

Universidade Federal de
Santa Catarina

Curso de Engenharia
Sanitária e Ambiental

Campus Universitário
Trindade

Florianópolis- SC

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de Engenharia
Sanitária e Ambiental, do Centro de Ciências
Tecnológicas da Universidade Federal de
Santa Catarina para obtenção do grau de
engenheiro sanitaria e ambiental.

Orientadora: Patrícia Kazue Uda

Florianópolis, 2018

Determinação da curva-chave do rio João Gualberto – Florianópolis, SC
Leonardo Ruschel Horn

Determinação da curva-chave do rio João Gualberto
– Florianópolis, SC

Leonardo Ruschel Horn

Orientadora:
Patrícia Kazue Uda

Leonardo Ruschel Horn

**DETERMINAÇÃO DA CURVA-CHAVE DO RIO JOÃO
GUALBERTO – FLORIANÓPOLIS, SC**

Trabalho de conclusão de curso
submetido ao Departamento de
Engenharia Sanitária e Ambiental da
Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do título de
Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Patrícia Kazue
Uda

Florianópolis
2018

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Horn, Leonardo Ruschel

Determinação da curva-chave do rio João Gualberto
- Florianópolis, SC / Leonardo Ruschel Horn ;
orientadora, Patrícia Kazue Uda, 2018.
73 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e
Ambiental, Florianópolis, 2018.

Inclui referências.

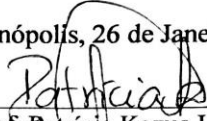
1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2.
Hidrologia. 3. Fluviometria. 4. Curva-chave. 5.
Extrapolação. I. Uda, Patrícia Kazue. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Leonardo Ruschel Horn

**DETERMINAÇÃO DA CURVA-CHAVE DO RIO JOÃO
GUALBERTO – FLORIANÓPOLIS, SC**

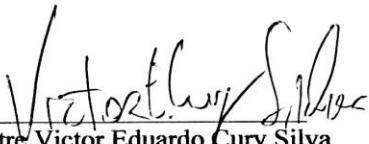
Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 26 de Janeiro de 2018.

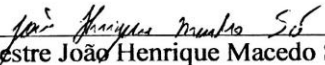

Prof. Patrícia Kazue Uda, Dra.
Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Banca Examinadora:


Mestre Victor Eduardo Cury Silva
Banca examinadora

Universidade Federal de Santa Catarina


Mestre João Henrique Macedo Sá
Banca examinadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado à minha família e em especial para minha avó, que me ensina sempre sobre a simplicidade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Profa. Patricia Kazue Uda, não só pelo espaço cedido no Laboratório de Hidráulica Marítima e pelo computador, mas também pelo enorme esforço em ensinar, apoiar, e ajudar nos momentos mais necessários.

Gostaria de agradecer também aos meus amigos, e em especial à Priscila Kern, Marcos Aurélio Machado, Ilson Rieger de Andrade, Vitória Karam e Filipe Viezzer por participarem do monitoramento, e por proporcionarem bons momentos na realização deste TCC.

À minha família, pelo apoio em todos os momentos e por acreditar no meu sonho.

À Polícia Federal, por ceder o equipamento de medição eletromagnética, fundamental para realização do estudo.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

RESUMO

Para estimar o comportamento hidrodinâmico da bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, é necessário ter conhecimento de diversos parâmetros de alta complexidade de determinação. Com o intuito de uma compreensão maior de seu processo, este trabalho tem como objetivo analisar o regime de vazões da sub-bacia do rio João Gualberto, rio de grande importância hidrológica para a Bacia. Os dados obtidos são importantes tanto para a população local, que sofre de alagamentos em eventos de forte precipitação, e para o estudo do Laboratório de Hidráulica Marítima da UFSC. A obtenção de dados de vazão de rios é um processo delongado e trabalhoso, em função disso, foram comparados os dados de vazão obtidos pelo medidor eletromagnético com o nível d'água e elaborada a curva-chave. A curva-chave obtida teve boa relação com os pontos medidos, com R^2 de aproximadamente 0,97. Como os dados obtidos não abrangeram as cotas máximas da calha do rio, a curva-chave gerada foi extrapolada para a parte superior por três métodos diferentes. Foram analisadas as diferenças relativas entre a curva de maior confiança obtida, a logarítmica, e as demais. As extrapolações de melhor resultado foram obtidas pelo método logarítmico e pelo método de Manning, já o método de Stevens superestimou as vazões nas cotas altas.

Palavras-chave: Curva-chave, vazão, nível, extrapolação.

ABSTRACT

In order to estimate the hydrodynamic behavior of the catchment area of Lagoa da Conceição, it is necessary to be aware of several parameters of high complexity of determination. With the purpose of a greater understanding of its process, this work aims to analyze the flow regime of the sub-basin of the João Gualberto river, a river of great hydrological importance for the Basin. The data obtained are important for a local population, which suffers from flooding in events of heavy precipitation, and for the study of the Laboratory of Marine Hydraulics of UFSC. Obtaining river flow data is a long and laborious process, because of this, it was compared the flow data obtained by the electromagnetic flowmeter with the water level and elaborate the rating curve. The obtained rating curve had good relation with the measured points, with R^2 of approximately 0,97. As the data did not cover the maximum river channel dimensions, the generated rating curve was extrapolated to the top by three different methods. It was analyzed the relative differences between the most reliable curve, the logarithm method, and the others. The extrapolations of the best result were reached by the logarithmic method and by the Manning method, however the Stevens method overestimated the flows in the high dimensions.

Keywords: Rating curve, flow, level, extrapolation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo Hidrológico.	25
Figura 2 - Cálculo da vazão pelo método da seção média.....	29
Figura 3 - Cálculo da vazão pelo método da meia seção.....	29
Figura 4 - Medidor Eletromagnético.	30
Figura 5 - Extrapolação por Stevens.....	34
Figura 6 - Localização da área de estudo.....	36
Figura 7 - Uso e ocupação do solo em 2001 e 2010.....	37
Figura 9 - Uso e ocupação do solo da sub-bacia do João Gualberto em 2017.....	38
Figura 8 - Classes de Declividade	40
Figura 10 - Fluxograma metodológico	43
Figura 11 - Seções antiga e nova.	45
Figura 12 - Fundo e margens do rio João Gualberto	46
Figura 13 - Régua linimétrica do rio João Gualberto	48
Figura 14 - Alteração do valor de K_m causado pela vegetação ...	60
Figura 15 - Vegetação nas margens do rio	60
Figura 16 - Alteração do fundo da seção	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Uso e ocupação do solo	39
Tabela 2 - Método de cálculo da velocidade média na vertical. .	49
Tabela 3 - Resumo das medições	53
Tabela 4 - Determinação da curva-chave	54
Tabela 5 - Curva-chave do rio João Gualberto	55
Tabela 6 - Valores da extrapolação logarítmica	57
Tabela 7 - Cálculo de K_m	58
Tabela 8 - Valores de K_m e vazão calculada	61
Tabela 9 - Obtenção dos valores de $AmRh$	62
Tabela 10 - Extrapolação pelo método de Stevens.....	63
Tabela 11 - Diferença relativa média	66
Tabela 12 - Diferença relativa na cota máxima	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva-chave do rio João Gualberto.....	56
Gráfico 2 - Extrapolação Logarítmica	57
Gráfico 3 - Relação $h \times K_m$	59
Gráfico 4 - Extrapolação pelo método de Manning.....	61
Gráfico 5 - Curva $Q \times AmRh$	63
Gráfico 6 - Curva-chave extrapolada por Stevens	64
Gráfico 7 - Extrapolações da curva-chave.....	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	OBJETIVOS.....	24
2.1	OBJETIVO GERAL	24
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
3.1	CICLO HIDROLÓGICO	25
3.2	BACIA HIDROGRÁFICA	26
3.3	FLUVIOMETRIA.....	27
3.4	CURVA-CHAVE.....	30
3.4.1	Extrapolção da curva-chave.....	31
3.4.1.1	Método logarítmico	32
3.4.1.2	Método de Manning.....	32
3.4.1.3	Método de Stevens.....	33
3.5	ESTUDOS DE CASO: EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE	34
4	METODOLOGIA.....	35
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	35
4.2	MATERIAIS.....	41
4.3	MÉTODOS	41
4.3.1	Fluxograma metodológico	41
4.3.2	Escolha da seção de medição do rio João Gualberto	44
4.3.3	Monitoramento do rio.....	47
4.3.4	Estimativa de vazão	48
4.3.5	Traçado da curva-chave	49
4.3.6	Extrapolção da curva-chave.....	50
4.3.7	Critério de comparação	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1	MEDIÇÃO DE VAZÃO.....	52
5.2	TRAÇADO DA CURVA-CHAVE.....	53

5.3	EXTRAPOLAÇÃO DA CURVA-CHAVE.....	56
5.3.1	Método logarítmico	56
5.3.2	Método de Manning	57
5.3.3	Método de Stevens.....	62
5.4	COMPARAÇÃO ENTRE AS EXTRAPOLAÇÕES.....	64
6	CONCLUSÃO	67
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

1 INTRODUÇÃO

A Lagoa da Conceição é uma laguna natural costeira, localizada no leste da ilha de Santa Catarina. Situada entre uma cadeia de montanhas, planícies costeiras, restingas e mar, a Lagoa da Conceição é um dos principais atrativos turísticos de Florianópolis. Correlacionada ao crescimento populacional de Florianópolis e às belezas naturais, a bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição vem sofrendo um crescimento desenfreado e sem planejamento.

Outro problema causado pelo crescimento da população no local são os impactos ocasionados na qualidade dos rios afluentes à Lagoa da Conceição. A retirada de mata ciliar, as ligações irregulares de esgotamento sanitário, o aumento do escoamento superficial, as embarcações na lagoa, os agrotóxicos e o assoreamento são alguns dos impactantes gerados na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição.

Com o intuito de compreender os fatores que afetam o sistema estuário da bacia da Lagoa da Conceição, o Laboratório de Hidráulica Marítima (LaHiMar) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) tem como proposta a realização de uma análise completa sobre o estado biogeoquímico da laguna. Para tanto, o laboratório necessita de dados de base, como os de quantidade de água que entra, fluvial e subterraneamente, e sai da bacia da Lagoa da Conceição.

O rio João Gualberto tem grande importância nesse contexto, pois pertence à sub-bacia de maior relevância hidrológica de toda a bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição, juntamente com a sub-bacia do Rio Vermelho (BIER, 2013). Apesar disso, a sub-bacia do João Gualberto é uma pequena bacia, em que recursos hídricos devem ser geridos de forma criteriosa, auxiliando na resolução dos conflitos gerados pelo grande crescimento populacional na região.

Com o propósito de fornecer uma base tanto ao problema do laboratório quanto à população da região, o presente trabalho tem como finalidade proporcionar um maior conhecimento sobre o regime das vazões do rio João Gualberto.

A curva-chave é uma relação entre o nível d'água e a vazão passante (SANTOS, 2001). Essa relação permite a substituição de medições de vazão constantes do rio, trabalhosas e custosas, pelo cálculo indireto da vazão no local através de uma fórmula (CHANG, 2006).

A medição de vazão na hidrometria é todo processo empírico utilizado para determinar a vazão de um curso de água. O principal método utilizado para a medição de vazão é o molinete hidrométrico e a integração da distribuição da velocidade do escoamento, ou, conhecida

também, como método convencional. Entre os métodos alternativos mais utilizados, é possível citar o método acústico, o químico e o eletromagnético, com flutuadores e com dispositivos de geometria regular, como vertedores e calhas Parshall (SANTOS, 2001).

Rios como o João Gualberto, que possuem margens de vegetação com grande instabilidade, fundo de areia, e com uma bacia heterogênea, apresentam grande dificuldade tanto na escolha de uma seção de monitoramento, quanto no monitoramento da vazão.

As medições diretas de vazão costumam definir apenas um trecho central da curva, existindo, na maioria dos casos, níveis de água observados menores que o mínimo e maiores que o máximo medidos (SANTOS, 2001). Assim, a curva-chave será estimada (extrapolada) para a sua parte superior por três métodos distintos, sendo comparado o erro envolvido em seus resultados.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Construir a curva-chave do rio João Gualberto e analisar as extrapolações realizadas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar o monitoramento da vazão e cota no rio João Gualberto;
- Determinar e extrapolar curva-chave para a sub-bacia do rio João Gualberto;
- Analisar os três métodos de extrapolação adotados: Logarítmico, Manning e de Stevens.

