

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – CAMPUS MACAÉ
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JÉSSICA FERREIRA DA COSTA

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UM RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO E DE
CONCEITOS WSUD (*WATER SENSITIVE URBAN DESIGN*) NA ÁREA CENTRAL
DE MACAÉ/RJ**

Macaé
2020

JÉSSICA FERREIRA DA COSTA

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UM RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO E DE
CONCEITOS WSUD (*WATER SENSITIVE URBAN DESIGN*) NA ÁREA CENTRAL
DE MACAÉ/RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal
do Rio de Janeiro, como requisito para a
obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador
Prof. Beatriz Rohden Becker

Macaé
2020

JÉSSICA FERREIRA DA COSTA

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE UM RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO E DE
CONCEITOS WSUD (*WATER SENSITIVE URBAN DESIGN*) NA ÁREA CENTRAL
DE MACAÉ/RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em __ de dezembro de 2020.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Beatriz Rohden Becker, M.Sc. (Orientadora) - UFRJ

Prof. Bruno Barzellay Ferreira da Costa, D.Sc. – UFRJ

Prof. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira, D.Sc. - UFRJ

Macaé
2020

AGRADECIMENTOS

Não poderia deixar de começar esses agradecimentos sem ser por Deus. Seria impossível conseguir concluir a faculdade sem a Sua proteção e direção. Ele que esteve comigo desde a preparação no pré-vestibular para conseguir essa tão sonhada vaga e me guiou durante esses 5 anos para chegar até aqui. Nesse momento o sentimento só é de gratidão. Obrigada por tudo!

Agradeço aos meus pais, José Carlos e Vera, que sempre me acompanharam, apoiaram e torceram por todos os meus sonhos, e nunca mediram esforços pra que eles se realizassem. Eu e meus irmãos agradecemos por tudo o que vocês sempre fizeram por nós. E hoje, realizando um dos meus maiores sonhos, dedico esta conquista a vocês.

Agradeço também aos meus irmãos, Javé e Jonatan, que desde sempre foram, e ainda são, meus exemplos de dedicação, inteligência, esforço e determinação. Obrigada por todo o apoio, e espero conseguir dar a vocês o mesmo orgulho que vocês me dão.

Agradeço à minha sobrinha Antonella que, mesmo sendo tão nova, trouxe tanta alegria e amor para a família e ajudou com que momentos tão difíceis se tornassem mais leves. Que no futuro eu possa te servir como um pouco de inspiração pra não desistir dos seus sonhos, e que você saiba que sua tia sempre estará do seu lado te apoiando.

Agradeço ao meu namorado e companheiro dos últimos 4 anos, Gustavo. Agradeço a sua paciência quando precisei estudar ao invés de lhe dar atenção, e também quando pedia a sua ajuda em diversos trabalhos. Obrigada por todos os incentivos, por acreditar em mim e pela compreensão durante todos os momentos de provações que passamos.

Agradeço à Equipe Fernando Amorim e todos os integrantes que passaram por ela durante o período que estive nela, sem dúvidas aprendi com todos vocês. Tenho muito orgulho em dizer que fiz parte dessa Equipe e por ter contribuído para o seu crescimento. Foi na Equipe que fiz grandes amizades as quais vou levar para o resto da minha vida e que sempre terei alguma boa lembrança para recordar. Listar todos os nomes aqui seria impossível e poderia esquecer alguém, mas não poderia deixar de agradecer, em especial, aos meus amigos Lays, que desde o momento da matrícula nos identificamos; Lucas, uma das primeiras amizades da faculdade e parceiro de Equipe; Vallim e Thales, ambos foram grandes amigos que fiz na Equipe e que tenho um carinho muito grande. Foi um prazer ter dividido tantos momentos incríveis com vocês.

Também agradeço aos meus amigos Vitor, Paulinho e Douglas, que foram meus parceiros em todo nosso ciclo profissional da Engenharia Civil e que garantiram momentos ótimos durante esses anos; e a parceria e amizade da Isa.

Aos meus grandes amigos de Araruama, Carlinhos e Milla, que me acompanharam nessa trajetória desde a época da escola, meu muito obrigada. Cada um foi para um lado em busca dos seus sonhos, mas mesmo com as distâncias físicas nossas amizades permaneceram e cada um está sempre na torcida pelo outro. Fico muito feliz em lembrar de nós há 10 anos e ver onde estamos hoje.

Agradeço a todos os professores da UFRJ que me acompanharam ao longo da graduação e que com seus conhecimentos e dedicação me tornaram uma engenheira civil. Em especial, agradeço a minha orientadora Beatriz Becker que fez com que eu me encantasse pela área de recursos hídricos e me deu todo o apoio necessário durante esse período final do curso.

Agradeço também a cada cidadão brasileiro, pois estes são grandes responsáveis pela minha formação nesta tão qualificada instituição de ensino superior pública. Espero que no exercício da minha profissão eu seja capaz de retribuir-lhes.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste momento, meus sinceros agradecimentos.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

No Brasil diversos são os casos de chuvas que provocam alagamentos e inundações, e tais eventos vêm se tornando cada vez mais frequentes. Seus agentes estão diretamente ligados ao crescimento urbano desordenado, que como consequência gera a impermeabilização do solo, além da falta de sistemas de drenagem adequados. No presente trabalho fez-se uma proposta de intervenção para amenizar os problemas das enchentes na área central da cidade de Macaé/RJ, que vem sofrendo com diversas perdas materiais, humanas e ambientais nos últimos anos. Nesse contexto, foi apresentada a implantação de metodologias que tornem a cidade mais resiliente e sensível às águas. Para isso, é proposto um reservatório de retenção, no qual seu dimensionamento foi baseado no método do SCS (*Soil Conservation Service*), devido ao tamanho da bacia hidrográfica em estudo, relações IDF, que permite o cálculo do volume de retenção, e pela metodologia WSUD (*Water Sensitive Urban Design*), tomando-se como estudo de caso o Parque da Cidade. Os resultados obtidos mostram que o dimensionamento da bacia de retenção atendeu o objetivo de recuperar a vazão de pré urbanização, e, em conjunto com iniciativas WSUD, contribui para a mitigação do efeito das chuvas na bacia central do Rio Macaé.

Palavras-chave: Macaé, Drenagem Urbana, WSUD, Bacia de Detenção.

ABSTRACT

In Brazil there are several cases of rain that cause floods, and such events are becoming more and more frequent. Its agents are directly linked to disordered urban growth, which as a consequence generates soil waterproofing, in addition to the lack of adequate drainage systems. In the present work, an intervention proposal was made to alleviate the flooding problems in the city of Macae, who has been suffering with several material, human and environmental losses in recent years. In this context, the implementation of methodologies that make the city more resilient and sensitive to waters was presented. For this, it is verified the adoption of a detention basin, whose design was based on the SCS (Soil Conservation Service) method, due to the size of the hydrographic basin under study, IDF relationships, which allows the calculation of the detention volume, and the WSUD (Water Sensitive Urban Design) methodology, taking Parque da Cidade as a case study. The results presented show that the dimensioning of the detention basin met the objective of recovering the pre-urbanization flow, and, together with WSUD initiatives, contributes to the mitigation of the effect of the rains in the central basin of the Macae River.

Keywords: Macae, Urban Drainage, WSUD, Detention Basin.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Evolução da gestão da drenagem urbana.....	16
Figura 2 - Princípios da "Cidade do Futuro"	20
Figura 3 - Principais abordagens de drenagem sustentável.....	21
Figura 4 – (A) comportamento da bacia natural, com interceptação vegetal, infiltração e retenções superficiais. (B) urbanização tradicional, sem valorização da água como elemento de paisagem. (C) urbanização mais sustentável, com práticas preservacionistas e valorizando a presença da água.....	25
Figura 5 - Aplicação integrada do WSUD.	27
Figura 6 - Curvas de nível e principais cursos d'água de uma bacia hidrográfica, incluindo o seu exutório (indicado pela seta amarela).....	27
Figura 7 - Bacia delimitada.	28
Figura 8 - Exemplo de curvas IDF para diferentes períodos de retorno.....	30
Figura 9 - Valores de CN para áreas urbanas.	34
Figura 10 - Relação entre o total precipitado e o escoado superficialmente em função da cobertura e do uso do solo.	34
Figura 11 - Valores de CN para as condições antecedentes de umidade do solo.....	35
Figura 12 - Valores para Coeficiente de runoff de acordo com os tipos de zonas.	39
Figura 13 - Definição do tempo de concentração.....	39
Figura 14 - Planta da cidade de Macaé: 1858 – 1861.....	44
Figura 15 - Transformações na região do estuário do rio Macaé, nos anos de 1600, 1850, 1969 e 2005.	46
Figura 16 - Morador do bairro Malvinas com água na altura da cintura após a chuva em 1998.	47
Figura 17 - Parte da ponte de Trapiche, distrito de Macaé, desaba com as fortes chuvas em 2018.	47
Figura 18 - Vista da Cidade Universitária após fortes chuvas em 2018.....	48
Figura 19 – Parque da Cidade na sua inauguração em 2005.	49
Figura 20 - Parque da Cidade atualmente abandonado e depredado.	50
Figura 21 - Parque da Cidade e seu entorno alagado.	50
Figura 22 - Mapa de localização da Bacia do Rio Macaé no estado do Rio de Janeiro.....	52
Figura 23 - Carta imagem da Bacia do Rio Macaé.....	53
Figura 24 - Infraestrutura para a construção de novos canais no bairro Sol e Mar.	54

Figura 25 - Arquivos shapefiles do satélite ALOS Palsar com o arquivo das cidades do Rio de Janeiro do IBGE.	55
Figura 26 - Delimitação da Bacia Hidrográfica Central do Rio Macaé.	56
Figura 27 - Gráfico Intensidade Máxima de Chuvas Intensas de Macaé.	60
Figura 28 - Valores Práticos de Cd.....	61
Figura 29 - Croqui dos dispositivos dimensionados.....	62
Figura 30 - Principais pontos para a criação de ambientes que seguem a abordagem do <i>CoDesign</i>	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos grupos hidrológicos e capacidades de infiltração dos solos.	33
Tabela 2- Definição das condições de umidade do solo.....	35
Tabela 3 - Valores para o coeficiente de <i>runoff</i> de acordo com os tipos de superfície.	38
Tabela 4 - Tempo de retorno em função da ocupação.....	42
Tabela 5 - Risco (%) em função do tempo de recorrência e da vida útil.....	42
Tabela 6 - Características fisiográficas da bacia central do Rio Macaé – RJ.....	56
Tabela 7 - Valores do coeficiente de escoamento da fórmula racional pra CN=77	58
Tabela 8 - Intensidade das chuvas intensas de Macaé (mm/h).....	59
Tabela 9 - Parâmetros para cálculo da vazão afluente máxima.....	66
Tabela 10 - Características do canal da rua Evaldo Costa.....	67
Tabela 11 - Parâmetros para cálculo da carga inicial do orifício	68
Tabela 12 - Resultados para a aplicação do <i>CoDesign</i> na cidade de Macaé.	70
Tabela 13 - Plano para as sessões de CoDesign na cidade de Macaé.	71
Tabela 14 - Resultados para a aplicação do Living WaterWays na cidade de Macaé.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMC	<i>Antecedent Moisture Conditions</i>
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
BMP	<i>Best Management Practices</i>
BNRJ	Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro
BPP	<i>Best Planning Practices</i>
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CN	<i>Curve Number</i>
CRC	<i>Cooperative Research Centre</i>
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte
DNOS	Departamento Nacional de Obras e Saneamento
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LID	<i>Low Impact Development</i>
NUPEM	Núcleo em Ecologia e Desenvolvimento Socioambiental de Macaé
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SUD	<i>Sustainable Urban Drainage Systems</i>
WSUD	<i>Water Sensitive Urban Design</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2. MOTIVAÇÃO	17
1.3. OBJETIVOS	17
1.3.1. Objetivo Geral	17
1.3.2. Objetivos Específicos	17
1.4. DELIMITAÇÃO.....	18
1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1. DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL.....	19
2.1.1. Cidades Sensíveis à Água.....	24
2.2. ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO.....	27
2.2.1. Delimitação da Bacia Hidrográfica	27
2.2.2. Métodos Chuva x Vazão	29
2.2.3. Tempo de Retorno	41
2.3. CENÁRIO HISTÓRICO E CONTEMPORÂNEO DA CIDADE DE MACAÉ	42
2.4. MOTIVAÇÃO PARA UMA MACAÉ SENSÍVEL À ÁGUA	46
3. METODOLOGIA	51
3.1. CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO.....	51
3.2. PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE BACIA DE DETENÇÃO.....	57
3.3. AÇÕES WSUD.....	62
4. RESULTADOS.....	66
4.1. DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE DETENÇÃO	66
4.1.1. Vazão Afluente Máxima à Bacia de Detenção.....	66
4.1.2. Intensidade Efluente Equivalente	66
4.1.3. Cálculo do Volume.....	67
4.2. DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS	67
4.3. AÇÕES WSUD.....	68
4.3.1. <i>CoDesign</i>	70
4.3.2. <i>Living WaterWays</i>	71
5. CONCLUSÃO	73
5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS	73

5.2.	CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS.....	73
5.3.	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	75
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXO 1 - BOLETIM DE SONDAÇÃO DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO		

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Durante muitos anos houve uma tendência de migração das populações rurais para as zonas urbanas em busca de oportunidades no Brasil. A população brasileira urbana passou de 32.004.817 habitantes em 1960, para 160.925.792 habitantes em 2010, o que representa uma população 5 vezes maior. Já a população rural, que em 1960 era de 38.987.526, diminuiu para 29.830.007 habitantes em 2010. A partir desses dados, é possível inferir que a população urbana no Brasil, em 1960, era de 45% do total e, em 2010, esse percentual de população subiu para 84%, ou seja, houve um adensamento nas áreas urbanas em relação a 50 anos atrás (IBGE, 2010).

O aumento da população urbana ocorreu de forma mais rápida do que a capacidade das cidades de se organizarem de forma ordenada e sustentável. Desta forma, foram gerados conglomerados urbanos que mudaram drasticamente o meio ambiente, alterando o ciclo hidrológico com a impermeabilização do solo. A impermeabilização do solo em grandes áreas diminui a infiltração, gerando um aumento significativo de escoamento superficial das águas pluviais.

Historicamente, segundo Silveira (1998), no início do século XIX consolidou-se no Brasil o que hoje é conhecido como “drenagem urbana”, um conceito higienista de evacuação rápida das águas pluviais. Passando pela segunda fase de abordagem da drenagem urbana, observa-se o mesmo conceito, porém com racionalização e normatização dos cálculos hidrológicos. Por fim, na década de 1970, tem-se a terceira fase, na qual se passou a reproduzir no Brasil a tendência mundial de simular o ciclo hidrológico; impulsionado pelo cenário global da época, quando a visão ecológica expôs as lutas ambientais entre as cidades e o ciclo hidrológico.

Devido à falta de políticas de urbanismo eficientes nos séculos passados, a urbanização de muitas cidades brasileiras foi desordenada, o que gerou alterações no ciclo hidrológico. As ações antrópicas do processo de urbanização geram grandes impactos ambientais com consequente modificação nas características de uso e ocupação do solo, alterando os mecanismos naturais de escoamento das águas pluviais (MIGUEZ *et al.*, 2016), fazendo com que as cheias urbanas se tornam cada vez mais frequentes, trazendo prejuízos diversos para a população. Este cenário ainda é agravado quando ocorre a ocupação das margens dos rios, que

está associado à importância da água para a civilização, que, desde a origem das cidades, sempre as atraiu para áreas susceptíveis a inundações, suprimindo espaços antes reservados para o amortecimento das cheias. Logo, a mitigação desses impactos e uma gestão sustentável na urbanização tornam-se cada vez mais fundamentais para a melhor relação das cidades e seus recursos hídricos.

A Figura 1 mostra a evolução da gestão da drenagem urbana ao longo dos anos, que inicialmente tinha como objetivo apenas mitigar a ocorrência de cheias e que hoje foca também na melhoria da qualidade das águas drenadas, na restauração do regime de vazões, no aproveitamento das águas da chuva, entre outros.

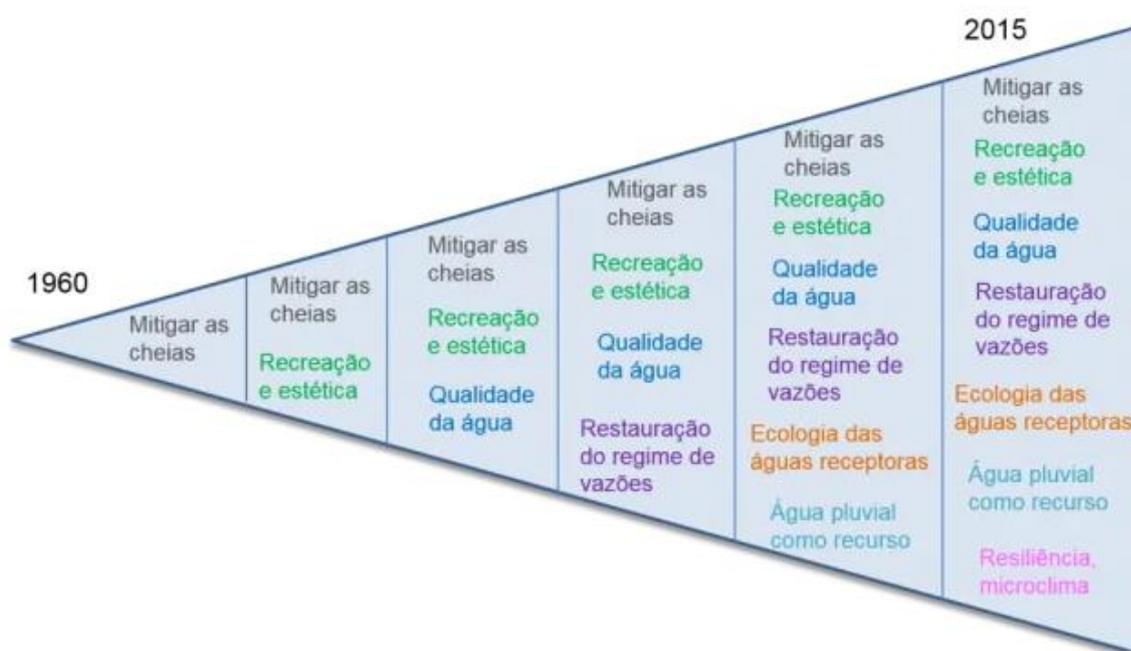


Figura 1 - Evolução da gestão da drenagem urbana
Fonte: Fletcher *et al.*, 2015

Atualmente, no cenário da drenagem no Brasil, ainda predominam sistemas de drenagem convencionais que, tendo função apenas de escoar as águas para jusante, acabam por somente exportar os problemas para municípios vizinhos. A canalização e a retificação dos cursos d'água alteram significativamente a velocidade das águas podendo alterar o ciclo hidrológico (MIGUEZ, *et al.*, 2015). Diante dos constantes impactos negativos associados às inundações, metodologias e abordagens para reduzir o risco de inundações e manejo mais sustentável das águas pluviais urbanas vêm sendo desenvolvidas e, neste trabalho, serão propostas e avaliadas alternativas de controle de cheias para a bacia central do Rio Macaé, na cidade de Macaé por meio de novas técnicas compensatórias de drenagem que buscam, dentre

outros objetivos, aumentar a infiltração da água no solo e adiar o escoamento das águas pluviais, simulando o efeito de uma drenagem natural em uma bacia antes de sua urbanização intensa.

1.2. MOTIVAÇÃO

O interesse na elaboração deste trabalho tem sua origem no desejo de realizar algo que tenha utilidade pública e funcional dentro do cenário atual da cidade de Macaé/RJ, pois esta sofre com inúmeros casos de enchentes que estão se tornando frequentes nos últimos anos.

