclusão dessa etapa de minha vida acadêmica: Ana Paula Tomazi; Alexandre Belchior; Arnaldo Barbosa; Élson do Nascimento; Gustavo Carneiro de Noronha; José Rodrigo de Moraes; Luz Amanda Santander e Maria Bernadete entre tantos outros.

Muito obrigado!

RESUMO

O presente trabalho visa demonstrar que é possível a implantação de um sistema de amortecimento da vazão de águas das chuvas na cidade de Niterói. Esse sistema consiste na retenção de vazão pela construção de um reservatório de armazenamento temporário de águas pluviais (vulgo piscinão). O local considerado mais adequado, por sua localização e facilidade construtiva, foi o terreno onde se encontra o Estádio Caio Martins. Para a consecução do estudo, foram pesquisadas as legislações, os materiais de construção e tecnologias das mais avançadas para a minimização da contribuição das águas de chuva no sistema de drenagem urbano. Fotos e relatos de tragédias correlacionadas com enchentes e inundações no Brasil e no mundo foram escolhidas para enfatizar a importância do estudo, correlacionando com as questões do cotidiano das populações. Para o dimensionamento do reservatório foram adotados procedimentos de cálculo e metodologias preconizados em estudos dessa natureza. Os resultados alcançados indicam a viabilidade de implantação da estrutura considerada como auxiliar importante na contenção e mitigação dos efeitos danosos das enchentes urbanas em Niterói.

Palavras-chave: enchentes, controle de cheias, reservatório, amortecimento de enchente.

ABSTRACT

This paper demonstrates that it is possible to deploy a rainwater flow damp system in Niterói, city located in Rio de Janeiro State, Brazil. The solution consists of reservoir that retains temporally the storm water. The location considered most appropriate to construct this system is the area where the Caio Martins Stadium is nowadays. This document presents laws, materials and most advanced technologies to minimize the volume and power of rainwater in urban drainage system. Pictures of tragedies related to floods in Brazil and in the world were chosen to give correlation and impact of this problem into people's life. To estimate the reservoir it was used recommended hydrology calculation methods and procedures. The results indicate that it is feasible to deploy such solution, at the same time as they show that the proposed solution is an important aid to mitigate the damages of floods in Niterói.

Keywords: flood, flood control, reservoir, routing flood.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO	2
1.4 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO	2
FATORES INFLUENTES NAS ENCHENTES	4
2.1 PRINCIPAIS FATORES QUE CONTRIBUEM PARA ENCHENTES NOS CENTROS URBANOS	12
2.1.1 Impermeabilização do Solo.....	12
2.1.2 Ocupação Desordenada do Solo	12
2.1.3 Obstrução do Sistema de Drenagem por Lixo	13
2.1.4 Drenagem Insuficiente	14
2.1.5 União da Rede de Esgoto Clandestina à Rede de Drenagem.....	15
2.1.6 Desmatamento.....	15
2.1.7 Retificação de Rios e Cursos d'Água	15
2.1.8 Regime e Índice de Pluviosidade	16
2.1.9 Deslizamentos, Quedas e Escorregamentos	16
2.1.10 Obstrução e/ou Destruição da Rede de Drenagem por Ação Natural.....	17
2.1.11 Declividade do Terreno	18
2.1.12 Marés	18
LEGISLAÇÃO E ALTERNATIVAS PARA MINIMIZAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANO	19
3.1 LEGISLAÇÃO VIGENTE	19
3.1.1 Cidade de Guarulhos.....	20
3.1.2 Cidade de São Paulo	21
3.1.3 Cidade de São Carlos	22
3.1.4 Cidade do Rio de Janeiro.....	22
3.1.5 Cidade de Ribeirão Preto.....	24
3.1.6 Cidade de Porto Alegre	24
3.1.7 Estado de São Paulo	25
3.1.8 Cidade de Niterói.....	26
3.1.9 Cidade de Osasco	27
3.2 ALTERNATIVAS PARA MINIMIZAR A CONTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS DE CHUVA NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANO	28
3.2.1 Eco-pavimento	28
3.2.2 Concreto Permeável	29
3.2.3 Pavimentos Permeáveis.....	30
3.2.4 Reservatórios de Acumulação Temporária do Escoamento Superficial .	31
MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1 A BACIA DO RIO ICARAÍ	32
4.2 CHEIAS DE PROJETO	33

4.2.1	Chuvas Intensas	36
4.3	PROPAGAÇÃO E LAMINAÇÃO DAS VAZÕES DE ENCHENTES ATRAVÉS DE RESERVATÓRIOS COM VOLUMES DE ESPERA	37
4.3.1	Curva de Capacidade do Vertedouro	39
4.3.2	Curva de Capacidade do Descarregador de Fundo	39
4.3.3	Critérios Adotados.....	39
	RESULTADOS ENCONTRADOS	41
5.1	LEVANTAMENTO DAS PRINCIPAIS ÁREAS DE INUNDAÇÃO	41
5.2	CARACTERIZAÇÃO FISIAGRÁFICA DA BACIA CONTRIBUINTE AO ESTÁDIO CAIO MARTINS.....	42
5.2.1	Área de Drenagem.....	42
5.2.2	Declividade do Rio.....	42
5.2.3	Tempo de Concentração	43
5.3	ALTERNATIVA PROPOSTA.....	43
	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	56
6.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
6.2	LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	57
6.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	57
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Reservatório de Acumulação com controle	31
Figura 2 – Reservatório de Acumulação sem controle.....	31
Figura 3 – Bacia do Rio Icaraí.....	32
Figura 4 - Hidrograma Unitário Triangular	34
Figura 5 – Levantamento de campo realizado em Janeiro de 2012.....	44
Figura 6 – Área considerada para o reservatório	47
Figura 7 – Curva cota x volume do reservatório proposto	48
Figura 8 – Curva volume x cota do reservatório proposto	49
Figura 9 – Curva função armazenamento do reservatório proposto.....	49
Figura 10 – Hidrógrafas afluente e defluente para $TR = 3$ anos	53
Figura 11 – Hidrógrafas afluente e defluente para $TR = 5$ anos	53
Figura 12 – Hidrógrafas afluente e defluente para $TR = 10$ anos	54

LISTA DE FOTOS

Foto 1 - Enchentes na China.....	5
Foto 2 – Enchentes Paquistão 2010.....	6
Foto 3 - Enchentes da Austrália.....	7
Foto 4 – Enchente no rio Missouri no norte dos EUA	7
Fotos 5 e 6 – Chuvas e lama invadem a Suíça e a Alemanha.....	8
Foto 7 – Resgate em Berna.....	8
Fotos 8 e 9 – Inundação do rio Itajaí-Açu na Avenida Beira Rio, em Blumenau	9
Fotos 10 e 11 – Enchentes na Avenida Francisco Bicalho em Janeiro de 1966 e Abril de 2010	10
Foto 12 – Região Oceânica de Niterói, em abril de 2010.....	11
Foto 13 – Subterrâneos de Tóquio.....	11
Foto 14 – Lixo às margens do rio Alcântara, município de São Gonçalo	14
Foto 15 - Deslizamento na Estrada da Cachoeira, Município de Niterói	16
Foto 16 – Obstrução de bueiros por raízes (visível – na superfície) de árvore	17
Foto 17 – Eco-pavimento com grama	29
Foto 18 – Concreto permeável.....	30
Foto 19 – Piso intertravado.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área do lote x Volume de retenção	20
Tabela 2 – Área do lote x Volume de retenção	22
Tabela 3 – Porcentagem de reduções da área impermeável	25
Tabela 4 – Valores recomendados de CN	36
Tabela 5 – Resumo das características fisiográficas	43
Tabela 6 – Hidrógrafa da cheia com 3 anos de recorrência (TR=3anos)	45
Tabela 7 – Hidrógrafa da cheia com 5 anos de recorrência (TR=5anos)	45
Tabela 8 – Hidrógrafa da cheia com 10 anos de recorrência (TR=10anos)	46
Tabela 9 – Laminação da cheia com 3 anos de recorrência (TR=3anos)	50
Tabela 10 – Laminação da cheia com 5 anos de recorrência (TR=5anos)	51
Tabela 11 – Laminação da cheia com 10 anos de recorrência (TR=10anos)	52
Tabela 12 – Principais resultados e eficiência do amortecimento do reservatório	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estatístico
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DEP	Departamento de Esgotos Pluviais
DER-RJ	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Rio de Janeiro
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ELETROBRAS	Centrais Elétricas Brasileiras S.A.
GPS	Global Positioning System
HIDROUFF	Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense
HUT	Hidrograma Unitário Triangular
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Especiais
Mcidas	Ministério das Cidades
NBR	Norma Brasileira
OGU	Orçamento Geral da União
SCS	United States Soil Conservation Service
UFF	Universidade Federal Fluminense
ZUD	Zona de Uso Disciplinado

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para iniciar a dissertação, foi fundamental o levantamento e a revisão bibliográfica, que permitiu o conhecimento das propostas estruturais ou não para controle e mitigação das cheias urbanas.

Em busca de soluções para o controle das enchentes, foram desenvolvidas tecnologias no Brasil para minimizar os impactos das inundações. Então, por que as enchentes continuam acontecendo?

Pode-se destacar que alguns fatores contribuem para a questão como: climáticos, aumento populacional, ocupação desordenada do solo, impermeabilização dos solos, entupimento do sistema de drenagem por resíduos sólidos, desmatamentos, deslizamentos, quedas de barreiras, união da rede de esgoto clandestina à rede de drenagem, além de outros. Esses fatores foram ocorrendo de forma paulatina e a sua conjunção contribuiu e continua contribuindo para as enchentes. Há que se destacar o descaso do poder público, principalmente no que tange à fiscalização, pois a ausência de ações acaba por gerar outros problemas à população como doenças de veiculação hídrica, perdas materiais e de vidas e o caos urbano. Um exemplo do exposto ocorre na cidade de Niterói, que sofre transtornos periódicos de inundações, fazendo crer que a única solução viável seja a remoção de parte da cidade do local de onde ela está, para áreas onde o problema não existe. A insuficiência de projetos e de obras nas redes públicas de esgoto e drenagem torna a cidade cada vez mais vulnerável aos transtornos desencadeados pelas chuvas.

Para tanto, a presente pesquisa buscou levantar a bibliografia da legislação correlacionada aos eventos extremos, bem como aos programas, planos e projetos na área de enchentes urbanas. Além disso, foi definido um estudo de caso tomando como foco o bairro de Icaraí, localizado no Município de Niterói, Estado do Rio de Janeiro. A escolha deste bairro é justificada pelo fato da cidade ser a sede do primeiro curso de pós-graduação em Defesa e Segurança Civil, ministrado pela Universidade Federal Fluminense (UFF).

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral foi o de analisar à luz das tecnologias disponíveis as possíveis soluções cabíveis para minimização de inundações e/ou enchentes recorrentes nos centros urbanos, visando evitar maiores transtornos para os órgãos de defesa civil municipais. O objetivo específico foi o de conceber um reservatório no espaço do Estádio Caio Martins para o controle dos pontos de alagamentos no bairro de Icaraí, na cidade de Niterói.

1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

As defesas civis, corpo de bombeiros, Prefeituras, Estados, União e demais instituições públicas e não governamentais atuam no socorro das vítimas em desastres naturais decorrentes de chuvas intensas, quando o ideal seria tratar de forma preventiva a ocorrência do desastre.

Atualmente, uma nova tecnologia que está se mostrando promissora para a minimização das enchentes em áreas urbanas é a retenção dos volumes excedentes das chuvas através de estruturas hidráulicas compostas de reservatórios, estruturas de controle e esgotamento, os chamados “piscinões”.

Logo, a proposição da concepção de um reservatório de retenção¹ para o bairro de Icaraí, Município de Niterói justifica a relevância do estudo.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO

A estrutura organizacional do estudo compõe-se na pesquisa e levantamento de dados, apresentados em forma de capítulos.

No Capítulo I, INTRODUÇÃO, define-se a situação problema, os objetivos e a importância do estudo.

O Capítulo II, FATORES INFLUENTES NAS ENCHENTES, descreve os aspectos relevantes dos problemas das enchentes nas cidades.

O Capítulo III, LEGISLAÇÃO E ALTERNATIVAS PARA MINIMIZAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANO, descreve as leis orgânicas e estaduais que regulam a coleta e destino das

¹ O reservatório de retenção é aquele que permanece frequentemente seco e durante um evento de chuva, a água é armazenada e liberada de forma controlada. O reservatório de retenção dispõe de um espelho e volume de água permanente que pode ser utilizada para fins de recreação, abastecimento, recarga, irrigação, entre outros, [CHOU; MAIDMENT; MAYS, 1988].

águas pluviais das cidades (sistema de drenagem). Além disso, relaciona soluções alternativas para minimização das águas de chuva nos sistema de drenagem.

Capítulo IV, MATERIAIS E MÉTODOS, relaciona a metodologia proposta para operação de sistemas de drenagem com a utilização de reservatórios de reservação temporária.

O Capítulo V, RESULTADOS ENCONTRADOS, apresenta os resultados alcançados para a alternativa de minimização das enchentes.

No Capítulo VII, CONCLUSÕES E ETAPAS FUTURAS, são apresentadas as dificuldades encontradas no desenvolvimento dos estudos e as conclusões deste trabalho, bem como os desdobramentos para pesquisa futura.

As publicações consultadas para o desenvolvimento da pesquisa estão relacionadas no Capítulo VIII, REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

CAPÍTULO II

FATORES INFLUENTES NAS ENCHENTES

Os transtornos das enchentes ocasionados pelas chuvas dos últimos anos, mostrados na mídia, demonstram a necessidade urgente de abordar com mais seriedade esse tema, com uma visão científica e social, buscando ao menos amenizar os impactos por políticas preventivas.

Estes transtornos ocorrem nos períodos de chuvas, quando os rios, córregos e lagos recebem um volume superior ao que podem comportar, ocasionando os transbordamentos e desencadeando as enchentes, (TEXEIRA, 2002). Outro fator vinculado às enchentes é o aumento populacional, com formação de conglomerados urbanos, provocando impactos negativos para a sociedade e ao meio ambiente, pois a falta de um controle adequado pelos Entes Federativos permite a ocupação desordenada do solo. Desta forma, áreas de matas ciliares de domínio dos rios, lagos, córregos e várzeas, que não deveriam ser ocupadas, e, todavia estão, nos períodos de cheias, naturalmente, serão afetadas por inundações.

Outro aspecto correlacionado com o aumento populacional é a geração de lixo e/ou dejetos urbanos de resíduos sólidos, sem destinação final adequada, ocasionando assoreamento de lagos, córregos, rios e entupimentos de bueiros, dificultando o escoamento do fluxo, impedindo a função de drenagem, ocasionando, assim, enchentes, (MUCCELLIN & BELLINI, 2008)

Destaca-se ainda o fenômeno das mudanças climáticas, interferindo nas precipitações e nos ciclos de chuvas, podendo ou não agravar a situação das enchentes. Segundo o Centro de Gestão e Estudos Estatístico (CGEE), em relação à dimensão ambiental, dois fatos de importante relevância são identificados no agravamento da situação atual e futura: **as mudanças climáticas**, que junto às transformações de uso do solo, podem acarretar grande vulnerabilidade para países e regiões, que deverão tomar medidas fortes de capacidade de adaptação e resiliência, e a **valorização estratégica da natureza e dos recursos naturais** devido à crescente demanda mundial por recursos naturais.

Há que se destacar também as dificuldades que as equipes de Defesa Civil enfrentam, uma vez que para a realização do salvamento é necessária uma logística

pesada, na qual os meios de transporte desempenham um papel fundamental, tais como helicópteros, viaturas, lanchas, botes, etc. Administrar tudo isso é caro demais e os transtornos não ficam resolvidos após as chuvas pararem. Muito pelo contrário, é neste momento que tomamos a consciência da real dimensão do problema. Vide a região serrana do Estado do Rio de Janeiro que, passado meses, ainda sofre com os efeitos das últimas chuvas de 2011. Evidentemente que a burocracia e a aplicação indevida ou não justificada dos recursos financeiros em muito contribuíram para este quadro de descaso social. No Japão, por exemplo, após um terremoto seguido de maremoto e tsunami, que entre outras construções, destruiu totalmente o aeroporto da cidade de Sendai; porém, em dois dias já havia pista em operação e em uma semana estava totalmente recuperado.

Exemplos não faltam, no Brasil e no mundo sobre as enchentes, um exemplo a ser mencionado é a China, país em que as enchentes estão ocorrendo cada vez mais com menor frequência, como a do ano de 2010, que foi considerada a pior em 12 anos com 700 vítimas fatais. E no ano de 2011, o país foi novamente castigado por uma enchente considerada como a pior desde 1847, afetando mais de 12 milhões de pessoas nas províncias, no centro, norte e no sudoeste do país e com mais de 4 mil mortos, (BBC Brasil, 2011).



