

Universidade Federal do Rio de Janeiro
Engenharia Civil

LAISE NOVELLINO NUNES DE SOUZA

**ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DOS CANAIS DE
DRENAGEM DAS MICROBACIAS URBANAS DE MACAÉ**

MACAÉ, RIO DE JANEIRO

2019

Universidade Federal do Rio de Janeiro

**ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DOS CANAIS DE
DRENAGEM DAS MICROBACIAS URBANAS DE MACAÉ**

Laise Novellino Nunes de Souza

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

**Orientador(a): Prof. Doutor Rafael Malheiro da Silva
do Amaral Ferreira**

Macaé, Rio de Janeiro

2019

SOUZA, Laise Novellino Nunes.

Estudo hidrológico e hidráulico dos canais de drenagem das microbacias urbanas de Macaé/ Laise Novellino Nunes de Souza - Macaé: UFRJ, 2019

Orientador: Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – UFRJ - Macaé/ Curso de Engenharia Civil, 2019.

Referência: SOUZA, L. N. N.

Título: Estudo hidrológico e hidráulico dos canais de drenagem das microbacias urbanas de Macaé.

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Macaé, 30 de julho de 2019



Prof. Dr. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira

Professor orientador

Referência: SOUZA, L. N. N.

Título: Estudo hidrológico e hidráulico dos canais de drenagem das microbacias urbanas de Macaé.

Trabalho de conclusão de curso apresentado a Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Macaé, 30 de julho de 2019



Orientador: Prof. Dr. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira
Presidente da Banca



Banca: Prof. Me. Leandro Tomaz Knopp
Membro interno da UFRJ



Banca: Prof. Dr. Luan dos Santos

Membro interno da UFRJ



Banca: Prof. Dr. Francisco Martins Teixeira

Membro interno da UFRJ

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me guiar em seus caminhos e me permitir chegar até aqui.

Em segundo, pela existência desta universidade pública, como tantas outras universidades públicas no Brasil, que me permitiram ter um estudo de qualidade, e a tantas outras pessoas.

Em terceiro, agradeço a minha família, que foi fundamental para que eu pudesse ter sustento durante esses anos de estudo, em particular minha avó Laise, a quem dedicaram meu nome, e que sempre ora por mim.

Em quarto, tenho muito a agradecer por todos os professores desta universidade, que além de me ensinar, participaram comigo de projetos de extensão, de iniciação científica ou só dedicaram parte de seu tempo para me ouvir. Todo esse acompanhamento dado por eles, permitiu formar a pessoa que sou hoje.

Em quinto, sou honrada pelas amigadas que se mantiveram apesar do término da faculdade.

Por fim, quero deixar meu agradecimento especial aos membros da banca e meu orientador do trabalho final de curso, pois permitiram que este documento a qual redijo fosse possível.

Espero que ele possa contribuir de algum modo para a sociedade, de modo a retribuir pelo menos com um pouco, frente ao esforço mútuo que tem sido feito para manter esta unidade a qual me formo de pé.

Que Deus abençoe a todos que lutam pela educação pública e de qualidade a qual me beneficiei.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado a Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenharia Civil

ESTUDO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO DOS CANAIS DE DRENAGEM DAS MICROBACIAS URBANAS DE MACAÉ

Laise Novellino Nunes de Souza
Macaé, Rio de Janeiro
2019

A cidade de Macaé tem sofrido inundações de grandes proporções devido a eventos de chuvas. De modo a tentar melhorar a qualidade de vida dos habitantes do Município, e entendendo que há a necessidade de minimizar o efeito do acúmulo de águas pluviais na cidade, o presente trabalho busca fazer um estudo hidráulico e hidrológico dos canais de drenagem das Microbacias urbanas da região central de Macaé. Para isso, analisou-se as precipitações de eventos de cheia na cidade, e calculou-se a vazão de alguns canais da região para chegar a uma geometria compatível. Observou-se que o tempo de retorno de 25 anos não é adequado para o cálculo da precipitação na cidade, e que alguns canais não atendem à demanda hídrica de sua Microbacia. A geometria inadequada aliada a presença de lixo e esgoto doméstico lançados irregularmente no canal podem ser fatores que atrapalham a eficiência do sistema de drenagem.

Palavras-chave: Drenagem Urbana, Hidrologia, Hidráulica, Macaé.

Abstract of the Undergraduation Project submitted to the UFRJ as part of the requirements for the degree of Civil Engineer.

HYDROLOGICAL AND HYDRAULIC STUDY OF THE DRAINAGE CHANNELS OF THE URBAN MICROBASINS OF MACAÉ

Laise Novellino Nunes de Souza
Macaé, Rio de Janeiro
2019

The city of Macaé has been badly affected by major flooding due to rains event in a recent time. Trying to improve the quality of life of the population and, understanding the necessity to minimize the effect of the stormwater accumulation in this city, this work aims to develop a study of hydraulic and hydrological conditions of some drain channels of urban microbasins in the central region of the city. To do that, we analyze the frequency for a given rainfall intensity, specially in flooding events. In addition, we calculate the quantity of flow, Q , of some drain channels aiming to obtain a compatible geometry with the rainfall intensity. It was observed that the return time of 25 years seems to be not adequate to the calculation of the rainfall intensity to the city and also, some drain channels do not hold their microbasins hydraulic demand, due mainly to an inadequate geometry joined to the presence of garbage and household sewage. Both factors could explain the inefficiency of the drainage system in the city of Macaé.

Key words: Urban Drainage, Hydrology, Hydraulic, Macaé.

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ANA - Agência Nacional de Águas

ASCE – *American Society of Civil Engineers.*

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo.

GIS - *Open Source Geographic Information System.*

IDF- Intensidade, Duração e Frequência.

SI – Sistema Internacional.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Bacia Hidrográfica | 17 |
| Figura 2: Mapa de Compartimentação da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé ... | 18 |
| Figura 3: Tubulações que estão dentro do saneamento básico | 20 |
| Figura 4: Exemplo de drenagem sustentável..... | 24 |
| Figura 5: Canais Artificiais da Cidade de Macaé, grifo do autor..... | 27 |
| Figura 6: Relações entre as praças e os corpos hídricos no projeto de arruamento..... | 28 |
| Figura 7: Curva do rio Macaé em sua parte inferior, antes da retificação à esquerda e depois da retificação à direita | 30 |
| Figura 8: Foto da Cidade Universitária (Campus da UFRJ) no dia 8 de novembro de 2018 | 31 |
| Figura 9: Foto do Terminal de Ônibus Parque de Tubos na Cidade de Macaé (dia 8 de novembro de 2018)..... | 32 |
| Figura 10: Alagamento na Cidade de Macaé próximo ao Parque da Cidade (dia 17 de maio de 2019)..... | 33 |
| Figura 11: Cidade de Macaé próximo ao Parque da Cidade (dia 17 de maio de 2019)..... | 33 |
| Figura 12: Bacia de Drenagem hipotética..... | 37 |
| Figura 13: Como realizar o contorno da Bacia de Drenagem hipotética | 37 |
| Figura 14: Tempo de Concentração | 43 |
| Figura 15: Adutora no Canal do Capote | 49 |
| Figura 16: Ponte que cruza o Canal do Capote..... | 50 |
| Figura 17: Canal Três Pontes, grifo do autor | 50 |
| Figura 18: Canal que passa pelo obelisco de Macaé..... | 51 |
| Figura 19: Transposição (encontro) em 90 graus entre o canal das ruas Evaldo Costa e Antonio Benjamin Curvelo (Canal Evaldo Costa)..... | 52 |
| Figura 20: Encontro dos Canais Fabio Franco e Evaldo Costa em 90 graus (Rua Benjamin Curvelo e Rua Fabio Franco) | 52 |
| Figura 21: Canal Fabio Franco com Lixo | 53 |
| Figura 22: Ligação dos Canais Fabio Franco e Evaldo Costa | 53 |
| Figura 23: Estado do revestimento do Canal Fabio Franco | 54 |
| Figura 24: Tubulação com ligação clandestina de Esgoto no canal Fabio Franco | 56 |
| Figura 25: Canal Fabio Franco em formato trapezoidal com o revestimento soltando em sua extensão..... | 57 |
| Figura 26: Grade para reter o lixo da desembocadura do canal Fabio Franco. | 58 |
| Figura 27: Estação de Bombeamento (Construção Azul) | 59 |
| Figura 28: Exutorio do canal Fabio Franco | 60 |
| Figura 29: Rua Télió Barreto, vista da casa de controle hidráulico da desembocadura número 776..... | 61 |
| Figura 30: Canais de desembocadura do Canal Fabio Franco | 63 |
| Figura 31: Transposição do Canal Fabio Franco..... | 64 |
| Figura 32: Canal Virgem Santa com possível entupimento..... | 65 |
| Figura 33: Intensidade de chuvas intensas em Macaé (mm/h) | 67 |
| Figura 34: Índice pluviométrico a cada hora no dia 17 de maio de 2019, grifo do autor..... | 68 |
| Figura 35: Índice pluviométrico a cada hora do dia 28 de fevereiro de 2019, grifo do autor | 69 |
| Figura 36: Índice pluviométrico a cada hora do dia 8 de novembro de 2018, grifo do autor | 69 |
| Figura 37: Parque da Cidade..... | 85 |
| Figura 38: Rotatória..... | 86 |
| Figura 39: Canteiro da Linha Azul | 88 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 40: Cálculo da área do Canal do Capote | 91 |
| Figura 41: Cálculo da área do Canal Três Pontes | 92 |
| Figura 42: Cálculo da área do Canal da Rua Fabio Franco | 93 |
| Figura 43: Área do canal Evaldo Costa | 94 |
| Figura 44: Cálculo da área do Canal Virgem Santa | 95 |
| Figura 45: Cálculo do comprimento do Canal do Capote..... | 96 |
| Figura 46: Cálculo do comprimento do Canal Três Pontes | 97 |
| Figura 47: Cálculo do comprimento do Canal da Rua Fabio Franco..... | 98 |
| Figura 48: Comprimento do canal Evaldo Costa..... | 99 |
| Figura 49: Comprimento do Canal Virgem Santa | 100 |

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Área (m^2).

A_h - Área hidráulica (m^2).

b – Base menor do trapézio (m).

B - Base superior do trapézio, base de maior largura (m).

C – Coeficiente de escoamento superficial.

D – Diâmetro circular para canais cilíndricos (m).

h – Altura do trapézio (m).

H – Desnível entre o ponto mais elevado da bacia e o exutório (m).

I_{max} – Precipitação máxima (mm/h).

L – Comprimento do Canal (m).

n – Coeficiente de Rugosidade.

P_h - Perímetro hidráulico.

Q – Vazão (m^3/s).

R_h – Raio hidráulico (m).

S – Declividade.

Tp – Tempo de percurso (s).

t – Tempo de duração da chuva em minutos (min).

t_c – Tempo de Concentração (min).

T_r – Tempo de Retorno (anos).

Vp – Velocidade plena do canal (m/s).

LISTA DE TABELAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Coeficiente de escoamento superficial..... | 42 |
| Tabela 2: Coeficiente de Escoamento Superficial..... | 42 |
| Tabela 3: Intensidade das chuvas intensas em Macaé (mm/h) | 66 |
| Tabela 4: Tempo de retorno mínimo..... | 71 |
| Tabela 5: Área de cada Microbacia | 73 |
| Tabela 6: Comprimento de cada Microbacia..... | 74 |
| Tabela 7: Vazão pelo Método Racional | 74 |
| Tabela 8: Geometria dos Canais | 76 |
| Tabela 9: Comparação da geometria dos canais..... | 77 |

SUMÁRIO

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 15 |
| 1.1 Estudo da região urbana de Macaé..... | 26 |
| 1.1.2 Histórico | 27 |
| 1.1.3 Retificação do Rio Macaé | 29 |
| 1.1.4 Eventos de chuva intensa..... | 30 |
| 1.2 Justificativa | 34 |
| 1.3 Motivação..... | 34 |
| 1.4 Objetivo | 34 |
| 1.4.2 Objetivo Geral..... | 34 |
| 1.4.3 Objetivos Específicos | 34 |
| 1.5 Estrutura do Trabalho | 35 |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 36 |
| 2.1 Passos dos Estudos Hidrológico e Hidráulico | 36 |
| 2.1.2 Delineamento da Bacia Hidrográfica..... | 36 |
| 2.1.3 Definição da Área | 38 |
| 2.1.4 Tempo de Retorno..... | 39 |
| 2.1.5 Equação das Chuvas Intensas..... | 39 |
| 2.1.6 Vazão | 40 |
| 2.1.7 Coeficiente de Escoamento Superficial | 41 |
| 2.1.8 Tempo de Concentração | 43 |
| 2.1.9 Tempo de Percurso..... | 44 |
| 2.1.10 Definição da geometria do canal..... | 45 |
| 2.1.11 Coeficiente de Rugosidade | 46 |
| 3. METODOLOGIA..... | 47 |
| 3.1 ESTUDO DE CAMPO..... | 48 |
| 4. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS | 66 |
| 4.1 Aplicação da fórmula de Chuva Intensa utilizada para região central urbana de Macaé..... | 66 |
| 4.2 Comparação da aplicação da fórmula de chuva intensa pela norma com a realidade vivenciada..... | 67 |
| 4.3 Definição da topografia para o cálculo da declividade | 71 |
| 4.4 Definição do Coeficiente de Escoamento Superficial..... | 72 |
| 4.5 Definição do uso e cobertura do solo de cada microbacia para estimativa do coeficiente de <i>runoff</i> | 73 |
| 4.6 Definição da área de cada Microbacia | 73 |
| 4.7 Definição do Comprimento de cada Microbacia..... | 74 |

| | | |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.8 | Definição da Vazão pelo Método Racional para cada Microbacia | 74 |
| 4.9 | Definição da geometria pela equação de Manning para cada Microbacia.... | 75 |
| 4.10 | Análise da geometria dos canais observada na visita de campo e calculada no estudo de caso..... | 76 |
| 4.11 | Análise do Escoamento nos Canais | 77 |
| 5. | CONCLUSÃO..... | 80 |
| 5.1 | Principais Conclusões | 80 |
| 5.2 | Limitações da Pesquisa..... | 81 |
| 5.3 | Perspectivas Futuras..... | 82 |
| | APÊNDICE A: SOLUÇÕES ALTERNATIVAS..... | 84 |
| | A-1 Introdução..... | 84 |
| | A-2 Medidas Estruturais | 84 |
| | A-2.1 Medidas de Armazenamento..... | 84 |
| | A-2.2 Medidas de Infiltração | 87 |
| | A-3 Medidas Não- Estruturais..... | 89 |
| | A-4 Escolha do Dispositivo | 90 |
| | ANEXO I..... | 91 |
| | REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO..... | 101 |

1. INTRODUÇÃO

A prática do planejamento das medidas de defesa contra as inundações está em crescente consolidação em países em desenvolvimento. O Conceito de sustentabilidade, especialmente associado à drenagem urbana participa desta nova forma de planejamento (SÃO PAULO, 2012). Isto ocorre devido à crescente urbanização sem planejamento e a consciência recente dos efeitos ambientais ocasionados por ela.

Com relatos frequentes de inundações em períodos de cheias, pode-se dizer que o Estado do Rio de Janeiro, e mais precisamente a cidade de Macaé, ainda precisa fortalecer ações e medidas para a eficiência da drenagem das águas pluviais no meio urbano. Para isso, a necessidade de um planejamento adequado dos canais de macrodrenagem adquire tamanha importância à captação e destinação dessas águas nas cidades.

A ocupação territorial do solo na área urbana, se não for feita com o planejamento integrado com a infraestrutura de drenagem, pode desencadear alagamentos e inundações por ocasião dos eventos hidrológicos de maior intensidade (RIGHETTO, 2009).

As inundações e impactos devido ao escoamento pluvial ocorrem devido a dois processos: a) inundações em áreas ribeirinhas aos rios, causada pela ocupação ao redor do leito do rio; b) inundações devido à urbanização, neste caso devida à impermeabilização do solo, e sua ocupação (TUCCI, 2002). Neste último, o acúmulo de água pluvial não tem lugar para infiltrar ou criar um curso de água, sendo necessária que a água seja destinada a um conduto de drenagem urbana.

Nesse sentido, a cidade de Macaé tem apresentado um mau funcionamento em seu sistema de macrodrenagem, isto porque as inundações ao redor dos canais têm se tornado frequentes, causando prejuízos aos patrimônios públicos e privados e à saúde das pessoas.

O sistema de macrodrenagem existe naturalmente, devido ao fato do escoamento das águas pluviais ocorrer através de depressões topográficas e pelos canais naturais. Porém, em épocas de cheia, esse

escoamento com maior quantidade de água ocorre de forma mais desordenada, colocando em risco propriedades e vidas humanas (SÃO PAULO, 2012). Então, deve haver uma relação direta entre a urbanização e os canais principais de drenagem e é preciso haver um acompanhamento da compatibilidade dos canais de drenagem existentes junto ao desenvolvimento urbano.

Esta relação ocorre principalmente porque a urbanização acomoda os canais naturais antes sinuosos em galerias retilíneas e aumenta o escoamento superficial devido a impermeabilização do solo, o tempo de concentração das cheias é reduzido, pois os canais lineares transportam a água com mais velocidade, e também costumam ser obstruídos por material sólido, podendo gerar inundações que atingem suas áreas marginais.

Sendo assim, um canal considerado bem projetado é aquele que além de acumular um maior volume, apresenta baixas velocidades para descargas de cheias, resultando em tempos de concentração mais longos. Para avaliar preliminarmente as dimensões dos canais principais, é necessário um estudo hidráulico com uma primeira estimativa da vazão de projeto.

Em acréscimo, o regime hidrológico, que é a forma como a água se distribui em determinada região, pode ser totalmente alterado à medida que aumenta o processo de urbanização, necessitando de estudos de natureza hídrica para se preservar o funcionamento dos canais nas áreas urbanas.

O ciclo hidrológico descreve a distribuição da água pelo planeta, suas mudanças de estado físico e de localização em relação a seus reservatórios naturais, como em geleiras, oceanos, cursos de rios, lençol subterrâneo, na atmosfera. A evaporação e a infiltração são processos que interferem na quantidade do escoamento superficial, transferindo parte da água para a atmosfera e o lençol freático, respectivamente. Como o ciclo hidrológico é constante, a água retorna à superfície devido à precipitação em forma de chuvas, como a submersão do lençol freático em algumas áreas, abastecendo os rios (GRIBBIN, 2012).

Podemos definir uma bacia hidrográfica ou bacia de drenagem como a área que direciona certa quantidade de água para escoar em um determinado rio e seus afluentes, isto porque, os rios são formados pela concentração da água em um fluxo, que se origina também do escoamento superficial (FREITAS, 2015).

As áreas com maior propensão de alagamentos são as mais baixas e as regiões marginais aos cursos d'água, pois recebem a maior quantidade de água da bacia (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016).

Para melhor exemplificar a definição, na Figura 1 é mostrada uma representação hipotética de uma bacia hidrográfica com grande volume de água, que pode ser formada por sub-bacias. Toda a área destacada corresponde a bacia hidrográfica do rio X. Toda a chuva que cair dentro desta porção de terra será direcionada a este rio, e seu fluxo leva até sua foz, que pode ser outro rio ou o mar. A área mais escura representa a bacia hidrográfica do rio Y, que é uma sub-bacia da bacia do rio X. Percebe-se que a foz do rio Y é exatamente o ponto onde ele se encontra com o rio X, isto porque o rio Y é afluente do rio X.

Fonte: FREITAS, página 9, 2015

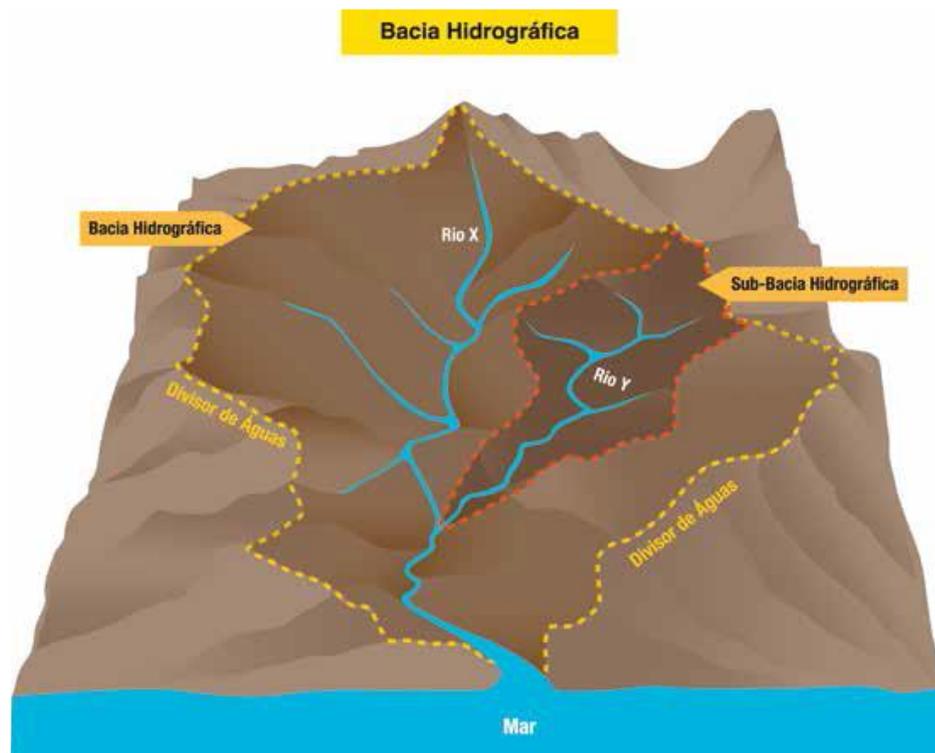


Figura 1: Bacia Hidrográfica

Para cada Bacia Hidrográfica é elaborado um Plano de Recursos Hídricos que deve conter o balanço de disponibilidade e demanda futura dos recursos hídricos, metas de racionalização do uso, análise de alternativas ao crescimento demográfico, evolução de atividades produtivas, e de modificações dos padrões de ocupação do solo, propostas para a criação de áreas sujeitas a restrição de uso visando a proteção dos recursos hídricos, identificação de conflitos potenciais sobre seu uso, entre outros. A Lei 9.433/97, também conhecida pela denominação de Lei das Águas, institui, segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), os usos prioritários da água como sendo o consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997). O Plano de Recursos Hídricos se faz importante devido a necessidade de gestão da Bacia Hidrográfica para garantir o uso de seus recursos de forma articulada, garantindo o abastecimento do meio urbano, industrial e agrícola, como também a produção de energia, navegação, tratamento de esgotos, drenagem de águas pluviais, entre outros usos, de maneira a garantir a qualidade e quantidade dos recursos.

