



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Oswaldo Savoldi Neto

**Análise sobre o tempo de concentração da bacia do Rio do Meio no município de
Florianópolis/SC**

Florianópolis

2022

Oswaldo Savoldi Neto

**Análise sobre o tempo de concentração da bacia do Rio do Meio no município de
Florianópolis/SC**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Alexandra Rodrigues Finotti.

Florianópolis

2022

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

Savoldi Neto, Oswaldo

Análise sobre o tempo de concentração da bacia do Rio do Meio no município de Florianópolis/SC / Oswaldo Savoldi Neto ; orientadora, Alexandra Rodrigues Finotti, 2022.

72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Tempo de concentração. 3. Rio do Meio. 4. Drenagem Urbana. I. Finotti, Alexandra Rodrigues. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Oswaldo Savoldi Neto

**Análise sobre o tempo de concentração da bacia do Rio do Meio no município de
Florianópolis/SC**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 13 de Dezembro de 2022.

Prof^a. Maria Elisa Magri, Dr^a.

Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof^a. Alexandra Rodrigues Finotti, Dr^a.

Orientadora

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Patrícia Kazue Uda, Dr^a.

Universidade Federal de Santa Catarina

Jéssica Aurora Bernardo, MSc

Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

É uma missão muito difícil colocar em uma página tudo, todos e todas que devo um agradecimento por esse período de 6 anos vividos na graduação, fiquei um bom tempo enrolado na frente do computador pra conseguir colocar em palavras a gratidão que sinto aos meus aliados de vida.

Agradeço inicialmente a meu S5: Cláudio, Sinara, Pedro e Ana, sem vocês eu não teria conseguido chegar aqui, seja por meio das broncas, das risadas, das comidas gostosas, dos desabafos, e pelo amor retribuído que sinto por vocês 4. Pai por ser paciente comigo, um exemplo de pessoa pra mim, que sempre me ensina a fazer o certo, sonhar grande e acreditar em mim. Mãe, um exemplo de paciência e conhecimento, por ser esse poço de carinho e amor que sempre sabe ter as melhores conversas sobre tudo, e por ter o abraço mais aconchegante do mundo. Pedro por ter sido meu guia nos momentos mais tenebrosos da vida, por sempre estar presente (apesar de não responder o zap) e ter sido uma pessoa que sempre me fez acreditar e amar o Neto que sou. E Ana, que além de ter que aguentar morar comigo, fazer parte cotidianamente na minha vida a anos, lidando com altos e baixos um do outro, e tendo um espaço muito importante no meu coração, de respeito, admiração, amor e amizade, eu não aguentaria se não fosse nossas conversinhas banais do dia a dia! Amo muito vocês 4 e obrigado por tudo! Pelos demais familiares, Savoldis e Reses, em especial a Vó Rose, obrigado por terem sido um pilar crucial de apoio nesse sonho!

Ao meu companheiro de vida André, que me acompanhou do Cálculo 3 ao TCC e foi meu maior aliado nessa longa jornada que foi a graduação de engenharia. Por todas as conversas, o carinho, o respeito. Por me acalmar nos dias que eu surtava com projetos, por fazer uma jantinha pra mim enquanto eu fazia TCC, por saber me distrair em momentos de stress como ninguém, pela cervejinha, pela conversa, pelo nosso amor, muito obrigado por ter entrado na minha vida! Eu com certeza não conseguiria sem você fazendo parte da minha jornada, amo muito você e te quero comigo como parceiro nos próximos destinos reservados depois da UFSC, obrigado por tudo!

Aos meus queridos do chaic/nus/bentos: Amandinha, Dudão, Cami, Djudji, Laura, Layne, Leticia-chan, Koki, Gigi, Brenno e Chaic. Obrigado por terem feito parte do meu dia a dia durante todos esses anos, na sala de aula, no cetec, na graminha, na BS, no RU, no bar, no

apezinho da Carvoeira... Vocês foram essenciais, a motivação e a energia que eu precisava para levantar 07:30 pra uma aula difícil, vocês foram a maior leveza e meu maior apoio dentro da UFSC, obrigado por terem sido minha segunda família em Florianópolis, amo muito ter vocês na minha vida.