Um grande processo de urbanização desordenado ocorreu na cidade de Macaé a partir de 1974, devido à descoberta do petróleo na Bacia de Campos, o que levou ao aumento da impermeabilização do solo. Este cenário, junto à ausência de uma política pública de saneamento básico e o uso de medidas tradicionais de drenagem como única solução, se reflete em bairros mais vulneráveis, que são atingidos pelas chuvas intensas, trazendo prejuízos econômicos e sociais.

Dessa forma, o presente trabalho se torna relevante visto que se trata de um estudo que mostra uma alternativa ambientalmente mais harmônica, cujo objetivo é minimizar os efeitos das fortes chuvas na malha urbana, considerando o ciclo hidrológico como peça fundamental.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Este trabalho apresenta como objetivo geral a análise de uma possível solução para os problemas das cheias que ocorrem na bacia central da cidade de Macaé/RJ, considerando a implantação de um reservatório de retenção no Parque da Cidade e, também, propostas de ações a partir do conceito do WSUD (*Water Sensitive Urban Design*), ou Cidades Sensíveis à Água, que visam integrar o planejamento urbano com o ambiente natural no qual está inserido.

1.3.2. Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral, a pesquisa conta com os seguintes objetivos específicos:

- A partir da drenagem urbana sustentável e das Melhores Práticas de Gestão das Águas Pluviais (*Best Management Practices – BMP*), dimensionar um reservatório de retenção para controle das cheias na região de estudo;
- Propor ações de um Projeto Urbano Sensível à Água (*Water Sensitive Urban Design - WSUD*) a partir de referências importantes acerca do tema, para a bacia de estudo;
- Propor o desenvolvimento de estudos adicionais que conduzam o aperfeiçoamento do WSUD em toda a cidade.

1.4. DELIMITAÇÃO

Com o intuito de estudar as possíveis melhorias no sistema de drenagem na cidade de Macaé/RJ, por meio do conceito do WSUD, concebido e desenvolvido na Austrália, foi escolhida a bacia da área central da cidade de Macaé/RJ como objeto de estudo. Esta bacia engloba a área do Parque da Cidade no bairro da Praia Campista e os canais da Avenida dos Jesuítas, Rua Evaldo Costa e Avenida Fábio Franco, nos bairros de Imbetiba, Sol e Mar e Visconde de Araújo.

1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em 6 capítulos.

No capítulo 1 é feita uma contextualização, apresentando o tema e explicando a motivação da escolha da autora pelo mesmo, além de delimitar a área de estudo e definir os objetivos do trabalho.

No capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica sobre os conceitos e técnicas que serão considerados essenciais para o trabalho e também um histórico dos casos de cheias que o local de estudo já enfrentou.

No capítulo 3 são descritas características importantes do local de estudo e, também, qual a proposta sugerida pelo trabalho para ser implementada.

No capítulo 4 é apresentado o dimensionamento do método proposto.

No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões e considerações finais do trabalho, além de recomendações para trabalhos futuros. E, por último, no capítulo 6, são listadas as bibliografias utilizadas na elaboração do trabalho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

De acordo com Lezy-Bruno & Oliveira (2007), os objetivos da gestão sustentável da água são: proteger as pessoas e os bens contra as inundações; combater a poluição; proteger as margens contra a erosão; manter o equilíbrio ecológico do bioma específico; valorizar as paisagens do rio e das zonas de inundação; controlar as águas pluviais e proteger os ecossistemas aquáticos.

O sistema de drenagem urbana deve ser considerado de uma maneira integrada, no contexto do desenvolvimento urbano sustentável, envolvendo aspectos desde a conservação ambiental, o controle de uso do solo, o desenvolvimento de baixo impacto, até uma vida urbana mais saudável. Para alcançar esses objetivos, é necessário construir uma estrutura que integre aspectos legais, institucionais, sociais, técnicos e econômicos. Neste contexto, é importante identificar a legislação aplicada, em termos de zoneamento urbano e controle de uso do solo, as políticas e as práticas de gestão de recursos hídricos, as oportunidades e dificuldades do saneamento ambiental integrado, os padrões e limitações das construções, o papel dos agentes institucionais e a participação da comunidade. Todos esses aspectos em conjunto caracterizam a tendência para as cidades do futuro, conforme é mostrado na Figura 2.

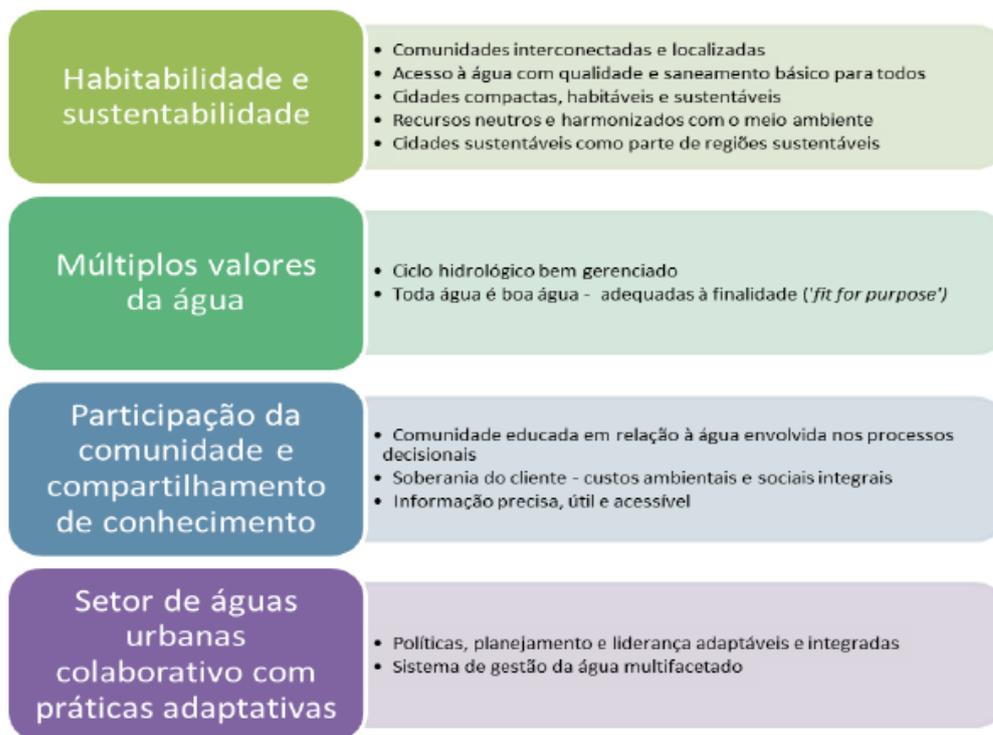


Figura 2 - Princípios da "Cidade do Futuro"
 Fonte: BINNEY *et al.* (2010), organizado por WONG *et al.* (2011)

A drenagem urbana, especificamente o manejo das águas urbanas, passou por algumas fases até o conceito atual de drenagem urbana sustentável. A primeira fase é a Pré-Higienista, que vai até o início do século XX; depois vem a fase Higienista até 1970; seguida da fase Corretiva, entre 1970 e 1990 e, somente então, após 1990, é que surge a abordagem mais sustentável (TUCCI, 2005). A principal característica da última fase, que inclui o conceito de desenvolvimento sustentável, é a de não somente atuar no controle às inundações, mas também incluir aspectos de conservação ambiental, melhoria da qualidade de vida.

Dentro dessa nova fase das águas urbanas, alguns conceitos importantes foram surgindo, sendo os principais o *Best Management Practices* (BMP), ou as Melhores Práticas de Gestão das Águas Pluviais; o *Low Impact Development*, ou Desenvolvimento de Baixo Impacto; as Técnicas Compensatórias; o *Sustainable Urban Drainage Systems*, ou Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável; e o *Water Sensitive Urban Design*, ou Projeto Urbano Sensível à Água (Miguez *et al.*, 2016) (Figura 3).

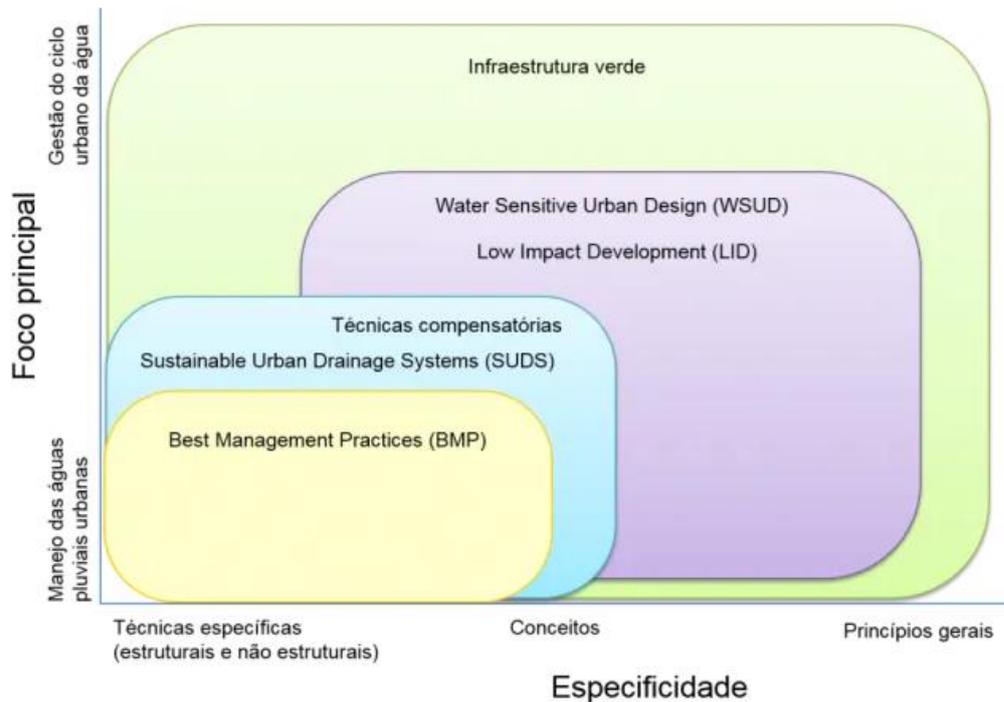


Figura 3 - Principais abordagens de drenagem sustentável
 Fonte: Fletcher *et al.* (2015)

Para o desenvolvimento deste trabalho, iremos nos embasar nos estudos e práticas desenvolvidos na Austrália com a introdução da WSUD (*Water Sensitive Urban Design*) e nos Estados Unidos com ações realizadas pela EPA (*Environmental Protection Agency*) conhecidas como BMPs (*Best Management Practices*).

O WSUD é um conceito que representa a gerência integrada da terra e da água, o qual visa diminuir os impactos da urbanização no ciclo natural da água. Ele abrange todos os aspectos a ela relacionados, inclusive o de coletar e/ou tratar a água de chuva e a água servida para suplementar a fonte de água potável e seus princípios, listados abaixo, podem ser aplicados desde um edifício até uma cidade inteira (LLOYD, 2001).

- Controle do escoamento – Visa manter os níveis apropriados do aquífero, recarga e escoamento superficial, impedir os danos de enchentes em áreas densamente ocupadas e evitar erosão excessiva dos canais.
- Melhoria da qualidade da água – Busca minimizar o carregamento de sedimentos levados pela água, proteger a vegetação ripária existente, minimizar a exportação de poluentes e os impactos causados pelos esgotos.
- Conservação da água – Visa minimizar a importação e o uso das fontes de água potável, reuso de água de chuva, reuso e a reciclagem de efluentes, reduzir os gastos de

água com irrigação, promover o auto abastecimento e manter os valores ambientais e recreacionais relacionados à água.

Dentre as práticas utilizadas pelo WSUD para o cumprimento de seus objetivos estão:

- Uso de valas e banhados (sistemas de tratamento por zona de raízes) são usados no tratamento da água de chuva para diminuir os poluentes brutos e melhorar a qualidade da água;
- Uso de plantas para tratar a água servida no local;
- A água reciclada é armazenada e posteriormente utilizada na irrigação, em vasos sanitários e no combate a incêndio;
- Em todos os edifícios existe dupla tubulação, para água potável e não potável;
- Uso de dispositivos de economia de água;
- Sistemas de bio-infiltração e coleta;
- Bacias de infiltração;
- O escoamento da água dos telhados coletado e armazenado em tanques para o uso doméstico

As BMPs são ações de controle, classificadas em estruturais ou não-estruturais, as quais possuem como objetivo controlar a quantidade e melhorar a qualidade das águas de chuva, levando em consideração o custo-efetividade. Os benefícios das BMPs dependem de fatores que variam de acordo com cada local, tais como: intensidade, duração e frequência dos eventos de chuva; qualidade da água e as condições físicas dos corpos d'água; uso atual e potencial dos rios e a eficiência da remoção de poluentes pelas BMPs.

Para atingir seus objetivos, as BMPs dimensionam projetos para serem realizados de modo que a taxa de pico de escoamento e o volume de poluentes carregados pelos corpos d'água, tenham os mesmos valores da época anterior a urbanização. Para isso, são considerados o controle do fluxo, a remoção de poluentes e a redução de poluentes na fonte, os quais são concretizados por meio do uso das seguintes práticas:

A) Práticas Estruturais das BMPs

- Sistemas de infiltração – bacias de infiltração e pavimentos porosos;
- Sistemas de retenção – lagoas de retenção;
- Sistemas de detenção – bacias e valas de detenção
- Construção de sistemas de banhados (sistema de tratamento por zona de raízes);
- Sistemas de filtração – filtros e sistemas de bio-retenção;
- Sistemas vegetados – tiras de filtro de grama e valas vegetadas;

- Minimização das superfícies impermeáveis;
- Sistemas mistos– separadores de água e óleo.

B) Práticas não-estruturais das BMPs

- Economia doméstica;
- Substituição dos fertilizantes, pesticidas e herbicidas, por outros menos agressivos ao ambiente;
- Gerenciamento das áreas verdes;
- Práticas de manutenção – limpeza dos reservatórios, valas, estacionamentos e vias públicas;
- Detenção e eliminação das descargas de efluentes nos cursos d'água;
- Programas de educação ambiental;
- Planejamento e desenvolvimento de baixo impacto.

Em relação a este tema, o Conselho Regional da Carolina do Norte, *Land-of-sky Regional Council* (LOSRC) - (1994) propõe que os problemas referentes à degradação dos rios, tais como as inundações e a poluição das águas, apresentam uma tendência atual de “abordagem sistemática”, isto é, integrar medidas preventivas às práticas de controle. Desta forma, busca-se atender a dois princípios, o primeiro é minimizar a geração das inundações e poluentes, por intermédio de uma variedade de técnicas. E o segundo indica que, a maneira de gerenciar o escoamento associado aos poluentes, consiste na redução dos impactos sobre os seres humanos e o ambiente.

De acordo com o LOSRC (1994), as medidas preventivas incluem práticas não estruturais que evitam a geração de enxurradas e a contaminação das águas por poluentes e são consideradas como o “primeiro passo” para a gestão integrada das águas pluviais. Estas medidas apresentam uma relação custo/benefício muito boa em comparação com as medidas de controle e provocam a mudança de comportamento dos indivíduos por meio de atividades, como as listadas abaixo:

- Planejamento do uso do solo e técnicas de manejo;
- Técnicas de prevenção à poluição;
- Programas de envolvimento e educação da população;
- Programas de controle da erosão e da sedimentação;
- Programa de eliminação das conexões de esgoto ilícitas.

As medidas de controle são práticas estruturais de redução do volume, do pico de descarga e da concentração de poluentes nos escoamentos pluviais. Estas medidas utilizam processos de detenção e retenção, dispositivos de infiltração, práticas vegetativas que atuam como biofiltros das águas pluviais, entre outros. De modo geral, as medidas de controle são mais caras que as medidas preventivas.

Algumas medidas de controle apoiadas em experiências internacionais estão começando a ser usadas no Brasil, como mecanismos de infiltração das águas pluviais; dispositivos de retardamento de vazão da forma artificial, por meio do uso de reservatórios e outras obras de drenagem. Também são utilizadas tecnologias baseadas em processos naturais, através do replantio da mata ciliar e da recuperação da sinuosidade do leito dos cursos d'água; implantação de parques lineares, os quais são equipamentos urbanos fundamentais para a recuperação das zonas marginais e em áreas muito adensadas, o aproveitamento das margens dos rios para a implantação de espaços ao ar livre, permitindo maior integração social (SANCHES, 2007).

Na ótica das questões político-sociais, os autores Lezy-Bruno & Oliveira (2007) avaliam que os projetos e ações de ordenamento do território urbano, necessitam apresentar como princípios: a melhoria da qualidade ambiental da paisagem; respeitar o comportamento natural do curso d'água; associar as ações de revitalização a outros projetos de infraestrutura e voltá-las para as atividades de lazer, esportivas e educacionais.

2.1.1. Cidades Sensíveis à Água

As cidades possuem uma relação histórica com a água, já que grande parte delas foram iniciadas em torno desse recurso, seja num curso d'água ou no litoral, como apoio às atividades de subsistência. Na atualidade, a sociedade faz diversos usos à água, não somente para seu consumo (água potável) e necessidades diárias, mas também para cultivo de alimentos, produção de recursos, transporte e lazer, por exemplo.

A água é frequentemente um item central para a identidade de um lugar. Entretanto, o relacionamento entre as cidades e os recursos hídricos não é priorizado no planejamento e desenvolvimento urbano. A escassez de água, inundações e poluição dos rios são sinais que a relação do ser humano com o ciclo hidrológico natural não é harmônica. Porém, atualmente são estudadas e implantadas técnicas que integram da melhor maneira os ambientes natural e urbano. A Figura 4 mostra, respectivamente, o comportamento de uma bacia natural, urbanizada tradicional e uma bacia urbanizada com abordagem de desenvolvimento sustentável.

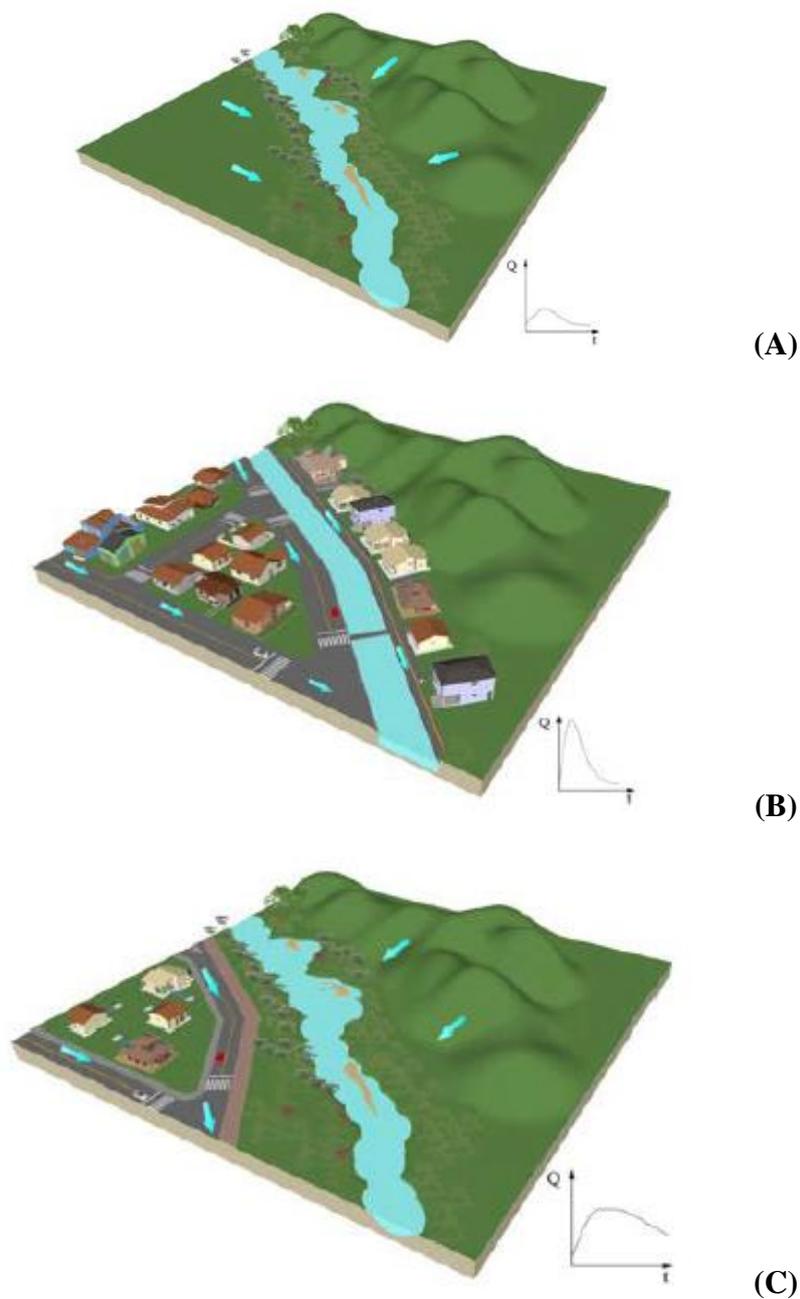


Figura 4 – (A) comportamento da bacia natural, com interceptação vegetal, infiltração e retenções superficiais.