Na Figura 2 é apresentada a Bacia Hidrográfica do Rio Macaé.

Fonte: FREITAS, página 17, 2015

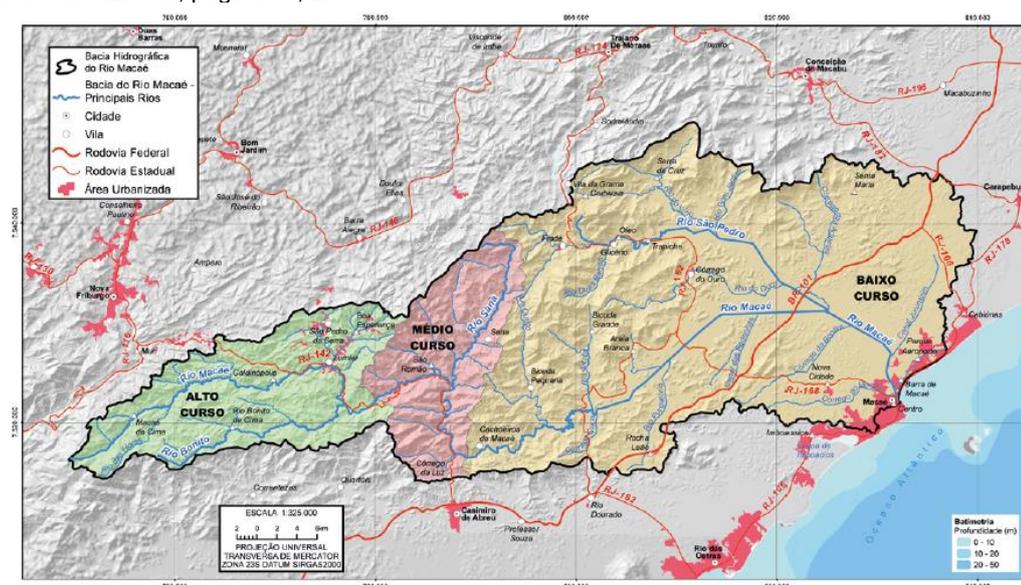


Figura 2: Mapa de Compartimentação da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé

Destaca-se que a área urbana do município de Macaé encontra-se na área de baixo curso, que é a parte mais baixa da bacia, sendo esta uma área de planície propícia a inundações. A parte em vermelho mostra a parte urbanizada e as linhas em azul, os cursos de água.

Em complemento, a Política Nacional dos Recursos Hídricos baseia-se no fundamento de que a gestão dos recursos hídricos deve sempre propiciar o uso múltiplo das águas, e incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento das águas pluviais (BRASIL, 1997).

De acordo com a Lei Federal nº 11.445, de 2007, o saneamento básico é composto pelos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo das águas pluviais, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, e deve ser prestado considerando a universalização do acesso e a sua integração com os demais serviços de saneamento (BRASIL, 2007).

A drenagem urbana é parte do Saneamento básico previsto na Lei Federal nº 11.445, de 2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico. Ela é parcialmente ilustrada na Figura 3 (MP, 2016), e é definida como:

“Conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana das águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas”

A drenagem pode ser caracterizada como o conjunto de elementos em um sistema que recolhe as águas pluviais precipitadas em determinada região, conduzindo-as de forma segura para um destino final; também engloba as técnicas de coleta e condução à infiltração e a armazenagem como forma de recuperar parte do ciclo hidrológico natural. (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016).

Fonte: MP, 2016



Figura 3: Tubulações que estão dentro do saneamento básico

O sistema de drenagem urbana pode ser dividido em Microdrenagem e Macrodrenagem. Salienta-se que a área urbana deve se desenvolver de forma coerente com os sistemas de drenagem para que não ocorra prejuízos materiais e de vidas humanas (SÃO PAULO, 2012).

A microdrenagem urbana pode ser definida por condutos construídos localmente para captação distribuída dos escoamentos nas áreas urbanizadas, recebendo e conduzindo a água das chuvas precipitadas em construções, lotes, ruas, praças, entre outros (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016).

O sistema de Microdrenagem, ou coletor de águas pluviais, é aquele composto por canais de pequena dimensão, guias e sarjetas, bocas de lobo, galerias de águas pluviais e pavimentos de ruas. Ele pretende eliminar os alagamentos na área urbana, impactando diretamente no trânsito de veículos e pedestres, e no dano às propriedades (SÃO PAULO, 2012).

A macrodrenagem pode ser definida como a rede de maior porte que recebe as águas pluviais já concentradas, inicialmente natural através de rios e córregos. Ela recebe obras que modificam e complementam os canais naturais, como canalizações, galerias de

grandes dimensões, barragens e diques, para se adequar ao contexto urbano. A rede de macrodrenagem funciona como o principal condutor de vazão de uma bacia, recebendo as contribuições do sistema de microdrenagem para o seu destino final (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016).

O sistema de Macrodrenagem em geral, existe naturalmente, pois a água escoar através de depressões topográficas e cursos d'água naturais (SÃO PAULO, 2012).

O sistema de drenagem urbana pode ser combinado com o sanitário, ou seja, num mesmo conduto, sendo ele de maior dimensão para receber as duas demandas, e, devendo este terminar numa central de tratamento. A legislação Brasileira prevê a existência de condutos independentes, entretanto, na prática, a rede sanitária se mostra ausente em algumas regiões (TUCCI, 2002).

O projeto de drenagem é uma técnica tipicamente hidráulica, que contempla o funcionamento integrado de uma bacia, reconhecendo suas particularidades, limitações e interações como meio urbano das cidades para ter uma capacidade de escoamento que evite cheias severas. Ele engloba o conjunto de ações e medidas, cujo objetivo além de diminuir os prejuízos causados por inundações, busca integrar, de forma articulada, o Plano Diretor do município, para que possa propiciar um desenvolvimento urbano mais harmônico e sustentável (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016).

Para entender a importância do projeto de um sistema de drenagem no desenvolvimento sustentável das cidades, é necessário entender o conceito de Desenvolvimento Sustentável.

Ele ficou conhecido desde de a Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também chamada de Rio 92, a partir de estudos da Organização das Nações Unidas sobre as mudanças climáticas, e em resposta para as crises sociais e ambientais, pela qual o mundo passava a partir da segunda metade do século XX (BARBOSA, 2008).

Deste estudo foi desenvolvido um relatório conhecido como "Nosso futuro Comum", no qual se destacava as questões sociais,

principalmente às que se referem ao uso da terra, sua ocupação, suprimento de água, abrigo e serviços sociais, educativos e sanitários, e a administração do crescimento urbano, tendo definido o desenvolvimento sustentável como aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer as possibilidades das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades (BARBOSA, 2008).

Buscando revisitar o conceito de desenvolvimento humano no cenário da globalização do século XXI, uma concepção baseada em três aspectos: social (inclusivo), ambiental (sustentável) e econômico (sustentado) foi apresentado à Organização das Nações Unidas nos anos 2002 e 2004. Ela é pautada em cinco pilares, sendo eles: a) O social, com foco em diminuir as desigualdades; b) o ambiental, visando prover os recursos, e destinar o produto final; c) o territorial, baseado na distribuição espacial dos recursos, das populações e das atividades; d) o econômico, sendo a viabilidade de financiamento necessária para que as ações se concretizem e; e) o político, baseado na democracia como valor fundador e instrumento necessário para que as coisas aconteçam através da liberdade. (BRASIL G. M., 2018)

Tendo em vista que poderá não haver uma solução tecnológica milagrosa no futuro, buscou-se propor desde já um estilo de desenvolvimento voltado à sustentabilidade. Este conceito inclui a drenagem urbana (POMPÊO, 2000).

O projeto de um sistema de drenagem é influenciado pela urbanização, por este motivo, ele deveria se adequar as condições ambientais pré-existentes, e suas mudanças contínuas, visto que o ambiente está em constante transformação. Para que, ao passar do tempo, o sistema continue a atingir seus objetivos com eficiência.

Sendo assim, o termo drenagem urbana sustentável vem como proposta à sobrevivência do ser humano, percebida a degradação ambiental generalizada, e à crítica aos estilos de vida que exploram a natureza em demasia (POMPÊO, 2000).

A aceleração dos escoamentos teve como efeito transferir para a jusante o grande acúmulo de água nas áreas urbanas, devido à redução de espaços naturais, trazendo inundações em áreas onde não eram afetadas. O entendimento que a drenagem urbana deve vir integrada com o planejamento das cidades, e apresentar interfaces com diversos elementos da infraestrutura urbana é importante para seu papel socioeconômico e ambiental, sobretudo na recuperação e restauração de áreas degradadas pela urbanização predatória (CANHOLI, 2014).

A partir da década de 1960, começou-se a questionar, em alguns países, como a drenagem urbana é tradicionalmente feita por intermédio de obras que transferem o problema do acúmulo de água para outras áreas. Os projetos de grandes sistemas de galerias pluviais, obras em rios e canais através de cortes de meandros, retificações e mudanças na declividade do fundo não tem o objetivo de diminuir a geração do escoamento nas superfícies urbanizadas, apenas controlá-lo e direcioná-lo (POMPÊO, 2000).

Assim, podemos dizer que a drenagem sustentável é o conceito de tratar o acúmulo das águas pluviais na cidade desde sua fonte, sem transferir esse excedente para outra região.

A Figura 4 ilustra um exemplo de drenagem urbana sustentável (AVIX, 2019).

Fonte: AVIX, 2019



Figura 4: Exemplo de drenagem sustentável

Os conceitos que integram os projetos e planos de drenagem urbana são divididos entre estruturais e não-estruturais (RIGHETTO, 2009).

As medidas estruturais são toda e qualquer obra de engenharia que visa reduzir o risco de enchentes (TUCCI, 1997).

Elas interferem diretamente no escoamento através de dispositivos responsáveis pelo direcionamento e controle do fluxo das águas pluviais como por exemplo, as canalizações abertas ou fechadas, os reservatórios, e diques. Elas também constituem obras que modificam o sistema natural para a retenção, infiltração, aceleração e abatimento do escoamento superficial gerado pela urbanização. (SÃO PAULO, 2012)

Quando controlam os escoamentos em sua origem, tendo objetivo de diminuir a quantidade de água e a velocidade do escoamento, são chamados de Medidas estruturais de controle da fonte. Os dispositivos propostos pelas medidas estruturais de controle da fonte são classificados em função de sua atuação: a) Para a Infiltração, temos as valas de infiltração, pavimentos porosos, trincheiras de infiltração e valas gramadas, que diminuem a quantidade de água no sistema pluvial

por favorecer a absorção dela pelo solo; b) Para o armazenamento, temos as bacias de detenção, retenção nos lotes e microdrenagem de forma linear, estes dispositivos retêm o escoamento, para posteriormente liberar o volume. Também há dispositivos mistos, que influem no armazenamento e infiltração, podendo ser mais eficientes do que os isolados, permitindo melhor utilização do espaço (SÃO PAULO, 2012), ou seja, pensar no espaço de modo que ele não fique ocioso quando não estiver drenando água. Como é o caso de uma praça que pode acumular água em dias de chuva intensa, e nos outros dias ter função recreativa.

É necessário considerar a integração entre os dispositivos de drenagem com as medidas estruturais de controle da fonte no planejamento, pois essas medidas reduzem os volumes escoados, introduzem alternativas que integram a paisagem e também tratam a poluição, melhorando a qualidade da água que escoa para os canais. (SÃO PAULO, 2012)

As medidas não-estruturais são aquelas de caráter legal e institucional, que visam disciplinar a urbanização de forma a minimizar seus efeitos no regime hídrico das bacias. Elas reduzem a interferência humana às condições naturais sem alterar a morfologia. Essas medidas precisam da participação popular, e da fiscalização constante durante o crescimento das cidades, além de medidas que impeçam a ocupação de áreas em forma irregular (SÃO PAULO, 2012).

As medidas não-estruturais são ações que fazem parte da gestão das águas pluviais no meio urbano, buscando melhorar a qualidade de vida da população, e integrando a estética e múltiplas possíveis atividades no uso do espaço (RIGHETTO, 2009).

Essas medidas incluem o zoneamento das áreas de inundação, normas e critérios técnicos para a construção de obras e urbanização da cidade, a educação ambiental, as previsões de cheia, os seguros de inundações, o sistema de alerta de inundações, e legislações sobre o tema (SÃO PAULO, 2012). Como medidas de fiscalização e vigilância de ocupação dos espaços públicos, mata auxiliar ou de morros.

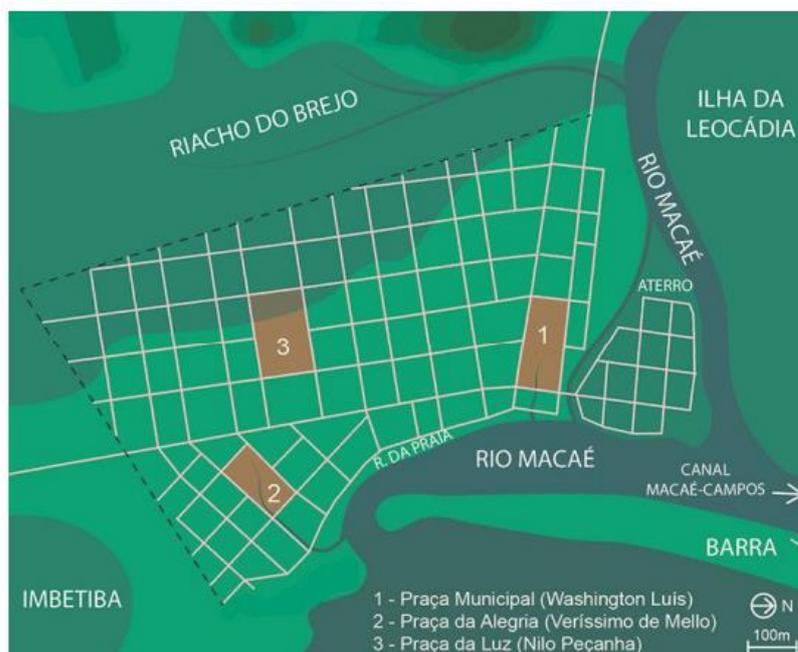
As leis devem oferecer suporte e proteção aos cidadãos, principalmente no que se refere à moradia e postos de trabalho. As áreas urbanas suscetíveis a deslizamentos de encostas, soterramentos e inundações geralmente ocupadas por um contingente populacional que vive em condições mais precárias contribui para o baixo índice de desenvolvimento social do país (RIGHETTO, 2009).

1.1 Estudo da região urbana de Macaé

Esta seção é dividida em quatro partes: Na primeira é realizado um apanhado das informações históricas disponíveis sobre a cidade. Na segunda é explicitado a mudança de percurso do Rio Macaé com a urbanização. Na terceira é apresentado um relato dos eventos de chuva intensa com consequentes inundações em vias públicas. Na quarta é elaborado um diagnóstico das condições observadas nos canais de drenagem artificiais e naturais através de visitação em campo.

Na Figura 5 são mostrados alguns canais localizados na cidade de Macaé. Em particular, será estudado nesta se o os canais Três Pontes, do Capote e Virgem Santa. Além desses, o canal da Avenida Fabio Franco e o Canal da Rua Evaldo Costa, que é transposta na Rua Ant nio Benjamin Curvello, também serão abordados, e serão chamados de Canal Fabio Franco e Evaldo Costa, respectivamente.

Figura 6: Relações entre as praças e os corpos hídricos no projeto de arruamento.



Fonte: SAYD & BRITTO, 2016

Em 1875, três anos após a inauguração do Canal Macaé-Campos, é inaugurada a ferrovia que tinha a mesma finalidade do canal: levar a produção canavieira. A Construção da ferrovia foi acompanhada por obras que desmontaram o Morro da Pedreira e o Morro do Lazaredo, e aterraram Imbetiba, o Riacho do Brejo e o Rio Macaé, e junto, houve a criação do Porto de Imbetiba. Assim, nas últimas décadas do século XIX, a cidade começou uma expansão incipiente em direção à enseada de Imbetiba. O novo bairro foi construído sobre terreno alagadiço, levantado graças aos aterros e canais (SAYD & BRITTO, 2016).

Os canais da Cidade de Macaé passaram a ter origem graças a essa expansão. O canal da Rua Fabio Franco foi aberto desde a passagem da linha Ferroviária, e permanece até os dias atuais, sendo sua estrutura ampliada de 1,80m de base superior para 5,20m, e a colocação de uma ponte pré-moldada em 2009 (MACAÉ, 2009).

De acordo com site da Prefeitura Municipal de Macaé, o Canal da Rua Evaldo Costa recebeu galerias retangulares de seis metros de largura e dois metros de altura em 2010. Nesta época a previsão de conclusão do Canal da Rua Antônio Curvelo Benjamim (que se concluiu

no ano seguinte) faria o direcionamento das águas dos bairros Visconde, Rivieira Fluminense, Sol Y Mar e Campo do Oeste, desde a Avenida Evaldo Costa até o canal da Rua Fabio Franco para o desague no Rio Macaé (MACAÉ, 2010).

Em 2011 a elevatória da Rua Télió Barreto recebeu quatro bombas de sucção de 1500 litros de acordo com a Prefeitura Municipal de Macaé. Ela tem a finalidade de ampliar a vazão de água pluvial bombeada para o Rio Macaé, proveniente do Canal da Rua Fabio Franco, que recebe a vazão do Canal da Rua Evaldo Costa e sua transposição pela Rua Antonio Curvello Benjamim. (MACAÉ, 2011)

1.1.3 Retificação do Rio Macaé

O rio Macaé cruza uma extensa planície formada por sedimentos provenientes dos rios e do mar, e sofreu diversas intervenções humanas ao longo da história, como desmatamento sistemático e formação de pastagens, aterro e drenagem de brejos e lagoas, e poluição dos corpos hídricos. Um impacto de grandes proporções foi a retificação dos 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 alinhados, tornando-se retilíneos (Figura 8). Este processo alterou profundamente o comportamento hidrológico dos rios (FREITAS, 2015).

Áreas de retenção das águas foram reduzidas, e brejos e lagoas drenados, o que permitiu a ocupação e a utilização de áreas anteriormente sujeitas à inundações, valorizando terras para produção agropecuária. As águas ganharam maior velocidade, transportando mais rapidamente os sedimentos em direção à foz do rio Macaé, resultado em maior erosão das margens. Como consequência, ocorreu o assoreamento deste rio na sua porção final, onde está o núcleo urbano de Macaé (FREITAS, 2015).

Devido ao assoreamento, que gera acúmulo de sedimentos no rio, este teve uma redução de sua profundidade. A diminuição da profundidade aumentou a frequência e intensidade das enchentes na

parte final da bacia do rio Macaé, pelo seu extravazamento, gerando grandes transtornos para a cidade, incluindo prejuízos materiais e risco às vidas humanas (FREITAS, 2015).

Outra importante consequência da retificação dos rios situados na planície foi a eliminação de ecossistemas, como florestas e manguezais situados nas margens, brejos e alagados localizados na planície, e remansos e reentrâncias existentes dentro do rio, que garantiam a conservação de diferentes espécies aquáticas. Este conjunto de ações reduziu fortemente a biodiversidade da planície cortada pelo rio Macaé, eliminando muitas espécies vegetais e animais (FREITAS, 2015).

Fonte: retirada do Atlas Ambiental da bacia Hidrográfica do Rio Macaé, página 19



Figura 7: Curva do rio Macaé em sua parte inferior, antes da retificação à esquerda e depois da retificação à direita

1.1.4 Eventos de chuva intensa

A cidade de Macaé foi escolhida para o estudo de adequação dos canais de drenagem urbana devido a falha do sistema de escoamento das águas pluviais, o que acarreta enchentes constantes em diversos bairros, especialmente aqueles localizados no entorno dos canais como mostrado nas Figuras 8 a 11. Isto se dá principalmente porque as regiões marginais aos cursos d'água são frequentemente áreas mais críticas para alagamentos. (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016)

Destaca-se que o problema não é recente, há pelo menos seis anos, são presenciados alagamentos na cidade (G1, 2013). Recentemente, no dia 8 de novembro de 2018, os habitantes de Macaé sofreram com chuvas intensas na cidade, inclusive responsáveis pela queda de uma ponte (G1, 2018). Este episódio de chuva também afetou

diretamente o Campus da UFRJ, pois alunos e professores ficaram ilhados dentro do Campus (CLIQUE DIARIO, 2018).

Fonte: Foto divulgada na rede social do Facebook pela página Notícias Macaé



Figura 8: Foto da Cidade Universitária (Campus da UFRJ) no dia 8 de novembro de 2018

Fonte: Foto divulgada na rede social do Facebook pela página Notícias Macaé



Figura 9: Foto do Terminal de Ônibus Parque de Tubos na Cidade de Macaé (dia 8 de novembro de 2018)

Neste ano, houve dois grandes eventos de chuva, um deles no dia 28 de fevereiro de 2019, no qual a Cidade de Macaé ficou alagada em menos de 1h, sendo os bairros Centro, Miramar, Parque Aeroporto e Aroeira os mais afetados (NOTÍCIAS MACAÉ, 2019).

No dia 17 de maio de 2019, foi registrado pelo município 107 mm de chuva acumulados nas últimas 24h na área central, e 73 mm na Região Serrana (G1, 2019). O município de Macaé já havia entrado em alerta de alagamentos com os primeiros 60 mm de chuva acumulada (NF NOTÍCIAS, 2019).

Fonte: Foto divulgada na rede social do Facebook pela página Notícias Macaé



Figura 10: Alagamento na Cidade de Macaé proximo ao Parque da Cidade (dia 17 de maio de 2019)

Fonte: Foto divulgada na rede social do Facebook pela página Notícias Macaé



Figura 11: Cidade de Macaé proximo ao Parque da Cidade (dia 17 de maio de 2019).

Pode ser observado que a situação na cidade de Macaé torna-se crítica em períodos de chuva, inviabilizando a passagem de pessoas e automóveis reforçando a necessidade de um estudo imediato para conter e drenar, de modo mais eficiente, a água pluvial.

1.2 Justificativa

Recentemente tem-se vivenciado em Macaé eventos de cheias, chegando ao ponto de limitar a passagem de automóveis e pedestres pelas vias públicas (ODEBATEON, 2017). Pensando no planejamento da macrodrenagem como fator de grande importância de prevenção de inundações, faz-se necessário, através de um estudo hidrológico e hidráulico, responder se com o crescimento urbano acentuado, e o aumento da população, os canais de macrodrenagem estariam capacitados para comportar a diminuição progressiva da infiltração gerada pela recorrente impermeabilização do solo, produto da construção de logradouros, estradas e edificações, identificando assim, as suas possíveis causas de inundações.