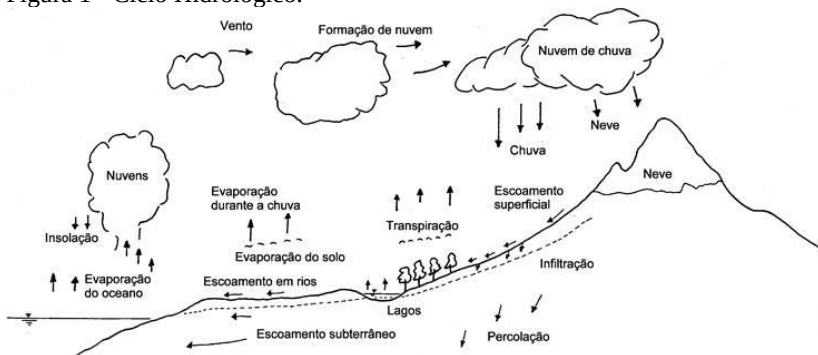
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é descrito por Tucci (2007) como um fenômeno hídrico global, de circulação fechada entre a superfície terrestre, que abrange os continentes, os oceanos e a atmosfera, sendo impulsionado fundamentalmente pela energia solar, associada à gravidade e à rotação terrestre. Uma parte do ciclo hidrológico ocorre na própria superfície terrestre, como a circulação de água no interior dos solos e rochas, nos rios, nos oceanos e nos seres vivos. As outras formas de interação do ciclo da água ocorrem no sentido superfície-atmosfera, na forma de vapor, decorrente da evaporação e da transpiração. Já no sentido atmosfera-superfície, a passagem de água acontece em qualquer estado físico, sendo fundamentalmente as precipitações de chuva e de neve.

A Figura 1 ilustra o ciclo hidrológico. Um bom ponto de partida para começar a descrever o ciclo hidrológico são os oceanos, detentores de aproximadamente 70% da água da superfície terrestre (SANTOS, 2001). A água no oceano evapora devido à energia térmica fornecida pela radiação solar, o vapor d'água sobe, formando as nuvens. Através da dinâmica de massas de ar, ocorre a precipitação, em sua maioria na forma de chuva, mas, também, como neve ou granizo (SUBRAMANYA, 2005).

Figura 1 - Ciclo Hidrológico.



Fonte: Pedrazzi, 2004.

Parte da precipitação é interceptada e retida pela cobertura vegetal, em caules e folhas, podendo ser posteriormente vaporizada. No caso onde a capacidade de armazenamento de água superficial do vegetal seja

excedida, ou por ação dos ventos, a água interceptada pode reprecipitar no solo (CHANG, 2006; TUCCI, 2007; OLSSON & PILESJÖ, 2002).

A precipitação que atinge a superfície do solo pode ser completa ou parcialmente absorvida no processo de infiltração. A água infiltrada pode sofrer evapotranspiração e retornar ao ar, ficar retida no solo como umidade, percolar até os lençóis freáticos, ou escoar subsuperficialmente para cursos d'água. A taxa de infiltração depende amplamente da intensidade da precipitação, como das características do solo (CHOW, 1988).

Quando a intensidade de precipitação é maior do que a capacidade de infiltração do solo, ou a precipitação é maior do que a capacidade de retenção de água, o excesso de água irá escoar superficialmente (OLSSON & PILESJÖ, 2002).

O escoamento superficial é a fração do ciclo hidrológico caracterizado pelo deslocamento da água na superfície terrestre, impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas. A erosão de partículas de solo pelos filetes em seus trajetos, juntamente com a topografia local, molda as redes efêmeras de drenagem e converge para cursos d'água mais estáveis (TUCCI, 2007).

Os controles sobre a taxa de fluxo de água em um canal estão relacionados ao volume de água presente, ao gradiente do canal e à resistência ao fluxo no leito do canal (DAVIE, 2008).

Com poucas exceções, a água é escoada pela rede de drenagem mais estável e destina-se ao oceano (TUCCI, 2007).

Em resumo, a água escoada em cursos d'água advém de quatro componentes: precipitação interceptada pelo curso d'água; escoamento superficial; escoamento subsuperficial; escoamento da água subterrânea. É o resultado da integração de efeitos climáticos, topográficos, geológicos, de tipo de solo, de vegetação agindo sobre uma bacia hidrográfica. Portanto, a vazão em cursos d'água é considerada o processo residual do ciclo hidrológico (CHANG, 2006).

3.2 BACIA HIDROGRÁFICA

De acordo com Davie (2008), a bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem a um ponto central, o exutório.

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico, onde a entrada é o volume de água precipitado, e a saída, o volume escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados, transpirados e infiltrados profundamente. Em eventos

isolados, podem-se desconsiderar estas perdas e analisar a transformação de chuva em vazão feita pela bacia com o auxílio de hietogramas, gráficos de precipitação e hidrogramas (SILVEIRA, 1993).

Santos (2001) afirma que a bacia hidrográfica constitui um sistema físico complexo, heterogêneo e variável no tempo. Portanto, qualquer tentativa de representação de uma bacia hidrográfica por modelos matemáticos constitui-se sempre de uma aproximação da realidade. Apesar da limitação dos modelos matemáticos, eles continuam sendo uma ferramenta importante em hidrologia, tanto para representação do comportamento de bacias hidrográficas, como para modelar precipitações sobre ela, permitindo a previsão quantitativa das variáveis hidrológicas.

Diversas definições de bacia hidrográfica foram formuladas ao longo do tempo, todas com uma grande semelhança e consideração do recorte espacial baseado na área de concentração de determinada rede de drenagem. No entanto, as subdivisões de bacia hidrográfica, como sub-bacia, microbacia e pequenas bacias hidrográficas, apresentam abordagens diferentes que vão do físico ao ecológico (TEODORO, 2007).

A variabilidade natural entre as características físicas das bacias hidrográficas quanto aos solos, vegetação e topografia, faz com que a definição de pequenas bacias hidrográficas seja subjetiva (PAIVA & PAIVA, 2001). Segundo Ponce (1989), uma bacia hidrográfica é considerada pequena se apresentar alguma ou todas as seguintes propriedades: a precipitação pode ser considerada como uniformemente distribuída no espaço e tempo sobre toda a bacia; a duração do evento de chuva normalmente excede o tempo de concentração; a geração da água se dá principalmente pelo escoamento superficial; os processos de armazenamento no canal são pouco importantes.

As características topográficas, geológicas, pedológicas e térmicas da bacia desempenham papel essencial no seu comportamento hidrológico, sendo importante medir numericamente, ou seja, monitorar em campo, algumas dessas influências (GARCEZ & ALVAREZ, 2002). Em decorrência do caráter essencialmente empírico da hidrologia, os resultados obtidos irão depender sempre da disponibilidade e da qualidade dos dados básicos obtidos através do monitoramento (SANTOS, 2001).

3.3 FLUVIOMETRIA

A hidrometria é a parte da hidrologia ligada à medição das variáveis hidrológicas, e tem como objetivo obter dados pluviométricos,

como precipitação, e fluviométricos, como nível de água, vazão, entre outros (SANTOS, 2001). Todos os parâmetros em hidrologia são variáveis no tempo. O clima, os escoamentos e o meio receptor têm uma evolução dinâmica, e devem ser levados em consideração (TUCCI, 2007).

A fluviometria, que faz parte da hidrometria, trata das medições de vazão dos rios (SANTOS, 2001). Os dados de vazão são indispensáveis para o planejamento dos recursos hídricos, previsão de cheias, gerenciamento de bacias hidrográficas, saneamento básico, abastecimento público e industrial, navegação, irrigação, transporte, entre outros estudos de grande importância científica e socioeconômica (IBIAPINA *et al.*, 2007).

A medição de vazão na hidrometria é todo processo empírico utilizado para determinar a vazão de um curso de água. O principal método utilizado para a medição de vazão é o molinete hidrométrico e a integração da distribuição da velocidade do escoamento, ou, conhecida também, como método convencional. Entre os métodos alternativos mais utilizados, é possível citar o método acústico, o químico e o eletromagnético, com flutuadores e com dispositivos de geometria regular, como vertedores e calhas Parshall (SANTOS, 2001).

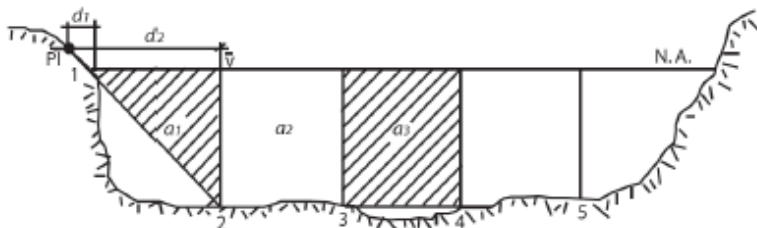
O método de medição de vazão com flutuadores foi desenvolvido a partir do Renascimento, com medições de velocidades superficiais em rios realizadas por Leonardo Da Vinci (UNESCO *et al.*, 1974). Consiste na determinação da velocidade de deslocamento do objeto flutuante, podendo ser uma laranja ou uma garrafa de plástico cheia. Mede-se o tempo necessário para o objeto deslocar um trecho de rio de comprimento conhecido. O método é aconselhável apenas em situações em que não se tem outros equipamentos disponíveis ou quando a vazão do rio é muito alta, colocando em risco equipamentos e hidrometristas (SANTOS, 2001).

A utilização do método convencional ainda é o mais empregado em hidrometria de rios, com exceção de rios de montanhas de alta turbulência, onde métodos químicos são mais adequados. O método é universalmente empregado para a determinação da vazão, na qual a velocidade do escoamento é medida utilizando um molinete, em diversos pontos de uma seção. Com a integração das velocidades na área da seção, que é medida em campo, é obtida a vazão na seção (SANTOS, 2001). Para a integração da velocidade pela área, comumente é utilizado método da seção média, ou o método da meia seção.

No método da seção média, segundo Santos (2001), as vazões parciais são calculadas para cada subseção entre verticais, tendo como partida a largura, a média das profundidades e a média das velocidades

entre as verticais utilizadas, conforme a Figura 2. A vazão total é a soma total das vazões parciais.

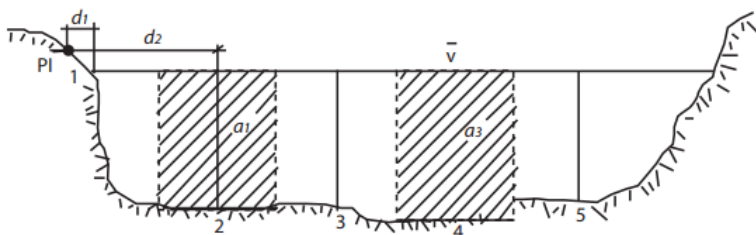
Figura 2 - Cálculo da vazão pelo método da seção média



Fonte: Santos (2001).

O método da meia seção é o mais utilizado por entidades que trabalham com hidrometria no Brasil (SANTOS, 2001). Consiste no cálculo das vazões parciais, por meio da multiplicação entre o produto da profundidade média na vertical e a soma das regiões de influência da velocidade média na vertical (ANA, 2014), conforme a Figura 3.

Figura 3 - Cálculo da vazão pelo método da meia seção

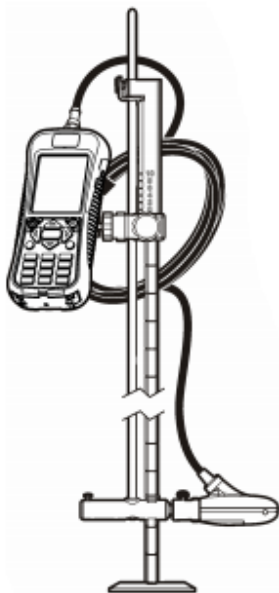


Fonte: Santos (2001).

Outro modo de se medir a velocidade do escoamento é com o uso de um medidor eletromagnético (Figura 4). A medição consiste na imersão do medidor no curso de água. O aparelho medidor gera um campo eletromagnético na água. Os íons presentes na água movem-se com a velocidade desta e alteram o campo magnético que foi produzido. Tal perturbação é medida, fornecendo indiretamente a velocidade com que as partículas carregadas passaram pelo campo (PORTO, FILHO & DA SILVA, 2001). Em seu estudo, Maldonado e Wendland (2013) concluíram que, de modo geral, o medidor eletromagnético apresentou

bons resultados, principalmente para locais com velocidade de escoamento abaixo de $0,20\text{m.s}^{-1}$ e onde apresentam remanso.