Para Djowdjow, minha primeira e sempre melhor amiga, que esteve comigo em 4 dos 8 anos que moro em Florianópolis, obrigado por todo o apoio que trocamos, pela parceria única, pela amizade nos momentos bons e ruins que tivemos ao longo dos anos, sinto muito sua falta na minha rotina, com café e crivo no CCE, estamos longe mas sempre conectados, minha alma-gêmea e irmã de alma, amo muito você e obrigado por tudo!

Aos demais amigos feitos no Deixe que Raspe, na Sanitária, nas Artes Cênicas e em Florianópolis no geral, em especial Pepe, Panda, Jo, Thassia, Mana, Tony, Fernando, Deco, Celso, Paulinho e Pocrí, obrigado por me ajudarem a me apaixonar todo dia por Florianópolis e pelo ambiente incrível e acolhedor que é essa ilha.

Agradeço a professora Alexandra pelo apoio, suporte e dicas essenciais na realização deste trabalho, foi uma honra ter sido orientado por uma profissional como você. Agradeço também a professora Patrícia e a Jéssica por terem aceitado ser minha banca, fico muito feliz e honrado em ser avaliado por pessoas admiráveis e incríveis como vocês.

Por fim, agradeço a toda a Engenharia Sanitária e Ambiental, professores, docentes, colegas, CALESA, AESA, EJESAM e Insanitária, por terem contribuído a cultivar meu amor por esse curso lindo, espero no futuro retribuir o que recebi na graduação para a sociedade e o meio ambiente. E, por fim, a UFSC, por contribuir na minha construção de ser humano e engenheiro sanitário e ambiental, meu muito obrigado!

RESUMO

O tempo de concentração (T_c) é o tempo necessário para a água atravessar a bacia desde o ponto mais distante até o seu exutório. Os eventos extremos de precipitação, seca e enchentes estão com uma frequência elevada e contínua na região da bacia do Rio do Meio, indicando risco de deslizamentos de terras e erosão. Logo, a definição de um tempo de concentração confiável mostra-se essencial para a melhoria da gestão dos recursos hídricos na bacia e também pode contribuir para a análise de outras sub bacias semelhantes na cidade de Florianópolis/SC. O seguinte trabalho tem como objetivo realizar uma análise do tempo de concentração em uma sub bacia do Itacorubi, a bacia do rio do Meio, onde fica localizado o campus UFSC em Florianópolis/SC, comparando resultados reais obtidos por meio de monitoramento pluviométrico e fluviométrico com: equações empíricas recomendadas para bacias urbanas, equações já utilizadas em pesquisas na mesma bacia e outras equações que encaixam-se às demais caracterizações da bacia. O intuito do trabalho é encontrar o método empírico que mais se assemelha aos resultados reais e também comparar os resultados encontrados do atual trabalho com resultados antigos, a fim de identificar quais fatores influenciam na alteração dos valores. Para análise através do monitoramento hidrológico foram utilizados dados de nove eventos de precipitação, e nos mesmos foi realizado um hidrograma e hietograma para encontrar o tempo de pico do evento, para conseqüentemente, encontrar o tempo de concentração. A média dos resultados encontrados nesta análise foi de $T_c = 28,7$ minutos, valor consideravelmente menor que o encontrado por Kobiyama (33,8 minutos), e o parâmetro que mais apresentou correlação com o T_c foi a intensidade média de precipitação. Já através das equações empíricas, foram selecionadas 10 diferentes equações para análise: Kirpich, Carter, Schaake, Desbordes, Dooge, FAA, McCuen, onda cinemática, onda cinemática fractal e SCS Lag. Os métodos de Dooge e SCS Lag apresentaram valores que extrapolaram o 100% de erro, por isso, foram desconsiderados na análise. A média dos resultados encontrados foi 28,6 minutos, valor que se assemelha muito a média encontrada no monitoramento hidrológico. A equação que mais se aproximou do resultado hidrológico foi a de McCuen com $T_c = 27,6$ minutos. Já a equação da onda cinemática fractal, a que mais utiliza parâmetros em sua formulação, foi a que apresentou T_c (19,1 minutos) mais próximo aos T_c dos eventos 1 e 2, que foram definidos como os eventos mais intensos e menos duradouros. O T_c pela celeridade da onda apresentou valor de 26,3 minutos. Comparando os resultados do trabalho atual com o realizado por Kobiyama em 2006 na mesma bacia, pode-se notar que o parâmetro que mais destoa-se foi o coeficiente de escoamento superficial, que foi superestimado no trabalho de Kobiyama, assim, o resultado de T_c pelo método de FAA foi mais baixo no trabalho de Kobiyama (18,8 minutos) e mais alto no trabalho atual (36,8 minutos). Com exceção de FAA, todos os demais resultados utilizando as mesmas equações nos dois trabalhos tiveram valores menores no estudo de 2022 do que no de 2006, isso provavelmente se dá pela definição mais precisa dos parâmetros de cálculo. Os resultados encontrados pelos diferentes métodos foram potencialmente satisfatórios, por aproximarem-se consideravelmente dos valores reais.