1.3 Motivação

A motivação deste trabalho é melhorar a qualidade de vida das pessoas do meio urbano de Macaé, através das ferramentas aprendidas no curso de engenharia civil da UFRJ Campus Macaé (Aloísio Teixeira), considerando que a produção acadêmica da Universidade Pública deve estar comprometida também com seu papel social.

1.4 Objetivo

1.4.2 Objetivo Geral

Elaborar estudos hidrológicos e hidráulicos referentes a região urbana de Macaé, servindo como subsídio para o planejamento da macrodrenagem e a adequação dos canais existentes.

1.4.3 Objetivos Específicos

- De forma **quantitativa**, verificar se alguns canais da cidade, especificamente os canais do Capote, Três Pontes, Virgem

Santa, Evaldo Costa, e Fabio Franco atendem ao escoamento superficial gerado

- De forma **qualitativa**, fazer um relatório de campo dos canais estudados, nos quais há possibilidade de visitação, para identificar outros fatores, neles presentes, que causariam a diminuição da capacidade de comportar as águas pluviais.

- Busca-se analisar se o sistema de drenagem existente   compatível com as atuais condições meteorológicas da cidade.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos. No Capítulo 2 será apresentada uma introdução dos conceitos referentes à drenagem urbana. A metodologia que será utilizada para fundamentar o estudo hidráulico e hidrológico deste trabalho será descrita no Capítulo 3. No Capítulo 4 é apresentada a análise dos resultados do estudo hidráulico e hidrológico do Município de Macaé. O Capítulo 5 conclui os resultados deste trabalho. O Apêndice A apresenta uma leitura expositiva de soluções alternativas à drenagem urbana tradicional.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo será feita uma breve apresentação dos conteúdos necessários para um melhor entendimento tanto dos métodos e técnicas tradicionais utilizados para desenvolver projetos de drenagem urbana, quanto dos resultados a serem apresentados nos capítulos posteriores.

2.1 Passos dos Estudos Hidrológico e Hidráulico

2.1.2 Delineamento da Bacia Hidrográfica

O limite superficial da bacia hidrográfica é chamado de divisor de águas. A delimitação do divisor de águas da bacia é feito através de uma planta topográfica, e ao redor de um curso de água, sendo necessária para o cálculo do escoamento neste curso d'água (GRIBBIN, 2012).

O primeiro passo é definir o ponto mais baixo, ao qual se denomina exutório da bacia, mostrado na Figura 12, ele é ponto de desague do curso de água, e pode estar localizado em qualquer lugar nos limites da bacia. Sendo o ponto de início para delinear a bacia hidrográfica. Em seguida, desenha-se uma linha perpendicular as linhas de contornos que representem as curvas de nível e as cotas topográficas como mostrado na Figura 13. O desenho deve cortar as cristas e elevações (colinas ou montanhas). (GRIBBIN, 2012)

O divisor deve ser feito paralelo às curvas de nível e entre aquelas de mesma cota topográfica. Não se deve desenhar as linhas divisoras da bacia ao longo ou através de um baixada. Uma dica é tentar imaginar uma gota de chuva caindo em uma área, se ela estará indo em direção do exutório, ela está dentro da bacia (GRIBBIN, 2012)

Fonte: GRIBBIN, 3ª Edição, 2012.

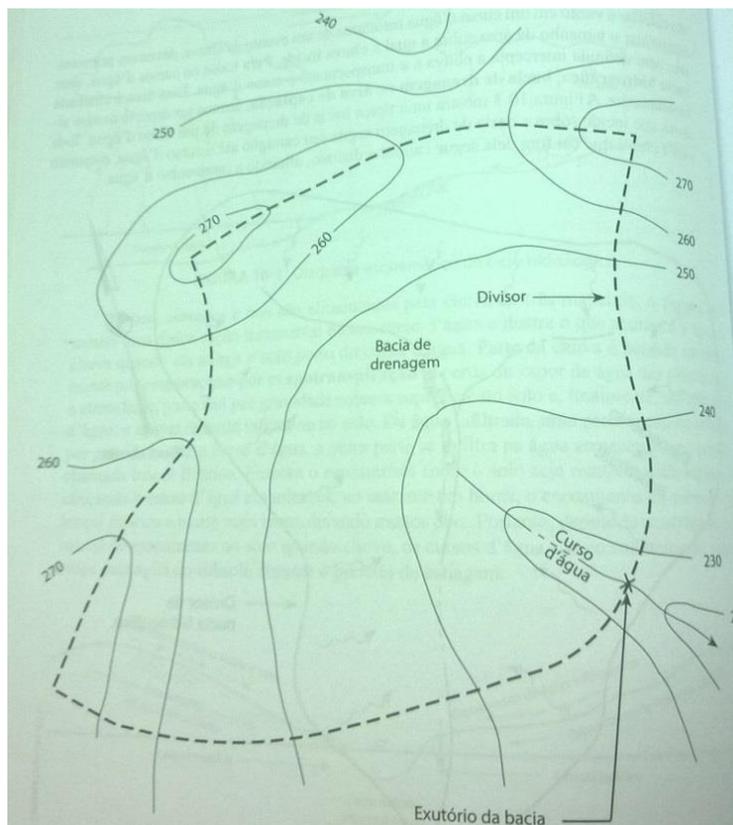


Figura 12: Bacia de Drenagem hipotética

Fonte: GRIBBIN, 3ª Edição, 2012.

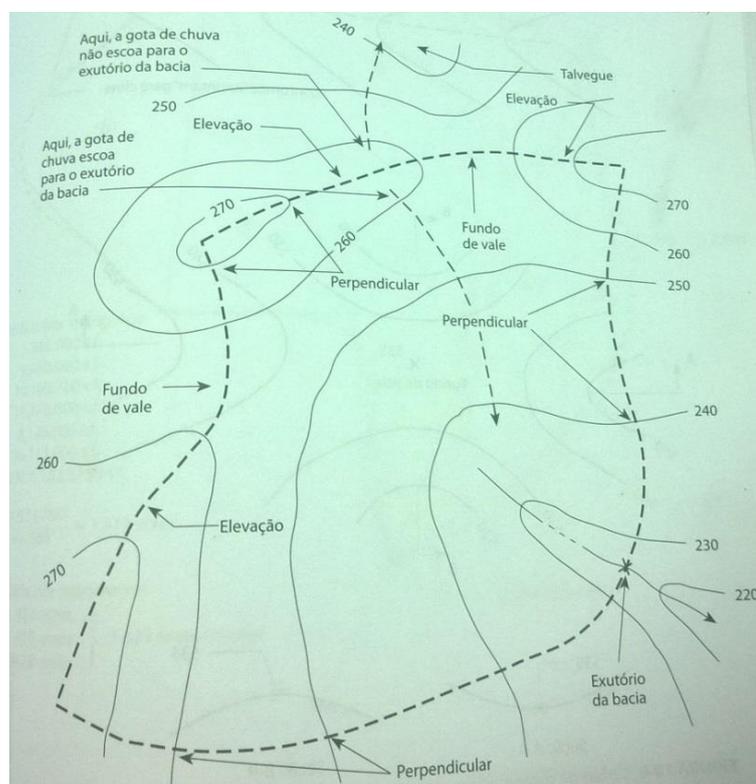


Figura 13: Como realizar o contorno da Bacia de Drenagem hipotética

A explicação acima foi utilizada para orientar a subdivisão do município de Macaé em microbacias.

Para identificar as curvas de nível da cidade de Macaé utilizou-se os dados topográficos por imagem de satélite online (TOPOGRAPHIC) e outro mais ampliado (OpenTopoMap). Este passo é melhor descrito no capítulo 5.

2.1.3 Definição da Área

Depois de delinear a bacia de drenagem, o próximo passo é medir a área da bacia. A unidade a ser utilizada é em metros quadrados no Sistema internacional (SI). Se a área for de até 5% da área real, ela é precisa o bastante para o projeto. Isso porque o delineamento de uma área de drenagem é, desde o início, uma aproximação; a área real nunca é conhecida com precisão absoluta. Quando o tamanho da bacia de drenagem está determinado, o passo seguinte é encontrar a vazão Q para calcular o tempo de concentração (GRIBBIN, 2012).

Para estimar a área de drenagem contribuinte para os canais em estudo utilizou-se o Programa QGIS. Este é um software de código aberto (*Open Source*) do tipo Sistema de Informação Geográfica, ou em inglês, *Geographic Information System* (GIS), que utiliza o Geoprocessamento, ou seja, o processamento informatizado de dados georreferenciados.

Inicialmente utilizamos da função Street Map disponível na lateral esquerda do Programa QGIS, o passo seguinte foi adicionar um raster da cidade de Macaé (TOPODATA) pois ele direciona o Street Map para a área de estudo.

Através de uma extensão disponível na biblioteca do Programa (QGIS) foi possível escalonar a imagem importada para o programa já com o contorno da bacia feito previamente, e através do recurso de medição, conseguimos definir a área e comprimento do canal.

A declividade do terreno foi obtida utilizando-se dados de altitude fornecidos por imagem de satélite online (TOPOGRAPHIC) e (OpenTopoMap).

2.1.4 Tempo de Retorno

Para obras de engenharia, a segurança e a durabilidade frequentemente se associam a tempo ou período de recorrência, também chamado de tempo de retorno, que se refere ao espaçamento temporal entre a ocorrência de um fenômeno de grande magnitude.

Em dispositivos de drenagem, este tempo se refere a enchentes de projeto que orientarão o dimensionamento, para que as obras suportem enchentes de risco. A escolha do tempo de recorrência para uma obra de engenharia, depende da sua importância, sendo o risco de superação do valor adequado à segurança urbana, e na sua ocorrência, a reconstrução da obra. Isso porque, quanto maior o tempo de recorrência utilizado, maior será a obra, sua manutenção ou reconstrução (DNIT, 2005). Para a escolha do dispositivo de drenagem, se deve levar em conta tanto sua vida útil quanto o risco de sua possível falha.

No dimensionamento do bueiro para condições críticas de escoamento é recomendada a vazão calculada com tempo de recorrência de 10 anos, e a verificação recomendada para determinar o nível d'água a montante para a enchente é de 20 a 25 anos. Caso esse nível proporcione a inundação das áreas marginais, deverá ser adotada seção de vazão capaz de evitar este fato. (DNIT, 2005)

2.1.5 Equação das Chuvas Intensas

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 (I_{max}) quando o tempo de duração da chuva é igual ao tempo de concentração t_c (DNIT, 2005)

A fórmula de Intensidade de Chuvas, proposta por Pfafstetter (1957) apud MIGUEZ et al. (2016), está apresentada na equação 1.

$$I = \frac{aT_r^n}{(t+b)^m}, \quad (1)$$

Em que a , b , m , n são parâmetros que dependem do espaço geográfico onde a precipitação está sendo analisada;

t é o tempo de duração da chuva em minutos (min);

T_r é o tempo de Retorno (anos).

Neste trabalho será adotada a equação de precipitação máxima para a cidade de Macaé (PRUSKI, et al., 2006) descrita abaixo:

$$I_{max} = \frac{444,258 * T_r^{0,263}}{(t+6,266)^{0,655}} , \quad (2)$$

enquanto que $t = t_c$.

Em que I_{max} é a precipitação máxima (mm/h).

2.1.6 Vazão

O passo seguinte é transformar a chuva de projeto em vazão de projeto através de um método da Hidrologia.

O Método Racional consiste no cálculo da descarga máxima de uma enchente de projeto de forma simplificada, relacionando a área da bacia e a intensidade da chuva com a descarga. Sendo por sua facilidade de cálculo, esta expressão é a mais utilizada dentre todos os métodos, não só no Brasil, mas em todo o mundo, para avaliação de descargas de projeto para os sistemas de drenagem, principalmente nas bacias de pequeno porte ou em áreas urbanas. (DNIT, 2005)

No Método Racional considera-se que a precipitação sobre a área é constante e uniformemente distribuída sobre toda a superfície da bacia. Para considerar que todos os pontos da bacia contribuem na formação do deflúvio, é estabelecido que a duração da chuva deve ser maior ou igual ao seu tempo de concentração, sendo a descarga máxima resultante de uma chuva com duração igual ao tempo de concentração da bacia. (DNIT, 2005)

O Método Racional é apresentado pelo DNIT (2005) na página 123, e mostrado abaixo:

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

em que:

Q é a vazão (m^3/s);

A é a Área da bacia (m^2);

C é o Coeficiente de escoamento superficial;

i é a precipitação (mm/h).

O Método Racional define apenas a descarga máxima de projeto, e não a forma completa do hidrograma.

Para o dimensionamento de pontes ou bueiros rodoviários, quando não se dispõe de dados fluviométricos do curso d'água envolvido, ou ainda quando se encontram em baixa disponibilidade, indica-se o uso do Método do Hidrograma Unitário para a definição de hidrograma de cheia. (DNIT, 2005)

2.1.7 Coeficiente de Escoamento Superficial

Para o cálculo da vazão pelo Método Racional, utiliza-se o coeficiente de escoamento superficial, também chamado de coeficiente de deflúvio ou coeficiente de Runoff, responsável por separar a contribuição entre o que se torna escoamento superficial, e o que se torna evapotranspiração e infiltração do solo nos cálculos (GRIBBIN, 2012)

Ele é um valor adimensional definido como razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado, e depende das características físicas da bacia, como a permeabilidade do solo, cobertura vegetal, umidade do solo antes da chuva e a declividade, podendo ser obtido por média ponderada dos valores do coeficiente multiplicado pelas áreas de diferentes tipos fisiológicos de solo (DNIT, 2005).

É prudente considerar no caso de projeto de obras de engenharia que o tipo de vegetação e as condições de retenção superficial, dificilmente serão mantidos constantes, ao longo da vida útil da obra (DNIT, 2005). Pensando nisso, as obras de drenagem devem ser modificadas para atender a nova realidade.

Atraves da base de dados de engenharia civil, mais precisamente na livraria da

Sociedade Brasileira de Engenharia Civil (ASCE na sigla em inglês), obtém-se a

Tabela 1(ASCE, 1969) :

Tabela 1: Coeficiente de escoamento superficial

| Superfície | | Intervalo de C | Valor esperado de C |
|--------------------------------------|-----------------------|----------------|---------------------|
| Pavimento | Asfalto | 0,70-0,95 | 0,83 |
| | Concreto | 0,80-0,95 | 0,88 |
| | Calçadas | 0,75-0,85 | 0,80 |
| | Telhado | 0,75-0,95 | 0,85 |
| Cobertura: grama solo arenoso | Plano (2%) | 0,05-0,10 | 0,08 |
| | Médio (2 a 7%) | 0,10-0,15 | 0,13 |
| | Alta (7%) | 0,15-0,20 | 0,18 |
| Cobertura: Gramma, solo pesado | Plano (2%) | 0,13-0,17 | 0,15 |
| | Médio (2 a 7%) | 0,18-0,22 | 0,20 |
| | Declividade alta (7%) | 0,25-0,35 | 0,30 |

Fonte: ASCE, 1969

Para identificar o tipo de coeficiente de escoamento mais adequado para a cidade usaremos a Tabela 2 (WILKEN, 1978):

Tabela 2: Coeficiente de Escoamento Superficial

| 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 |

Fonte: WILKEN, 1978

2.1.8 Tempo de Concentração

O tempo de concentração (Figura 14) é uma medição do tempo necessário para o escoamento ocorrer do ponto mais remoto da bacia hidrográfica ao exutório da bacia. Cada bacia de drenagem tem seu próprio tempo de concentração, dependendo do tamanho, forma, declividade e condições do solo. (GRIBBIN,2012)

Fonte: GRIBBIN, 3ª Edição, 2012

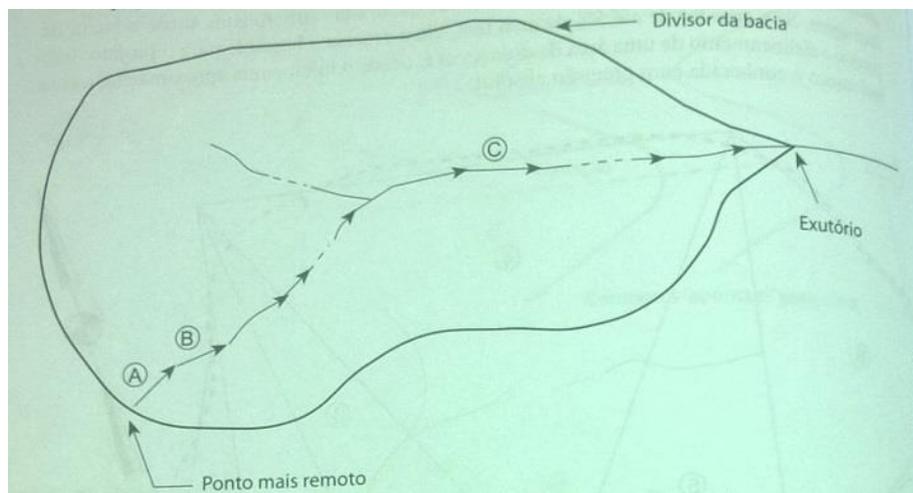


Figura 14: Tempo de Concentração

A determinação numérica do tempo de concentração depende principalmente do comprimento do curso d'água principal e da declividade deste, embora existam formas que utilizem a área da bacia hidrográfica. Existem numerosas formas empíricas utilizadas para calcular o tempo de concentração de uma bacia. (DNIT, 2005)

O cálculo do tempo de concentração pelo método Califórnia Culverts Practice é adotado pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE, 2005)

Devido a simplicidade e a boa aceitação da fórmula Califórnia Culverts Practice (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016), optou-se por sua escolha, a qual está apresentada na equação 4.

$$t_c = 57 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}, \quad (4)$$

em que:

t_c é o tempo de concentração (min);

L é o comprimento do canal (m);

H é o desnível entre o ponto mais elevado da bacia e o exutório (m).

2.1.9 Tempo de Percurso

Para calcular a geometria de um canal que recebe água de dois outros canais, deve-se ter em mente que um novo tempo de concentração precisa ser calculado. Este tempo será o valor máximo da soma entre o tempo de concentração e o tempo de percurso para cada um dos canais que desaguarão juntos.

Para o cálculo do Tempo de percurso (BRITES, FILHO, PORTO, & MARTINS, 2014) será adotada a fórmula abaixo:

$$T_p = \frac{L}{60 * V_p} \quad (5)$$

Em que V_p é a velocidade plena e D é o diâmetro circular do canal (BRITES, FILHO, PORTO, & MARTINS, 2014), supondo que o canal fosse circular apenas para facilitar o cálculo.

$$V_p = \frac{0,397 * D^{2/3} * \sqrt{I}}{n}, \quad (6)$$

e

$$D = 1,55 \left[\frac{n * Q}{\sqrt{I}}\right]^{3/8}, \quad (7)$$

em que supõem-se um diâmetro circular (no caso de semicircular substitui-se 1,55 por 2).

2.1.10 Definição da geometria do canal

De posse da vazão de projeto obtida pelo Método Racional (equação 3), na busca de dimensionar os canais de drenagem utilizando a Fórmula de Manning pelo Sistema Internacional de Unidades (SI), foi necessário arbitrar as dimensões do canal. A geometria escolhida para o canal foi a trapezoidal de modo a ficar semelhante à dos canais encontrados na Cidade de Macaé

A Equação de Manning foi retirada da página 100 (GRIBBIN, 2012) e mostrada abaixo:

$$Q = \frac{A_h}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}, \quad (8)$$

em que:

n é o Coeficiente de Rugosidade;

S é a Declividade;

R_h é o Raio hidráulico (m) mostrado na página 87 (GRIBBIN, 2012) e abaixo:

$$R_h = \frac{A_h}{P_h}; \quad (9)$$

A_h é a Área hidráulica (m²) de um trapézio é mostrada abaixo:

$$A_h = \frac{[b+(b+2hm)]h}{2}, \quad (10)$$

em que a base maior é escrita como $B = b + 2hm$ (11) sendo

b a base menor do trapézio (m), h a altura do trapézio (m), e m um parâmetro adotado;

P_h é o Perímetro hidráulico, expresso na fórmula abaixo:

$$P_h = b + 2\sqrt{h^2 + (mh)^2}, \quad (12)$$

em que $\sqrt{h^2 + (mh)^2}$ é o comprimento lateral do trapézio, sendo também a hipotenusa dos catetos h e mh .

Analisando a Equação de Manning (equação 8), as possibilidades que temos para compatibiliza-la com vazão do canal

(calculada pelo método racional) seriam mexer na geometria do canal (especificamente a largura), e o revestimento. Isso porque a declividade é definida pela topografia da região.

2.1.11 Coeficiente de Rugosidade

O coeficiente de rugosidade depende da natureza do material utilizado no revestimento do canal, como uma tentativa de mensurar sua aspereza, é representado como n na equação de Manning (GRIBBIN, 2012).

Esse coeficiente pode ser retirado através de uma tabela que relaciona diferentes coeficientes com tipos de revestimento. Devido a variabilidade dos revestimentos e a extensão da tabela, optou-se por não colocá-la neste trabalho, tendo os valores retirados da página 390 (GRIBBIN, 2012) e explicados com mais detalhes na análise dos canais que serão estudados neste trabalho.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho se constitui de dois procedimentos específicos do estudo hidrológico e hidráulico aplicadas à cidade de Macaé.

O primeiro procedimento baseou-se no cálculo estimado da chuva contribuinte em cada microbacia urbana, sua transformação em vazão de projeto para diferentes tempos de retorno, e o dimensionamento da geometria dos canais de drenagem.

O segundo procedimento visou verificar se as vazões geradas pelas chuvas de grande magnitude ocorridas nos últimos anos são capazes de serem escoadas pelos canais de drenagem existentes, considerando sua geometria atual verificada através de visitas de campo e de mapas.

O estudo hidrológico e hidráulico foi realizado nas Microbacias dos canais do Capote, Três Pontes, Fabio franco, Evaldo Costa e Virgem Santa, pois estes têm sofrido transbordamento em eventos de chuvas intensas, com consequentes inundações nos bairros que estes canais estão localizados.

A metodologia convencional para drenagem por canais será composta do seguinte roteiro:

- i) Utilização da fórmula de chuvas Intensas para a definição do retorno;
- ii) Comparação dos resultados da fórmula de chuvas intensas com os eventos vivenciados;
- iii) Definição da altitude e, por conseguinte, a declividade do canal
- iv) Definição do uso e cobertura do solo de cada Microbacia para estimativa do coeficiente de *runoff* (escoamento superficial)
- v) Definição do coeficiente de rugosidade
- vi) Delimitação das áreas de drenagem de cada Microbacia
- vii) Definição do Comprimento de cada Microbacia

- viii) Definição da Vazão pelo Método Racional para cada Microbacia
- ix) Definição da geometria do canal utilizando a Equação de Manning
- x) Comparação entre as medidas dos canais e as observadas na visita
- xi) Fatores que influenciam o escoamento dos canais observados durante a visita
- xii) Considerações sobre a fórmula de Chuvas intensas

3.1 ESTUDO DE CAMPO

A cidade de Macaé é considerada uma planície de inundação, localizada entre a Serra do Mar e o Oceano Atlântico, que alaga naturalmente em períodos de chuva, pois a água que desce da serra encontra o mar e se acumula nesta região (FREITAS, 2015).