Figura 4 - Medidor Eletromagnético.



Fonte: OTT, 2015.

3.4 CURVA-CHAVE

As medições de vazão costumam ser trabalhosas e demoradas. É extremamente difícil aplicar os procedimentos para medir a vazão em cenários de baixo e alto fluxo em um curso d'água. Uma vez que a vazão e o nível d'água são afetados pela geometria hidráulica do canal, o procedimento de medição pode ser simplificado pela curva-chave (CHANG, 2006).

A curva-chave de um corpo hídrico é a relação entre a vazão e o respectivo nível de água, levando em consideração as características geométricas e hidráulicas da seção transversal do curso de água estudado. (JACCON & CUDO, 1989). Para gerar uma curva-chave representativa,

é necessário medir a vazão do rio um grande número de vezes, em vazões baixas, médias e altas. O estabelecimento de uma curva-chave representativa permite o cálculo indireto da vazão no curso de água pela medição de seu nível (COLLISCHONN & DORNELLES, 2013).

Segundo Collischonn & Dornelles (2013), a curva-chave é uma relação ou equação ajustada aos dados de medição de vazão. Essa curva pode ser ajustada de modo manual, graficamente, ou podem ser utilizadas equações de ajuste através de regressão. As equações mais utilizadas são do tipo logarítmica (ou exponencial) ou polinomial, como representam as equações 1 e 2, respectivamente,

$$Q = a \cdot (h - h_0)^b \quad (1)$$

$$Q = a_0 + a_1h + a_2h^2 + \dots + a_mh^n \quad (2)$$

em que Q é a vazão; h é a cota; h_0 é a cota quando a vazão é zero; e a e b são parâmetros ajustados a partir de critérios, como erros mínimos quadrados; a , a_0 , a_1 , a_2 e a_m são coeficientes característicos da seção, calculados por regressão linear.

A validade da curva-chave é limitada à faixa de cotas e vazões em que foram realizadas as medições. Caso seja necessário estimar vazões a partir de cotas superiores às cotas máximas para quais há medição de vazão, ou inferiores às mínimas, é necessário realizar um método de extrapolação da curva-chave (TUCCI, 2007 e COLLISCHONN & DORNELLES, 2013).

3.4.1 Extrapolação da curva-chave

As medições diretas de vazão costumam definir apenas um trecho central da curva, existindo, na maioria dos casos, níveis de água observados menores que o mínimo e maiores que o máximo medido. Para que se estimem as vazões nessas circunstâncias, a curva-chave deve ser extrapolada nas partes inferiores e superiores, quando necessário (SANTOS, 2001).

Jacon & Cudo (1989) esclarece que “extrapolar” não significa simplesmente seguir a linha de tendência da curva. Este erro pode acarretar em valores absurdos de vazão. Assim, a escolha de uma metodologia para extrapolação da curva-chave de um rio em que se necessita conhecer a vazão acima dos níveis medidos em campo para a construção desta curva-chave, depende da adequabilidade da metodologia

às características do escoamento e dos fatores o controlam na seção (geometria, rugosidade, etc).

Existe uma grande quantidade de métodos para extrapolar as curvas-chave (SANTOS, 2001). Destacam-se os métodos de extrapolação superiores: logarítmicos, de Manning, e de Stevens a partir de Manning.

3.4.1.1 Método logarítmico

O método logarítmico de extrapolação de curva-chave é a técnica de extrapolação mais utilizada no Brasil para as partes mais altas das curvas-chave (SANTOS, 2001). Segundo Tucci (2007), o princípio do método é aplicar uma equação matemática logarítmica na parte superior da curva-chave:

$$Q = a \cdot (h - h_0)^n \quad (3)$$

onde Q é a vazão, h_0 a altura da lâmina d'água para vazão mínima, h a altura da lâmina d'água e a e n as constantes de ajuste da curva.

Segundo Porto & Filho (2001), h_0 constitui um parâmetro desconhecido, que poderia ser entendido como a leitura do nível d'água na régua para qual a vazão é nula. Assim, h_0 pode assumir valores tanto positivos quanto negativos, tendo como dependência a posição do zero da escala com relação ao fundo do rio. Seria o valor para qual a vazão calculada pela expressão é zero.

A determinação das constantes a e n pode ser determinada através do método dos mínimos quadrados ou através de ferramentas iterativas, que possibilitam também a determinação da constante h_0 através de tentativa e erro (PORTO & FILHO, 2001).

3.4.1.2 Método de Manning

A extrapolação pelo método de Manning é realizada a partir da equação de Manning (equação 4) e da equação da continuidade, considerando que o coeficiente de extrapolação de Manning (K_m), que é o quociente da raiz declividade da linha d'água pelo coeficiente de rugosidade de Manning, se torna constante para altas vazões (TUCCI & SILVEIRA, 1985 *apud* SEFIONE 2002).

$$K_m = \frac{\sqrt{J}}{\eta} = \frac{Q}{A_m R_h^{2/3}} \quad (4)$$

onde J é a declividade da linha d'água, η é o coeficiente de rugosidade de Manning, Q é a vazão passante, A_m a área molhada e R_h o raio hidráulico.

3.4.1.3 Método de Stevens

O método de Stevens é a forma mais clássica de extrapolar uma curva-chave e usa como base a fórmula de Chezy (SANTOS, 2001):

$$Q = C \cdot A \sqrt{R_h i} \quad (5)$$

onde Q é a vazão, A é a área de seção transversal, R_h é o raio hidráulico, i é a declividade e C o coeficiente dimensional.

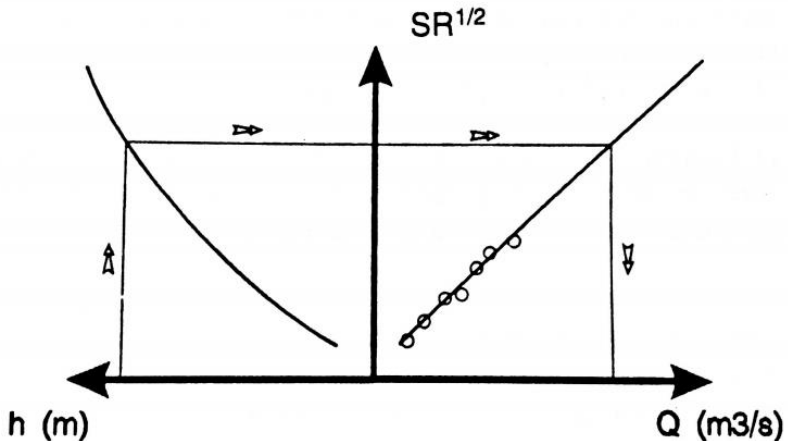
Assumindo como constante o produto $C\sqrt{i} = K$ traz como resultado:

$$Q = K \cdot A \sqrt{R_h} \quad (6)$$

Santos (2001), relembra que o produto $A\sqrt{R_h}$ é função apenas das características geométricas da seção, e que podem ser obtidas através do levantamento topobatimétrico.

Constrói-se um gráfico de $A\sqrt{R_h}$ em função do valor da vazão medida. Então, traça-se uma linha reta que atravessa os pontos medidos. Esta reta traçada pode ser prolongada até o valor do fator geométrico correspondente à cota máxima observada (JACCON & CUDO, 1989). A Figura 5 ilustra a extrapolação por Stevens.

Figura 5 - Extrapolação por Stevens



Fonte: Tucci (2007).

3.5 ESTUDOS DE CASO: EXTRAPOLAÇÃO DE CURVA-CHAVE

Sefione (2002), comparou quatro diferentes tipos de métodos de extrapolação superior de curva-chave, utilizando-se de base 100 estações fluviométricas. Suprimindo a parte superior da curva-chave, Sefione (2002), extrapolou a curva-chave para esse mesmo segmento utilizando os métodos escolhidos, e comparou as vazões geradas na “extrapolação” realizada com as medições observadas. Em seu resultado, foi verificado que os métodos de Stevens e de Manning mostraram resultados ligeiramente melhores que os demais (logarítmico e velocidade X área), pois apresentaram um equilíbrio melhor entre os valores de sub e superestimativa da vazão na cota máxima e tiveram menor erro.

Almeida Neto (2007), comparou o método de Stevens com o método da velocidade média, encontrando uma vazão superior de 1% a 2% para o método da velocidade média. Esta pequena diferença se dá na elevação da declividade hidráulica em águas altas e médias, efeito que é considerado no método da velocidade média, mas não no método de Stevens, por utilizar-se de uma extrapolação retilínea de Stevens.

Guizoni Neto (2017), comparou três métodos de extrapolação para três pontos de medição de uma bacia de Joiville - SC. A curva-chave foi ajustada por dois métodos, polinomial e potencial, sendo que nos três pontos a curva que melhor se ajustou, com base no R^2 , foi a polinomial.

Para a extrapolação da curva-chave, foram usados os métodos de Manning, logarítmico, e de Stevens. E, utilizando-se a metodologia de comparação de erros médios e erro na cota máxima, um dos pontos se ajustou melhor pelo método de Stevens, enquanto as outras duas, pelo método logarítmico.

Gallina (2017), utilizou-se de uma metodologia parecida com a de Guizoni (2017), mas, em seu caso, comparou dois rios da bacia do Córrego Grande – SC. Sua curva-chave foi ajustada pelo método dos mínimos quadrados, obtendo um bom R^2 para as duas curvas-chave (0,99 para as duas), e extrapolou as curvas-chave pelos métodos logarítmicos e de Manning. Encontrou resultados de ajuste com superestimativa no método logarítmico, e subestimativa no método de Manning, com um erro menor para o método de Manning, como citado por Ferguson (2010).

Ferguson (2010), questiona em seu trabalho o uso da equação de Manning, por ser moderadamente confiável para cálculo de vazões para vazão em rios de cascalho e areia. Onde a vazão elevada em rios pequenos deve ser prevista e reconstruída a partir de uma calibração de baixa vazão, que será mais segura do que o método de Manning com o η fixado. Para esses casos, ele recomenda o uso das equações logarítmicas e potenciais.

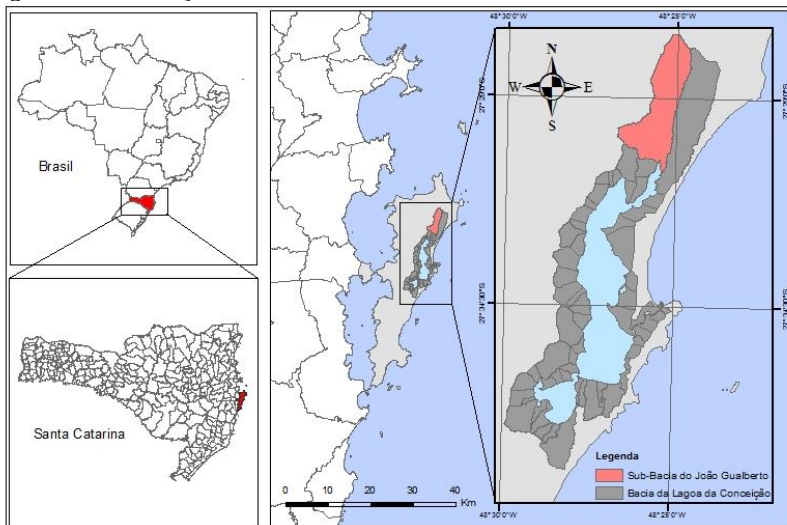
4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio João Gualberto, que é uma sub-bacia da bacia da Lagoa da Conceição (10,1 km²). A Lagoa da Conceição encontra-se situada na bacia hidrográfica da Lagoa da Conceição. Esta por sua vez, está localizada na parte leste da ilha de Florianópolis. A localização geográfica fica entre os paralelos 27° 27'17'' e 27° 38' 36'' de Latitude Sul, e entre os meridianos de 48° 22' 30'' e 48° 29'54'' de Longitude a Oeste de Greenwich como mostra a Figura 6.

A Lagoa da Conceição é uma região de grande interesse turístico e econômico, que geram grande renda, e conflito de interesses, transparecendo através da especulação imobiliária, ocupação desordenada e irregular do solo, falta de planejamento e surgimento de movimentos sociais da comunidade em defesa de seus interesses (MAKOIWECKY, 2003).

Figura 6 - Localização da área de estudo.



Fonte: Autor.