(B) urbanização tradicional, sem valorização da água como elemento de paisagem. (C) urbanização mais sustentável, com práticas preservacionistas e valorizando a presença da água.

Fonte: Veról, 2013.

Tendo isso em vista, surge o *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), que é o processo de incorporação do planejamento urbano simultaneamente com a gestão, proteção e conservação do ciclo de água urbano que assegura que a gestão da água seja sensível ao ciclo hidrológico natural. Desta forma, são criados sistemas que, ao mesmo tempo em que possibilitam segurança quanto ao abastecimento e contra as cheias urbanas, também

proporcionam ambientes integrados à estética paisagística, oferecendo, portanto, bem-estar à população.

O termo WSUD foi primeiramente citado nos anos 1990 na Austrália como uma nova forma de projetos de planejamento urbano. Paralelamente, emergiram também em outros países conceitos similares de planejamento e gestão das águas e dos ambientes urbanos de forma mais sustentável. Dentre eles citam-se os SuDS (*Sustainable Drainage Systems*) adotados no Reino Unido através de sistemas de drenagem que simulam o ambiente natural, anterior à urbanização.

Segundo Veról (2013), a integração dos usos das águas urbanas em diferentes escalas espaciais, com o envolvimento de diferentes áreas do conhecimento, englobando engenharia hidráulica, urbanismo, arquitetura, ciências sociais e ambientais e economia, tentando preservar a natureza e agregando valor ao ambiente construído, em uma estrutura participativa em que as comunidades desempenham um papel importante, é uma das principais características do conceito de WSUD. Segundo WONG (2006), "WSUD traz 'sensibilidade à água' dentro do desenho urbano", e a expressão 'sensível à água' define um novo paradigma na gestão integrada do ciclo hidrológico urbano.

De acordo com o *WSUD Ideas Book* (2013), são necessários dois princípios básicos para a aplicação do sistema WSUD em uma cidade:

- Todos os elementos do ciclo hidrológico devem ser considerados em concomitância para a manutenção do meio ambiente natural e, também, para atender às necessidades da população. Ou seja, uma gestão adequada dos setores de abastecimento de água, saneamento, proteção dos corpos hídricos, drenagem pluvial e controle de cheias, reuso da água e sistemas de retenção.

- O ciclo da água deve ser considerado integralmente e em todas as etapas do projeto, ou seja, desde o início do planejamento e ao longo de todo o projeto.

Dessa forma, será possível a obtenção de benefícios que resolvem grandes problemas da atualidade dos centros urbanos, tais como redução da poluição das águas, redução dos riscos de inundações, maior conexão das comunidades com a água, maior consciência ambiental e redução das ilhas de calor, como é representado na Figura 5.



Figura 5 - Aplicação integrada do WSUD.
 Fonte: CIRIA, 2013.

2.2. ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

2.2.1. Delimitação da Bacia Hidrográfica

Segundo Gribbin (2012), a delimitação do divisor de águas da bacia é feita através de uma planta topográfica, e ao redor de um curso de água, sendo necessária para o cálculo do escoamento neste curso d'água. Desse modo, de acordo com as etapas indicadas por Sperling (2007), para a delimitação manual das bacias hidrográficas, deve-se definir o ponto mais baixo, denominado exutório, como mostrado na Figura 6, que é o ponto de desagüe do curso d'água.

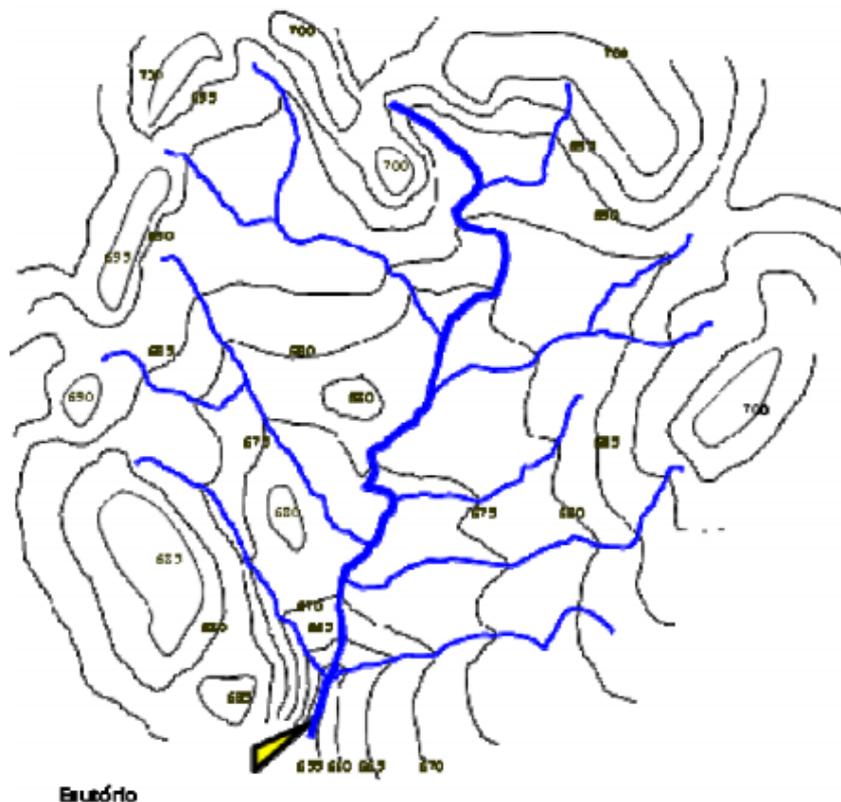


Figura 6 - Curvas de nível e principais cursos d'água de uma bacia hidrográfica, incluindo o seu exutório (indicado pela seta amarela).
 Fonte: Sperling, 2007.

Em seguida, deve-se reforçar a marcação do curso d'água principal e dos pontos que cruzam as curvas de nível, das mais altas para as mais baixas, até, então, retornar ao ponto do exutório, conforme mostra a Figura 7.

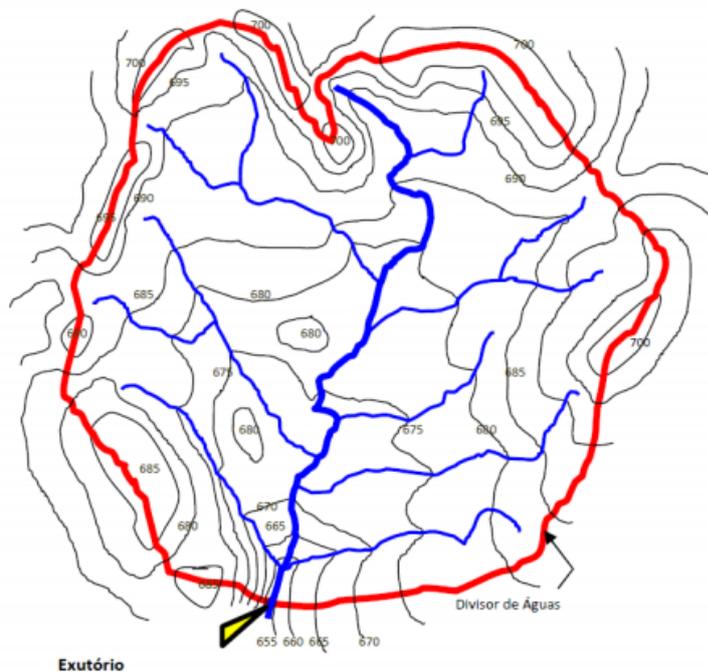


Figura 7 - Bacia delimitada.
Fonte: Sperling, 2007.

Com a delimitação da bacia hidrográfica é possível retirar informações importantes para os cálculos hidrológicos, como a área de drenagem contribuinte.

Com o valor da área da bacia, é possível determinar o melhor método para calcular o volume de detenção. A Norma DE 01/HD-002 – Projeto de Drenagem, contida no Manual de Drenagem Rodoviária do Departamento de Estradas de Rodagem (DER) do Estado de São Paulo, prescreve as seguintes recomendações:

“A metodologia de cálculos hidrológicos para determinação das vazões de projeto será definida em função das áreas das bacias hidrográficas, conforme indicadas:

- Método Racional: Áreas < 50 ha
- Método Racional Modificado: $50 \text{ ha} \leq \text{Área} \leq 100 \text{ ha}$
- Método de Ven Te Chow ou Soil Conservation Service: Áreas > 100 ha

As vazões de projeto de bacias com áreas de drenagem superiores a 50 km² serão determinadas a partir do método

estatístico direto. Desde que devidamente justificada e adequada à área em estudo, a fiscalização poderá aceitar outra metodologia para a determinação das vazões de projeto.”

2.2.2. Métodos Chuva x Vazão

Devido à falta de dados fluviométricos de modo geral, torna-se necessária a utilização de métodos indiretos de forma a obter as vazões de projeto. A seguir, serão trazidos alguns desses métodos, mais difundidos atualmente, destacando seus principais parâmetros.

Para a realização do dimensionamento de um sistema de drenagem por qualquer que seja o modelo utilizado, é necessário determinar as precipitações esperadas no local da obra. Assim, poderão ser definidas as vazões de projeto.

Inicialmente, deve-se buscar dados de precipitações anteriores, fornecidos por pluviômetros ou pluviógrafos. Quanto maior e mais confiável for a série de dados, melhor serão os resultados. Em muitos casos, não há série de dados disponível para a região de estudo, buscando-se então séries de regiões próximas.

Tendo-se os dados, é possível determinar a equação intensidade-duração-frequência (IDF), popularmente conhecida como equação das chuvas intensas. A duração é o período de tempo, normalmente medido em horas ou minutos, no qual ocorre precipitação. A frequência da chuva pode ser definida como a quantidade de ocorrências de chuvas iguais ou superiores àquela considerada num determinado período. A intensidade é a relação entre a altura da precipitação e seu tempo de duração. Já a altura da precipitação é a espessura média da lâmina líquida que cobriria a região atingida pela chuva caso a área fosse plana e impermeável (COLLISCHONN, 2013). Na Figura 8, são apresentadas curvas IDF para diferentes períodos de retorno.

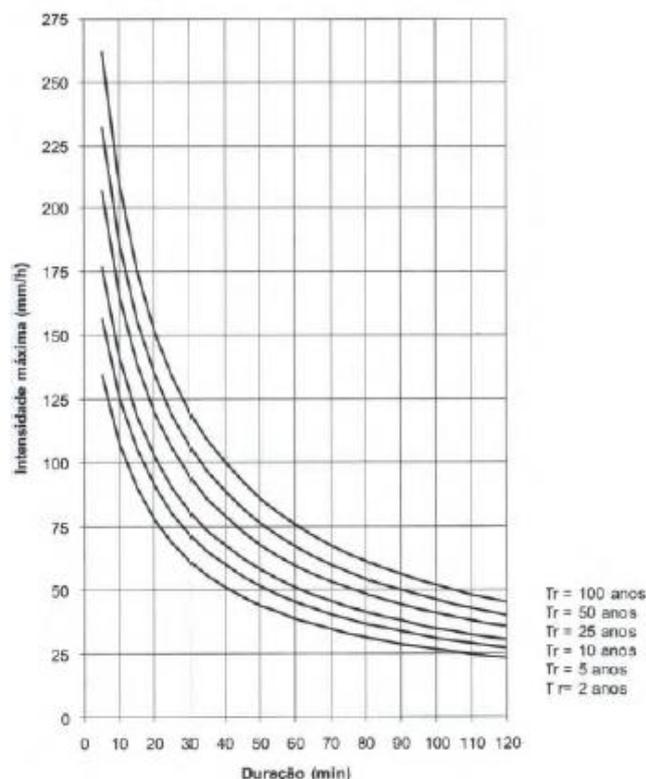


Figura 8 - Exemplo de curvas IDF para diferentes períodos de retorno.
Fonte: Collischonn, 2013.

Essa equação depende, além da série de dados de precipitações anteriores, do tempo de retorno utilizado, que está diretamente relacionado com a frequência da precipitação. O tempo de retorno pode ser definido como o tempo médio em anos que uma precipitação é igualada ou excedida por qualquer outra precipitação. Segundo Tucci (1995), para obras de macrodrenagem em áreas comerciais e residenciais, como é o caso do local de estudo deste trabalho, é utilizado o período de retorno de 50 a 100 anos.

Há diferentes metodologias para se determinar a equação das chuvas, que não serão detalhadas aqui por estarem fora do escopo do presente trabalho. Em resumo, a análise de frequências das chuvas intensas pode ser realizada utilizando séries parciais e séries anuais.

A fórmula de intensidade de chuvas, proposta por Pfafstetter (1957) apud MIGUEZ *et al.* (2016), está apresentada na Equação 1.

$$I = \frac{a \times T_r^n}{(t_d + b)^m} \quad (1)$$

Onde,

I = Intensidade de precipitação, em mm/h;

T_r = Período de retorno, em anos;

t_d = Tempo de duração, em minutos;

a, b, n e m = Constantes a serem determinadas que dependem da localidade.

Assim, de acordo com o tempo de duração da chuva e do período de retorno, pode-se determinar a intensidade da precipitação.

Após a determinação da duração da precipitação, é necessário avaliar o modo como a chuva se dispersa ao longo de sua duração, sendo possível que a precipitação seja considerada constante ou variável. No caso do Método Racional, a intensidade da chuva é constante durante o tempo de duração e em toda a bacia. No caso do Método SCS, a intensidade da chuva é variável.

Para o Método SCS, é considerada uma chuva de projeto de duração aproximadamente igual ao tempo de concentração (CANHOLI, 2005). Como a intensidade da chuva não é considerada constante, sua distribuição ao longo de sua duração deve ser determinada. Para determinar a distribuição da chuva ao longo do tempo de duração, pode ser utilizado o método dos blocos alternados (CANHOLI, 2005). A partir de uma intempérie normalizada, a chuva de projeto deve ser caracterizada. É de se esperar que uma chuva de projeto tenha a mesma duração, intensidade e frequência da tormenta em questão.

Método Soil Conservation Service (SCS)

Este método foi desenvolvido pelo *Soil Conservation Service (SCS)* para especificar hidrogramas unitários adimensionais e analisar bacias hidrográficas nos Estados Unidos, publicado pela primeira vez em 1975, no Manual *Urban Hydrology for Small Watersheds* e que passou por muitas revisões em 1986 (GRIBBIN, 2013). O Método SCS é muito utilizado para o cálculo da vazão em projetos como galerias de drenagem e bacia de contenção. Porém, não é indicado para bacias muito grandes pois, à medida que a área da bacia aumenta, as características da bacia e da chuva que cai sobre ela variam bastante.

De acordo com Assunção (2012), esse procedimento correlaciona a capacidade de armazenamento de uma bacia hidrográfica a um valor denominado *Curve Number (CN)*, como mostrado na Equação 2.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

Onde,

S = armazenamento potencial de água no solo da bacia (mm);

CN = *curve Number*, coeficiente adimensional que agrega as características da bacia (variando entre 0 e 100)

Para a determinação desse parâmetro CN, os solos são inicialmente classificados em função do grupo hidrológico, podendo ser dos tipos A, B, C ou D.

Sartori *et al.* (2005) classificou hidrológicamente os solos de modo que segue:

- Grupo hidrológico A: Solos com profundidade maiores que 2 metros, podendo possuir profundidade entre 1 e 2 metros, com altas taxas de infiltração, alto grau de resistência e tolerantes à erosão. Estes são solos de texturas argilosas ou muito argilosas – com estrutura que proporciona alta macroporosidade – possuem baixo gradiente textural, apresentando textura média. São de bem a excessivamente drenados. Enquadram-se no grupo: Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho amarelo, Latossolo Vermelho com textura argilosa ou muito argilosa e com alta porosidade e Latossolo Vermelho Amarelo com textura média com horizonte superficial não arenoso.
- Grupo hidrológico B: Solos com profundidades entre 1 e 2 metros, com moderada taxa de infiltração, com resistência moderada e tolerante à erosão. Podem possuir textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média com horizonte superficial arenoso, de textura argilosa ou muito argilosa desde que com boa macroporosidade. Classificam-se neste tipo de solo: Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho amarelo que possuem textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; Latossolo Bruno, Nitossolo Vermelho, Neossolo Quartzarênico, Argilossolo Vermelho ou Vermelho Amarelo todos com textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentem mudança textural abrupta.
- Grupo hidrológico C: Solos com profundidade variando entre 0,5 e 2 metros, com baixa taxa de infiltração, baixa resistência e tolerância à erosão. Possuem gradiente textural maior que 1,5 fazendo parte deste grupo hidrológico: Argilossolo pouco profundo, sem mudança textural abrupta; Argilossolo Vermelho, Argilossolo Vermelho amarelo e Argilossolo Amarelo todos profundos e com mudança textural abrupta; Cambissolo de textura média e Cambissolo Háplico ou Húmico com características físicas semelhantes aos latossolos; Espodossolo Ferrocárbico; Neossolo Flúvico.
- Grupo hidrológico D: Solos com taxa de infiltração muito baixa, com porquíssima resistência e tolerância a erosão, em geral com profundidades menores que 0,5 metro, associados às mudanças texturais abruptas aliadas às

argilas de alta atividade. Solos orgânicos também fazem parte deste grupo. Enquadram-se neste grupo hidrológico de solo: Neossolo Litólico; Organossolo; Gleissolo; Chernossolo; Planossolo; Vertissolo, Alissolo; Luvisolo; Plintossolo; Solos de Mangue; Afloramentos de Rocha; Cambissolos não classificados no grupo C; Argilossolo Vermelho amarelo e Argilossolo Amarelo pouco profundos.

Na Tabela 1 é possível visualizar a classificação dos grupos hidrológicos de solos e suas respectivas capacidades de infiltração.

Tabela 1 - Classificação dos grupos hidrológicos e capacidades de infiltração dos solos.

Grupo Hidrológico do Solo	Descrição do Solo	Capacidade de Infiltração (cm/h)
A	Areias e cascalhos profundos ($h > 1,50$ m), muito permeáveis. Possuem alta taxa de infiltração mesmo quando saturados. Teor de argila até 10%.	1,20 – 0,80
B	Solos arenosos com pouco finos, menos profundos ($h < 1,50$ m) e permeáveis. Teor de argila 10% - 20%.	0,80 – 0,40
C	Solos pouco profundos com camadas subsuperficiais que impedem o fluxo descendente de água, ou solos com porcentagem elevada de argila (20% - 30%)	0,40 – 0,15
D	Solos compostos principalmente de argilas (acima de 30%) ou solos com nível freático elevado, ou solos com camadas argilosas próximas à superfície, ou solos rasos sobre camadas impermeáveis.	0,15 – 0,00

Fonte: Canholi, 2005.