O conduto final das águas pluviais pode ser um canal natural ou um canal artificial resultado de sua retificação e do revestimento utilizado. Ele pode ser uma galeria de grandes dimensões que nada mais é que um canal fechado usado como base para a construção de ruas ou avenidas. Salienta-se que os canais abertos como elementos de macrodrenagem, são soluções mais baratas que as grandes galerias subterrâneas (SÃO PAULO, 2012).

Para analisar mais de perto os canais existentes na cidade, foi feita uma visita no dia 14 de junho de 2019, inicialmente no Canal do Capote, sendo em grande parte de carro, em seguida ao Canal Três Pontes, terminando em um canal revestido localizado no centro cívico. Em outro momento, a visita prosseguiu pelo Canal Evaldo Costa, seguindo seu desague no Canal Fabio Franco, e a posterior desembocadura deste no Rio Macaé.

Pode-se observar que quase todo o Canal do Capote, apesar de retificado, apresenta-se mais natural, sem revestimento, permitindo a infiltração da água e sua utilização pela vegetação ao redor. É possível

que essa presença de natureza mantenha a água mais limpa, devido a decomposição da matéria orgânica que pode ter sido lançada irregularmente no canal. A água apresenta cor azulada, sem odor e alguns patos podem ser encontrados no local. Apesar de algumas plantas ou algas de caráter aquático ocuparem parte da água, o que pode comprometer sua capacidade hídrica, algumas delas, além da grama localizada ao redor, têm sido retiradas com certa frequência pela prefeitura. Durante o percurso, foi possível localizar adutoras, uma delas mostrada na Figura 15 abaixo.

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



Figura 15: Adutora no Canal do Capote

O Canal do Capote encontra-se com a Ponte que dá acesso ao Bairro Aroeira (Figura 16). Em períodos de cheia, essa ponte costuma ter sua passagem interrompida, pois a água do canal do Capote inunda-a quando seu nível aumenta.

O canal revestido passa pelo obelisco do Município de Macaé integra à paisagem urbana como mostrado na Figura 18.

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



Figura 18: Canal que passa pelo obelisco de Macaé

Após a visita ao Canal do Capote, foi feita uma visita à Rua Evaldo Costa.

Para tomar nota das medidas do Canal Evaldo Costa, mediu-se com auxílio de uma trena a ciclovia construída em cima do canal, e encontrou-se 6,53 metros de largura. Considerou-se aproximadamente 6 metros de base superior para o canal a partir desta medição feita no dia 14 de junho de 2019.

Em seguida visitou-se a transposição entre o canal das Ruas Evaldo Costa e Antônio Benjamin Curvelo (Figura 19), e o encontro do canal da Rua Antônio Benjamin Curvelo e o canal Fabio Franco (Figura 20).

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



Figura 19: Transposição (encontro) em 90 graus entre o canal das ruas Evaldo Costa e Antonio Benjamin Curvelo (Canal Evaldo Costa)

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



Figura 20: Encontro dos Canais Fabio Franco e Evaldo Costa em 90 graus (Rua Benjamin Curvelo e Rua Fabio Franco)

Por ser planície, o escoamento em Macaé é dificultado pela baixa declividade. Assim, as transposições dos canais (curvas) que são feitas por manilhas não são indicadas, pois geram acúmulo de água em suas quinas de 90 graus.

Durante a visita da transposição do Canal Fabio Franco com o Canal Evaldo Costa através da Rua Antônio Benjamin Curvello, uma pessoa que passava relatou que há muita quantidade de ratos no canal indicando a necessidade de ficar longe da água.

O rato pode transmitir uma doença pela urina que tem percolação hídrica, chamada de leptospirose, podendo ser contaminar à população através de inundações (TUCCI, 2002).

No canal Fabio Franco observou-se a presença de material sólido, lixo, terra, lama (terra com a água), e mato. Parte desta constatação é mostrada nas Figuras 21 e 22.

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



Figura 21: Canal Fabio Franco com Lixo

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



Figura 22: Ligação dos Canais Fabio Franco e Evaldo Costa

O revestimento soltando mostrado na Figura 23 permite que o esgoto escape pelas brechas e infiltre no lençol freático, podendo contaminá-lo, e, a presença de ratos pode indicar uma contaminação da água por leptospirose. Outras doenças podem estar no lixo e esgoto presente no canal, e em épocas de chuvas, com extravasamento do canal, esta água poderia adoecer as pessoas que tenham contato com ela. Este canal é visualmente feito com revestimento de concreto.

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



Figura 23: Estado do revestimento do Canal Fabio Franco

Foi feita medição do canal Fabio Franco utilizando-se de uma trena. A medição foi feita em cima de uma ponte. Obteve-se 5,40 metros entre as bordas livres do canal, na base do trapézio superior encontrou-se 4,90 metros. E obteve-se 2,80 metros entre as bordas inferiores (nível da água), estas medidas foram tiradas no dia 14 de junho de 2019.

A presença do esgoto doméstico nos canais de drenagem pode ser devido à expansão dos bairros Aroeira, Virgem Santa e Botafogo ter ocorrido de forma irregular, já que apenas o bairro Aroeira possui parte de seu esgoto coletado pela rede geral. Nos outros bairros, um total de 1775 domicílios despejam o esgoto diretamente em cursos de água, como o

Rio Macaé e canais adjacentes de acordo com a Prefeitura Municipal de Macaé (MACAÉ, 2014).

O canal de drenagem tem a função de escoar a água da chuva, devendo a água ter cor clara e não apresentar odor, para que numa possível cheia e extravasamento do canal não gere problemas de saúde à população. Ele não tem o objetivo de receber esgoto nem lixo, isso se justifica pela ausência de tratamento da água transportada e que é lançada diretamente em um rio ou mar.

Considera-se esse esgoto uma poluição para o Rio quando ele ultrapassa a capacidade do Rio de voltar ao seu estado natural. A matéria orgânica depende de oxigênio para ser quebrada, quando a demanda bioquímica de oxigênio para quebrá-la é maior do que a disponível no sistema onde o esgoto é inserido, ocorre um desequilíbrio que mata os seres vivos aeróbicos.

Na Figura 24 é mostrado que Canal Fabio Franco recebe esgoto doméstico. Gera mal odor, indicativo de decomposição de matéria orgânica, escurecimento e maior volume de água, tornando-se perigosa ao contato humano quando ocorre extravasamento do canal. A presença do esgoto também indica que pode existir lodo no fundo do canal.

Para solucionar a situação de presença de esgoto doméstico na rede de drenagem pode-se pensar em modelos de tratamento de esgoto descentralizado, como fossa séptica ligada a um filtro e um sumidouro, um sistema de Wetland Construído, ou para alguns tipos de águas domésticas, o ciclo de bananeira. Outra medida a ser tomada, é pressionar a concessionária sanitária local para que alcance as regiões que ainda não apresentam o recolhimento desse material, e principalmente, conscientizar a população sobre os riscos de o esgoto ser despejado sem tratamento no Rio Macaé, e muitas vezes, transportado a céu aberto na cidade devido a esse despejo inadequado.

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



Figura 24: Tubulação com ligação clandestina de Esgoto no canal Fabio Franco

A visita seguiu para a desembocadura do Canal Fabio Franco. Onde existe a presença de um sistema de bombeamento, que direciona de forma mais rápida, a água para a desembocadura do Rio Macaé.

Durante este primeiro momento, na ponte mostrada na Figura 23, mediu-se via trena as dimensões do canal, obteve-se entre as duas bordas livres 5,30 m (bordas do canal), entre os limites do trapézio superior 4,90 m, e na distância do nível de água do canal 2,80m (dia 14 de junho de 2019). Comparando com a medida feita anteriormente em outro ponto do canal, há evidências de que o canal Fabio Franco apresenta medidas padrão em sua extensão.

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



Figura 25: Canal Fabio Franco em formato trapezoidal com o revestimento soltando em sua extensão.

Perto da desembocadura do canal Fabio Franco no Rio Macaé é encontrado um gradeamento (6). Ele é utilizado para impedir que resíduos sólidos tenham acesso às bombas e as danifiquem. Contudo, na grade acumula-se sujeira, devido a presença de lixo, gerando obstrução à passagem da água.

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



Figura 26: Grade para reter o lixo da desembocadura do canal Fabio Franco

Após o gradeamento, encontra-se a estação de bombeamento com no mínimo 4 saídas, mostrada na Figura 27. Elas bombeiam a água para o Rio Macaé por cima, fazendo um escoamento mais rápido, e prevenindo que a água não escoe por baixo (na canalização tradicional) quando o nível de água do Rio Macaé estiver mais alto

Não foi possível observar a estação de bombeamento em funcionamento. Caso ela esteja preparada para transportar grande quantidade d'água, uma possibilidade da estação de bombeamento não funcionar, seria pela passagem da água ter sido retida (obstruída) em outros bairros e não chegar nesta localidade.

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



Figura 27: Estação de Bombeamento (Construção Azul)

O Rio Macaé pode ter seu nível de água elevado por efeito de Maré. No caso deste evento coincidir com um episódio de chuva intensa na cidade, esta água pluvial após ser canalizada, terá dificuldade de desembocar no Rio.

Isso ocorre porque quando o nível do Rio sobe, o canal não consegue escoar por baixo, a tendência é que com o nível mais elevado, a água entre na tubulação em sentido contrário. A bomba faria o papel de jogar a água por cima do nível do Rio, através de um tubo elevado.

Na Figura 28 é mostrado como é feito o escoamento tradicional do canal na parte inferior. Quando o canal enche de água, para não chegar à via, a água escoar para o Rio Macaé pelo tubo superior.

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



Figura 28: Exutorio do canal Fabio Franco

O escoamento pelas tubulações é feito por baixo da Rua Télió Barreto. Ao final, a água do canal desemboca no Rio Macaé, havendo na Rua Télió Barreto número 776 (casa de porta amarela) uma torre de comando que a monitora, que não estava aberta para visitação (Figura 29).

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



Figura 29: Rua Télió Barreto, vista da casa de controle hidráulico da desembocadura número 776

Para acessar o rio Macaé e a desembocadura do sistema de drenagem, foi solicitada a permissão a uma moradora que vivia ao lado da casa de controle hidráulico da desembocadura. O acesso foi feito através de sua casa, na qual o fundo permite a visualização da extremidade final da tubulação do Canal Fabio Franco no encontro com o Rio Macaé

A mãe da moradora contou que mora há mais de 60 anos na mesma casa. Desde a época em que a cidade de Macaé ainda não era pavimentada. Ela também relata que o crescimento foi desordenado, ou seja, sem planejamento da cidade. Ela prossegue contando que o mangue ao fundo de sua casa não existia, apareceu com o tempo, explicando também, que do outro lado do mangue existe mais água, sendo a continuação do Rio. Ela contou ainda que “antes de derramarem esgoto e óleo no Rio” a água era clara e a vista dos fundos da casa muito bonita, a família tomava banho no Rio com frequência, e pescavam camarão e peixes de diferentes tamanhos.

Esse relato evidencia que antes da urbanização, a água era mais limpa com a presença de maior biota, e supõem-se que com mais

possibilidade de infiltração pela menor impermeabilização da cidade, menos água era transferida ao Rio, invadindo menos a casa da moradora.

A recuperação de um Rio é possível, isso se justifica pela transformação do Rio Tâmisa em Londres, na Inglaterra, onde retiraram grande parte da poluição e reintrodução de seres vivos. A coloração e odor da água melhoraram se aproximando muito do natural. Porém para ser viável, é necessário um esforço conjunto entre governo e população para tentar restaurar o Rio ao mais próximo do que era antes da Urbanização.

A moradora acredita que há apenas uma bomba funcionando. Ela também relata que quando sobe o nível da água no rio, inunda a casa das pessoas que moram ao redor dele, e o alagamento pode chegar até a Rua Télió Barreto.

Uma possível explicação a este relato, seria que a combinação dos efeitos de maré em concomitância com épocas de chuvas mais intensas pode estar gerando tais inundações. Este efeito de maré ocorre naturalmente devido à atração gravitacional junto com a rotação terrestre, é um fenômeno de origem astronômica, e faz com que o nível de água do mar varie periodicamente durante o dia tendo impacto no nível de água do Rio. Em complemento, com o lançamento das águas pluviais captadas por toda a cidade, que cada vez menos consegue infiltrar ao solo devido a impermeabilização constante do meio urbano, a tendência é que o Rio não comporte tal quantidade d'água e se espalhe lateralmente inundando tudo ao redor. Isso fica mais crítico em períodos de chuva intensa, quando a quantidade de água transferida ao Rio é muito maior.

A água que inunda a Rua Télió Barreto pode ter origem tanto no aumento do nível d'água do Rio Macaé quanto do transbordamento do Canal da Rua Fabio Franco, que não estaria conseguindo escoar para o Rio. Na possibilidade de as bombas não estarem funcionando, poderia haver um represamento de água na Rua Fabio Franco, tanto pelo aumento do nível do Rio Macaé, que poderia impedir o escoamento pleno, quanto pela velocidade de escoamento do canal não ser suficiente para desembocar toda a água em eventos de chuva intensa, gerando transbordamento do canal.

Para prevenir o aumento no nível de água de rios ou lagoas dentro das cidades, principalmente com populações ribeirinhas, uma solução a ser pensada seria uma forma de extravasar a água excedente para o mar ou praia próxima, como um emissário submarino ou um vertedouro. No município de Rio das Ostras, a lagoa de Imboassica tem um vertedouro onde seu excedente de água escoava na Praia das Pedrinhas (RIO DAS OSTRAS, 2012).

A Figura 30 é dos fundos da casa onde a moradora nos permitiu entrar, ela indicou que o tubo mais elevado é onde sai a água vinha da bomba. A moradora indica que os tubos estão “corroídos”.

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



. Figura 30: Canais de desembocadura do Canal Fabio Franco

Um problema que gera dificuldade no escoamento, é a forma como o canal é construído. O encontro dos canais Fabio Franco e Evaldo Costa ocorre em curvas de 90° (Figura 30), que não são indicadas para um percurso de curso d'água pois alteram o escoamento uniforme (GRIBBIN, 2012).

Fonte: Foto tirada pelo autor dia 14 de junho de 2019



Figura 31: Transposição do Canal Fabio Franco

O único canal não visitado neste trabalho foi o Canal da Virgem Santa, isto porque ele é localizado em áreas consideradas perigosas para a visita. Entretanto, através de fotos do Canal, como a mostrada na Figura 32, supõem-se que um problema que pode estar causando dificuldade no escoamento das águas pluviais, é o entupimento do canal Virgem Santa, o que faz a necessidade de desentupir o mesmo ou criar uma saída auxiliar para o escoamento da água. Caso contrário, seu desague ficaria interrompido, podendo fazer com que em períodos de cheia, a água siga o caminho contrário de sua desembocadura, no Rio Macaé seguindo para a Praia de Macaé, afetando as áreas ao redor do canal.

Levando em conta que este canal recebe a contribuição de diversos outros, suas medidas devem ser maiores, e a correta dimensão da desembocadura deste canal se torna fundamental para o escoamento adequado da água.

Fonte: Foto cedida por Maxwell Vaz



Figura 32: Canal Virgem Santa com possível entupimento

4. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados e discussões dos estudos hidrológicos e hidráulicos associados à drenagem da região central urbana de Macaé são apresentados neste capítulo.

4.1 Aplicação da fórmula de Chuva Intensa utilizada para região central urbana de Macaé

Conforme mencionado na seção 2.1.5, as chuvas intensas em um determinado local são estimadas através de uma equação, que leva em consideração sua intensidade, frequência ou tempo de retorno, e tempo de duração. O método, desenvolvido inicialmente pelo prof. Pfaffsteter, recebeu contribuições de outros pesquisadores para determinação dos coeficientes de cidades brasileiras. A equação adotada para o município de Macaé é dada por Pruski et al. (2006).

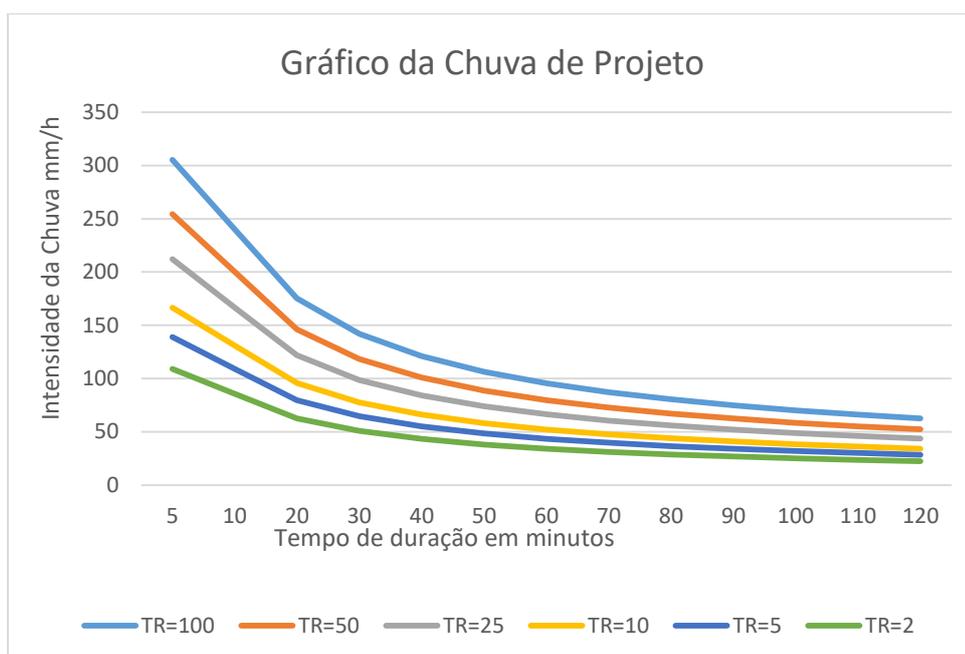
Foi feito o cálculo utilizando a fórmula de Chuvas Intensas dada pela equação 2 (PRUSKI, et al., 2006) na Tabela 3. Observe que a coluna da Tabela 3 representa o Tempo de retorno em anos e cada linha representam o tempo de duração da chuva em minutos

Tabela 3: Intensidade das chuvas intensas em Macaé (mm/h)

| Tempo de duração | TR=100 | TR=50 | TR=25 | TR=10 | TR=5 | TR=2 |
|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 5 | 305,314 | 254,434 | 212,034 | 166,627 | 138,859 | 109,123 |
| 10 | 240,031 | 200,03 | 166,696 | 130,998 | 109,168 | 85,79 |
| 20 | 175,369 | 146,144 | 121,79 | 95,709 | 79,759 | 62,679 |
| 30 | 141,966 | 118,307 | 98,592 | 77,479 | 64,567 | 50,74 |
| 40 | 121,034 | 100,864 | 84,055 | 66,055 | 55,047 | 43,259 |
| 50 | 106,474 | 88,73 | 73,944 | 58,109 | 48,425 | 38,055 |
| 60 | 95,655 | 79,715 | 66,43 | 52,204 | 43,505 | 34,188 |
| 70 | 87,242 | 72,704 | 60,588 | 47,613 | 39,678 | 31,181 |
| 80 | 80,478 | 67,067 | 55,89 | 43,921 | 36,602 | 28,764 |
| 90 | 74,9 | 62,418 | 52,016 | 40,877 | 34,065 | 26,77 |
| 100 | 70,205 | 58,505 | 48,755 | 38,314 | 31,929 | 25,092 |
| 110 | 66,188 | 55,158 | 45,966 | 36,123 | 30,103 | 23,656 |
| 120 | 62,706 | 52,256 | 43,548 | 34,222 | 28,519 | 22,412 |

O gráfico de Intensidade, duração e frequência (IDF) das chuvas intensas em Macaé foi elaborado a partir dos valores obtidos na Tabela 3, e está representado na Figura 31.

Figura 33: Intensidade de chuvas intensas em Macaé (mm/h)



4.2 Comparação da aplicação da fórmula de chuva intensa pela norma com a realidade vivenciada

Nesta seção será feita uma comparação da fórmula de chuvas intensas para a cidade de Macaé (PRUSKI, et al., 2006) e os eventos de chuva críticos recentes e que geraram grandes inundações pela cidade, na busca de entender se o tempo de retorno usualmente adotado em macrodrenagem, de pelo menos 25 anos (DNIT, 2005), atende a necessidade.

Nos últimos meses têm sido observadas chuvas com grande índice pluviométrico em relação a intensidade horária (mm/h) e o acumulado de chuva por dia.

O último evento de cheia na Cidade de Macaé ocorreu no dia 17 de maio de 2019, teve índice pluviométrico apresentado na Figura 34 (INMET).