Palavras-chave: Tempo de concentração. Rio do Meio. Drenagem urbana.

ABSTRACT

The time of concentration (T_c) is the time needed for the water to pass through the basin from the further point to its ends. The extreme events of rain, dry and flood are with higher frequencies during the last years in the Rio do Meio's basin. So, the correct definition of this parameter is essential to improve the management of water resources in the basin and to other similar basins in the city of Florianópolis/SC. The following project has as goal to carry out an analysis of the time of concentration in a sub basin of the basin of Itacorubi, the basin of Rio do Meio, where is located the campus UFSC in Florianópolis/SC, comparing real results obtained through rainfalls data and river flow data with: empirical equations recommended to urban basins, equations already used in researches in the same basin and also another equations that fit to the rest of the characterization of the basin. The intention of this research is to find the empirical method that is closer to the real results, and also compare the results obtained in the current research with older results in order to discover which factors influence the change of numerical values. To analyze through the hydrological monitoring, data of nine rain events were used, then, hydrographs were realized to find the time of peak, to therefore, find the time of concentration. The average of the results in this analysis is $T_c = 28,7$ minutes, a value considerably lower than the found out by Kobiyama (33,8 minutes), and the parameter that presents plus correlation with T_c is the intensity of rain. Now, through the empirical equations, were selected ten different equations to analyze: Kirpich, Carter, Schaake, Desbordes, Dooge, FAA, McCuen, cinematic wave, fractal cinematic wave and SCS Lag. The methods of Dooge and SCS Lag delivered results that extrapolate in 100% of error, that's why they were desconsiderated in the analysis. The average of the results found was 28,6 minutes, a value that is very similar to the average found in the hydrological monitoring. The equation that it's result is closer to the hydrological result was with the method of McCuen with $T_c = 27,6$ minutes. Then, the equation of the fractal cinematic wave, the one that more uses parameters in its formulation, as the equation that results in $T_c = 19,1$ minutes, the closest to the T_c of the events 1 and 2, that were defined as the events more intenses and less lasting. The T_c with the method of the celerity of the wave resulted in 26,3 minutes. Comparing the results of the current project with the one realized by Kobiyama in 2006 in the same basin, it's possible to notice that the parameter that plus differs is the C (coefficient of superficial flow), that was overrated in Kobiyama's research, so, the result of T_c was lower in Kobiyamas work (18,8 minutes) and higher in the current project (36,8 minutes). Excluding the method of FAA, all the other results using the same equations in both projects present lower results in the 2022 study than in the 2006 study, that's probably because of a more precise definition of the parameters of calculation. The results found with different methods was potentially satisfactory, because their approximation was considerably close to the real values. Finally, it is recommended the utilization of the formulas of Mccuen or the fractal cinematic wave (by approximating its results with the intenses events).