Dessa maneira, para cada tipo de cobertura, há quatro valores de CN, que variam de acordo com o grupo hidrológico do solo em questão. Após o solo ser classificado de acordo com seu grupo hidrológico, o valor de CN pode ser determinado a partir da cobertura e das características de ocupação da bacia. Na Figura 9 são apresentados os valores de CN recomendados por Tucci (2001).

Utilização ou cobertura do solo		Tipo de solo			
		A	B	C	d
Zonas cultivadas					
Sem medidas de conservação do solo		72	81	88	91
Com medidas de conservação do solo		62	71	78	81
Pastagem ou baldios					
Em más condições		68	79	86	89
Em boas condições		39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais					
Cobertura má, sem "Mulch"		45	66	77	83
Boa cobertura		25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, etc.					
Boas condições, relva cobrindo mais de 75 % da área		39	61	74	80
Condições razoáveis, relva cobrindo de 50 a 75 % da área		49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios (85 % de área impermeável)		89	92	94	95
Zonas industriais (72 % de área impermeável)		81	88	91	93
Zonas residenciais					
Áreas médias dos lotes	Porcentagem média impermeável				
< 500 m ²	65%	77	85	90	92
1000 m ²	38%	61	75	83	87
1300 m ²	30%	57	72	81	86
2000 m ²	25%	54	70	80	85
4000 m ²	20%	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas					
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais		98	98	98	98
Gravilha		76	85	89	91
Terra		72	82	87	89

Figura 9 - Valores de CN para áreas urbanas.
Fonte: Tucci, 2001.

A Figura 10 representa graficamente a relação entre o CN e o tipo de cobertura da área sobre a infiltração e o armazenamento, onde é possível perceber que quanto maior o CN, mais impermeável é o terreno.

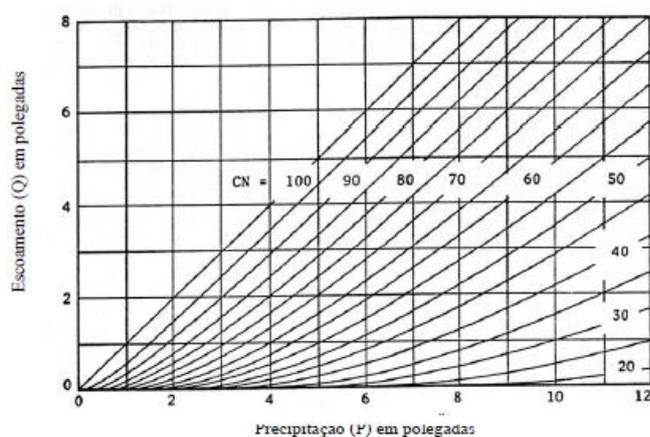


Figura 10 - Relação entre o total precipitado e o escoado superficialmente em função da cobertura e do uso do solo.
Fonte: Raudkivi, 1979.

A definição dos valores de CN dependem das condições de umidade antecedente do solo, em inglês *Antecedent Moisture Conditions* (AMC). Os valores de CN para áreas urbanas, mostrado na Figura 11, são para condições antecedentes de umidade de solo normais, considerado AMC II. A definição para cada condição é encontrada na Tabela 2, e os valores corrigidos para cada condição são encontrados na Figura 11.

Tabela 2- Definição das condições de umidade do solo.

Condição antecedente de umidade	Definição
AMC I	Solos relativamente secos – não prejudicam a vida da vegetação – possuindo quantidade considerável de áreas que permitam a infiltração rápida das águas pluviais.
AMC II	Condição de solo mais comum, considerada intermediária entre a condição I e II. Esta condição é normalmente verificada na estação úmida do ano.
AMC III	Solo praticamente saturado, condição na qual ocorreram precipitações pesadas nos últimos 5 dias, havendo baixa evapotranspiração – condição que ocorre em geral em períodos com muita chuva ou com baixas temperaturas. Nesta condição são maiores as possibilidades de inundação nas partes mais baixas da bacia.

Fonte: Setzer e Porto, 1979.

CN para AMCII	Valor corrigido de CN	
	AMCI	AMCIII
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0

Figura 11 - Valores de CN para as condições antecedentes de umidade do solo.

Fonte: Setzer e Porto, 1979.

Quando a bacia de contribuição é composta por diferentes tipos de cobertura, o valor de CN para a bacia é obtido por uma média ponderada de áreas, conforme mostra a Equação 3:

$$CN = \frac{\sum CN_i \times A_i}{\sum A_i} \quad (3)$$

Onde,

A_i = área do tipo i ;

CN_i = coeficiente CN correspondente para a área do tipo i ;

CN = coeficiente CN resultante.

O volume de detenção por este método é estimado considerando -se a máxima vazão efluente igual à vazão de pré-urbanização.

Método de Porto

Porto (2002) desenvolveu um método que permite estimar o volume detido em bacias de detenção baseado nas características do hidrograma afluente, do reservatório e dos dispositivos de saída.

O volume de detenção dado pelo método de Porto é dado pela Equação 4:

$$V_d = \frac{C \times A}{3,6} \times 60 \times t_d \times \left(\frac{444,258 \times T_r^{0,26}}{(t_d + 6,266)^{0,66}} - \frac{I_s}{\beta + 1} \right) \quad (4)$$

Onde,

V_d = Volume de detenção, em m^3 ;

C = Coeficiente de *runoff*;

A = Área de drenagem, em km^2 ;

t_d = Tempo de duração da chuva, em minutos;

I_s = Intensidade efluente equivalente, em mm/h ;

T_r = Tempo de retorno, em anos;

β = Parâmetro que depende do tipo de regime de variação da vazão efluente, que por sua vez varia de acordo com o dispositivo de extravasamento da bacia de detenção. O valor unitário de β é usualmente utilizado.

Método Racional

O Método Racional é muito utilizado no dimensionamento dos sistemas de drenagem e é baseado na relação entre a intensidade da precipitação e a vazão superficial. Sua predileção deve-se à simplicidade e aos resultados que costumam ser satisfatórios, desde que respeitadas

as condições de validade. A vazão superficial, também chamada de vazão de pico, depende diretamente da área drenada e do coeficiente adimensional, chamado de coeficiente de *runoff*, que calcula a chuva excedente. O cálculo da vazão de pico é dado pela Equação 5.

$$Q = \frac{C \times i \times A}{3,6} \quad (5)$$

Onde,

Q = vazão de pico, em m³/s;

C = coeficiente de *runoff*;

i = intensidade da precipitação para o tempo de concentração da bacia, em mm/h;

A = área da bacia, em km².

Segundo as recomendações da *Federal Aviation Administration* (FAA), o Método Racional possui as seguintes considerações:

- 1) A vazão de pico ocorre quando toda a área está contribuindo para o fluxo de escoamento;
- 2) A intensidade da precipitação é igual em toda a bacia de contribuição;
- 3) A intensidade da precipitação é constante ao longo do tempo de concentração, sendo este o tempo necessário para que a gotícula de água do ponto mais remoto da bacia esteja contribuindo para o escoamento no ponto de interesse;
- 4) O coeficiente de *runoff* é dado por uma faixa de valores, sendo recomendado que sejam utilizados coeficientes maiores quanto maiores forem os períodos de retorno e declividade da superfície.

Como consequência das considerações apresentadas acima, o Método Racional não avalia o volume das cheias nem a distribuição temporal das vazões. Porém, um hidrograma triangular é sugerido como resultado da precipitação do Método Racional. De acordo com Canholi (2005), pode ser adotado um hidrograma simplificado em forma de triângulo isósceles, com base igual ao dobro do tempo de concentração e precipitação constante com duração igual ao tempo de concentração. Neste trabalho, será considerado apenas a vazão de pico dada pela Equação 5 para a utilização do método.

O coeficiente de *runoff* representa a capacidade de infiltração da bacia em questão, que depende das características físicas, como permeabilidade do solo, cobertura vegetal, umidade do solo antes da chuva e a declividade. Dessa forma, quanto maior o grau de impermeabilização do solo, maior o valor do coeficiente C, sendo, então, maior a vazão resultante para o escoamento superficial.

Quando a área de contribuição for composta por diferentes tipos de cobertura, o valor de C para a bacia é obtido por uma média ponderada de áreas, conforme mostra a Equação 6.

$$C = \frac{\sum C_i \times A_i}{\sum A_i} \quad (6)$$

Onde,

A_i = área do tipo i;

C_i = coeficiente de *runoff* correspondente para a área com cobertura do tipo i;

C = coeficiente de *runoff* resultante.

A *American Society of Civil Engineers* (ASCE) recomenda valores para o coeficiente de *runoff* (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores para o coeficiente de *runoff* de acordo com os tipos de superfície.

Superfície	Intervalo de C	Valor esperado de C
Pavimento	Asfalto	0,70 – 0,95
	Concreto	0,80 – 0,95
	Calçadas	0,75 – 0,85
	Telhado	0,75 – 0,95
Cobertura: grama, solo arenoso	Plano (2%)	0,05 – 0,10
	Médio (2 a 7%)	0,10 – 0,15
	Alta (7%)	0,15 – 0,20
Cobertura: Grama, solo pesado	Plano (2%)	0,13 – 0,17
	Médio (2 a 7%)	0,18 – 0,22
	Alta (7%)	0,25 – 0,35

Fonte: ASCE, 1969.

Outra referência para valores de coeficiente de escoamento superficial está apresentada na Figura 12.

Zonas	Valor de C
Edificação muito densa: Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas	0,70 a 0,95
Edificação não muito densa: Partes residenciais com baixa densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 a 0,70
Edificações com poucas superfícies livres: Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 a 0,60
Edificações com muitas superfícies livres: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,25 a 0,50
Subúrbios com alguma habitação: Partes de arrabaldes e suburbanos com pequena densidade de construção	0,10 a 0,25
Matas, parques e campos de esportes: Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esportes sem pavimentação	0,05 a 0,20

Figura 12 - Valores para Coeficiente de runoff de acordo com os tipos de zonas.
Fonte: Wilken, 1978.

Tempo de Concentração

Segundo PINTO *et al.* (1975), o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é o tempo necessário para que, mantida uma precipitação constante e uniforme, com intensidade superior à capacidade de infiltração, toda a área da bacia passe a contribuir para a seção de controle, conforme é ilustrado na Figura 13.

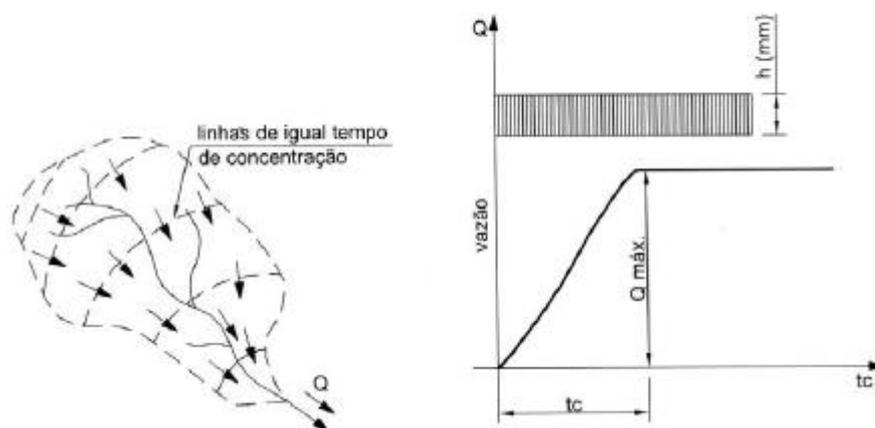


Figura 13 - Definição do tempo de concentração.
Fonte: Pinto, 1979.

Segundo Tucci (2002), o tempo de concentração pode ser medido por meio do intervalo entre o fim da precipitação e o ponto do hidrograma na seção de controle, que corresponde ao fim do escoamento superficial.

Considerando que, geralmente, para pequenas bacias hidrográficas não há dados simultâneos pluvio e fluviométricos que permitam a determinação experimental do tempo de concentração, tem-se a seguir uma metodologia de cálculo para estimar o tempo de concentração da bacia, geralmente a partir das características fisiográficas.

Existem duas formas de obtenção do tempo de concentração: uma direta e outra indireta. A forma direta consiste na utilização de dados primários, já a indireta é obtida através de informações secundárias, em geral formulações matemáticas estabelecidas para determinada região.

Os métodos indiretos são, em geral, mais simples e utilizados na falta de informações hidrometeorológicas ou em estudos preliminares. As possíveis classificações para as metodologias que permitem o cálculo do tempo de concentração de maneira indireta são os métodos semiempíricos ou empíricos.

Para este trabalho foi utilizado a formulação semiempírica de George-Ribeiro. Vale ressaltar que para cada classificação dos métodos indiretos existe uma diversidade de fórmulas, porém, não cabe ao escopo deste trabalho citar todas.

Para o DNIT (2005), a formulação de George- Ribeiro apresentou bons resultados para bacias com área de drenagem entre 0,03 e 1293 km² e diversos tipos de cobertura de solo. Sua fórmula é dada pela Equação 7.

$$t_c = \frac{16 \times L}{(1,05 - 0,2 \times p) \times (100 \times i)^{0,04}} \quad (7)$$

Onde,

t_c = Tempo de concentração, em minutos;

L = Comprimento do talvegue, em km;

p = Parcela da área vegetada da área de drenagem, em valores percentuais;

i = Declividade do talvegue, em metros de altura por metros lineares do talvegue.

Segundo o DNIT (2005), para que todos os pontos da bacia contribuam igualmente na formação do deflúvio, é estabelecido que a duração da chuva deve ser igual ou superior ao tempo de concentração, sendo a intensidade da chuva máxima quando o tempo de duração da chuva é igual ao tempo de concentração.

2.2.3. Tempo de Retorno

As precipitações e as vazões usadas para o dimensionamento de obras hidráulicas são definidas por meio de estatísticas em função da probabilidade de sua ocorrência, representada pelo chamado tempo de recorrência ou tempo de retorno.

O tempo de retorno é definido como o valor da média do intervalo entre dois eventos críticos, que provoquem a falha da obra. O evento crítico de variáveis hidrológicas, relacionadas a enchentes, é a ocorrência de uma chuva ou vazão superior a um valor pré-estabelecido.

Assim, se $\tau(i)$ é o intervalo entre duas chuvas de intensidades iguais ou superiores a “i”, o tempo de recorrência dessa intensidade vale $Tr = E(\tau)$ (CHOW *et al.* 1988). Para eventos independentes o tempo de recorrência, em anos, é igual ao inverso da probabilidade de se observar ao menos uma chuva de intensidade igual ou superior a i_t num ano qualquer (Equação 8).

$$Tr = \frac{1}{Pr(I_{m\acute{a}x} \geq i_t)} \quad (8)$$

Onde,

T_r = tempo de retorno;

P_r = probabilidade de se observar ao menos uma chuva de intensidade igual ou superior a i_t ;

$I_{m\acute{a}x}$ = intensidade máxima observada em um ano qualquer;

i_t = intensidade em um ano qualquer.

Segundo VILLELA e MATOS (1975), CHOW *et al.* (1988) e PINTO (1987), a escolha do tempo de retorno deveria ser feita por critérios econômicos, buscando o mínimo entre o custo de construção da obra e o valor previsto dos prejuízos causados pelas suas falhas futuras ao longo de sua vida útil.

Entretanto, tendo em vista a dificuldades em avaliar objetivamente o custo das falhas, a escolha do tempo de recorrência normalmente é feita por critérios estabelecidos em normas ou comumente adotados pela prática da Engenharia, e referidos na literatura em tabelas que consideram em geral:

- a) Vida útil da obra;
- b) Tipo de estrutura;
- c) Facilidade de reparação;
- d) Perigo de perdas de vida;
- e) Ocupação da área afetada;

f) Incertezas hidrológicas.

Para as obras de drenagem urbana, DAEE/ CETESB, em publicação de 1980, conforme TUCCI (1995), estabelece o uso dos tempos de recorrência, em função da ocupação da obra, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 - Tempo de retorno em função da ocupação

Abrangência	Ocupação	Tempo de Retorno (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço público	5
	Aeroportos	2 a 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 a 10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 a 100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: Tucci, 1995.

Além disso, é interessante fixar tempo de recorrência em função do risco que se deseja correr, caso a obra falhe durante sua vida útil. O risco de uma estrutura falhar pelo menos uma vez ao longo de n anos, dimensionada com tempo de recorrência T_r , é dado por:

$$r = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^n \quad (9)$$

Onde,

r = risco de falha durante a vida útil;

T_r = tempo de retorno, em anos;

n = vida útil da obra, em anos.

Uma avaliação do tempo de recorrência com este critério pode ser resumida na Tabela

5.

Tabela 5 - Risco (%) em função do tempo de recorrência e da vida útil.

Tr	Vida útil da obra em anos (n)				
	2	5	25	50	100
2	75	97	99,9	99,9	99,9
5	36	67	99,9	99,9	99,9
10	19	41	93	99	99,9
25	25	18	64	87	98
50	40	10	40	64	97
100	2	5	22	39	63
500	0,4	1	5	9	18

Fonte: Franco, 2004.

2.3. CENÁRIO HISTÓRICO E CONTEMPORÂNEO DA CIDADE DE MACAÉ

O município de Macaé está localizado no norte do estado do Rio de Janeiro, a 180 quilômetros da capital do Estado, possui área total de 1215,904 km², localiza-se na latitude: 22° 22' 18" sul e longitude: 41° 47' 9" oeste e encontra-se inserido na bacia hidrográfica do Rio Macaé.

Segundo Vilela Franco (2006), as primeiras tentativas de colonização do território norte fluminense ocorreram na segunda metade do século XVI, cujo objetivo era de controlar o contrabando do pau-brasil. Com o receio de ataques de índios, em 1619, Gil de Góis renunciou à posse da Capitania da Paraíba do Sul, a qual Macaé era integrante, e foi solicitada pelos Sete Capitães. Na Capitania foram instalados currais, choupanas e, anos depois, lavoura da cana de açúcar, que se tornaria a principal atividade e motivo de povoamento deste território. Em 1630 os jesuítas solicitaram a posse de uma sesmaria da região da Capitania, localizada em terras entre os rios Macaé e Leriipe, atual Rio das Ostras.

A partir do século XVIII, devido a expansão das lavouras e alimentos, a população da região cresceu exponencialmente. Através do porto de Imbetiba (ou de Macaé), eram escoadas as produções de açúcar e demais alimentos de Campos dos Goytacazes e do território macaense. A partir dos dados de João Fragoso, Penha afirma que, somente em 1791, doze embarcações contendo açúcar, originadas de Macaé, entraram no Porto do Rio de Janeiro. (VILELA FRANCO, 2006).

Na segunda metade do século XIX, começou um processo de expansão urbana da Vila de São João de Macaé, definida em 1813, planejada e projetada pelo engenheiro Henrique Luiz Niemeyer Bellegarde. O projeto mostrava uma urbanização que acompanhava o sentido da foz do rio, junto ao mar, que cortava a área urbana de modo longitudinal, e todas as grandes ruas formariam ligações do mar ou do rio com o interior (Figura 14).