Fonte: INMET

| Data | Hora | Temperatura (°C) | | | Umidade (%) | | | Pto. Orvalho (°C) | | | Pressão (hPa) | | | Vento (m/s) | | | Radiação | Chuva |
|------------|------|------------------|------|------|-------------|------|------|-------------------|------|------|---------------|--------|--------|-------------|----------|------|----------|-------|
| | | Inst. | Máx. | Mín. | Inst. | Máx. | Mín. | Inst. | Máx. | Mín. | Inst. | Máx. | Mín. | Vel. | Dir. (°) | Raj. | (kJ/m²) | (mm) |
| 17/05/2019 | 12 | 20.4 | 20.6 | 20.3 | 96 | 96 | 96 | 19.7 | 19.9 | 19.6 | 1017.7 | 1017.8 | 1016.5 | 1.6 | 284 | 6.3 | 102.6 | 28.2 |
| 17/05/2019 | 13 | 20.9 | 20.9 | 20.3 | 96 | 96 | 96 | 20.3 | 20.3 | 19.7 | 1017.7 | 1017.7 | 1017.1 | 0.6 | 199 | 3.7 | 267.8 | 24.2 |
| 17/05/2019 | 14 | 20.7 | 20.9 | 20.5 | 96 | 96 | 96 | 20.1 | 20.3 | 19.8 | 1017.2 | 1017.7 | 1017.2 | 1.1 | 43 | 4.3 | 255.2 | 19.6 |
| 17/05/2019 | 15 | 20.5 | 20.7 | 19.6 | 96 | 96 | 96 | 19.8 | 20.1 | 19.0 | 1016.6 | 1017.4 | 1016.5 | 0.6 | 227 | 12.4 | 442.0 | 9.0 |
| 17/05/2019 | 16 | 20.8 | 21.6 | 20.3 | 95 | 96 | 95 | 20.1 | 20.9 | 19.6 | 1015.8 | 1016.6 | 1015.8 | 2.6 | 57 | 5.4 | 567.1 | 2.6 |
| 17/05/2019 | 17 | 20.5 | 20.8 | 20.2 | 95 | 95 | 95 | 19.8 | 20.0 | 19.3 | 1015.5 | 1015.9 | 1015.5 | 2.0 | 40 | 5.2 | 443.6 | 5.0 |
| 17/05/2019 | 18 | 20.6 | 20.8 | 20.4 | 95 | 96 | 95 | 19.9 | 20.1 | 19.7 | 1015.3 | 1015.5 | 1015.2 | 1.7 | 13 | 8.4 | 171.1 | 11.0 |
| 17/05/2019 | 19 | 20.6 | 20.7 | 20.4 | 95 | 96 | 95 | 19.9 | 20.1 | 19.6 | 1015.4 | 1015.4 | 1015.3 | 1.2 | 34 | 3.3 | 159.5 | 1.8 |
| 17/05/2019 | 20 | 20.1 | 20.6 | 20.1 | 95 | 95 | 95 | 19.4 | 19.9 | 19.3 | 1015.7 | 1015.7 | 1015.3 | 1.3 | 349 | 4.4 | 31.07 | 2.0 |
| 17/05/2019 | 21 | 19.9 | 20.1 | 19.9 | 96 | 96 | 95 | 19.2 | 19.4 | 19.2 | 1015.7 | 1015.7 | 1015.5 | 2.0 | 305 | 4.6 | -0.32 | 4.4 |
| 17/05/2019 | 22 | 19.9 | 20.0 | 19.9 | 96 | 96 | 96 | 19.2 | 19.3 | 19.2 | 1016.1 | 1016.1 | 1015.6 | 1.3 | 349 | 4.7 | -0.88 | 1.6 |
| 17/05/2019 | 23 | 19.9 | 20.0 | 19.9 | 96 | 96 | 96 | 19.2 | 19.3 | 19.2 | 1016.5 | 1016.5 | 1016.1 | 2.0 | 317 | 4.1 | -0.34 | 1.8 |
| 18/05/2019 | 00 | 19.9 | 19.9 | 19.8 | 96 | 96 | 96 | 19.2 | 19.2 | 19.1 | 1016.2 | 1016.5 | 1016.2 | 1.1 | 263 | 3.8 | -0.44 | 1.0 |

Figura 34: Índice pluviométrico a cada hora no dia 17 de maio de 2019, grifo do autor

Observando que no dia 17 de maio de 2019, as 12h, o valor precipitado acumulado foi de 28,2 mm. Convertendo esse valor para mm/h, poderia-se de dizer que as 12h, houve uma intensidade pluviométrica de 28,2mm/h.

Analisando a Tabela 3, na linha correspondente a 60 minutos (para gerar o mesmo acumulado de 28,2mm), a precipitação igual ou superior a 28,2 mm/h que equivale a um Tempo de retorno de pelo menos 2 anos.

Na verdade a chuva não teve duração de apenas 1h, fazendo uma média da pluviosidade, poderia-se pegar o tempo total de duração da chuva e dividir pelo acumulado total. Entretanto, nesta seção o objetivo é só indicar se o tempo de retorno de 25 anos é compatível com a realidade vivenciada. Sendo assim, observado nessa primeira hora, em que a chuva foi mais intensa, já pode-se chegar ao valor de intensidade máxima precipitada no dia.

Outro evento de cheia na cidade de Macaé ocorreu no dia 28 de fevereiro de 2019 e sua precipitação é mostrada na Figura 35 (INMET)

Fonte: INMET

| Data | Hora | Temperatura (°C) | | | Umidade (%) | | | Pto. Orvalho (°C) | | | Pressão (hPa) | | | Vento (m/s) | | | Radiação (kJ/m²) | Chuva (mm) |
|------------|------|------------------|------|------|-------------|------|------|-------------------|------|------|---------------|--------|--------|-------------|----------|------|------------------|------------|
| | | Inst. | Máx. | Mín. | Inst. | Máx. | Mín. | Inst. | Máx. | Mín. | Inst. | Máx. | Mín. | Vel. | Dir. (°) | Raj. | | |
| 28/02/2019 | 11 | 29.2 | 29.4 | 26.4 | 71 | 90 | 68 | 23.5 | 25.1 | 22.9 | 1009.7 | 1009.7 | 1009.5 | 0.7 | 67 | 1.9 | 1522. | 0.0 |
| 28/02/2019 | 12 | 29.0 | 29.5 | 28.5 | 69 | 76 | 69 | 22.7 | 24.3 | 22.7 | 1009.8 | 1009.9 | 1009.7 | 1.0 | 141 | 2.3 | 1581. | 0.2 |
| 28/02/2019 | 13 | 30.5 | 30.9 | 28.8 | 68 | 73 | 67 | 23.9 | 24.9 | 22.7 | 1009.2 | 1009.8 | 1009.2 | 1.5 | 47 | 3.5 | 2907. | 0.0 |
| 28/02/2019 | 14 | 32.5 | 32.7 | 30.2 | 62 | 70 | 62 | 24.3 | 25.1 | 23.5 | 1008.6 | 1009.2 | 1008.6 | 1.5 | 85 | 3.6 | 3317. | 0.0 |
| 28/02/2019 | 15 | 33.0 | 33.3 | 31.9 | 66 | 68 | 61 | 25.9 | 25.9 | 24.0 | 1008.1 | 1008.6 | 1008.1 | 2.3 | 130 | 4.7 | 3595. | 0.0 |
| 28/02/2019 | 16 | 33.0 | 33.4 | 32.1 | 57 | 67 | 57 | 23.4 | 25.7 | 23.4 | 1007.6 | 1008.1 | 1007.6 | 2.8 | 66 | 5.0 | 3520. | 0.0 |
| 28/02/2019 | 17 | 33.3 | 33.5 | 31.7 | 64 | 67 | 57 | 25.4 | 25.9 | 23.4 | 1007.5 | 1007.6 | 1007.3 | 1.7 | 130 | 6.6 | 3180. | 0.0 |
| 28/02/2019 | 18 | 32.3 | 33.4 | 31.8 | 69 | 72 | 64 | 25.9 | 26.5 | 25.1 | 1007.1 | 1007.6 | 1007.0 | 1.6 | 150 | 5.5 | 2836. | 0.0 |
| 28/02/2019 | 19 | 30.9 | 32.4 | 30.9 | 75 | 75 | 69 | 25.9 | 26.4 | 25.5 | 1007.0 | 1007.4 | 1007.0 | 2.3 | 164 | 5.7 | 1971. | 0.0 |
| 28/02/2019 | 20 | 28.0 | 30.9 | 28.0 | 87 | 87 | 74 | 25.7 | 26.0 | 25.2 | 1008.1 | 1008.1 | 1006.7 | 2.4 | 172 | 6.9 | 280.0 | 0.0 |
| 28/02/2019 | 21 | 22.3 | 28.0 | 22.3 | 95 | 95 | 80 | 21.6 | 25.7 | 21.5 | 1010.4 | 1011.4 | 1008.1 | | 26 | 9.6 | 4.696 | 58.6 |
| 28/02/2019 | 22 | 22.7 | 22.7 | 22.3 | 96 | 96 | 95 | 22.0 | 22.0 | 21.5 | 1010.6 | 1010.6 | 1010.0 | 1.8 | 354 | 3.8 | -0.01 | 4.6 |
| 28/02/2019 | 23 | 22.7 | 22.7 | 22.5 | 96 | 96 | 96 | 21.9 | 22.0 | 21.8 | 1010.8 | 1010.8 | 1010.5 | 0.8 | 75 | 3.9 | -0.32 | 0.2 |

Figura 35: Índice pluviométrico a cada hora do dia 28 de fevereiro de 2019, grifo do autor

Observa-se que ocorreu uma precipitação acumulada no dia 28 de fevereiro de 2019 as 21h de 58,6mm. Se compararmos com a Tabela 3 na linha de 60 minutos, o valor em que a intensidade de precipitação é igual ou superior a 58,6 mm/h se refere a um tempo de retorno de pelo menos 25 anos.

Mais um evento de cheia foi vivenciado no dia 8 de novembro de 2018 e sua precipitação é mostrada na Figura 36 (INMET).

Fonte: INMET

| Data | Hora | Temperatura (°C) | | | Umidade (%) | | | Pto. Orvalho (°C) | | | Pressão (hPa) | | | Vento (m/s) | | | Radiação (kJ/m²) | Chuva (mm) |
|------------|------|------------------|------|------|-------------|------|------|-------------------|------|------|---------------|--------|--------|-------------|----------|------|------------------|------------|
| | | Inst. | Máx. | Mín. | Inst. | Máx. | Mín. | Inst. | Máx. | Mín. | Inst. | Máx. | Mín. | Vel. | Dir. (°) | Raj. | | |
| 07/11/2018 | 20 | 23.5 | 24.5 | 23.5 | 91 | 91 | 85 | 21.9 | 22.1 | 21.7 | 1011.9 | 1011.9 | 1011.4 | 3.3 | 134 | 9.0 | 214.9 | 0.0 |
| 07/11/2018 | 21 | 23.5 | 23.6 | 23.5 | 92 | 92 | 90 | 22.1 | 22.1 | 21.8 | 1012.8 | 1012.8 | 1011.9 | 3.9 | 114 | 8.7 | 25.12 | 0.0 |
| 07/11/2018 | 22 | 23.0 | 23.5 | 23.0 | 94 | 94 | 92 | 22.1 | 22.1 | 22.0 | 1013.7 | 1013.7 | 1012.8 | 2.9 | 117 | 8.5 | -2.03 | 1.2 |
| 07/11/2018 | 23 | 22.9 | 23.0 | 22.9 | 95 | 95 | 94 | 22.1 | 22.2 | 22.0 | 1014.5 | 1014.5 | 1013.7 | 2.1 | 133 | 6.7 | -1.49 | 2.4 |
| 08/11/2018 | 00 | 22.8 | 22.9 | 22.8 | 95 | 95 | 95 | 22.0 | 22.1 | 22.0 | 1014.5 | 1014.7 | 1014.4 | 2.6 | 119 | 6.8 | -0.85 | 0.4 |
| 08/11/2018 | 01 | 23.0 | 23.0 | 22.8 | 95 | 95 | 95 | 22.2 | 22.2 | 22.0 | 1014.5 | 1014.7 | 1014.5 | 2.7 | 99 | 6.8 | -1.25 | 0.0 |
| 08/11/2018 | 02 | 23.0 | 23.0 | 23.0 | 94 | 95 | 94 | 22.1 | 22.2 | 22.1 | 1013.9 | 1014.5 | 1013.9 | 4.2 | 94 | 9.0 | -1.17 | 0.2 |
| 08/11/2018 | 03 | 22.4 | 23.0 | 22.4 | 94 | 95 | 94 | 21.4 | 22.1 | 21.4 | 1013.3 | 1013.9 | 1013.3 | 5.4 | 84 | 9.9 | -0.20 | 1.8 |
| 08/11/2018 | 04 | 21.9 | 22.5 | 21.9 | 94 | 95 | 94 | 21.0 | 21.5 | 21.0 | 1013.0 | 1013.3 | 1012.9 | 4.7 | 102 | 9.9 | -0.86 | 0.0 |
| 08/11/2018 | 05 | 21.5 | 21.9 | 21.1 | 96 | 96 | 94 | 20.8 | 21.0 | 20.2 | 1012.9 | 1013.1 | 1012.8 | 3.2 | 98 | 9.9 | -0.95 | 12.0 |
| 08/11/2018 | 06 | 21.0 | 21.5 | 20.4 | 96 | 96 | 96 | 20.4 | 20.8 | 19.8 | 1012.7 | 1013.3 | 1012.6 | 4.8 | 143 | 15.4 | -0.06 | 29.4 |
| 08/11/2018 | 07 | 20.8 | 21.2 | 20.7 | 96 | 96 | 96 | 20.2 | 20.6 | 20.1 | 1013.6 | 1013.6 | 1012.6 | 3.8 | 137 | 13.5 | -0.25 | 29.2 |
| 08/11/2018 | 08 | 20.7 | 20.9 | 20.6 | 97 | 97 | 96 | 20.1 | 20.3 | 20.1 | 1014.9 | 1014.9 | 1013.5 | 3.4 | 115 | 10.4 | -0.84 | 27.4 |
| 08/11/2018 | 09 | 20.2 | 20.8 | 20.2 | 97 | 97 | 96 | 19.6 | 20.2 | 19.6 | 1016.2 | 1016.2 | 1014.9 | 1.0 | 49 | 9.0 | 23.85 | 19.8 |
| 08/11/2018 | 10 | 20.4 | 20.5 | 20.2 | 97 | 97 | 97 | 19.9 | 19.9 | 19.6 | 1016.8 | 1016.8 | 1016.2 | 1.4 | 323 | 2.3 | 115.1 | 3.8 |
| 08/11/2018 | 11 | 20.8 | 21.2 | 20.4 | 97 | 97 | 96 | 20.2 | 20.6 | 19.9 | 1017.5 | 1017.5 | 1016.8 | 0.7 | 267 | 2.9 | 353.4 | 0.6 |
| 08/11/2018 | 12 | 20.7 | 21.0 | 20.3 | 96 | 97 | 96 | 20.1 | 20.4 | 19.8 | 1017.7 | 1017.9 | 1017.5 | 1.7 | 305 | 3.4 | 634.1 | 0.6 |
| 08/11/2018 | 13 | 21.6 | 21.6 | 20.7 | 93 | 96 | 91 | 20.4 | 20.6 | 19.9 | 1017.5 | 1017.8 | 1017.5 | 1.0 | 315 | 2.8 | 1001. | 0.2 |

Figura 36: Índice pluviométrico a cada hora do dia 8 de novembro de 2018, grifo do autor

Observa-se que no dia 18 de novembro de 2018, as 6 e 7 horas, tem-se o acumulado de 29,4 e 29,2 mm , respectivamente. Analisando a Tabela 3 referente a duração da chuva de 60 minutos, a intensidade de chuva que tem mesmo valor ou superior a pelo menos 29,4mm/h apresenta tempo de retorno de 2 anos.

Observa-se que entre novembro de 2018 e maio de 2019, em seis meses, o Município de Macaé vivenciou eventos de chuva que teriam previsão estatística de ocorrer em intervalos de pelo menos 2 anos.

Ainda em fevereiro de 2019, o Município enfrentou um evento de chuva tão forte que sua recorrência é prevista para ser vivenciada em intervalos de pelo menos 25 anos.

Devido a grandes intensidades de chuva terem sido observadas em intervalos de um ano ou até menos, o que não representaria o valor estatístico do tempo de retorno, existe a possibilidade de que a fórmula de intensidade de chuvas descrita por Pruski et al. em 2006 poderia estar desatualizada. Partindo dessa possibilidade, dimensionar os canais para atender a vazão de projeto de uma chuva de 25 anos pode não ser o mais adequado.

Fazendo uma análise simplista, se em um intervalo de 6 meses pôde-se vivenciar um evento de 2 anos de recorrência, supõem-se que para atingir um tempo de retorno de 25 anos, a intensidade da chuva considerada seria aquela calculada para um tempo de retorno de 100 anos.

Uma análise mais profunda demandaria rever como Pruski et al. em 2006 desenvolveu os coeficientes para o Município de Macaé, a partir da fórmula mostrada na equação 1 e desenvolvida por Pfafstetter, e considerar as mudanças climáticas da região com o tempo. Além disso, demandaria analisar os dois anos anteriores ao primeiro evento de tempo de retorno de 2 anos, e os dois anos seguintes do segundo evento de tempo de retorno de 2 anos, para verificar se eles ocorreriam novamente.

Neste trabalho no entanto, busca-se apenas entender se caso os canais fossem dimensionados seguindo a chuva de projeto correspondente a 25 anos estariam adequados ou defasados para as necessidades do Município de Macaé. Tentou-se que pensar que as

condições meteorológicas estão em constante mudança.

A Tabela 4 resume os resultados desta seção.

Tabela 4: Tempo de retorno mínimo

| Data | Tempo de Retorno |
|------------|--------------------|
| 17/05/2019 | Pelo menos 2 anos |
| 28/02/2019 | Pelo menos 25 anos |
| 08/11/2018 | Pelo menos 2 anos |

Pode-se supor com este estudo hidrologico que o tempo de retorno mínimo de 25 anos para o cálculo da macrodrenagem (DNIT, 2005) não seria indicado para o estudo hidráulico dos canais da região central urbana de Macaé. Por isso, nos cálculos serão utilizados os Tempos de Retorno de 25 anos, 50 anos e 100 anos, para mostrar as geometrias indicadas para cada cenário. Estes cálculos se sustentam porque usar tempos de retorno maiores aumenta a segurança do canal, e afasta a possibilidade de extravazamento em condições rotineiras.

O tempo de duração da chuva será o equivalente ao tempo de concentração da bacia pois este gerará a vazão máxima para cada Microbacia.

4.3 Definição da topografia para o cálculo da declividade

Para a obtenção das declividades das bacias e, então, dos canais de drenagem, é necessário conhecer a topografia da região de estudo. A primeira fonte consultada neste trabalho foram as cartas topográficas do IBGE. Estas cartas são de domínio público, e apresentam curvas de nível de 20 em 20 metros. Como o Município de Macaé está localizado numa planície tornou-se necessário dados altimétricos de maior resolução, neste caso de 10, 5 ou até 1 metro. Por este motivo, buscou-se novas fontes de dados topográficos, que poderiam ser levantamentos realizados no município ou dados processados a partir do sensoriamento remoto.

A fonte dos dados utilizados neste trabalho são provenientes do OpenStreetMap, que se trata de um atlas do mundo, de criação colaborativa e uso livre sob uma licença aberta. Este projeto engloba

diferentes modelos de elevação do terreno (DEM- *digital elevation models*, em inglês) processados a partir de imagem de satélite. Para isso, utilizam dispositivos de sensoriamento remoto (como o *ASTER-Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*, nome dado em inglês).

Existem incertezas relativas a altitude que consta nesses mapas topográficos OpenStreetMap, as quais poderiam ser corrigidas com informações de campo medidas com instrumentos de maior precisão. Foi vislumbrado a aquisição de um GPS geodésico para ser utilizado durante a visita técnica, entretanto devido a presença de um erro de mais de um metro em suas especificações, optou-se por não utilizá-lo.

Importante observar que os dados de topografia seriam utilizados para estimar a declividade dos canais de drenagem. Neste caso, procurou-se atender uma vazão acima daquela encontrada nos cálculos, na busca de dar uma segurança a geometria encontrada. Por este motivo também optou-se por calcular a vazão para além de 25 anos de retorno, englobando 50 e 100 anos.

4.4 Definição do Coeficiente de escoamento Superficial

A partir de uma inspeção visual, os canais Fabio Franco e Evaldo Costa estaria em conformidade com a zona de edificação muito densa, apresentando coeficiente de escoamento entre 0,7 a 0,95. Optou-se por adotar 0,8, devido a estes canais estarem dentro das áreas centrais urbanas de Macaé com áreas de maior densidade de asfalto, calçadas e telhados. Mesmo assim, a densidade populacional da cidade é menor do que de outros aglomerados urbanos, entre eles a cidade do Rio de Janeiro onde se poderia adotar um coeficiente de 0,95. Isso porque a densidade populacional de Macaé é 170 habitantes por km² (MACAÉ, 2014), enquanto que a densidade do Rio é de 5265,82 habitantes por km² (IBGE, 2010).

Para os Canais Virgem Santa, Capote e Três Pontes, se considerou uma zona com edificação não muito densa, com valores entre 0,6 e 0,7. Porque, apesar de passar por centros urbanos com calçamento

e pavimentação, sua extensão engloba áreas verdes e não residências. Assim, fazendo uma análise visual pode-se dizer que a região é dividida igualmente entre a quantidade de áreas verdes e densamente povoadas. Por isso, um valor razoável a ser considerado nos cálculos seria 0,65 pois é a média dos valores limites da zona com edificação não muito densa.

4.5 Definição do uso e cobertura do solo de cada microbacia para estimativa do coeficiente de *runoff*

O revestimento dos canais da cidade de Macaé são de concreto, porém ele está soltando durante toda a sua extensão. Devido a essa irregularidade, foi considerado para efeito de cálculo, o valor de coeficiente de rugosidade para um canal classificado como “concreto com um pouco de cascalho no fundo” com valores 0,015 a 0,017. Optou-se por adotar o valor limite superior de 0,017, pois a presença de pedra e cascalho aumenta o coeficiente, como é possível comparar através da tabela da página 390 (GRIBBIN, 2012).

Os canais do Capote, Três Pontes e Virgem Santa apresentam revestimento natural com vegetação, por isso adotou-se 0,03 relacionada a canais naturais com seção razoavelmente regular e profundidade maior que altura das plantas.

4.6 Definição da área de cada Microbacia

Através do Software de geoprocessamento QGIS, foi obtida a área de cada microbacia. São apresentadas a extração das áreas de drenagem das Microbacias: do Canal do Capote (Figura 40), da Microbacia do Canal Três Pontes (Figura 41), do Canal Fabio Franco (Figura 42), do Canal Evaldo Costa (Figura 43) e do Canal Virgem Santa (Figura 44) mostrados no ANEXO I. Essas áreas são ilustradas na tabela 5.

Tabela 5: Área de cada Microbacia

| Canais | Área da Microbacia |
|--------------------|---------------------------|
| Canal do Capote | 9,6180km ² |
| Canal Três Pontes | 3,9274km ² |
| Canal Fabio Franco | 3,1452km ² |
| Canal Evaldo Costa | 1,5816km ² |
| Canal Virgem Santa | 9,9156km ² |

4.7 Definição do Comprimento de cada Microbacia

Através do Software (QGIS) obtivemos o comprimento de cada microbacia. Sendo as áreas da Microbacia do Canal do Capote (Figura 45), da Microbacia do Canal Três Pontes (Figura 46), da Microbacia do Canal Fabio Franco (Figura 47), da Microbacia do Canal Evaldo Costa (Figura 48) e da Microbacia do Canal Virgem Santa (Figura 49) mostrados no ANEXO I. Esses comprimentos são ilustrados na tabela 6.