Foto 1 - Enchentes na China
Fonte: EXAME, 2011.

Outro exemplo a ser citado foram as enchentes ocorridas no ano de 2010 no Paquistão que resultaram em um saldo de pelo menos 2 mil mortos e 11 milhões desabrigados, em um dos piores desastres naturais testemunhados pelo país, Foto 2. Um quinto da população paquistanesa ficou submersa em uma área do tamanho da Itália, alcançando 10 bilhões de dólares em prejuízos à infraestrutura, sistemas de irrigação,

pontes, casas e rodovias. As áreas rurais foram as mais afetadas e a maioria das pessoas morreram por conta da queda de telhados. Entretanto, meio ano após a calamidade, mais de 800 mil famílias continuam sem abrigo permanente, e mais de 1 milhão de pessoas precisaram de ajuda alimentar, (AZIZ, 2011).



Foto 2 – Enchentes Paquistão 2010

Fonte: BBC Brasil, 2011.

Igualmente, as inundações ocasionam às vezes situações inéditas ou ao menos inusitadas como ocorreu na Austrália em dezembro de 2010, pois tubarões foram arrastados pelas enchentes sendo encontrados até 30 quilômetros dentro de terra firme no Estado de Queensland. Os afetados pelas inundações no leste da Austrália agora temem também os tubarões além dos crocodilos, (HOME IG, 2011). Os prejuízos provocados pelas maiores enchentes dos últimos 50 anos passaram de 1 bilhão de dólares australianos (R\$ 1,69 bilhão), segundo o governo australiano, totalizando 23 cidades submersas, Foto 3, em uma área maior do que os territórios de França e Alemanha juntos, (BBC Brasil, 2005).



Foto 3 - Enchentes da Austrália

Fonte: ALLIANZ, 2011.

Ou seja, nota-se, ainda, que países desenvolvidos também sofrem por esse mal, como nos Estados Unidos da América, quando regiões do norte (Foto 4) foram castigadas com temporais, que destruíram pontes e estradas. Nos arredores de New Jersey, enchentes levaram carros e destruíram estradas e a maioria das pontes da área foi levada pela enxurrada e conseqüentemente bombeiros também estão tendo dificuldades de chegar aos locais mais afetados, (BBC Brasil, 2011).



Foto 4 – Enchente no rio Missouri no norte dos EUA

Fonte: PAINEL GLOBAL, 2011.

Em agosto de 2005, as chuvas intensas atingiram a Europa Central, Fotos 5 e 6. Equipes de socorro realizaram operações em vários países para salvar milhares de vítimas pego pelas cheias. Em Berna, capital da Suíça, helicópteros foram utilizados para resgatar pessoas dos telhados de prédios, porque o resgate com barcos tornou-se perigosos devido a força das águas, Foto 7. Na Romênia pelo menos 1,4 mil residências que foram inundadas. Na Bulgária, 26 pessoas foram oficialmente confirmadas como mortas.



Fotos 5 e 6 – Chuvas e lama invadem a Suíça e a Alemanha
Fonte: BBC Brasil, 2012.



Foto 7 – Resgate em Berna
Fonte: BBC Brasil, 2005.

Historicamente também, no Brasil, há exemplos igualmente trágicos, como no Estado de Santa Catarina, inundações ocorridas na cidade de Blumenau em 1983 e 1984 marcaram profundamente a cultura local, junto com a valorização do trabalho e da capacidade de enfrentar as diversidades, Fotos 7 e 8. O município catarinense situado no Vale do Itajaí é palco da já tradicional Oktoberfest, porém quem é de fora da cidade não sabe que esta festa foi criada para dar alívio da tensão a população depois de enfrentar duas enchentes, em 1983 e 1984, (SCHLINDWEIN, 2009).



Fotos 8 e 9 – Inundação do rio Itajaí-Açu na Avenida Beira Rio, em Blumenau
Fonte: O GAMBÁ DE BLUMENAU, 2012.

Com relação à cidade do Rio de Janeiro, sua formação e ocupação favoreceram, ao longo do tempo, diversos alagamentos de diferentes proporções, registrados ao longo da sua história, Fotos 9 e 10. Exemplo de destaque foi a chuva que ocorreu nos dias 5 e 6 de abril de 2010, resultando em grandes inundações e escorregamento de encostas. De acordo com CPTEC/INPE (2010), a chuva foi devida a uma massa de ar frio, que causou queda significativa na temperatura, esta frente fria com uma massa de ar úmido (marítima) encontrou-se com a massa de ar úmido instável que já se encontrava sobre o Sudeste e causou toda a chuva observada. A Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro divulgou nota informando que o temporal foi o maior desde 1966, quando o índice pluviométrico foi de 245 mm, (COELHO, HORA & HORA, 2011).



Fotos 10 e 11 - Enchentes na Avenida Francisco Bicalho em Janeiro de 1966 e Abril de 2010

Fonte: AGÊNCIA GLOBO, 2012.

A cidade de Niterói, como tantas outras cidades do mundo, sofre também com as enchentes e inundações nos períodos de chuvas, os pontos críticos de alagamentos ocasionam transtornos ao deslocamento e, por vezes, impedem totalmente a locomoção de pedestres e veículos, Foto 12. Esta foto é um registro da tragédia ocorrida em abril de 2010, quando o prefeito de Niterói decretou o estado de calamidade pública no município.

Por conta deste evento, a Defesa Civil vem treinando multiplicadores para auxiliar na evacuação de moradores das áreas de risco em caso de chuvas, cerca de 20 deles já estão habilitados no Morro do Preventório. A turma participa de inspeções na comunidade e identifica riscos de deslizamentos. Os integrantes da equipe têm um canal direto com a Defesa Civil e acionam os técnicos sempre que necessário. Nos dias de chuvas, percorrem áreas com possibilidade de deslizamentos e auxiliam na retirada das famílias desses locais de risco.



Foto 12 – Região Oceânica de Niterói, em abril de 2010
Fonte: Causa Operária, 2010.

Há que se destacar o caso de sucesso da cidade de Tóquio cujo sub-solo possui uma infraestrutura cujo aspecto se assemelha ao cenário de um jogo de computador ou a um templo de uma civilização remota, Foto 13. Cinco poços de 32 m de diâmetro por 65 m de profundidade interligados por 64 km de túneis formam um gigantesco sistema de drenagem de águas pluviais destinado a impedir a inundação da cidade durante a época das chuvas, [OBVIOUS, 2007].



Foto 13 – Subterrâneos de Tóquio
Fonte: OBVIOUS, 2007.

Do histórico exposto, observa-se que a solução para qualquer problema começa conhecendo as suas causas, a partir do reconhecimento dos fatores naturais e os da ação humana, assim como, também, a combinação destes para o agravamento do problema. Então, podemos citar, dentre outros:

- Fatores humanos (antropológicos): impermeabilização do solo; ocupação desordenada do solo; obstrução do sistema de drenagem por lixo; drenagem insuficiente; união da rede de esgoto clandestina à rede de drenagem; desmatamento; retificação de rios nos centros urbanos e periferias.
- Fatores naturais: regime e índice pluviométrico; deslizamentos, quedas e escorregamentos em áreas preservadas ou sem ocupação; características físicas do solo (impermeabilidade natural); topografia; marés.

De maneira geral, a solução para minimizar ou solucionar os problemas decorrentes da conjunção destes fatores passa pelo monitoramento e medição de dados pluviométricos e das estimativas das vazões máximas a serem escoadas pelas redes de drenagens existentes.

2.1 PRINCIPAIS FATORES QUE CONTRIBUEM PARA ENCHENTES NOS CENTROS URBANOS

2.1.1 Impermeabilização do Solo

Os principais impactos ambientais sobre os processos hidrológicos têm origem na ocupação do solo devido ao desenvolvimento de uma área urbana. A ação antrópica sobre uma bacia hidrográfica provoca, entre outras mudanças, as introduções de superfícies impermeáveis, que diminuem a infiltração das águas pluviais e o abastecimento do lençol freático e uma diminuição das superfícies de retenção, tendo-se, portanto, um volume bem maior de água escoado superficialmente, (GRILLI & BETTINI, 2011). De maneira geral, em virtude do aumento da contribuição do escoamento superficial, observa-se que durante um evento de chuva, as avenidas e ruas se transformam em rios temporários.

2.1.2 Ocupação Desordenada do Solo

Nas últimas gerações de pesquisas, cientistas acreditam atualmente que estas mudanças climáticas estejam aceleradas devido à ação antrópica que se iniciou no começo do século XX durante a revolução industrial, (SCHMIDT, 2010). A ação

antrópica representa as intervenções que o ser humano pratica sobre o habitat e sua interação com o clima, modificando desta forma o meio ambiente.

O crescimento urbano com ocupação desordenada e sem planejamento levou a ampliação de cidades sem infraestrutura adequada para sua expansão, por conta de ocupações irregulares em zonas de risco tais como as encostas dos morros e as margens dos rios. O primeiro tipo de ocupação favorece os processos de escorregamentos e o segundo estrangula a seção natural do curso d'água e ambas potencializam as inundações. São diversas as formas de irregularidades fundiárias, que se configuram pelo país: invasões, loteamentos clandestinos ou irregulares, favelas e etc. Logo, a gestão de políticas públicas é uma questão crucial para resolução de problema e consequentemente das enchentes. As políticas públicas podem ser entendidas como programas de ação governamental visando a coordenar os meios à disposição do Estado e as atividades privadas na realização de objetivos socialmente relevantes e politicamente renovados.

2.1.3 Obstrução do Sistema de Drenagem por Lixo

Segundo OLIVEIRA & LOPES (1997), o lixo pode ser definido como: “Todo e qualquer resíduo sólido originário de ações antrópicas ou produzido pela natureza em aglutinações urbanas (terra, folhas, galhos e outros)”. Sua classificação é feita segundo sua natureza, tipificando-se em subconjuntos divididos em: residencial, comercial, industrial e hospitalar. A importância da limpeza urbana passa por evitar efeitos maléficos do lixo, em termos de agentes físicos (problemas de obstrução e assoreamento); agentes químicos (contaminação da água superficiais, subterrâneas e poluição atmosférica advinda da queima); agentes biológicos (atrativo de vetores para doenças) e por ultimo aspectos de bem estar e estéticos (odor desagradável e poluição visual).

Observa-se a ocorrência de enchentes em locais que possuem um sistema de drenagem bem dimensionado, porém com falhas na coleta e destinação final adequada dos resíduos sólidos. Não são raros os casos de obstrução da rede de drenagem por móveis, colchões, veículos abandonados, sacos com lixos, cadáveres de animais domésticos, entre outros, Foto 14. Tudo sendo conduzidos para os canais e bueiros espalhados pela cidade. E, como efeito disso, o prenúncio da calamidade (inundação).

Solução política/educacional com a colaboração de toda população, evitando jogar lixo em vias públicas e nos cursos d'água. Campanhas, fiscalização, multas, ações

preventivas de limpeza e coleta de lixo permanentes, principalmente nos períodos de precipitações anunciados pelo serviço de meteorologia, são primordiais para manter os canais e bueiros desobstruídos.



Foto 14 – Lixo às margens do rio Alcântara, município de São Gonçalo
Fonte: TERRITÓRIO GONÇALENSE, 2011.

2.1.4 Drenagem Insuficiente

As ações humanas ineficazes, através de suas obras, públicas e particulares, podem atuar no agravamento das enchentes e inundações como, por exemplo, pode ser observado nas obras de construção de rodovias. Não é recomendável para a construção de rodovia e/ou de moradias um local muito íngreme, porque os movimentos de massa podem ser agravados devido aos cortes e aterros, indispensáveis para a sua construção. Estes movimentos de terra represam o escoamento das águas e provocam o assoreamento dos cursos d'água.

Além disso, as condições climáticas e morfológicas favorecem a ocorrência de movimentos de massa nas encostas e de fluxo de água de grande intensidade e volume em seus canais de drenagem permanentes e temporários. Estes processos vêm sendo observados no Estado do Rio de Janeiro e muitos dos principais desmoronamentos estão relacionados à abertura de estradas e escoamentos com drenagem insuficiente implicando na elevação do nível de risco para o ambiente, diretos e indiretos, (ANDRADE, 2011).

2.1.5 União da Rede de Esgoto Clandestina à Rede de Drenagem

A conexão da rede de esgotos à de drenagem é um problema sério nas grandes cidades e agrava os efeitos da inundação, além da disseminação de doenças, muitas vezes com um número de vítimas fatais maiores que da própria tragédia natural em si. Os esgotos são despejados nas galerias de águas pluviais e/ou sem qualquer tipo de tratamento, transformando os canais em receptores de esgoto, carreando efluentes contaminados para os rios e oceanos. Ademais, o sistema de drenagem pluvial não é dimensionado para receber o volume de esgotos.

2.1.6 Desmatamento

A cobertura vegetal tem fator primordial no acúmulo e retenção de água, nas copas, caules e raízes, possibilitando ainda a proteção do solo melhoria das suas características orgânicas biológicas, químicas e físicas, permeabilidade e velocidade de infiltração.

Possivelmente, pode-se correlacionar o desmatamento com outros fatores já mencionados em áreas rurais e urbanas, pois a falta desta cobertura significa que o solo está desprotegido e, provavelmente, erodido ou impermeável, por calçamentos, ruas, avenida, ou ocupado com outra construção qualquer que causou a remoção da vegetação. Na falta de uma cobertura florestal, enxurradas fluem rapidamente entre os canais e córregos, elevando os níveis dos rios, submetendo as cidades e áreas rurais à inundação, principalmente na estação chuvosa. Durante a estação de seca, tais áreas de desmatamento são propensas a meses prolongados de secas interrompendo a navegação fluvial, provocando prejuízos agrícolas e racionamento de abastecimento de água.

2.1.7 Retificação de Rios e Cursos d'Água

A retificação de rios e canais é uma forma de contornar uma enchente acelerando o escoamento por aumento da declividade. Resolve-se o problema em um determinado local, mas aumenta o risco de prejudicar outra localidade mais abaixo do curso do rio, se os cálculos de vazão não forem bem feitos. Outro aspecto a ser considerado é a proteção das margens e fundo do rio retificado para evitar os processos erosivos e permitir, com maior facilidade as operações de dragagem.

Atualmente, segundo SAUNDERS & REZENDE (2003), busca-se a morfologia mais natural dos rios, também chamada de renaturalização e que pode ser feita através de técnicas de engenharia ambiental, onde se procura transformar o trecho retificado em

meândrico, por meio de novas maneiras de construção. Como resultado do processo de renaturalização, ocorrem melhorias ambientais, tais como aumento ou restabelecimento da fauna e flora, além das vantagens econômicas para a região. No Brasil, um exemplo é o rio São Pedro localizado no município de Macaé, Estado do Rio de Janeiro onde foram realizadas obras de engenharia ambiental, arborização, tendo sido também promovido o crescimento da mata ciliar.

2.1.8 Regime e Índice de Pluviosidade

Evidente que o regime e o índice de pluviosidade têm relação direta com alagamentos e inundações e como o Brasil é um país tropical, nas estações de primavera/verão ocorrem as chamadas chuvas de verão ou convectivas, caracterizadas pela alta intensidade e curta duração aumentando os riscos das quedas de barreiras, deslizamentos de encostas e outros eventos. Estes eventos, isolados ou combinados, concorrem para as inundações, enchentes e alagamentos, como mostrado na Foto 15, causando transtornos e tragédias.



Foto 15 - Deslizamento na Estrada da Cachoeira, Município de Niterói
Fonte: FERREIRA, 2010.

2.1.9 Deslizamentos, Quedas e Escorregamentos

Os movimentos de solo influenciam diretamente, nas vazões dos cursos d'água, nos momentos em que ocorrem, podendo bloquear passagens do aguaceiro, provocando uma inundação (bloqueio parcial da vazão) ou alagamento (bloqueio total das águas).

Em um rio, quando uma dessas barreiras desmorona e cai, provoca no mínimo assoreamento desse rio, contudo, dependendo do volume desta barreira, pode chegar a represar totalmente esse rio e, neste caso, provocar uma inundação nas localidades acima da represa recém-formada. Ainda, posteriormente, com o rompimento dessa represa natural, inundar localidades abaixo dela ao longo do curso do rio. Sendo assim, uma causa totalmente natural, pode levar a uma tragédia.

Então, em se tratando de eventos naturais, a solução é o monitoramento geológico e meteorológico, além de fiscalizações periódicas para acionamento rápido das Defesas Cíveis com possíveis evacuações preventivas caso necessário, combinado com a retirada de obstruções antes do período das chuvas, quando os níveis d'água do rio começam a subir.