Keywords: Time of concentration. Rio do Meio. Urban drainage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma metodológico do trabalho.....	29
Figura 2: Mapa de localização da bacia do Rio do Meio.....	30
Figura 3: Hidrografia da bacia do Rio do Meio.....	31
Figura 4: Topografia da bacia do Rio do Meio.....	32
Figura 5: Zoneamento da bacia do Rio do Meio.....	33
Figura 6: Suscetibilidade à inundação e enxurrada da bacia do Rio do Meio.....	34
Figura 7: Aspecto visual do Rio do Meio no dia 30/11/2022.....	34
Figura 8: Aspecto visual do Rio do Meio no dia 01/12/2022.....	34
Figura 9: Estação fluviométrica da bacia do Rio do Meio.....	35
Figura 10: Estação pluviométrica da bacia do Rio do Meio.....	36
Figura 11: Hidrograma do Evento 3 (2/10/2017).	38
Figura 12: Hidrografia da bacia do Rio do Meio (campus UFSC).....	39
Figura 13: Vegetação da bacia do campus UFSC.....	40
Figura 14. Hidrogramas dos eventos selecionados para estudo do T_c na bacia do Rio do Meio.....	48
Figura 15 Correlações entre o tempo de concentração e a intensidade, chuva total, vazão média e duração do evento média de precipitação.....	52
Figura 16: Resultados de tempo de concentração para os métodos empíricos.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características dos estudos que originaram e das equações dos tempos de concentração selecionados para este estudo.....	28
Tabela 2: Características dos eventos de precipitação selecionados.....	37
Tabela 3: Uso do solo da bacia do campus UFSC.....	41
Tabela 4: Número de curva (CN) da bacia do campus UFSC.....	41
Tabela 5: Valores do coeficiente de escoamento superficial.....	42
Tabela 6: Valores do coeficiente de escoamento superficial para a bacia do campus UFSC.....	42
Tabela 7: Valores do coeficiente de escoamento superficial para a bacia do campus UFSC com diferentes tempos de retorno.....	43
Tabela 8 : Coeficientes de Manning de acordo com a natureza das paredes.....	45
Tabela 9: Coeficientes de Manning da bacia do campus UFSC.....	45
Tabela 10: Tempo de pico e de concentração dos eventos selecionados.....	49
Tabela 11: Características dos eventos selecionados.....	50
Tabela 12: Coeficientes de correlação dos parâmetros com o tempo de concentração.....	53
Tabela 13: Resumo dos métodos empíricos.....	54
Tabela 14: Recomendações de uso do método de Kirpich em comparação com a bacia do Campus UFSC.....	56
Tabela 15: Resultados de tempo de concentração utilizando a fórmula de SCS Lag com diferentes valores de CN.....	58
Tabela 16: Cálculo da celeridade da onda e do tempo de concentração de acordo com a vazão.....	59
Tabela 17: Resumo do tempo de concentração para os três diferentes métodos.....	59
Tabela 18: Tempo de concentração através do monitoramento hidrológico.....	60
Tabela 19: Tempo de concentração através dos métodos empíricos.....	60
Tabela 20: Resultados dos métodos recomendados para bacias urbanas.....	63
Tabela 21: Resultados dos métodos utilizados no estudo da bacia do campus UFSC em 2006.....	63
Tabela 22: Comparação dos parâmetros utilizados nas equações nos estudos de 2006 e	

2022.....	64
Tabela 23: Comparação de resultados de tempo de concentração por métodos empíricos em 2006 e 2022 na bacia do campus UFSC.....	65
Tabela 24: Resultados dos métodos utilizados em estudo em bacia urbana.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APP	Área de Preservação Permanente
BU	Biblioteca Universitária da UFSC
CGA	Gestão Ambiental da UFSC
CN	Número da curva
DC	Distrito de Columbia
EUA	Estados Unidos da América
FAA	Federal Aviation Agency
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LABHIDRO	Laboratório de Hidrologia da UFSC
LABURB	Laboratório de Urbanismo da UFSC
LAUTEC	Laboratório de Águas Pluviais Urbanas e Técnicas Compensatórias da UFSC
NEA	Núcleo de Estudos da Água
PMF	Prefeitura Municipal de Florianópolis
PRAD	Projeto Recuperação da Qualidade da Água dos Córregos do Campus Reitor
João David Ferreira Lima	
QGis	Software para SIG
SC	Santa Catarina
SCS	Soil Conservation Service
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SWMM	Storm Water Management Model
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
USDA	United States Department of Agriculture