Tabela 6: Comprimento de cada Microbacia

| Canais | Comprimento do Canal |
|--------------------|----------------------|
| Canal do Capote | 4800,5m |
| Canal Três Pontes | 2102,1m |
| Canal Fabio Franco | 2412,6m |
| Canal Evaldo Costa | 1660,7m |
| Canal Virgem Santa | 8440,4m |

4.8 Definição da Vazão pelo Método Racional para cada Microbacia

Na tabela 7 abaixo são mostrados os resultados para o cálculo da vazão necessária pelo Método Racional

Tabela 7: Vazão pelo Método Racional

| Canais | TR= 25 anos | TR= 50 anos | TR= 100 anos |
|----------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Capote | Q=50,4m ³ /s | Q=60,4m ³ /s | Q=72,5m ³ /s |
| Três Pontes | Q=40m ³ /s | Q=48m ³ /s | Q=57,6m ³ /s |
| Virgem Santa | Q=38,8m ³ /s | Q=46,5m ³ /s | Q=55,9m ³ /s |
| Fabio Franco | Q=30,3m ³ /s | Q=36,4m ³ /s | Q=43,7m ³ /s |
| Evaldo Costa | Q= 23,3m ³ /s | Q=28m ³ /s | Q=33,6m ³ /s |
| Encontro TP-CP | Q=60,4m ³ /s | Q=73m ³ /s | Q= 88,1m ³ /s |
| Encontro EC-FF | Q=44,7m ³ /s | Q=53,7m ³ /s | Q=64,5m ³ /s |

Para calcular a vazão do encontro entre os canais Três Pontes e do Capote, na qual chamou-se de encontro TP-CP, recalculou-se o tempo de concentração neste trecho, que se dá pelo maior valor entre a soma do tempo de concentração e percurso do canal do Capote, e o tempo de concentração e percurso do canal Três Pontes.

Para calcular o encontro entre os canais Evaldo Costa e Fabio Franco, que segue na Rua Fabio Franco, na qual chamou-se de encontro

EC-FF, recalculou-se o tempo de concentração. Para isso, definiu-se o maior valor entre a soma do tempo de contração e percurso do canal do Fabio Franco até o encontro, e o tempo de concentração e percurso do canal Evaldo Costa.

Observa-se a utilização de uma margem de segurança grande na escolha da geometria do Canal Fabio Franco e do Evaldo Costa. Isto foi devido à grande quantidade de esgotos lançada clandestinamente no canal, e que não é contabilizada na vazão calculada, pois ela visa atender apenas o volume de água de chuva precipitado nas microbacias.

Apesar do Canal Três Pontes estar conectado com diversos cursos de água, sua vazão foi calculada considerando apenas sua Microbacia hidrográfica. O mesmo foi feito para o Canal da Virgem Santa. Apesar do canal que passa pelo obelisco de Macaé, desaguar no Canal da Virgem Santa, ele não foi considerado nos cálculos. Também não foram considerados o desague do encontro dos Canais Três Pontes e Capote na segunda parte do Canal Virgem Santa. Apenas foi considerada a água escoada dentro da Microbacia do canal da Virgem Santa.

4.9 Definição da geometria pela equação de Manning para cada Microbacia

Na busca de atingir um valor de vazão próximo ou superior, através da equação de Manning (equação 8), àquela obtida no item anterior, arbitrou-se a geometria dos canais trapezoidais.

Com o uso do Microsoft Excel®, foi feita uma análise das possíveis geometrias dos canais para atender às vazões encontradas para um período de 25 anos, 50 anos e 100 anos. As geometrias são mostradas na Tabela 8

Tabela 8: Geometria dos Canais

| TR | Canais: | Capote | Três Pontes | Virgem Santa | Fabio Franco | Evaldo Costa | Encontro TP-CP | Encontro EC-FF |
|-----|------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 25 | altura | 3,4 m | 3m | 4 m | 1 m | 1 m | 3,4 m | 1 m |
| | base menor | 8 m | 4 m | 4 m | 1,8 m | 1 m | 4 m | 3 m |
| | base maior | 14,8 m | 10 m | 12 m | 3,8 m | 3 m | 10,8 m | 5 m |
| | Q Manning | 54,4m ³ /s | 43,2m ³ /s | 42,3m ³ /s | 33,7m ³ /s | 37,3m ³ /s | 64,8m ³ /s | 52,4m ³ /s |
| 50 | altura | 3,7 m | 3 m | 4 m | 1 m | 1 m | 4 m | 1 m |
| | base menor | 8 m | 5 m | 5 m | 2 m | 2 m | 4 m | 3,2 m |
| | base maior | 15,4 m | 9 m | 13 m | 4 m | 4 m | 12 m | 5,2 m |
| | Q Manning | 63,4m ³ /s | 51,2 m ³ /s | 49,4m ³ /s | 36,7m ³ /s | 62,9m ³ /s | 76m ³ /s | 55,6m ³ /s |
| 100 | altura | 4 m | 3 m | 4 m | 1 m | 1 m | 4 m | 1 m |
| | base menor | 8 m | 6 m | 6 m | 3 m | 3 m | 5 m | 4 m |
| | base maior | 16 m | 12 m | 14 m | 5 m | 5 m | 13 m | 6 m |
| | Q Manning | 73m ³ /s | 59,4m ³ /s | 56,6 m ³ /s | 52,4m ³ /s | 89,6m ³ /s | 88,6m ³ /s | 68,4m ³ /s |

Na frente do Polo Universitário do Campus da UFRJ Macaé há a presença de dois afluentes do Canal do Capote, tanto à direita quando à esquerda da rua pavimentada. É possível que antes da pavimentação, estas duas ramificações de canais formassem um único canal de maior dimensão. Nesse caso, teríamos um afluente de grande proporção e que representaria a dimensão esperada para canais naturais desta região.

4.10 Análise da geometria dos canais observada na visita de campo e calculada no estudo de caso

Nesta seção iremos comparar os resultados de cálculo com a visita de campo nos canais artificiais estudados neste trabalho.

A medição manual foi feita apenas no Canal Fabio Franco em dois pontos. No Canal Evaldo Costa devido a ser uma galeria subterranea, só foi possível medir seu comprimento superior, tendo sua medida estimada. O canal do Capote e Três Pontes apresentou dimensões irregulares durante sua extensão, sua medida foi estimada por inspeção visual e o Canal Virgem Santa, devido a se localizar em área de risco, não foi visitado, sua medida foi também estimada.

Tomando o inventário fotográfico dos canais, acredita-se que alguns canais atenderiam estas geometrias, e outros não atenderiam. Esta hipótese é mostrada na Tabela 9

Tabela 9: Comparação da geometria dos canais

| Canais: | TR= 25 anos | TR= 50 anos | TR= 100 anos |
|----------------|-------------|-------------|--------------|
| Capote | Não Atende | Não Atende | Não atende |
| Três Pontes | Não Atende | Não Atende | Não atende |
| Virgem Santa | Não Atende | Não Atende | Não atende |
| Fabio Franco | Atende | Atende | Atende |
| Evaldo Costa | Atende | Atende | Atende |
| Encontro TP-CP | Não Atende | Não Atende | Não atende |
| Encontro EC-FF | Atende | Atende | Não atende |

4.11 Análise do Escoamento nos Canais

O corpo de engenheiros do exército dos Estados Unidos da América (*U.S. Army – Corp of Engineers*, em inglês) desenvolveu um procedimento para estimar a propagação de cheias nos cursos d'água. Foi concebido para o Rio Muskingum, em Ohio, e posteriormente tornando-se universal, ficou conhecido como Método de Muskingum (GRIBBIN, 2012).

O conceito de propagação de cheia baseia-se no seguinte: quando o escoamento entra em um trecho do curso d'água, parte da água fica temporariamente armazenada antes de ser liberada a jusante, ocorrendo de forma similar numa bacia de drenagem, mas em maior grau. A água irá fluir desde uma extremidade da bacia, será retida temporariamente pelo curso d'água na qual transitará, e sairá por outra extremidade com vazão reduzida (GRIBBIN, 2012).

Através desse conceito, é necessário ter em mente que os canais de drenagem não apenas transportam as águas, mas também as armazenam.

Quando as ruas não eram pavimentadas, e a urbanização incipiente, tendo ainda grande possibilidade da água da chuva ser contida pela infiltração, os canais conseguiam atender a demanda de água precipitada na cidade, e o Rio Macaé ainda não se sobrecarregava a ponto de inundar suas áreas marginais.

Com o passar do tempo, e a urbanização acelerada, uma quantidade maior de água pluvial tem sido transportada até a desembocadura do Rio. Isto também se deve a retificação dos canais naturais, que faz o escoamento ser mais veloz. Entretanto, isso gera o assoreamento marginal dos rios e canais naturais, o que promove o acúmulo de sedimentos em seu interior, diminuindo sua profundidade, e gera seu alargamento, ocupando áreas ao redor.

Como a cidade de Macaé é uma região de planície, apresenta baixa declividade. O escoamento da água é vagaroso, tornando necessária a construção de um sistema de bombeamento para acelerar o escoamento, visto que os canais tem se sobrecarregado. Além do mais, devido às condições de maré no estuário do rio, o escoamento acaba necessitando ser transportado por cima. Acredita-se, no entanto, que a água não está conseguindo chegar até o local de bombeamento existente no canal da Fabio Franco.

Além da declividade, há outros elementos que podem atrapalhar o pleno escoamento. Como a presença de lixo, que entope as canalizações e torna vagarosa a passagem da água na área de gradeamento. A má conservação dos taludes das margens, as transições entre os canais em curvas de 90 graus (viaduto, transição do canal por manilha) e as adutoras no meio do canal podem causar diminuição da velocidade da água.

A dificuldade de escoamento pode fazer com que os canais sofram extravazamento. Isto ocorre porque mesmo se sua geometria comportar a quantidade de vazão necessária, caso o líquido não esteja sendo levado de forma correta, ele estará na verdade se acumulando em parte do canal, invés de ser transportado. Parte de água já se acumula devido a propagação de cheias, que faz com que o canal não fique totalmente vazio, entretanto, o canal precisa ter um escoamento eficaz para conter inundações.

Além de só analisar a geometria dos canais, deve-se entender que a presença de material sólido, o lançamento de esgotos, o revestimento soltando dentro do canal, em alguns casos vegetais crescendo e a presença de solo assoreado das laterais pode estar

diminuindo a capacidade hídrica, ou seja, o volume de água que o canal suporta.

Observa-se que o aumento da maré visto no Porto de Imbetiba na cidade de Macaé tem uma variação de 1,65 m (BÔAS, JUNIOR, & RODRIGUES, 2016). Uma situação de ocorrência de um evento de inundação coincidindo com uma alta da maré, pode atrapalhar o escoamento.

5. CONCLUSÃO

5.1 Principais Conclusões

Neste trabalho foi feito um estudo hidrológico e hidráulico dos canais da região central urbana de Macaé com o objetivo de identificar se eles são capazes de atender o escoamento superficial gerado nas atuais condições meteorológicas vivenciadas. Este estudo é motivado pela possibilidade de melhora na qualidade de vida das pessoas que vivem no centro urbano de Macaé, e justificada pela presença de inundações recorrentes nesses locais.

O estudo dos canais existentes na região central de Macaé, desenvolvido no capítulo 3, evidenciou a presença de elementos que atrapalham o escoamento pleno dos canais do município, tais como: o lançamento de esgotos, a má conservação dos taludes das margens, o lançamento de resíduos sólidos (lixo), estruturas que cruzam o canal (adutoras, gradeamento, viaduto, transição do canal por manilha). O escoamento nesses canais já é dificultado pela topografia da região, visto que planícies apresentam baixa declividade, tornando necessárias medidas e ações para melhora-lo.

Através do estudo hidrológico feito no capítulo 4, pôde-se observar que os valores de precipitação vivenciados na cidade recentemente e calculados pela fórmula de Chuva intensa de Prusk et tal. (2006) apresentaram um período de retorno muito alto (TR= 2 a 25 anos) se comparado à recorrência em que o evento foi observado em Macaé (TR= 1 ano). Visando atender as vazões geradas pelo estudo hidrológico, ainda no capítulo 4, foi feito um estudo hidráulico das necessidades geométricas dos canais, e da visita de campo pôde-se constatar que alguns canais não apresentam dimensões adequadas para atender a demanda hídrica de eventos de chuva com 25 anos de recorrência, sendo esse parâmetro considerado o mínimo necessário para o planejamento de um projeto de macrodrenagem.

Pôde-se concluir que os canais não estariam adequados para comportar a precipitação da área contribuinte de suas Microbacias em um

tempo de retorno seguro. Isto é confirmado pelas inundações vivenciadas nos últimos anos e em maior frequência nos últimos meses.

Por último, visando soluções alternativas para a drenagem urbana e ainda englobar elementos de drenagem urbana sustentável, no Apêndice A, foram citadas estruturas para integrar a paisagem da região urbana de Macaé que poderiam diminuir ou retardar a vazão dos canais. De forma simplista e expositiva, elas incluem: a bacia de retenção que poderia ser pensada no Parque da Cidade; os canais de drenagem em canteiros que dividem pistas de vias expressas; os reservatórios ou cisternas para recolher a água da chuva em residências e edifícios; os pavimentos porosos que poderiam ser pensados tanto no estacionamento do shopping, como dos condomínios, comércios e universidades do município, e os jardins de drenagem construídos em canteiros e calçadas, e demais áreas vegetadas como o teto verde.

5.2 Limitações da Pesquisa

Durante o desenvolvimento desta pesquisa não foi possível obter os dados geométricos dos canais na Prefeitura Municipal de Macaé devido a falta de um projeto de drenagem para consulta.

Também não havia um mapa topográfico da cidade na Prefeitura Municipal de Macaé com vistas para consulta. Foi disponibilizado projetos de obras com o levantamento altimétrico local (para aprovação daquela obra específica), mas infelizmente não foi possível trabalhar com esses projetos, pois seria necessário montar um mosaico de topografias em que não todas as regiões estariam sendo englobadas.

Durante a busca em fontes de dados topográficos, como o IBGE, deparou-se com medições que saltavam de 20 em 20 metros, o que não atendia o objetivo desta pesquisa, pois o Município de Macaé é localizado em uma baixada onde no mapa não apresentava cotas topográficas.

O Programa utilizado nesta pesquisa foi o QGIS, e as fontes de informação altimétricas disponíveis tinham cotas semelhantes aquelas encontradas nos mapas do IBGE.

Pensou-se neste trabalho em adquirir um GPS Geodésio, mas foi observado que ele apresentava um erro de mais de um metro, sendo este um erro muito grande para a região de planície a ser estudada no trabalho. Entretanto, descobriu-se que outras fontes de dados de livre acesso também apresentavam erros grandes devido ao possível uso para fins bélicos, inclusive o próprio Google Maps.

A precisão necessária para a pesquisa é de uso restrito e com controle do acesso, visto que alguns programas de simulação usam dados do exército americano. Por esse motivo, ao usar um dado de imagem de satélite disponível na internet, não houve uma real garantia de sua veracidade.

5.3 Perspectivas Futuras

Entendendo que a frequência de uma precipitação, que deveria ter período de retorno de 25, 50 ou 100 anos, tem ocorrido em espaços de tempo de um ano ou menos, é indicada uma investigação da fórmula de Chuvas Intensas para a cidade de Macaé definida por Pruski et al (2006), de modo a verificar se o intervalo de dados estatísticos usado poderia não estar mais correspondendo com a situação atual das chuvas.

Para mais, observando a grande quantidade de esgoto transferido para os canais, principalmente para aquelas regiões onde a coleta de esgoto doméstico não chega, pode-se pensar em soluções locais de tratamento de esgoto descentralizado. Um exemplo é o Wetland Construído, que trata a água através de solos filtrantes e raízes de plantas.

Visando aprimorar os cálculos feitos neste trabalho, poderia ser feita uma análise dos canais estudados considerando todos os cursos de água provindos de outras regiões, observando que diversos cursos de água utilizam o canal Três Pontes como uma ligação para desembocar no Canal Virgem Santa e posteriormente no mar.

Com relação ao canal Virgem Santa, poderia-se analisar a influência do curso de água que passa pelo obelisco de Macaé, além do desague do encontro dos canais Três Pontes e do Capote neste canal.

Em trabalhos futuros, na possível existência de um GPS geodésico que atenda a resolução de um metro de altitude poderia ser feita uma verificação das altitudes adotadas neste trabalho.

Através de dados topográficos mais avançados do município de Macaé, também seria possível fazer um estudo mais amplo dos dispositivos alternativos em drenagem urbana abordadas no Apêndice A de modo a incluir as localidades com mais exatidão.

Por último, se fosse possível obter mais dados de campo, através de campanhas de medição dos cursos d'água por exemplo, poderia-se estimar o tempo de concentração real, verificar a demora para se encher o rio, e comparar os dados reais com os resultados das diversas fórmulas empíricas disponíveis na literatura para este tempo. Essas campanhas poderiam dar incentivo para que moradores próximos à correios realizassem a medição da velocidade ou nível da água, ou esta ser feita por fiscais do poder público com um espaçamento de tempo pré-determinado.

APÊNDICE A: SOLUÇÕES ALTERNATIVAS

Neste capítulo são apresentadas medidas estruturais e não-estruturais para complementar o projeto tradicional de drenagem urbana, como forma de integrar os espaços urbanos e tentar minimizar os efeitos da urbanização.

Busca-se instigar a percepção de outras soluções dentro de drenagem para compor o espaço urbano da cidade de Macaé.

A-1 Introdução

O projeto convencional de sistemas de drenagem tem como princípio básico captar, conduzir e descarregar as águas pluviais. Eles se baseiam em escoar a água pluvial o mais rápido possível, colocando em segurança a área de interesse a que se inserem. Como consequência desse sistema, porém, há a aceleração dos escoamentos, a diminuição do tempo de concentração, o aumento da descarga de pico, o agravamento das cheias à jusante e a deterioração dos ecossistemas fluviais (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016).

Assim, aproveitando os conceitos de drenagem urbana sustentável, as técnicas compensatórias, surgem como alternativa ou complementação para a drenagem convencional, de modo a abater o escoamento superficial, diminuir o pico do hidrograma de cheia, e do retardamento das vazões geradas pela chuva.

A-2 Medidas Estruturais

A-2.1 Medidas de Armazenamento

Os reservatórios que armazenam água durante a passagem de pico da cheia e esvaziam posteriormente, simulam o que ocorreria naturalmente na bacia, pela vegetação e pelo solo, antes da urbanização (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016).

As bacias de retenção são reservatórios de armazenamento que reduzem as vazões de pico dos hidrogramas de cheias, aumentando

o tempo de base. Elas não reduzem o volume do escoamento diretamente, apenas redistribuem as vazões ao longo de um tempo maior. Elas são utilizadas para controlar a vazão máxima, controlar o volume de água escoado e controlar o material sólido levado nos sistemas de drenagem.

Do ponto de vista construtivo, as bacias de retenção podem ser criadas escavando-se uma grande área no solo existente, podendo ter um barramento que dá em um rio ou canal, controlando a água que passa por ele. Costuma-se instalar, em sua entrada, uma grade de retenção para evitar que a descarga seja obstruída por sedimentos, folhas ou detritos, devido a existência de material sólido sendo transportado no sistema de drenagem (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016).

Uma possibilidade para a cidade de Macaé seria transformar o Parque da Cidade, ilustrado na Figura 37, visto que inunda em eventos de chuvas intensas, em uma bacia de retenção. Isto seria possível se a área fosse rebaixada de modo a direcionar a água para os limites desta região.

Fonte: Google Maps

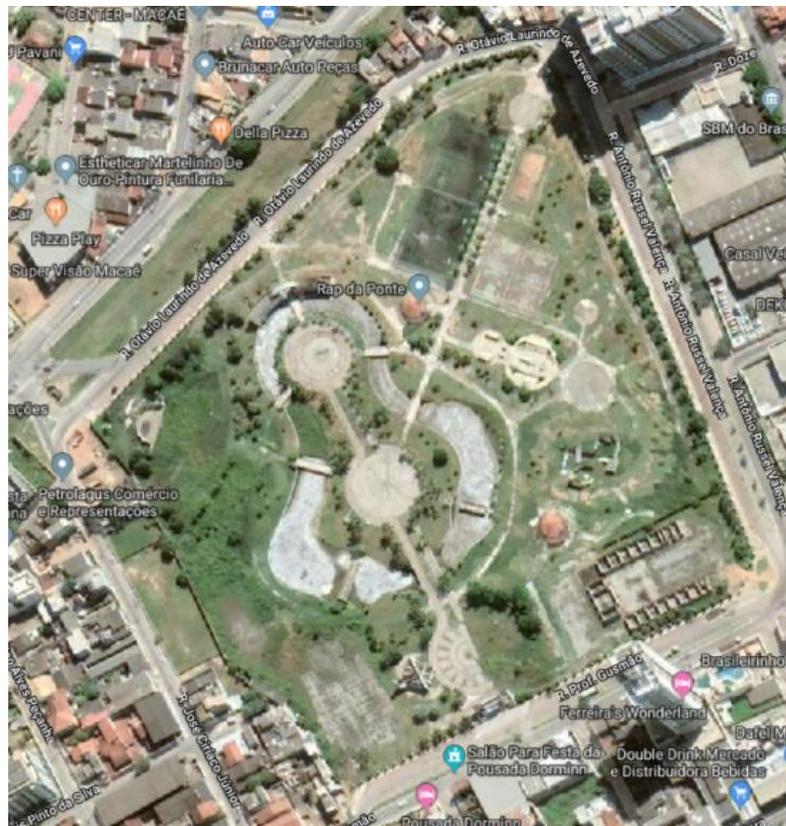


Figura 37: Parque da Cidade

Já as bacias de retenção são reservatórios que buscam diminuir o escoamento superficial em cheias urbanas, sendo uma área alagadiça permanente, como um lago (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016). As rotatórias existentes nas áreas centrais urbanas do Município de Macaé, como ilustrada na Figura 38, apresentam áreas verdes e se fossem rebaixadas para possibilitar o acúmulo de água poderiam servir como pequenas bacias de retenção.

Fonte: Google Maps



Figura 38: Rotatória

No caso de uma bacia projetada com nível de água permanente e volume de espera que facilitam a infiltração, são chamadas de lagoas de infiltração (CANHOLI, 2014).

A cidade de Macaé apresenta na linha azul áreas não construídas que durante períodos de chuva, tornam-se áreas naturais alagadas. Estas funcionam como bacias de retenção, acumulando grande quantidade de água, e impedindo que esta escoar para outras regiões. A

água se acumula durante todo o período de chuva intensa e aos poucos vai infiltrando ou evapora naturalmente. A construção e consequente impermeabilização das áreas verdes ao redor da linha azul provocará maiores escoamentos de água, inundando mais regiões que hoje já são afetadas, podendo atingir áreas ainda não inundadas.