2.1.10 Obstrução e/ou Destruição da Rede de Drenagem por Ação Natural

Se o sistema de drenagem construído para a coleta das chuvas estiver obstruído e/ou destruído (Foto 16) torna-se ineficiente ocasionando, consequentemente, inundações em períodos de chuvas. Desta forma, são necessárias ações de fiscalizações periódicas para acionamento rápido da Defesa Civil para evacuação preventiva caso necessário, além dos entes federativos para reconstrução ou solução do problema.



Foto 16 – Obstrução de bueiros por raízes (visível – na superfície) de árvore
Fonte: WELLINGTON VIEIRA, 2000.

2.1.11 Declividade do Terreno

Este fator é determinante na velocidade do escoamento das águas. As regiões de baixadas são, normalmente, receptoras de águas e, conseqüentemente, sofrem processos de alagamentos em períodos chuvosos. Para evitar os transtornos oriundos das inundações/alagamentos, uma solução seria evitar a sua ocupação, ou implantar sistemas adequados de escoamento ou de bombeamento das águas represadas, pois a demora do processo de esgotamento natural poderia favorecer a disseminação de doenças de veiculação hídrica (cólera, dengue, leptospirose, hepatite A, etc).

2.1.12 Marés

Conforme mencionado por SANTANA, SOUZA & HARARI (2004), em regiões costeiras tropicais úmidas, a passagem de uma frente fria pode causar pluviosidade intensa que, se combinada aos efeitos de marés elevadas, poderá produzir acumulação de águas no interior de uma bacia de drenagem, superior àquela que os canais podem suportar, causando inundações em vastas áreas, durante algumas horas até semanas. Como mencionado anteriormente, os fatores causadores de inundações/enchentes são de origem natural e antrópica. Nas regiões costeiras os condicionantes naturais oceanográficos referem-se às marés e dinâmica de circulação costeira junto à desembocadura fluvial e os antrópicos às modificações do sistema de drenagem decorrentes de ocupação em áreas marginais aos canais, implantação de obras e/ou estruturas que alteram o comportamento da rede de drenagem, etc.

Sendo assim, as medidas citadas no item 2.1.11 serviriam como solução eficaz na minimização dos impactos decorrentes das chuvas.

CAPÍTULO III

LEGISLAÇÃO E ALTERNATIVAS PARA MINIMIZAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANO

3.1 LEGISLAÇÃO VIGENTE²

O atual modelo de urbanização apresentado nas cidades brasileiras tem se mostrado desordenado e inadequado, principalmente com relação ao sistema de drenagem. Durante o crescimento de uma cidade, esta recebe estruturas urbanas de todos os tipos, inclusive um sistema de drenagem urbano, dimensionados para sua situação. Ao longo do crescimento da cidade as superfícies do solo vão se tornando impermeáveis, já que há substituição de residências por prédios e todas as ruas das cidades são asfaltadas, impedindo que as águas das chuvas possam penetrar o solo e alterando o sistema natural de drenagem. As águas pluviais que antes infiltravam no solo, passam a escoar na superfície dos terrenos para as ruas, aumentando o fluxo e velocidade da água no sistema de drenagem, causando o transporte e deposição de sedimentos e erosão no solo.

O sistema de drenagem que havia sido projetado para um tipo de uso e ocupação do solo, passa a ficar subdimensionado, causando problemas de diversas proporções, como alagamento, transtorno no trânsito, inundação, escorregamento de encosta e transmitindo doenças. Em muitos casos esse sistema de drenagem não é redimensionado devido ao alto custo de projetar e executar, já que as cidades crescem em uma velocidade muito maior que o orçamento necessário para este tipo de intervenção.

Para que não ajam mais inundações e alagamentos, as cidades têm direcionado as ações para soluções alternativas, que não o redimensionamento do sistema, como grandes reservatórios de detenção, barragens, desvio de cursos d'água, entre outras. Além destas intervenções físicas, algumas cidades estão apresentando políticas públicas que envolvam os cidadãos para complementar o controle das enchentes urbanas. As cidades do Rio de Janeiro, Guarulhos, São Carlos, Porto Alegre, Ribeirão Preto, Osasco, Niterói, São Paulo e o Estado de São Paulo têm adotado ideias semelhantes nesse sentido, adaptando para as peculiaridades de cada cidade.

² Extraído e adaptado de COELHO, 2012.

Estas cidades exigem o uso de reservatórios de águas pluviais em loteamentos que possuem algum percentual de área impermeável, variando este percentual de acordo com o critério adotado por cada cidade, para a retenção temporária das águas pluviais que precipitam sobre cada lote, podendo captar através dos telhados, coberturas, pisos e áreas impermeáveis. Dessa forma esses lotes contribuem para o retardo do escoamento dessas águas para o sistema de drenagem público, já que esses reservatórios só podem ser esvaziados no sistema de drenagem após determinado tempo de encerramento da chuva.

Assim, o sistema de drenagem não terá a contribuição desses lotes no momento em que ocorrem as chuvas, reduzindo a velocidade do escoamento das águas pluviais, controlando a ocorrência de inundações, amortecendo e minimizando os problemas oriundos dos picos de vazão, facilitando o funcionamento do sistema e não necessitando de grandes obras para impedir as inundações e alagamentos.

A seguir são apresentadas as legislações referentes à utilização de reservatórios para retardo do escoamento das águas pluviais nos loteamentos.

3.1.1 Cidade de Guarulhos

A Lei nº 5.617 de 9 de novembro de 2000, tornou obrigatório a construção de reservatório de retenção nos lotes urbanos, edificados existentes ou no licenciamento da obra, conforme parâmetro relacionado na Tabela 1.

Tabela 1 – Área do lote x Volume de retenção

Área do Lote (m ²)	Volume de Retenção (litros)
125	500
250	1.000
300	1.500
400	2.000
500	2.500
600	3.500

Esta Lei determina que os lotes com área acima de 600 m² terão os reservatórios de retenção ou retenção com dimensionamento de volume de 6 litros/m² de área do lote. E ainda, todos os conjuntos habitacionais, áreas comerciais e industriais, loteamentos ou parcelamentos em áreas urbanas, com área superior a um hectare a serem aprovados pela Municipalidade, deverão apresentar estudo de viabilidade técnica e financeira para a construção de reservatório de retenção ou retenção para prevenir inundações.

Para o dimensionamento do reservatório de detenção ou retenção, a Lei determina que deva ser utilizado o método Flow Routing, sempre considerando o hidrograma do escoamento superficial e as curvas cota-volume do reservatório e do vertedor. No projeto deverá ser justificada a escolha da duração da chuva escolhida, assim como intensidade da chuva e período de retorno. Para a duração da chuva será escolhida a que fornecer o maior volume do reservatório, já para o período de retorno deverá, sempre que possível, atender aos estudos de benefício de custo.

3.1.2 Cidade de São Paulo

Através do Decreto nº 41.814 de 15 de março de 2002, tornou-se obrigatório para a cidade de São Paulo, a execução de reservatórios para águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m². Este é exigido nos projetos de reformas e obras novas de edificações.

Os estacionamentos em terrenos autorizados, existentes e futuros, deverão ter 30% de sua área com piso drenante ou com área naturalmente permeável. A Lei nº 11.228 de 25 de junho 1992, da cidade de São Paulo, estipula que os estacionamentos descobertos com área superior a 50 m² deverão ter piso drenante, quando seu pavimento se apoiar diretamente no solo.

Nas reformas é exigido pelo Decreto em questão, reservatório de retardo, quando houver acréscimo de área impermeabilizada igual ou superior a 100 m² e a somatória da área impermeabilizada existente e a construir resultar em área superior a 500 m², calculando o reservatório em relação à área impermeabilizada. É exigido quando há reformas sucessivas de edificações cujos acréscimos, a cada pedido de reforma junto à prefeitura de São Paulo, não atingem 100 m² e a somatória das áreas acrescidas é igual ou superior a 100 m², o reservatório dimensionado considerando-se toda a área impermeabilizada acrescida.

Este Decreto estipula que quando houver interesse do reuso da água de chuva, deverá ser construído outro reservatório para direcionar a água retida no reservatório de retardo.

O Decreto ainda estipula que se atendam as normas relacionadas a este tipo de projeto, sanitárias e de construção, assim como que a instalação do sistema conduza toda água captada por telhados, coberturas, terraços e pavimentos ao reservatório.

Através da Lei nº 11.228, ficou estabelecido que as condições naturais de absorção das águas pluviais nos lotes, deverão ser garantidas pela execução de reserva de, no mínimo 15% da área do terreno livre de pavimentação ou construção, ou construção de reservatório ligado ao sistema de drenagem.

3.1.3 Cidade de São Carlos

A Lei nº 13.246 de 27 de novembro de 2003, estipula que todos os conjuntos habitacionais, áreas comerciais e industriais, loteamentos ou parcelamentos em áreas urbanas, com área superior a um hectare a serem aprovados pela Municipalidade, deverão apresentar estudo de viabilidade técnica e financeira para a construção de reservatório de detenção ou retenção para prevenir inundações. Esta Lei determina a obrigatoriedade da construção de um reservatório de detenção nos lotes urbanos, nas reformas ou no licenciamento da obra, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Área do lote x Volume de retenção

Área do Lote (m ²)	Volume de Retenção (litros)
250	1.000
300	1.500
400	2.000
500	2.500
600	3.500

Os lotes com área acima de 600 m² terão os reservatórios de detenção ou retenção com dimensionamento de volume de 6 litros/m² de área do lote.

Para o dimensionamento final do reservatório de retardo, a Lei nº 13.246 determina que deva ser utilizado o método "Flow Routing", sempre considerando o hidrograma do escoamento superficial e as curvas cota-volume do reservatório e do vertedor.

3.1.4 Cidade do Rio de Janeiro

Na cidade do Rio de Janeiro, através do Decreto nº 23.940 de 30 de janeiro de 2004, tornou-se obrigatório a construção de reservatório para o retardo do escoamento das águas pluviais, para empreendimentos que possuam área impermeabilizada superior a 500 m². Este Decreto determinou que:

- Edificações residenciais multifamiliares, industriais, comerciais ou mistas que apresentem área do pavimento de telhado superior a 500 m² e, no caso de residenciais multifamiliares, com cinquenta ou mais unidades, obrigatoriedade da existência de reservatório para reuso da água pluvial para fins não potáveis;
- Locais descobertos para estacionamento ou guarda de veículos para fins comerciais devem ter 30% de sua área com piso drenante ou com área naturalmente permeável; e
- Nas reformas, o reservatório será exigido quando a área acrescida, ou no caso de reformas sucessivas, a somatória das áreas for igual ou superior a 100 m² e a somatória da área impermeabilizada existente e a construir resultar em área superior a 500 m², sendo o reservatório calculado em relação à área impermeabilizada acrescida.

Foram excluídos da obrigatoriedade deste Decreto, empreendimentos que as águas pluviais deságuam diretamente em lagoas ou no oceano e no caso em que o empreendimento deságue em rede de drenagem que prossiga até o deságue final em lagoas ou no oceano. O Decreto ainda estipula que se atendam as normas relacionadas a este tipo de projeto, sanitárias e de construção, assim como que a instalação do sistema conduza toda água captada por telhados, coberturas, terraços e pavimentos ao reservatório.

O dimensionamento da capacidade dos reservatórios para retardo das águas pluviais foi estabelecido através do Decreto nº 23.940, com base na seguinte equação:

$$V = k \cdot A_i \cdot h \quad (1)$$

onde:

V volume do reservatório, em m³.

k coeficiente de abatimento, correspondente a 0,15.

A_i área impermeabilizada, em m².

h altura de chuva, em m.

3.1.5 Cidade de Ribeirão Preto

Através da Lei nº10.368, de 18 de abril de 2005, tornou-se obrigatório a execução de sistemas de infiltração e ou de reservação de águas pluviais para toda e qualquer obra, particular ou pública, construção, reforma e ou ampliação, com área coberta igual ou superior a 200 m².

A Lei determina que os lotes localizados na ZUD (Zona de Uso Disciplinado), descrita no Zoneamento Ambiental estabelecido no Plano Diretor do Município (Lei Complementar nº 501/95), o volume de água pluvial captado deverá ser conduzido a um sistema de reservação destinado para usos não potáveis, abastecimento de bacias sanitárias, lavagens de pisos, irrigação de jardins, dentre outros. É facultada ao Poder Executivo Municipal a concessão de incentivos fiscais aos proprietários de edificações já existentes como forma de indução ao cumprimento das disposições da lei.

A Lei tornou obrigatória a captação de águas pluviais para toda e qualquer obra particular ou pública de edificação, construção e ou reforma e ou ampliação, com área coberta igual ou superior a 200 m² na razão de 60 l/m² de cobertura.

3.1.6 Cidade de Porto Alegre

O Decreto nº 15.371, de 17 de novembro de 2006, determina que toda ocupação que resulte em superfície impermeável, deverá possuir uma vazão máxima específica de saída para a rede pública de águas pluviais igual a 20,8 l/s.ha. Este Decreto considera área impermeável toda superfície que não permita a infiltração da água para o subsolo e direciona que sejam utilizadas as regras de dimensionamento e construção para os reservatórios de retenção de águas pluviais, o Manual de Drenagem Urbana do Plano Diretor de Drenagem Urbana da Cidade de Porto Alegre.

De acordo com este Decreto, somente as áreas de recuo mantidas como áreas verdes podem drenar as águas pluviais diretamente para o sistema de drenagem urbano. Os terrenos com área inferior a 600 m² e para habitações unifamiliares, a limitação da vazão a ser direcionada para a rede pública de águas pluviais poderá ser desconsiderada, ficando a critério do Departamento de Esgoto Pluviais (DEP) de Porto Alegre.

Após aprovação do projeto de drenagem pluvial pelo DEP, é vedada qualquer impermeabilização adicional de superfície, exceto quando houver retenção do volume adicional gerado pela equação do volume do reservatório de detenção.

O manual de drenagem urbana estipula que no caso do dimensionamento de um reservatório para retardo da drenagem das águas pluviais, para projetos com área de até 100 hectares, deve-se seguir a equação expressa por:

$$V = 4,25 \cdot A \cdot AI \quad (2)$$

onde:

V volume do reservatório, em m³.

A área drenada para jusante do empreendimento, em ha.

AI área impermeável que drena a precipitação para os condutos pluviais, porcentagem.

O Decreto permite a redução do volume do reservatório da equação (2), através do uso de medidas de controle na fonte. Na Tabela 3 apresenta as porcentagens de reduções da área impermeável no cálculo do volume do reservatório.

Tabela 3 – Porcentagem de reduções da área impermeável

Tipo de medida	Redução da área impermeável (%)
Drenagem de 100% de superfície impermeável para uma área de infiltração com drenagem	40
Drenagem de 100% de superfície impermeável para uma área de infiltração sem drenagem	80
Drenagem de 100% da superfície impermeável para pavimento permeável	50
Drenagem de 100% da superfície impermeável para trincheira de infiltração	80

Já para as áreas superiores a 100 hectares o Manual de Drenagem Urbana da cidade determina que se deva apresentar um estudo hidrológico específico, a critério do projetista. No entanto, o Manual sugere que se determinem os hidrogramas de pré e pós-desenvolvimento, utilizando o procedimento de transformação chuva-vazão, assim como a propagação do hidrograma em reservatório utilizando o algoritmo de Puls. O dimensionamento do reservatório segue as seguintes etapas: disposição espacial do reservatório, determinação do volume e dimensionamento hidráulico dos dispositivos de saída.

3.1.7 Estado de São Paulo

A Lei nº 12.526, de 2 de janeiro de 2007, tornou obrigatório a implantação de sistema para captação e retenção de águas pluviais, coletadas por telhados, coberturas,

terraços e pavimentos cobertos, em lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m².

Esta Lei determina que em estacionamentos e similares, 30% da área total ocupada deve ser revestida com piso drenante ou reservado com área naturalmente permeável e que a água retida no reservatório deverá preferencialmente infiltrar no solo, ser despejada na rede pública após uma hora de chuva ou ser utilizada para fins não potáveis, caso haja reservatório específico para esse uso.

O reservatório de retardo deva ser dimensionado com base na seguinte equação:

$$V = 0,15 \cdot A_i \cdot IP \cdot t \quad (3)$$

onde:

V volume do reservatório, em m³.

A_i área impermeabilizada, em m².

IP índice pluviométrico, igual a 0,06 mm/h.

t tempo de duração da chuva, igual a uma hora.

3.1.8 Cidade de Niterói

A Lei n° 2630, de 7 de janeiro de 2009, determina que as novas edificações, públicas ou privadas, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m² deverão ser dotadas de reservatório de águas pluviais. A Lei determina que o reservatório de águas pluviais possa ser de acumulação ou de retardo.