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>A</i>	área da bacia
<i>A_i</i>	fração da área impermeável
<i>a,b,c,d</i>	parâmetros ajustáveis de acordo com a localidade
<i>B</i>	largura
<i>C</i>	coeficiente de escoamento superficial
<i>C_f</i>	fator de forma do canal
<i>C_o</i>	celeridade da onda
<i>h</i>	horas
<i>I</i>	intensidade de precipitação efetiva
<i>i</i>	intensidade da chuva com tempo de retorno de 2 anos
<i>I_{lim}</i>	precipitação limite
<i>k</i>	fator de forma da bacia
<i>km</i>	quilômetros
<i>km²</i>	quilômetros quadrados
<i>K₁</i>	parâmetro de ajuste do tempo de concentração pela declividade do curso d'água
<i>K₂</i>	parâmetro de ajuste de tempo de concentração pela declividade média da bacia
<i>L</i>	comprimento do canal principal
<i>L₁</i>	comprimento da bacia em linha reta da exutória até o divisor
<i>L₂</i>	comprimento do talvegue
<i>m</i>	metros
<i>min</i>	minutos
<i>mm</i>	milímetros
<i>m²</i>	metro quadrado
<i>m³</i>	metro cúbico
<i>n</i>	rugosidade de Manning
<i>Q_{méd}</i>	vazão média
<i>Q_o</i>	vazão
<i>R</i>	coeficiente de correlação

R^2	coeficiente de determinação
S	declividade do canal principal
s	segundos
S_0	declividade do fundo do canal
S_I	desnível entre a exutória e o divisor da bacia dividido pelo comprimento da bacia
S_2	declividade do talvegue
t	duração da chuva
T_c	tempo de concentração
T_p	tempo de pico
T_r	tempo de retardo
ΔT	período de tempo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
3.1 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO.....	18
3.1.1. Fórmulas empíricas.....	18
3.1.1.1. Métodos recomendados para bacias urbanas.....	19
3.1.1.2 Métodos utilizados no estudo da bacia do Rio do Meio em 2006.....	23
3.1.1.3. Métodos previamente utilizados em bacia urbana.....	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1. ÁREA DE ESTUDO.....	29
4.2. OBTENÇÃO DE DADOS.....	35
4.3. ESTIMATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO.....	38
4.3.1. Estimativa pela análise do monitoramento hidrológico.....	38
4.3.2. Estimativa pelos métodos empíricos.....	39
4.3.3. Estimativa pela celeridade da onda.....	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
5.1. ESTIMATIVA PELA ANÁLISE DO MONITORAMENTO HIDROLÓGICO.....	47
5.2. ESTIMATIVA PELOS MÉTODOS EMPÍRICOS.....	53
5.3. ESTIMATIVA PELA CELERIDADE DA ONDA.....	58
5.4. COMPARAÇÃO DAS ESTIMATIVAS ENTRE O MÉTODO HIDROLÓGICO E OS MÉTODOS EMPÍRICOS.....	60
5.4.1. Métodos recomendados para bacias urbanas.....	62
5.4.2. Métodos utilizados no estudo da bacia do Rio do Meio em 2006.....	63
5.4.3. Métodos previamente utilizados em bacia urbana.....	66
6. CONCLUSÕES.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano tem aumentado significativamente com o passar dos anos, e tal urbanização crescente vem causando impactos significativos na infraestrutura das cidades brasileiras (TUCCI, 2002). Segundo o IBGE (2021), a cidade de Florianópolis - SC possui uma população estimada de 516.524 habitantes em 2021, um aumento de aproximadamente 22,62% em comparação com o último censo (IBGE, 2010).

A capital catarinense possui uma caracterização fisionômica bastante acidentada. Segundo Alcântara (2004), os eventos extremos de precipitação, seca e enchentes estão com uma frequência elevada e contínua, indicando risco de deslizamentos de terras e erosão, visto também a topografia característica de Florianópolis.

