

**INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CÂMPUS FLORIANÓPOLIS**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**  
**CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**GUSTAVO OLIVEIRA DUARTE**

**AVALIAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM ARTIFICIAL DE  
UMA BACIA HIDROGRÁFICA COM O AUXÍLIO DE TÉCNICAS  
DE SENSORIAMENTO REMOTO**

**FLORIANÓPOLIS, OUTUBRO DE 2020**

**INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CÂMPUS FLORIANÓPOLIS**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA CONSTRUÇÃO CIVIL**  
**CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**GUSTAVO OLIVEIRA DUARTE**

**AVALIAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM ARTIFICIAL DE UMA  
BACIA HIDROGRÁFICA COM O AUXÍLIO DE TÉCNICAS DE  
SENSORIAMENTO REMOTO**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Dra. Maurília de Almeida Bastos

**FLORIANÓPOLIS, OUTUBRO DE 2020**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Duarte, Gustavo  
AVALIAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM ARTIFICIAL DE UMA BACIA  
HIDROGRÁFICA COM O AUXÍLIO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO  
REMOTO / Gustavo Duarte ; orientação de Maurília  
De Almeida Bastos. - Florianópolis, SC, 2020.  
82 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal  
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado  
em Engenharia Civil. Departamento Acadêmico  
de Construção Civil.  
Inclui Referências.

1. Bacia Hidrográfica. 2. Sensoriamento remoto.  
3. Drenagem Urbana. 4. Método Racional. 5. Vazão. I. De  
Almeida Bastos, Maurília . II. Instituto Federal de Santa  
Catarina. Departamento Acadêmico de Construção  
Civil. III. Título.

# AVALIAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM ARTIFICIAL DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA COM O AUXÍLIO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Gustavo Oliveira Duarte

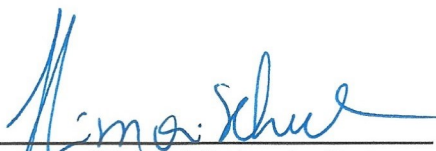
Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Bacharel em Engenharia Civil, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Florianópolis, 10 de novembro de 2020.



---

Prof. Maurília de Almeida Bastos, Dra.  
Orientadora  
IFSC Campus Florianópolis



---

Prof. Fernanda Simoni Schuch, Dra.  
IFSC Campus Florianópolis



---

Prof. Rolando Nunes Córdova, Dr  
IFSC Campus Florianópolis

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que contribuíram no decorrer desta jornada, em especialmente: A Deus, a quem devo minha vida. A minha família que sempre me apoiou nos estudos e nas escolhas tomadas. A orientadora Prof. Maurília de Almeida Bastos que teve papel fundamental na elaboração deste trabalho. Aos meus colegas pelo companheirismo e disponibilidade para me auxiliar em vários momentos.

## RESUMO

Devido ao crescimento populacional na cidade de Florianópolis nos últimos vinte anos, identificados pelo aumento na impermeabilização do solo, causando o escoamento superficial maior das águas pluviais. Esse trabalho buscou avaliar a capacidade de escoamento em dois canais existentes há 20 anos nas sub-bacias hidrográficas do bairro Saco dos Limões. Para esta avaliação, utilizou-se as técnicas de sensoriamento remoto, através do software QGIS e o acesso aos projetos dos canais. Também, nesta pesquisa identificou-se os parâmetros de caracterização fisiográficas das áreas de estudo: Coeficiente de Compacidade, fator de forma, índice de circularidade, densidade de drenagem, bem como a caracterização de uso e ocupação do solo. Com a caracterização da ocupação da região foi possível calcular o Coeficiente de escoamento superficial ponderado, para Área 1 de 0,71 e para Área 2 de 0,64. Utilizando a equação de chuva da região determinou-se para os tempos de concentração, equivalente a 6,79 h para a Área 1 e 6,05h para a Área 2. Com estes valores foi possível aplicar o Método Racional e obter as vazões de contribuição de 14,17 m<sup>3</sup>/s para Área 1 e de 12,01 m<sup>3</sup>/s para Área 2. Com os dados do projeto, pode-se comparar com as seções transversais dos canais onde a capacidade de escoamento é de 29,47 m<sup>3</sup>/s para Canal 1 e de 20,73 m<sup>3</sup>/s para Canal 2. Analisando as capacidades de escoamento nos canais, observa-se que a vazão de contribuição da Área 1 corresponde a 48% da capacidade de escoamento do Canal 1. E a vazão de contribuição da Área 2 corresponde a 58% da capacidade de escoamento do Canal 2. Com as constatações apresentadas e com a atual situação das áreas objeto desta pesquisa, os canais absorvem as vazões de contribuição. Porém, fica o alerta para o crescimento urbano local, no que tange às ações de planejamentos. Apontando para a necessidade de incluir em seus protocolos de prevenção, medidas de controles estruturais e não estruturais adequadas à realidade local.

**Palavras-Chave:** Bacia Hidrográfica, Sensoriamento Remoto, Drenagem Urbana, Método Racional, Vazão.

## ABSTRACT

Because the population growth in the city of Florianópolis in the last twenty years, are identified by the increase in the waterproofing of the soil, causing greater runoff from rainwater. This work search to evaluate the flow capacity in two channels that existed 20 years ago in the hydrographic sub-basins of the Saco dos Limões neighborhood. For this evaluation, remote sensing techniques were used, using the QGIS software and access to channel projects. Also, in this research, the parameters of physiographic characterization of the study areas were identified, such as: Compactness coefficient, form factor, circularity index, drainage density, as well as the characterization of land use and occupation. With the characterization of the occupation of the region it was possible to calculate the weighted runoff coefficient, for Area 1 of 0.71 and for Area 2 of 0.64. Using the region's rain equation, it was determined for the concentration times, equivalent to 6.79 h for Area 1 and 6.05 h for Area 2. With these values it was possible to apply the Rational Method and obtain the contribution flows of 14, 17 m<sup>3</sup> / s for Area 1 and 12.01 m<sup>3</sup> / s for Area 2. With the project data, it can be compared with the cross sections of the channels where the flow capacity is 29.47 m<sup>3</sup> / s for the Channel 1 and 20.73 m<sup>3</sup> / s for Channel 2. Analyzing the flow capacities in the channels, it is observed that the contribution flow of Area 1 corresponds to 48% of the flow capacity of Channel 1. And the contribution flow of the Area 2 corresponds to 58% of the flow capacity of Channel 2. With the findings presented and with the current situation of the areas object of this research, the channels absorb the flow of contribution. However, there is an alert for local urban growth, with regard to planning actions. Pointing out the need to include in its prevention protocols, structural and non-structural control measures appropriate to the local reality.

Keywords: hydrographic basin, remote sensing, urban drainage, rational method, flow

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS .....	7
2.1 Objetivo Geral .....	7
2.2 Objetivos específicos .....	7
3 REVISÃO DA LITERATURA .....	8
3.1 Uso do sensoriamento remoto e imagens como instrumento auxiliador ..	8
3.1.1 Sensores remotos .....	8
3.1.2 Características das imagens de sensoriamento remoto.....	9
3.2 Bacias Hidrográficas .....	17
3.3 Método racional.....	36
3.4 Macrodrenagem .....	39
4. MÉTODO.....	42
4.1. <b>Etapa 1:</b> Delimitação das áreas de contribuição dos canais existentes	42
4.1.1 Localização da área de estudo.....	43
4.1.2 Delimitação da área contribuição atual para os canais .....	44
4.2 <b>Etapa 2:</b> Caracterizou-se fisiograficamente as áreas de contribuição ...	46
4.2.1 Caracterização do uso do solo para classificação das áreas .....	47
4.2.2 Tempo de concentração e intensidade de chuva das áreas de contribuição.....	47
4.3 <b>Etapa 3:</b> Aplicação do método Racional e avaliação da capacidade de escoamento hidráulico dos canais .....	49
5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E ANÁLISES .....	55
5.1 Delimitação da área contribuição atual para os canais .....	55
5. 2 Caracterização fisiográfica das áreas de contribuição .....	57
5.2.1 Características da Sub-bacia do Saco dos Limões .....	57
5.2.2 Caracterização do uso do solo para classificação das áreas .....	58
5.2.3 Tempo de concentração e intensidade de chuva da área de contribuição.....	61
5.3 <b>Etapa 3:</b> Aplicação do método Racional e avaliação da capacidade de escoamento hidráulico dos canais .....	62
5.3.1 Método Racional .....	63
5.3.2 Avaliação da capacidade de escoamento hidráulico dos canais.....	63
6. CONCLUSÃO.....	69
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71

## 1 INTRODUÇÃO

A drenagem urbana se refere ao conjunto de medidas estruturais e não estruturais, que tem como finalidade a minimização de riscos e dos prejuízos causados por inundações e alagamentos. Toda bacia hidrográfica é composta por rede de elementos de drenagem como córregos, riachos, rios e pântanos, que naturalmente se formaram e se mantêm em função da dinâmica das precipitações e das características do terreno como, declividade, cobertura do solo, tipo do solo, entre outros. Com o aumento da urbanização nas cidades, a cobertura do solo da bacia hidrográfica é alterado substancialmente pela introdução de elementos artificiais, e assim, é necessário garantir um bom funcionamento do sistema viário através da microdrenagem que é formada pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas, bocas de lobo, galerias de drenagem, sistemas de retenção e infiltração dos lotes e vários outros dispositivos relacionados ao sistema viário (MARTINS, 2012).

As macrodrenagens, nas áreas urbanas, herdaram o papel da malha hídrica original, substituindo os rios, córregos e riachos que foram substituídos por canalizações, túneis, elevatórias, reservatórios de retenção e detenção, barragens entre outros. Dessa forma, pode-se afirmar que a microdrenagem é vinculada aos sistemas viários, sendo projetada, construída e operada, além de servir de porta de entrada para a macrodrenagem, que recebe todo o impacto da ação urbana sobre a bacia (MARTINS, 2012).

As superfícies dos terrenos possuem uma conexão direta com as atividades humanas, e o comportamento dessas superfícies é definido diretamente pela geomorfologia e geologia, bem como as condições de cobertura do solo e do clima atuante nas diversas regiões. O conhecimento mais detalhado do relevo de uma região qualquer e o seu subsolo auxilia no controle dos impactos ambientais. Os impactos gerados no meio físico mantêm relação direta com o meio ambiente, impactando ecossistemas e comprometem a qualidade de vida do ser humano. O emprego de geotecnologias permite um estudo mais abrangente e processamento de informações com maior rapidez, como Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas, o que possibilita adaptar e aprimorar os levantamentos em geociências (HOOFF et. al. 2010)

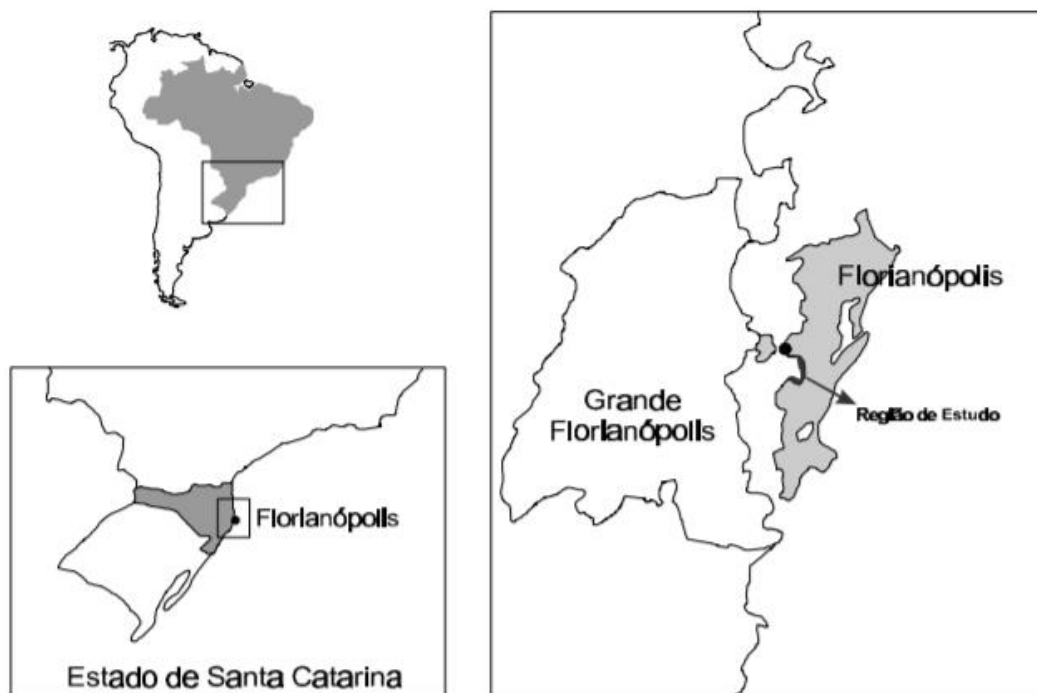
Durante muitos anos, a infraestrutura de drenagem no município de Florianópolis teve sua implantação sem incorporar os critérios técnicos, resultando em um sistema subdimensionado, por ser adotado soluções pontuais, aliada à utilização inadequada e má conservação e manutenção da rede de drenagem (PMF, 2009).

A topografia acidentada do município resultou no surgimento de muitos leitos naturais que se tornaram elementos fundamentais para que o sistema de drenagem funcionasse. Esses canais foram aproveitados, retificados, revestidos e em alguns casos até cobertos, porém o funcionamento destes canais tem sido prejudicado por causa da falta de manutenções preventivas, que em muitos casos diminuiria o problema enfrentado pela cidade referente à drenagem urbana (PMF, 2009).

Até o fim da década de 80, a cidade de Florianópolis contava com a parceria do Departamento Nacional de Obras e Saneamento (DNOS) para construir novos canais, bem como para retificar e dragar os canais já existentes. Essa ação do governo federal tinha como objetivo principal evitar as enchentes, assim como a epidemia da malária nas cidades brasileiras. Após a extinção do DNOS, o município ficou abandonado pela gestão pública com relação a sua macrodrenagem, resultando no assoreamento dos canais devido à pouca manutenção (PMF, 2009).

A região estudada refere-se a área em que se localiza os canais do aterro do Saco dos Limões, conforme apresentada na Figura 1. Situa-se na parte oeste da ilha de Santa Catarina entre as latitudes  $27^{\circ} 35'$  e  $27^{\circ} 40'$  e longitudes  $48^{\circ} 30'$  e  $48^{\circ} 35'$ . Ele se encontra na região formada pelo Sub-Distrito do Saco dos Limões e têm uma área territorial de aproximadamente de 20,45 km<sup>2</sup>, é limitado pela orla marítima atual desde a ponta do Saco dos Limões até a foz do Rio Tavares, no acesso ao Aeroporto Hercílio Luz. Na parte terrestre da nascente do ribeirão do Fraga até sua foz na Baía Sul, da nascente do Ribeirão do Fraga segue pelo divisor de águas que correm para as Baías Norte e Sul da ilha de Santa Catarina, conhecidos pelos nomes de Morro da Carvoeira, Morro do Pantanal, Morro do Tavares e do Sertão até alcançar as nascentes do Rio Tavares, indo por este até sua foz (TRINDADE, 2000).

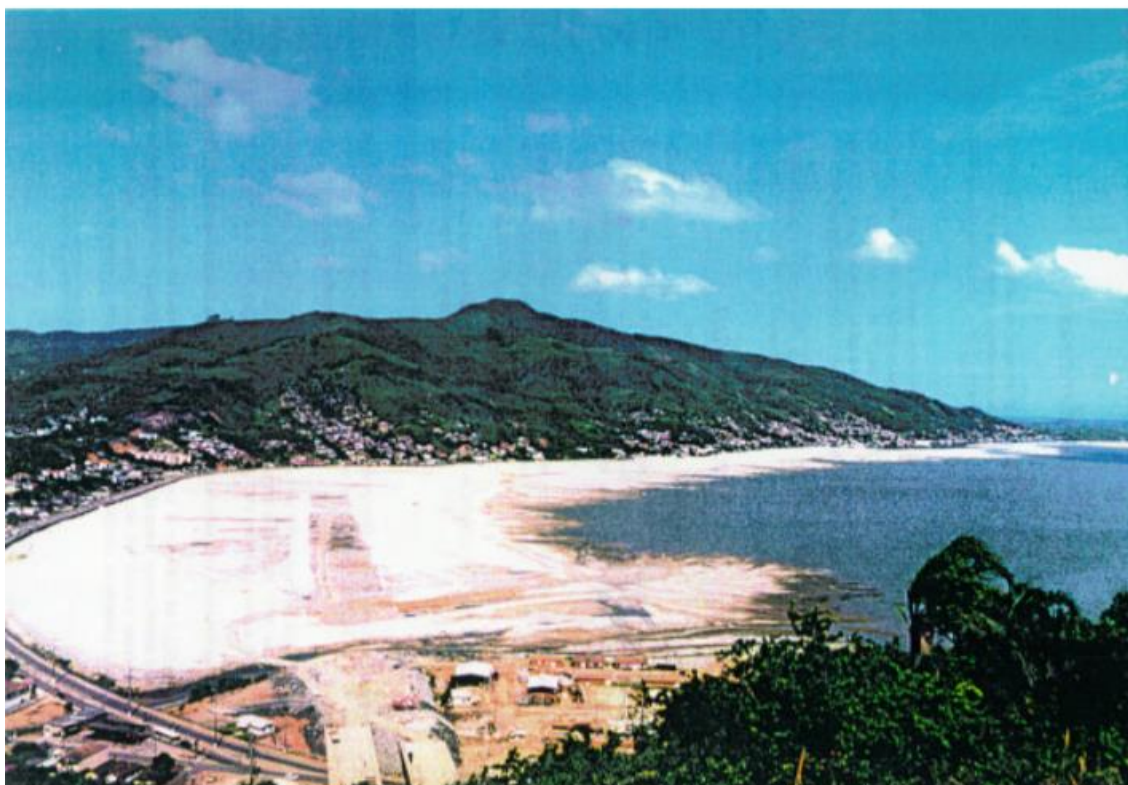
Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Adaptado de Trindade (2000)

O projeto do aterro do Saco dos Limões, proposto pelo Governo de Estado de Santa Catarina, foi a construção de um aterro hidráulico em terreno subaquático cedido pela União Federal ao Estado (vide Figura 2). A expansão urbana proposta pelo “Plano Piloto” elaborado pelo Núcleo de Estudos Catarinenses (NEC), previa a construção de edificações de até 24 pavimentos, de elevado padrão destinado para uso residencial e comercial. As obras iniciaram em junho de 1996 e após conseguirem reduzir o tempo de dragagem de 20 para 10 meses, com a substituição por outro equipamento com maior poder de sucção. Em fevereiro de 1997 haviam sido finalizados os serviços de dragagem, porém não foi concluído os trabalhos de enrocamento previsto para toda a orla como proteção contra os efeitos das ondas e marés. O material utilizado para fazer o enrocamento foi retirado das escavações dos túneis que dariam um novo acesso à região. A não finalização do enrocamento gerou o rompimento hidráulico do aterro em sua extremidade sul, resultando na fuga do material e no aumento da área aterrada na direção da Foz do Rio Tavares (TRINDADE, 2000).

Figura 2: Aterro hidráulico em construção no bairro Saco dos Limões, 1996/1997



Fonte: Adaptado de Trindade (2000)

As adversidades construtivas levaram a construção de um canal ao longo da Av. Waldemar Vieira e Jorge Lacerda, com o intuito de permitir o escoamento das águas pluviais das áreas adjacentes. Foram também construídos outros canais perpendiculares a este, como solução provisória para os problemas de drenagem ocasionados pela construção do aterro (TRINDADE, 2000).