O artigo 11 desta Lei explicita que as águas pluviais provenientes de pavimentos descobertos impermeáveis, tais como estacionamentos, pátios, terraços e similares deverão ser encaminhadas diretamente ao reservatório de retardo. Esta ainda determina que sejam atendidas condições básicas como resistência a esforços mecânicos, acesso fácil para manutenção, existência de extravasor, garantia de esgotamento total, além do orifício de descarga.

A Lei determina que os reservatórios de retardo, destinados ao acúmulo de águas pluviais e posterior descarga na rede de águas pluviais, deverão ter o seu volume expresso por:

$$V = K \cdot A_i \cdot h \quad (4)$$

onde:

V volume do reservatório, em m³.

K coeficiente de abatimento, igual a 0,15.

- AI área impermeabilizada, em m².
 h altura pluviométrica, igual a 0,07 metros.

A Lei ainda determina que o orifício de descarga, que deve ser ligado à rede pública de drenagem, dimensionado de forma a limitar a vazão máxima do orifício a 20% do deflúvio superficial da área impermeabilizada, considerada a intensidade máxima da precipitação correspondente ao tempo de recorrência de dez anos.

3.1.9 Cidade de Osasco

A Lei nº 4.382, de 10 de dezembro de 2009, dispõe sobre a obrigatoriedade de execução de reservatório para água coletada por coberturas e área pavimentadas nos lotes, edificados ou não, com área superior a 500 m², que tem como critério básico a redução da contribuição da água da chuva no pico de cheia.

Esta Lei considera áreas impermeabilizadas, em lotes edificados, todas as áreas com coberturas mais a área pavimentada não coberta. Já para lotes não edificados, usados como estacionamento, pátio de manobras e afins, as áreas impermeabilizadas são consideradas como área pavimentada não coberta.

Ainda obriga que seja instalado um sistema que conduza toda água captada por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos ao reservatório de retenção. A água contida pelo reservatório poderá infiltrar-se no solo ou ser despejada na rede pública de drenagem após uma hora de chuva, ou ainda ser conduzida para outro reservatório para ser utilizada para finalidades não potáveis.

Fica garantido que em cada lote, independentemente do zoneamento, haverá no mínimo 15% da área do mesmo com cobertura vegetal que propicie a percolação da água para alimentação do lençol freático. Os estacionamentos em terrenos autorizados, existentes e futuros, deverão ter 60% de sua área com piso drenante ou com área permeável.

A capacidade do reservatório de retardo é calculada com base na seguinte equação:

$$V = 0,10 \cdot AI \cdot IP \cdot t \quad (5)$$

onde:

- V volume do reservatório, em m³.
 AI área impermeabilizada, em m².
 IP índice pluviométrico, igual a 0,08 mm/h.

t tempo de duração da chuva, igual a uma hora.

Existe, ainda, a norma NBR-15527, Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos, instituída em “setembro de 2007 pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que prevê, entre outras coisas, os requisitos para o aproveitamento da água pluvial coletada em coberturas de áreas urbanas e aplica-se a usos não potáveis em que as águas podem ser utilizadas após o tratamento adequado”, (SILVEIRA, 2008).

E finalmente, o Governo Federal junto com o Ministério das Cidades (Mcidades), lançou no ano de 2006 um programa de desenvolvimento urbano, intitulado de Drenagem Urbana Sustentável, visando incentivar políticas de ocupação do solo, uso e gestão das bacias hidrográficas através da proposição de ações estruturais e não-estruturais, pelos municípios, restaurando áreas úmidas, prevenção, controle e minimização dos impactos decorrentes das inundações nos ambientes urbanos e ribeirinhos. O programa é operado com recursos do Orçamento Geral da União (OGU) e abrange governos federal, estadual e municipal. Apresenta como direções prioritárias neste programa, a implantação de um sistema de ações na gestão pública da drenagem urbana dos municípios em acordo com as diretrizes do Plano Diretor de Drenagem Urbana e/ou de Manejo das Águas Pluviais. Caso este não exista, a prioridade de ação para o seu desenvolvimento, aplicando os princípios do Manejo Sustentável das Águas Pluviais Urbanas, (SILVEIRA, 2011).

3.2 ALTERNATIVAS PARA MINIMIZAR A CONTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS DE CHUVA NO SISTEMA DE DRENAGEM URBANO

Uma solução urbana para o verde são os ecos pavimentos, utilização de materiais permeáveis, construção de reservatórios para acumulação de águas de chuva e a manutenção e reflorestamentos de áreas verdes nas pequenas e grandes cidades.

3.2.1 Eco-pavimento

O eco-pavimento difere dos sistemas de pavimento convencionais por apresentar melhor desempenho sob o ponto de vista ambiental, estético e econômico, Foto 17. Além de ser o pavimento permeável que menos acumula calor, com menor índice de reflexão, ele retém a água da chuva evitando a poluição em corpos receptores, bem como favorece o processo de infiltração no solo e, conseqüentemente, minimiza a contribuição pluvial ao sistema de drenagem.



Foto 17 - Eco-pavimento com grama
Fonte: ECOTELHADO, 2012.

3.2.2 Concreto Permeável

Segundo POLASTRE & SANTOS (2006), concreto permeável é um tipo de concreto com alto índice de vazios interligados, preparado com pouca ou nenhuma areia, o que permite a passagem desobstruída de água. Se utilizado como pavimentação externa, captura a água da chuva e permite que ela infiltre diretamente no solo, aliviando, assim, o sistema público de drenagem, Foto 18. A aplicação do concreto permeável permite recarregar os aquíferos subterrâneos e reduzir a velocidade e a quantidade do escoamento superficial das águas pluviais. Além disto, permite uma utilização mais eficiente do solo, uma vez que minimiza outras obras de micro-drenagem, como pontos de retenção da água, valas etc.

No concreto permeável, quantidades controladas de água e cimento formam um espesso revestimento em torno das partículas agregadas. Assim, criam-se muitos vazios interligados, que deixam a peça altamente permeável. Normalmente, consegue-se um índice de 15 a 25% de vazios e um escoamento de água da ordem de $200\text{L}/\text{m}^2/\text{min}$. A alta porosidade reduz a resistência deste material em relação ao concreto comum, de modo que ele não se presta a todo tipo de tráfego, mas é adequado à maior parte dos locais de tráfego leve ou pouco intenso.



Foto 18 - Concreto permeável

Fonte: ECOTELHADO, 2012.

3.2.3 Pavimentos Permeáveis

Os pavimentos permeáveis são definidos como aqueles que possuem espaços livres na sua estrutura onde a água e o ar podem atravessar, eles podem ser utilizados como via para pedestres, estacionamentos e para tráfego de veículos ao mesmo tempo em que permitem a infiltração da água, colaborando assim com a diminuição das superfícies impermeabilizadas na cidade. Estes pavimentos reduzem o escoamento superficial e retardam a chegada da água ao sistema de drenagem. A camada de base granular ainda funciona como um filtro para a água da chuva, reduzindo a sua contaminação. Podem ser utilizados em pátios residenciais, comerciais e industriais, estacionamentos, calçadas e vias de tráfego leve. Para sua execução, utiliza-se concreto poroso moldado in loco ou peças pré-moldadas de concreto. O concreto poroso moldado in loco possui poros que permitem a infiltração de água, para isso utilizam-se agregados com poucos ou sem finos, resultando nos vazios por onde a água passa. Também podem ser utilizadas peças pré-moldadas de concreto, que dependendo da sua dimensão são classificadas como peças de concreto para pavimentação intertravada (Foto 19) ou como placas de concreto, (MARCHIONI & SILVA, 2010).



Foto 19 - Piso intertravado

Fonte: GRILLI, 2011.

3.2.4 Reservatórios de Acumulação Temporária do Escoamento Superficial

Os reservatórios para acumulação temporária das águas de chuva podem ter dois tipos de acumulação, independentemente das dimensões do reservatório, não controlada e controlada, Figuras 1 e 2. Na acumulação não controlada, não há regulação da capacidade de deflúvio, as estruturas geralmente dispõem de sangradouro para o deflúvio e as únicas vantagens delas, nas cheias, resultam dos efeitos da modificação e retardamento da armazenagem. Na controlada, as comportas das estruturas de barragem podem regular o deflúvio, do modo que julgar conveniente, (STUDART, 2006).

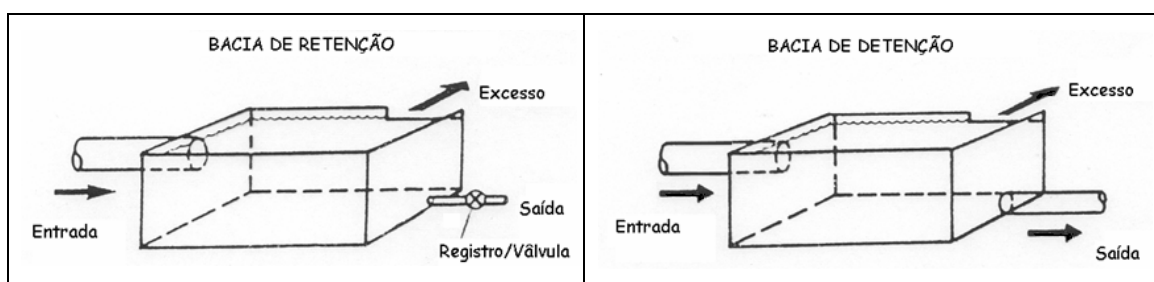


Figura 1 – Reservatório de Acumulação com controle

Figura 2 – Reservatório de Acumulação sem controle

Fonte: NETTO, 2004.

Vale destacar que estes reservatórios podem ser adotados como solução tanto nas áreas urbanas como nas zonas rurais.

CAPÍTULO IV

MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 A BACIA DO RIO ICARAÍ

A bacia do rio Icaraí está localizada na região das praias do município de Niterói, tendo como bacias hidrográficas limítrofes as bacias do centro de Niterói, Fonseca, Pendotiba e Cachoeira. Ela está localizada entre as coordenadas 7.465.000 e 7.467.000 (norte) e 694.000 e 697.000 (leste), como mostrado na Figura 3. Os bairros pertencentes à bacia são: Icaraí, Cubango, Viçoso Jardim, Vital Brazil, Santa Rosa, Pé Pequeno e Viradouro, e a sua área de drenagem é de 7,4 km², (HIDROUFF, 2006).

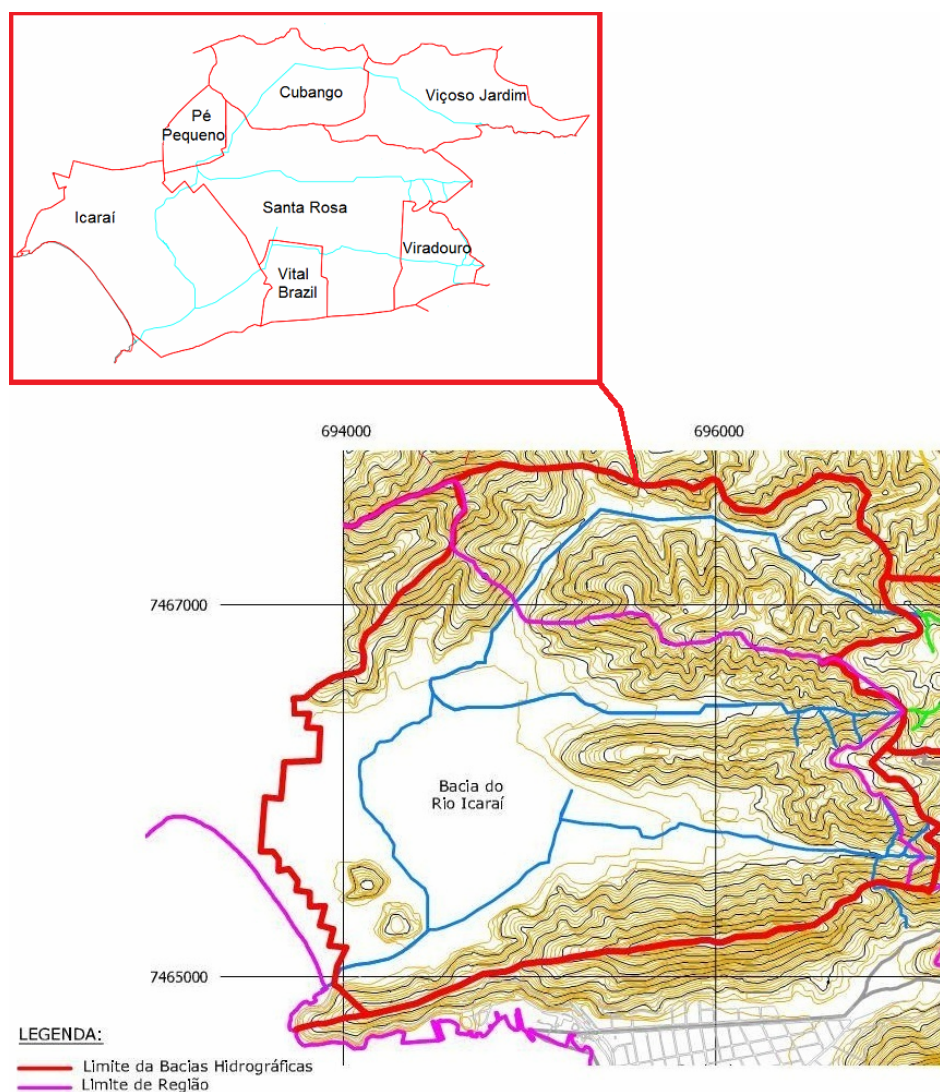


Figura 3 – Bacia do Rio Icaraí
Fonte: HIDROUFF, 2006.

Segundo o ACERVO FAN (2012), Icarahy, em tupi-guarani, significa água ou rio sagrado. A origem do bairro remonta à Freguesia de São João de Carahy, parte integrante da Sesmaria dos Índios, concedida a Araribóia em 1568. A região era uma imensa planície arenosa, em parte alagadiça, rodeada por morros, e que se estendia da praia até a atual Rua de Santa Rosa, da aba do Morro do Calimbá (proximidades da Rua Dr. Paulo César) até o Morro do Cavalão. Vindo da Fazenda da Boa Vista com o nome de Calimbá, o rio Icaraí descia ao longo da Rua do Cubango (atual Rua Noronha Torreção) até cruzar o caminho do Calimbá ou Carymbá (rua Dr. Paulo César), nas proximidades do atual Largo do Marrão, seguindo a partir daí com o nome de Icaraí (ou Carai). Atravessava um grande lodaçal – o Campo de São Bento – onde a ele se juntava um pequeno curso d'água, originário de Santa Rosa, e desaguava na foz da Ponta do Cavalão junto ao morro. Daí a conhecida designação de “canto do rio”, localizado no final da Praia de Icaraí. Hoje o rio Icaraí se encontra canalizado em toda a sua extensão. Pode-se vislumbrá-lo entre os edifícios e as novas construções do bairro, e ao longo da Avenida Ary Parreiras até a praia, local de deságüe, onde foi coberto por uma laje de concreto.

Para o levantamento dos principais pontos de alagamento da cidade e proposição de uma alternativa para minimização dos impactos causados por enchentes, foi realizada uma entrevista com técnicos da Divisão de Rios e Ralos da Diretoria de Manutenção da Prefeitura de Niterói. Além disso, foram realizadas duas visitas a campo no mês de janeiro de 2012, visando o levantamento cadastral *in situ* das ruas sujeitas as inundações frequentes, bem como do espaço do Estádio Caio Martins que poderia ser utilizado como um reservatório para a acumulação, a laminação e o controle de cheias. Os dados fornecidos pela Prefeitura e os resultados dos levantamentos de campo encontram-se descritos detalhadamente no Capítulo V.

4.2 CHEIAS DE PROJETO³

Para definição das vazões de enchentes, também denominadas de cheias de projeto, e dos hidrogramas de cheias é usual a adoção do método do hidrograma unitário triangular, desenvolvido pelo *United States Soil Conservation Service* (SCS), do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

Hidrograma é o gráfico que relaciona a vazão com o tempo, ou seja, a partir de um volume de água precipitado (chuva) pode-se conhecer o volume de água escoado

³ Adaptado de ELETROBRÁS, 1999.

superficialmente (vazão) no tempo. O SCS apresentou uma formulação que define um hidrograma sintético, de forma triangular, com inclinação tal que a área do hidrograma corresponda ao deflúvio (volume escoado superficialmente) da bacia. A Figura 4 apresenta a forma do hidrograma unitário triangular (HUT), bem como os parâmetros que o caracterizam.