A laguna está localizada pouco abaixo do Trópico de Capricórnio e se estende em sentido Norte-Sul, logo atrás de depósitos arenosos, com um comprimento total de 13,5 km, largura entre 2,5 e 0,5 km e área total de aproximadamente 20 km² (JUNIOR & MUEBE, 1989). A laguna é limitada por morros de 400 a 500 metros a oeste, e a leste por restingas e um morro rochoso com altura de 200 metros. Já ao sul encontra-se a maior área de dunas de Santa Catarina.

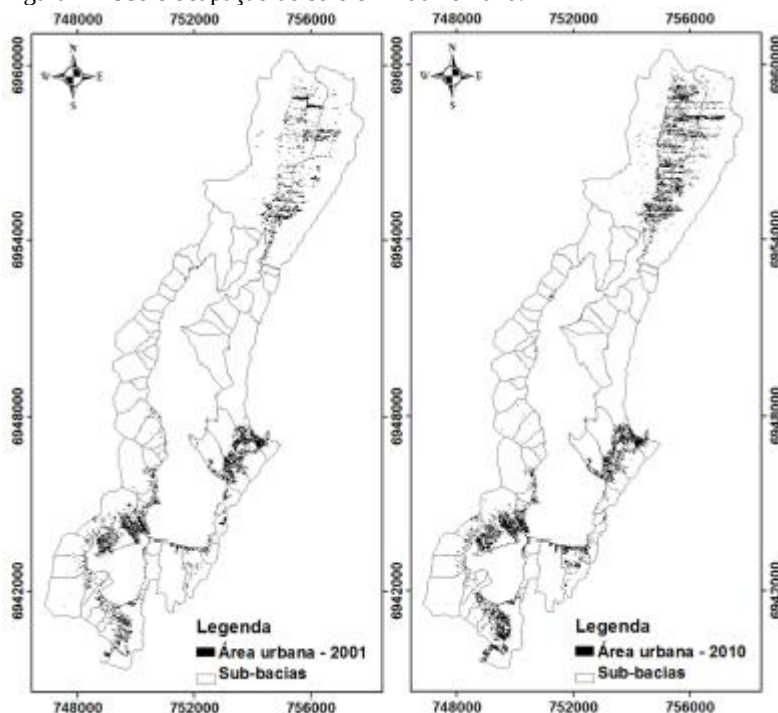
O clima de Florianópolis é classificado como subtropical úmido, segundo a classificação de Köppen, ou Cfa. As normais climatológicas registradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET indicam que a temperatura média de Florianópolis é de 20,7°C, sendo fevereiro o mês mais quente e julho, o mais frio. Ainda segundo o INMET, a umidade relativa anual é de 81%. Os meses de inverno apresentam menos chuvas, sendo compensados por outros períodos mais frequentes. De maneira geral, as chuvas são bem distribuídas durante o ano (WREGE *et al.*, 2012).

A bacia da Lagoa da Conceição é formada por altos morros fortemente dissecados, com encostas constituídas de granito, onde são fortes os declínios. Nesse local afloram principalmente vegetações de médio e grande porte, como ocorre no morro que separa a Lagoa da Conceição do bairro Itacorubi e no morro da Costa da Lagoa (ODRESKI,

2011). Os afloramentos mais extensos de granito, contudo, ocorrem nas encostas junto ao mar e nos topos de morros (SILVA, 2002).

O uso e ocupação do solo de 2001 e 2010 foram estimados por Silva (2013), onde foi observado um crescimento da região urbana, principalmente na área de estudo do presente trabalho, como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Uso e ocupação do solo em 2001 e 2010.



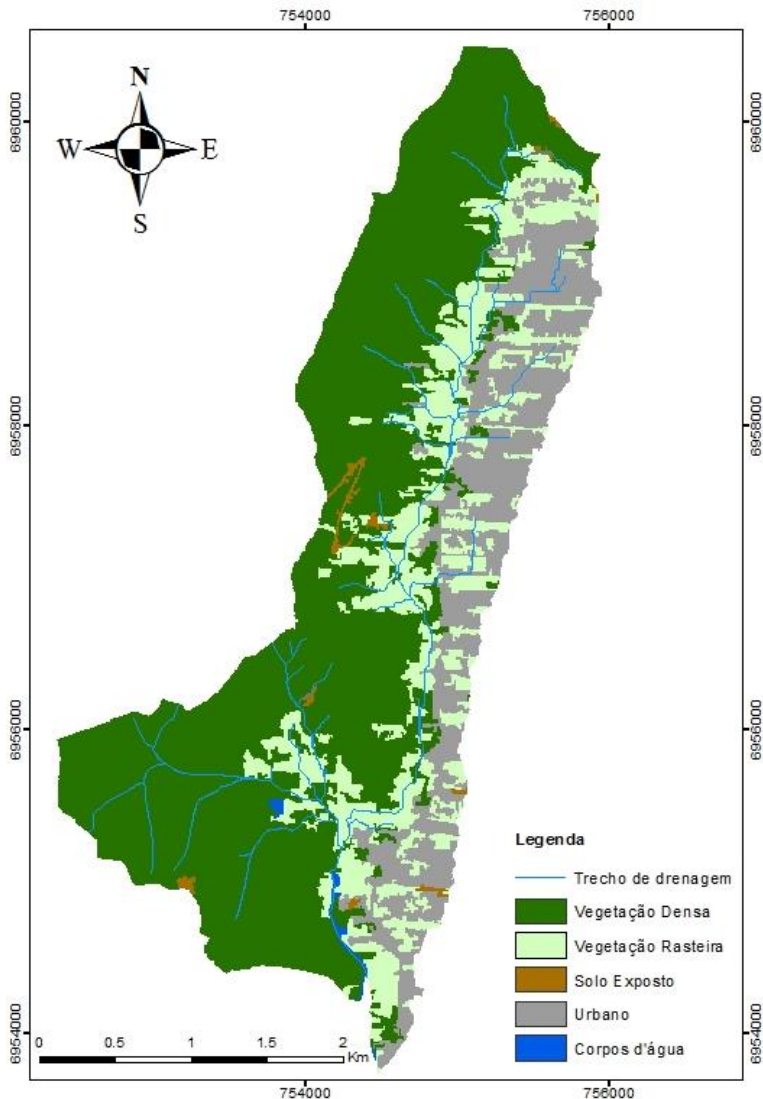
Fonte: SILVA (2013).

É visível que a urbanização se concentra principalmente na região Centro-Sul, abrangendo o Centrinho, o Canto e o Porto da Lagoa, na região Leste, no canal da Barra da Lagoa, e na região Norte, nas sub-bacias do João Gualberto e Rio Vermelho.

Bier (2013), estimou o uso e ocupação do solo para todas as sub-bacias da Lagoa da Conceição para o ano de 2010. Para a sub-bacia do João Gualberto, foi observado que a região urbana representava aproximadamente 11% da área total da sub-bacia.

Utilizando-se do *software* Spring, versão 5.5.2, e através das imagens de satélite disponibilizadas pelo satélite *Sentinel-2*, foi determinado o uso e ocupação do solo da sub-bacia do João Gualberto para o ano de 2017, como visto na Figura 9.

Figura 8 - Uso e ocupação do solo da sub-bacia do João Gualberto em 2017.



Fonte: Autor.

A Tabela 1 quantifica as áreas de cada região da sub-bacia.

Tabela 1 - Uso e ocupação do solo

	Porcentagem (%)	Área (km ²)
Vegetação Densa	61,25	6,08
Vegetação Rasteira	20,01	1,99
Solo Exposto	0,79	0,08
Urbano	17,59	1,75
Corpos D'água	0,37	0,04
TOTAL	100	9,92

Fonte: Autor.

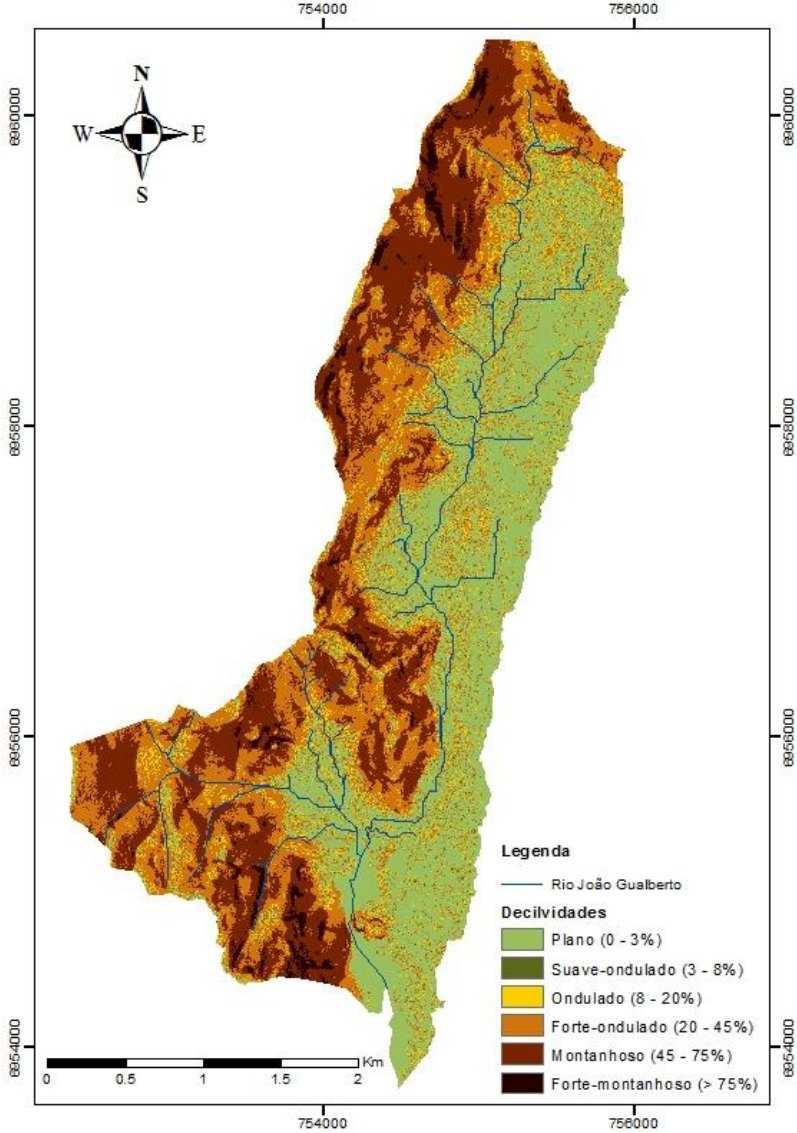
Apesar do grande crescimento da área urbana na sub-bacia em relação ao ano de 2010, de aproximadamente 6,5%, é visível que a maior parcela é composta de vegetação densa, principalmente dos morros da região.

As bacias da região norte são de grande importância para a Lagoa da Conceição, sendo responsáveis por cerca de 24% da contribuição hidrológica descarregada na laguna após um evento de chuva. Além de corresponder a aproximadamente 35% da área total da Bacia (BIER, 2013).

Especificamente na bacia do rio João Gualberto, há morros com altas declividades, de 439 metros a oeste, contrastando as terras planas de baixa declividade a leste, como apresenta a Figura 8.

A declividade varia de 0 a 20% na porção leste, onde há predominância de terreno plano. Já na parte oeste, a bacia é formada por terreno forte-ondulado a montanhoso, com variação de 20 a 100% de declividade. Tais morros atingem a altitude de 439 metros, iniciando a cadeia de montanhas da bacia da Lagoa da Conceição.

Figura 9 - Classes de Declividade



Fonte: SIGSC.

Em sua fitogeografia, é possível identificar áreas de vegetação típica da Mata Atlântica, como a Floresta Ombrófila Densa, localizada

principalmente sobre topos e vertentes de morros. É possível encontrar vegetações do tipo restinga associada às planícies costeiras e sistemas dunares, assim como áreas com formações arbóreas exóticas, como *Pinus sp* e *Eucalyptus* (PMF, 2009).

4.2 MATERIAIS

Para a realização deste trabalho, foi necessária a utilização dos seguintes equipamentos:

- o medidor eletromagnético *Flow Meter* OTT MF Pro, cedido pela Polícia Federal para o estudo, para determinação da vazão;
- régua linimétrica, para instalação da estação fluviométrica.