Após a construção dos canais, houve um crescimento urbano e populacional bastante acentuado na cidade de Florianópolis. No ano 2000, a cidade tinha 341.781 pessoas (IBGE, 2010), enquanto a população estimada para 2019 são de 500.973 pessoas (IBGE, 2010), resultando num aumento em torno de 46,5 %. O crescimento populacional é indicativo de um dos fatores que contribuem para o aumento no grau de impermeabilização do solo, contribuindo para um maior escoamento superficial das águas pluviais.

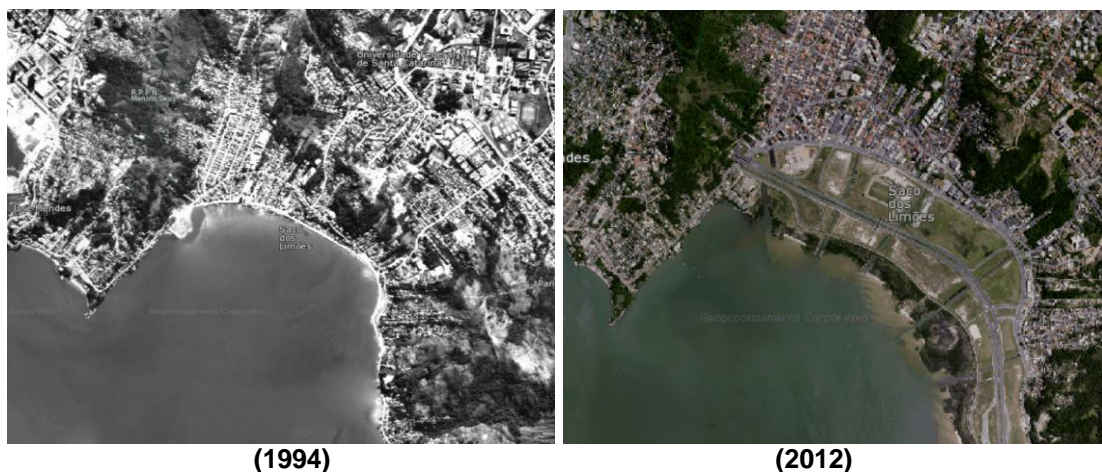
Historicamente, a ocupação iniciou-se na região a partir do século XIII devido a expansão do centro urbano, se intensificando depois de 1920. O

processo de ocupação das encostas no bairro Saco dos Limões iniciou-se a partir de 1960, essa ocupação desordenada nas encostas foi através de ruas perpendiculares às vias principais, não possuindo um sistema viário que estruturasse essa ocupação, contendo vias paralelas às curvas de níveis do morro, as ocupações foram tão intensas que em algumas residências o acesso era somente através de escadas, sem o tráfego de automóveis (TRINDADE, 2000).

A análise de uso do solo apresentada nos Estudos de Impacto Ambiental realizadas pelo Núcleo de Estudos Catarinenses (NEC) e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em 1991, para a construção do aterro marinho da Via Expressa Sul, indicou a predominância de residências unifamiliares e destaca o baixo padrão das residências que ocupavam as encostas do morro. No estudo da UFSC e NEC é mostrado como as características de uso do solo, a fixação das atividades terciárias ao longo das vias de maior densidade viária, tanto no bairro Saco dos Limões como no da Costeira de Pirajubaé, tornaram propiciaram o desenvolvimento urbano local. (TRINDADE, 2000).

A partir dos anos 2000, com a finalização do aterro da Baía Sul, pode-se identificar uma diversidade muito maior de serviços oferecidos, principalmente ao longo da av. Jorge Lacerda, da av. Valdemar Vieira e da SC-405, bem como o surgimento, em toda a região, de residências de diversos padrões e estilos, variando de unidades populares a unidades de padrão classe média alta. Isto denota a heterogeneidade de ocupação na área, nos últimos 45 anos, bem como um acelerado processo de valorização imobiliária, principalmente a partir da implantação do aterro para a construção da Via Expressa Sul (TRINDADE, 2000). Na Figura 3, apresenta-se a mudança no bairro antes e depois da implantação do aterro da Baía Sul.

Figura 3: Antes e depois da execução do Aterro da Baía Sul



Fonte: adaptado de PMF (2020)

Atualmente, está sendo executada nessa região do bairro dos Sacos dos Limões a nova obra do Anel Viário de Florianópolis, em que será construída uma faixa exclusiva para a passagem de ônibus (BRT) que contornará grande parte da cidade. Essa nova obra destinará todo o escoamento da água pluvial através de sua microdrenagem para os canais. Pela atual configuração local diante da obra que está sendo executada, este trabalho contribuirá para avaliar o escoamento superficial e a contribuição para os canais existentes (STROISCH, 2020).

Diante da constatação local e ilustrado na Figura 3, vê-se a aceleração e o crescimento urbano na região do Sacos do Limões, levando a uma impermeabilização do solo maior comparada a 20 anos atrás, quando foi realizado o dimensionamento e construção dos canais na região. A atual realidade da região motivou a abordagem desta temática neste trabalho. Trazendo como área de estudo os dois canais existente na região da Via Expressa Sul (Rodovia 401).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso é avaliar o escoamento da macrodrenagem existente nas sub-bacias hidrográficas do bairro Saco dos Limões na cidade de Florianópolis, quanto a sua capacidade de escoamento.

### 2.2 Objetivos específicos

- a) Delimitar a área de contribuição dos canais existentes;
- b) Caracterizar fisiograficamente as duas sub-bacias hidrográficas;
- c) Avaliar a atual capacidade de escoamento nos canais existentes, em comparação aos dados do projeto reabilitação da Rodovia SC 401, no trecho da Baía Sul.

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

Para o embasamento do desenvolvimento do Trabalho de Conclusão de Curso, apresenta-se a seguir alguns conceitos, que seguem.

#### 3.1 Uso do sensoriamento remoto e imagens como instrumento auxiliador

Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (FLORENZANO, 2011), em outras palavras, sensoriamento remoto pode ser definido como a técnica que permite a aquisição de informações da natureza de objetos sem contato físico com os mesmos (MENDES e CIRILO, 2013). A função primordial do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração da informação contida nas imagens, para posterior interpretação (CRÓSTA, 2002).

##### 3.1.1 Sensores remotos

Os sensores remotos são equipamentos que captam e registram a energia refletida ou emitida pelos elementos da superfície terrestre. Existem sensores portáteis e instalados em plataformas: terrestre, aéreas (balões, helicópteros e aviões) e orbitais (satélites artificiais). Alguns exemplos de sensores são as câmeras fotográficas, radares, câmeras de vídeo e sistemas de varreduras (escâneres) (FLORENZANO, 2011).

Existem sensores capazes de captarem dados de diferentes regiões do espectro eletromagnético. Dependendo do tipo, o sensor capta dados de uma ou mais regiões do espectro (sensor multiespectral). O olho humano é um exemplo de sensor natural que enxerga somente a luz ou energia visível, já sensores artificiais permitem obter dados de regiões de energia invisível ao olho humano. (FLORENZANO, 2002).

As câmeras fotográficas e as de vídeo captam a energia da região do visível e infravermelho próximo. O filme das câmeras fotográficas funciona como um sensor que capta e registra a energia proveniente de um lugar ou de um objeto (FLORENZANO, 2002).

Os sensores remotos do tipo radar têm o funcionamento diferente comparado as câmeras digitais e de vídeo, pois eles produzem uma fonte de energia própria na região de micro-ondas, obtendo imagens tanto durante o dia como a noite e em qualquer condição meteorológica (incluindo tempo chuvoso ou nublado). Essa é a principal vantagem dos sensores do tipo radar, conhecidos também por sensores ativos, porque eles enviam pulsos de energia para a superfície, assim eles têm vantagem comparado aos sensores ópticos que dependem da luz do sol, e por isso conhecidos como sensores passivos. Os sensores do tipo radar emitem um sinal de energia para um objeto e registra o sinal que retorna desse objeto. Da mesma forma que é possível transmitir uma partida de futebol através de várias frequências de energia, denominadas canais, é possível determinar imagens de uma mesma área, em diferentes faixas espectrais, denominadas de bandas ou canais (FLORENZANO, 2002).

### 3.1.2 Características das imagens de sensoriamento remoto

As imagens extraídas através do sensoriamento remoto possuem algumas características que diferenciam elas das outras imagens digitais. As principais características que a distinguem são a estrutura e a resolução das imagens (CRÓSTA, 2002).

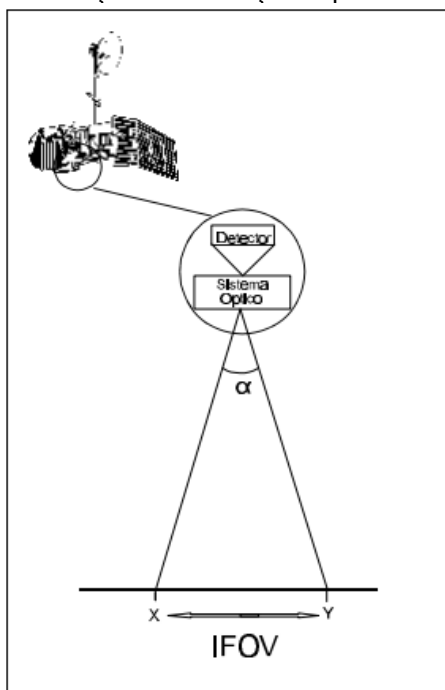
As imagens de sensoriamento remoto são constituídas por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou grid. Cada pedaço (cela) dessa malha tem sua localização definida em um sistema de coordenadas do tipo “linha e coluna” representadas por “x e y” respectivamente. Cada cela de um grid recebe o nome de pixel, derivado do inglês “picture element”. Para um mesmo sensor remoto, cada pixel representa sempre uma área com as mesmas dimensões na Terra (CRÓSTA, 2002).

A cela também possui um atributo numérico “z”, que mostra o nível de cinza dessa cela, variando do preto ao branco, esse nível de cinza é conhecido como DN (“Digital Number”). O DN de uma cela representa a intensidade de energia eletromagnética para a área de superfície da Terra correspondente ao tamanho do pixel (CRÓSTA, 2002).

A resolução das imagens de sensoriamento remoto se desdobra em três diferentes e independentes parâmetros: resolução espacial, resolução espectral e resolução radiométrica (CRÓSTA, 2002).

A resolução espacial é definida como a capacidade do sensor em enxergar os objetos na superfície terrestre, quanto menor o objeto possível a ser observado, maior será sua resolução espacial. A forma mais comum para determinar a resolução espacial de um sensor é pelo campo instantâneo de visada ou IFOV. O campo instantâneo de visada é determinado pelas propriedades geométricas do sistema sensor e define a área do terreno que é visto pelo instrumento sensor de uma dada altitude e a um dado momento. Assim, o IFOV é obtido através das dimensões da área vista no terreno, como apresentado na Figura 4 (CRÓSTA, 2002).

Figura 4: Determinação da resolução espacial através da IFOV



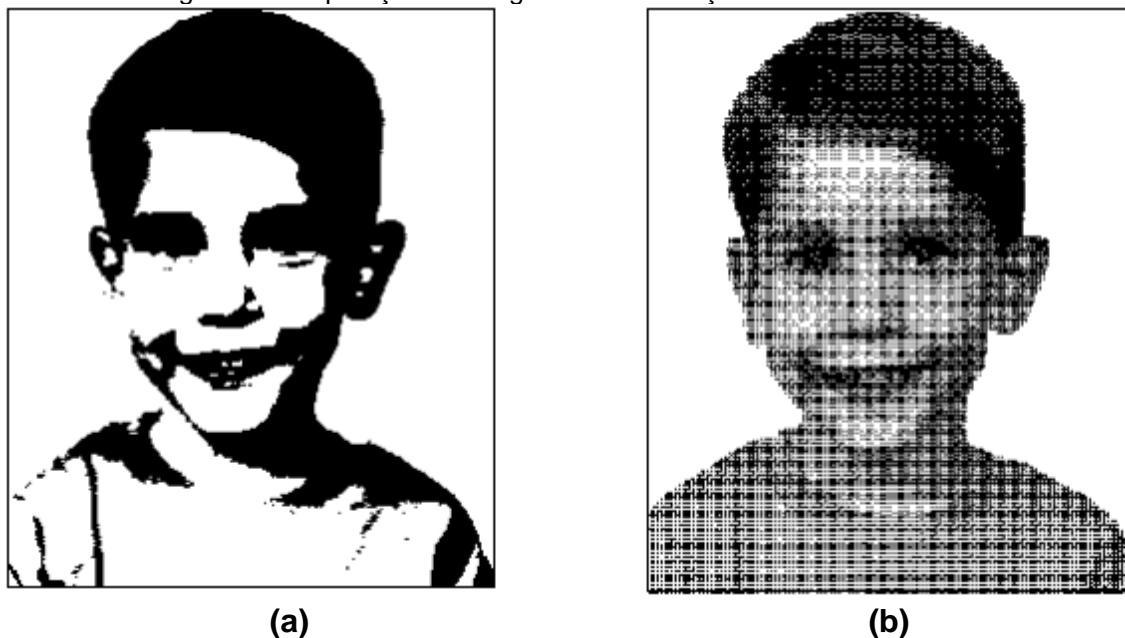
Fonte: adaptado de Crósta (2002)

A resolução espectral pode ser definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela largura do intervalo de comprimento de onda coberto por cada banda. O termo banda pode ser exemplificado através da comparação entre uma fotografia de um mesmo objeto em preto e branco e outra colorida, a fotografia em preto e branco representa o objeto apenas em uma

banda espectral, enquanto a fotografia colorida representa em três bandas espectrais, vermelha, azul e verde, que quando combinadas por superposição, mostra o objeto em cores. Quanto maior o número de bandas e menor a largura de intervalo, maior será sua resolução espectral (CRÓSTA, 2002).

A resolução radiométrica é representada pelo número de níveis digitais, representados pelos níveis de cinza da imagem, quanto maior o número de níveis, maior será sua resolução radiométrica. Para compreender melhor esse conceito, é apresentado na Figura 5 duas imagens em que a Figura 5a apresenta apenas dois níveis (preto e branco) e a Figura 5b apresenta 32 níveis de cinza entre o branco e o preto (CRÓSTA, 2002).

Figura 5: Comparação de imagens com resolução radiométrica diferentes



Fonte: adaptado de Crósta (2002)

O conhecimento de dados a respeito de disponibilidade de alimentos, água e condições ambientais é extremamente importante no mundo atual. Assim, com a utilização de tecnologias como sensoriamento remoto como fonte de dados e análise de diferentes tipos de estudos. As técnicas tradicionais de determinação destes dados em campo são muito caras, impraticáveis, além de ser um processo lento e demorado, principalmente em regiões em que o acesso é muito difícil ou restrito e quando se tem a necessidade de coletar dados frequentes (semanais) por um longo período de tempo. A base da tecnologia de

sensoriamento remoto é a detecção das alterações sofridas pela radiação eletromagnéticas quando a mesma interage com os componentes da superfície terrestre. Para aferir o tipo de interação da radiação com o objeto, é imprescindível realizar algumas medidas sobre a quantidade de energia produzida pela fonte, a quantidade de energia atenuada pelo meio em que se interpõe entre a fonte e o alvo e a quantidade de energia absorvida pelo alvo. Em teoria, pode-se considerar que o sensoriamento remoto como um sistema de aquisição de dados e informações, existindo 5 componentes para conseguir fazer o processamento dos dados até o usuário final. Essa subdivisão dos componentes é mostrada abaixo e na Figura 6 (MENDES e CIRILO, 2013):

1. Fonte de energia eletromagnética;
2. Meio de transmissão
3. Alvo na superfície da Terra
4. Sensor de Plataforma
5. Sistema de processamento

Cada um destes componentes tem um papel, limitando ou controlando o que pode ser medido sobre a superfície da Terra. A Figura 6 mostra esses componentes básicos.

A informação resultante deste processo de aquisição de dados constitui uma imagem digital que pode ser descrita por uma função  $f(x,y)$ , onde  $x,y$  representam coordenadas espaciais sobre a imagem e  $f(x,y)$  uma quantidade de energia eletromagnética que alcança o sensor, dentro de uma banda espectral, a bordo de um satélite, após interagir com a superfície da Terra e a atmosfera (MENDES e CIRILO, 2013)

Figura 6: Componentes básicos do sistema de informações por sensoriamento remoto



Fonte: adaptado de Mendes e Cirilo (2013)

Trazendo estes conceitos para a temática desta pesquisa, uma característica dos recursos hídricos é a grande variabilidade espacial de suas propriedades. De uma forma geral, as amostras destas propriedades são coletadas pontualmente no terreno sendo então, assumido através de uma análise estatística. Entretanto, existe o problema em que essa abordagem da natureza apresenta uma complexa distribuição espacial destas propriedades, sendo indispensável o uso desta informação distribuída no espaço para admitir uma representação mais realística do meio ambiente. As funções que descrevem os fenômenos físicos (transformação de precipitação em escoamento, por exemplo) são dependentes da escala (espaço e tempo) em que é observado o fenômeno (MENDES e CIRILO, 2013).

Dessa forma, os dados pontuais sobre a superfície proporcionam uma grande variabilidade espacial, que pode ser classificada como estocástica, quando essa variabilidade acontece por causas aleatórias, ou determinística, quando as causas são conhecidas. Além disso, alterações na escala de estudo do fenômeno podem ocasionar uma variabilidade que pode ser inserida as variações anteriores. As fontes de variações (variabilidade espacial e escala) afetam o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas. (MENDES e CIRILO, 2013)

Nesse contexto, uma bacia hidrográfica pode ser abordada como sendo a composição de numerosos (infinitos) pontos, onde a precipitação, infiltração, evaporação e escoamento desenvolvem um balanço hídrico local. Cada um dos pontos localizados nesta bacia hidrográfica (superfície contínua) é associado a uma área na qual os valores médios são adquiridos. Esta área média age como a menor informação discernível, podendo representar uma bacia hidrográfica (MENDES e CIRILO, 2013).

O rio é o destino final da trajetória da água em uma bacia hidrográfica, ele também é o reflexo de qualquer ação que acontece e que altera de forma significativa o equilíbrio natural da bacia. Nesse sentido, o rio pode ser considerado um indicador de equilíbrio da área drenada. Essa relação de causa e efeito entre o que ocorre na superfície na bacia e o que posteriormente é transferido para o canal ou águas subterrâneas, tem sido muitas vezes negligenciada em projetos de planejamento de recursos hídricos, pois as fontes causadoras de problemas ambientais estão distribuídas ao longo do espaço da bacia. O curso d'água se coloca nesse contexto como um elemento que acumula de montante a jusante os efeitos de qualquer atividade que aconteça na bacia (MENDES e CIRILO, 2013).

Devido a fatores de heterogeneidade temporal e espacial das variáveis ambientais (tipo de solo, vegetação, topografia, clima, geologia, entre outros) e socioeconômicas (população, tipos de atividades agrícolas, números de indústrias, etc.) envolvidas por toda a bacia hidrográfica, surge a necessidade de determinar metodologias para basear no pressuposto de a vazão do rio reflete diretamente a todas as ações que acontecem a montante do ponto de análise, em termos tanto qualitativos quanto quantitativos (MENDES e CIRILO, 2013). Dessa maneira, M (1999, apud MENDES CIRILO, 2013) estabelece que é necessário indicar uma relação entre desenvolvimento e expansão das atividades humanas, caracterizadas pela alteração do uso das terras e o impacto nos cursos d' água.