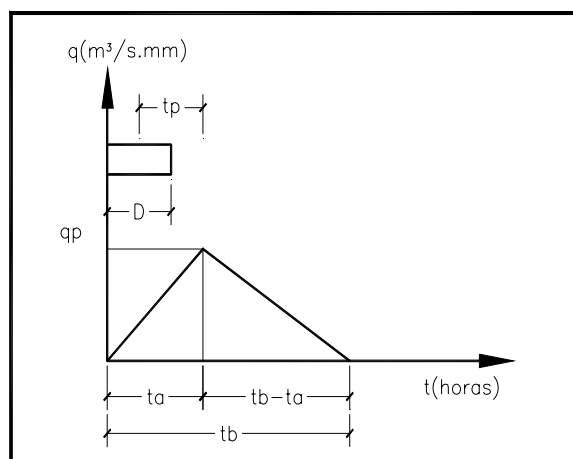


Figura 4 - Hidrograma Unitário Triangular
Fonte: ELETROBRÁS, 1999.

onde:

$$tp = 0,6tc \quad (6)$$

$$ta = \frac{D}{2} + tp \quad (7)$$

$$tb = 2,67.ta \quad (8)$$

$$qp = 0,0208 \frac{A}{ta} \quad (9)$$

$$\frac{1}{5} tc \leq D \leq \frac{1}{3} tc \quad (10)$$

onde:

tc tempo de concentração da bacia, em horas. O tempo de concentração mede o tempo necessário para que toda a bacia contribua para o escoamento superficial numa seção considerada, ou seja, é o tempo em que a gota, que se precipita no ponto mais distante da seção considerada de uma bacia, leva para atingir esta seção.

tp tempo de retardamento da bacia ou tempo decorrido entre o centro de gravidade da chuva até o pico do HUT, em horas.

- ta tempo de ascensão do HUT, em horas.
 tb tempo de base ou duração do HUT, em horas.
 qp vazão máxima ou pico do HUT, em m³/s.mm.
 D duração da chuva unitária, em horas.
 A área da bacia, em km².

Como na maioria dos casos a chuva é definida em um local ou posto pluviométrico, deve-se distribuí-la uniformemente por toda a bacia. Para a definição das precipitações críticas a serem transformadas em hidrogramas de projeto, é necessário que se definam algumas características, tais como: a duração, a evolução cronológica das intensidades e a distribuição espacial. Quanto à duração da chuva, adota-se como critério geral a duração igual ao tempo de concentração. Quanto à evolução cronológica das intensidades, a distribuição recomendada pelo SCS, corresponde a ocorrência das maiores intensidades no centro do intervalo de tempo. Finalmente, na consideração do efeito da distribuição espacial da chuva, é recomendada a aplicação de um critério de transformação chuva-ponto em chuva-área, que no presente estudo refere-se a formulação proposta por TABORGA (1975). A transformação da chuva pontual em distribuída é possível através da aplicação da seguinte expressão:

$$P = P_o \cdot \left(1 - W \cdot \log \frac{A}{A_o} \right) \quad (11)$$

onde:

- P chuva distribuída, em mm.
 P_o chuva pontual, em mm.
 A área da bacia em estudo, em km².
 A_o área da bacia, em km², para a qual P = P_o.
 W fator de correlação.

De modo geral, A_o = 25 km² e W, segundo Taborga, para o Brasil é igual a 0,10. Efetuando-se as devidas substituições, a equação pode ser assim reescrita:

$$P = P_o \cdot \left(1 - 0,10 \cdot \log \frac{A}{25} \right) \quad (12)$$

Definida a chuva distribuída, é necessária a caracterização da capacidade de infiltração do solo, da cobertura vegetal e do tipo de ocupação da bacia onde se insere o local em estudo. Este parâmetro é definido por:

$$S = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (13)$$

onde:

S retenção potencial do solo, em mm.

CN complexo solo-vegetação, ou “curve number”, função do tipo de ocupação da bacia, cujos valores são tabelados e apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores recomendados de CN

Uso da Terra	Superfície	Tipo de solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceamento em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	99
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densos, de alta transpiração	25	55	70	77
Florestas	Muito esparsas, de baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, de alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: VILLELA (1975).

Para a construção do hidrograma, falta definir a precipitação efetiva, que representa a parcela da chuva que gera o escoamento superficial. A precipitação efetiva, P_e , é função da chuva distribuída e do valor de S e é definida pela seguinte equação:

$$P_e = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \rightarrow \text{para } P > 0,2 \cdot S \quad (14)$$

$$P_e = 0,0 \rightarrow \text{para } P < 0,2 \cdot S \quad (15)$$

4.2.1 Chuvas Intensas

A intensidade máxima de chuva representa a quantidade de água precipitada na unidade de tempo, para uma precipitação com determinado período de retorno e com duração igual ao tempo de concentração.

No âmbito do presente estudo, foram consideradas as equações de chuvas intensas estabelecidas pelo Departamento de Estradas e Rodagens do Estado do Rio de

Janeiro (DER-RJ) em um estudo desenvolvido em 1989. Conforme preconizado por DER-RJ (1989), as chuvas intensas podem ser expressas pela seguinte equação:

$$I = \frac{a \cdot T^b}{(t + c)^d} \quad (16)$$

onde:

I intensidade de chuva, em mm/h.

T tempo de recorrência, em anos. Também chamado de período de retorno, representa o intervalo de tempo estimado de ocorrência de um determinado evento. É definido como sendo o inverso da probabilidade de um evento ser igualado ou ultrapassado.

t duração da chuva, em minutos.

a,b,c,d constantes representativas de cada posto de chuva.

4.3 PROPAGAÇÃO E LAMINAÇÃO DAS VAZÕES DE ENCHENTES ATRAVÉS DE RESERVATÓRIOS COM VOLUMES DE ESPERA⁴⁵

A metodologia da propagação e amortecimento de uma cheia com qualquer tempo de recorrência em um reservatório com volume de espera e sua laminação através de vertedouro, considerando a presença ou não de descarregador de fundo, segue a seguinte formulação matemática, a partir da equação de continuidade (TUCCI, 1998):

$$\frac{dS}{dt} = I - Q \quad (17)$$

onde:

S volume acumulado ou armazenado, em m³.

I vazão afluente, em m³/s.

Q vazão defluente, em m³/s.

A equação (17) pode ser descrita em intervalos discretos como se segue:

$$\frac{S_{t+\Delta t} - S_t}{\Delta t} = \bar{I} - \bar{Q} \quad (18)$$

Onde $\bar{I}$ e $\bar{Q}$ representam os valores médios da vazão afluente e defluente do reservatório ao longo do intervalo de tempo Δt .

Considerando uma variação linear de I e Q ao longo de Δt , a equação (18) pode ser assim reescrita:

⁴ Extraído de HORA & MARQUES, 2010.

⁵ Extraído de HORA & NORONHA (prelo).

$$\frac{S_{t+\Delta t} - S_t}{\Delta t} = \frac{I_t + I_{t+\Delta t}}{2} - \frac{Q_t + Q_{t+\Delta t}}{2} \quad (19)$$

Onde I_t ; $I_{t+\Delta t}$; Q_t ; $Q_{t+\Delta t}$ são os valores no início e no final do intervalo de tempo.

Nesta equação, em cada intervalo de tempo, são conhecidas a vazão de entrada no tempo t e em $t + \Delta t$; a vazão de saída no intervalo de tempo t ; e o volume armazenado no intervalo t . Não são conhecidos os termos $S_{t+\Delta t}$ e $Q_{t+\Delta t}$, e ambos dependem do nível de água.

Uma forma simples de calcular a propagação de vazão num reservatório é o método Goodrich, citado em SCHULZ (1989). Neste método, a equação (19) é reescrita como:

$$\frac{2 \cdot S_{t+\Delta t}}{\Delta t} + Q_{t+\Delta t} = I_t + I_{t+\Delta t} + \left[\frac{2 \cdot S_t}{\Delta t} - Q_t \right] \quad (20)$$

Onde os termos desconhecidos aparecem no lado esquerdo e os termos conhecidos aparecem no lado direito.

A solução da equação (20) é alcançada a partir das seguintes etapas, conforme preconizado por TUCCI (1998):

- Definir uma curva cota x volume.
- Definir uma equação característica do vertedouro.
- Calcular a função armazenamento $\frac{2 \cdot S_t}{\Delta t} + Q_t$, expressa em m^3/s .
- Estabelecer uma equação relacionando $\frac{2 \cdot S_t}{\Delta t} + Q_t$ com a vazão vertida.
- Calcular a soma de I_t e $I_{t+\Delta t}$.
- Com o resultado do passo anterior e com base no valor de $\frac{2 \cdot S_t}{\Delta t} - Q_t$ para o intervalo de tempo anterior, calcular $\frac{2 \cdot S_{t+\Delta t}}{\Delta t} + Q_{t+\Delta t}$ pela equação (19).
- Obter o valor de $Q_{t+\Delta t}$ pela equação definida na etapa (d).
- Calcular o valor de $\frac{2 \cdot S_{t+\Delta t}}{\Delta t} - Q_{t+\Delta t}$ a partir da equação:
$$\frac{2 \cdot S_{t+\Delta t}}{\Delta t} - Q_{t+\Delta t} = \frac{2 \cdot S_{t+\Delta t}}{\Delta t} + Q_{t+\Delta t} - 2 \cdot (Q_{t+\Delta t}) \quad (21)$$
- Repetir o processo a partir da etapa (e) para o próximo intervalo de tempo (*reservoir routing*).

4.3.1 Curva de Capacidade do Vertedouro

O tipo mais usual de vertedouro é aquele cujas principais características hidráulicas do arranjo são: soleira livre com perfil Creager e paramento de montante vertical. A equação que expressa a vazão vertida para este tipo de estrutura é:

$$Q_{\text{VERT}} = C \cdot L \cdot H_d^{3/2} \quad (22)$$

onde:

- Q_{VERT} vazão vertida, em m^3/s .
 C coeficiente de vazão, em $\text{m}^{1/2}/\text{s}$, e adotado como igual a 2,08.
 L largura da crista do vertedouro, em m.
 H_d carga hidráulica total sobre a crista do vertedouro, em m.

4.3.2 Curva de Capacidade do Descarregador de Fundo

O tipo mais usual de descarregador de fundo de uma barragem é o circular, cuja curva de capacidade de descarga é definida através da seguinte equação:

$$Q_{\text{DESC}} = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} \quad (23)$$

onde:

- Q_{DESC} vazão defluente pelo orifício, em m^3/s .
 μ coeficiente de descarga do orifício, considerado igual a 0,6.
 A área do orifício, em m^2 .
 g aceleração da gravidade e igual a $9,81 \text{ m/s}^2$.
 H carga hidráulica, em m.

4.3.3 Critérios Adotados

Para a implementação do modelo matemático descrito, foram levados em consideração os seguintes critérios:

- Na definição das equações das curvas cota x volume e $(2S/\Delta t + Q) \times Q_{\text{vertida}}$, foram escolhidas equações do tipo polinomial.
- Na equação (23), foi considerado que o orifício está afogado por montante e com descarga livre a jusante.

As vazões vertida e liberada pelo descarregador de fundo afetam o volume do reservatório simultaneamente, portanto a variação do armazenamento é uma função destas duas parcelas. Em virtude do esforço computacional necessário para o

processamento, adotou-se que a vazão do descarregador de fundo seria somada à vazão descarregada pelo vertedouro.

A partir da metodologia descrita anteriormente, HORA & NORONHA (prelo) desenvolveram uma ferramenta computacional em planilha eletrônica para o cálculo da propagação e laminação de hidrogramas de cheias de projeto em reservatórios com volume de espera (vazio) e com descarregador de fundo. A presente pesquisa considerou as simulações a partir do uso desta ferramenta computacional.

CAPÍTULO V

RESULTADOS ENCONTRADOS

5.1 LEVANTAMENTO DAS PRINCIPAIS ÁREAS DE INUNDAÇÃO

Para o levantamento dos principais pontos de alagamento da cidade, foi realizada uma entrevista com técnicos da Divisão de Rios e Ralos da Diretoria de Manutenção da Prefeitura de Niterói. Na ocasião, foi entregue uma planta cadastral dos bairros do Centro, Icaraí e Santa Rosa com os seguintes pontos de maior frequência de alagamento:

- Rua Mario Vianna esquina com a Avenida Padre Francisco Lana,
- Avenida Almirante Ary Parreiras entre Lemos Cunha e Avenida Governador Roberto Silveira,
- Avenida 7 de Setembro entre as ruas Lemos Cunha e Gavião Peixoto,
- Rua Mariz e Barros entre a Avenida Governador Roberto Silveira e rua Gavião Peixoto,
- Rua 5 de Julho entre a rua Gavião Peixoto e Avenida Governador Roberto Silveira,
- Rua Domingues de Sá em frente ao Campo de São Bento,
- Rua Lopes Trovão entre as ruas Mem de Sá e João Pessoa,
- Rua Presidente Backer entre a rua Mem de Sá e o Largo do Marrão,
- Rua General Pereira da Silva entre a Avenida Roberto Silveira e a rua Paulo César,
- Avenida Governador Roberto Silveira da rua Miguel Couto até a rua Pereira da Silva,
- Rua Dr. Paulo César entre o Largo do Marrão e a rua Mario Alves,
- Rua Santos Dumont entre as ruas Presidente Backer e Dr. Paulo César,
- Rua Presidente João Pessoa entre as ruas Lopes Trovão e Dr. Paulo César
- Avenida Marques de Paraná em frente ao Hospital Universitário Antonio Pedro e esquina com a rua Marechal Deodoro,
- Rua Marechal Deodoro em frente aos dois prédios da Universidade Universo até a Avenida Marques de Paraná,

- Rua São Lourenço nos dois primeiros quarteirões.

Da relação, observa-se que dos 16 pontos frequentes de enchentes, 13 estão localizados na bacia contribuinte ao rio Icaraí, excluindo-se apenas os 3 últimos. Esta relação foi considerada como um indicador de relevância para a proposição de uma alternativa de minimização das enchentes nesta bacia.

Segundo HIDROUFF (2006), os principais aportes fluviais da bacia são os canais Noronha Torrezão, Martins Torres e Ary Parreiras. Destes, o maior é o canal da Noronha Torrezão que tem uma extensão em torno de 8 km. A partir de um estudo detalhado das plantas cadastrais fornecidas pela Prefeitura de Niterói e das imagens do Google Earth, verificou-se que para uma possível viabilização de implantação de um reservatório para controle de cheias, a única área disponível na região é o terreno do Estádio Caio Martins.

Com base no exposto, o presente estudo buscou contemplar um sistema de amortecimento dos picos de enchentes formados pela área de drenagem contribuinte dos canais Noronha Torrezão e Martins Torres até o campo do Estádio Caio Martins.

5.2 CARACTERIZAÇÃO FISIOGRAFICA DA BACIA CONTRIBUINTE AO ESTÁDIO CAIO MARTINS

5.2.1 Área de Drenagem

A área de drenagem de uma bacia é a projeção em um plano horizontal da superfície contida entre seus divisores topográficos e expressa em km^2 ou ha. De acordo com os estudos desenvolvidos em HIDROUFF (2006), a sub-bacia do canal Noronha de Torrezão é de $2,2 \text{ km}^2$ e a do canal Martins Torres $1,3 \text{ km}^2$.

5.2.2 Declividade do Rio

Quanto maior a declividade, maior será a velocidade do escoamento e mais pronunciados e estreitos serão os hidrogramas das enchentes. Foi considerada para este estudo a declividade média, obtida dividindo-se o desnível entre a nascente e a extensão total do curso d'água principal até o Estádio Caio Martins.

5.2.3 Tempo de Concentração

O tempo de concentração foi estimado através da fórmula de Ventura que pode ser aplicada a qualquer tamanho de bacia, conforme DNIT (2005). A fórmula é expressa por:

$$t_c = 0,127 \cdot \left(\frac{A}{I} \right)^{0,5} \quad (24)$$

onde:

t_c tempo de concentração da bacia, em horas.

A área de drenagem, em km².

I declividade do talvegue, em m/m.

A Tabela 5 apresenta um resumo das características fisiográficas da bacia contribuinte ao Estádio Caio Martins.

Tabela 5 – Resumo das características fisiográficas

VARIÁVEL	UNIDADE	VALOR
Área de Drenagem	km ²	3,5*
Comprimento Axial	km	8,0*
Altitude Máxima	m	186,0**
Altitude Mínima	m	11,0**
Declividade Média	m/m	0,022
Tempo de Concentração	horas	1,61

*Extraído de HIDROUFF, 2006.

**Google Earth.

A bacia contribuinte ao Estádio Caio Martins devido as suas características fisiográficas, destacando-se a considerável declividade do principal curso d'água, favorece a formação de hidrogramas com picos acentuados e tempo-base da ordem de poucas horas. Isto permite concluir que o tempo de resposta do rio a uma precipitação é curto sem grandes defasagens entre os picos de chuva e de vazões.