Os recursos computacionais utilizados no desenvolvimento deste trabalho são:

- o *software* ArcGIS, versão estudante, desenvolvido pelo ESRI, que trabalha com Sistema de Informação Geográfica (SIG) e permite trabalhar com dados espaciais, criar e manipular mapas utilizando um sistema de coordenadas georeferenciadas. O mesmo foi utilizado para gerar os mapas de localização da bacia da Lagoa da Conceição, e de declividade da sub-bacia do João Gualberto;
- o *software* Spring, versão 5.5.2, para determinação do uso e ocupação do solo;
- o *software* Excel, para determinação da curva-chave do rio estudado.

4.3 MÉTODOS

4.3.1 Fluxograma metodológico

Este trabalho tem como local de estudo a sub-bacia do rio João Gualberto. O primeiro trabalho no local foi a definição da seção de monitoramento da vazão e nível. Por ser um rio instável, o monitoramento se torna inviável em sua grande parte, pelo impacto da alteração da configuração do rio na curva-chave.

Definida a seção de medição, necessitou-se de um tempo de ajuste devido aos problemas encontrados na mesma, como por exemplo: a regularização do fundo do rio no local da seção, pela retirada de grandes pedras e pedaços de concreto, o controle do crescimento da vegetação às

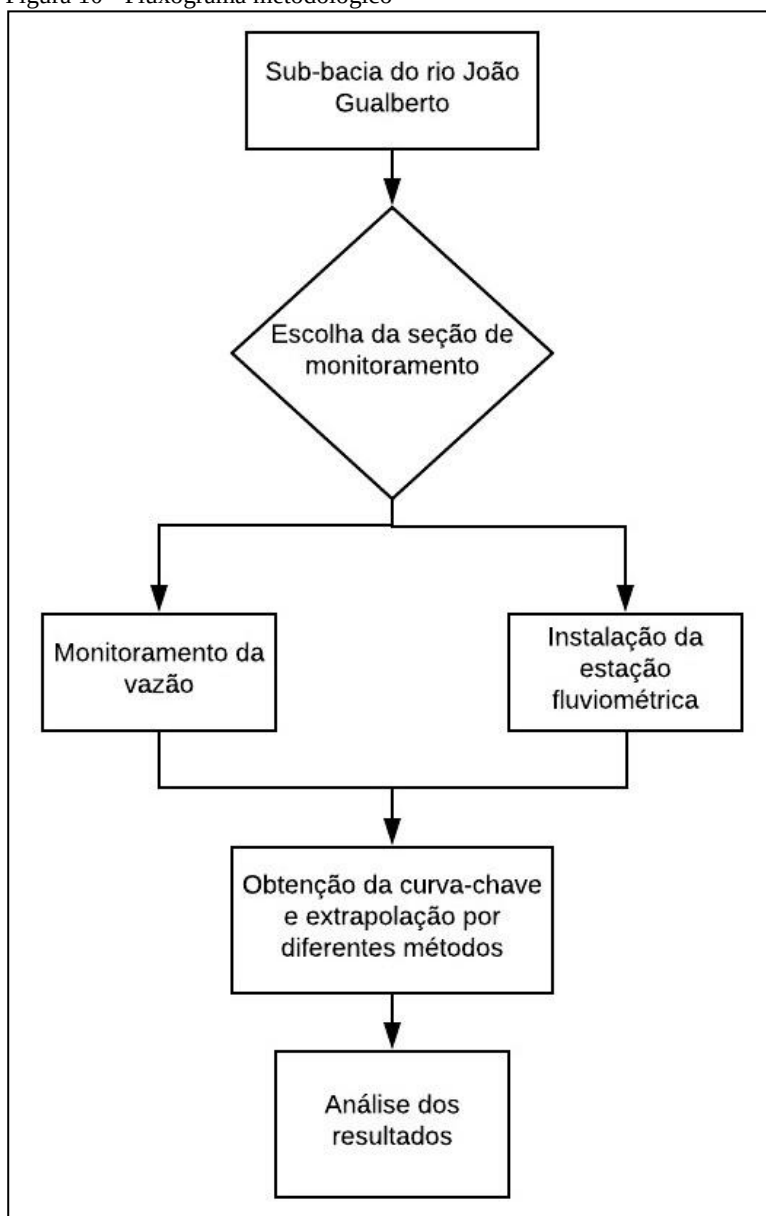
margens do rio e a escolha de um local adequado para a instalação da estação fluviométrica. Foi realizada a medição de vazão no tempo de ajuste para análise da vazão.

Após a instalação da régua linimétrica, realizou-se o monitoramento do rio, onde mediu-se a vazão e o nível d'água em diferentes condições meteorológicas.

Com os dados obtidos, foi construída a curva-chave para a seção do rio João Gualberto, e a mesma foi extrapolada por três metodologias diferentes: método logarítmico, método de Manning e método de Stevens. Seus respectivos resultados foram analisados e comparados, possibilitando a adoção da melhor alternativa.

A Figura 10 apresenta o fluxograma explicado acima.

Figura 10 - Fluxograma metodológico



Fonte: Autor.

4.3.2 Escolha da seção de medição do rio João Gualberto

A parte fundamental do trabalho consiste na medição da vazão no rio João Gualberto. O monitoramento de um rio envolve diversas dificuldades, desde a seleção de uma seção de medição até a manutenção periódica desta.

A medição de vazão no rio João Gualberto já acontece desde 2010, servindo de base para diversos trabalhos científicos. Recentemente, foi detectado que a seção fornece uma grande incerteza nos dados pelo remanso causado pela pequena diferença de nível entre a seção e a Lagoa da Conceição, mesmo em níveis baixos de maré. Aditivamente, as fortes chuvas ocorridas em junho de 2017, que somaram 72,2 mm durante o dia 05 deste mês (INMET), fizeram com que a ponte onde se localizava a seção de medição ruísse. Decidiu-se, assim, pela dificuldade de obtenção de novos dados e pela influência do remanso da Lagoa, escolher uma nova seção de medição.

A escolha de uma seção de medição de vazão consiste em uma das etapas mais decisivas para a qualidade dos dados obtidos. Não há regras gerais para escolher o lugar de instalação de uma estação fluviométrica. Os fatores intervenientes são numerosos demais para serem listados em um simples inventário. Inicialmente, a estação deve estar em um trecho reto, com uma seção transversal onde a velocidade do fluxo é estável, tanto em estiagens como em cheias (TUCCI, 2007).

Usualmente é muito difícil encontrar um local ideal para a escolha da seção de medição. Ela deve ser de fácil acesso e suas margens e leitos não erodíveis, para que as medidas sejam facilmente realizadas e a geometria se sustente com o passar do tempo. A garantia da qualidade dos dados é necessária, e, assim, o regime do corpo d'água deve ser permanente, ou seja, que suas características hidráulicas não variem durante as medições (JACCON & CUDO, 1989).

Escolheu-se uma nova seção a 140 metros a montante da seção antiga como mostra a Figura 11.

Figura 11 - Seções antiga e nova.



Fonte: Autor.

A nova seção de monitoramento tem paredes de blocos de pedra concretadas entre si e fundo de areia. Há também uma ponte, o que facilita a realização das medições de vazão. O resto do rio é composto de fundo de areia e margens com vegetação, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Fundo e margens do rio João Gualberto



Fonte: Autor.

Os valores de declividade média para a Região Norte da bacia da Lagoa da Conceição (sub-bacias do João Gualberto e Rio Vermelho) foram determinados por Bier (2013), sendo de 0,021 m/m. Assim, a diferença de altura entre as duas seções é estimada em 2,94 metros. Pode-se assumir, assim, que a nova seção de medição diminui a probabilidade de interferência do remanso causado pela laguna no rio.

Foi analisado o emprego de outra seção antes da utilizada para esse trabalho, por ser mais retilínea que a usada, e localizada ainda mais a montante. A mesma foi monitorada durante 3 meses (Junho a Setembro), e foi descartada devido a instabilidade.

4.3.3 Monitoramento do rio

No Brasil, há grande carência de dados hidrológicos de pequenas bacias hidrográficas, sendo exceção as bacias de alto aproveitamento hidrelétrico. O monitoramento dessas bacias é de fundamental importância para a complementação de rede de informações hidrológicas, além do funcionamento dos processos físicos, químicos e biológicos atuantes no ciclo hidrológico (PAIVA & PAIVA, 2001).

Antes de se realizar o monitoramento do rio João Gualberto, foi necessário implantar uma régua linimétrica na seção para a construção da curva-chave deste. A régua foi instalada abaixo da ponte da seção de medição, no dia 25 de setembro de 2017, por ter sido um mês muito seco, quando o nível da água estava muito baixo (8 cm), facilitando a instalação da mesma e o conhecimento do ponto mais baixo da seção como representa a Figura 13.

Figura 13 - Régua linimétrica do rio João Gualberto



Fonte: Autor.

4.3.4 Estimativa de vazão

Para a estimativa de vazão, optou-se por utilizar a metodologia da seção média, pois OTT (2015) afirma que o método da seção média fornece resultados mais exatos em comparação ao método da meia seção.

Para tanto, foi utilizado o medidor eletromagnético *Flow Meter* OTT MF Pro, que apresenta as opções do método da seção média e do método da meia seção para o cálculo da vazão. Ele fornece também a opção de inserir a distância entre as verticais e o número de medições por

vertical. O medidor OTT MF Pro fornece, ainda, uma planilha eletrônica com os dados de vazão parciais, área, profundidade de cada vertical, distância entre as verticais, entre outros.

A largura do canal, na seção de medição, é de 2,10 metros. Desta maneira, para a determinação da distância entre as verticais de medição da velocidade do escoamento, foi considerada a recomendação de Santos (2001), que sugere uma distância máxima entre as verticais de 0,3 m, para rios com largura de até 3 metros.

Para cada vertical, o número de pontos de medição da velocidade em diferentes profundidades variou em função do nível da água no momento da coleta em campo. Foi utilizada a recomendação do cálculo da velocidade média em cada vertical pelas fórmulas apresentadas na Tabela 2, e que variam de acordo com a profundidade local no momento da medição.

Tabela 2 - Método de cálculo da velocidade média na vertical.

Nº de pontos	Profundidade a ser medida	Cálculo da velocidade média	Profundidade (m)
1	0,6p	$V_m = V_{0,6}$	0,15 – 0,6
2	0,2 e 0,8p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,8}) / 2$	0,6 – 1,2
3	0,2; 0,6 e 0,8p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,6} + V_{0,8}) / 4$	1,2 – 2,0
4	0,2; 0,4; 0,6 e 0,8p	$V_m = (V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) / 6$	2,0 – 4,0
6	S; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 p e F	$V_m = [V_s + 2(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,6} + V_{0,8}) + V_f] / 10$	> 4,0

Fonte: DNAEE (1977) *apud* Santos (2001).

4.3.5 Traçado da curva-chave

A elaboração da curva-chave de um rio apresenta diversas dificuldades, tanto para pequenos, como para grandes cursos d'água. O

rio João Gualberto pode ser classificado como um rio pequeno, assim como sua bacia hidrográfica.

Através dos dados de vazão (m^3/s) e cota do rio (cm) medidos em diferentes níveis da água, pôde-se traçar a curva-chave com o auxílio do Excel. A equação 1, do tipo exponencial, foi utilizada para determinação da curva-chave.

Alguns hidrólogos tentam ajustar a curva através do método dos mínimos quadrados, mas este não trouxe bons resultados, por não estimar o valor de h_0 , e não será apresentado no trabalho.

Após a inserção das vazões e cotas no gráfico, utilizou-se a metodologia de Porto & Filho (2001), onde a curva-chave é ajustada através de uma ferramenta iterativa, o *solver*, pois não se conhece o valor de h_0 para realizar uma regressão linear e obter as constantes a e b da expressão logarítmica.

Na metodologia, deseja-se obter as constantes a , b e h_0 , de forma que a soma dos quadrados dos desvios entre as vazões observadas e calculadas seja mínima, assim aproximando os valores de vazão medida e calculada. Então, colocam-se os valores de a , b e h_0 como as variáveis a serem determinadas, impondo que o valor de h_0 seja menor que o nível mínimo observado, e minimizando a soma dos desvios. Finalmente, a ferramenta iterativa calcula o melhor valor para as constantes iniciais a , b , e h_0 (PORTO & FILHO, 2001).

4.3.6 Extrapolação da curva-chave

As medições de vazão e nível não abrangeram a cota máxima do canal (1,60 m), por isso foi feita a extrapolação na parte superior (de 1,16 m a 1,60 m) por três métodos: o logarítmico, o de Manning e o de Stevens para rio João Gualberto. Conhecer a vazão em níveis superiores, possibilita um melhor entendimento do regime de vazões no rio. Tais métodos de extrapolações foram escolhidos por serem muito utilizados e trazendo bons resultados em muitos casos.