Para que o planejamento e administração dos recursos hídricos possam ser exercidos de forma racional e dinâmica, é necessário a existência de informações sistematizadas e de sistemas que possam processá-las para gerar subsídios às intervenções porventura necessárias e sua operação

adequada, como também a previsão e controle dos processos naturais ou a ação do homem nas bacias hidrográficas (MENDES e CIRILO, 2013).

De acordo com Engman (1996), o futuro da hidrologia depende em grande medida da disponibilidade de dados adequados para a construção e validação dos modelos hidrológicos, papel que o sensoriamento remoto pode e deve representar. Para Rango e Shalaby (1998), existem três motivos para que se apoie na decisão de adquirir os dados através do sensoriamento remoto, são eles:

- 1) A habilidade de adquirir dados especializados em lugar de observações pontuais;
- 2) Potencial para obter dados sobre o estado da superfície terrestre em grandes extensões (precipitação, umidade do solo, água subterrânea, evapotranspiração, água de superfície e características fisiográficas das bacias), e
- 3) A habilidade, baseado nos registros dos sensores, para permitir a reconstrução de séries históricas.

Contudo, para Ávila et al (1999), indicam várias formas de aplicar o sensoriamento remoto para se obter dados referentes à hidrologia de uma região como:

a) Caracterização do uso do solo em microbacias hidrográficas. Este talvez seja um dos aspectos mais estudados nos últimos anos, e com aplicação operacional no sensoriamento remoto. No balanço hídrico, quando se estima a evapotranspiração potencial, é necessário conhecer a cobertura vegetal da microbacia. Os avanços mais significativos na avaliação do uso da terra ficam por conta dos classificadores de imagens, por vários anos utilizou-se, basicamente, a classificação por máxima verossimilhança, ou a análise de ocupação utilizando composições coloridas. O nível de detalhamento na avaliação da cobertura vegetal não era completo. Atualmente, utilizando os segmentadores, este detalhamento melhorou significativamente, permitindo a avaliação do uso da terra em escalas de até 1:20.000. O estudo recente apresentado por Rodrigues (1998), mostra a possibilidade dessas análises numa microbacia do Distrito Federal, no qual apresenta alguns complexos problemas de conflito no uso da água. A importância nesse tipo de análise é que o detalhamento permite identificar também vários níveis de degradação de

pastagens, responsáveis pelo aumento da erosão, com consequências diretas na oferta de água de superfícies dos rios e córregos.

b) Caracterização da precipitação pluviométrica. No caso específico do Brasil, a soma de vários esforços tecnológicos permitiu a confecção de mapas de distribuição pluviométrica em diversas regiões. A ANNEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), quando ainda era o antigo DNAEE, organizou, gerenciou e distribuiu os dados de chuva diária em diversos postos pluviométricos do país. Diversos estudos foram feitos através desses dados para confeccionar mapas de distribuição pluviométrica e mapa semanais de alturas pluviométricas. A importância desses estudos foi mostrar que por meio do sensoriamento remoto é possível, a partir de análises locais, interpolar e analisar com mais segurança a distribuição espaço-temporal da chuva no Brasil.

c) Disponibilidade hídrica. Neste caso, uma vez que a precipitação pluviométrica possa ser georreferenciada, utilizando os mesmos procedimentos consegue mapear a evapotranspiração potencial. O déficit hídrico climático passa a ser calculado pela diferença entre a precipitação e a evapotranspiração potencial. Esta operação é feita diretamente com os mapas gerados individualmente a partir da modelagem digital de terreno.

d) Mapeamento da rede de drenagem. Pode acontecer através de imagens de satélites ou de por meio da digitalização de cartas altimétricas. Das duas maneiras, a demarcação dos corpos d'água e a delimitação das áreas de inundação são feitas de formas automáticas.

Modelos matemáticos hidrológicos lidam com fenômenos contínuos e dinâmicos, enquanto os programas de geoprocessamento disponíveis atualmente no mercado tratam apenas com dados estatísticos e discretos. As estruturas de dados em que representa o "Mundo Real", é apresentada pelo geoprocessamento a partir de conceitos de pontos, linhas, polígonos, grades, rede de triângulos irregulares, quadrees (forma de compactação de estruturas de dados matriciais) entre outros. Na Hidráulica e Hidrologia, os sistemas a serem representados são bacias hidrográficas, aquíferos, rios, canalizações, lagos, estuários, etc., sendo a análise feita por meio de simulações do movimento da água, no espaço e no tempo, e de seus constituintes e agregados, como poluentes e partículas em suspensão, utilizando equações que

representam as leis da física. Dessa forma, o geoprocessamento usual é estático e os processos na bacia são dinâmicos (MENDES e CIRILO, 2013).

Assim, o método racional considera importante as características físicas da bacia hidrográfica como: área, declividade dos cursos d'água, tipo e cobertura vegetal e uso do solo. Portanto, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto torna-se uma ferramenta muito útil na otimização e aplicação desses métodos (TASSI, et. al. 2005).

### 3.2 Bacias Hidrográficas

De acordo com Lima (2008), uma bacia hidrográfica se entende como sendo toda a área de captação natural da água da chuva que proporciona escoamento superficial para o canal principal e seus tributários. O limite superior de uma bacia hidrográfica é o divisor de águas (divisor topográfico), e a delimitação inferior é a saída da bacia (confluência, exutório).

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é em função das características morfológicas, como sua área, forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetal etc. Para compreender as interações internas entre os fatores de forma e os processos hidrológicos de uma bacia, é necessário expressar as características da mesma em termos quantitativos (LIMA, 2008).

A drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que são chamados de bacias de drenagem, definida como a área drenada por um rio ou sistema fluvial. De acordo com o escoamento global, as bacias de drenagem podem ser classificadas em (CHRISTOFOLETTI, 1980):

a) exorreicas: quando o escoamento da água se faz de modo contínuo até o mar, isto é, quando as bacias desaguam diretamente no mar;

b) endorreicas: quando as drenagens são internas e não possuem escoamento até o mar, desembocando em lagos, ou dissipando-se nas areias do deserto, ou perdendo-se nas depressões cársicas;

c) arreicas: quando não há qualquer estruturação em bacias, como nas áreas desérticas;

d) criptorreicas: quando as bacias são subterrâneas, como nas áreas cársicas.

Da mesma forma como as bacias, também os cursos d'água possuem uma classificação, a partir do período de tempo durante o qual o fluxo ocorre, distinguem-se os seguintes tipos de rios (LIMA, 2008):

- a) perenes: há fluxo o ano todo, ou pelo menos em 90% do ano, em canal bem definido;
- b) intermitentes: de modo geral, só há fluxo durante a estação chuvosa (50% do período ou menos);
- c) efêmero: só há fluxo durante chuvas ou períodos chuvosos; os canais não são bem definidos.

Para compreender melhor o funcionamento de uma bacia hidrográfica, torna-se necessário expressar quantitativamente as manifestações de forma, como a área da bacia, sua forma geométrica, bem como os de processos de escoamento superficial, entre outros (LIMA, 2008).

Vários parâmetros físicos de uma bacia foram desenvolvidos de forma que eles fossem aplicados a bacia como um todo ou para apenas algumas características do sistema. Esses parâmetros e suas inter-relações podem ser classificados como (LIMA, 2008):

- a) Parâmetros físicos: área, fator de forma, compacidade, altitude média, declividade média, densidade de drenagem, número de canais, direção e comprimento do escoamento superficial, comprimento da bacia, hipsometria (relação área-altitude), comprimento dos canais, padrão de drenagem, orientação, rugosidade dos canais, dimensão e forma dos vales, índice de circularidade, entre outros;
- b) Parâmetros geológicos: tipos de rochas, tipos de solos, tipos de sedimentos fluviais, entre outros;
- c) Parâmetros de vegetação: tipos de cobertura vegetal, espécies, densidade, índice de área foliar, biomassa, entre outros;
- d) Inter-relações: Lei do Número de Canais (razão de bifurcação), Lei do Comprimento dos Canais (relação entre comprimento médio dos canais e ordem), Lei das Áreas (relação entre área e ordem), entre outros.

Quando representada em um plano, uma bacia hidrográfica tem certa semelhança a forma geral de uma pera. Dependendo da interação clima-geologia, entretanto, várias outras formas geométricas podem existir. Em

qualquer situação a superfície da bacia é côncava, a qual determina a direção geral do escoamento. A forma é uma das características físicas mais difíceis de ser expressas em termos quantitativos. A forma da bacia, bem como a forma do sistema de drenagem, pode ser influenciada por algumas outras características da bacia, principalmente pela geologia. A forma pode, também, atuar sobre alguns dos processos hidrológicos, ou sobre o comportamento hidrológico da bacia (LIMA, 2008).

Os parâmetros físicos de uma bacia são descritos também por Teodoro et al. (2005, apud Tonello 2007) que propôs diversas análises a serem realizadas dentro de uma bacia hidrográfica, sendo as características geométricas, de relevo e da rede de drenagem. Abaixo apresenta-se a Tabela 1 com uma subdivisão entre elas:

Tabela 1: Características morfométricas de bacias hidrográficas.

Características Morfométricas	Tipos de Análises
Características Geométricas	Área total
	Perímetro total
	Coefficiente de Compacidade (Kc)
	Fator de forma (F)
	Índice de circularidade (IC)
	Padrão de drenagem
Características do relevo	Orientação
	Declividade mínima
	Declividade média
	Declividade máxima
	Altitude mínima
	Altitude média
	Altitude máxima
Características da rede de drenagem	Declividade média do curso d'água principal
	Comprimento do curso d'água principal
	Comprimento total dos cursos d'água
	Densidade de drenagem (Dd)
	Ordem dos cursos d'água

Fonte: Teodoro et. al. (2007)

Dentro das características geométricas, há análises importantes que são mais utilizadas, como:

Fator de Forma: Horton (1932, apud LIMA, 2008) propôs que o fator de forma pode ser quantificado a partir da Equação 1:

$$F = \frac{L}{L_{axial}} \quad (1)$$

Onde:

F: Fator de forma

L: Largura média da bacia (km)

$L_{axial}$ : Comprimento axial da bacia (km)

Esse índice apresenta um indicativo se nessa bacia hidrográfica tem tendência a inundações, ou seja, quando o fator de forma fica mais próximo de 1, maior tendência a inundações terá essa bacia hidrográfica (LIMA, 2008), conforme descrito abaixo:

$0,75 \leq F \leq 1,00$ : BH sujeita a cheias;

$0,50 \leq F < 0,75$ : BH com tendência mediana cheias; e

$F < 0,50$ : BH não é sujeita a cheias.

Índice de circularidade: De acordo com Cardoso, (2006, apud TEODORO et. al. 2007, p 149) o índice de circularidade é a verificação do quanto a bacia aproxima-se a forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada, segundo mostrado na Equação 2:

$$IC = 12,57 \cdot \frac{A}{P^2} \quad (2)$$

Onde:

IC: Índice de circularidade < 1

A: Área da bacia (km<sup>2</sup>)

P: Perímetro da bacia (km)

Assim como no fator de forma, quanto mais se aproxima de 1, mais próxima da forma de círculo terá a bacia hidrográfica.

Coeficiente de Compacidade: A partir de Cardoso (2006, apud TEODORO et. al. 2007, p 149) o coeficiente de compacidade relaciona a forma da bacia com um círculo. Constitui a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual ao da bacia, quanto mais irregular for uma bacia, maior será seu coeficiente de compacidade, assim, um coeficiente mínimo representa uma bacia circular, enquanto para uma bacia alongada o valor é maior que 1. O coeficiente de compacidade é determinado pela Equação 3 abaixo:

$$Kc = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Onde:

Kc: Coeficiente de compacidade

A: Área da bacia (km<sup>2</sup>)

P: Perímetro da bacia (km)

O coeficiente de compacidade apresenta o indicativo se nessa bacia hidrográfica tem tendência a inundações. Igualmente ao fator de forma, a aproximação ao valor de 1,50, maior tendência a inundações terá essa bacia hidrográfica (LIMA, 2008), conforme descrito abaixo:

$1,00 \leq Kc < 1,25$ : BH com alta propensão a grandes cheias;

$1,25 \leq Kc < 1,50$  BH com tendência mediana a grandes cheias; e

$Kc \geq 1,50$ : BH não é propensa a grandes cheias

De acordo com Christofolletti (1980), rede de drenagem ou hidrográfica são canais de escoamento inter-relacionados que formam uma bacia hidrográfica. Dentro da bacia, a forma da rede de drenagem apresenta variações, de uma maneira geral, se predomina nas bacias a forma dendrítica, a qual deriva da interação clima-geologia em regiões de litologia homogênea. Num certo sentido, é considerado a fase terrestre do ciclo da água, pode-se dizer que

a água procura evadir-se da terra para o mar. Assim fazendo, torna-se organizada em sistemas de drenagem, os quais refletem principalmente a estrutura geológica local (LIMA, 2008).

A classificação sistemática da configuração de drenagem foi levada a efeito por vários especialistas, as quantidades de classificações variam de autor para autor, pois alguns especialistas consideram seu interesse nos tipos fundamentais na drenagem, enquanto outros estendem sua análise aos tipos derivados e mais complexos. Utilizando-se do critério geométrico, da disposição fluvial, restringe os tipos de rede de drenagem que são (CHRISTOFOLETTI, 1980):

a) Dendrítica: É conhecida também como arborescente, porque seu desenvolvimento é semelhante à uma configuração de uma árvore, associando a corrente principal como sendo o tronco da árvore, os tributários aos seus ramos e as correntes de menor categoria aos raminhos e folhas. Os ramos formados pelas correntes tributárias distribuem-se em todas as direções sobre a superfície do terreno, e se unem formando ângulos agudos de graduações variadas, mas nunca formando um ângulo reto. A presença de confluências em ângulos retos, no padrão dendrítico, constitui anomalias que se deve atribuir, de uma forma geral, aos fenômenos tectônicos. Esse padrão é, quase sempre, desenvolvido sobre rochas de resistência uniforme ou em estruturas sedimentares horizontais. Padrões dendríticos subsidiários podem ser descritos como pinadas, subparalelas ou anastomosadas. O padrão pinada apresenta-se com tributários paralelos e se unem ao rio principal em ângulos agudos. No tipo subparalelo, os ângulos formados nas confluências dos rios subsidiários e principal são tão pequenos, fazendo ambas as categorias como simples paralela. O padrão dendrítico anastomosado é característico das planícies de inundação, consistindo de canais que se bifurcam e confluem de maneira aleatória

b) Treliza: É composto por rios principais consequentes, correndo paralelamente, recebendo afluentes subsecentes que fluem em direção transversal aos rios principais. Os subsecentes, por sua vez, recebem rios obsecentes e resecentes. As confluências acontecem, de forma geral, em ângulos retos. O padrão de treliza é encontrado em estruturas sedimentares homoclimais, em estruturas falhadas e nas cristas anticlinais. Em todas as variações, se predomina a direção reta e as alterações se fazem por ângulos retos

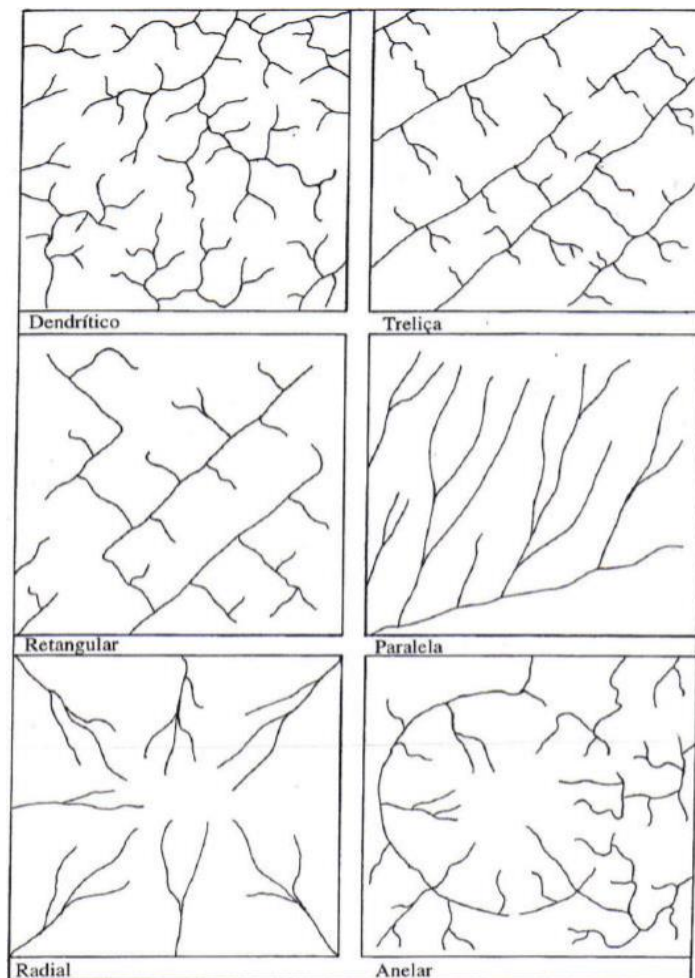
c) Retangular: É uma modificação da drenagem do tipo treliça, caracterizado pelo aspecto ortogonal, devido às bruscas alterações retangulares dos cursos d'água, tanto nas principais como nas tributárias. Essa configuração devido a influência exercida por falhas ou sistema de juntas ou de diaclases

d) Paralela: É quando os cursos d'água escoam quase paralelamente uns aos outros, devido a essa disposição, são conhecidos também como rabo de cavalo ou cauda equina. Este tipo se localiza em áreas onde há presença de vertentes com declividades acentuadas ou onde existem controles estruturais que motivam a ocorrência de espaçamento regular, quase paralelo, das correntes fluviais. É comum em áreas de falhas paralelas ou regiões com lineamentos topográficos paralelos, tais como nas de drumlins. Existem dois subtipos, sub paralelos, quando os cursos d'água são semelhantes à disposição geral, mas sem a regularidade da configuração paralela, e colinear, quando é formado por cursos paralelos e alternativamente superficiais e subterrâneos, encontrado em áreas de rios intermitentes fluindo sobre materiais porosos e de lineamento aproximadamente retilíneo;

e) Radial: É composta por correntes fluviais que se encontram dispostas como os raios de uma roda, em relação a um ponto central. Existem duas configurações, centrípetas, quando os rios se convergem para um ponto ou área central, localizada em uma posição mais baixa, como as desenvolvidas em bacias sedimentares periclinais, crateras vulcânicas e depressões topográficas. E existem as centrífugas, quando as correntes são do tipo conseqüente e divergem a partir de um ponto ou área que se encontra em posição elevada, como a desenvolvidas em domos, cones vulcânicos, morros isolados e em outros tipos estruturas isoladas de forma dômica;

f) Anelar: típica de áreas dômicas; a drenagem acomoda-se aos afloramentos das rochas menos resistentes. Na Figura 7 mostra cada tipo de drenagem citado acima.