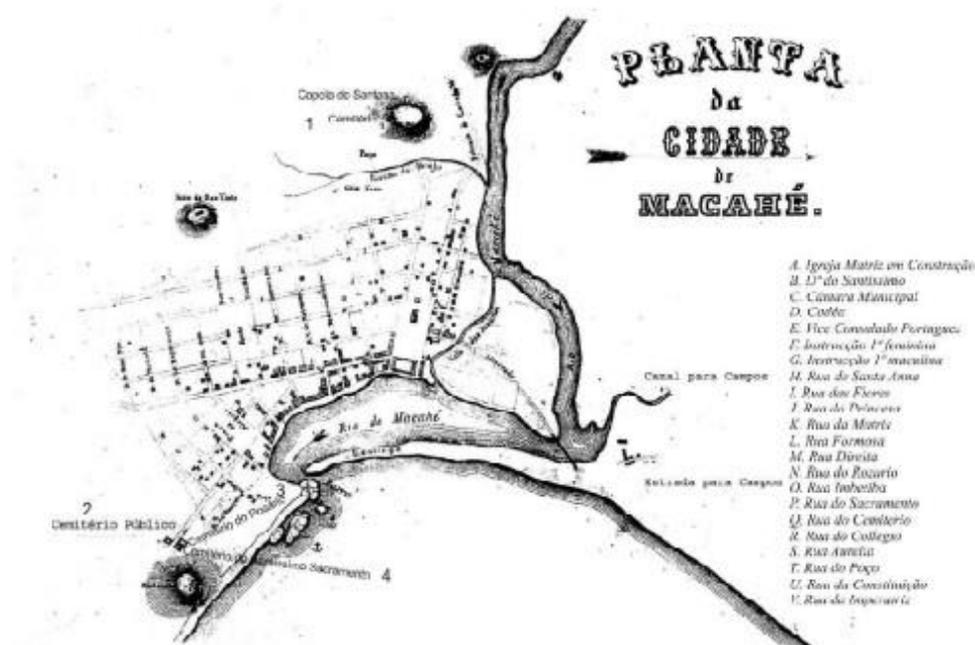


Figura 14 - Planta da cidade de Macaé: 1858 – 1861.
 Fonte: Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro (BNRJ)

Em 1846, o território de Macaé passou à condição de cidade. Como a produção açucareira e cafeeira se expandiram muito e o Porto de São João da Barra não estava mais sendo capaz de suportar o movimento, iniciou-se, então, em 1844, a construção do Canal Campos-Macaé, com 109 km de extensão.

Em 1875 foi construída a Companhia Estrada de Ferro Macahé-Campos, que promoveu desenvolvimento para a cidade e, praticamente um século depois, a partir de 1974, a cidade começou a sofrer grandes mudanças na economia e cultura, devido à descoberta de petróleo na bacia de Campos. Muitas pessoas estavam indo para a cidade para atender a demanda crescente por mão de obra especializada, tornando atraentes os salários oferecidos na região. Junto a isso, muitas pessoas que não possuíam o mesmo nível de qualificação profissional também estavam chegando em Macaé, à procura de emprego.

Até os dias de hoje o petróleo ainda é a maior força econômica de Macaé. A cidade passa por um grande crescimento econômico desde a década de 1970, quando a Petrobras escolheu Macaé para ser a sede de suas operações na Bacia de Campos. Em 2014, devido à crise mundial do Petróleo, o setor econômico da cidade sofreu quedas bruscas e, devido ao desemprego em massa, muitas pessoas se mudaram da cidade. Porém, desde 2018 a cidade vem se recuperando e voltando a atrair pessoas.

Devido ao crescimento da cidade, a bacia hidrográfica do rio Macaé sofreu algumas ações antrópicas. A parte montanhosa desta apresenta boas condições ambientais e, apesar de sofrer problemas como desmatamento, lançamento de esgoto sem tratamento nos corpos hídricos, queima de lixo e turismo predatório, são pouco representativos no contexto da bacia hidrográfica. Enquanto isso, na parte mais baixa o rio Macaé cruza uma extensa planície flúvio-marinha (formada por sedimentos provenientes dos rios e do mar), que sofreu diversas intervenções humanas ao longo da história, o qual o maior impacto foi a retificação de rios que cruzam a planície, incluindo o Macaé e seu principal afluente da porção inferior, o rio São Pedro. Esses rios, que eram sinuosos, foram retificados e canais retilíneos foram rasgados por obras realizadas pelo extinto Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) e que tiveram início na década de 1940, alterando o comportamento hidrológico dos rios. As águas dos rios ganharam maior velocidade, transportando mais rapidamente os sedimentos em direção à foz do rio Macaé, resultando em maior erosão das margens. Como consequência, ocorreu o assoreamento deste rio na sua porção final, onde está o núcleo urbano de Macaé. A diminuição da profundidade do rio aumentou a frequência e intensidade das enchentes na parte final da bacia do rio Macaé, gerando grandes transtornos para a cidade.

A Figura 15 mostra a transformação dos corpos hídricos dos principais sistemas viários e da mancha urbana na cidade de Macaé. A imagem não mostra o local de estudo deste trabalho especificamente, porém, este se encontra em uma região próxima à do mapa, o que permite uma aproximação do cenário.



Figura 15 - Transformações na região do estuário do rio Macaé, nos anos de 1600, 1850, 1969 e 2005.
 Fonte: Sayd e Brito, 2015.

2.4. MOTIVAÇÃO PARA UMA MACAÉ SENSÍVEL À ÁGUA

A cidade de Macaé, assim como diversas cidades do Brasil, apresenta grandes dificuldades de infraestrutura oriundas da falta de planejamento e de uma gestão inadequada. Geralmente, observam-se medidas mitigadoras apenas de manutenção dos sistemas de saneamento e drenagem como, por exemplo, dragagem dos rios, ou ainda questões de infraestrutura sendo tratadas como políticas do governo em vigência ao invés de políticas de estado permanentes, dificultando assim a continuidade de projetos que representem melhorias significativas e de longo prazo.

No presente capítulo, busca-se mostrar os desafios enfrentados pela cidade de Macaé sobre sua vulnerabilidade ambiental em relação às mudanças climáticas e aos problemas de

infraestrutura urbana. Desta forma, procura-se compreender a importância da implantação de metodologias que, como o WSUD, contribuam para um ambiente urbano mais sustentável a longo prazo e de maior qualidade para o ambiente e para a população.

Diversos são os exemplos de eventos de chuva que provocaram enchentes na cidade de Macaé, o que se tornou um cenário comum na cidade. Destacam-se as enchentes de 1998 e 2018 devido as suas proporções que causaram enormes desastres na cidade de Macaé e em seus distritos (Figura 16, Figura 17 e Figura 18).



Figura 16 - Morador do bairro Malvinas com água na altura da cintura após a chuva em 1998.
Fonte: Folha de S. Paulo, 1998.



Figura 17 - Parte da ponte de Trapiche, distrito de Macaé, desaba com as fortes chuvas em 2018.
Fonte: Clique Diário, 2018.



Figura 18 - Vista da Cidade Universitária após fortes chuvas em 2018.
Fonte: Clique Diário, 2018.

De acordo com pesquisas realizadas pelo Núcleo em Ecologia e Desenvolvimento Sócio-Ambiental de Macaé (NUPEM/UFRJ), em março de 2018 choveu 150mm em seis horas, o que era o esperado para sete dias, se igualando à precipitação que ocorreu na cidade em 1998.

Nenhum sistema de drenagem é projetado para fenômenos de grande magnitude como este, já que os custos para as obras podem se tornar inviáveis. Entretanto, quando não há planejamento do sistema de macrodrenagem, o escoamento ocorre por depressões topográficas e pelos canais naturais, deixando assim vulneráveis as áreas de encostas e as regiões marginais dos rios e córregos. Deste modo, muitas fatalidades decorrentes destes eventos poderiam ter sido evitadas com o correto sistema de alarmes e evacuação das áreas de risco, além de sistemas de drenagem eficientes, fiscalização e planejamento urbano.

De acordo com o Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas, realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em 2018, 9,79% dos municípios não possuem infraestrutura em drenagem urbana e a região Sudeste está entre as três primeiras regiões do Brasil que apresentam as maiores proporções de municípios com áreas de risco que demandam infraestrutura especial de drenagem urbana (SNIS, 2018).

Segundo o Prognósticos e Alternativas para Universalização dos Serviços de Saneamento Básico - Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas da Revisão do Plano Municipal de Saneamento Básico de Macaé (2020) mostra que atualmente não existem mecanismos bem definidos de articulação e integração de políticas, programas e projetos de saneamento com outros setores. Os serviços que englobam o saneamento básico são: abastecimento de água; esgotamento sanitário; drenagem e manejo de águas pluviais urbanas; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Tais serviços interagem entre si em função das interconexões indevidas que frequentemente ocorrem nos ambientes urbanos. Porém, na

maioria dos municípios brasileiros, essa ausência de um órgão atuando diretamente, definindo e fiscalizando os mecanismos de articulação e integração entre os setores, faz com que as ações adotadas para a drenagem da cidade não sejam planejadas adequadamente e não resolvam os problemas de alagamentos e enchentes. Isso também ocorre em Macaé, onde os serviços voltados para a drenagem urbana são de responsabilidade da Secretaria Adjunta de Obras, ligada à Secretaria de Infraestrutura e não à Secretaria Adjunta de Saneamento, por exemplo.

Neste mesmo documento constam sugestões de medidas mitigadoras a serem levadas em consideração para combaterem o problema que a cidade enfrenta em relação à drenagem, como por exemplo, poços de infiltração, valas e valetas de infiltração, trincheiras de infiltração e detenção, pavimentos permeáveis com estrutura de detenção e infiltração, telhados armazenadores, bacias de retenção ou detenção de cheias, diques e canais de desvio. Todos esses exemplos de medidas podem ser adotados em regiões disponíveis pela cidade, principalmente em parques e praças localizadas nos bairros que mais sofrem com as enchentes.

Um exemplo de local propício para a instalação de tais medidas mitigadoras é o Parque da Cidade, localizado no bairro da Praia Campista e que comumente sofre alagamentos com eventos de chuva mais intensas. O Parque foi inaugurado em 2005, possui 75 mil metros quadrados e foi construído com o objetivo de ser um dos principais pontos de lazer da cidade de Macaé (Figura 19). Atualmente, o Parque encontra-se atualmente abandonado e deixou de ser um local próprio para atividades recreativas, culturais e esportivas para se tornar um problema urbanístico. Além do abandono das estruturas do Parque, em épocas de chuvas intensas, o espaço se torna uma zona de alagamento, trazendo transtornos para a comunidade e para a mobilidade urbana (Figura 20 e Figura 21).



Figura 19 – Parque da Cidade na sua inauguração em 2005.
Fonte: Site Prefeitura de Macaé, 2005.



Figura 20 - Parque da Cidade atualmente abandonado e depredado.
Fonte: Prensa de Babel, 2017.

Ao dimensionar e modelar um projeto viável de medidas mitigadoras para o Parque da Cidade de Macaé, estará associando o conceito de paisagens multifuncionais ao sistema de drenagem necessário. Para isso, é necessário que haja a implantação do sistema modelado com o apoio da gestão pública, já que, a segurança é a razão primordial do abandono social, possibilitando a sua revitalização e, esclarecendo o conceito de drenagem sustentável, disseminando a ideia de desenvolvimento sustentável.



Figura 21 - Parque da Cidade e seu entorno alagado.
Fonte: G1, 2013.

3. METODOLOGIA

A partir da leitura acerca dos temas envolvendo a drenagem urbana sustentável, foi possível propor a integração dos conceitos abordados anteriormente como forma de minimização dos problemas de cheias na bacia urbana, associando o ambiente construído com o natural, similar com o que era antes do processo da urbanização. O controle da geração e reorganização de escoamentos é reforçado pelas técnicas compensatórias em drenagem urbana, para o retorno das características de infiltração e retenção natural da bacia hidrográfica.

A metodologia deste trabalho é formada dos seguintes procedimentos do estudo hidrológico e hidráulico:

1. Avaliação de soluções para a bacia em estudo no que diz respeito ao conceito de cidades sensíveis à água (WSUD);
2. Cálculo estimado da chuva contribuinte na bacia central da cidade de Macaé e sua transformação em vazão de projeto;
3. Proposta de implantação e dimensionamento de uma bacia de retenção, verificando sua contribuição para a redução da vazão que escoar pelos canais;
4. Benefícios que a integração da água com o meio urbano, de forma multidisciplinar, traz para a população através da valorização urbana e composição de paisagens;
5. Para o conceito de WSUD e de modo a organizar melhor as propostas de ação para o local de estudo, foram escolhidas duas das cinco iniciativas trazidas por um grupo de pesquisadores da Austrália, denominado *Water by Design*¹. As iniciativas para serem exploradas são: *CoDesign* – conectando a comunidade e o *Living WaterWays*. A partir delas, foram propostas soluções para a bacia central da cidade de Macaé.

3.1. CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO

O município de Macaé é banhado pelo rio de mesmo nome, o qual, junto com o Rio das Ostras e a Lagoa de Imboassica, formam a Região Hidrográfica VIII do Estado do Rio de Janeiro. A bacia do Rio Macaé possui área de drenagem de aproximadamente 1765 km², onde 82% do território da cidade de Macaé está inserido nesta bacia. O Rio Macaé nasce na Serra

¹ <https://waterbydesign.com.au/#>

Macaé de Cima, próximo ao pico do Tinguá (1560 m), em Nova Friburgo, fluindo na direção leste-sudeste e percorrendo cerca de 136 km, desaguando no oceano Atlântico junto à cidade de Macaé. O rio passa pelas cidades de Carapebus, Casimiro de Abreu, Conceição de Macabu, Macaé, Nova Friburgo e Rio das Ostras (Figura 22 e Figura 23).

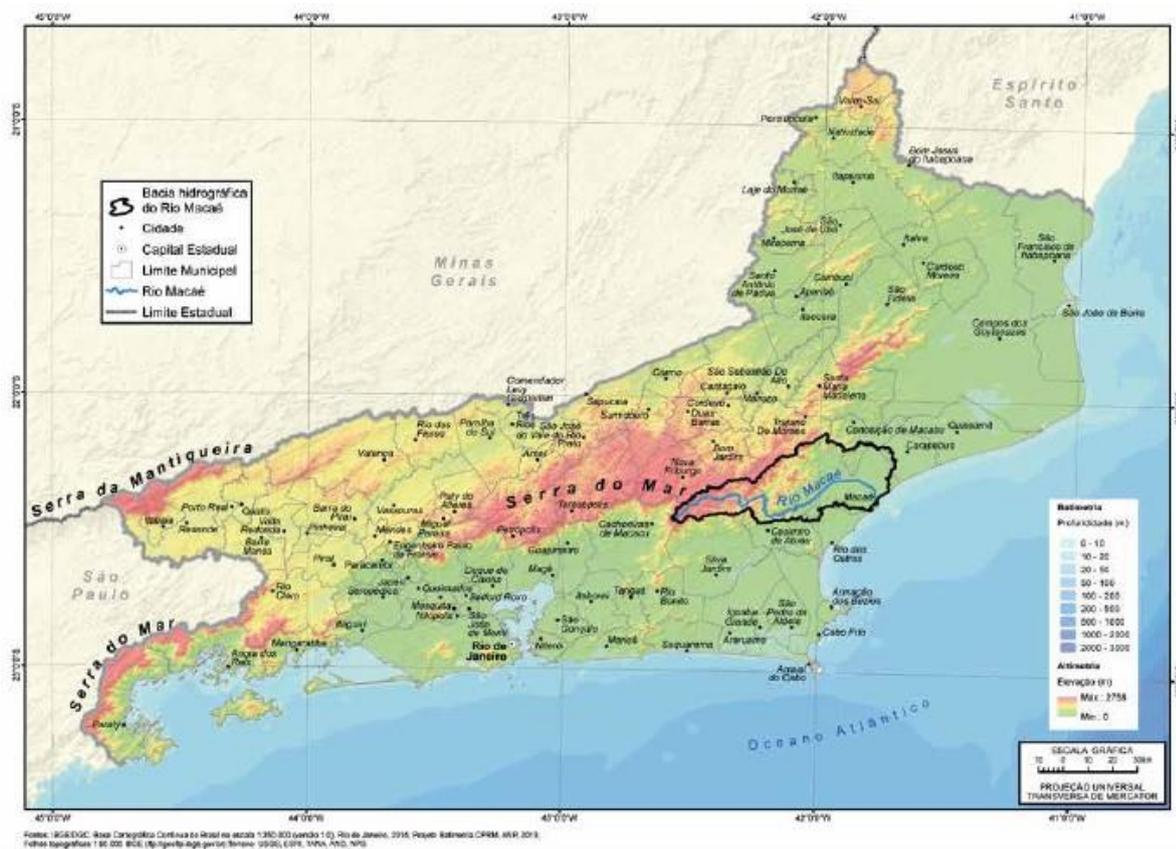


Figura 22 - Mapa de localização da Bacia do Rio Macaé no estado do Rio de Janeiro.
Fonte: Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica de Macaé, 2015.



Figura 23 - Carta imagem da Bacia do Rio Macaé.
Fonte: Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica de Macaé, 2015.

No município de Macaé, na parte correspondente ao trecho superior da bacia do rio Macaé, o relevo é constituído principalmente por encostas íngremes. Já no médio curso do rio, ocorrem grandes desníveis no relevo, com encostas muito íngremes, sobretudo nos distritos de Sana, de Glicério e Frade. Na porção inferior predomina um relevo plano de baixas altitudes cortado por fundos de vales com altitudes de 20 a 100m e associado a mar de morros e pequenas serras que dividem a bacia do rio Macaé das pequenas bacias costeiras que drenam áreas litorâneas.

O objeto deste estudo trata-se da bacia central da cidade de Macaé, que abrange o centro da cidade, com elevada urbanização, e possui uma área de aproximadamente 2,70 km².

O trecho final do rio Macaé corre próximo à área urbanizada da cidade, sendo que um dos seus afluentes é o canal Fábio Franco, que recebe contribuição do canal localizado na Avenida Evaldo Costa, nas proximidades do Parque da Cidade. Em quase toda a extensão desses canais, eles se encontram enterrados. O outro exutório da bacia central da cidade encontra-se próximo ao Forte Marechal Hermes, que recebe contribuições do Canal dos Jesuítas, localizado no bairro Imbetiba. Já a drenagem de boa parte do bairro da Praia Campista e Praia de Cavaleiros seguem direto para a praia.

Em novembro de 2019, a Secretaria Adjunta de Obras de Macaé iniciou obras de macrodrenagem que consistem na ampliação do canal Fábio Franco e a construção de canais

auxiliares no bairro Sol e Mar. Essas obras têm como objetivo minimizar os alagamentos, beneficiando, principalmente, os bairros Praia Campista, Novo Horizonte, Campo D'Oeste, Sol e Mar, Visconde de Araújo e Miramar, sendo esses os mais atingidos pelas consequências das fortes chuvas que ocorrem na cidade (Figura 24).



Figura 24 - Infraestrutura para a construção de novos canais no bairro Sol e Mar.
Fonte: Site Prefeitura de Macaé, 2020.

Para a delimitação da bacia de estudo, foi usado o *software* QGIS, de livre acesso e que consiste num programa de Sistema de Informação Geográfica, traduzido do inglês *Geographic Information System* (GIS), que contém um conjunto de ferramentas que permite a captura, edição, representação e análise de dados georreferenciados.

Como a bacia hidrográfica na qual está localizado o Parque da Cidade não está contida diretamente na bacia do Rio Macaé, mas numa microbacia contribuinte a ela, foi necessário realizar a delimitação desta para seguir com as propostas deste trabalho.

Primeiramente, deve-se importar e ajustar as informações necessárias e, para isso tem-se que utilizar cartografias que contenham tais dados. A cartografia digitalizada em arquivo de formato shape (extensão de arquivo .shp) utilizada durante a análise da drenagem tem como fonte o satélite Alos Palsar da NASA, além de arquivos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com dados do estado do Rio de Janeiro, o qual a cidade de Macaé está localizada, e do Google Maps, para facilitar a visualização e identificação de pontos (Figura 25).