Para o método logarítmico, utilizaram-se as mesmas constantes para a , b e h_0 usadas para traçar a curva-chave. Assim, a extrapolação da curva-chave se trata apenas da continuação da daquela determinada.

Para a extrapolação segundo o método de Manning, primeiramente, usaram-se as características geométricas da seção obtidas na batimetria, realizada no dia 04 de novembro de 2017, para determinação dos valores de área e perímetro molhado para a seção do rio João Gualberto. A partir desses valores e dos valores de vazão e nível, determinou-se o valor de K_m .

Após, com o auxílio da planilha eletrônica *Excel*, traçou-se um gráfico hxK_m . Foi ajustada uma linha de tendência para todos os pontos, buscando uma assíntota bem definida para o gráfico. Como mostram os resultados, não houve uma assíntota bem definida para os pontos. Assim, foi obtida uma constante K_m através do *solver* da mesma planilha eletrônica, para que os valores de vazão no limite da extrapolação e da curva-chave obtida se equivalessem. Com o K_m fixado, utilizou-se esse mesmo valor para toda a extrapolação.

Para o método de Stevens, utilizou-se também os dados batimétricos obtidos. A partir da área molhada e do raio hidráulico calculados, e dos valores de vazão medida, gerou-se o gráfico de apoio $QxA\sqrt{R_h}$ no *Excel*. Foi ajustada uma linha de tendência linear para os pontos do gráfico.

Retirou-se a equação da reta obtida pela linha de tendência e, calculou-se para os valores superiores à curva-chave, a vazão extrapolada.

4.3.7 Critério de comparação

Para comparar os métodos utilizados, foi realizada a diferença relativa entre as extrapolações feitas, tendo base para comparação a extrapolação que melhor se ajustou e provavelmente apresentou maior confiabilidade. A equação usada foi semelhante a utilizada por Sefione (2002), mas não foi empregada entre as extrapolações e a curva-chave, e sim, entre as extrapolações realizadas com a de maior confiança. As equações 6 e 7 apresentam o cálculo da diferença relativa média e na maior cota, respectivamente.

$$Dm = \frac{\sum \left| \frac{Qe_h - Qc_h}{Qc_m} \right|}{Nh} \quad (7)$$

onde: Qe_h é a vazão extrapolada na cota h ; Qc_h é a vazão extrapolada de maior confiança na altura h ; Qc_m é a vazão extrapolada de maior confiança na cota máxima e Nh é o número de vazões calculadas na faixa de extrapolação (de 10 em 10 centímetros) (SEFIONE, 2002).

$$Dh_m = \frac{Qe_m - Qc_m}{Qc_m} \quad (8)$$

sendo: Qe_m a vazão extrapolada na cota máxima.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MEDIÇÃO DE VAZÃO

A Tabela 3 contém os dados de vazão e nível medidos para a seção estudada, contendo sua data, cota, área e vazão. Em função do grande período sem chuvas significativas no inverno de 2017, a primeira coleta de dados em campo foi realizada no dia 25 de setembro. Ao todo, foram realizadas 13 coletas, com o nível mínimo de 8 centímetros no dia da instalação da estação fluviométrica, e com vazão máxima no último dia da coleta, com nível de 115 cm.

A distribuição dos dados não é homogênea, havendo espaçamento entre faixas de nível. O mesmo pode ser causado pelas poucas ocorrências de precipitação durante o período de coleta, e auxiliada topografia local. O tempo de concentração para a sub-bacia do rio João Gualberto foi calculado por Bier (2013), com o valor de 77 minutos. O mesmo foi observado em campo, com pequenas elevações após o início da chuva, seguido por uma elevação rápida perto da chegada do tempo de concentração. Assim, foi difícil a obtenção de níveis intermediários (30 – 70 cm).

O tempo de concentração calculado por Bier (2013) levava em consideração a área da bacia do rio João Gualberto como 12,5 km², mas a delimitação utilizada neste trabalho tem como área 10,0 km². Assim, o tempo de concentração pode ter sido alterado.

Tabela 3 - Resumo das medições

Data	Vazão (m³/s)	Nível (cm)
25/09/17	0,07	8,00
29/09/17	0,09	17,00
30/09/17	0,91	80,00
02/10/17	0,13	18,00
08/10/17	0,43	46,00
08/10/17	0,73	69,50
08/10/17	0,92	76,50
25/10/17	0,08	14,00
25/10/17	0,11	18,00
04/11/17	0,12	23,50
04/11/17	0,12	22,00
04/11/17	0,18	29,00
10/01/18	1,22	115,00

Fonte: Autor.

Entre o período de monitoramento, obteve-se o maior valor de vazão de 1,171 m³/s (1171 l/s) com uma cota máxima de 115 cm. Já o valor mínimo é de 0,0546 m³/s (54,6 L/s) e de cota mínima de 8 cm.

Houve grande crescimento da vegetação da margem entre os dias 04 de novembro e 10 de janeiro, devendo ser considerado os efeitos nos cálculos a seguir.

5.2 TRAÇADO DA CURVA-CHAVE

Através da metodologia de Porto & Filho (2001), obteve-se as constantes da curva-chave, e a soma dos desvios, como apresenta a Tabela 4.

$$h_{\min} = 0,08 \text{ m};$$

$$h_0 = 0,08 \text{ m};$$

$$a = 1,056;$$

$$b = 1,157;$$

onde $h_0 \leq h_{\min}$.

Tabela 4 - Determinação da curva-chave

Vazão medida (m³/s)	Nível (m)	$h - h_0$	Vazão Calculada (m³/s)	$(Q_{\text{calc}} - Q_{\text{med}})^2$
0,07	0,08	0,00	0,00	0,00490
0,09	0,17	0,09	0,10	0,00010
0,91	0,80	0,72	0,86	0,00263
0,13	0,18	0,10	0,11	0,00035
0,43	0,46	0,38	0,44	0,00018
0,73	0,70	0,62	0,73	0,00000
0,92	0,77	0,69	0,82	0,01090
0,08	0,14	0,06	0,07	0,00021
0,11	0,18	0,10	0,11	0,00000
0,12	0,24	0,16	0,18	0,00306
0,12	0,22	0,14	0,16	0,00143
0,18	0,29	0,21	0,24	0,00360
1,22	1,15	1,07	1,29	0,00544
Somatório:				0,03279

Fonte: Autor.

É visível que o valor obtido para o h_0 é o mesmo que o menor nível obtido, trazendo confiança aos dados obtidos. A diferença quadrática entre as vazões teve um ótimo valor, de 3,28%, mostrando as aproximações entre as vazões medidas e observadas.

A equação 9 representa a curva-chave para o rio João Gualberto.

$$Q = 1,206 (h + 0,08)^{1,035} \quad (9)$$

Porto & Filho (2001) relembram que o valor de h_0 se constitui de um parâmetro desconhecido, que poderia ser entendido como sendo a leitura do nível para qual a vazão é nula, podendo assumir valores negativos, dependendo da posição da régua ao fundo do rio. Consequentemente, a régua se encontra 8,00 centímetros acima do fundo do rio.

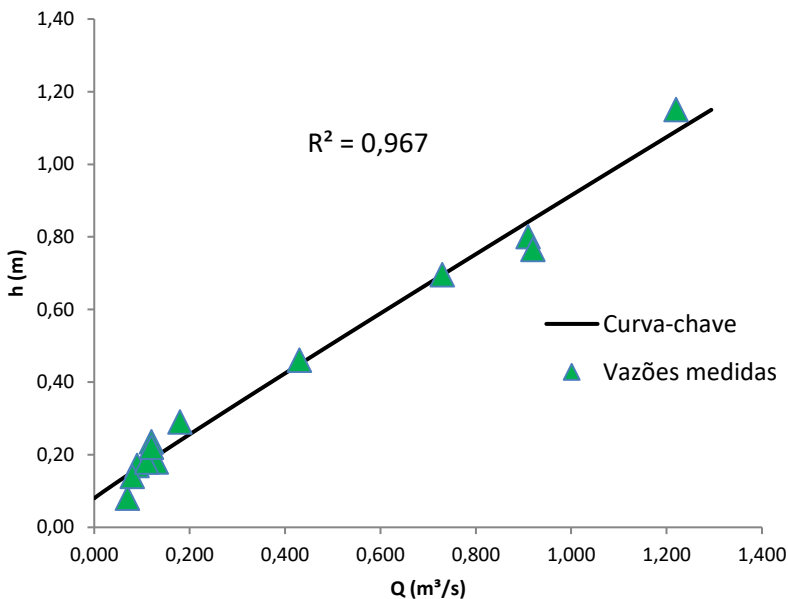
Através da equação 9 foi gerada a Tabela 5 e o Gráfico 1, representando a vazão para diferentes cotas:

Tabela 5 - Curva-chave do rio João Gualberto

Nível (m)	Vazão (m³/s)
0,08	0,000
0,10	0,021
0,20	0,135
0,30	0,252
0,40	0,371
0,50	0,492
0,60	0,613
0,70	0,736
0,80	0,859
0,90	0,982
1,00	1,107
1,10	1,231
1,15	1,294

Fonte: Autor.

Gráfico 1 - Curva-chave do rio João Gualberto



Fonte: Autor.

5.3 EXTRAPOLAÇÃO DA CURVA-CHAVE

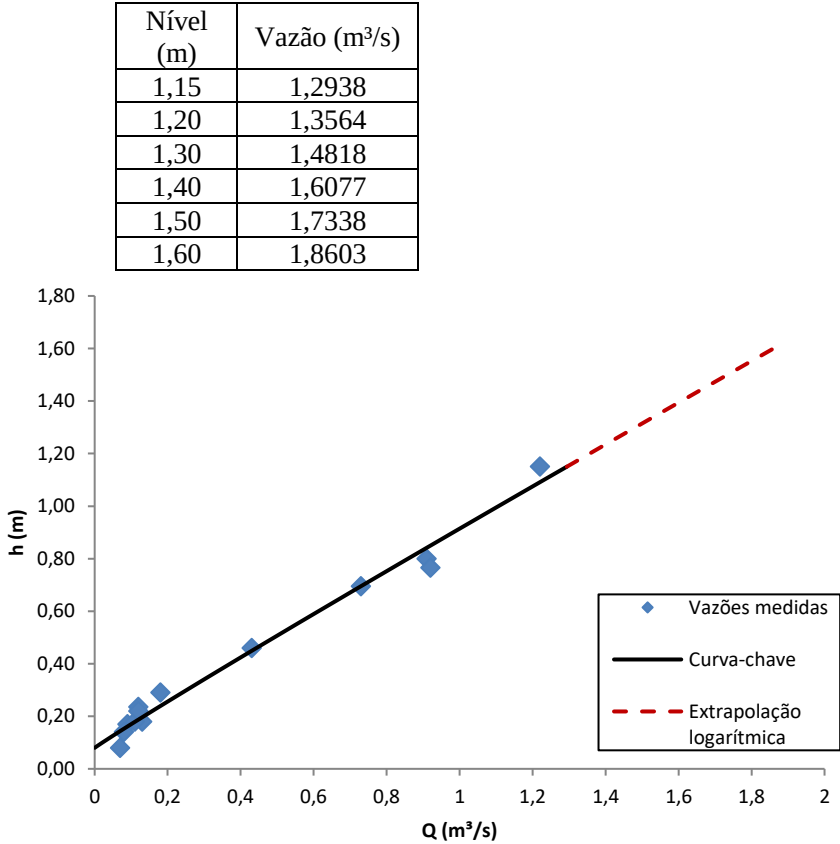
Serão apresentadas a seguir, as extrapolações da curva-chave, realizadas para a parte superior da curva, para os níveis superiores a 1,15 m até a altura máxima do canal, 1,60 m.

5.3.1 Método logarítmico

O método logarítmico consistiu no prolongamento da equação da curva-chave à faixa de extrapolação. A Tabela 6 traz os resultados obtidos para a extrapolação e o Gráfico 2 mostra a curva de extrapolação.

Tabela 6 - Valores da extrapolação logarítmica
Fonte: Autor.

Gráfico 2 - Extrapolação Logarítmica



Fonte: Autor.

A curva gerada tem a mesma característica da curva-chave, com inclinação leve, e descrita pela equação 9, já apresentada.