5.3 ALTERNATIVA PROPOSTA

Para a proposição de uma alternativa para minimização dos impactos causados por enchentes, foram realizadas duas visitas a campo no mês de janeiro de 2012, visando o levantamento cadastral *in situ* das ruas relacionadas no item 5.1, bem como do espaço do Estádio Caio Martins que poderia ser utilizado como um reservatório para a acumulação, a laminação e o controle de cheias. O levantamento foi realizado com GPS e os resultados são apresentados na Figura 5.



Figura 5 – Levantamento de campo realizado em Janeiro de 2012

A primeira etapa dos cálculos de dimensionamento consistiu na geração dos hidrogramas de cheias a partir das chuvas intensas e dos tempos de recorrência associados. Adotaram-se como critério os tempos de recorrência correspondentes a 3, 5 e 10 anos, justificados pelo fato de que os dois primeiros são considerados na literatura como representativos das cheias ordinárias e o último é adotado como procedimento recomendado pelo DNIT (2005) para o dimensionamento de bueiros em condições críticas de escoamento.

Para as chuvas intensas adotou-se a equação recomendada em DER-RJ (1989) para a região de Niterói, e expressa por:

$$I = \frac{706 \cdot T^{0,333}}{(t + 10)^{0,704}} \quad (25)$$

onde:

I intensidade de chuva, em mm/h.

T tempo de recorrência, em anos.

t duração da chuva, em minutos, e igual a 96,6 minutos conforme Tabela 5.

A partir da equação (25) e dos dados relacionados na Tabela 5, foram gerados os hidrogramas para os tempos de recorrência de 3, 5 e 10 anos. As Tabelas 6 a 8 ilustram os resultados alcançados.

Tabela 6 – Hidrógrafa da cheia com 3 anos de recorrência (TR=3anos)

t (h)	q (m³/s)							Q (m³/s)
0,00	0,00	0,00						0,0
0,30	0,19	0,00	0,00					0,0
0,60	0,38	0,00	0,00	0,00				0,0
0,90	0,57	0,00	0,00	0,00	0,00			0,0
1,20	0,63	0,00	0,00	0,00	1,73	0,00		1,7
1,50	0,52	0,00	0,00	0,00	3,46	1,33	0,00	4,8
1,80	0,40	0,00	0,00	0,00	5,19	2,65	0,73	8,6
2,10	0,29	0,00	0,00	0,00	5,72	3,98	1,45	11,2
2,40	0,17	0,00	0,00	0,00	4,69	4,39	2,18	11,3
2,70	0,06	0,00	0,00	0,00	3,65	3,60	2,40	9,7
3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,62	2,80	1,97	7,4
			0,00	0,00	1,58	2,01	1,53	5,1
				0,00	0,55	1,21	1,10	2,9
					0,00	0,42	0,66	1,1
						0,00	0,23	0,2
							0,00	0,0
								0,0

Vazão de Pico do Hidrograma = 11,3 m³/s

Tabela 7 – Hidrógrafa da cheia com 5 anos de recorrência (TR=5anos)

t (h)	q (m³/s)							Q (m³/s)
0,00	0,00	0,00						0,0
0,30	0,19	0,00	0,00					0,0
0,60	0,38	0,00	0,00	0,00				0,0
0,90	0,57	0,00	0,00	0,01	0,00			0,0
1,20	0,63	0,00	0,00	0,03	2,54	0,00		2,6
1,50	0,52	0,00	0,00	0,04	5,08	1,75	0,00	6,9
1,80	0,40	0,00	0,00	0,04	7,62	3,49	0,94	12,1
2,10	0,29	0,00	0,00	0,04	8,40	5,24	1,87	15,5
2,40	0,17	0,00	0,00	0,03	6,88	5,78	2,81	15,5
2,70	0,06	0,00	0,00	0,02	5,36	4,73	3,10	13,2
3,00	0,00	0,00	0,00	0,01	3,84	3,69	2,54	10,1
			0,00	0,00	2,32	2,64	1,98	6,9
				0,00	0,80	1,60	1,42	3,8
					0,00	0,55	0,86	1,4
						0,00	0,30	0,3
							0,00	0,0
								0,0

Vazão de Pico do Hidrograma = 15,5 m³/s

Tabela 8 – Hidrógrafa da cheia com 10 anos de recorrência (TR=10anos)

t (h)	q (m³/s)							Q (m³/s)
0,00	0,00	0,00						0,0
0,30	0,19	0,00	0,00					0,0
0,60	0,38	0,00	0,00	0,00				0,0
0,90	0,57	0,00	0,00	0,10	0,00			0,1
1,20	0,63	0,00	0,00	0,19	4,01	0,00		4,2
1,50	0,52	0,00	0,00	0,29	8,02	2,46	0,00	10,8
1,80	0,40	0,00	0,00	0,32	12,02	4,92	1,29	18,6
2,10	0,29	0,00	0,00	0,26	13,27	7,38	2,58	23,5
2,40	0,17	0,00	0,00	0,20	10,87	8,15	3,88	23,1
2,70	0,06	0,00	0,00	0,15	8,47	6,67	4,28	19,6
3,00	0,00	0,00	0,00	0,09	6,07	5,20	3,50	14,9
			0,00	0,03	3,67	3,73	2,73	10,2
				0,00	1,27	2,25	1,96	5,5
					0,00	0,78	1,18	2,0
						0,00	0,41	0,4
							0,00	0,0
								0,0

Vazão de Pico do Hidrograma = 23,5 m³/s

Os hidrogramas gerados consideram uma bacia contribuinte que abrange a drenagem dos canais Noronha de Torrezão e Martins Torres até as cercanias do Estádio Caio Martins. Com base nos resultados, observou-se que um reservatório com as dimensões de um campo de futebol não seria suficiente para amortecer e defasar as cheias. Assim sendo, optou-se por considerar uma área maior que envolveria grande parte da cobertura do estádio, resultando, portanto, em uma área de 120 metros de largura e 250 metros de comprimento, totalizando 30.000 m², como mostra a Figura 6.



Figura 6 – Área considerada para o reservatório

Assim sendo, a alternativa proposta foi concebida levando em consideração o seguinte arranjo:

- Amortecimento das cheias dos canais Noronha Torrezão e Martins Torres para os tempos de recorrência de 3, 5 e 10 anos.
- Reservatório com 120 metros de largura, 250 metros de comprimento e 4 metros de profundidade, totalizando 120.000 m^3 . O critério de escolha da profundidade foi baseado em maior volume possível de ser armazenado sem criar dificuldades construtivas e interferências com a fundação das construções ao redor do estádio. Cota de fundo do reservatório arbitrada como sendo igual a zero.
- Vertedouro com 2 metros de largura e 3 metros de altura a partir do fundo do reservatório. O critério de escolha das dimensões da soleira de controle foi baseado na sua combinação em relação cota-volume do reservatório e aos hidrogramas de referência.
- Dois orifícios de saída, cada um com 0,50 metros de diâmetro. O critério de escolha do diâmetro levou em consideração a restrição da vazão de saída do

reservatório, de modo que a vazão de entrada da cheia, de maior magnitude, gerasse um acúmulo temporário de água dentro do reservatório.

Uma vez definida a concepção da alternativa proposta, foram elaboradas as curvas cota versus volume, volume versus cota e cota versus $(2S/dt+Q)$ (função armazenamento) que se encontram apresentadas nas Figuras 7 a 9.

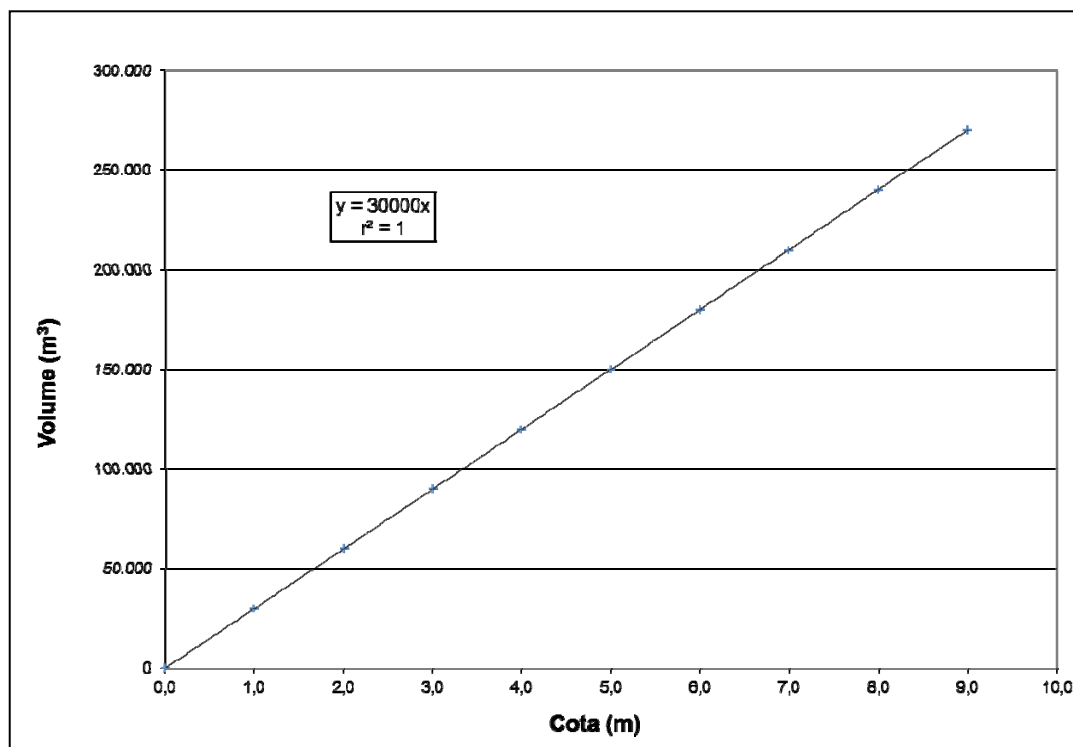


Figura 7 – Curva cota x volume do reservatório proposto

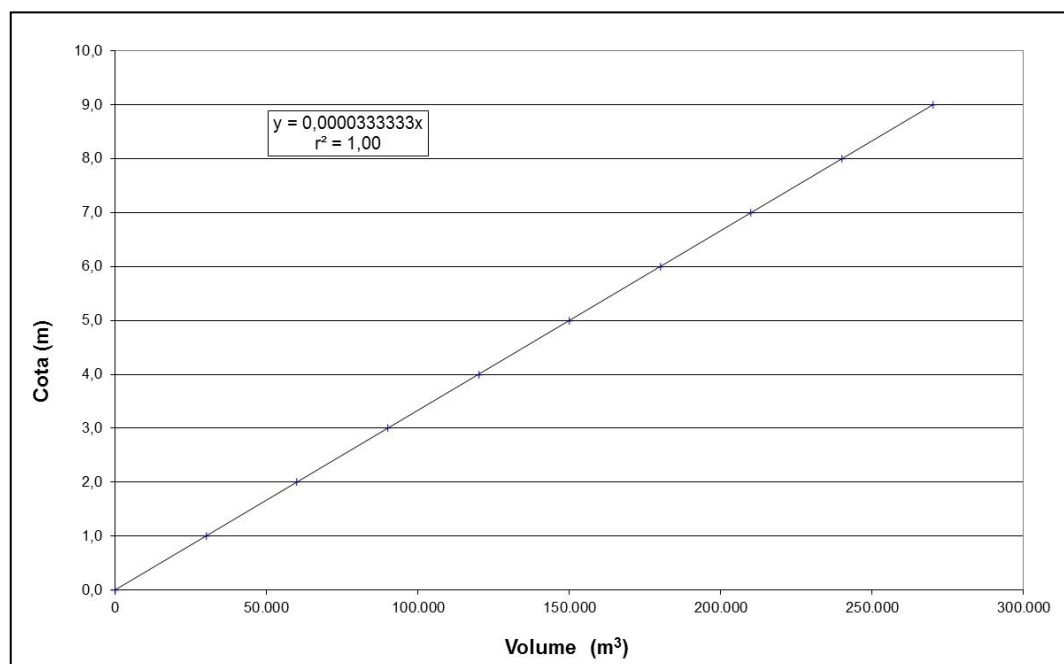
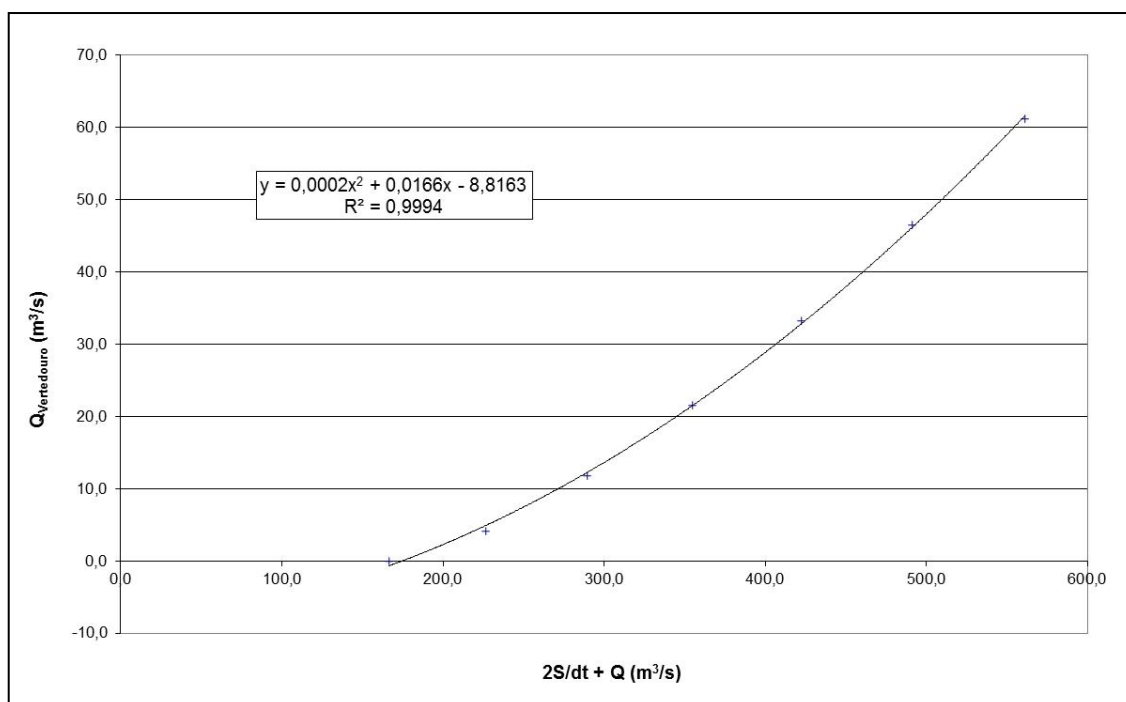


Figura 8 – Curva volume x cota do reservatório proposto**Figura 9 – Curva função armazenamento do reservatório proposto**

A partir das curvas características do reservatório proposto foram elaborados os cálculos de laminação do reservatório proposto para os tempos de recorrência estabelecidos. As Tabelas 9 a 11 mostram os resultados alcançados em forma tabular e as Figuras 10 a 12 em forma gráfica. Os valores das vazões afluentes ao reservatório estão destacados em azul e em vermelho os valores das vazões defluentes e em negrito os picos da cheia e da vazão amortecida.