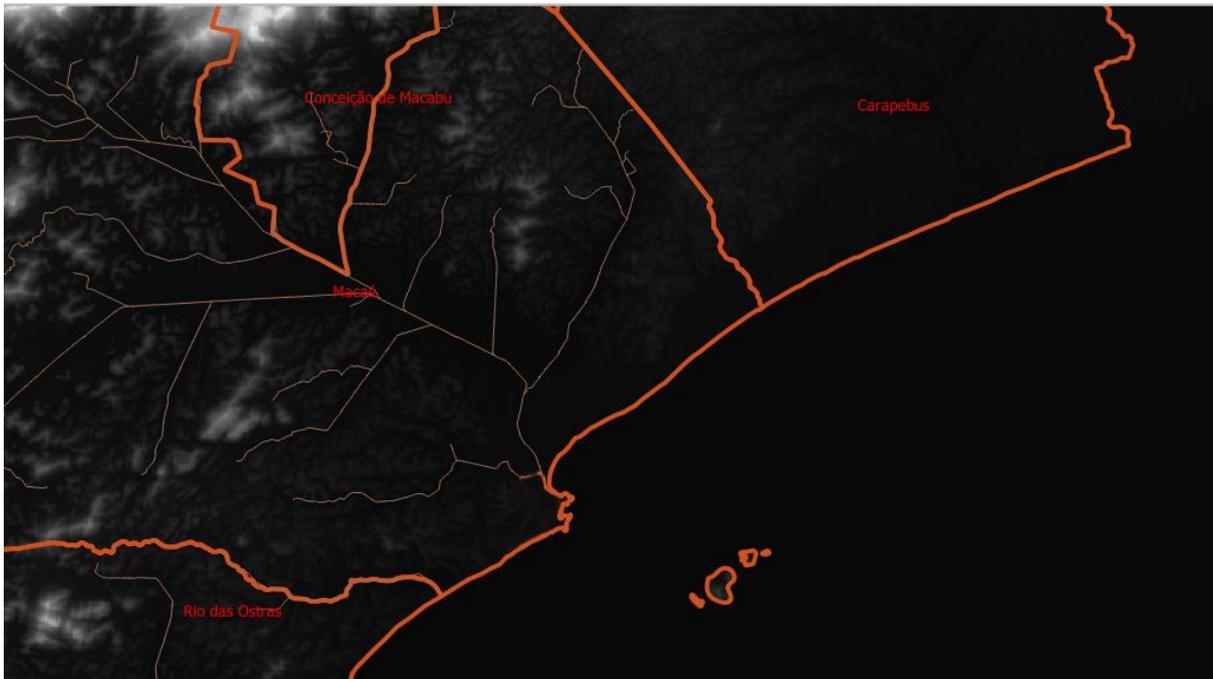


Figura 25 - Arquivos shapefiles do satélite ALOS Palsar com o arquivo das cidades do Rio de Janeiro do IBGE.
Fonte: Autora, 2020

Após a realização das devidas correções no arquivo, para evitar erros durante a operação do *software*, foram utilizados conceitos de hidrologia, além de arquivos *shapefile* das redes de drenagem e curvas de nível para a realização da delimitação da bacia hidrográfica.

Desse modo, de acordo com os conceitos explicados anteriormente, a Figura 26 mostra o resultado obtido para a delimitação da bacia hidrográfica central do Rio Macaé, a qual pertence o Parque da Cidade.

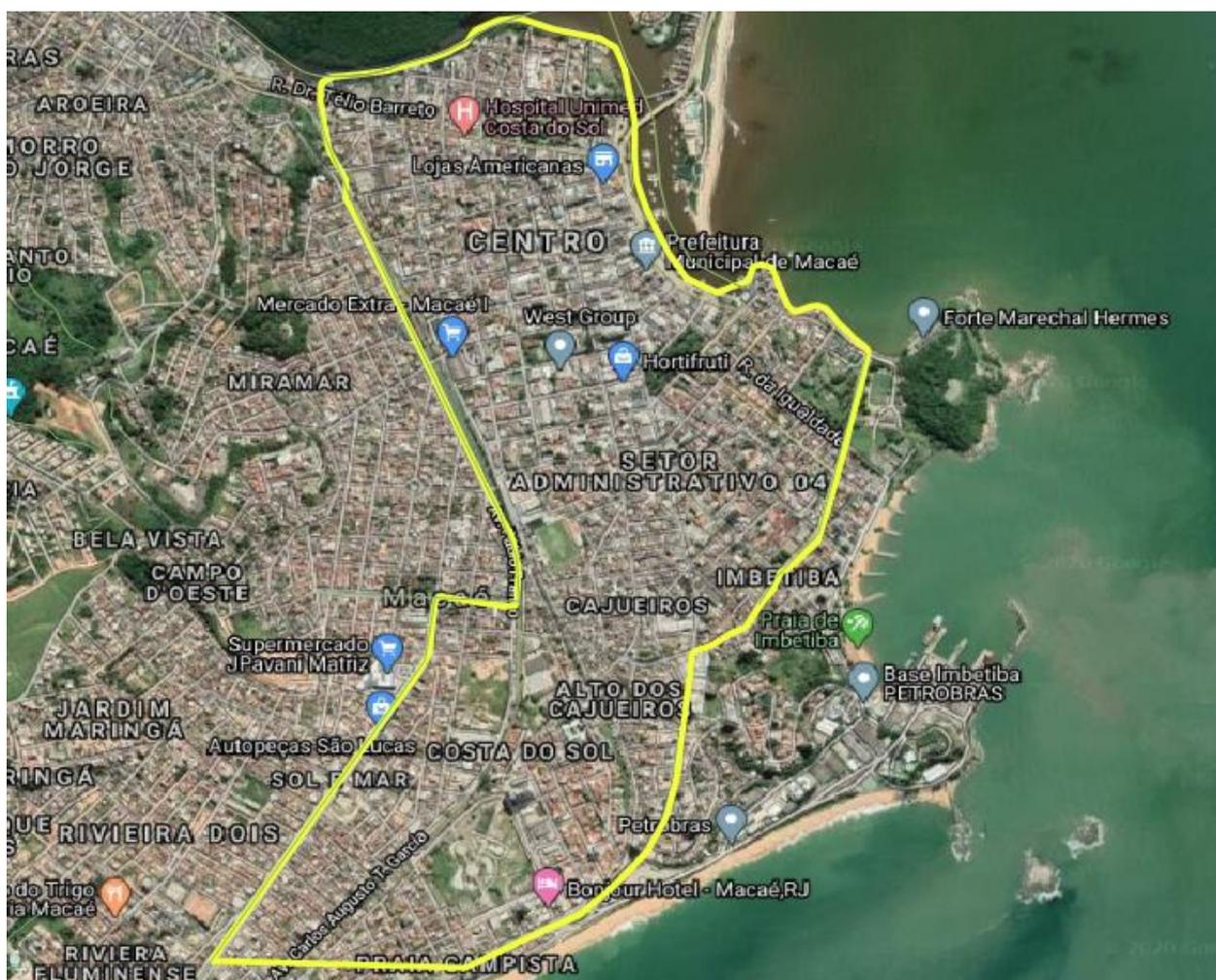


Figura 26 - Delimitação da Bacia Hidrográfica Central do Rio Macaé.

Fonte: Autora, 2020.

Para o cálculo da área da bacia de estudo, foi utilizado o *software* QGIS que, através de uma planilha de atributos e por meio da delimitação feita anteriormente, é possível obter o valor da área em questão.

As características fisiográficas da área de drenagem em estudo são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Características fisiográficas da bacia central do Rio Macaé – RJ.

Característica	Valores
Área de drenagem	2,70 km ²
Coefficiente de compacidade	1,5
Comprimento do Talvegue	2,73 km
Cota máxima	40 m
Cota mínima	10 m
Declividade média	0,011m/m
Perímetro	8,82 km

Fonte: A autora, 2020.

3.2. PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE BACIA DE DETENÇÃO

As bacias de retenção são reservatórios de armazenamento cujo principal objetivo é reduzir a vazão de pico dos hidrograma de cheias, aumentando seu tempo de base. Existem várias metodologias para dimensionamento dessas bacias, o que torna difícil o trabalho de fiscalização. Isso é identificado principalmente quando o projeto envolve uma pequena área, e os projetistas utilizam os chamados “métodos simplificados” (TASSI, 2005).

Nesse sentido, Assunção (2012) propôs um dimensionamento de bacias de retenção, fundamentada no método racional e associada a relações IDF, a qual foi verificada sua viabilidade e segurança comparada a propostas desenvolvidas com metodologias consagradas .

Primeiramente, deve-se determinar as características de uso e ocupação do solo, pois as variáveis como o tempo de concentração e volume de retenção dependem das condições do terreno. Para determinar estes parâmetros, utilizou-se como referência o método do *Soil Conservation Service* (1986) devido a sua grande difusão da metodologia. A bacia hidrográfica na qual está inserido o Parque da cidade, local de estudo que será proposto a construção da bacia de retenção, está localizada numa região urbanizada na qual o uso predominante do solo é residencial e comercial.

Por definição, o *Curve Number* (CN) retrata numericamente as condições superficiais do solo – tipo do solo, cobertura e uso do solo, umidade. A definição deste passa inicialmente pela identificação do tipo de solo do local, para o qual o SCS (1986) define quatro tipos básicos, de acordo com suas condições de infiltração. Após a determinação do tipo de solo da bacia, resta caracterizar o uso dado ao solo local e sua condição antecedente de umidade.

O local de estudo está em uma região caracterizada por ser destinada ao uso residencial e comercial. A condição de umidade antecedente do solo usualmente utilizada em estudos hidrológicos é a condição de umidade antecedente II (AMC II).

De acordo com Setzer e Porto (1979), deve-se classificar o solo em tipos hidrológicos. Para isso, foi necessário o auxílio do relatório de sondagem de simples reconhecimento do solo com SPT, baseado na NBR 6484/2001, realizado em 2014 nas proximidades da região que se baseia este trabalho, que mostrou que o tipo de solo predominante é areia, a qual está presente até aproximadamente 8 m de profundidade (Anexo 1). Assim, seguindo a classificação dos autores, o tipo de solo predominante se enquadra no tipo hidrológico “A”.

Portanto, de acordo com o Tucci (2001), o CN que deve ser utilizado é 77, com um solo com percentagem média impermeável de 65%.

O cálculo dos valores do coeficiente de escoamento do método racional, para valores de CN de 77, foi realizado por meio da Equação 6. Os resultados obtidos estão na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores do coeficiente de escoamento da fórmula racional pra CN=77

Tempo de Retorno (anos) \ Tempo de Duração (min)	5	10	20	25	50	100
5	0,81	0,83	0,854	0,86	0,88	0,90
10	0,78	0,80	0,83	0,83	0,85	0,87
30	0,71	0,73	0,76	0,76	0,79	0,81
50	0,67	0,69	0,72	0,73	0,75	0,78
60	0,66	0,68	0,70	0,71	0,74	0,76
90	0,63	0,65	0,67	0,68	0,70	0,73
120	0,61	0,63	0,65	0,66	0,68	0,70

Fonte: A autora, 2020.

Fundamentado nas informações apresentadas na Tabela 7, os valores do coeficiente de escoamento superficial aumentam conforme o volume precipitado também é aumentado.

Em conjunto com os resultados apresentados na Tabela 6, as variações causadas pelo acréscimo de tempo de duração da precipitação apresentam menores valores para a intensidade da chuva e, conseqüentemente, o coeficiente de escoamento também é menor.

O tempo de retorno está diretamente ligado com à taxa de impermeabilização. Sendo assim, quanto maior o tempo de retorno de uma obra, maior será a taxa de impermeabilização do local, já que este projeto terá maiores dimensões para suportar as intensidades das chuvas em questão. Então, as variações causadas pelo aumento do tempo de retorno apresentam maiores valores para a intensidade da chuva e, conseqüentemente, o coeficiente de escoamento também é maior.

De acordo com o DNIT (Brasil, 2005), a formulação semi empírica de George-Ribeiro apresentou bons resultados para bacias com área de drenagem entre 0,03 e 1293 km² e diversos tipos de cobertura de solo, conforme são as características da bacia de estudo em questão.

Portanto, de acordo com a Equação 7, o tempo de concentração obtido para as condições citadas foi de aproximadamente 48 minutos, adotando-se então a duração do evento chuvoso de 50 minutos, garantindo que toda a área de drenagem contribua para o escoamento do local de estudo.

Em relação ao tempo de retorno, como as bacias de retenção são estruturas de macrodrenagem, o tempo de retorno a ser utilizado é da ordem de 50 a 100 anos (TUCCI, 1995). Esse tempo de retorno, para uma vida útil da obra de 25 a 50 anos, resulta num risco de falha ao longo desse período de 22 a 64%.

A relação Intensidade – Duração – Frequência da cidade de Macaé é dada pela Equação 10.

$$I = \frac{444,26 \times T_r^{0,26}}{(t_d + 6,27)^{0,66}} \quad (10)$$

A Equação 10 mostra que os parâmetros a,b,c e d valem, respectivamente: 444,26; 0,26; 6,27 e 0,66. Os resultados obtidos dos cálculos das intensidades das chuvas para os tempos de retorno e de duração distintos estão na Tabela 8.

Tabela 8 - Intensidade das chuvas intensas de Macaé (mm/h)

Tempo de Retorno (anos) \ Tempo de Duração (min)	5	10	20	25	50	100
5	138,85	166,62	199,94	212,02	254,42	305,30
10	109,16	130,99	157,19	166,69	200,02	240,02
30	64,56	77,48	92,97	98,59	118,30	141,96
50	48,42	58,11	69,73	73,94	88,73	106,47
60	43,50	52,20	62,64	66,43	79,71	95,65
90	34,06	49,88	49,05	52,01	62,42	74,90
120	28,52	34,22	41,06	43,55	52,25	62,70

Fonte: A autora, 2020.

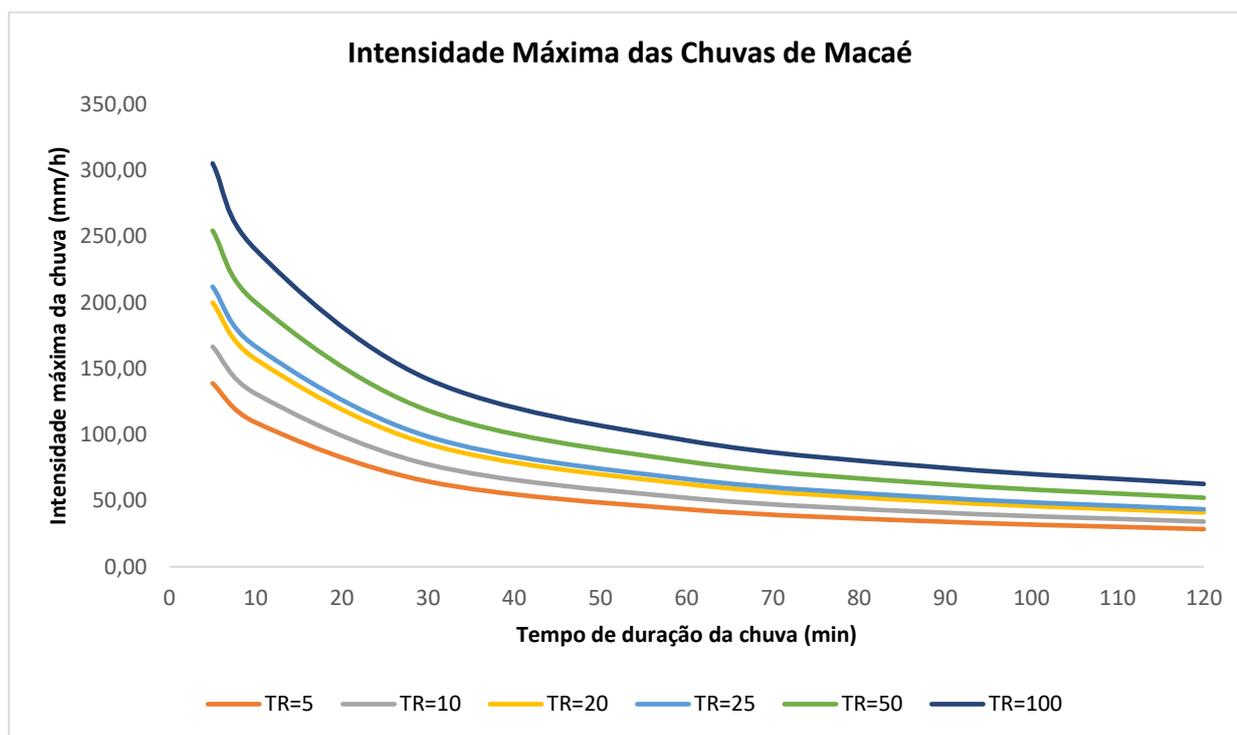


Figura 27 - Gráfico Intensidade Máxima de Chuvas Intensas de Macaé.

Fonte: A autora, 2020.

Dispositivos

O reservatório de retenção proposto para o Parque da Cidade será projetado para reter as águas superficiais durante e após as chuvas, permanecendo seco durante as estiagens.

Seu tipo será *off-line*, pois irá reter volumes de água que serão desviados da rede de drenagem principal quando ocorrer a cheia, e os restituir para o sistema após obtido o alívio no pico de vazão. Será um reservatório com múltiplos usos, funcionando para lazer quando estiver seco e para controle de cheias durante e após as chuvas.

Existirá uma caixa de desvio localizada na Avenida Fábio Franco, a montante do Parque da Cidade, que possuirá em seu interior um gradeamento e um vertedor. Pelo gradeamento passará a vazão desviada da Avenida Fábio Franco por uma galeria de diâmetro 1200mm passando pela Avenida Carlos Augusto Garcia.

Após o gradeamento, as vazões com tempo de recorrência até 1 ano retornarão à rede de drenagem existente por um orifício, e as vazões com tempo de recorrência acima de 1 ano passarão por cima do vertedor e chegarão até uma galeria em concreto que possuirá uma laje de concreto armado em cima para evitar que a galeria possua um recobrimento e o reservatório precise ser profundo.

Para o dimensionamento do orifício após o gradeamento é utilizado a Equação 11:

$$Q_{orificio} = C_d * A * \sqrt{2 * g * h} \quad (11)$$

Onde:

$Q_{orificio}$ = vazão (m³/s);

C_d = coeficiente de descarga;

A = área de escoamento (m²);

g = 9,81 m/s²;

h = carga inicial do dispositivo (m)

O coeficiente de descarga possui um valor tabelado e depende do comprimento relativo do tubo, que é a razão entre o comprimento do tubo (L) e o diâmetro (D) do mesmo.

L/D	Azevedo Netto
300	0,33
200	0,39
150	0,42
100	0,47
90	0,49
80	0,52
70	0,54
60	0,56
50	0,58
40	0,64
30	0,70
20	0,73
15	
10	

Figura 28 - Valores Práticos de C_d .
Fonte: Augusto, 2008.

Esta galeria transportará a vazão que verterá dentro da caixa de desvio, localizada na Avenida Fábio Franco, até o reservatório de detenção localizado no Parque da Cidade.

Para o dimensionamento do vertedor foi utilizada a fórmula de Francis, dada pela Equação 12:

$$Q_{vertedor} = 1,838 * L * H^{3/2} \quad (12)$$

Onde:

$Q_{vertedor}$ = vazão que esco pelo vertedor (m³/s);

L = comprimento do vertedor (m);

H = lâmina d'água acima do vertedor (m).