Outro exemplo de reservatório de armazenamento, são os previstos para instalação nos lotes urbanos, são de escala local e chamados de reservatórios de lote. A água pode ser devolvida ao sistema público de drenagem após a passagem do pico da cheia, ou pode ser aproveitada pelo proprietário do lote, dependendo da qualidade da água, para reuso. São indicados para usos não potáveis, colocados em cisternas individualizadas, para limpeza de pisos, uso em jardins, descarga de vasos sanitários e combate a incêndios (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016). Este tipo de reservatório também pode ser pensado em edifícios, devido a existência deles em larga escala na região central urbana de Macaé.

O controle das águas pluviais em lotes e condomínios habitacionais poderiam ser incentivados pelo poder público através de abatimento no Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), e realizado por meio de um paisagismo que promova mais áreas verdes, e a construção de cisternas e microrreservatórios para armazenagem dos efluentes pluviais, desde que aliados a mecanismos sistemáticos para divulgação, fiscalização e manutenção continuada (RIGHETTO, 2009)

A-2.2 Medidas de Infiltração

A urbanização tem causado impermeabilização do solo, através do pavimento de áreas para construção de edificações e estradas. Estas medidas oferecem algumas técnicas compensatórias em drenagem urbana para favorecer a infiltração do solo. Em muito está ligada à reversão da urbanização, alterando áreas que são impermeáveis, e tornando-as permeáveis. Temos a seguir alguns tipos:

Os revestimentos permeáveis são uma alternativa ao uso de asfalto e concreto, superfícies impermeáveis tradicionais, mas por

apresentarem baixa resistência a tráfegos pesados, são mais indicadas para estacionamentos e ruas de baixo tráfego, podendo ser usados em calçadas, quadras esportivas e até no interior de residências (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016).

As valas de infiltração transportam o escoamento superficial ao longo das estradas, reduzindo sua velocidade e aumentando a infiltração e o tempo de concentração. Elas são adaptáveis a vários projetos e locais, porém são mais apropriadas para baixas declividades, que permitem escoamentos mais lentos, favorecendo a infiltração (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016).

Os canais de drenagem são superfícies vegetadas de drenagem que promovem a infiltração da água no solo em uma pequena estrutura disposta em série, onde o escoamento é retido temporariamente, podendo ser utilizadas em áreas residenciais ou acostamentos de vias. (RIGHETTO, 2009). A linha azul na cidade de Macaé apresenta um canteiro, entre os dois sentidos da via (Figura 39), que funciona como um canal de infiltração, isto porque ele é rebaixado e gramado, e quando há alagamentos, parte da água escoar para esta área ficando armazenada enquanto infiltra no solo.

Fonte: Google Maps

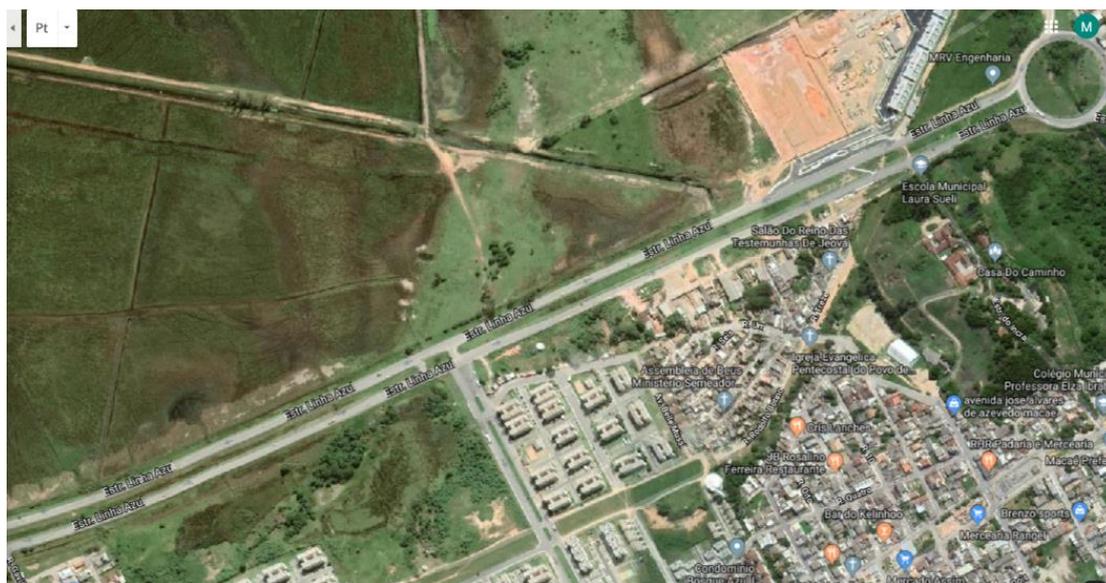


Figura 39: Canteiro da Linha Azul

As trincheiras de infiltração se baseiam no armazenamento da água por tempo suficiente para a infiltração. Ao interceptar o escoamento superficial, propicia a recarga do lençol freático, tendo um bom desempenho para a redução dos volumes escoados e das vazões máximas de enchentes.

Os telhados verdes consistem na aplicação de vegetação sobre superfícies construídas, visando diminuir o impacto das construções do meio urbano. Pode ser aplicada em qualquer área construída, trazendo benefícios ao meio ambiente através da revegetação (MIGUEZ, VERÓL, & REZENDE, 2016). A palavra de telhado verde relembra o revestimento de casas e edifícios, mas pode ser aplicado para qualquer outro revestimento, assim, rotatórias nas avenidas revegetadas, canteiros nas calçadas e no meio das vias expressas como a linha azul e linha verde podem servir como áreas vegetadas que servem como jardins para infiltração da água no subsolo, podendo também retardar a vazão que chega aos canais de drenagem no caso de também direcioná-la a eles.

A-3 Medidas Não- Estruturais

O sistema de drenagem urbana que previne as inundações, não se fundamenta só em planos, projetos e obras, mas também em medidas não estruturais, como códigos, leis, regulamentos e normas sobre edificações, e ocupação do solo, desapropriação de áreas ociosas ou assoladas por inundações, controle sanitário, preservação ambiental, educação e conscientização ambiental, fiscalização da administração pública nas áreas urbanizadas e edificadas, e planos de recuperação de áreas degradadas (SÃO PAULO, 2012).

Para a cidade de Macaé seria indicado fazer um mapeamento das áreas potencialmente inundáveis para restringir sua ocupação. A preservação das áreas verdes ainda existentes na cidade evitará casos ainda mais críticos no futuro. As áreas particulares em torno do Parque Natural Municipal do Atalaia são áreas que poderiam ser demarcadas para tornar-se uma reserva natural.

A urbanização nas áreas mais baixas e marginais dos cursos d'água deve ser feita com estudo, pois apresentam maior risco de inundações, sendo desejável priorizar áreas verdes nestes locais, podendo ter fins de recreação e lazer (SÃO PAULO, 2012).

Aproveitando a presença de Universidades públicas, que também contam com atividades que permeiam seu papel social, uma parceria ou convenio com a prefeitura de Macaé, poderia permitir um estudo preliminar de viabilidade técnica para aplicação de medidas estruturais ou não-estruturais na cidade. Este relatório poderia ser utilizado para fiscalização, contratação ou seleção de empresas futuras para desenvolver algum trabalho técnico, cabendo aos órgãos competentes escolherem por sua adesão, podendo ser em parte, dentro de suas limitações orçamentárias.

A-4 Escolha do Dispositivo

A escolha do dispositivo mais adaptado para a drenagem do local deve passar por uma análise criteriosa sobre a performance requerida em relação a quantidade, a qualidade e os benefícios a serem atingidos. Depende das condições hidrológicas locais, das características físicas da bacia e do uso e ocupação do solo atual e do dispositivo (CANHOLI, 2014).