É de grande importância incentivar e investir no avanço de estudos de monitoramento e conhecimento do comportamento hidrológico das bacias, a fim de oferecer estratégias mais pertinentes em medidas mitigatórias de enchentes, enxurradas e alagamentos em áreas de risco.

Um fator fundamental para determinar o comportamento da bacia é o tempo de concentração (T_c), que é o tempo necessário para a água atravessar a bacia desde o ponto mais distante até o seu exutório, ou, também pode ser definido como o tempo de resposta de uma bacia a determinado evento de precipitação. Esse valor é essencial para qualquer estudo hidrológico, sendo assim, a confiabilidade de sua estimativa é fundamental para um melhor planejamento quanto aos estudos hidrográficos de uma determinada bacia.

O tempo de concentração pode ser aplicado para previsão de cheias e inundações, projetos de drenagem urbana, gerenciamento de bacias hidrográficas, definição de intervalo de monitoramento hidrológico e entre outros (PSCHEIDT, 2017).

A região da bacia do Rio do Meio (campus UFSC) localiza-se na porção centro-leste do município de Florianópolis, e é onde localiza-se a Universidade Federal de Santa Catarina. A presença da universidade contribuiu bastante com a urbanização do local. A bacia reconhecidamente sofre com frequentes eventos de inundações e alagamentos.

A bacia do Rio do Meio localiza-se em um ponto de grande importância econômica, social e estratégica no município de Florianópolis, e a definição de um tempo de concentração

confiável mostra-se essencial para a melhoria da gestão dos recursos hídricos na bacia, mas também pode contribuir para a análise de outras sub bacias semelhantes na capital. Logo, este presente trabalho visa estimar o tempo de concentração da bacia do Rio do Meio no exutório localizado no campus UFSC através da aplicação de métodos distintos disponíveis na literatura, pelo monitoramento hidrológico de uma seção do corpo d'água e por meio da celeridade da onda, além de comparar os resultados obtidos no presente trabalho com os estimados por Kobiyama (2006). Além da comparação dos resultados, este trabalho procura encontrar qual parâmetro se relaciona mais ao tempo de concentração através do método da correlação de Pearson. A partir da comparação entre os resultados calculados pelas equações e aqueles obtidos da análise dos eventos monitorados, pretende-se estimar o melhor método para aplicação nos estudos hidrológicos que envolvam a bacia do campus UFSC.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estimar o tempo de concentração da bacia do Rio do Meio (campus UFSC) através de equações empíricas e medições de campo para encontrar o método empírico que melhor ajusta os dados monitorados na bacia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar o tempo de concentração da bacia do Rio do Meio através do monitoramento hidrológico da bacia, por diferentes equações empíricas e pela celeridade da onda;
- Comparar os valores empíricos e observados com o intuito de encontrar o método que apresenta o melhor ajuste para estimativa do tempo de concentração (T_c);
- Definir o parâmetro que possui maior relação com o T_c através da correlação de Pearson;
- Comparar os resultados atuais com os realizados por Kobiyama (2006).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

A primeira definição de tempo de concentração surgiu em 1851, quando o engenheiro civil Thomas James Mulvany tentou relacionar os efeitos de um evento de precipitação sobre uma bacia hidrográfica através do método racional (BISWAS, 1970). Mulvany definiu o conceito de T_c como o tempo necessário para que a chuva que cai no ponto mais alto de uma bacia chegar até sua exutória, ou o tempo para que toda a área da bacia contribua para a geração de vazão.

Após o estudo de Mulvany, o conceito de tempo de concentração começou a ser cada vez mais pesquisado e aprimorado (KOBAYAMA e MOTA, 2014). De acordo com Mota (2012) é consenso entre técnicos e a comunidade científica a definição teórica sobre o T_c , entretanto sua aplicação prática através da obtenção de dados de chuva e vazão não é considerada muito precisa por depender de cada evento específico.

Todo projeto hidrológico necessita de uma definição precisa quanto ao valor do tempo de resposta da bacia em questão (MCCUEN et al., 1894), alguns autores utilizam o conceito de tempo de equilíbrio (T_e) como um sinônimo ao tempo de concentração (BUTLER, 1977).