5.3.2 Método de Manning

Para o método de Manning, levou-se em consideração as características geométricas da seção, utilizando-se das vazões medidas para estimar as vazões para regiões superiores da curva.

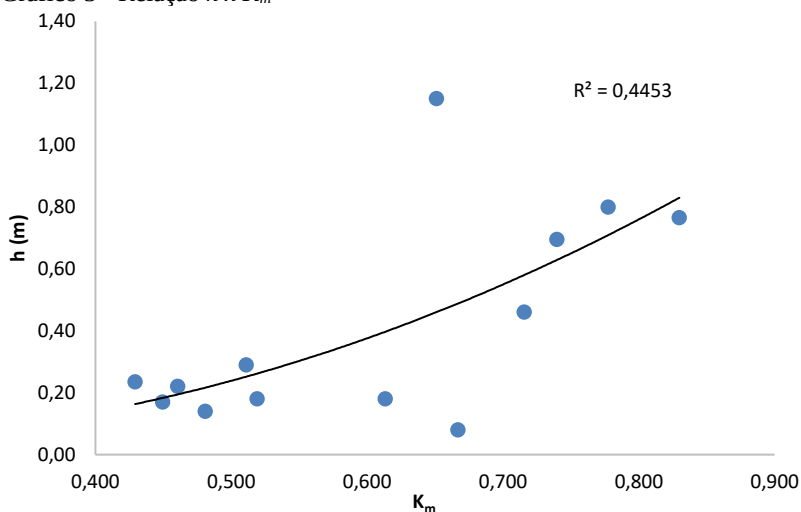
Foi calculado os valores de K_m para as vazões medidas através da equação 4, e traçou-se o gráfico de nível X K_m , buscando uma assíntota bem definida, para então extrapolar a curva-chave.

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos no cálculo do K_m e a Gráfico 3 a curva hxK_m .

Tabela 7 - Cálculo de K_m

Vazão (m³/s)	Nível (m)	Área (m²)	Perímetro molhado (m)	Raio hidráulico (m)	Km
0,07	0,08	0,37	2,38	0,154	0,667
0,09	0,17	0,55	2,56	0,217	0,449
0,91	0,80	1,88	3,82	0,492	0,778
0,13	0,18	0,58	2,58	0,223	0,613
0,43	0,46	1,16	3,14	0,371	0,716
0,73	0,70	1,66	3,61	0,460	0,740
0,92	0,77	1,80	3,75	0,482	0,830
0,08	0,14	0,49	2,50	0,197	0,481
0,11	0,18	0,58	2,58	0,223	0,519
0,12	0,24	0,69	2,69	0,257	0,429
0,12	0,22	0,66	2,66	0,248	0,460
0,18	0,29	0,81	2,80	0,289	0,511
1,22	1,15	2,61	4,52	0,579	0,673

Fonte: Autor.

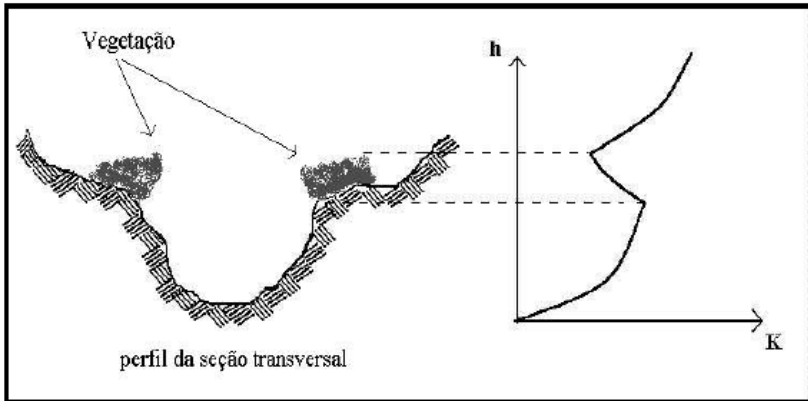
Gráfico 3 - Relação $h \times K_m$ 

Fonte: Autor.

É visível que não há uma assintoticidade entre a curva e os pontos. É possível ver também, que há um valor destoando dos demais, exatamente o ponto de maior nível e vazão.

Uma possível justificativa para não haver uma assíntota bem definida é a irregularidade do fundo do rio na seção, e das margens a montante e jusante do rio. Já para o ponto de maior nível medido (115 cm), a grande diferença tem como fundamento a relação dada por Tucci & Silveira (1985) *apud* Sefione (2002), que é a ocorrência de vegetação mais densa nas margens, ocasionando uma inversão nos valores de K_m , alterando o gráfico drasticamente, como mostra a Figura 14.

Figura 14 - Alteração do valor de K_m causado pela vegetação



Fonte: Sefione (2002).

A Figura 15 mostra a vegetação na seção no dia 10 de janeiro, quando houve inversão do valor de K_m .

Figura 15 - Vegetação nas margens do rio



Fonte: Autor.

Como não há assíntota bem definida, calculou-se um valor de K_m de forma iterativa, através do *solver* do Excel, de forma que o fim da curva-chave e início da extrapolação coincidissem.

O valor adotado para K_m e os valores de vazão calculados são apresentados na Tabela 8.

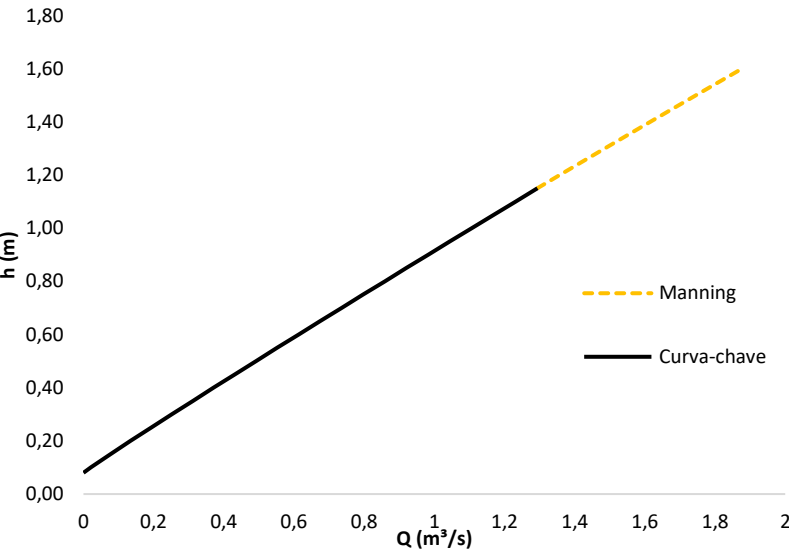
Tabela 8 - Valores de K_m e vazão calculada

Nível (m)	Área molhada (m²)	Perímetro molhado (m)	K_m	Vazão (m³/s)
1,15	2,613	4,515	0,651031	1,294
1,20	2,718	4,615		1,358
1,30	2,928	4,815		1,486
1,40	3,138	5,015		1,616
1,50	3,348	5,215		1,746
1,60	3,558	5,415		1,877

Fonte: Autor.

A extrapolação da curva-chave pelo método de Manning é exibido no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Extrapolação pelo método de Manning



Fonte: Autor.

5.3.3 Método de Stevens

A extrapolação pelo método de Stevens, a partir da equação de Chezy, foi realizada a começar pelo cálculo do produto entre a área molhada e a raiz do raio hidráulico. Então, traçada a curva $Q \times A_m\sqrt{R_h}$, buscando uma linha de tendência linear que passasse pela origem.

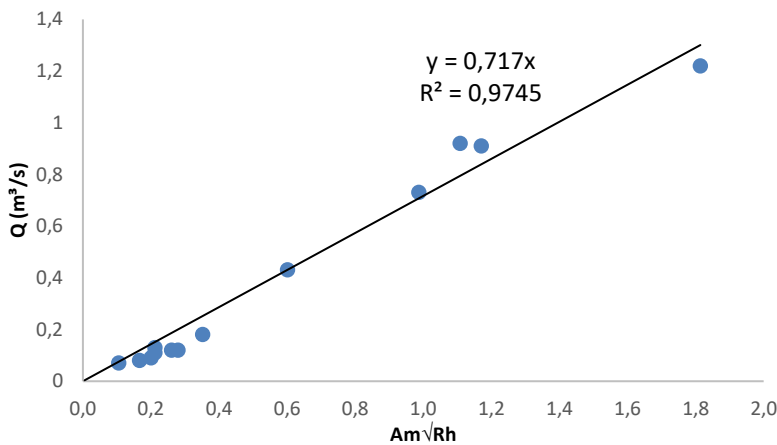
A Tabela 9 mostra os resultados obtidos para $A_m\sqrt{R_h}$, e o Gráfico 5 a relação $Q \times A_m\sqrt{R_h}$.

Tabela 9 - Obtenção dos valores de $A_m\sqrt{R_h}$

Vazão (m³/s)	Nível (m)	Área molhada (m²)	Perímetro molhado (m)	$A_m\sqrt{R_h}$
0,07	0,08	0,366	2,375	0,105
0,09	0,17	0,555	2,555	0,200
0,91	0,8	1,878	3,815	1,170
0,13	0,18	0,576	2,575	0,212
0,43	0,46	1,164	3,135	0,601
0,73	0,695	1,657	3,605	0,987
0,92	0,765	1,804	3,745	1,109
0,08	0,14	0,492	2,495	0,166
0,11	0,18	0,576	2,575	0,212
0,12	0,235	0,691	2,685	0,280
0,12	0,22	0,660	2,655	0,261
0,18	0,29	0,807	2,795	0,352
1,22	1,15	2,613	4,515	1,814

Fonte: Autor.

Gráfico 5 - Curva $Q \times A_m \sqrt{R_h}$



Fonte: Autor.

Tendo uma boa relação linear entre a curva e os pontos do gráfico, utilizou-se a equação da reta a seguir para obter os valores de vazão nas regiões superiores à curva-chave:

$$Q = 0,717 A_m \sqrt{R_h} \tag{10}$$

Os valores para a extrapolação estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Extrapolação pelo método de Stevens

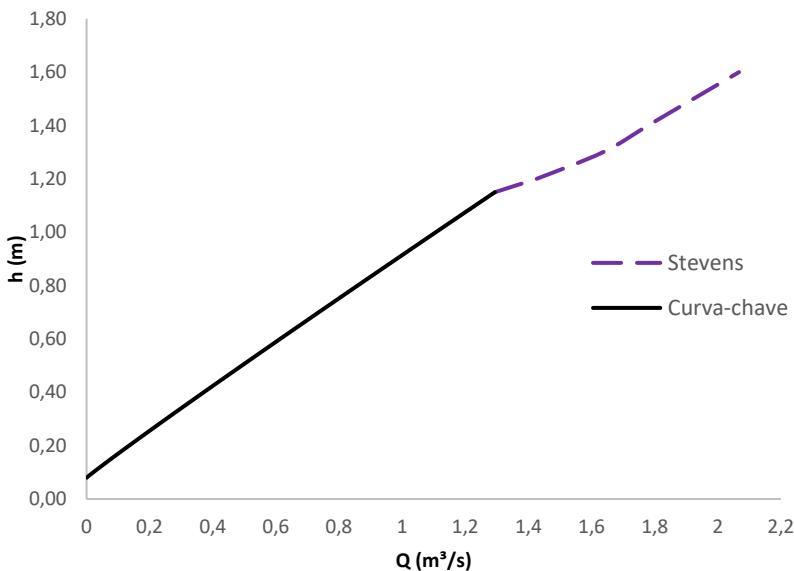
Nível (m)	Área molhada (m²)	Perímetro molhado (m)	Raio hidráulico (m)	Vazão (m³/s)
1,15	2,613	4,515	0,579	1,294*
1,20	2,718	4,615	0,589	1,426*
1,30	2,928	4,815	0,608	1,637
1,40	3,138	5,015	0,626	1,779
1,50	3,348	5,215	0,642	1,923
1,60	3,558	5,415	0,657	2,067

Fonte: Autor.

* Valores ajustados.