A vazão do vertedor será a vazão que passará pelo gradeamento reduzida da vazão que sai do orifício no tempo de retorno de 1 ano, representada pela Equação 13:

$$Q_{vertedor} = Q_{projeto} - Q_{orifício} \quad (13)$$

Além da galeria retangular, o reservatório de retenção receberá também a contribuição de chuva do próprio Parque da Cidade que verterá diretamente no reservatório, e de 2 galerias que sairão das ranhuras longitudinais que captarão as vazões superficiais do final da Avenida Fáblio Franco e da Avenida Carlos Augusto Garcia.

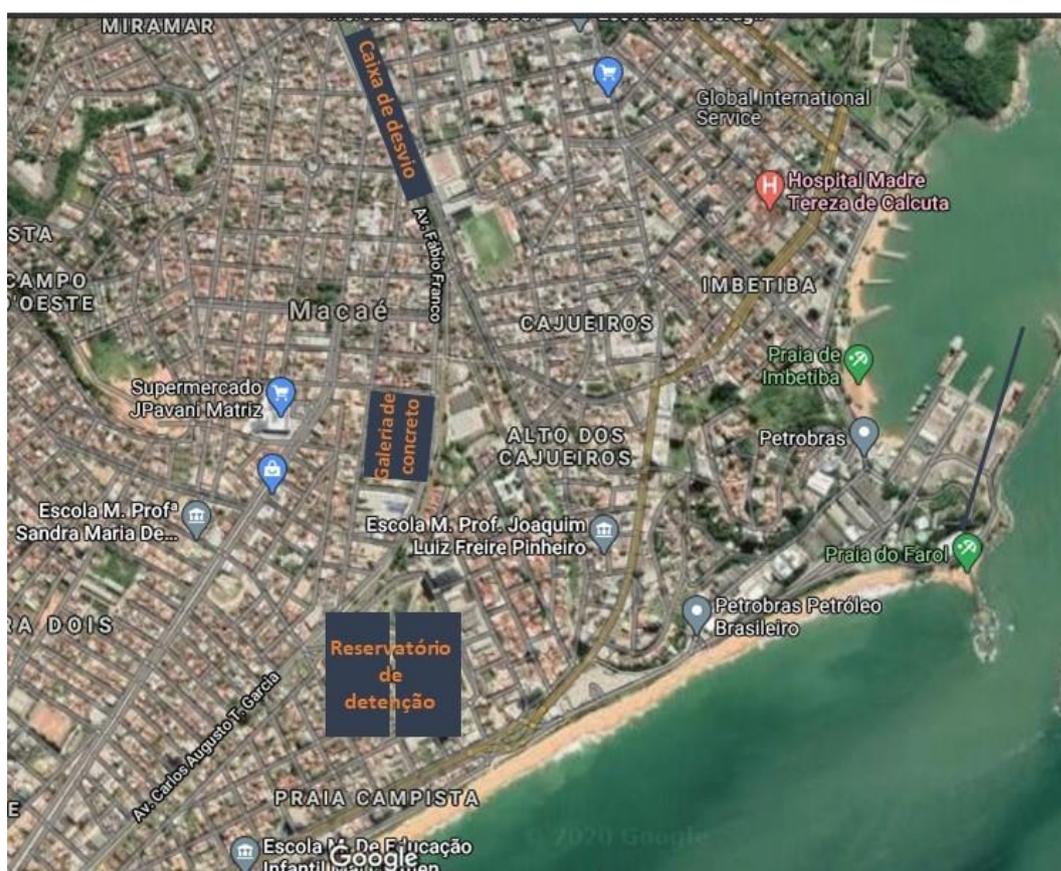


Figura 29 - Croqui dos dispositivos dimensionados.

Fonte: A autora, 2020.

3.3. AÇÕES WSUD

A aplicação do WSUD não se baseia apenas em sistemas estruturais, estando sua filosofia diretamente ligada ao planejamento completo e interdisciplinar de acordo com os objetivos a serem alcançados no local de implantação.

Primeiramente, as estratégias para alcançar o WSUD são definidas por um grupo técnico multidisciplinar de projeto que inclui hidrólogos, cientistas ambientais, ecologistas,

engenheiros urbanos e arquitetos, além de um grupo das partes interessadas que possam se beneficiar ou não destas medidas, como governo local, órgãos reguladores, comunidade, indústria e empresas, dentre outros.

De acordo com o grupo Australiano *Water by Design*², a iniciativa do *CoDesign* incentiva os governos a trabalharem junto com a população para criar espaços que incluam as comunidades locais e seus valores ambientais, culturais, sociais e econômicos. Dessa maneira, é possível criar comunidades conectadas e espaços que são utilizáveis e apropriados para as necessidades da comunidade local, além de melhorar a educação da população no que diz respeito à conservação dos recursos naturais. A Figura 29 representa os principais pontos para a criação de ambientes que seguem a abordagem do *CoDesign*.

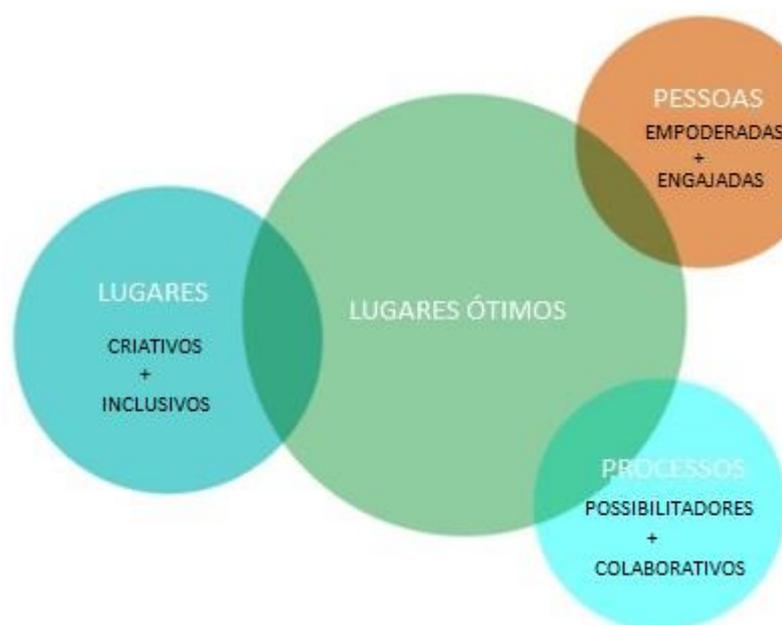


Figura 30 - Principais pontos para a criação de ambientes que seguem a abordagem do *CoDesign*
Fonte: Site do *Water By Design*, 2020; Traduzido pela Autora.

Já a iniciativa *Living WaterWays*, também segundo o *Water By Design*, é uma abordagem de gestão ambiental de melhores práticas que auxilia os profissionais e o governo a fornecer espaços ao ar livre duradouros e acessíveis que envolvem as comunidades locais. Uma infraestrutura urbana verde bem projetada oferece suporte a conexões entre as pessoas, a água e a natureza, e cria oportunidades para experiências que melhoram o bem-estar humano, principalmente quando os impactos causados pelas mudanças climáticas na cidade são consideráveis. Essa ferramenta possui um módulo de planejamento estratégico que permite a

² <https://waterbydesign.com.au/#>

visualização dos módulos de resiliência, diagnóstico de captação, avaliação de condição da captação e plano de tratamento para o local que será inserido a abordagem.

Segundo pesquisas realizadas pelo *Cooperative Research Centre* (CRC) para Hidrologia de Bacia da Austrália foram identificados estudos para desenvolver e refinar a qualidade das águas pluviais, como através da busca pela integração das práticas *Best Planning Practices* (BPP) com as práticas BMPs.

As BPPs são referentes ao planejamento e projeto de um local pelo WSUD. A análise do local, avaliação da capacidade do terreno e plantas de uso do solo são itens que definem uma prática como BPP.

A análise do local envolve uma auditoria do zoneamento regional de uso do solo, clima e características da paisagem. As características importantes do local a serem consideradas são dados da geologia e solos, recursos naturais, clima (precipitações e evaporações), infraestrutura urbana e características históricas e culturais.

A avaliação da capacidade do solo envolve a correspondência da capacidade física das características da paisagem identificadas como parte da análise do local para futuros usos sustentáveis da área. Ou seja, identifica quais áreas dentro do local de estudo são mais favoráveis para a implantação dos elementos do WSUD.

As plantas de uso do solo são os desenhos em escala e arranjo dos elementos do WSUD que serão executados, para que assim seja possível identificar o *layout* que gere maior benefício para o ambiente e dentro dos recursos orçamentários.

Já as BMPs são ações de controle, classificadas em estruturais ou não-estruturais, as quais possuem como objetivo controlar a quantidade e melhorar a qualidade das águas de chuva, levando em consideração o custo-efetividade.

Tendo em vista os objetivos do WSUD e das práticas BPPs e BMPs, é possível levar em consideração a implantação da metodologia para a cidade de Macaé, analisando uma situação de adoção do sistema de forma geral na cidade, além dos benefícios do estudo de aplicação local no Parque da Cidade que serão vistos no capítulo 4.

Com a aplicação do WSUD à Macaé, é possível a integração dos sistemas de infraestrutura, criando um ambiente urbano com menor interferência no ambiente natural. Isso será possível através da proteção dos rios e mananciais, para garantir a qualidade e quantidade para o abastecimento da população; através da coleta e tratamento do esgoto sanitário até atingirem o padrão necessário para, somente então, serem despejados nos corpos d'água; através de sistemas de drenagem adequados, evitando assim acidentes de deslizamentos e danos

nas vias públicas que causam prejuízos econômicos e afetam o bem-estar da população. Arelada a uma boa política pública de planejamento urbano e controle da urbanização, a implementação do WSUD traz proteção ao ambiente e melhora a qualidade de vida da população.

Um cenário comum em Macaé, e em diversas cidades do Brasil, é a ocorrência de corpos d'água com suas características morfológicas e hidrológicas alteradas, além da presença de poluentes. Estas mudanças nas características naturais dos rios afetam tanto sua qualidade quanto a qualidade do ambiente urbano, fazendo com que perca sua estética. Com as práticas do WSUD é possível integrar o meio natural com o meio construído, trazendo benefícios para a questão urbanística, valorização imobiliária e incentivo das atividades turísticas.

4. RESULTADOS

4.1. DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE DETENÇÃO

4.1.1. Vazão Afluente Máxima à Bacia de Detenção

Dentre as opções de dispositivos optou-se pela adoção de uma bacia de detenção, podendo ser instalada abaixo do nível do solo. Devido a isto, são indicados em casos onde o terreno é muito valorizado e/ou restrito, evitando assim que o espaço seja ocupado pelo filtro. Este caso aplica-se ao Parque da Cidade, já que o espaço está abandonado e foi criado com o objetivo de ser um ambiente de recreação para a população, fazendo com que o local valorize o bairro, a cidade e melhore o meio ambiente e a qualidade da vida da população.

Estima-se a vazão afluente máxima à bacia de detenção por meio do Método Racional, mostrado na Equação 5 e, conforme calculado anteriormente, para um tempo de retorno de 50 anos e tempo de duração da chuva de 50 minutos, consideram-se os seguintes dados para serem inseridos no cálculo da vazão:

Tabela 9 - Parâmetros para cálculo da vazão afluente máxima.

Parâmetros	Valores
Área da bacia hidrográfica (A)	2,7 km ²
Coefficiente de escoamento superficial (C)	0,75
Intensidade da chuva (I)	88,73 mm/h

Fonte: A autora, 2020.

Para os valores informados acima, chega-se a uma vazão no valor de 49,95 m³/s.

4.1.2. Intensidade Efluente Equivalente

O reservatório deve ser dimensionado para a chamada chuva crítica, ponto o qual deve garantir que a máxima vazão efluente seja igual a capacidade máxima de vazão do rio Macaé.

Segundo Souza (2019), a área do canal da Avenida Evaldo Costa engloba toda a área do Parque da Cidade, local considerando por este estudo para a instalação da bacia de detenção. Dessa maneira, as características do canal são demonstradas na Tabela 10, as quais são utilizadas para o cálculo da vazão efluente na Equação 5.

Tabela 10 - Características do canal da rua Evaldo Costa

Parâmetros	Valores
Área Hidráulica	7,2 m ²
Perímetro	7,6 m
Declividade	0,011
Coefficiente de Manning	0,017

Fonte: A autora, 2020.

Dado os valores informados, a vazão efluente para o canal em questão é de 42,85 m³/s.

Com o conhecimento da máxima vazão, calcula-se a intensidade equivalente através da Equação 5.

De acordo com os cálculos, o valor encontrado para a intensidade efluente equivalente é de 76,12 mm/h.

4.1.3. Cálculo do Volume

Para o cálculo do volume de detenção foi utilizado o método de Porto (2002), por meio da Equação 4, já com os parâmetros da cidade de Macaé e considerando β unitário, valor mais utilizado, o volume estimado foi de 85563,74 m³.

4.2. DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS

A vazão de projeto de 42,85 m³/s será desviada para dentro do dispositivo localizado na Avenida Fábio Franco, que contará com um gradeamento inicial, orifício de saída e vertedor. O desvio será feito por uma galeria com diâmetro de 1200mm vindo da Avenida Fábio Franco passando pela Avenida Carlos Augusto Garcia. Após o gradeamento, haverá um orifício que retornará a vazão de projeto com tempo de recorrência menor ou igual a 1 ano. Acima desse tempo de retorno, a vazão passará por um vertedor que encaminhará a vazão para uma galeria de concreto retangular, que conduzirá esse volume de água para o reservatório de detenção no Parque da Cidade. Esse reservatório amortecerá o pico de cheias, liberando uma pequena vazão por um orifício que chegará até a rede de água pluvial.

Para o dimensionamento do orifício após o gradeamento foi utilizado um tempo de retorno de 1 ano e tempo de duração de 50 minutos. Substituindo os valores na Equação 10, tem-se que a intensidade da chuva vale 31,71 mm/h e, substituindo os valores na Equação 05,

tem-se que a vazão do orifício vale 17,85 m³/s. Para o orifício proposto neste pré-dimensionamento, tem-se os seguintes dados:

Tabela 11 - Parâmetros para cálculo da carga inicial do orifício

Parâmetros	Valores	Unidades
Q	17,85	m ³ /s
L	20,00	m
D	1,00	m
L/D	20,00	-
A	0,79	m ²

Fonte: A autora, 2020.

Segundo a Figura 28, tem-se que C_d vale 0,73. Então, substituindo os valores na Equação 11 tem-se que a carga do orifício vale 49,4 m. Substituindo os valores encontrados para a vazão de projeto e a vazão do orifício na Equação 13, tem-se que a vazão no vertedor é de 25 m³/s. Substituindo o valor encontrado na fórmula de Francis, dado pela Equação 12, tem-se que a lâmina d'água acima do vertedor vale 0,77m.

O objetivo do reservatório de detenção no Parque da Cidade é amortecer o pico de cheias, de tal modo que a vazão máxima seja equivalente a da pré urbanização e retorne à rede pluvial. Para o cálculo da vazão de pré urbanização foi adotado um coeficiente de escoamento de 0,3, de modo a obter uma vazão de 19,96 m³/s.

A vazão do orifício que retorna à rede pluvial após o gradeamento, adicionada à vazão de saída do reservatório de detenção do Parque da Cidade tem que ser no máximo igual à vazão de pré urbanização. Desse modo, a vazão de saída máxima vale 2,11 m³/s.

Para o dimensionamento do reservatório de detenção adotou-se um orifício de saída de 500mm de diâmetro e obteve-se um volume útil de 85563,74 m³, conforme mostrado nos cálculos anteriores. O dimensionamento realizado está considerando apenas chuvas para tempo de retorno de 50 anos, e ao substituir os valores na Equação 11 tem-se que a vazão de saída vale 2,02 m³/s.

Portanto, percebe-se que o dimensionamento atendeu o objetivo de recuperar a vazão de pré urbanização, já que a vazão de saída máxima poderia chegar a 2,11 m³/s. Como o volume necessário possui um valor considerável, serão propostos dois reservatórios trapezoidais com largura média de 220 metros, comprimento médio de 200 metros e profundidade de 0,95 metros.

4.3. AÇÕES WSUD

A metodologia WSUD propõe a utilização de diversos dispositivos para captar e tratar as águas pluviais. Estes itens devem ser capazes de reter e/ou retardar o escoamento das águas das chuvas de modo a minimizar os danos causados pelas grandes descargas de águas à jusante do corpo d'água e devem ser dimensionados de forma que haja uma correta retenção de lixo e poluentes.

É necessário que as medidas estruturais e não-estruturais andem juntas processo de transição para cidades sensíveis à água. Entretanto, neste ponto, deve ser analisado o contexto no qual está inserido o cenário de gestão de Macaé. Segundo o Relatório de Avaliação Anual de 2014, realizado pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), dos quatro componentes do setor de saneamento, os serviços de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas são os que apresentam maior carência de políticas e organização institucional, além da própria falta de infraestrutura. Como consequência, o nível de informação sobre a drenagem e o manejo de águas pluviais urbanas é precário.

No município de Macaé não é diferente. Há deficiências de infraestruturas, como falta de critérios de dimensionamento e de manutenção dos dispositivos, além de falta de trabalhos de base como levantamentos topográficos, georreferenciamento das redes já existentes e estudos hidrológicos e hidrodinâmicos das bacias hidrográficas do município. Estas deficiências dificultam a implantação de medidas estruturais, principalmente em larga escala.

Além disso, as dificuldades de implantação de medidas não-estruturais residem na falta de programas de educação ambiental com ampla abordagem e comunicação com a comunidade, falta de fiscalização e, principalmente, falta de uma gestão de recursos hídricos forte e bem desenvolvida no município.

É necessário utilizar uma série de medidas de BMPs, estruturais e não estruturais para alcançar um resultado referente à qualidade das águas. Segundo Ribeiro (2014), a abordagem geral para o sequenciamento de BMPs é o seguinte:

1. Evitar a poluição por meio de BMPs não estruturais;
2. Controlar e minimizar a poluição por meio de BMPs estruturais na origem do escoamento, em trânsito ou mais a jusante no final do tubo, se a geração de poluentes não puder ser evitado;
3. Gerenciar os impactos da poluição das águas pluviais no receptor águas como último recurso.

Dessa forma, para evitar a poluição dos corpos hídricos a prefeitura de Macaé deve investir em estratégias de paisagismo, zoneamento de áreas inundáveis e incentivos à população

por meio do IPTU hidrológico, como já é feito na cidade de Guarulhos, por exemplo. Estas são medidas possíveis de serem aplicadas em toda a cidade, permitindo que uma maior área de corpos hídricos possam ser preservados.

Como soluções para controlar e minimizar a poluição podem ser consideradas a adoção de medidas estruturais como tanques de água de chuva para reutilização nos lotes das casas, utilização de pavimento poroso em áreas públicas (como o Parque da Cidade, por exemplo) e utilização de filtros de areia em terrenos que são mais restritos. Assim, quando utilizado em maior escala, estas medidas fazem com que a cidade de Macaé se aproxime do comportamento hidrológico antes da intervenção humana.

4.3.1. *CoDesign*

Seguindo as etapas definidas pelo grupo de pesquisadores Australiano *Water By Design*, para aplicar a iniciativa do *CoDesign*, primeiramente deve-se selecionar um local para o projeto, considerando os seguintes traços desejáveis:

- Acessibilidade;
- Interesse comunitário a longo prazo;
- Visibilidade;
- Apelo recreativo;
- Risco gerenciável.

Em seguida, deve-se identificar as partes interessadas pelo projeto e determinar suas necessidades. A Tabela 12 apresenta os resultados para este trabalho.

Tabela 12 - Resultados para a aplicação do *CoDesign* na cidade de Macaé.