O T_c é praticamente uma característica da resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica. Quando a chuva efetiva mantém-se constante em um período de tempo igual ou superior ao T_c , a vazão será na mesma taxa da chuva efetiva, até o fim do evento de precipitação. De acordo com Dingman (2002), as características físicas da bacia, como tamanho, forma, declividade, geologia, solo e outros são de suma importância na descrição do T_c . Silveira (2005) afirma que as aplicações nas quais o T_c é parâmetro de importância são muitos, como projetos de drenagem urbana, implementação de sistemas de alerta contra inundações, definição do intervalo de monitoramento hidrológico e entre outras aplicações.

3.1.1. Fórmulas empíricas

Existem muitas fórmulas empíricas para estimar o tempo de concentração das bacias hidrográficas, neste trabalho serão apresentados dez diferentes métodos empíricos de cálculo, propostos por diferentes autores, e que diferenciam-se por fatores que influenciam no cálculo.

As equações foram separadas em: fórmulas de T_c recomendadas para bacias urbanas (Kirpich, Carter, Schaake e Desbordes) a partir do estudo de Silveira (2004), fórmulas utilizadas no trabalho de Kobiyama et al. (2006) com a mesma bacia do Rio do Meio (Kirpich, Carter, Dooge, Federal Aviation Agency e McCuen), e fórmulas utilizadas em estudo de tempo de concentração de bacia geomorfologicamente semelhante à bacia do campus UFSC (Kirpich, Dooge, Onda Cinemática, Onda Cinemática Fractal e SCS Lag). Silveira (2005) avaliou uma maior dificuldade na estimativa do tempo de concentração para bacias urbanas em comparação com as fórmulas de bacias rurais.

3.1.1.1. Métodos recomendados para bacias urbanas

A primeira categoria de métodos foi baseada no estudo realizado por Silveira (2005) no qual são avaliadas as fórmulas para áreas urbanas que tiveram desempenhos mais precisos nos estudos conduzidos pelo autor.

a) Método de Kirpich

Em 1927, o engenheiro de drenagem Charles Ernest Ramser publicou sua pesquisa de dados de campo, que treze anos depois, serviriam como base para o trabalho de Kirpich (KOBİYAMA e MOTA, 2014). O monitoramento desenvolvido por Ramser (1927) tinha como objetivo determinar a taxa de escoamento de pequenas áreas agrícolas, logo, foi realizado monitoramento fluviométrico e pluviométrico de 6 bacias.

Além do monitoramento, Ramser (1927) também caracterizou a área, defendendo que as bacias possuem terreno acidentado, com alta declividade e porcentagem de cobertura vegetal variando entre 0 a 55,5%. A declividade varia entre 3 a 10%, comprimento do rio principal menor que 1,2 km (SILVEIRA, 2005) e as áreas são de no máximo 0,5 km² (TUCCI, 1993).

Através dos dados encontrados por Ramser, Kirpich (1940) apresentou resultados de tempo de concentração por meio de gráficos e por uma curva de regressão, logo, a fórmula não foi definida pelo mesmo de maneira explícita.

De acordo com Mota (2012) o autor introduziu através de um artigo em 1940 dados e figuras que detalham o ajuste do T_c com dois parâmetros: K1 e K2. Kirpich (1940)

diferenciou K1 e K2 pela declividade utilizada, enquanto K1 utiliza o valor de declividade do curso d'água, K2 faz uso da declividade média da bacia toda, ou seja, a altura média da bacia acima da cota da exutória dividida pela área da bacia.

O resultado das análises entre T_c e K2 não foi propagado na comunidade científica da mesma maneira que o resultado entre T_c e K1 foi, provavelmente pela dificuldade de definição do valor da altura média da bacia acima da cota da exutória (KOBAYAMA e MOTA, 2014), em razão disso, a equação que foi difundida na comunidade científica como fórmula de Kirpich é a que utiliza os valores de K1.