**Figura 7: A disposição espacial dos principais tipos de padrões de drenagem**



Fonte: Adaptado de Christofolletti (1980)

A densidade de drenagem é uma grandeza de caracterização da que depende da estimativa de comprimentos obtida nos mapas e aplicativos digitais. A interpretação destes valores terá que ser analisada em conjunto com as condições climáticas, de solo e ocupação da área de drenagem. Ela pode ser representada pela Equação 4 (COLLISCHONN e DORNELLES, 2015)

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (4)$$

Onde:

Dd: Densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>)

Lt: Extensão de todos cursos de água da bacia (principal e afluentes) (km)

A: Área da Bacia (km<sup>2</sup>)

O seu valor de densidade de drenagem é classificado de acordo com que é apresentado por Carvalho e Silva (2006):

**$Dd < 0,5$**  km/km<sup>2</sup> : drenagem pobre

$0,5 \leq$   **$Dd < 1,5$**  km/km<sup>2</sup> : drenagem regular

$1,5 \leq$   **$Dd < 2,5$**  km/km<sup>2</sup> : drenagem boa

$2,5 \leq$   **$Dd < 3,5$**  km/km<sup>2</sup> : drenagem muito boa

**$Dd \geq 3,5$**  km/km<sup>2</sup> : excepcionalmente bem drenadas

Abordando um elemento importante deste contexto, a precipitação é entendida em hidrologia como toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, geada e neve são formas diferentes de precipitações. A diferença entre essas precipitações é o estado em que a água se encontra (BERTONI e TUCCI, 2001).

A disponibilidade de precipitação numa bacia durante o ano é um fator determinante para quantificar a necessidade de irrigação de culturas e o abastecimento de água doméstico e industrial. A determinação da intensidade de precipitação é importante para o controle da erosão do solo e inundação. Por sua capacidade para produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia (BERTONI e TUCCI, 2001).

Bertoni e Tucci (2001), apontam que a precipitação máxima é a ocorrência extrema, com duração, distribuição temporal e espacial crítica para uma área ou bacia hidrográfica. A disponibilidade de longas séries de precipitação é muito mais frequente que a de vazão. O estudo das precipitações máximas é um dos caminhos para conhecer-se a vazão de enchente de uma bacia.

Além disso, o estudo das precipitações máximas é importante quando se deseja determinar os valores máximos diários, visando o estudo de frequência de ocorrência de precipitações intensas, inclusive para geração das equações de chuvas intensas (MELLO e SILVA, 2013). Chuvas intensas, também denominadas chuvas extremas ou máximas, são aquelas que apresentam uma grande lâmina precipitada, que supera um valor mínimo em certo intervalo de tempo (SILVA et al., 2003). Segundo Araújo et al. (2008), uma das principais

características das chuvas intensas é sua distribuição irregular, tanto espacialmente quanto temporalmente.

Assim, a equação de chuvas intensas é utilizada para relacionar a três grandezas que determinam uma precipitação máxima, porém existe muita dificuldade para se obter uma equação de chuvas intensas. As dificuldades para a obtenção das equações com parâmetros da relação intensidade-duração-frequência (IDF) decorrem de limitações de dados disponíveis, tanto em termos de densidade da rede pluviográfica, como em relação ao pequeno período de observação disponível, além disso, é necessário um exaustivo trabalho de análise, interpretação e codificação de grande quantidade de dados, assim não existindo muitas pesquisas e trabalhos desenvolvidos sobre esse assunto aqui no Brasil (PEREIRA et al.,2007).

Segundo Oliveira et al. (2005), os parâmetros das IDF de chuvas intensas são obtidos por meio de regressão linear com base nas informações extraídas de pluviogramas, ou também podem ser extraídos através de uma Plataforma de Coletas de Dados (PCD) que é um dispositivo com sensores eletrônicos para monitoramento de variáveis geotécnicas como dados meteorológicos, hídricos e ambientais. Quando são obtidos dessa maneira, existe uma maior precisão e melhores resultados desses parâmetros. Caso não seja disponível o acesso a um pluviograma, a alternativa para conseguir informações sobre as chuvas intensas é a aplicação de relações médias entre lâminas precipitadas em diferentes intervalos de tempo, com base nesse princípio, denominado desagregação de chuvas, as lâminas de precipitação podem ser estimadas a partir da chuva máxima diária anual registrada pelo pluviômetro em intervalos de tempo tão pequenos quanto cinco minutos (MELLO e SILVA, 2013).

Portanto, as precipitações máximas são retratadas pontualmente pelas curvas de intensidade, duração, frequência e através da Precipitação Máxima Provável (PMP). A primeira relaciona a duração, a intensidade e o risco da precipitação ser igualada ou superada. A PMP é definida como sendo a maior coluna pluviométrica, correspondente a uma dada duração, fisicamente possível de ocorrer sobre uma dada área de drenagem em uma dada época do ano. Este último método é mais utilizado para grandes obras onde o risco de rompimento deve ser mínimo (BERTONI e TUCCI, 2001).

Correlacionando intensidades e duração das chuvas verifica-se que quanto mais intensa for uma precipitação, menor será sua duração. A relação cronológica das maiores intensidades para cada duração pode ser obtida de uma série de registros pluviométricos de tormentas intensas. Da mesma forma, quanto menor for o risco maior será a intensidade (BERTONI e TUCCI, 2001).

Para projetos de obras hidráulicas, tais como vertedores de barragens, sistemas de drenagem, galerias pluviais, dimensionamento de bueiros, entre outros, é necessário conhecer as três grandezas que caracterizam as precipitações máximas: intensidade, duração e frequência (ou tempo de retorno). A intensidade pode ser substituída pela precipitação total na duração, denominando-se as curvas, nesse caso, de IDF. A determinação da relação entre essas três variáveis deve ser deduzida das observações das chuvas intensas durante um período de tempo suficientemente longo e representativo dos eventos extremos do local (BERTONI e TUCCI, 2001).

Na análise de estatística da estrutura hidrológica das séries de chuvas podem ser seguidos dois enfoques alternativos: séries anuais ou séries parciais. A escolha de um ou outro tipo de série vai depender do tamanho da série disponível ou o tamanho do estudo. A metodologia de séries parciais é utilizada quando o número de anos de dados é pequeno (< 12 anos) e os tempos de retorno são inferiores que 5 anos. A metodologia de séries anuais baseia-se na seleção das maiores precipitações anuais de uma duração escolhida. (BERTONI e TUCCI, 2001).

Na construção da curva IDF é necessário ajustar uma distribuição estatística aos maiores valores anuais de precipitação para cada duração. A escolha das durações depende da discretização dos dados e da representatividade desejada para a curva. Segundo Bertoni e Tucci (2001), a metodologia para a obtenção da curva IDF segue a seguinte sequência:

- (a) para cada duração são obtidas as precipitações máximas anuais com base dos dados do pluviográfico;
- (b) para cada duração mencionada é ajustada uma distribuição estatística;
- (c) dividindo a precipitação pela sua duração obtém-se a intensidade,  
e
- (d) as curvas resultantes são a relação IDF.

Por outro lado, as curvas IDF podem ser expressas por equações genéricas como apresentado na Equação 5.

$$i = \frac{KTr^a}{(t + b)^c} \quad (5)$$

Onde:

i: Intensidade de chuva (mm/h)

K, a, b, c: Parâmetros de ajustes

Tr: Tempo de retorno (anos)

t: tempo de duração (min)

Existem outras equações que também podem representar as curvas IDF (Intensidade-Duração-Frequência), de acordo com Bertoni e Tucci (2001), um trabalho pioneiro foi apresentado para diferentes regiões brasileiras na determinação das relações intensidade, duração e frequência. Estas relações foram estabelecidas para 98 postos pluviográficos espalhados no Brasil, e para cada posto obteve-se as seguintes equações empíricas, demonstrado pelas Equações 6 e 7

$$P = R. [a.t + b.log \log (1 + c.t)] \quad (6)$$

Onde:

P: Precipitação máxima (mm)

t: Duração da precipitação (h)

a,b,c: Constantes para cada cidade

R: Fator de probabilidade definido na equação 7

$$R = Tr^{\alpha + \frac{\beta}{Tr^2}} \quad (7)$$

Onde:

R: Fator de probabilidade

Tr: Período de retorno (anos)

$\alpha$  e  $\beta$  : Valores que dependem da duração da precipitação

Para que possamos utilizar nas fórmulas apresentadas, tem-se que definir a variável tempo de Retorno (Tr). Assim, Tempo de Retorno ou Período de Retorno de um evento máximo de chuva expresso em anos, é quando o referido evento pode ser igualado ou excedido, pelo menos uma vez, em média, a cada T anos (ELTZ et al., 1992)

Os tempos de retorno adotados vão depender da tipologia da obra executada, sendo o tempo de retorno padronizado pelo Manual de Hidrologia Básico do DNIT (BRASIL, 2005), apresentados na Tabela 2:

Tabela 2: Relação de chuvas de diferente duração

OBRAS	TR ADOTADO	FUNCIONAMENTO
Drenagem profunda e subsuperficial	10 anos	
Dispositivos de drenagem superficial	5 anos	Canal
Bueiros tubulares e Celulares	15 anos	Canal
Verificação de Bueiros tubulares e Celulares	25 anos	Orifício
Ponte, pontilhão	50 a 100 anos	Canal

Fonte: adaptado de Brasil (2005).

Outra variável importante é o Tempo de Concentração (t). Existem duas definições para tempo de concentração: (1) é o tempo em que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial ou (2) é o tempo que leva uma gota de água mais distante até o trecho considerado na bacia (TOMAZ, 2002).

Segundo Tomaz (2002), existem três formas de transportar a água em uma bacia: (1) através do escoamento superficial; (2) através do escoamento por tubulação. e (3) através de um canal ou sarjeta. Os métodos de cálculo para o tempo de concentração são divididos em duas categorias: estritamente empíricos e semi-empíricos (MATA-LIMA et al., 2007).

Os Métodos estritamente empíricos são os resultados da análise estatística de um grande volume de informações de campo que levam a determinação de equações de regressão. Esses métodos são baseados na relação entre o tempo de concentração e as características fisiográficas da bacia hidrográfica através de uma regressão linear múltipla. São métodos rígidos e estáticos que não consideram a variabilidade espacial e temporal da bacia, porém não necessitam de dados de entrada muito complexos. A Tabela 3 apresentada por Mata-Lima et al. (2007), indica alguns métodos estritamente empíricos.

Tabela 3: Métodos estritamente empíricos para o cálculo do tempo de concentração da bacia

Método	Equação	Nº da equação	Termos da equação	Comentários	Fonte
Ventura	$t_c = 240 \sqrt{\frac{AL}{H}}$	(1)	$t_c$ - tempo de concentração [min], A- área da bacia [km <sup>2</sup> ], L- comprimento do talvegue [km], e H- diferença de cotas [m] do talvegue entre o ponto mais afastado e a seção de referência da bacia [m].	Recomendado pela <i>École Nationale des Ponts et Chaussées (France)</i> .	IEP (2001)
Temez	$t_c = 0.3 \left( \frac{L}{i^{0.25}} \right)^{0.76}$	(2)	$t_c$ [h], L- comprimento da linha de água principal [km], i- declive médio da linha de água principal da bacia [m/m].	Esse método é recomendado pelo IEP (ver IEP, 2001). É um método muito testado nas bacias hidrográficas da Espanha e é recomendado para bacias naturais de área até 300*10 <sup>3</sup> ha.	Temez (1978) e LNEC (1995)
Kirpich	$t_c = 0.0195 L^{0.77} i^{-0.385}$	(3)	$t_c$ [min], L [m], e i [m/m].	O valor de $t_c$ obtido deve ser multiplicado por 0.2 ou 0.4, conforme sejam canais de betão ou superfícies asfaltadas, respectivamente; é recomendado para bacias rurais (0.50 - 45.3 ha) com canais bem definidos e de declives situados entre 3 e 10%.	Kirpich (1940), AISI (1984) e Chow et alii. (1988) e USDA (1996).
Pickering	$t_c = \left( \frac{0.871 L^3}{H} \right)^{0.385}$	(4)	$t_c$ [h], L [km] e H [m] e tem o mesmo significado já referido na equação (1).	Método equivalente ao de Kirpich e muito usado nos projetos da Brisa, SA.	Brisa (1974)
California Culverts Practice (CHPW)	$t_c = 57 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$	(5)	$t_c$ [min], L [km], e H [m].	Desenvolvido a partir de pequenas bacias montanhosas da Califórnia.	Chow et alii. (1988)

Fonte: adaptado de Mata-Lima et al. (2007)

Os métodos semi-empíricos são aqueles que não são estritamente empíricos e estáticos por incluírem parâmetros que variam em função das características ocupacionais da bacia, sendo mais flexível comparado aos estritamente empíricos. São métodos particularmente importantes por permitirem analisar os diferentes cenários e, sobretudo, por viabilizarem a previsão do comportamento hidrológico face às alterações propostas (MATA-LIMA et al., 2007).

Dos vários métodos semi-empíricos existentes, o método do Soil Conservation Service (SCS) é daqueles que se podem considerar menos empírico por refletir os processos que ocorrem na bacia, incluindo o número do

escoamento na sua expressão de cálculo (MATA-LIMA et al., 2007). A Tabela 4 apresentada por Mata-Lima et al. (2007), indica alguns métodos semi-empíricos.

Tabela 4: Métodos semi-empíricos para o cálculo do tempo de concentração da bacia

Método	Equação	Nº da equação	Termos da equação	Comentários	Fonte
Hathaway	$t_c = \frac{(rL)^{0.467}}{1.65i^{0.234}}$	(13)	$t_c$ [h], L [km], i [m/m], e r- coeficiente de rugosidade definido pelo tipo de ocupação e de uso do solo [-].	--	Hathaway (1945) e AISI (1984)
SCS Lag	$t_{lag} = \frac{2.587 L^{0.8} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{1900 i^{0.5}}$	(14a)	$t_{lag}$ - tempo de atraso da bacia [h],  L- comprimento da bacia [m],  CN- número de escoamento [-], e i- declive médio da bacia [%].	Recomendado para bacias homogêneas não urbanas de área até 810 ha.  Esse método reflete essencialmente o escoamento concentrado.	SCS (1972), SCS (1986) e USDA (1997)
	$t_c = t_{lag}/0.6$	(14b)		Pode sobrestimar o $t_{lag}$ quando aplicado a bacias mistas.	
Soil Conservation Service	$t_c = \frac{L}{k\sqrt{i}}$	(15)	$t_c$ [min], L [m], I [m/m], e K - coeficiente relacionado com o tipo de ocupação do solo [m/min].	Recomendado pelo Departamento de Transportes de Washington (WSDOT)	SCS (1975): citado por WSDOT (1997)
Federal Aviation Administration	$t_c = 1.8(1.1 - C)L^{0.5}i^{-0.333}$	(16)	$t_c$ [min],  C - o coeficiente de escoamento do método racional [-], L - comprimento do plano de escoamento ou linha de água [ft], e i - declive médio [%].	Este método tem sido mais utilizado no estudo de bacias urbanas.	Chow et alii. (1988)

Fonte: adaptado de Mata-Lima et al. (2007)

O tempo de retardo é definido como o intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o centro de gravidade do hidrograma (TUCCI, 2001).

O tempo de retardo aparece em alguns modelos de hidrogramas unitários sintéticos como o SCS e o hidrograma de Snyder. O Soil Conservation Service (SCS) propõem a seguinte relação entre o tempo de retardo e o tempo de concentração (PORTELA, 2006), representado pela Equação 8.

$$t_r = 0,6 \cdot t_c \quad (8)$$

Onde:

$t_r$ : Tempo de retardo (min)

$t_c$ : Tempo de concentração (min)

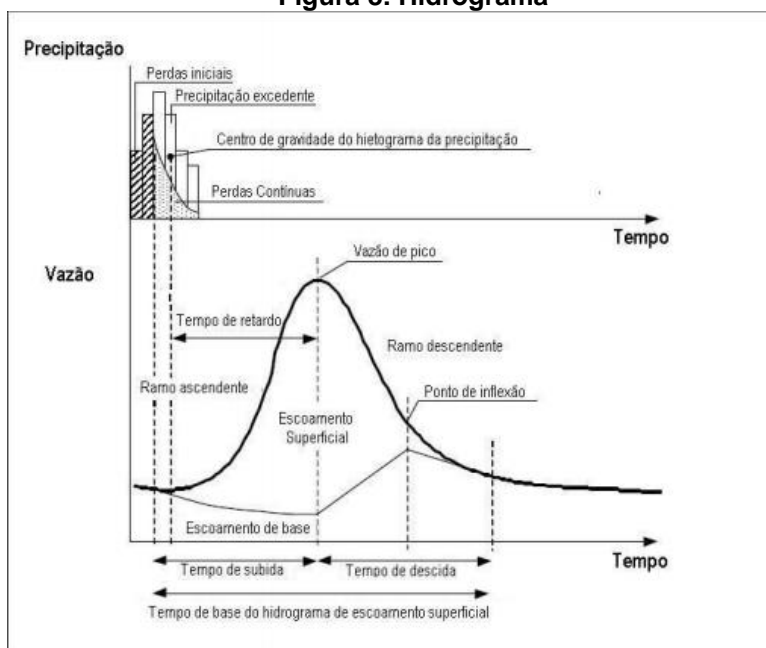
Portanto, para esses hidrogramas unitários sintéticos, entende-se que o escoamento superficial é a parcela do ciclo hidrológico em que a água se desloca na superfície da bacia até encontrar uma calha definida. Quando a bacia é rural e possui cobertura vegetal, o escoamento sofre a interferência dessa cobertura e grande parte dele se infiltra. O escoamento em bacias urbanas é regido pela interferência do homem através de superfícies impermeáveis e sistemas de esgotos pluviais. O escoamento superficial é, portanto, a combinação do fluxo de pequena profundidade da superfície com escoamento em pequenos canais que constituem a drenagem da bacia hidrográfica. (TUCCI, 2001).

Os escoamentos são em geral definidos em superficial, que representa o fluxo sobre a superfície do solo e pelos seus múltiplos canais; subsuperficial em que alguns autores definem como o fluxo que se dá junto às raízes da cobertura vegetal e; subterrâneo é o fluxo devido a contribuição do aquífero (TUCCI, 2001).

A vazão que atravessa a seção transversal de um rio após a ocorrência de precipitação não provém inteiramente desta precipitação que atingiu a bacia hidrográfica, afinal já existe um escoamento no curso d'água, que se mantém após o término da precipitação (PORTELA, 2006).

O comportamento do hidrograma típico de uma bacia é apresentado na Figura 8. O nível do hidrograma começa a se elevar após um intervalo de tempo do início da precipitação. Isto ocorre devido às perdas iniciais por interceptação vegetal, armazenamento em depressões do solo, infiltração e também pelo tempo de deslocamento da água na bacia. Então, de acordo com a distribuição da precipitação, o hidrograma atinge um ponto máximo, e a seguir apresenta um ramo descendente, onde se observa um ponto de inflexão, que caracteriza o fim do escoamento superficial (TUCCI, 2001).

**Figura 8: Hidrograma**



Fonte: Adaptado de Portela (2006)

A forma do hidrograma depende de um grande número de fatores, os mais importantes são: (TUCCI, 2001)

- Relevo;
- Cobertura da bacia;
- Modificações artificiais no rio;
- Distribuição, duração e intensidade da precipitação;
- Solo.

Em pequenas bacias, o escoamento superficial ocorre predominantemente sobre a superfície do solo, em drenos com perdas hidráulicas maiores, mas com maior declividade. Em bacias de grande porte, o processo predominante é o deslocamento da onda da cheia por um canal definido, de menor declividade, mas com perda de carga menor (TUCCI, 2001).

Para o entendimento do hidrograma citado na Figura 8, apresenta-se a definição de Hidrograma indicada por Porto (1995, apud TOMAZ, 2002), hidrograma é o gráfico das vazões ao longo do tempo. Como consequência, a área abaixo dessa curva é o volume de escoamento superficial direto, causado por uma chuva excedente sobre a área de drenagem. Um hidrograma é

caracterizado pelo seu volume e pela sua forma, que determinam o valor da vazão de pico.