ANEXO I

Fonte: QGIS

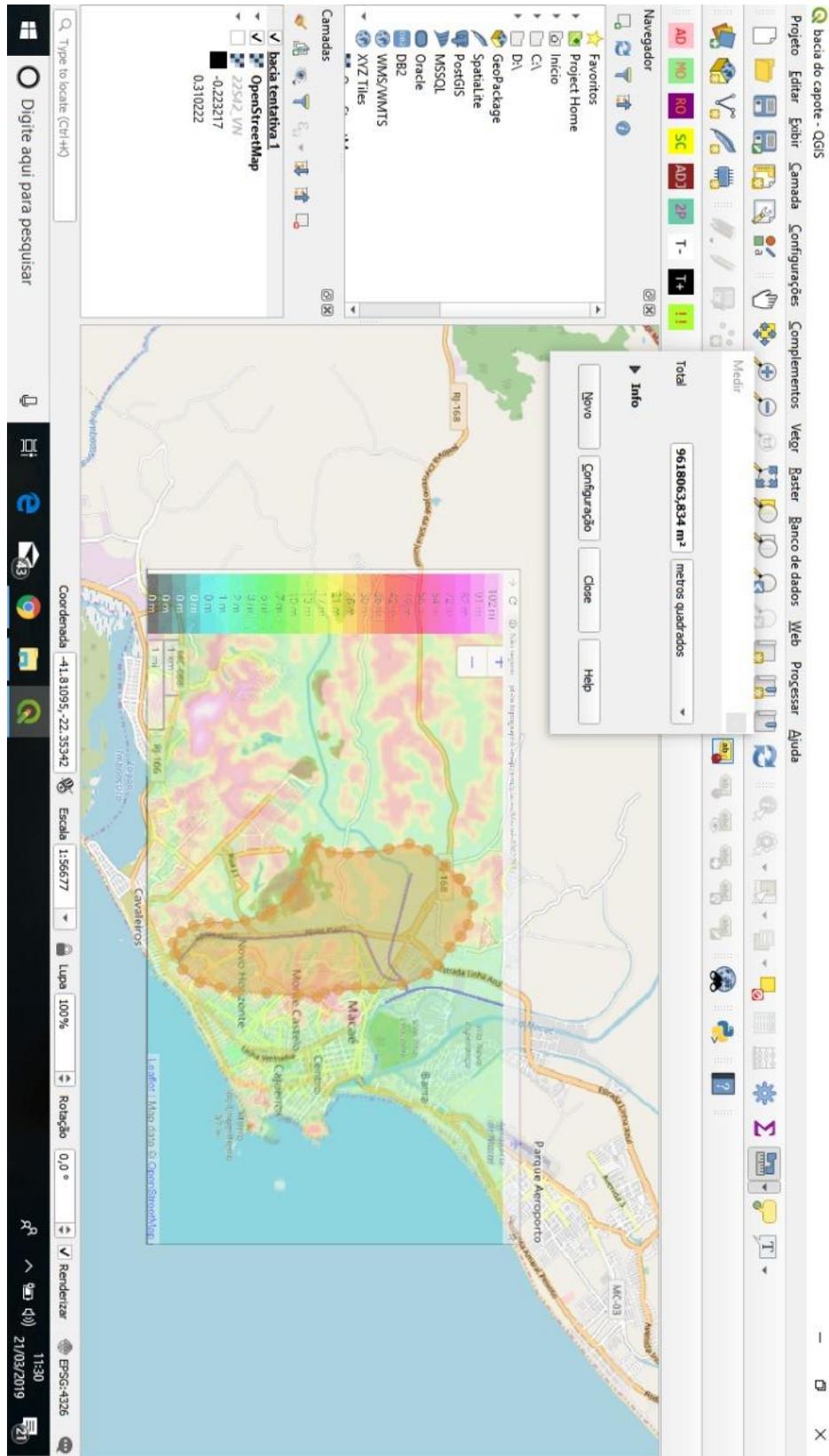


Figura 40: Cálculo da área do Canal do Capote

Fonte: QGIS

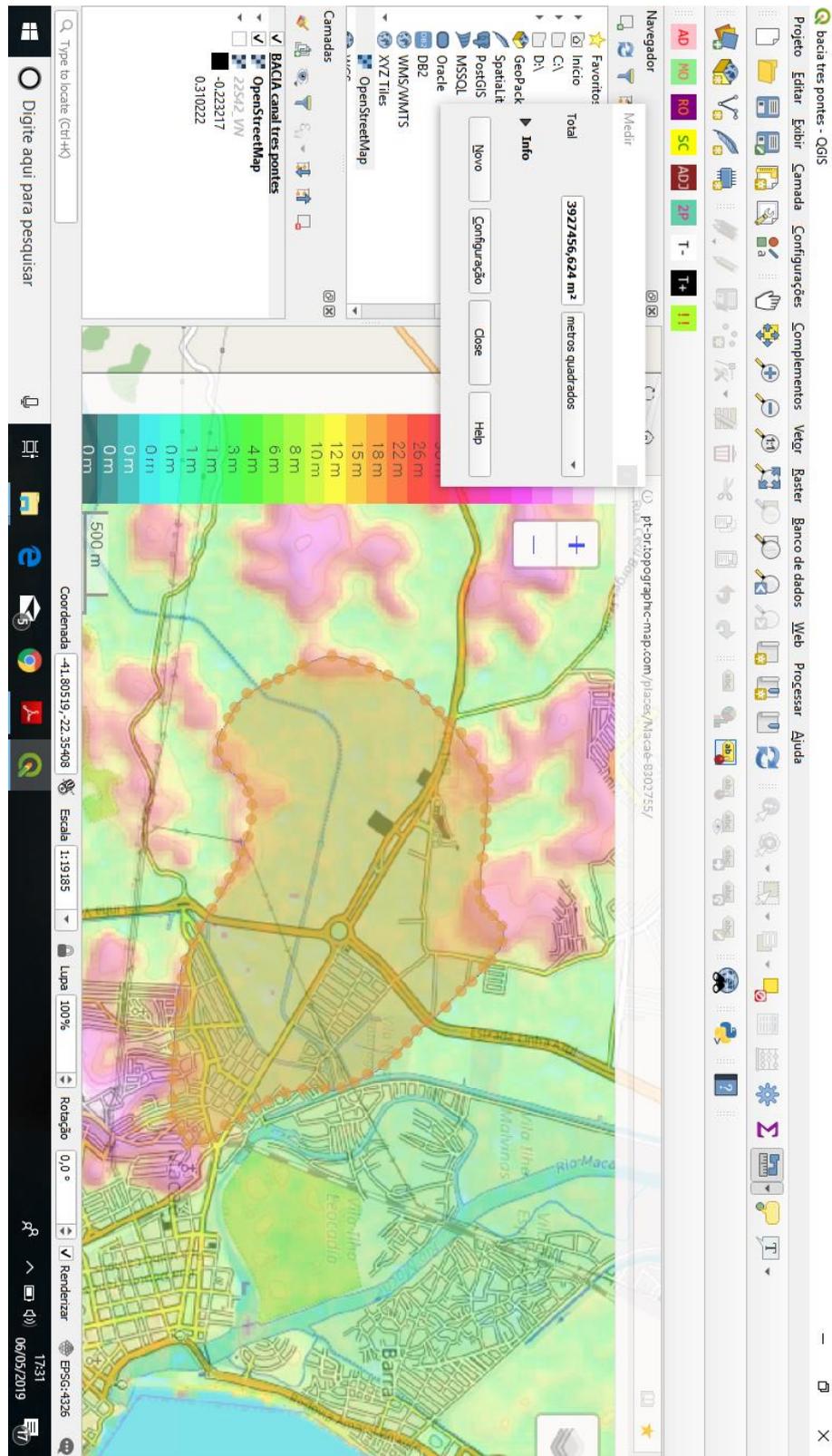


Figura 41: Cálculo da área do Canal Três Pontes

Fonte: QGIS

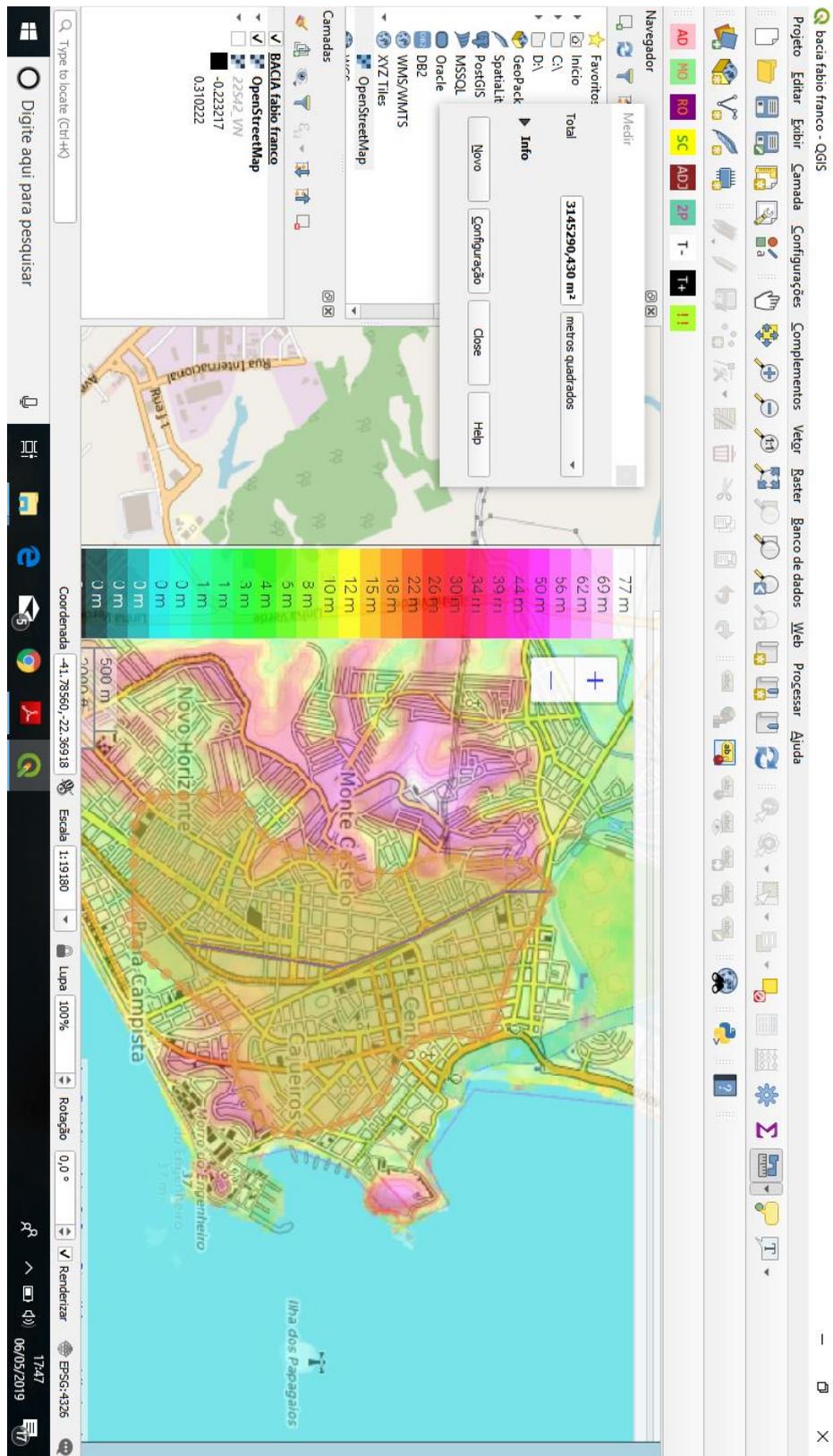


Figura 42: Cálculo da área do Canal da Rua Fabio Franco

Fonte: QGIS

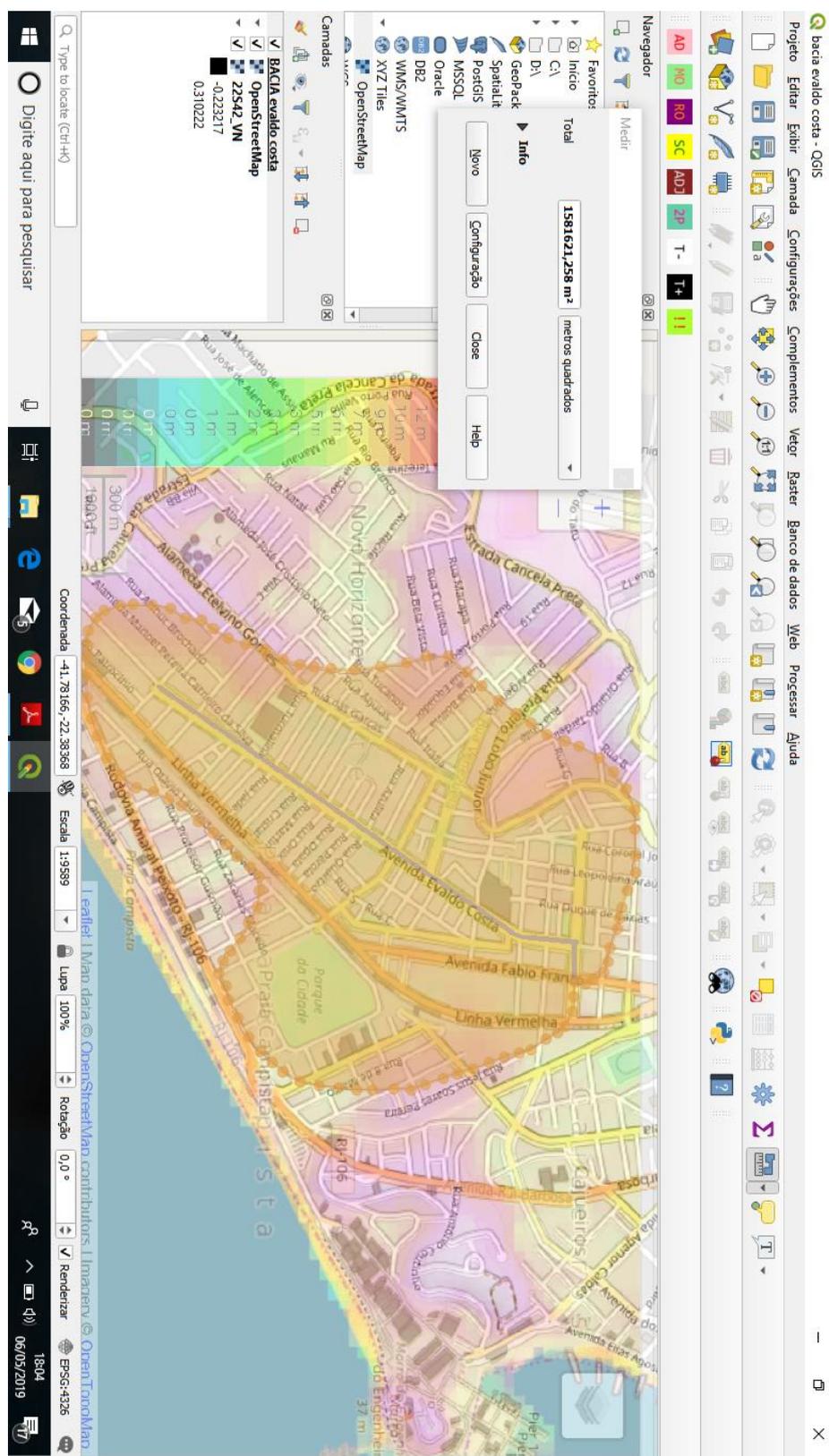


Figura 43: Área do canal Evaldo Costa

Fonte: QGIS

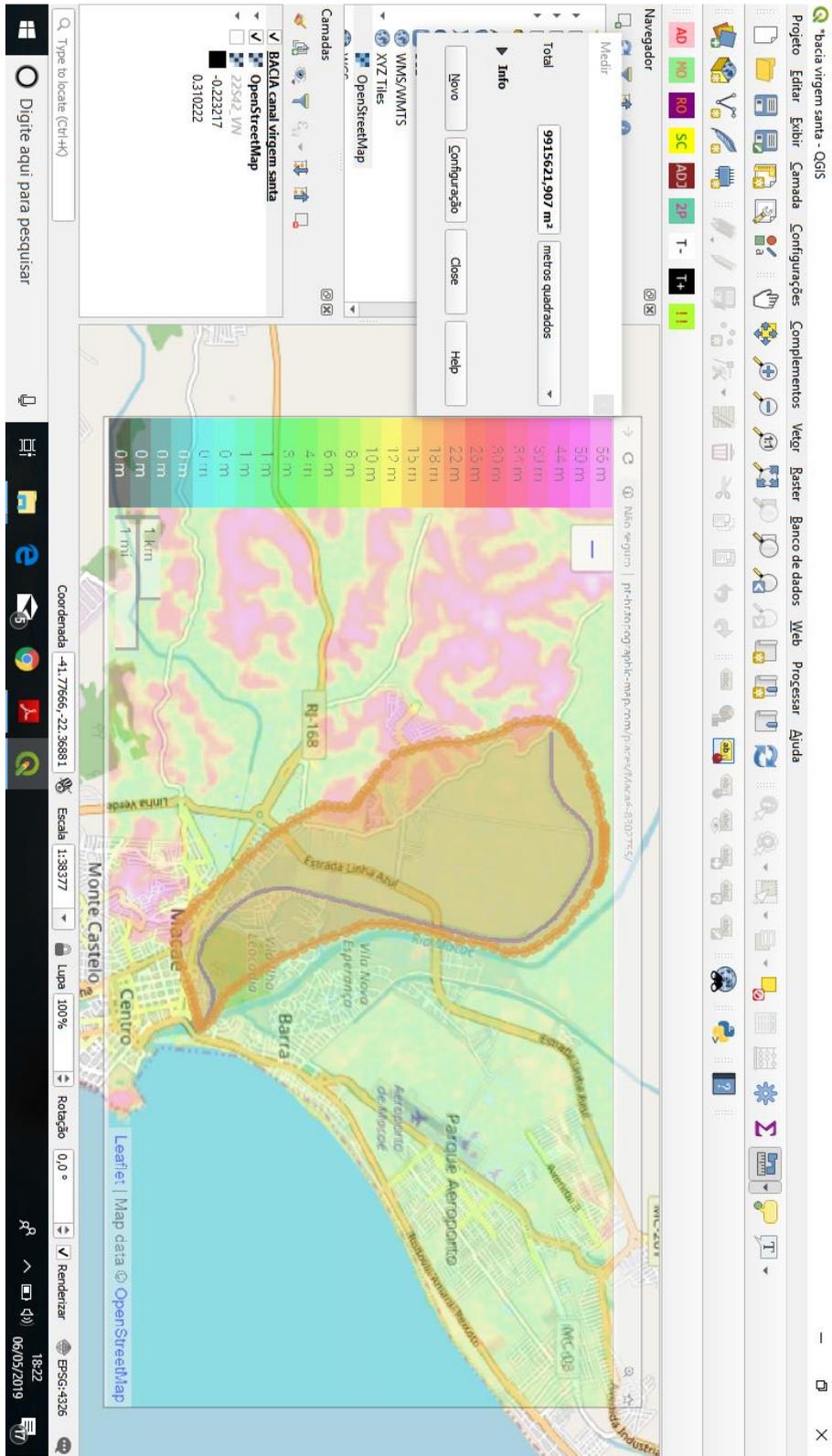


Figura 44: Cálculo da área do Canal Virgem Santa

Fonte: QGIS

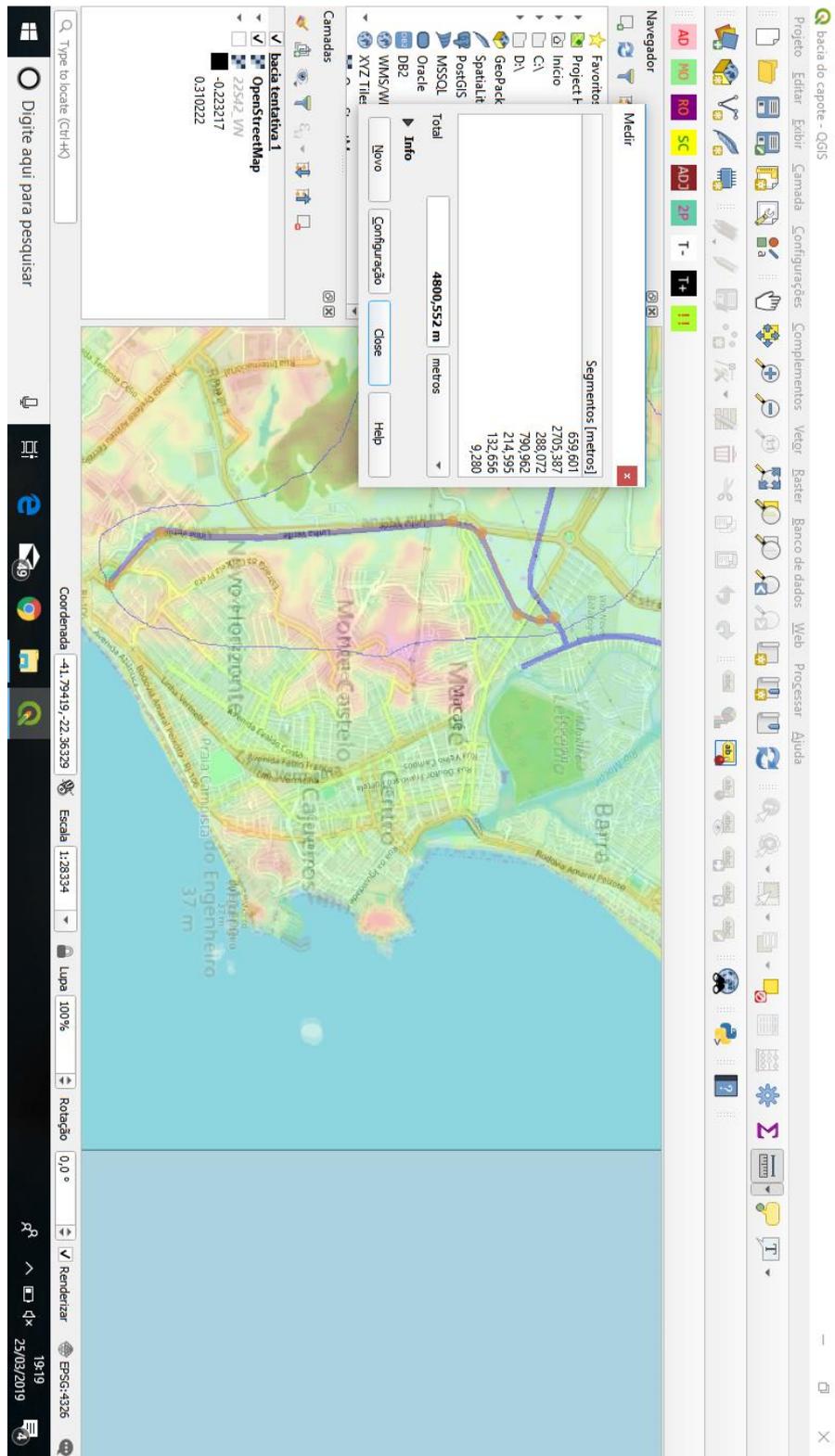


Figura 45: Cálculo do comprimento do Canal do Capote

Fonte: QGIS

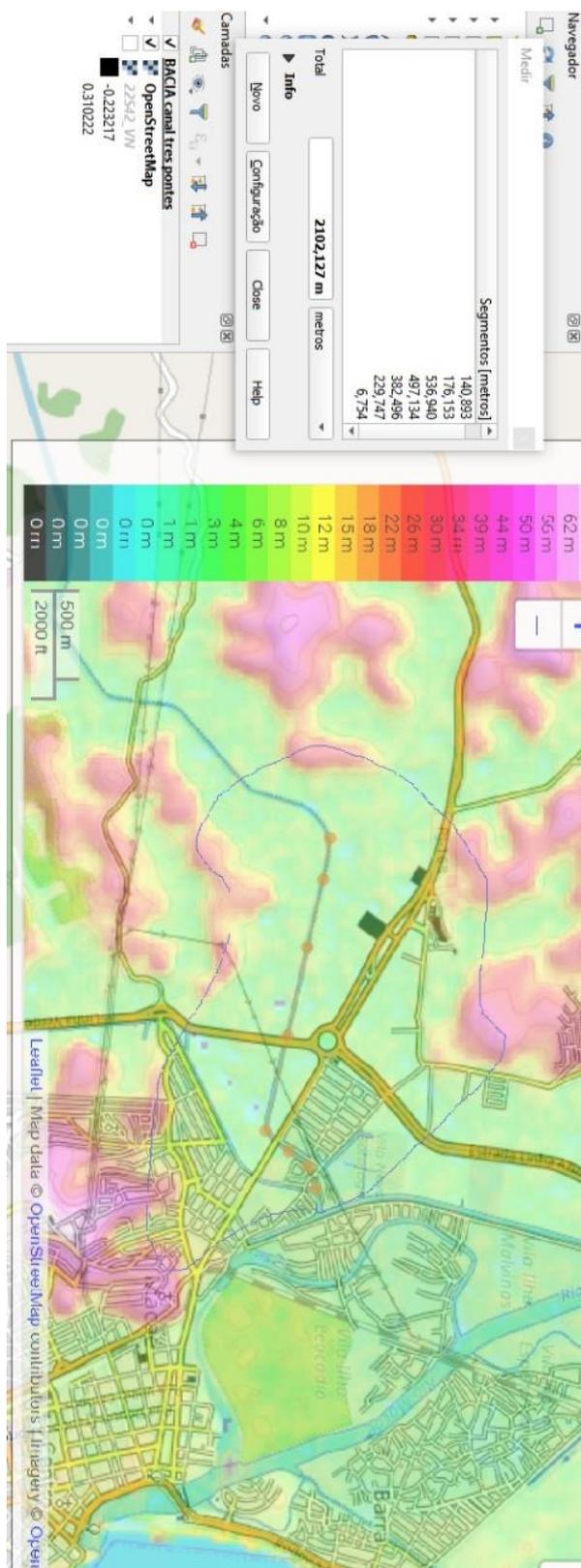


Figura 46: Cálculo do comprimento do Canal Três Pontes

Fonte: QGIS



Figura 47: Cálculo do comprimento do Canal da Rua Fabio Franco

Fonte: QGIS



Figura 48: Comprimento do canal Evaldo Costa

Fonte: QGIS

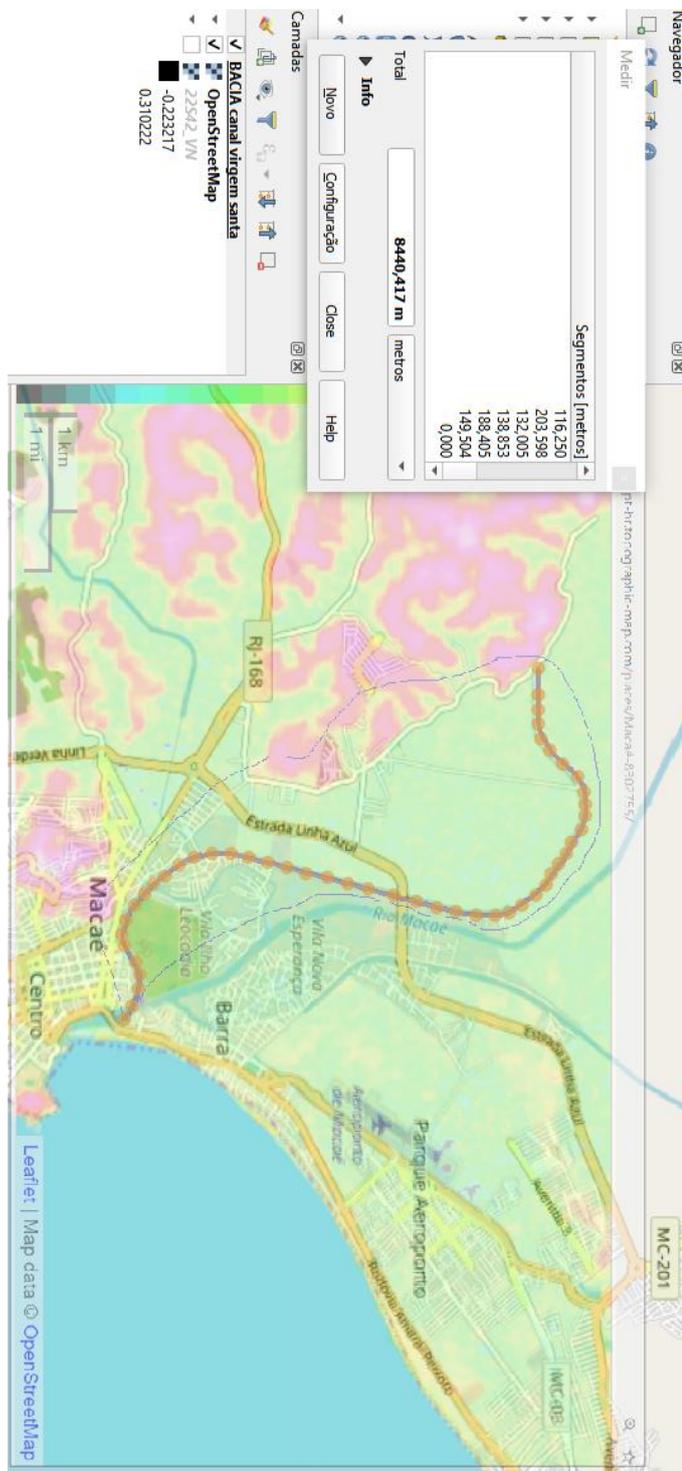


Figura 49: Comprimento do Canal Virgem Santa

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

- ASCE. (1969). Design and construction of sanitary and storm sewers. Manuals and Reports of Engineering Practice. New York. 1969: American Society of Civil Engineers. Nº 37.
- AVIX. (2019). Disponível em: <<http://www.avix.com.br/pt/servicos/drenagem-urbana-sustentavel>> Acesso em: 25 de setembro de 2019.
- BARBOSA, G. S. (2008). *O DESAFIO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL*. Revista Visões 4ª Edição, Nº4, Volume 1 - Jan/Jun 2008.
- BÔAS, L. V., JUNIOR, J. L., & RODRIGUES, P. P. (2016). *Estudo das cotas de inundação em canais urbanos de pequenas bacias hidrográficas, próximas a áreas estuarinas, sob efeito de marés*. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes/RJ, v.10 n.2, p. 119-130, jul./dez. 2016.
- BRASIL. (1997). *Lei 9.433, DE 08 DE JANEIRO DE 1997*. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm> Acesso em 28 de junho de 2019.
- BRASIL. (2007). Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. *Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico*. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 05 de Janeiro de 2007: Disponível em: <http://www.epsjv.fiocruz.br/sites/default/files/documentos/pagina/lei_11445-07.pdf> Acesso em 11 de junho de 2019.
- BRASIL, G. M. (2018). *DESENVOLVIMENTO: INCLUDENTE, SUSTENTÁVEL E SUSTENTADO*. Revista Eletrônica Direito e Política. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Ciência Jurídica da UNIVALI, Itajaí, v. 13, n. 2, 2º quadrimestre de 2018. Disponível em: <<https://siaiap32.univali.br/seer/index.php/rdp/article/download/13369/7600>> Acesso em 22 de junho de 2019.
- BRITES, A. P., FILHO, K. Z., PORTO, M. F., & MARTINS, J. R. (2014). *Notas de aula. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*.
- CANHOLI, A. P. (2014). *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes*. São Paulo: 2º edição ampliada e atualizada.
- CLIQUE DIÁRIO. (2018). Fonte: Disponível em: <<https://cliquediario.com.br/destaque/enchente-provoca-estragos-e-deixa-macae-debaixo-dagua>> Acesso em 20 de junho de 2019
- DAEE. (2005). *Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas. Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo*. 2005. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/guiapratico_daee_2005.pdf> Acesso em 21 de junho de 2019.
- DNIT. (2005). Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem. DNIT. Rio de Janeiro: 2º Ed, p. 24, 2005. Disponível em <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf> Acesso em 12 de junho de 2019.
- FREITAS, L. E. (2015). *Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé*. 1º Ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Tríade do Brasil Ltda. 2015.
- G1. (2013). Fonte: Disponível em: <<http://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/fotos/2013/12/flagrantes-moradores-registram-alagamentos-em-macae.html#F1029248>> Acesso em: 20 de junho de 2019
- G1. (2018). Fonte: Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2018/11/08/temporal-causa-queda-de-ponte-alagamentos-e-deixa-alunos-sem-aula-em-macae-rj-cidade-decreta-estado-de>>

- calamidade.shtml> Acesso em: 20 de junho de 2019
- G1. (2019). Fonte: Disponível em <<https://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2019/05/17/chuva-forte-prejudica-escolas-transito-e-saude-basica-em-macae-no-rj.shtml>> Acesso em: 20 de junho de 2019
- GRIBBIN, J. E. (2012). *Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais*. 3^o Ed. São Paulo: Editora CENGAGE Learning. 2012.
- IBGE. (2010). Disponível em:<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/rio-de-janeiro/panorama>> Acesso em: 25 de setembro de 2019.
- INMET. (s.d.). *Instituto Nacional de Meteorologia. Estações Automáticas*. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>> Acesso em 27 de junho de 2019.
- MACAÉ. (2009). *Prefeitura Municipal de Macaé*. Fonte: Disponível em <<http://www.macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/canal-fabio-franco-obras-da-ponte-em-fase-de-conclusao>> Acesso em 20 de junho de 2019
- MACAÉ. (2010). *Prefeitura Municipal de Macaé*. Fonte: Disponível em: <<http://www.macae.rj.gov.br/infraestrutura/leitura/noticia/obras-no-canal-da-evaldo-costa-continuam>> Acesso em 20 de junho de 2019
- MACAÉ. (2011). *Prefeitura Municipal de Macaé*. Fonte: Disponível em: <<http://www.macae.rj.gov.br/infraestrutura/leitura/noticia/nova-elevatoria-ja-recebe-estrutura-de-concreto-premoldado-e-predios-de-alvenaria>> Acesso em 20 de junho de 2019
- MACAÉ. (2014). *Diagnóstico Geral do Município de Macaé. Revisão do Plano Diretor. Prefeitura Municipal de Macaé*. Macaé: Janeiro de 2014.
- MIGUEZ, M. G., VERÓL, A. P., & REZENDE, O. M. (2016). *Drenagem Urbana: Do projeto tradicional à sustentabilidade*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.
- MP. (2016). Disponível em: <<http://mpterraplenagem.com.br/a-necessidade-da-drenagem-urbana/>> Acesso em: 25 de setembro de 2019.
- NF NOTÍCIAS. (2019). *O Jornal do Norte Fluminense*. Fonte: Disponível em <<http://www.nfnoticias.com.br/noticia-16273/macae-em-estado-de-atencao-para%EF%BF%BDchuva-de-mais-de-60-milimetros>> Acesso em: 20 de junho de 2019
- NOTÍCIAS MACAÉ. (2019). Fonte: Disponível em: <<https://www.noticiasmacae.com/geral/chuva-forte-atinge-macae-e-provoca-alagamentos-por-toda-a-cidade>> Acesso em: 20 de junho de 2019
- ODEBATEON. (2017). Fonte: Disponível em: <<https://www.odebateon.com.br/site/noticia/detalhe/40433/pesquisador-fala-dos-alagamentos-em-macae->> Acesso em: 20 de junho de 2019
- OpenTopoMap. (s.d.). Disponível em <<https://opentopomap.org/#map=16/-22.37833/-41.78495>> Acesso em 12 de junho de 2019.
- POMPÊO, C. A. (2000). *DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL*. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 5 n.1 Jan/Mar 2000, 15-23.
- PRUSKI, F. F., SILVA, D. D., TEIXEIRA, A. d., CECÍLIO, R. A., SILVA, J. M., & GRIEBELER, N. P. (2006). *Hidros: dimensionamento de sistemas hidroagrícolas*. Viçosa: Editora UFV, 2006.
- QGIS. (s.d.). Disponível em <<https://qgis.org/en/site/>> Acesso em 12 de junho de 2019.
- RIGHETTO, A. M. (2009). *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*. Rio de Janeiro: ABES, 2009.
- RIO DAS OSTRAS. (2012). *Prefeitura Municipal de Rio das Ostras*. Disponível em: <<http://www.macae.rj.gov.br/noticias/leitura/noticia/ambiente-detecta-assoreamento-no-vertedouro-de-imboassica>> Acesso em 24 de

- setembro de 2019.
- SÃO PAULO. (2012). *Manual de drenagem e manejo de águas pluviais*. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. Prefeitura de São Paulo. São Paulo: Volume I, 2012.
- SAYD, J. L., & BRITTO, A. L. (2016). ESTUÁRIO DO RIO MACAÉ: O PAPEL DAS OBRAS HIDRÁULICAS NA CONFIGURAÇÃO DO ESPAÇO URBANO. *XIV Seminário de História da Cidade e do Urbanismo. Cidade, Arquitetura e Urbanismo: Visões e Revisões do Século XX*. 2016.
- TOPODATA. (s.d.). Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>> Acesso em 12 de junho de 2019.
- TOPOGRAPHIC. (s.d.). Disponível em: <<https://pt-br.topographic-map.com/maps/gicm/Macaé/>> Acesso em 12 de junho de 2019.
- TUCCI, C. E. (1997). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH. 2º Edição, v. 4, 1997.
- TUCCI, C. E. (2002). *Gerenciamento da Drenagem Urbana*. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Volume 7, nº 1. Janeiro/Março 2002, p. 5-27.
- WILKEN, P. S. (1978). Engenharia de drenagem superficial. São Paulo: CETESB p. 477.