Como havia uma descontinuidade entre as curvas-chave e de extrapolação, fez-se um ajuste manual do valor inicial da extrapolação para ligar-se a curva-chave, como recomendado por Sefione (2002). Foi feita uma suavização entre os pontos 1,15 e 1,20 metros, como visto no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Curva-chave extrapolada por Stevens

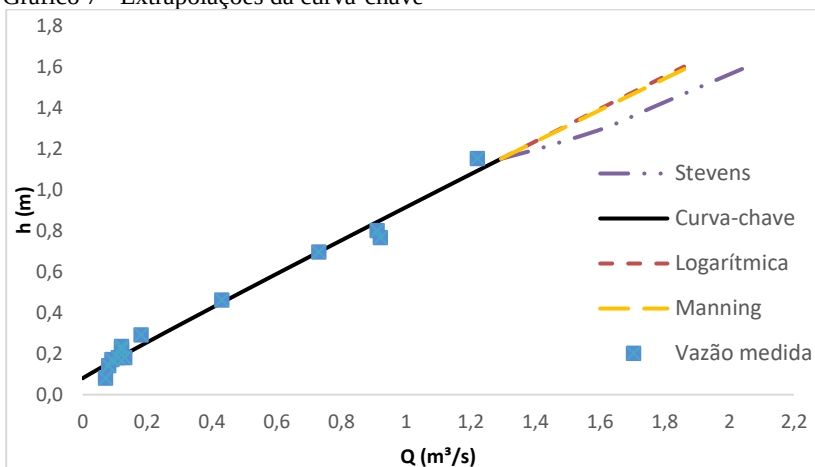


Fonte: Autor.

5.4 COMPARAÇÃO ENTRE AS EXTRAPOLAÇÕES

Finalmente, é possível juntar as três extrapolações utilizadas em um só gráfico, como apresenta o Gráfico 7.

Gráfico 7 - Extrapolações da curva-chave



Fonte: Autor.

As equações a seguir assumem a forma das extrapolações na figura anterior:

$$\text{➤ Logarítmica: } Q = 1,206 (h + 0,08)^{1,035} \quad (9)$$

$$\text{➤ Manning: } Q = 1,2591x - 0,1547 \quad (12)$$

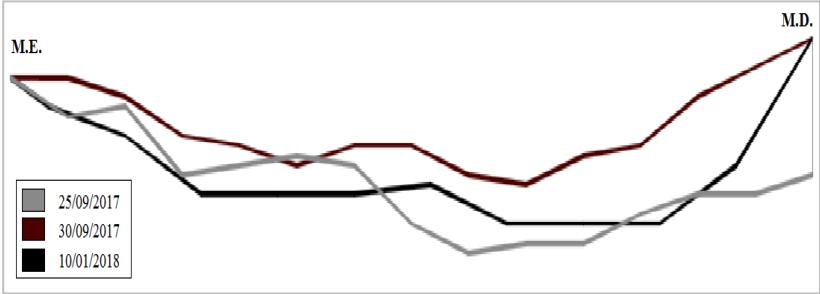
$$\text{➤ Stevens: } Q = -1,0741h^2 + 4,6161h - 2,587 \quad (13)$$

É perceptível que a curva de extrapolação logarítmica permaneceu a mesma, como dito anteriormente. É visível, também, que a curva de Manning assumiu a equação de uma reta e a de Stevens, uma polinomial de segundo grau.

Apesar de ter resultados muito parecidos com o valor da extrapolação logarítmica, a falta de assíntota bem definida para a curva $h \times K_m$, e a fixação realizada para a constante K_m , trazem uma certa inconsistência ao método, e a mesma metodologia não foi considerada como a melhor opção para extrapolação.

A extrapolação de Stevens utiliza-se de equações empíricas de Chezy e, conseqüentemente, depende dos dados geográficos da seção, e devido às alterações ocorridas no fundo da seção como mostra a Figura 16, acrescenta erros na curva gerada.

Figura 16 - Alteração do fundo da seção



Fonte: Autor.

A extrapolação que apresentou melhor ajuste e tem maior confiança é a curva logarítmica, pois não necessita das informações geométricas para sua formulação. Assim, foram comparadas as extrapolações de Manning e Stevens em relação a essa.

Para a diferença relativa média, os valores estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Diferença relativa média

Nível (m)	Vazão (m³/s)			Diferença relativa média	
	Logarítmico	Manning	Stevens	Manning	Stevens
1,15	1,294	1,294	1,294	0,0000	0,0000
1,20	1,356	1,357	1,413	0,0003	0,0302
1,30	1,482	1,486	1,614	0,0023	0,0712
1,40	1,608	1,616	1,761	0,0043	0,0824
1,50	1,734	1,746	1,909	0,0066	0,0939
1,60	1,860	1,877	2,057	0,0091	0,1058
			Dm (%)	0,38	6,39

Fonte: Autor.

Já para a diferença relativa na cota máxima, os valores estão na Tabela 12.

Tabela 12 - Diferença relativa na cota máxima

Nível (m)	Vazão (m ³ /s)		
	Logarítmico	Manning	Stevens
1,60	1,860	1,877	2,057
Diferença relativa na cota máxima (%)			
	Manning	Stevens	
	0,91	10,58	

Fonte: Autor.

Como esperado, a curva que apresentou maior diferença relativa média e na cota máxima em relação à extrapolação logarítmica foi a extrapolação de Stevens, apresentando uma diferença relativa média de 6,39% e uma diferença relativa na cota máxima de 10,58%. Já a extrapolação de Manning apresentou uma pequena diferença para os dois métodos empregados. A diferença relativa média é de 0,38% e a diferença relativa na cota máxima é de 0,91%.

6 CONCLUSÃO

O processo de escolha de uma estação fluviométrica, e o monitoramento de sua vazão, são tarefas complexas e demoradas. Em regiões costeiras, como Florianópolis, rios de fundo de areia, somado às ações antrópicas, tornam o trabalho ainda mais complicado. De toda forma, o conhecimento do regime de vazões é importante para uma melhor compreensão da Lagoa da Conceição.

A curva-chave obtida para o rio João Gualberto foi construída pelo método exponencial (logarítmico) e é descrita pela equação 9. A mesma teve uma boa aproximação aos pontos medidos em campo, com R^2 de aproximadamente 0,97.

Entre os métodos de extrapolação utilizados, o método de Stevens apresentou vazões superestimadas em relação ao método logarítmico ($Dm = 6,39\%$ e $Dh_m = 10,58\%$). Já o método de Manning e logarítmico tiveram valores aproximados ($Dm = 0,38\%$ e $Dh_m = 0,91\%$).

Devido às modificações realizadas para aproximação da curva de Manning em relação à curva-chave em função das alterações do fundo do rio no decorrer do monitoramento, a curva de maior confiança foi considerada como a logarítmica.

Acredita-se que resultados obtidos possam contribuir para futuros estudos realizados pelo Laboratório de Hidráulica Marítima sobre a hidrodinâmica da Lagoa da Conceição, visto que permitirá conhecer melhor a contribuição fluvial de sua maior sub-bacia, e seu regime de vazões.

Deve-se ressaltar que o a falta de pontos de monitoramento em cotas médias e altas criam uma menor confiança na curva-chave, assim como as alterações no fundo do rio.

É recomendado continuar o monitoramento no rio João Gualberto para níveis médios (30 – 70 cm) e para níveis altos (90 – 130 cm), para minimizar as incertezas da curva-chave e das extrapolações obtidas. Sugere-se estudos mais aprofundados quanto ao método de Manning para o local, para que se possa traçar a curva de maneira mais confiável.

Recomenda-se também a continuidade do controle dos problemas à jusante da seção, como o crescimento da vegetação nas margens, para evitar o estrangulamento da seção e a formação de remanso, eventuais manutenções nas régua e a instalação de um linígrafo para acompanhamento da vazão e nível do rio.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Medição de descarga líquida em grandes rios**. 2. ed. Brasília: Superintendência de Gestão da Rede Hidrometrológica, 2014. Manual Técnico.

ALMEIDA NETO, P. de. **Hidrogramas experimentais de área alagada da micro bacia do rio Jacupiranguinha, Baixo Ribeira do Iguape, SP**. 2007. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. doi:10.11606/D.18.2007.tde-20112007-155108. Acesso em: 2018-01-12.

BIER, F. B. **Caracterização Morfométrica e Hidrológica da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição, Florianópolis – SC**. Trabalho

De Conclusão de Curso. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2013.

CHANG, M. **Forest hydrology: an introduction to water and forests**. CRC press, 2006.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013.

DAVIE, T. **Fundamentals of hydrology**. Taylor & Francis, 2008.

FERGUSON, R. **Time to abandon the Manning equation?**. Earth Surface Processes and Landforms, v. 35, n. 15, p. 1873-1876, 2010.

GALLINA, Eduardo Becker. **Elaboração e Extrapolação das curvas cota vazão nas estações fluviométricas do Córrego Grande e Ana d'Ávila**. 2017. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

GUIZONI NETO, T. **Elaboração e Extrapolação das Curvas-Chave nos Pontos de Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Campus da UFSC em Joinville**. 2017. 85 f. TCC (Graduação) - Curso

de Engenharia de Infraestrutura, Universidade de Santa Catarina, Joiville, 2017

IBIAPINA, A.V.; FERNANDES, D.; CARVALHO, D.C.; OLIVEIRA, E.; SILVA, M.C.A.M.; GUIMARÃES, V.S. **Evolução da hidrometria no Brasil**. Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2007.

JACCON, G.; CUDO, K. J. **Hidrologia - curva-chave: análise e traçado**. DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica, 273p 1989.

JÚNIOR, F.C.; MUEBE, D. **Batimetria e algumas considerações sobre a evolução geológica da Lagoa da Conceição-Ilha de Santa Catarina**. Geosul, v. 4, n. 7, p. 32-44, 1989.

MAKOWIECKY, N. **Participação Social: Estratégias de Legitimação do Plano Diretor**. Florianópolis: Tese de doutorado em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

MALDONADO, L. H.; WENDLAND, E. C.; PORTO, R. M. **Evaluation of low-cost methods for the measurement of discharge into rivers**. Revista Ambiente & Água, v. 10, n. 2, p. 402-412, 2015.

ODRESKI, L. F. **Influência hidrológica nos processos hidrodinâmicos da Lagoa da Conceição, Florianópolis - SC**. Dissertação 109 (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Departamento de

Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2012.

OLSSON, L.; PILESJÖ, P. **Approaches to spatially distributed hydrological modelling in a GIS environment**. In: SKIDMORE, Andrew (Comp.). *Environmental Modelling with GIS and Remote Sensing*. Nova Iorque: Andrew Skidmore, 2002. Cap. 9. p. 166-199.

OTT HYDROMET (Org.). **OTT MF Pro: Operating Instructions**. 06. ed. Estados Unidos: Ott, 2015.

PEDRAZZI, J. A. **Hidrologia aplicada**. Disponível em: <<http://facens.br/site/alunos/download/hidrologia/>> Acesso em: 03 de Março de 2017.

PINTO, N. L. S. *et al.* **Hidrologia Básica**. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

Prefeitura Municipal de Florianópolis. **Relatório: Diagnóstico da caracterização física das unidades territoriais de análise e planejamento – Diagnóstico do Meio Físico**. Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico. 2009.

PORTO, R. L. L.; FILHO, K. Z.; DA SILVA, R. M. **Medição de Vazão e Curva-chave**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001.

SANTOS, I. **Hidrometria Aplicada**. CEHPAR–Centro de Hidráulica e Hidrologia Prof. Parigot de Souza. Instituto de tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba, Brasil, 2001.

SEFIONE, A.L. **Estudo comparativo de métodos de extrapolação superior de curvas-chave**. 2002. Dissertação (Pós-graduação) – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

SILVA, M. L. **Análise da Qualidade Ambiental Urbana da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição**. Florianópolis, Santa Catarina: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, 2002.

SILVA, J. C. **Análise numérica da influência dos aportes fluviais e antrópicos sobre a hidrodinâmica residual e a qualidade da água da Lagoa da Conceição – Florianópolis - SC**. 2013. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

SILVEIRA, A.L.L. **Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. Hidrologia: Ciência e aplicação**. C. E. M. Tucci, Editora da UFRGS, 1993.

SUBRAMANYA, K. **Engineering Hydrology, 4e**. Tata McGraw-Hill Education, 2005.

TEODORO, V. L.; *et al.* **O conceito da bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.** Revista Uniara , n. 20, 2007.

TUCCI, C. E. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** 4ª ed.. Porto Alegre, Editora da UFRGS, 2007.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION - UNESCO; WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO; INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROLOGICAL SCIENCES - IAHS. **Three century of scientific hydrology.** 1674-1974. Paris, 1974.

WREGE, M. S. *et al.* (Ed.). **ATLAS CLIMÁTICO DA REGIÃO SUL DO BRASIL:** Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012.