Tucci (2001), diz que para caracterizar o hidrograma e o comportamento da bacia são utilizados alguns valores de tempo (abscissa), relacionados a seguir:

- tempo de pico ( $t_p$ ) – é definido como o intervalo de tempo entre o centro de massa da precipitação e o tempo de da vazão mínima;
- tempo de acessão ( $t_a$ ) – é o tempo entre o início da chuva e o pico do hidrograma;
- tempo de base ( $t_b$ ) – é o tempo entre o início da precipitação e aquele em que a precipitação ocorrida já escoou através da seção principal, ou que o rio volta às condições anteriores a da ocorrência de precipitação;
- tempo de recessão ( $t_e$ ) – é o tempo necessário para a vazão baixar até o ponto de inflexão (Figura 8), quando acaba o escoamento superficial.

Nesta linha de raciocínio, segundo Porto (1995, apud TOMAZ. 2002), o hidrograma unitário é o hidrograma produzido por uma unidade de chuva excedente distribuída uniformemente sobre a bacia com uma duração especificada. Ele pode ser determinado pela análise de dados de precipitação e vazão, ou por meio de fórmulas empíricas, chamados de hidrogramas sintéticos. Na hidrologia urbana prevalecem os hidrogramas sintéticos, muitas vezes pelos dados em áreas urbanas serem escassos, e também pela necessidade de se determinar o hidrograma para condições futuras de ocupação.

A partir de um estudo com um grande número de bacias e de hidrogramas unitários nos EUA, técnicos do Departamento de Conservação de Solo (Soil Conservation Service – atualmente Natural Resources Conservation Service) verificaram que os hidrogramas unitários podem ser aproximados por relações de tempo e vazões estimadas com base no tempo de concentração e na área das bacias. O hidrograma unitário pode ser aproximado por um triângulo, definido pela vazão de pico e pelo tempo de pico e pelo tempo de base, (COLLICHONN, 2008).

Muito frequentemente é necessário caracterizar cheias em seções da rede hidrográfica que não dispõem dos registos necessários ao estabelecimento de hidrogramas unitários por métodos diretos. Em tais circunstâncias, recorre-se a hidrogramas unitários sintéticos, HUS. Em linhas

gerais, pode afirmar-se que um hidrograma unitário sintético relaciona parâmetros de um hidrograma unitário paramétrico com características da bacia hidrográfica. (PORTELA, 2006).

Os métodos de determinação do hidrograma unitário sintético baseiam-se na determinação do valor de algumas abscissas, como o tempo de pico e tempo de base e as ordenadas como a vazão de pico. A regionalização destas variáveis com base em características físicas tem permitido estipular o hidrograma unitário para um local sem dados observados (TUCCI, 2001). De entre os HUS distinguem-se os que se baseiam em:

- Fórmulas empíricas que relacionam características fisiográficas da bacia hidrográfica, normalmente mensuráveis a partir de cartas topográficas, com propriedades geométricas dos hidrogramas unitários, tais como os respectivos tempos de base, as vazões de cheia ou as formas dos hidrogramas (HUS Snyder).
- Hidrogramas unitários adimensionais (HUS) do Soil Conservation Service, (SCS).
- Modelos de armazenamento de água nas bacias hidrográficas (HUS de Clark) (PORTELA, 2006).

### 3.3 Método racional

O método racional é um método indireto e foi apresentado pela primeira vez em 1851 por Mulvaney e usado por *Emil Kuichling* em 1889 e estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial (deflúvio). É usado para calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, considerando uma seção de estudo (TOMAZ, 2002).

O método racional é largamente utilizado na estimativa da vazão máxima de projeto para bacias pequenas (< 2 km<sup>2</sup>). Esta metodologia segue alguns princípios básicos, como considerar a duração da precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração; adotar um coeficiente único de perdas, estimado com base nas características da bacia; e não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões (TUCCI, 2001).

Quando se aplicar o método racional, não devemos nos esquecer da análise do como o mesmo é baseado. As hipóteses do método racional são as seguintes (TOMAZ, 2002):

- A chuva é distribuída uniformemente sobre toda a área da bacia;
- Todas as perdas estão incorporadas ao coeficiente de escoamento superficial.

Assim, para calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, utiliza-se a fórmula racional (TOMAZ, 2002): representada pela Equação 9.

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{360} \quad (9)$$

Onde:

Q: vazão de pico (m<sup>3</sup>/s);

C: coeficiente de escoamento superficial varia de 0 a 1.

I: intensidade média da chuva (mm/h);

A: área da bacia (ha).

O coeficiente de escoamento superficial é a razão entre o volume total de escoamento superficial e o volume total precipitado. É conhecido também como coeficiente de deflúvio ou runoff . O coeficiente de deflúvio depende do solo, pois a infiltração decresce enquanto que a chuva contínua, dependendo das condições do solo. Influencia também o grau de compactação do solo, porosidade do subsolo, vegetação, declividade e depressões onde a água pode armazenar (TOMAZ, 2002).

Tomaz (2002), apresenta o coeficiente de escoamento utilizado no método racional, como um parâmetro que depende das seguintes características:

- solo;
- cobertura;
- tipo de ocupação;
- tempo de retorno;
- intensidade da precipitação.

A estimativa do coeficiente de escoamento superficial é baseada em tabelas e tem alguns aspectos subjetivos (TUCCI, 2001). Abaixo na Tabela 5 é apresentado um exemplo de determinar o coeficiente de escoamento.

Tabela 5: Coeficientes de escoamento superficial

Descrição da área	Coeficiente de Escoamento C
<b>Área comercial</b>	
Centro da cidade	0,70 a 0,95
Vizinhanças	0,50 a 0,70
<b>Área residencial</b>	
Habitações uni-familiares	0,30 a 0,50
Habitações multi-familiares isoladas	0,40 a 0,60
Habitações multi-familiares geminadas	0,60 a 0,75
Residencial suburbana	0,25 a 0,70
Apartamentos	0,50 a 0,70
<b>Industrial</b>	
Indústrias leves	0,50 a 0,80
Indústrias pesadas	0,60 a 0,90
Parques e Cemitérios	0,10 a 0,25
Pátios pavimentados	0,20 a 0,35
Solo não cultivado	0,10 a 0,30
<b>Pavimentação</b>	
Asfalto ou concreto	0,70 a 0,95
Tijolos	0,70 a 0,85
Telhados	0,70 a 0,95
<b>Gramado, solo arenoso</b>	
Terreno plano, 2%	0,05 a 0,10
Declividade média, 2 a 7%	0,10 a 0,15
Bastante declividade, 7% ou mais	0,15 a 0,20
<b>Gramados, solo pesado</b>	
Plano, 2%	0,13 a 0,17
Declividade média, 2 a 7%	0,18 a 0,22
Bastante declividade, 7% ou mais	0,25 a 0,35

Fonte: Adaptado de Tomaz (2002)

Um dos princípios do método racional é considerar a duração da chuva intensa igual ao tempo de concentração (TOMAZ, 2002). Este é calculado, por exemplo, a partir da Equação 10 conhecida como fórmula de Kirpich.

$$T_c = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot I^{-0,385} \quad (10)$$

Onde:

T<sub>c</sub>: Tempo de concentração (min);

L: Comprimento do talvegue (m);

I: Declividade média (m/m).

### 3.4 Macrodrenagem

É entendido como macrodrenagem as intervenções em fundos de vale que coletam águas pluviais de áreas providas de sistemas de microdrenagem ou não. Nesses fundos de vale o escoamento é normalmente bem definido, mesmo que não exista um curso d'água perene. As obras de macrodrenagem têm como função evitar as enchentes devido à bacia urbana, isto é, na construção de canais revestidos ou não, com uma maior capacidade de transporte que o canal natural e bacias de retenção<sup>1</sup> (TUCCI, 2001).

A canalização a ser projetada deve ser capaz de conduzir a chamada de vazão de projeto, cuja vazão é representada pela vazão de escoamento da bacia hidrográfica. Os critérios usualmente recomendados para a determinação das vazões de projeto são: os cálculos devem considerar a ocupação futura da bacia e o tempo de retorno recomendado deve ser no mínimo 50 anos (TUCCI, 2001).

Como as bacias passíveis de obras tendem ser de médio porte, normalmente é utilizado os métodos de cálculo de cheias baseados na teoria do hidrograma unitário, porém nesse trabalho as sub-bacias de estudo são de pequeno porte (<2 km<sup>2</sup>) logo não será aplicável por esse método (TUCCI, 2001).

Os projetos de obras de macrodrenagem, geralmente, são divididos na sucessão das seguintes etapas (TUCCI, 2001):

a) **Projeto preliminar:** Nessa primeira etapa são realizadas as coletas dos dados e informações após a uma visita a bacia, são levantadas as possíveis alternativas de solução, detectam-se eventuais interferências e elabora-se um estudo hidrológico preliminar. Com esses elementos, é possível estabelecer as principais características da obra.

---

<sup>1</sup> Bacias de retenção: são medidas estruturais que visam o armazenamento de água de curtos períodos, reduzindo as vazões de pico dos hidrogramas de cheia e aumentando o tempo de base desses hidrogramas. Esses reservatórios não reduzem o volume de escoamento direto, mas redistribuem as vazões ao longo do tempo. Eles são totalmente drenados em menos de um dia, e têm o objetivo de reduzir problemas de inundações localizadas; reduzir os custos de um sistema de galerias de drenagem (redução das dimensões das galerias); melhorar a qualidade da água; aumentar o tempo de resposta do escoamento superficial; melhorar as condições para reuso da água e recarga dos aquíferos; e reduzir as vazões máximas de inundação a jusante (TUCCI, 2001)

b) **Projeto básico:** Nesta etapa, a atenção se concentra sobre o número reduzido de alternativas não eliminadas na primeira fase. Especificam-se e executam-se os levantamentos topográficos e geológicos necessários. Esses levantamentos de campo permitirão aprofundar os estudos das alternativas e conseguir escolher a melhor opção entre elas. Após a escolha da melhor alternativa, são elaborados desenhos, memoriais de cálculo, especificações técnicas e método construtivo. Ao final dessa etapa, devem estar prontos os documentos que permitam licitar a obra, ou seja, todas as informações necessárias para a cotação de preços devem estar disponíveis.

c) **Projeto Executivo:** Uma série de aspectos não podem ser resolvidos na fase do projeto básico por diversas razões. Entre elas incluem-se, aspectos que dependem dos métodos construtivos escolhidos pela construtora, detalhes sobre singularidades e interferências não previstas. A maioria desses problemas só conseguem ser resolvidos durante o andamento da obra. Nessa fase serão elaborados cálculos estruturais, desenhos de formas e documentos necessários para a execução das medições.

O dimensionamento hidráulico pode ser feito considerando os regimes de escoamento: regime fluvial e uniforme, regime fluvial gradualmente variado e regime não-permanente (TUCCI, 2001).

O primeiro tipo de regime não permite considerar as possíveis influências do nível da água de jusante e os efeitos de singularidade sobre a linha da água. Como esse regime só é estabelecido em trechos longos e uniformes, é aconselhável verificar-se de que essas condições são válidas. Usualmente, utiliza-se o regime uniforme na fase de projeto preliminar (TUCCI, 2001).

O regime gradualmente variável é o mais utilizado, porque permite determinar a linha de água, considerando a presença de singularidades e mudanças de vazão ao longo do trecho. É fundamental que sua utilização seja em casos de galerias cobertas, pois elevações da linha de água poderão causar afogamento com consequências graves (TUCCI, 2001).

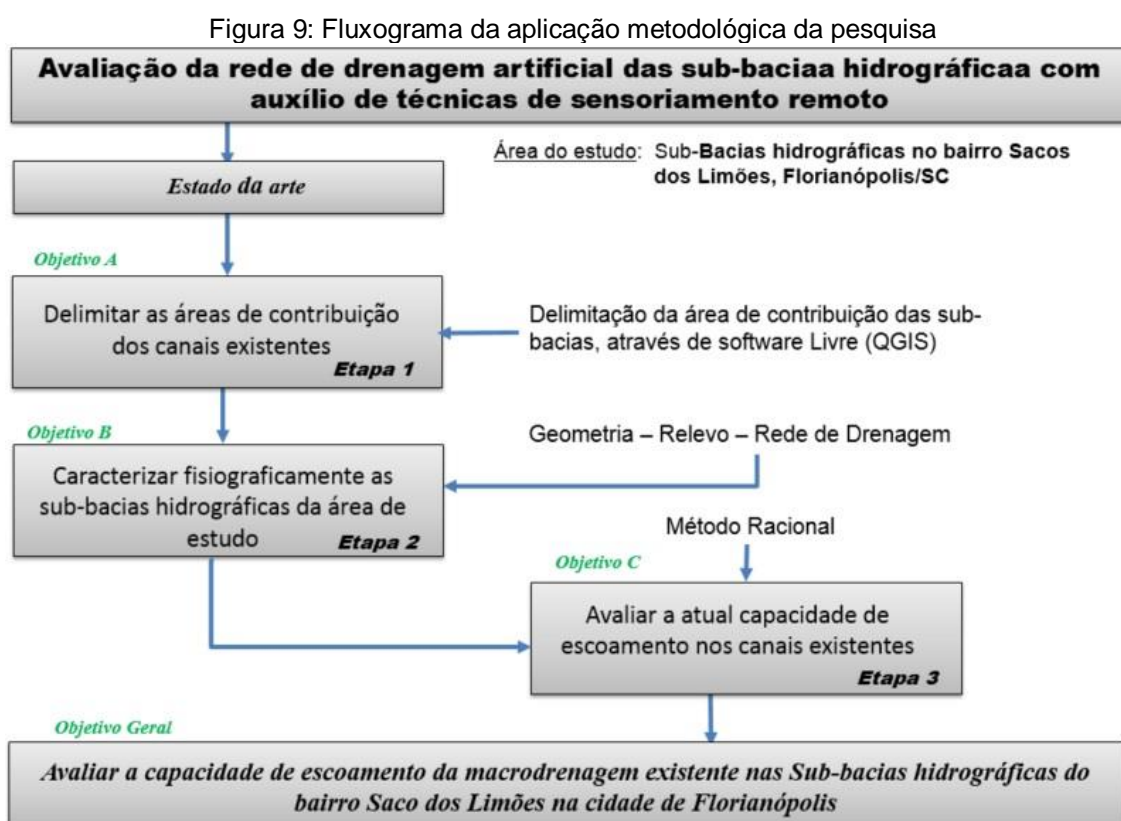
No regime não-permanente é possível considerar alterações das variáveis de interesse no espaço e no tempo. O tratamento matemático é

consideravelmente mais complexo, essa alternativa é adotada em casos especiais como, por exemplo, para prever o afogamento da rede de galerias sujeitas a efeitos hidrodinâmicos, levando em consideração os efeitos de maré, operação de comportas entre outros (TUCCI, 2001).

Dessa maneira, foi apresentado e finalizado a parte de revisão da literatura, e agora será apresentado o procedimento metodológico que esse trabalho abordará.

## 4. MÉTODO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi desenvolvido em três etapas. Na primeira etapa realizou-se a delimitação das áreas de contribuição de dois canais do aterro da Baía Sul (Rodovia 401) na cidade de Florianópolis. Na segunda etapa, caracterizou-se fisiograficamente as áreas de contribuição dos referidos canais. Na terceira etapa, fez-se a avaliação da capacidade de escoamento nos canais, tomando como base os dados utilizados no projeto de reabilitação da Rodovia Dr. Aderbal Ramos da Silva em 2012. Assim, a visualização do desenvolvimento do TCC está ilustrada na Figura 9:



Fonte: elaborado pelo autor

Para o entendimento, abaixo descreve-se as etapas para atingir os objetivos indicados no capítulo 2.

### 4.1. Etapa 1: Delimitação das áreas de contribuição dos canais existentes

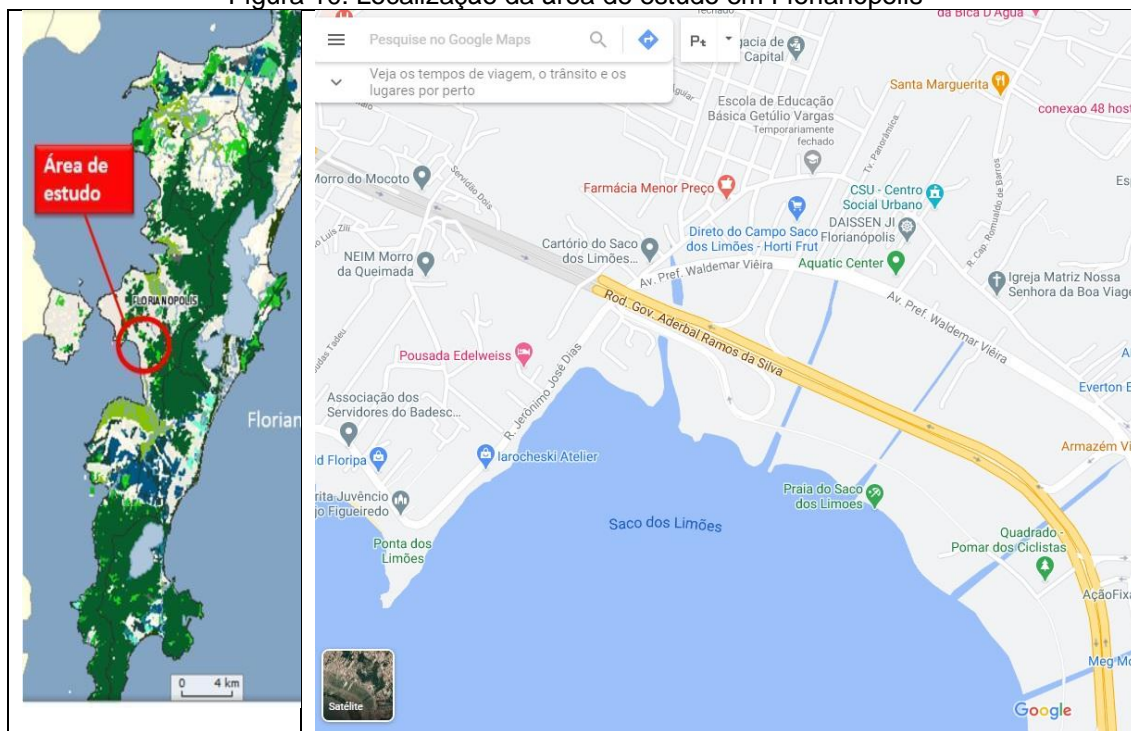
Esta etapa corresponde a delimitação das áreas de contribuição dos canais localizados no bairro Saco dos Limões, as quais tem sentido de

escoamento pelas galerias sob a Rodovia 401, denominada como Rodovia Dr. Aderbal Ramos da Silva.

#### 4.1.1 Localização da área de estudo

O município de Florianópolis tem sua área delimitada pelas Unidades Territoriais de Análise e Planejamento (UTP) para o estudo das bacias hidrográficas da cidade. No início, as UTP's seriam a sobreposição entre o mapa dos limites das bacias hidrográficas com o mapa dos distritos administrativos, com a finalidade de facilitar o estudo da região. Porém, como os limites das bacias elementares não eram nada compatíveis com os limites dos distritos administrativos, optou-se por definir a configuração das UTP's nos limites das bacias hidrográficas (PMF, 2010). Na Figura 10 apresenta-se a localização da área em estudo no município de Florianópolis.