Etapas	Resposta
Local	Parque da Cidade - Macaé/RJ
Partes interessadas	Moradores do entorno do Parque da Cidade, Comerciantes, Prefeitura da cidade de Macaé.
Necessidades/Objetivos do projeto	Criação de um espaço que a população pode aproveitar para lazer e recreação, valorizando assim a cidade, incentivando o turismo e o comércio local.

Fonte: A Autora, 2020.

Uma vez que os aspectos mencionados acima foram considerados, é desenvolvido um plano para as iniciativas de *CoDesign* da comunidade para manter os participantes envolvidos. O resultado do plano para o Parque da Cidade é encontrado na Tabela 13.

Tabela 13 - Plano para as sessões de CoDesign na cidade de Macaé.

Considerações	Resposta
Número de Sessões	Duas vezes na semana, onde uma sessão seria uma reunião semanal em algum dia útil e a outra sessão seria no fim de semana para aplicar o que foi definido na reunião.
Canais de Comunicação	Redes sociais e propagandas em canais de TV abertos.
Atividades	Palestras educacionais sobre recursos hídricos e saneamento; Atividades lúdicas sobre a importância da manutenção das árvores e rios como no estado de pré urbanização; Valorização de atividades em espaços públicos abertos e em contato com a natureza.

Fonte: A Autora, 2020.

Durante todo o projeto devem ser realizados monitoramentos e avaliações para garantir que o local esteja realizando as atividades corretas para atender às necessidades de todas as partes interessadas e atingir os objetivos definidos.

4.3.2. *Living WaterWays*

As etapas para aplicação do método *Living WaterWays*, também de acordo com o *Water By Design*, são similares com a do *CoDesign*. Desse modo, tem-se os resultados apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Resultados para a aplicação do Living WaterWays na cidade de Macaé.

Etapa	Resposta
Local	Canais enterrados na Rua Evaldo Costa.
Partes interessadas	Moradores do entorno da Rua Evaldo Costa, Comerciantes, Prefeitura da cidade de Macaé.
Necessidades/Objetivos do projeto	Realçar os elementos naturais da Rua Evaldo Costa e permitir que a comunidade desfrute a qualidade de vida que existe nos seus arredores.

Fonte: A Autora, 2020.

O apoio às comunidades a desenvolver uma conexão emocional com seus cursos de água locais é crucial para proteger a saúde dos cursos de água da cidade de Macaé. Uma maneira de estabelecer essa conexão é através da inclusão da população no projeto de restauração dos canais da Rua Evaldo Costa, por meio de *workshops* e audiências públicas que permitam que os moradores compartilhem suas ideias de como melhorar os corpos hídricos e expliquem o que estes, e o meio ambiente local como um todo, significam para eles.

Com as ideias sugeridas, deve-se elaborar um plano para a restauração, que inclui limpeza do local, revegetação de espécies nativas e criação de um novo caminho para as águas do canal.

5. CONCLUSÃO

5.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Uma cidade sensível à água deve ser capaz de integrar o ciclo hidrológico de forma a obter menores impactos no meio ambiente no qual está inserida a cidade. Esta tarefa deve incluir não só medidas estruturais como não-estruturais. Devido a estes níveis de aplicação da metodologia WSUD, a transição de uma cidade como conhecemos hoje para uma cidade sensível à água não é imediata. No caso da cidade de Macaé, até pouco tempo atrás, ainda eram necessárias algumas medidas estruturais básicas. A rede coletora de esgoto ainda não cobre toda a área urbana e sua implantação está sendo feita, numa parceria público-privada desde 2013, o que já vem contribuindo para a redução de lançamento de esgotos nos corpos hídricos e, conseqüentemente, sua poluição. Além disso, conforme definido pelo grupo de pesquisadores Australiano *Water by Design*, seria interessante adotar as temáticas de criação de espaços multifuncionais e a de gestão ambiental de melhores práticas, com o objetivo de conectar a comunidade com a infraestrutura verde, além de melhorar a educação da população no que diz respeito à conservação dos recursos naturais. Por fim, medidas não-estruturais podem ser aplicadas com certa facilidade desde que haja vontade política e definição das prioridades.

A iniciativa de adaptar as cidades atuais a modelos mais sustentáveis e resilientes leva a diversas vantagens definidas ao longo do trabalho. Ao inserir as águas nos projetos e no planejamento das cidades, aproximando ao máximo o ambiente de suas características naturais, é possível mitigar os problemas de enchentes e alagamentos através de soluções inteligentes que visam remediações de longo prazo.

Desta forma, a adoção destas propostas na cidade de Macaé pode levar a uma nova visão do gerenciamento dos recursos hídricos tanto na própria cidade como em outras localidades do país, proporcionando por sua vez maior desenvolvimento da metodologia e aperfeiçoamento das aplicações do WSUD no território brasileiro.

5.2. CONSIDERAÇÕES ESPECÍFICAS

Nas condições atuais, o problema de cheias na bacia central do Rio Macaé é bastante crítico, conforme diversos relatos e notícias em jornais mostram.

A maioria dos reservatórios de retenção no Brasil visa apenas o amortecimento de cheias. Existem poucos reservatórios multifuncionais hoje em dia, que funcionam como área de lazer em períodos de estiagem e detêm as águas pluviais nos períodos chuvosos. Tendo isso em vista, o presente trabalho abordou este tema e mostrou, através do estudo de caso da bacia central da cidade de Macaé, a concepção de um reservatório de retenção em praça, como alternativa para o controle de cheias.

Para fundamentar os estudos sobre os reservatórios multifuncionais foi preciso entender bem os conceitos de drenagem urbana sustentável, visto que este tipo de reservatório é uma obra de engenharia integrada à sociedade e ao meio ambiente. A Drenagem Urbana Sustentável reconhece a complexidade das relações entre os ecossistemas naturais, o sistema urbano artificial e a sociedade. Por isso é tão importante a utilização dessa medida de controle de escoamento, como uma forma de resgatar, respeitadas as devidas proporções, as características de escoamento natural de pré-urbanização.

Primeiramente, foi proposta uma concepção de reservatório de caráter multifuncional. Este reservatório foi definido como de retenção, prioritariamente para controle de cheias. O aproveitamento múltiplo de uma área pública para lazer, paisagismo e controle de cheias deve procurar agregar valor ao local, revitalizando este espaço. Para garantir o funcionamento do reservatório como área de lazer a maior parte do tempo e com o mínimo de desconforto para a população do entorno, este reservatório foi pensado com uma caixa de desvio, em sua entrada, de modo a permitir que vazões com tempo de recorrência menores que um ano não acessassem a praça designada para a função de reservação.

Para conduzir este estudo, então, de modo a tornar práticas as ideias propostas e experimentar em uma situação de problema real os conceitos desenvolvidos, procurou-se um local com problemas de drenagem urbana, que sofresse com as enchentes, que possuísse uma área pública para a construção da medida de controle de escoamento e que fizesse parte de uma bacia com sistema de drenagem já modelado de forma sistêmica, de modo a permitir que uma análise local depois pudesse ser observada sob a ótica global de resultados para esta bacia, sem desviar o foco principal deste trabalho. Por isso, foi escolhida a bacia central do rio Macaé, onde encontra-se uma área alagável, principalmente por problemas de macrodrenagem, que engloba o bairro da Praia Campista e o Parque da Cidade que se localiza neste.

Na Avenida Fábio Franco, ficou localizada a caixa de desvio com o gradeamento, orifício de saída e vertedor em seu interior. Por seu orifício, como destacado na concepção, as vazões com tempo de recorrência de até um ano retornam à rede pluvial existente, e as vazões

com tempo de recorrência entre 1 e 50 anos passam pelo vertedor, chegando até uma galeria de concreto retangular, que leva as águas pluviais até o reservatório de detenção localizado no Parque da Cidade. Esse reservatório também recebe contribuições de águas captadas superficialmente por ranhuras longitudinais, vindas dos arredores das praças e das próprias praças.

A adoção das iniciativas WSUD, em conjunto com a implantação da bacia de detenção dimensionada, faz com que o objetivo de mitigar cheias se torne possível de ser alcançado. Colocando em prática as etapas das iniciativas do *CoDesign* e *Living WaterWays* tem-se uma cidade que possui espaços multifuncionais, comunidade conectada com as pessoas, a água e a natureza e, então, uma sociedade consciente ambientalmente. Dessa maneira, a população passa a criar uma relação emocional com os cursos de água da cidade, principalmente as crianças que passarão a crescer com essa nova mentalidade, contribuindo para a mudança de cenário das ações antropológicas relacionadas a degradação do meio ambiente.

O objetivo de atender aos conceitos de drenagem urbana sustentável foi cumprido, visto que o projeto de engenharia do reservatório de detenção multifuncional consegue restaurar vazões menores que as de pré-urbanização, garantindo o funcionamento adequado do sistema de galerias, que não mais afoga, permite utilizar uma área de convívio social e de lazer como parte da solução do problema de drenagem, exercitando a integração da Arquitetura e Paisagismo com a Engenharia Hidráulica. Além disso, esta concepção necessita da participação e colaboração da comunidade local, possibilitando e demandando desenvolver campanhas de educação ambiental, importantes na conscientização e esclarecimento das responsabilidades da própria comunidade.

5.3. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se que trabalhos futuros abordem também a temática da requalificação fluvial em conjunto com técnicas do WSUD. Requalificar os corpos d'água é uma necessidade devido a uma história de ações que degradam os ecossistemas e vem se mostrando ser um caminho consciente para enfrentar o crescente risco de cheias e de desequilíbrios morfológicos. A bacia hidrográfica deve receber ações de compensação dos efeitos que a urbanização causa no ciclo hidrológico, de forma que possam sustentar as propostas de requalificação fluvial. Conceito de requalificação fluvial deve ser estendido para toda a bacia, para a mesma ser considerada de forma integrada no processo de requalificação das águas urbanas. Assim, destaca-se a

possibilidade da requalificação fluvial, em um sentido mais amplo, como instrumento para auxiliar no controle de cheias e garantir ambientes mais naturais e saudáveis, bem como soluções efetivas, econômicas, menos dependentes de manutenção e mais sustentáveis.

Além disso, também fica recomendado o desenvolvimento de modelagens que consolidem a abordagem proposta e também o estudo de viabilidade econômica do projeto e de valorização mobiliária das áreas no entorno do local do objeto de estudo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE), 2001, *A Guide for best management practice (BMP) selection in urban developed areas*; produced by Urban Water Infrastructure Management Committee's Task Committee for Evaluating Best Management Practices.

ASSUNÇÃO, V. R. DE A. **Proposta de metodologia de cálculo para reservatórios de detenção em bacias hidrográficas urbanizadas**. 2012. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia (Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo.

AUGUSTO, D. L. **Concepção, Modelagem e Detalhamento de um Reservatório de Detenção em Praça, como Alternativa para o Controle de Cheias na Bacia do Rio Guerengüê**. 2008. Dissertação para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

AZEVEDO NETO J.M. **Manual de Hidráulica**. 7ª Edição. São Paulo: Edgard Blücher, Vol. I, 1991, 335 p.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 1ª edição Porto Alegre: ABRH, 2005. 266p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretária Nacional de Saneamento – SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **3º Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas** – 2018. Brasília: SNS/MDR, 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ap/2018/Diagnostico_AP2018.pdf>. Acesso em 10 de dezembro de 2020.

BRASIL. Ministérios das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico: PLANSAB**. Brasília: Ministério das Cidades, 2014 Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/PlanSaB/relatorio_anual_avaliacao_plansab_2014_15122015.pdf> Acesso em 10 de dezembro de 2020.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes** / Aluísio Pardo Canholi. – São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CETESB; Ascetesb. **Drenagem Urbana: manual de projeto**. São Paulo. Cetesb, 3º Edição, 1986, 452p

D'ALTÉRIO, C. F. V. **Metodologia de Cenários Combinados para Controle de Cheias Urbanas com Aplicação à Bacia do Rio Joana**. 2004. Tese para obtenção do grau de Mestre em Ciências em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

DAEE, Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. **Guia Prático para projetos de pequenas obras hidráulicas**. São Paulo, SP, 2005.

DAEE. **Armazenamento e Drenagem urbana: Manual de projeto**. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica – DAEE / Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB, Cap. X, p. 459-468, 1980.

DE SOUZA, L. N. N. **Estudo Hidrológico e Hidráulico dos Canais de Drenagem das Microbacias Urbanas de Macaé**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DER-SC. **Instrução de Serviço nº 6**: Estudo Hidrológico. Florianópolis. 1998. 10 p.

DOS REIS, P. A. **Identificação de Áreas Vulneráveis as Enchentes e Inundações em Áreas Urbanas através de Modelos Topográficos e Hidráulicos**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia.

DOS REIS, P. A. **Identificação de Áreas Vulneráveis as Enchentes e Inundações em Áreas Urbanas através de Modelos Topográficos e Hidráulicos**. 2015. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia.

FLETCHER, T.D.; SHUSTER, W.; HUNT, W.F.; ASHLEY, R.; BUTLER, D.; ARTHUR, S.; TROWSDALE, S.; BARRAUD, S.; SEMADENI-DAVIES, A.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J.; MIKKELSEN, P.S.; RIVARD, G.; UHL, M.; DAGENAIS, D.; VIKLANDER, M. (2015) SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – **The evolution and application of terminology surrounding urban drainage**, Urban Water Journal, 12:7, 525-542, DOI: 10.1080/1573062X.2014.916314

FRANCO, E. J. **Dimensionamento de Bacias de Detenção das Águas Pluviais com Base no Método Racional**. 2004. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental. Universidade Federal do Paraná.

FRANCO, M. DE C.V. **A Antiga Macaé**. 2006.

FREITAS, L. E. **Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé**. 2015. Nova Tríade Brasil Ltda., Rio de Janeiro.

GRIBBIN, J.E. **Introdução à Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

HOEPFNER, A. C. **Estudo comparativo entre vazões de pico estimadas pelo método racional e pelo método do SCS para a bacia hidrográfica do Rio Bom Retiro em Joinville – SC**. 2007. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População nos Censos Demográficos, segundo Grandes Regiões, as Unidades da Federação e a situação do domicílio 1960/2010**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro: 2010.

JAMBO, J. B. **Uso do Conceito WSUD (*Water Sensitive Urban Design*) na Transação para Cidades “Sensíveis” à Água. Um Estudo de Caso de Teresópolis, RJ**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

JUNIOR, G. P. DA S.; DALL’AGNOL, G.; BARROS, M. G. V. B. **Bacia de Detenção como Medida Mitigadora para Redução do Escoamento Pluvial**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Federal do Goiás.

LIMA, N. A. **Comparação entre Métodos de Dimensionamento de Sistemas de Drenagem em Aeródromos**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil. Instituto Tecnológico de Aeronáutica.

LLOYD, S., WONG, T. AND CHESTERFIELD, C. (2002). **Water sensitive urban design - a stormwater management perspective**. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology.

MELBOURNE WATER. 2005. **"WSUD Engineering Procedures: Stormwater."** Melbourne: CSIRO Publishin

MORGAN, C.; BEVINGTON, C.; LEVIN, D.; ROBINSON, P.; DAVIS, P.; ABBOTT, J. & SIMKINS, P. ***Water Sensitive Urban Design in the UK – Ideas for built environment practitioners***. Londres: CIRIA, 2013.

NASCIMENTO, N. O. et al. Estudo de caso de uma bacia de detenção em meio urbano – O caso do reservatório Santa Lúcia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XII, 1997, Vitória. **Anais ABRH**, CD-ROM, 1997. p. 1-9.

PEREIRA, M. J. DE O. **Estudo de Implantação de Bacias de Detenção para Mitigação dos Efeitos de Inundação em Nova Friburgo/RJ**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PERINI, K; SABBION P. *Urban Sustainability and River Restoration. Green and Blue Infrastructure*. 2017. Wiley Blackwell.

Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Rios Macaé e das Ostras. Relatório de Caracterização da Área de Estudo. Disponível em: <<http://cbhmacae.eco.br/wp-content/uploads/2018/12/EG0143-R-PRH-RPRH-01-02.pdf>>. Acesso em 01 de Julho de 2020.

Revisão do Plano Municipal de Saneamento Básico de Macaé (RJ). Produto 4 – Tomo III. **Prognósticos e Alternativas para Universalização dos Serviços de Saneamento Básico – Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas**. SERENCO, Junho 2020.

RIBEIRO, A. M. **BMP's em Drenagem Urbana – Aplicabilidade em Cidades Brasileiras**. 2014. Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia. Universidade de São Paulo.

JAMBO, J. B. **Uso do Conceito WSUD (Water Sensitive Urban Design) na Transação para Cidades “Sensíveis” à Água. Um Estudo de Caso de Teresópolis, RJ**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A. M. Critérios para classificação hidrológica de solos tropicais brasileiros. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, São Paulo**.

SAYD, J. L.C.; BRITTO, A.L., **Obras Hidráulicas e Espaço Urbano no Estuário do Rio Macaé**. InSitu (São Paulo), Vol.2 N.2, pp27-48, JUL/DEZ, 2016.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (SEMADS). **Enchentes no Estado do Rio de Janeiro- Uma Abordagem Geral**. COSTA, H. (Org.). Cooperação Técnica Brasil- Alemanha. Rio de Janeiro Projeto PLANÁGUA/SEMADS, 2001.

SECRETARIA DO ESTADO DO AMBIENTE. **Análise e qualificação socioambiental do Estado do Rio de Janeiro (Escala 1:100.000) subsídios do Zoneamento Ecológico Econômico**. Rio de Janeiro.

TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia, Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Ed. Universidade-UFRGS-ABRH, 2002, 939 p.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. **Controle do impacto da urbanização**. In: TUCCI, Carlos E.M. Drenagem Urbana. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS, Agosto 1995, p.277-348.

TUCCI, C.E.M; BELTRAME, L.F. **Infiltração e armazenamento no solo: In: TUCCI, C.E.M. Hidrologia: ciência e aplicação** 2ª Ed., Porto Alegre. Rio Grande do Sul (RS). Editora Universidade, p.335-372, 2000

VERÓL, A. P. **Requalificação Fluvial Integrada ao Manejo de Águas Urbanas para Cidades mais Resilientes**. 2013. Tese para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

<<https://cbhmacae.eco.br/a-bacia/>> Acesso em 03 de Junho de 2020.

<<http://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2013/12/piloto-registra-alagamentos-em-macae-rj-voando-de-paramotor.html>>. Acesso em 13 de Outubro de 2020.

<<https://cliquediario.com.br/cidades/enchente-provoca-estragos-e-deixa-macae-debaixo-dagua-confira-o-panorama-atual-da-cidade>> Acesso em 13 de Outubro de 2020.

<<https://cliquediario.com.br/cidades/enchente-provoca-estragos-e-deixa-macae-debaixo-dagua-confira-o-panorama-atual-da-cidade>>. Acesso em 13 de Outubro de 2020.

<<https://www1.folha.uol.com.br/fsp/cotidian/ff20029842.htm>> Acesso em 13 de Outubro de 2020.

<http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2018/12/RHVIII_mapacomite.jpg> Acesso em 10 de Junho de 2020.

<<http://macae.ufrrj.br/nupem/index.php/novidades/735-nupem-ufrrj-aponta-as-causas-de-enchentes-no-municipio-de-macae>> Acesso em 05 de Outubro de 2020.

<<http://www.macae.rj.gov.br/midia/noticias/25231/1323271244.jpg>>. Acesso em 13 de Outubro de 2020.

<<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa222147>> Acesso em 07 de Julho de 2020.

<<https://prensadebabel.com.br/index.php/2017/05/24/parque-da-cidade-em-macae-abandonado/>> Acesso em 13 de Outubro de 2020.

<<https://waterbydesign.com.au/wsud>> Acesso em 11 de Dezembro de 2020.

ANEXO 1 - BOLETIM DE SONDAGEM DE SIMPLES RECONHECIMENTO DO SOLO