Tabela 9 – Laminação da cheia com 3 anos de recorrência (TR=3anos)

Tempo (h)	I (m³/s)	I1 + I2 (m³/s)	2S/dt-Q (m³/s)	2S/dt+Q (m³/s)	Volume Armazenado (m³)	cota (m)	Qvert + Qorificio (m³/s)
0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,90	0,00	1,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,20	1,73	6,51	1,66	1,73	933,59	0,03	0,03
1,50	4,78	13,35	7,87	8,18	4.415,91	0,15	0,15
1,80	8,56	19,72	20,44	21,22	11.460,17	0,38	0,39
2,10	11,15	22,41	35,70	40,15	21.682,55	0,72	2,22
2,40	11,25	20,91	52,34	58,11	31.379,48	1,05	2,89
2,70	9,65	17,04	66,55	73,24	39.550,28	1,32	3,34
3,00	7,39	12,51	76,34	83,59	45.138,35	1,50	3,62
3,30	5,12	7,98	81,33	88,85	47.979,58	1,60	3,76
3,60	2,86	3,94	81,78	89,32	48.231,15	1,61	3,77
3,90	1,08	1,31	78,36	85,72	46.288,76	1,54	3,68
4,20	0,23	0,00	72,63	79,67	43.024,25	1,43	3,52
4,50	0,00	0,00	65,98	72,63	39.221,18	1,31	3,33
4,80	0,00	0,00	59,71	65,98	35.627,45	1,19	3,13
5,10	0,00	0,00	53,83	59,71	32.243,40	1,07	2,94
5,40	0,00	0,00	48,34	53,83	29.069,45	0,97	2,74
5,70	0,00	0,00	43,25	48,34	26.106,05	0,87	2,55
6,00	0,00	0,00	38,54	43,25	23.353,73	0,78	2,35
6,30	0,00	0,00	34,23	38,54	20.813,13	0,69	2,16
6,60	0,00	0,00	30,32	34,23	18.484,98	0,62	1,96
6,90	0,00	0,00	29,19	30,32	16.370,17	0,55	0,56
7,20	0,00	0,00	28,11	29,19	15.763,72	0,53	0,54
7,50	0,00	0,00	27,07	28,11	15.179,73	0,51	0,52
7,80	0,00	0,00	26,07	27,07	14.617,38	0,49	0,50
8,10	0,00	0,00	25,10	26,07	14.075,86	0,47	0,48
8,40	0,00	0,00	24,17	25,10	13.554,40	0,45	0,46
8,70	0,00	0,00	23,28	24,17	13.052,26	0,44	0,45
9,00	0,00	0,00	22,41	23,28	12.568,72	0,42	0,43
9,30	0,00	0,00	21,58	22,41	12.103,09	0,40	0,42
9,60	0,00	0,00	20,78	21,58	11.654,72	0,39	0,40
9,90	0,00	0,00	20,01	20,78	11.222,95	0,37	0,38
10,20	0,00	0,00	19,27	20,01	10.807,18	0,36	0,37
10,50	0,00	0,00	18,56	19,27	10.406,82	0,35	0,36
10,80	0,00	0,00	17,87	18,56	10.021,28	0,33	0,34
11,10	0,00	0,00	17,21	17,87	9.650,03	0,32	0,33
11,40	0,00	0,00	16,57	17,21	9.292,53	0,31	0,32
11,70	0,00	0,00	15,96	16,57	8.948,28	0,30	0,31
12,00	0,00	0,00	15,37	15,96	8.616,78	0,29	0,30
12,30	0,00	0,00	14,80	15,37	8.297,56	0,28	0,28
12,60	0,00	0,00	14,25	14,80	7.990,16	0,27	0,27

Tabela 10 – Laminação da cheia com 5 anos de recorrência (TR=5anos)

Tempo (h)	I (m³/s)	I1 + I2 (m³/s)	2S/dt-Q (m³/s)	2S/dt+Q (m³/s)	Volume Armazenado (m³)	cota (m)	Qvert + Qorifício (m³/s)
0,60	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,90	0,01	2,58	0,01	0,01	7,05	0,00	0,00
1,20	2,56	9,43	2,49	2,59	1.398,76	0,05	0,05
1,50	6,86	18,95	11,48	11,92	6.437,06	0,21	0,22
1,80	12,09	27,63	29,30	30,43	16.429,91	0,55	0,56
2,10	15,55	31,05	51,24	56,93	30.743,29	1,02	2,85
2,40	15,50	28,72	75,10	82,28	44.432,31	1,48	3,59
2,70	13,22	23,30	95,58	103,82	56.060,98	1,87	4,12
3,00	10,08	17,03	109,99	118,88	64.196,55	2,14	4,45
3,30	6,95	10,77	117,78	127,02	68.589,91	2,29	4,62
3,60	3,82	5,23	119,25	128,55	69.418,44	2,31	4,65
3,90	1,41	1,71	115,35	124,48	67.221,81	2,24	4,57
4,20	0,30	0,30	108,24	117,06	63.212,39	2,11	4,41
4,50	0,00	0,00	100,09	108,54	58.609,93	1,95	4,22
4,80	0,00	0,00	92,03	100,09	54.048,26	1,80	4,03
5,10	0,00	0,00	84,35	92,03	49.694,92	1,66	3,84
5,40	0,00	0,00	77,06	84,35	45.550,14	1,52	3,64
5,70	0,00	0,00	70,16	77,06	41.614,19	1,39	3,45
6,00	0,00	0,00	63,65	70,16	37.887,37	1,26	3,26
6,30	0,00	0,00	57,52	63,65	34.370,00	1,15	3,06
6,60	0,00	0,00	51,79	57,52	31.062,47	1,04	2,87
6,90	0,00	0,00	46,44	51,79	27.965,18	0,93	2,67
7,20	0,00	0,00	41,49	46,44	25.078,63	0,84	2,48
7,50	0,00	0,00	36,93	41,49	22.403,39	0,75	2,28
7,80	0,00	0,00	32,76	36,93	19.940,11	0,66	2,08
8,10	0,00	0,00	31,54	32,76	17.689,59	0,59	0,61
8,40	0,00	0,00	30,38	31,54	17.034,25	0,57	0,58
8,70	0,00	0,00	29,25	30,38	16.403,20	0,55	0,56
9,00	0,00	0,00	28,17	29,25	15.795,52	0,53	0,54
9,30	0,00	0,00	27,12	28,17	15.210,35	0,51	0,52
9,60	0,00	0,00	26,12	27,12	14.646,86	0,49	0,50
9,90	0,00	0,00	25,15	26,12	14.104,25	0,47	0,48
10,20	0,00	0,00	24,22	25,15	13.581,74	0,45	0,47
10,50	0,00	0,00	23,32	24,22	13.078,59	0,44	0,45
10,80	0,00	0,00	22,46	23,32	12.594,07	0,42	0,43
11,10	0,00	0,00	21,63	22,46	12.127,51	0,40	0,42
11,40	0,00	0,00	20,83	21,63	11.678,23	0,39	0,40
11,70	0,00	0,00	20,05	20,83	11.245,59	0,37	0,39
12,00	0,00	0,00	19,31	20,05	10.828,98	0,36	0,37
12,30	0,00	0,00	18,60	19,31	10.427,81	0,35	0,36
12,60	0,00	0,00	17,91	18,60	10.041,50	0,33	0,34

Tabela 11 – Laminação da cheia com 10 anos de recorrência (TR=10anos)

Tempo (h)	I (m³/s)	I1 + I2 (m³/s)	2S/dt-Q (m³/s)	2S/dt+Q (m³/s)	Volume Armazenado (m³)	cota (m)	Qvert + Qorifício (m³/s)
0,60	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,90	0,10	4,30	0,09	0,10	52,11	0,00	0,00
1,20	4,20	14,97	4,23	4,39	2.370,66	0,08	0,08
1,50	10,77	29,32	18,48	19,19	10.364,45	0,35	0,36
1,80	18,56	42,05	42,75	47,80	25.813,59	0,86	2,53
2,10	23,50	46,59	77,49	84,80	45.790,56	1,53	3,66
2,40	23,09	42,66	114,96	124,08	67.001,18	2,23	4,56
2,70	19,57	34,43	147,21	157,62	85.116,02	2,84	5,21
3,00	14,86	25,02	169,18	181,64	98.085,11	3,27	6,23
3,30	10,16	15,64	179,08	194,20	104.868,19	3,50	7,56
3,60	5,48	7,44	179,49	194,72	105.147,05	3,50	7,62
3,90	1,96	2,37	173,36	186,93	100.940,74	3,36	6,78
4,20	0,41	0,41	164,49	175,73	94.896,71	3,16	5,62
4,50	0,00	0,00	154,23	164,90	89.047,22	2,97	5,34
4,80	0,00	0,00	143,95	154,23	83.285,19	2,78	5,14
5,10	0,00	0,00	134,04	143,95	77.730,45	2,59	4,95
5,40	0,00	0,00	124,52	134,04	72.383,16	2,41	4,76
5,70	0,00	0,00	115,39	124,52	67.243,47	2,24	4,57
6,00	0,00	0,00	106,64	115,39	62.311,55	2,08	4,37
6,30	0,00	0,00	98,28	106,64	57.587,58	1,92	4,18
6,60	0,00	0,00	90,30	98,28	53.071,76	1,77	3,99
6,90	0,00	0,00	82,71	90,30	48.764,33	1,63	3,80
7,20	0,00	0,00	75,51	82,71	44.665,51	1,49	3,60
7,50	0,00	0,00	68,69	75,51	40.775,59	1,36	3,41
7,80	0,00	0,00	62,27	68,69	37.094,86	1,24	3,21
8,10	0,00	0,00	56,23	62,27	33.623,66	1,12	3,02
8,40	0,00	0,00	50,58	56,23	30.362,38	1,01	2,82
8,70	0,00	0,00	45,32	50,58	27.311,45	0,91	2,63
9,00	0,00	0,00	40,45	45,32	24.471,38	0,82	2,43
9,30	0,00	0,00	35,97	40,45	21.842,75	0,73	2,24
9,60	0,00	0,00	31,89	35,97	19.426,25	0,65	2,04
9,90	0,00	0,00	30,71	31,89	17.222,70	0,57	0,59
10,20	0,00	0,00	29,57	30,71	16.584,66	0,55	0,57
10,50	0,00	0,00	28,48	29,57	15.970,26	0,53	0,55
10,80	0,00	0,00	27,42	28,48	15.378,62	0,51	0,53
11,10	0,00	0,00	26,41	27,42	14.808,90	0,49	0,51
11,40	0,00	0,00	25,43	26,41	14.260,28	0,48	0,49
11,70	0,00	0,00	24,49	25,43	13.731,99	0,46	0,47
12,00	0,00	0,00	23,58	24,49	13.223,27	0,44	0,45
12,30	0,00	0,00	22,71	23,58	12.733,40	0,42	0,44
12,60	0,00	0,00	21,87	22,71	12.261,67	0,41	0,42

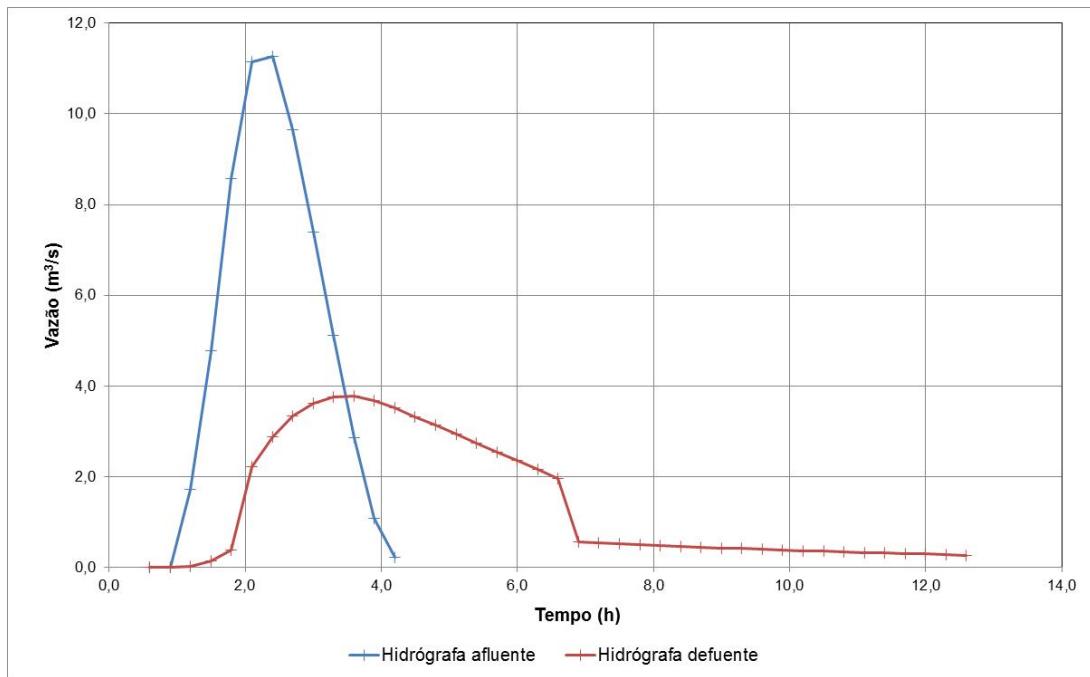


Figura 10 – Hidrógrafas afluyente e defluente para TR = 3 anos

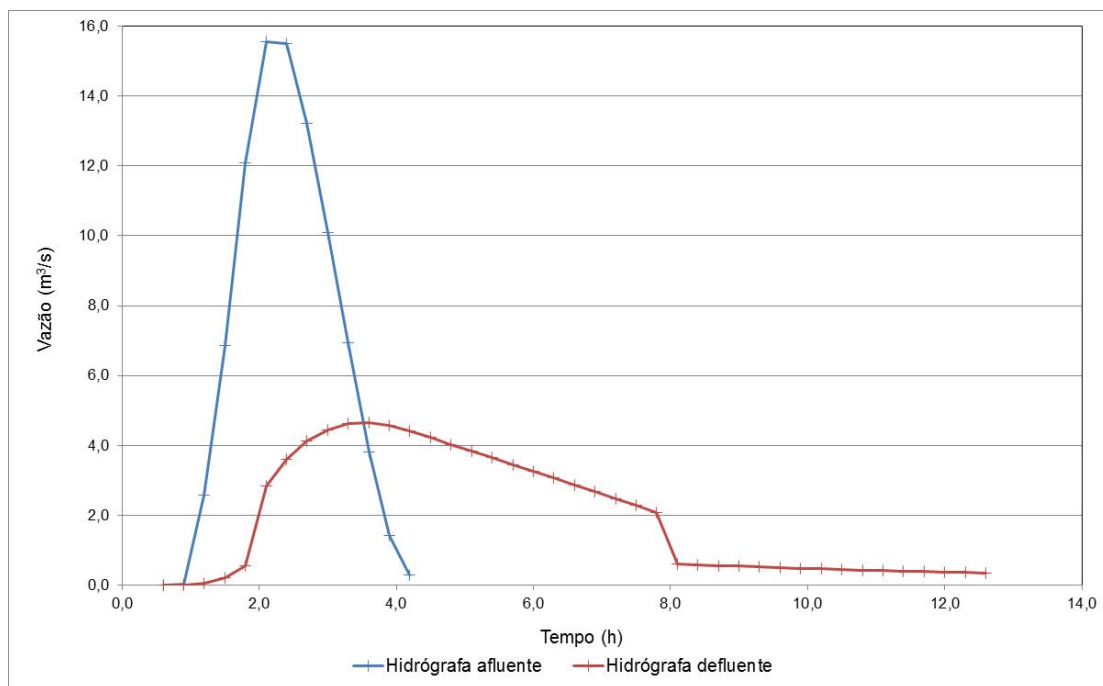


Figura 11 – Hidrógrafas afluyente e defluente para TR = 5 anos

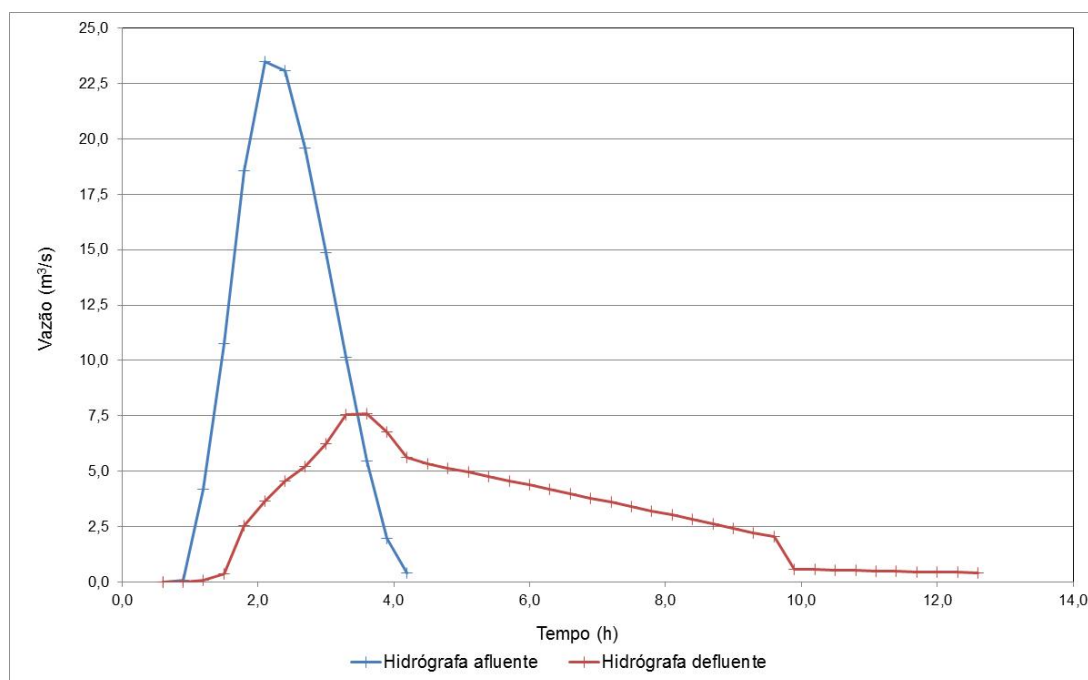


Figura 12 – Hidrógrafas afluente e defluente para TR = 10 anos

Os reservatórios construídos nas cidades com a finalidade de amortecer os picos de cheias, também denominados de reservatórios de detenção, permanecem na maior parte do tempo secos (volume de espera) e, durante um evento chuvoso, a água é armazenada e liberada de forma controlada. Estes reservatórios não reduzem significativamente o volume de escoamento superficial, mas atuam sobre a vazão de pico, reduzindo e estendendo os períodos de recessão dos hidrogramas de cheia (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988). A sua eficiência pode ser avaliada a partir da relação entre a vazão defluente e a vazão afluente, expressa por:

$$E = \frac{(Q_{\text{máx aflu}} - Q_{\text{máx deflu}})}{Q_{\text{máx aflu}}} \cdot 100 \quad (26)$$

onde:

E eficiência, em porcentagem.