Figura 10: Localização da área de estudo em Florianópolis



Fonte: Adaptado de Iguatemi<sup>2</sup> (2012) e Google Maps (2020)

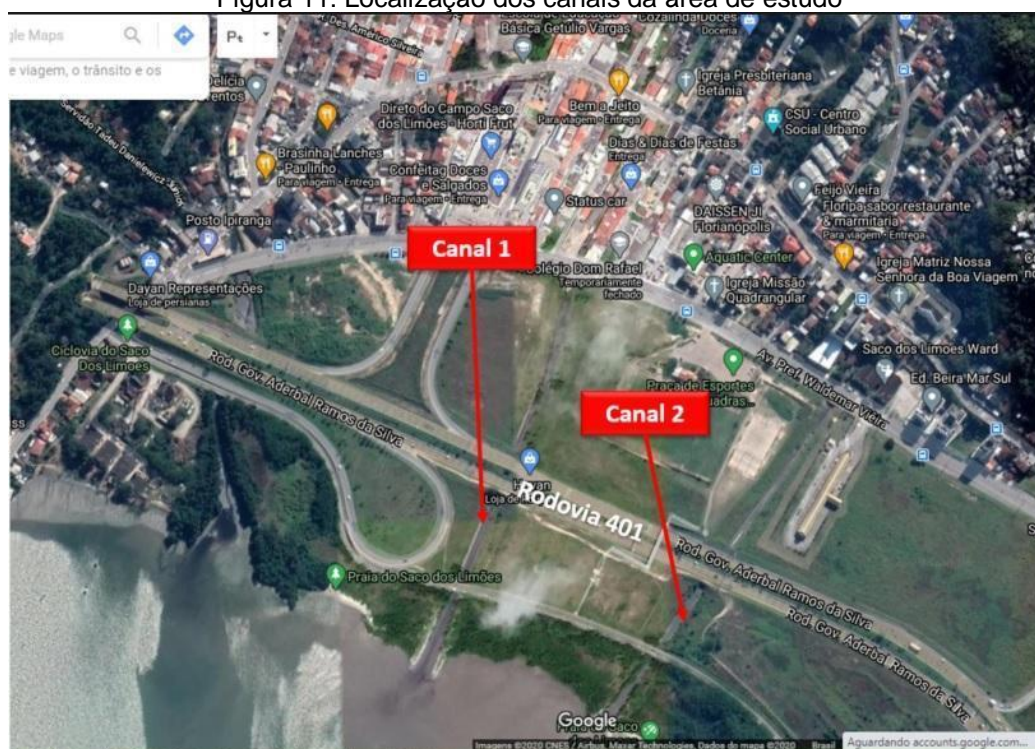
A área de estudo situa-se no bairro Saco dos Limões, onde fica localizada na UTP 1, na cidade de Florianópolis. Pelas imagens utilizadas nesta

<sup>2</sup> IGUATEMI: Empresa que forneceu os projetos da obra os canais, consulta autorizada para esta pesquisa

pesquisa, constatou-se que esta UTP, está quase totalmente urbanizada, restando apenas às encostas do maciço do Morro da Cruz, conforme ilustrado na Figura 11.

No bairro Saco dos Limões, atualmente existem dois grupos de canais: canal da Vila Operária e o sistema de canais do aterro do saco dos limões. O objeto desta pesquisa são os canais do aterro do saco dos limões, como mostram os destaques em vermelho na Figura 11.

Figura 11: Localização dos canais da área de estudo



Fonte: adaptado de Google Maps (2020)<sup>3</sup>

#### 4.1.2 Delimitação da área contribuição atual para os canais

Através da utilização do software QGIS, versão 3.8, delimitou-se as áreas de estudo correspondendo a atual urbanização. Com a delimitação, obteve-se as áreas de contribuição das sub-bacias para os canais. Foram realizadas quatro fases para obter as delimitações da sub-bacias, sendo elas:

<sup>3</sup>Fonte gráfica do Sistema de Google Maps. Disponível em: <https://www.google.com/maps/search/google+maps/@-27.6123997,-48.5344432,1523m/data=!3m1!1e3> Acesso em 13 out. 2019.

### a) Definição do Modelo Digital de Elevação (MDE)

Como o próprio nome já se refere, o Modelo Digital de Elevação (MDE) é a representação digital de elementos topográficos da superfície terrestre, a definição da mesma passa por três fontes de dados para a construção do MDE, de acordo com Nelson et al (2009) são:

- Técnicas de levantamento de campo, com a aquisição de pontos precisos de latitude, longitude e elevação (x, y, z);
- Mapas topográficos existentes, com a derivação de curvas de nível, drenagens, lagos e pontos de elevação;
- Sensoriamento remoto, com a interpretação de fotografias aéreas ou de imagens adquiridas de satélites.

Para a construção da MDE deste trabalho, escolheu-se o sensoriamento remoto através de imagens de satélites gratuitas.

Existem vários tipos de satélites com várias resoluções espaciais diferentes, optou-se pelo satélite que tivesse a melhor resolução espacial, resultando em uma MDE mais detalhada e mais coerente. Dessa forma, foi utilizado o satélite conhecido como ALOS PALSAR<sup>4</sup>, esse segundo nome é devido ao sensor que foi utilizado, que contém uma resolução espacial de 12,5 metros que é superior comparado ao mais conhecido satélite LANDSAT 8 que apresenta 30 metros de resolução espacial.

### b) Pré-processamento do Modelo Digital de Elevação:

Nessa etapa foi feito um pré-processamento do MDE através da utilização do software QGIS, para a eliminação de quaisquer dados incoerentes que apresentem na imagem e que possam interferir no processo de delimitação da bacia, como: (I) remoção dos pixels negativos que representam cotas negativas que não existem; (II) eliminação dos pixels vazios que não

---

<sup>4</sup> Este satélite contém três sensores a bordo do ALOS (Daichi): (1) o radiômetro PRISM (Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping), apto a capturar imagens tridimensionais detalhadas da superfície terrestre; (2) o radiômetro multiespectral AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2) destinado aos mapeamentos de uso e cobertura das terras, e (3) o sensor de microondas PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar) capacitado na obtenção de imagens diurnas e noturnas sem a interferência de nebulosidade. (EMPRAPA: disponível em <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/alos>>. Acesso em 30 set 2020)

representam nenhum valor na imagem e podem influenciá-la, e (III) por último, a eliminação de um pixel anômalo, ou seja, o valor desse pixel é muito discrepante comparado com o seu entorno, levando a formação de depressões na imagem.

**c) Mapeamento hidrológico:**

Após o pré-processamento do Modelo Digital de Elevação (MDE), foi utilizado a ferramenta GRASS através da função `r.watersehd` do QGIS para gerar o mapeamento hidrológico da área de estudo. O mapeamento é formado por 3 imagens, são elas: direção de escoamento de fluxo da água, fluxo acumulado da água e a hidrografia (cursos d'águas). As informações presentes nessas imagens serão importantes para definição das áreas de estudo.

**d) Delimitação da bacia hidrográfica de estudo:**

Por fim, com os demais procedimentos realizados, foi realizada a criação de uma imagem que representa a delimitação das sub-bacias através do comando GRASS e função `r.watershed`. Essa função é de acordo com o MDE pré-processado, com as imagens que geraram a direção de escoamento de fluxo de água da bacia, fluxo acumulado da água e a hidrografia e por último, determinou-se um ponto a jusante de cada uma das sub-bacias hidrográficas como ponto de partida para delimitação das sub-bacias.

Outros dados foram obtidos com a aplicação deste software e possibilitando a identificação: (a) dado de uso e ocupação do solo, (b) coeficientes de compacidade e de forma, (c) índice de circularidade e (d) densidade de drenagem, planejados para este TCC e com as equações apresentadas na revisão da literatura.

#### **4.2 Etapa 2:** Caracterizou-se fisiograficamente as áreas de contribuição

As características geométricas das sub-bacias hidrográficas foram obtidas depois de realizada a delimitação das sub-bacias, e através do próprio software QGIS foi possível determinar as áreas, perímetros, comprimentos axiais, comprimentos totais dos talwegues das sub-bacias. Com esses dados foi possível caracterizar geometricamente as sub-bacias e encontrar o coeficiente de compacidade e de forma, índice de circularidade e densidade de drenagem.

#### 4.2.1 Caracterização do uso do solo para classificação das áreas

Para a definição da caracterização do uso do solo, utilizou-se o software QGIS. Dentro do software utilizou-se imagens do Google Earth e a partir definiu-se um parâmetro para cada tipo de ocupação de solo diferente, sendo que raramente será encontrado um único tipo de ocupação do solo.

Na realização da figura de caracterização do uso do solo, definiu-se a divisão em 5 diferentes grupos: (I) urbanização; (II) vegetação rasteira (campestre); (III) vegetação Florestal; (IV) solo exposto, e (V) canais de Estudo. A partir dessa classificação, definiu-se um parâmetro para cada uma delas, que acarretou em uma imagem que representa o uso e ocupação do solo das sub-bacias com seus respectivos coeficientes.

Com estes valores, foi possível o calcular o valor do Coeficiente de Escoamento Superficial através de uma média ponderada. Estes valores estão apresentados na Tabela 5. O cálculo efetuado através da Equação 11.

$$C_{pond} = \frac{\sum(C_i \cdot A_i)}{A} \quad (11)$$

Onde:

C: Coeficiente de escoamento superficial, resultante da média ponderada;

A: Área total da sub-bacia [km<sup>2</sup>];

$C_{pond}$ : Coeficiente de escoamento superficial correspondente à ocupação fragmento de áreas i;

$A_i$ : Área fragmentada sub-bacia correspondente à ocupação i [km<sup>2</sup>].

#### 4.2.2 Tempo de concentração e intensidade de chuva das áreas de contribuição

O tempo de concentração e intensidade de chuva da área de contribuição são dados importantes para obtenção da vazão pelo método Racional.

Como teve-se a autorização para consultar o projeto de Revitalização da Rodovia SC 401, trecho da Baía Sul, projetado em 2012, adotou-se a equação para a obtenção do tempo de concentração a ser utilizada pelos projetistas do referido projeto. Assim, o cálculo do tempo de concentração da área de contribuição obteve-se utilizando a Equação 12, sugerida na Instrução de

Serviço para estudo hidrológico da SIE (Secretaria de Estado de Santa Catarina) (SIE, 2017).

$$tc = \frac{10 .A^{0,3} .L^{0,2}}{K.i^{0,4}} \quad (12)$$

Onde:

tc: Tempo de concentração [minutos];

A: Área total da sub-bacia [ha];

L: Comprimento do talvegue principal [m]

i: Declividade do talvegue principal [m/m]

K: Coeficiente adimensional, dependente da característica da sub-bacia, de acordo com a Tabela 6

Tabela 6: valores de K, de acordo característica do solo da sub-bacia

Característica	K
Terreno areno-argiloso coberto de vegetação intensa, absorção elevada	2,0
Terreno argiloso coberto de vegetação, absorção média apreciável	3,0
Terreno argiloso coberto de vegetação, absorção média	4,0
Terreno com vegetação média, pouca absorção	4,5
Terreno com rocha, vegetação escassa, absorção baixa	5,0
Terreno rochoso, vegetação rala, absorção reduzida	5,5

Fonte: adaptado de SIE (2017)

O comprimento e a declividade média do talvegue das áreas de contribuição (canais) foram obtidos utilizados as informações extraídas através do software QGIS do mapeamento das áreas.

Para determinar a intensidade da chuva de uma região deve-se acessar a equação gerada com as características fisiográficas e climáticas locais. Assim, para a área de estudo utilizou-se a equação de chuva da Região Florianópolis, apresentada por Back et al. (2011), indicadas nas Equações 13 e 14. As quais apontam dois intervalos de duração de chuva que são:

- a) Para tempo no intervalo: 5 min < t < 120 min

$$i = \frac{222 Tr^{0,1648}}{t^{0,3835}} \quad (13)$$

b) Para tempo no intervalo: 120 min < t < 1440 min

$$i = \frac{465,5 Tr^{0,695}}{t^{0,5391}} \quad (14)$$

Onde:

i: Intensidade de chuva (mm/h)

Tr: tempo de retorno (anos);

t: Tempo de duração (min).

Os coeficientes de compacidade e de forma, índice de circularidade e densidade de drenagem foram obtidos através das equações 3; 1; 2 e 4 respectivamente, apresentadas na revisão da literatura.

#### 4.3 **Etapa 3:** Aplicação do método Racional e avaliação da capacidade de escoamento hidráulico dos canais

Para avaliar a capacidade de escoamento nos canais, colocou-se como seção de avaliação a galeria executada na Rodovia 401, localizada no Aterro da Baía Sul (Rodovia Governador Aderbal Ramos da Silva).

Para um entendimento da atual situação, procurou-se a empresa que executou o projeto, no entanto, teve-se que buscar a autorização da Secretaria de Infraestrutura do Estado de Santa Catarina (SIE), que foi o mandatário do projeto. Neste longo trâmite em busca da autorização, descobriu-se que a licitação do projeto e execução da obra de revitalização da Rodovia 401 partiu da Prefeitura Municipal de Florianópolis. Assim, transferiu-se o trâmite da autorização de vista aos projetos para a Secretária Municipal de Infraestrutura de Florianópolis, que então, finalmente, obteve-se o acesso ao projeto.

Por conta da área de contribuição ser menor que 2 km<sup>2</sup>, utilizou-se o Método Racional para o cálculo da vazão. Sendo este também o método utilizado pela empresa que efetuou o projeto de revitalização dos canais da Baía Sul.

Com todas as incógnitas necessárias e estabelecidas no item 4.2.1, obteve a vazão atual, utilizando-se a Equação 9.

Considerou-se os parâmetros para a equação do Método Racional, coeficiente de escoamento superficial ponderado, de acordo a Equação 11; o tempo de retorno de 50 anos, por se tratar de obras de arte, intensidade de chuva de acordo com o valor obtido na Equação 13 ou 14, de acordo com o tempo de concentração calculado nas sub-bacias.

O cálculo da vazão, pelo Método Racional, aplicou-se individualmente para cada canal. Para a avaliação da atual situação em que os canais estão submetidos, efetuou-se a comparação da vazão de contribuição das áreas das sub-bacias e a do projeto pela capacidade hidráulica. Para isso, foi determinado a seção de controle, aquela que tende a ter a capacidade hidráulica mais elevada, como destaca-se na Figura 12 por círculos vermelhos, por se tratar dos locais mais críticos pela passagem pelas galerias sob a Rodovia 401.

Figura 12 – Localização das seções de controle



Fonte: Adaptada Google Earth (2020)

Com a seção de controle definida, obteve-se as dimensões das seções dos canais, de acordo com o projeto executivo. Assim, a capacidade de escoamento no canal foi determinada através da Equação 15 em cada seção.

$$Q = v \cdot A \quad (15)$$

Onde:

Q: Vazão (m<sup>3</sup>/s)

v: Velocidade média (m/s)

A: Área transversal do canal

Para determinar a velocidade foi empregada a fórmula de Manning representada na Equação 16, em que é aplicado com o coeficiente de rugosidade de manning, conforme características do canal apresentado na Tabela 7, considerando área trapezoidal dos canais, identificado no projeto.

$$v = \frac{1}{n} \cdot Rh^{\frac{2}{3}} \cdot I^{0,5} \quad (16)$$

Onde:

v: Velocidade média (m/s)

n: Coeficiente de rugosidade de manning

Rh: Raio Hidráulico (m)

I: Declividade média do escoamento (m/m)

O coeficiente de manning é definido de acordo com o tipo de material que é revestido o canal. Na Tabela 7 é apresentado os diferentes valores para o Coeficiente de Manning para os diferentes tipos de materiais.

O Coeficiente de Manning adotado foi de 0,014, correspondente a canais com revestimento de concreto. A Figura 13 ilustra o material construtivo dos canais.

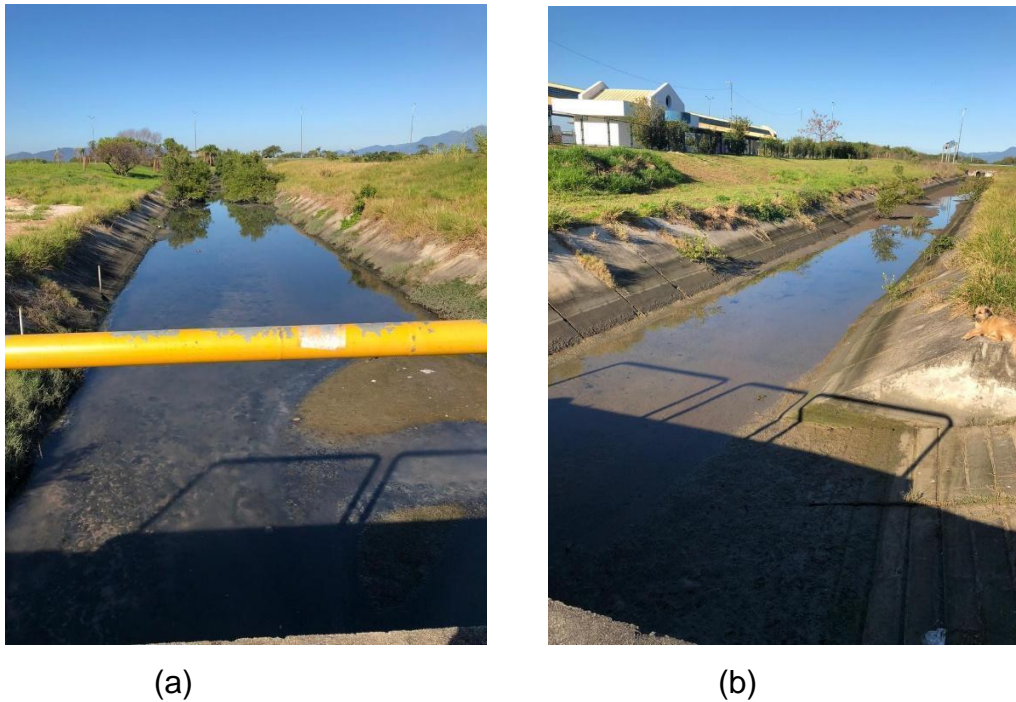
Tabela 7: Valores do coeficiente de rugosidade da fórmula de Manning

Natureza das Paredes	Condições			
	Muito Boas	Boas	Regulares	Más
Tubos de ferro fundido sem revestimento.....	0,012	0,013	0,014	0,015
Idem, com revestimento de alcatrão.....	0,011	0,012*	0,013*	---
Tubos de ferro galvanizado.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Tubos de bronze ou de vidro.....	0,009	0,010	0,011	0,013
Condutos de barro vitrificado, de esgotos.....	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de barro, de drenagem.....	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Alvenaria de tijolos com argamassa de cimento: condutos de esgoto, de tijolos.....	0,012	0,013	0,015*	0,017
Superfícies de cimento alisado.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Superfícies de argamassa de cimento.....	0,011	0,012	0,013*	0,015
Tubos de concreto.....	0,012	0,013	0,015	0,016
Condutos e aduelas de madeira.....	0,010	0,011	0,012	0,013
Calhas de prancha de madeira aplainada.....	0,010	0,012*	0,013	0,014
Idem, não aplainada.....	0,011	0,013*	0,014	0,015
Idem, com pranchões.....	0,012	0,015*	0,016	---
Canais com revestimento de concreto.....	0,012	0,014*	0,016	0,018
Alvenaria de pedra argamassa.....	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra seca.....	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de pedra aparelhada.....	0,013	0,014	0,015	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares).....	0,011	0,012	0,013	0,015
Idem, corrugadas.....	0,023	0,025	0,028	0,030
Canais de terra, retilíneos e uniformes.....	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais abertos em rocha, lisos e uniformes.....	0,025	0,030	0,033*	0,035
Canais abertos em rocha, irregulares, ou de paredes de pedra irregulares e mal-arrumadas.....	0,035	0,040	0,045	---
Canais dragados.....	0,025	0,028	0,030	0,033
Canais curvilíneos e lamosos.....	0,023	0,025*	0,028	0,030
Canais com leito pedregoso e vegetação aos taludes.....	0,025	0,030	0,035*	0,040
Canais com fundo de terra e taludes empedrados.....	0,028	0,030	0,033	0,035
<b>ARROIOS E RIOS</b>				
1. Limpos, retilíneos e uniformes.....	0,025	0,028	0,030	0,033
2. Como em 1, porém com vegetação e pedras.....	0,030	0,033	0,035	0,040
3. Com meandros, bancos e poços pouco profundos, limpos.....	0,035	0,040	0,045	0,050
4. Como em 3, águas baixas, declividade fraca.....	0,040	0,045	0,050	0,055
5. Como em 3, com vegetação e pedras.....	0,033	0,035	0,040	0,045
6. Como em 4, com pedras.....	0,045	0,050	0,055	0,060
7. Com margens espaiadas, pouca vegetação.....	0,050	0,060	0,070	0,080
8. Com margens espaiadas, muita vegetação.....	0,075	0,100	0,125	0,150

\* Valores aconselhados para projetos.

Fonte: Porto (2006)

Figura 13: Características das paredes dos canais (a) Canal 1 e (b) Canal 2



Fonte: Elaboração própria (2020)

O raio hidráulico foi calculado a partir da Equação 17.

$$Rh = \frac{Am}{Pm} \quad (17)$$

Onde:

Rh: Raio Hidráulico (m)

Am: Área molhada (m<sup>2</sup>)

Pm: Perímetro molhado (m)

Porém, para o cálculo da área molhada é obtido pela Equação 18 e Perímetro molhado pela Equação 19.

$$Am = h.(b+m.h) \quad (18)$$

Onde:

Am: Área molhada (m<sup>2</sup>)

h: Altura da lâmina de água do canal (m)

b: Largura do canal (m)

m: Fator de inclinação do canal ( H horizontal : H vertical)

$$Pm = b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2} \quad (19)$$

Onde:

Pm: Perímetro molhado (m)

h: Altura da lâmina de água do canal (m)

b: Largura do canal (m)

m: Fator de inclinação do canal ( H horizontal : H vertical)

Com este procedimento metodológico, passa-se a apresentar e analisar os dados obtidos.

## 5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E ANÁLISES

Os resultados obtidos neste Trabalho de Conclusão de Curso serão apresentados na ordem das etapas de desenvolvimento da pesquisa apresentada no capítulo 4.

### 5.1 Delimitação da área contribuição atual para os canais

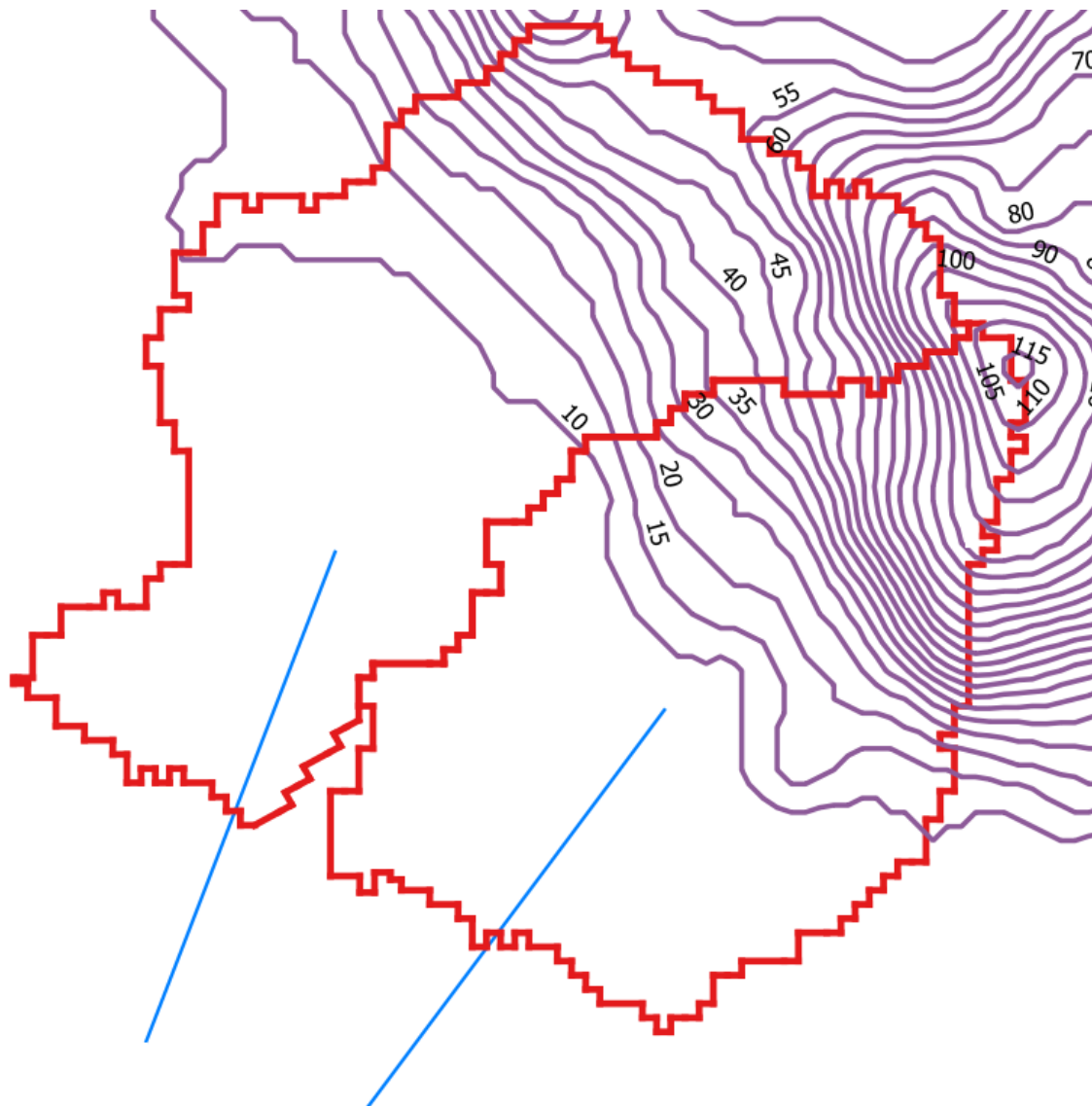
Pela utilização do software QGIS, foi processado os limites da sub-bacias hidrográficas em imagens de satélite do Google Earth e obteve-se as imagens das áreas 1 e 2, correspondentes aos canais 1 e 2 respectivamente, conforme apresentadas nas Figuras 14 e 15.

Figura 14 - Delimitação das duas sub-bacias



Fonte: Adaptado Google Earth (2020)

Figura 15 – Sub-bacias com curvas de níveis e canais de estudo



Fonte: Elaboração própria (2020)

Extraíu-se dos mapas gerados as áreas de contribuição dos dois canais e os dados de perímetro e o comprimento do talvegue (os canais). Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Dados obtidos através do software QGIS

Parâmetros	Valores	
	Sub-bacia Canal 1	Sub-bacia Canal 2
Área de contribuição [km <sup>2</sup> ]	0,2600	0,2296
Perímetro [km]	3,422	2,734
Comprimento do talvegue (canal) [km]	0,2450	0,2453

Fonte: Elaboração própria (2020)

## 5. 2 Caracterização fisiográfica das áreas de contribuição

### 5.2.1 Características da Sub-bacia do Saco dos Limões

Com os valores apresentados na Tabela 8, obteve-se os valores que indicam as características fisiográficas das áreas. A Tabela 9 apresenta os coeficientes e índices das áreas.

Tabela 9: Parâmetros fisiográficos das áreas

Parâmetros	Valores	
	Sub-bacia Canal 1	Sub-bacia Canal 2
Coeficiente de compacidade	1,879	1,598
Fator de forma	0,527	0,654
Índice de circularidade	0,279	0,386
Densidade de drenagem [km/km <sup>2</sup> ]	0,942	1,068

Fonte: Elaboração própria (2020)

Assim, observa-se que as áreas não estão propensas a cheias, de acordo com os valores apresentados na Tabela 9 e à densidade de drenagem mostrou-se com classificação de densidade regular nas duas sub-bacias, de acordo com a classificação indicada por Carvalho e Silva (2006).

### 5.2.2 Caracterização do uso do solo para classificação das áreas

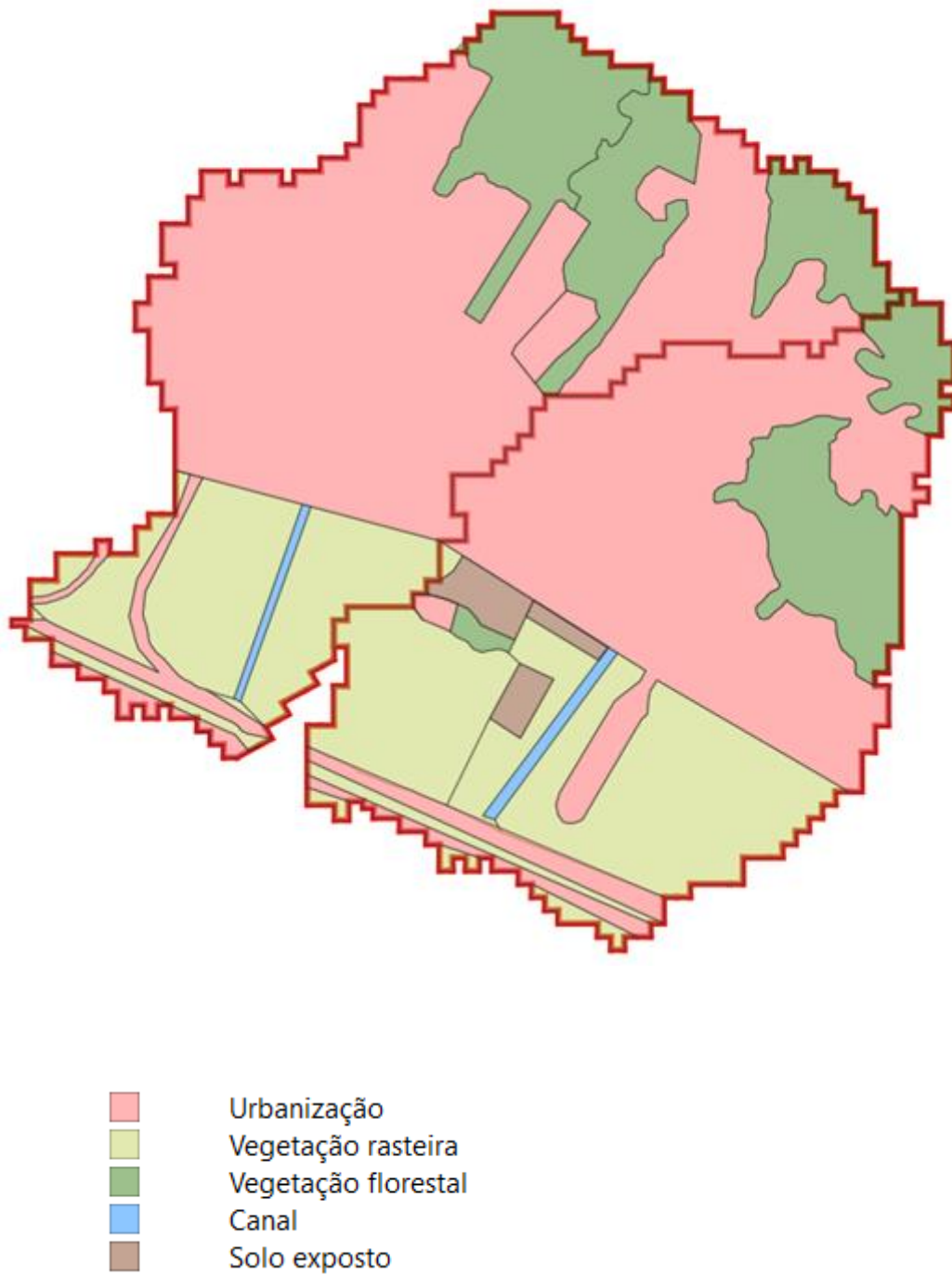
A figura de caracterização e uso do solo foi feita de forma que se assemelhe ao máximo com o real. Dessa forma, após a construção da figura, realizou-se uma visita ao local, com a finalidade de averiguação se as imagens de satélite utilizadas como parâmetro, estavam de acordo com a realidade. Porém, constatou-se poucas diferenças. Assim foi desconsiderada, por não apresentar interferência significativa a figura gerada através do software.

Na realização da figura de caracterização do uso do solo, definiu-se a divisão em 5 diferentes grupos:

- Urbanização
- Vegetação rasteira (campestre)
- Vegetação Florestal
- Solo exposto
- Canais de Estudo

De acordo com os grupos definidos para a caracterização de uso e ocupação do solo, foi possível construir o mapa apresentado na Figura 16, bem como as áreas de cada grupo.

Figura 16 - Figura de Uso do solo e ocupação



Fonte: Elaboração própria (2020)

Nessa figura constata-se que ambas as sub-bacias são similares em relação ao uso do solo, observando que há o predomínio da urbanização e da vegetação rasteira (grama).

Assim, definiu-se o coeficiente de escoamento (C), pela determinação em cada grupo o coeficiente de escoamento superficial de cada sub-bacia e suas áreas correspondentes. Pela média ponderada o obter o valor médio de C. Dessa maneira, as Tabelas 5 e 10, apresentam os coeficientes de escoamento que foram empregados.

Tabela 10 – Coeficiente de escoamento superficial

CARACTERÍSTICAS	VALORES DE C
Terreno Estéril Montanhoso - Material rochoso ou geralmente não poroso com reduzida ou nenhuma vegetação e altas declividades.	0,80 a 0,90
Terreno Estéril Ondulado – Material rochoso ou geralmente não poroso, com reduzida ou nenhuma vegetação em relevo ondulado e com declividades moderadas.	0,60 a 0,80
Terreno Estéril Plano – Material rochoso ou geralmente não poroso, com reduzida ou nenhuma vegetação e baixas declividades.	0,50 a 0,70
Prados, Campinas, Terreno Ondulado - Áreas de declividade moderadas, grandes porções de gramados, flores silvestres ou bosques, sobre um manto de material poroso que cobre o material não poroso.	0,40 a 0,65
Matas Decíduas, Folhagem Caduca – Matas e florestas de árvores decíduas em terreno de declividades variadas.	0,35 a 0,60
Matas Coníferas, Folhagem Permanente - Florestas e matas de árvores de folhagem permanente em terreno de declividades variadas.	0,25 a 0,50
Pomares – Plantações de árvores frutíferas com áreas abertas cultivadas ou livres de qualquer planta a não ser gramas.	0,15 a 0,40
Terrenos cultivados, Zonas altas – Terrenos cultivados em plantações de cereais ou legumes, fora de zonas baixas e várzeas.	0,15 a 0,40
Fazendas – Vales – Terrenos cultivados em plantações de cereais ou legumes, localizadas em zonas baixas e várzeas.	0,10 a 0,30

Fonte: IGUATEMI LTDA. e Manual de Projeto de Engenharia Rodoviária - DER/SC

Dessa forma, foi elaborado a Tabela 11 que apresenta o valor do coeficiente de escoamento de cada sub-bacia.

Tabela 11 – Coeficiente de escoamento superficial ponderado das sub-bacias

Características do solo	Sub-bacia Canal 1		Sub-bacia Canal 2	
	Área (km <sup>2</sup> )	C	Área (km <sup>2</sup> )	C
Urbanização	0,1572	0,9	0,1139	0,9
Vegetação Rasteira	0,0473	0,3	0,0748	0,3
Vegetação Florestal	0,054	0,5	0,0321	0,5
Solo exposto	0	0,6	0,0066	0,6
<b>Coeficiente Ponderado</b>		<b>0,71</b>		<b>0,64</b>

Fonte: Elaboração própria (2020)

O resultado obtido demonstra que as sub-bacias apresentam similaridade no coeficiente de escoamento superficial, já que a figura de uso e ocupação do solo de ambas demonstra esta semelhança. O valor do coeficiente escoamento superficial encontrado mostra que as duas sub-bacias estão mais próximo de 1. Indicando que os eventos de precipitação ocorridos, a maior parcela será escoada e o restante infiltrará ou percolará. Na sub-bacia 1 o valor médio do coeficiente de escoamento superficial ponderado é de 0,70, correspondendo que 70% da precipitação escoam superficialmente na área 1. Na sub-bacia 2 o valor médio ponderado é de 0,63, correspondendo que 63% da precipitação escoam superficialmente na área 2. A característica das áreas é de urbanização em crescimento.

### 5.2.3 Tempo de concentração e intensidade de chuva da área de contribuição

Com o coeficiente de escoamento superficial determinado, foi encontrado o valor do tempo de concentração através da Equação 12, sendo apresentado os resultados na Tabela 12.

Tabela 12 - Tempo de concentração das sub-bacias

	Sub-bacia 1	Sub-bacia 2
Área de contribuição (ha)	26	22,96
Comprimento do talvegue principal (m)	245,06	245,31
Declividade do talvegue principal (%)	0,000396	0,000481
K	4,5	4,5
Tempo de concentração (min)	<b>407,51</b>	<b>363,21</b>

Fonte: Elaboração própria (2020)

Percebe-se que o tempo de concentração encontrado, em ambas as sub-bacias, está no intervalo entre 120 min <  $t_c$  < 1440 min, logo será utilizado a Equação 14 para determinar a intensidade de chuva das bacias. Considerando-se pela obra de macrodrenagem um tempo de retorno de 50 anos. Assim, obteve-se os valores de intensidade de chuva para as bacias:

$$\text{Sub-bacia 1 - } i = \frac{465,5 \cdot 50^{0,695}}{407,51^{0,5391}} = 276,43 \text{ mm/h}$$

$$\text{Sub-bacia 2 - } i = \frac{465,5 \cdot 50^{0,695}}{363,21^{0,5391}} = 294,12 \text{ mm/h}$$

Dessa forma, foi obtido que a intensidade de chuva para a sub-bacia 1 é de 276,43 mm/h e da sub-bacia 2 é de 294,12 mm/h. Com isso, foi determinado todos os índices de caracterização fisiográficas das sub-bacias e que auxiliarão na continuação do estudo, a qual será apresentado na próxima etapa.

### 5.3 Etapa 3: Aplicação do método Racional e avaliação da capacidade de escoamento hidráulico dos canais

Após a extração de todos os dados necessários nas etapas anteriores, basta aplicá-los para conseguir determinar a vazão das duas sub-

bacias de estudo e, posteriormente verificar a capacidade hidráulica dos canais de estudo.

### 5.3.1 Método Racional

Aplicando a Equação 9, consegue determinar as vazões das duas sub-bacias como é demonstrado pela Tabela 13 abaixo.