$Q_{\text{máx aflu}}$ pico da vazão afluente ao reservatório, em m^3/s .

$Q_{\text{máx deflu}}$ pico da vazão defluente pelo vertedouro e orifício, em m^3/s .

A partir das Tabelas 9 a 11, foi realizada uma avaliação da eficiência do reservatório proposto no abatimento dos hidrogramas afluentes para os tempos de recorrência de 3, 5 e 10 anos. A Tabela 12 apresenta os valores calculados, bem como um resumo dos principais resultados alcançados pelas simulações realizadas.

Tabela 12 – Principais resultados e eficiência do amortecimento do reservatório

TR (anos)	Qaflu (m ³ /s)	Qdeflu (m ³ /s)	NA res (m)	Defasagem entre Picos (h)	Eficiência (%)
3	11,25	3,77	1,61	1,20	66,50
5	15,55	4,65	2,31	1,50	70,10
10	23,50	7,62	3,50	1,50	67,59

A eficiência do reservatório proposto é maior para o tempo de recorrência de 5 anos do que para os tempos de recorrência de 3 e 10 anos. Na Tabela 12 também é possível observar o comportamento do nível d'água no interior do reservatório. A fixação da profundidade do reservatório em 4 metros permitiu a laminação das cheias adotadas com uma folga de 0,50 m para aquela com retorno de 10 anos. Além disso, verifica-se que os picos das vazões afluente e defluente são defasados em 72 minutos para a hidrógrafa de 3 anos de recorrência e 90 minutos para as hidrógrafas com 5 e 10 anos de recorrência.

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os reservatórios de controle de cheias urbanas são cada vez mais empregados como instrumentos de atenuação dos impactos causados pela urbanização nas bacias hidrográficas. A legislação municipal e estadual no Brasil já prevê e obriga a construção de reservatórios para os novos empreendimentos imobiliários, como abordado no Capítulo III.

O risco representa o fator preponderante para a determinação do volume de reservação. No entanto, a concepção proposta no âmbito do presente estudo mostrou que em muitos casos, o projeto acaba se adequando ao volume disponível, principalmente em ambientes urbanos, onde a disponibilidade de área para a implantação de reservatórios de controle de cheias é uma condição bastante restritiva.

O reservatório proposto foi concebido para operar em paralelo (*off-line*) ao sistema de drenagem, ou seja, o escoamento foi desviado da linha principal para o armazenamento temporário em um reservatório dentro do Estádio Caio Martins. A eficiência do amortecimento no reservatório foi cerca de 70% para as cheias com recorrência de 5 anos; 67,6% para 10 anos e 66,5% para 3 anos. Entretanto, ao se observar os níveis d'água, os valores alcançados foram 1,61 m; 2,31 m e 3,5 m, para as cheias com recorrência de 3, 5 e 10 anos. A partir do controle das vazões do orifício (instalação de comportas ou válvulas), o nível d'água dentro do reservatório poderá ser elevado de modo a resultar em maiores valores de eficiência quando da ocorrência de eventos hidrológicos de menor tempo de retorno.

A solução única do reservatório não resolve as enchentes, apenas mitiga seus efeitos danosos. Para garantir a eficácia da funcionalidade do sistema é necessário acoplar outras ações de sustentabilidade ambiental, dentre as quais se destaca limpeza das ruas e desobstrução do sistema de drenagem e esgotos a fim de impedir a entrada de lixo e resíduos no reservatório. Ações de minimização da produção de sedimentos na bacia através de reflorestamento ou de utilização de ecopavimentos de modo a aumentar a capacidade de infiltração dos solos também são ações eficazes para minimizar os impactos das enchentes.

6.2 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A pesquisa desenvolvida apresenta limitações quanto à disponibilidade de dados. A primeira limitação diz respeito à dificuldade de acesso às informações cadastrais do sistema de drenagem urbana do município de Niterói, as quais não foram disponibilizadas pela Prefeitura.

A segunda limitação é a ausência de planta topográfica dos bairros da cidade de Niterói que permitisse um melhor detalhamento das cotas da região em estudo. Os níveis d'água aqui apresentados são arbitrários e as cotas máxima e mínima adotadas para o cálculo do tempo de concentração foram extraídas do *Google Earth*.

A terceira limitação é a ausência de séries históricas de chuvas na cidade de Niterói que pudessem aferir os resultados alcançados pela equação adotada de chuvas intensas.

6.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A presente dissertação deve ser entendida tão somente como um estudo de concepção demonstrativo da viabilidade de se implantar um reservatório de controle de cheias urbanas no Estádio Caio Martins. Os resultados alcançados indicam que esta solução pode ser uma estrutura auxiliar importante na contenção e mitigação dos efeitos danos das enchentes urbanas em Niterói.

Como sugestão para desenvolvimento de estudos futuros de viabilidade técnica e econômica da alternativa proposta, recomenda-se a realização de trabalhos de campo para o levantamento cadastral do sistema de drenagem e topográfico para aferição das cotas. Além disso, recomenda-se a instalação de postos pluviométricos nas nascentes dos mananciais formadores dos canais Noronha de Torrezão e Martins Torres.

CAPÍTULO VII

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACERVO FAN. Fundação de Artes de Niterói – Coordenação de Documentação e Pesquisa. Disponível em: <<http://www.ddp-fan.com.br/bairros/icarai.htm>>. Acessado em abril de 2012.

AGÊNCIA GLOBO. Banco de Imagens 2012. Disponível em: <<http://banco.agenciaoglobo.com.br/Pages/DetalheDaImagem/?idimagem=16902>>. Acessado em dezembro de 2011.

ALLIANZ, 2011. Enchentes da Austrália – verão 2010-2011 (3/20). Disponível em: <<http://sustentabilidade.allianz.com.br/clima/impactos/?1616/mudanca-de-clima-e-eventos-climaticos-extremos>>. Acessado em maio de 2012.

ANDRADE, K. C. H. Problemas ambientais relativos à drenagem e aos movimentos de massa nas rodovias do Estado do Rio de Janeiro. Resumo expandido do trabalho de graduação, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <http://www.geo.ufv.br/simposio/simposio/trabalhos/resumos_expandidos/eixo11/015.pdf>. Acessado em março de 2012.

AZIZ, F. Enchentes matam 90 no Paquistão em uma semana. Reuters Brasil, Rio de Janeiro, 5 de setembro de 2011. Disponível em: <<http://br.reuters.com/article/topNews/idBRSPE78406W20110905>>. Acessado em julho de 2011.

BBC Brasil. Enchentes na Europa matam pelo menos 40 pessoas, 25 de agosto 2005. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/story/2005/08/050825_cheiascc.shtml>. Acessado em agosto de 2011.

BBC Brasil, 2011. Veja a lista das piores enchentes globais dos últimos dez anos, 13 de janeiro de 2011. Disponível em: <<http://ultimosegundo.ig.com.br/mundo/bbc/veja+a+lista+das+piores+enchentes+globais+dos+ultimos+dez+anos/n1237945871274.html>>. Acessado em maio de 2012.

BBC Brasil. Enchentes na China podem ser as piores desde 1847, 20 de setembro de 2011. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2011/09/110920_chuva_china_mdb.shtml>. Acessado em março de 2012.

BBC Brasil, 2012. Em imagens: Enchentes na Europa, 28 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.bbc.co.uk/portuguese/especial/1033_europaenchente/index.shtml>. Acessado em maio de 2012.

CAUSA OPERÁRIA. Niterói: Vítimas das enchentes continuam abandonadas, sem receber nenhuma assistência do governo. Jornal Causa Operária, em 4 de setembro de 2010. Disponível em: <http://www.pco.org.br/pagina_inicial.php?edicao=2467>. Acessado em abril de 2012.

CHOW, T. V.; MAIDMENT, R. D.; MAYS, W. L. Applied Hydrology. 1ª Edição. United States of América: McGraw Hill, 1988. 572 p.

COELHO, F. G.; HORA, M. A. G. M.; HORA, A. F. The Storms in Rio de Janeiro City in April 2010. Engevista (UFF), v. 13, p. 57-62, 2011. Disponível em: <<http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/article/viewFile/332/164>>. Acessado em janeiro de 2012.

COELHO, F. G. Reservatório de Águas Pluviais para Retardo do Escoamento e Aproveitamento em Fins não Potáveis. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente (Universidade Federal Fluminense). 49p. Niterói, janeiro de 2012.

DER-RJ. Estudo de Chuvas do Estado do Rio de Janeiro. Departamento de Estradas e Rodagem – RJ. Rio de Janeiro, 1989.

DNIT, 2005. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem. 2ª ed., 133p.

ECOTELHADO, 2012. Home-page principal. Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com.br/Portecopavimento/ComGrama/default.aspx>> e <<http://www.ecotelhado.com.br/Portecopavimento/default.aspx>>. Acessado em maio de 2012.

ELETROBRÁS, 1999. Diretrizes para Estudos e Projetos Básicos de Pequenas Centrais Hidrelétricas. Biblioteca Virtual. Disponível em: <<http://www.eletronbras.com/elb/data/Pages/LUMISF99678B3PTBRIE.htm>>. Acessado em maio de 2012.

EXAME, 2011. A ira da temporada de enchentes na China, em imagens em 20 de junho de 2006. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/economia/meio-ambiente-e-energia/album-de-fotos/a-ira-da-temporada-de-enchentes-na-china-em-imagens>>. Acessado em maio de 2012.

FERREIRA, M. G. Informações sobre as Chuvas em Niterói. Publicação eletrônica do Portal do Globo no dia 08 de abril de 2010. Disponível em: <<http://g1.globo.com/VCnoG1/0,,MUL1561915-8491,00.html>>. Acessado em janeiro de 2012.

GRILLI, M.; BETTINI, S. C. Desenvolvimento de dispositivos de infiltração. Anais do XVI Encontro de Iniciação Científica e I Encontro de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação da PUC-Campinas 27 e 28 de setembro de 2011. ISSN 1982-0178. Disponível em: <http://www.puc-campinas.edu.br/ceatec/hidro/subprojetos/arquivos/infiltra/Resumo_Expandido_Mayara.pdf>. Acessado em dezembro de 2011.

HIDROUFF. Relatório de Proposições e Soluções de Riscos de Inundação – Relatório Parcial de Riscos de Instabilidade de Encostas – Plano Municipal de Redução de Risco – Produto 04 – Agosto 2006. Laboratório HIDROUFF do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense

HOME IG. Tubarões arrastados pelas enchentes na Austrália surgem em terra, em 16 de novembro de 2011. Disponível em: <http://www.autosurf.wcsa.info/diretorio/Noticias/2011/Janeiro/16-01-2011_10:15:27_ralha.html>. Acessado em fevereiro de 2012.

HORA, M. A. G. M.; NORONHA, G. C (prelo). Laminação de cheias com volume de espera e controle de defluência.

HORA, M. A. G. M.; MARQUES, E. SAD-RH Sistema Generalizado de Apoio à Decisão na Gestão de Recursos Hídricos. 88p. Niterói, RJ; UFF/FEC. ISBN 978-85-910333-1-7. Disponível em: <http://www.uff.br/projetomacacu/relatorios/volume_2.pdf>. Acessado em dezembro de 2011.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas. São Paulo, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 2010. 24p. Disponível em: <http://www.blocobrasil.com.br/uploads/downloads/Cartilha_Pav_Intertravado_Permeavel.pdf>. Acessado em março de 2012.

NETTO, O. M. C. Técnicas de Minimização da Drenagem de Águas Pluviais. In: Gerenciamento do Saneamento em Comunidades Organizadas, São Paulo, 4 e 5 de maio de 2004. Disponível em: <<http://www.etg.ufmg.br/tim2/auladrenagem.ppt>>. Acessado em março de 2012.

O GAMBÁ DE BLUMENAU, 2012. Blumenau e as enchentes de 1983 e 1984. Disponível em: <http://ogambadeblumenau.blogspot.com/2008/07/blumenau-e-as-enchentes-de-1983-e-1984_16.html>. Acessado em maio de 2012.

OBVIOUS, 2007. Subterrâneos de Tóquio. Disponível em: <http://obviousmag.org/archives/2007/10/subterraneos_de.html>. Acessado em maio de 2012.

OLIVEIRA, M. T.; LOPES, W. R. C. A questão dos resíduos urbanos e o sistema jurídico brasileiro – caso Florianópolis. Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Dezembro, 1997. Disponível em: <http://www.comcap.org.br/artigos/residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acessado em janeiro de 2012.

PAINEL GLOBAL, 2011. Elevação do rio Missouri cerca de água usina nuclear nos EUA, 19 de junho de 2011. Disponível em: <http://www.painelglobal.com.br/direto.php?tit=&id=dat_20110619-163129.inc&tf=1308511889>. Acessado em maio de 2012.

POLASTRE, B.; SANTOS, L. D. Concreto Permeável – Impermeabilização do Solo e Drenagem Urbana. Projeto Final de Arquitetura, Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. 2006. Disponível em: <http://www.usp.br/fau/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0221/Trabalhos_Finais_2006/Concreto_Permeavel.pdf>. Acessado em janeiro de 2012.

SANTANA, C. L.; SOUZA, C. R. ; HARARI, J. Correlação de dados pluviométricos, fluviométricos e maregráficos em eventos de enchentes/ inundações no baixo rio

Ribeira de Iguape (SP). In: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, 2004, Florianópolis. Anais. Florianópolis: GNDE/UFSC, 2004.p.454-469. Disponível em: <http://www.cfh.ufsc.br/~gedn/sibraden/cd/EIXO%203_OK/3-34.pdf>. Acessado em dezembro de 2011.

SAUNDERS, Claudio A. Barreto. Diretrizes para renaturalização do Rio Aldeia Velha, no Município de Silva Jardim – RJ. Departamento de Análise Geoambiental - Laboratório de Geoprocessamento (LAGEOP). Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2003. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/xxi_cbc/167-H03.pdf>. Acessado em março de 2012.

SCHLINDWEIN, C. et al. Enchente. Intercom – Sociedade Brasileira de Estudos Interdisciplinares da Comunicação. XVI Prêmio Expocom 2009 – Exposição da Pesquisa Experimental em Comunicação. Disponível em: <<http://www.intercom.org.br/papers/regionais/sul2009/expocom/EX16-1206-1.pdf>>. Acessado em agosto de 2011.

SCHULZ, E. F. Problems in Applied Hydrology. Water Resources Publications. ISBN 0-918334-07-1. 501p. 1989. Colorado, USA.

SILVEIRA, B. Q. Recurso de água pluvial em edificações pluviais. Belo Horizonte, 2008, 44f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Construção Civil – Escola de Engenharia, Universidade Federal Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

SILVEIRA, G. L. Cobrança pela drenagem urbana de águas pluviais: Incentivo à sustentabilidade. Relatório de Pós-Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. Rio Grande do Sul, 2011. Disponível em: <http://hidroprojetos.ctlab.ufsm.br/gerhi/downloads/Relatorio_Geraldo_Final-AGOSTO.pdf>. Acessado em agosto de 2011.

STUDART, T. M. C. Hidrologia. Capítulo 1 – Controles de Enchentes e Inundações. Apostila de graduação, 2006. Disponível em: <http://www.deha.ufc.br/ticiane/Arquivos/Graduacao/Apostila_Hidrologia_grad/Cap_10_Controlado_de_Enchentes_e_Inundacoes.pdf>. Acessado em outubro de 2011.

TERRITÓRIO GONÇALENSE, 2011. A propaganda da Prefeitura na TV e a realidade gonçalense. Disponível em: <http://www.territoriogoncalense.com/2011_11_01_archive.html>. Acessado em maio de 2012.

TEXEIRA, Ricardo Morandino. Agressões Ambientais. Disponível em: <http://www.vivaterra.org.br/vivaterra_agressoes.htm>. Acessado em julho de 2011.

TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos. Porto Alegre: Editora da Universidade – UFRGS /Associação Brasileira de Recursos Hídricos. ISBN 85-7025-445-8. 669p. 1998.