Tabela 13 – Vazões das sub-bacias

	Sub-bacia 1	Sub-bacia 2
Coefficiente de Escoamento Superficial	0,71	0,64
Intensidade de chuva (mm/h)	276,43	294,12
Área de contribuição (ha)	26	22,96
Vazão de contribuição (m <sup>3</sup> /s)	<b>14,17</b>	<b>12,01</b>

Fonte: Elaboração própria (2020)

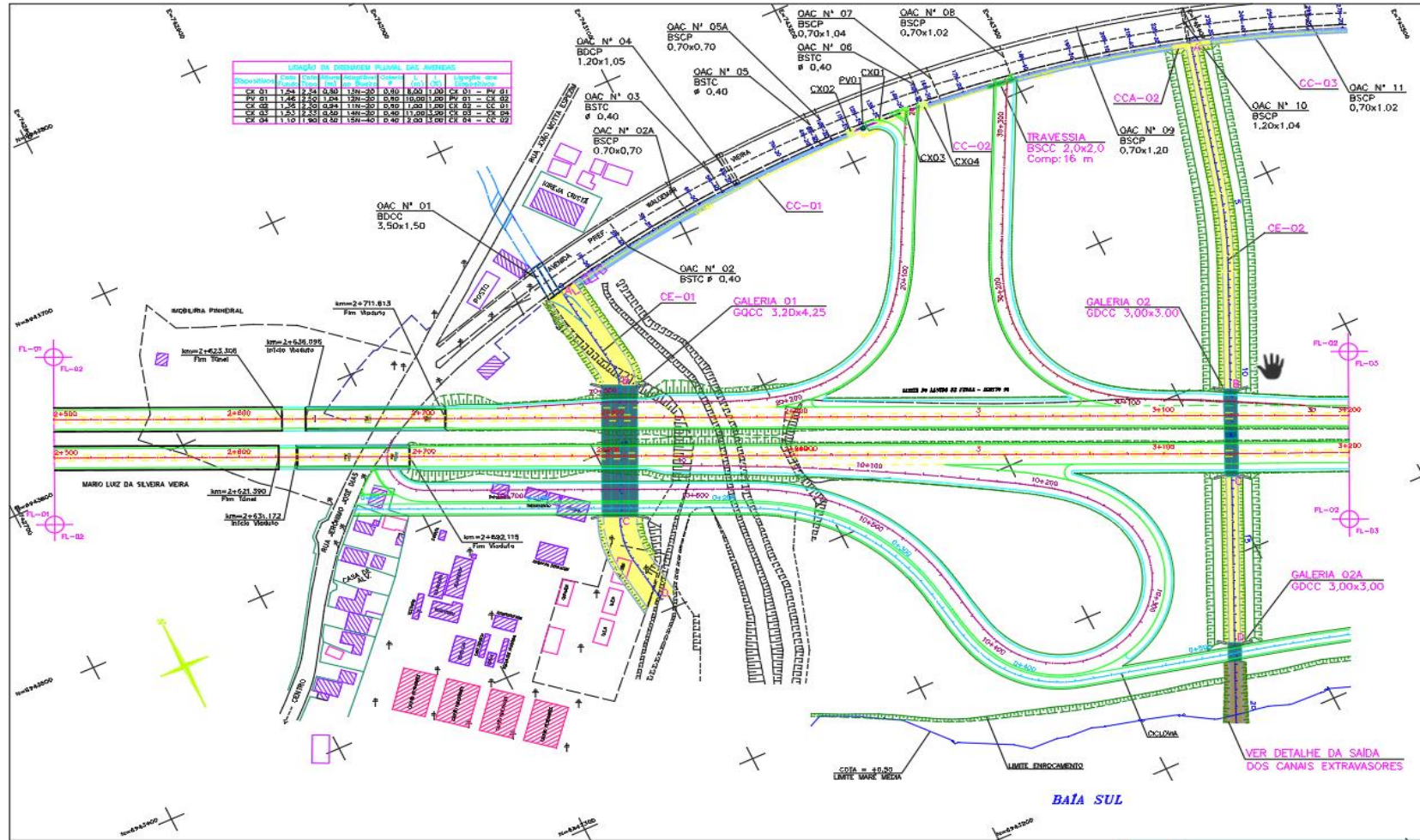
Apesar do coeficiente de escoamento superficial das duas sub-bacias serem similares, apresentou uma diferença de vazão de 2,16 m<sup>3</sup>/s, em decorrência da intensidade de chuva e da área delas.

### 5.3.2 Avaliação da capacidade de escoamento hidráulico dos canais

Para determinar a capacidade de escoamento hidráulico dos canais das sub-bacias utilizou-se a Equação 16 para determinar a velocidade do escoamento superficial e a Equação 15 para encontrar a vazão máxima suportada pelos canais para que posteriormente seja feito uma comparação entre a vazão encontrada pelo método Racional com a vazão suportada pelos canais.

A empresa responsável disponibilizou os projetos a seguir para conseguir identificar os canais de estudo (Figuras 17 e 18)

Figura 17 – Planta de situação do Canal 1



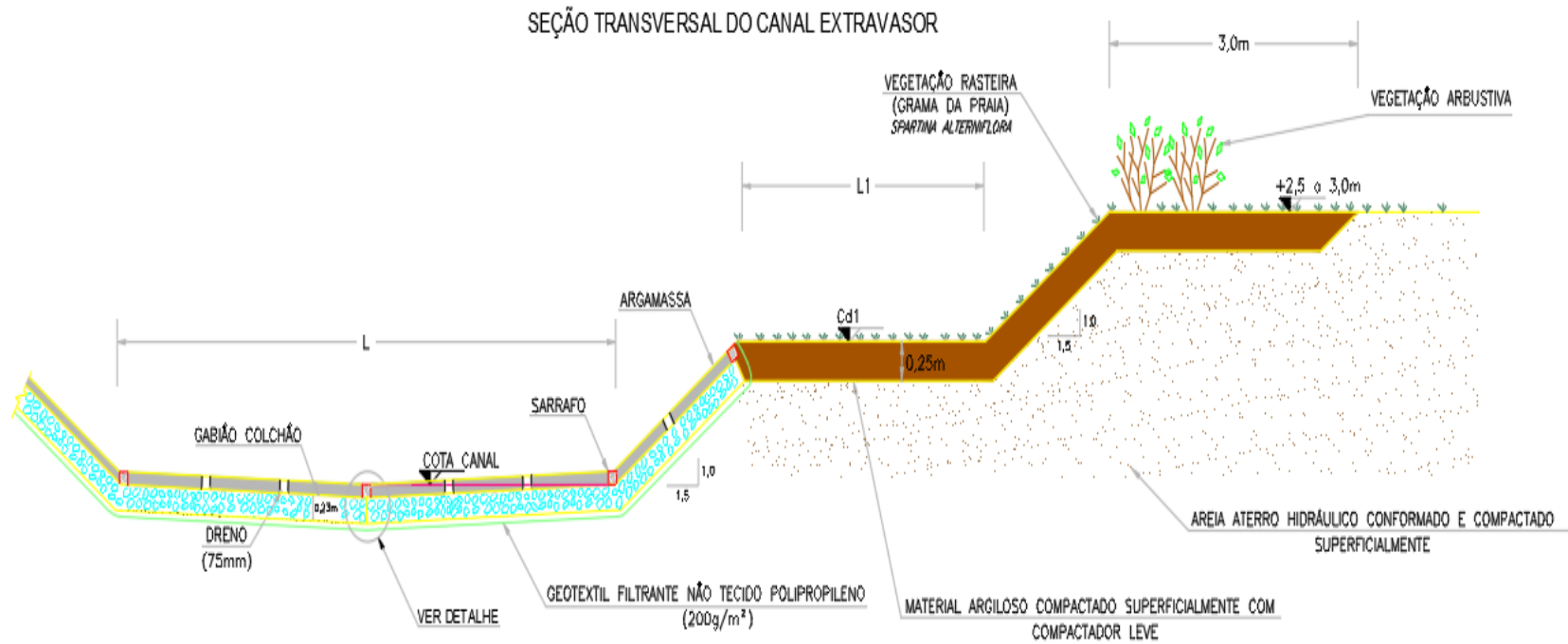
Fonte: Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia LTDA



Na Figura 17, o canal 1 fica localizado na direita da imagem, enquanto que na Figura 18, o canal 2 fica à esquerda da imagem. Percebe-se pelo projeto que a nomenclatura utilizada para os dois canais foi de CE-02 e CE-03, respectivamente, referente que ambos são canais extravasadores.

Com a identificação dos canais dentro do projeto, é necessário obter a seção que será estudada em ambos os canais. Dessa maneira, a Figura 19 apresenta o projeto da seção que foi estudada nesta pesquisa.

Figura 19 – Seção Transversal dos Canais



Fonte: Iguatemi Consultoria e Serviços de Engenharia LTDA

A partir da Equação 16, foi estabelecido a velocidade de escoamento dos canais, e a partir da velocidade e da área transversal do canal, é obtido a vazão suportada pelos canais como é demonstrado na Tabela 14.

Primeiramente, é determinado o Raio Hidráulico (Equação 17) dos canais que seria a divisão entre a área molhada (Equação 18) do canal e o perímetro molhado (Equação 19). Depois foi determinado o valor do coeficiente de Manning através da Tabela 7.

Os parâmetros para encontrar o Raio Hidráulico foram todos obtidos através dos projetos e memoriais fornecidos pela empresa e a declividade foi através do software QGIS.

Tabela 14 – Vazão máxima dos canais

	Canal 1	Canal 2
Coefficiente de rugosidade de manning	0,014	0,014
h (m)	1,8	1,8
b (m)	7	4
m (Figura 19)	1,5	1,5
Área molhada (m <sup>2</sup> )	17,46	12,06
Perímetro molhado (m)	13,49	10,49
Raio Hidráulico (m)	1,294	1,150
Declividade média do escoamento (m/m)	0,000396	0,000481
Velocidade de escoamento (m/s)	1,688	1,719
Área transversal do canal (m <sup>2</sup> )	17,46	12,06
Vazão ( m <sup>3</sup> /s)	<b>29,475</b>	<b>20,734</b>

Fonte: Elaboração própria (2020)

Os valores obtidos de vazão pelo método racional em comparação a capacidade hidráulica dos canais apontam, que até o momento, os mesmos suportam as vazões de contribuição das áreas objeto deste estudo, ou seja, a vazão de contribuição das bacias foi inferior a vazão crítica dos canais.

## 6. CONCLUSÃO

As sub-bacias aqui estudadas demonstram um crescimento urbano em expansão. Sem uma característica das áreas urbanas próximas à área Central da Capital do Estado de Santa Catarina. E com esse crescimento estão atreladas as preocupações referentes à infraestrutura de rede de drenagem. Principalmente em regiões em que as ocupações do solo não obedecem ao plano diretor com o efetivo controle da esfera municipal, de modo a atender ao Plano Municipal de Saneamento.

Neste contexto, a pesquisa desenvolveu seus objetivos e os cumpriu no tocante à caracterização fisiográfica das sub-bacias e à avaliação da atual capacidade de escoamento nos canais existentes, comparando ao projeto de Reabilitação da Rodovia SC 401, no trecho da Baía Sul. A autorização dada para que pudesse ter vistas aos dados de projeto, alavancou maior equiparidade na avaliação dos dados obtidos na pesquisa, diante dos dados projetados e executados.

Com o mapa de uso e ocupação do solo foi possível obter o coeficiente de escoamento superficial ponderado, as variáveis para obter as características fisiográficas e as demais variáveis que proporcionaram a aplicação do método racional. Assim, obteve-se as vazões de contribuição da Área 1 de 14,17 m<sup>3</sup>/s e para o Área 2 de 12,01 m<sup>3</sup>/s. A capacidade de escoamento hidráulico nas seções de controle para as respectivas áreas, no Canal 1 a vazão crítica é de 29,47m<sup>3</sup>/s e no Canal 2 é de 20,73 m<sup>3</sup>/s.

Por este, observa-se que a vazão de contribuição da Área 1 corresponde a 48% da capacidade de escoamento do anal 1. E a vazão de contribuição da Área 2 corresponde a 58% da capacidade de escoamento do Canal 2.

Por esta avaliação concluiu-se que a atual situação das áreas, os canais absorvem as vazões oriundas das áreas estudadas. No entanto, os valores de vazão de contribuição demonstram que os canais absorvem a atual vazão geradas nas áreas de contribuição. Porém, fica o alerta para o crescimento urbano local, no que tange às ações de planejamentos. Apontando

para a necessidade de incluir em seus protocolos de prevenção, medidas de controles estruturais e não estruturais adequadas à realidade local.

Com o projeto em mãos da Revitalização da Rodovia SC 401, procurou-se identificar as dimensões das galerias localizadas sob a Rodovia Aderbal Ramos da Silva. No entanto, o referido projeto não contemplou o detalhamento das seções das mesmas, para que se pudesse realizar a aferição da capacidade de escoamento nestes pontos, por entender-se que na entrada das galerias, são pontos críticos pela diminuição da seção transversal de escoam.

Os valores obtidos de capacidade de escoamento dos canais mesmo que ainda não demonstrem evidências alarmantes, porém apontam para um olhar mais técnico a ser levado em consideração no planejamento urbano da região.

Pelas reflexões feitas ao longo da execução deste Trabalho de Conclusão de Curso, entende-se que pelas limitações decorrentes do isolamento social pela pandemia da COVID-19, indica-se como trabalho futuro uma análise dos projetos executados desde o final da década de 90, que não se teve acesso, e comparar com o realizado em 2012. Além de um estudo hidrológico da região para um maior detalhamento para a futura ocupação das áreas aqui estudadas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, L. E.; SOUSA, F. A. S.; RIBEIRO, M. A. F. M.; SANTOS, A. S.; MEDEIROS, P.C. Análise estatística de chuvas intensas na bacia hidrográfica do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, n.2, 162-169, 2008.

ÁVILA, C. J. C. P., ASSAD, E. D., VERDESIO, J. J., EID, N. J., SOARES, W. FREITAS, M. A. V., **Geoprocessamento da Informação Hidrológica**, 1999.

BACK, A. J.; HENN, A.; OLIVEIRA, J. L. R. Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.35, p.2127-2134, 2011

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. UFRGS. Porto Alegre, 2001.

BRASIL, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. DNIT. 2005.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. Capítulo 5: hidrologia. 2006. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap5- INF.pdf> Acesso 12 ago 2019.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª Edição. Edgard Blucher Ltda e EDUSP, São Paulo, 1980

COLLISCHONN, Walter e DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2ª. Edição. Editora ABRH. Porto Alegre, 2015.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo Hidrologia**. IPH UFRGS. 2018.

CRÓSTA, A. P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Edição Revisada, Campinas, SP: IG/UNICAMP, 2002

Engman, E.T. **Remote Sensing Applications to Hydrology: Future Impact**. **Hydrological Sciences Journal**, Vol. 41, n.º 4, pp 637 - 647.

ELTZ, F. L. P.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 265-269, maio/ago. 1992.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Oficina de textos 3º ed. 2011.

HOFF, R.; LEITE, J. C.; ZOUAIN, R. N. A. **Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento como apoio a estudos geológicos e geotécnicos para gestão ambiental do município de Três Cachoeiras, litoral norte do RS, Brasil**, Revista Luso-Brasileira de Geotecnia, 2010.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Panorama: população de Florianópolis. Disponível em <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/florianopolis/panorama>> . Acesso em 13 out 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sinopse do censo demográfico 2010. Disponível em <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=6>> . Acesso em 13 out 2019.

LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. USP. São Paulo, 2008.

MATA-LIMA, H. et al. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 60, n. 3, p. 525-536, jul/set, 2007.

MARTINS, J. R. S. Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente? **Artigo científico**, p. 1-41. Jul, 2012. Disponível em: <[http://www.dae.sp.gov.br/outorgatreinamento/Obras\\_Hidr%C3%A1ulic/gestao\\_drenagem.pdf](http://www.dae.sp.gov.br/outorgatreinamento/Obras_Hidr%C3%A1ulic/gestao_drenagem.pdf)> Acesso em: out 2019.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: Ed. UFLA, 2013.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos Princípios, Integração e Aplicação**. 2<sup>o</sup> Edição, 2013

NELSON, A.; REUTER, H. I.; GESSLER, P. DEM Production Methods and Sources. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, pp. 31-64, 2009.

OLIVEIRA, L. F. C.; Cortês, F. C.; WEHR, T. R.; BORGES, L. D.; SARMENTO, P. H. L.; GRIELEBER, N. P Intensidade-Duração-Frequência de chuvas intensas para localidades no estado de Goiás e Distrito Federal: **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 2005.

PEREIRA, S. B.; FIETZ, C. R.; PEIXOTO, P. P. P.; ALVES SOBRINHO, T.; SANTOS, F.M. Equação de intensidade, duração e frequência da precipitação para a região de Dourados, MS. Dourados: **Embrapa Agropecuária Oeste**, 2007

PMF, Prefeitura Municipal de Florianópolis. Plano municipal integrado de saneamento diagnóstico da drenagem Urbana, 2009. Disponível em<

[http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/19\\_07\\_2010\\_18.19.50.0567a4211581bde5f9fb545668984ede.pdf](http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/19_07_2010_18.19.50.0567a4211581bde5f9fb545668984ede.pdf)>. Acesso em: 13 out 2019.

PMF, Prefeitura Municipal de Florianópolis. Plano municipal integrado de saneamento versão preliminar do PMISB, 2010a. Disponível em <[http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/23\\_09\\_2010\\_18.24.35.20a6811bd7b11ef683f3ad54ee16087b.pdf](http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/23_09_2010_18.24.35.20a6811bd7b11ef683f3ad54ee16087b.pdf)>. Acesso em: 13 out 2019.

PMF, Prefeitura Municipal de Florianópolis. Plano municipal integrado de saneamento mapa base de planejamento, 2010b. Disponível em <[http://portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/06\\_06\\_2012\\_13.56.43.35dd0f0f2721baf2cc591e435223792a.pdf](http://portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/06_06_2012_13.56.43.35dd0f0f2721baf2cc591e435223792a.pdf)>. Acesso em: 13 out 2019.

PORTELA, M. M. **Modelação Hidrológica**. Instituto Superior Técnico. Lisboa, 2006.

PORTO, R. M. Hidráulica Básica. Departamento de Hidráulica e Saneamento Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo. 4º Ed., 2006

Rango, A. & Shalaby, A.I. **Operational Applications of Remote Sensing in Hydrology: Success, Prospects and Problems**. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 43, n.º 6, pp 947 - 968.

Rodrigues, L.M.R. **Geoprocessamento aplicado ao estudo da evolução e adequação do uso agrícola das terras na microbacia do córrego Lamarão**, D.F. Dissertação de mestrado n. 131. Instituto de Geociências/ depto. de Geologia. UnB. Brasília. 1998. 107 p.

SIE, Secretaria de Infraestrutura do Estado de Santa Catarina. Instrução de Serviço: IS 06 para estudo hidrológico. 2017. disponível <<https://www.sie.sc.gov.br/webdocs/sie/doc-tecnicos/engenharia-rodoviaria/instrucao-servico/IS-06.pdf>>. Acesso em 08 set 2020.

SILVA, D. D.; PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; GOMES FILHO, R. R.; LANA, A. M. Q.; BAENA, L. G. N. **Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o Estado de Tocantins**. Engenharia na Agricultura, 2003.

STROISCH, Bruna. Prefeitura discute futuro das obras do anel viário de Florianópolis. NDTV, Florianópolis, 21 de maio de 2020. Acesso em julho de 2020.

TASSI, R.; BASTOS, C. A. B. ; MIRANDA, T. C. Aspectos metodológicos sobre o emprego do método do SCS com auxílio de ferramentas de geoprocessamento

no projeto de estruturas de drenagem de uma rodovia: **Teoria e prática na engenharia civil** , 2005

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L; FULLER, B. B. 'O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.' Revista UNIARA n. 20, pp. 137 – 156. 2007

TOMAZ, P. **Cálculos Hidrológicos e Hidráulicos para Obras Municipais: Piscinões, Galerias, Bueiros, Canais. Métodos SCS, Denver, Santa Bárbara, Racional, TR-55.** São Paulo: Editora Navegar, 2002.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 2a ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2001.