O estudo de Kirpich foi desenvolvido utilizando dados de 6 bacias hidrográficas pequenas com alta declividade em ambientes rurais e florestais (SILVEIRA, 2005), por isso, leva-se em conta que os resultados de T_c quando tal fórmula aplicada a bacias maiores é de tempos de concentração menores do que o real. Kibler (1982) recomenda que em casos da utilização da fórmula em bacias urbanizadas, é conveniente multiplicar o valor do tempo de concentração por 0,4 ou 0,2, respectivamente se o percurso do rio passar por áreas asfaltadas ou de concreto.

Apesar da equação de Kirpich ter sido baseada em estudos com bacias rurais, é comum encontrar projetos de engenharia utilizando da mesma em bacias urbanas (SILVEIRA, 2005) por apresentar resultados coerentes.

A fórmula de Kirpich utiliza de fatores físicos da bacia como parâmetro (SANTOS, 2016), a **Equação 01** é a que foi difundida na comunidade científica e sua versão que é frequentemente utilizada na ciência é descrita através da **Equação 02**:

$$T_c = 0,0078 * \left(\frac{L1}{\sqrt{S1}}\right)^{0,77} \quad \text{Eq. 01}$$

$$T_c = 3,989 * L2^{0,77} * S2^{-0,385} \quad \text{Eq. 02}$$

Onde,

T_c = tempo de concentração (min);

$L1$ = comprimento da bacia em linha reta da exutória até o divisor (km);

$S1$ = desnível entre a exutória e o divisor da bacia dividido pelo comprimento da bacia (m/m);

$L2$ = comprimento do talvegue (km);

S_2 = declividade do talvegue (m/m).

b) Método de Carter

Em 1961, Carter realizou um estudo do tempo de retardo baseando-se em cinco bacias hidrográficas na capital americana, Washington, DC. As bacias apresentavam canal principal com escoamento com condições naturais e altos índices de desenvolvimento urbano (PAULINO, 2014).

A fórmula desenvolvida é definida a seguir pela **Equação 03**:

$$Tr = 1,20 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0,6} \quad \text{Eq. 03}$$

Onde,

Tr = tempo de retardo (h);

L = comprimento do canal principal (milhas);

S = declividade do canal principal (pés/milhas).

McCuen; Wong; Rawls (1984) afirmam que a melhor aplicação da fórmula de Carter se dá para bacias com, no máximo, área de 21 km², e Silveira (2005) complementa que o comprimento do rio principal sugerido máximo é de 12 km e declividade média com máximo de 0,5%.

Entretanto, de acordo com o estudo de Silveira (2005), o método possui uma variação de erro de apenas 1% quando utilizado em bacias com áreas entre 0,02 e 10,70 km², e além disso, o método de Carter é considerado o mais eficaz para bacias urbanas.

A **Equação 04** descreve a adaptação e Silveira (2005) para o método de Carter:

$$Tc = 0,0977 * L^{0,6} * S^{-0,3} \quad \text{Eq. 04}$$

Onde,

Tc = tempo de concentração (h);

L = comprimento do canal principal (km);

S = declividade do canal principal (m/m).

c) Método de Schaake

O método proposto por Schaake (1967) foi determinado com base em dezenove bacias urbanas de drenagem localizadas em Baltimore, Maryland, EUA (Schaake; Geyer; Knapp, 1967).

Segundo Paulino (2014), o método de Schaake (1967) (**Equação 05**) é eficaz para bacias muito pequenas com declividade alta, e Silveira (2005) defende que o método em questão apresentou resultados coerentes com as magnitudes de áreas recomendadas, além de ser a equação mais precisa para bacias com áreas inferiores à 0,7 km².

As recomendações da fórmula sugeridas por Schaake (1967) são para bacias com declividade entre 0,5 e 6%, área e drenagem impermeável maior que 8% e comprimento do canal principal entre aproximadamente 46 e 1828 metros. Além disso, Paulino (2014) afirma que: “A fórmula de Schaake é recomendada para bacias totalmente urbanizadas e com sistema de microdrenagem bem definido: ruas, sarjetas, bocas de lobo.”

$$T_c = 0,8828 * L^{0,24} * S^{-0,16} * A_i^{-0,26} \quad \text{Eq. 05}$$

Onde,

T_c = tempo de concentração (h);

L = comprimento do canal principal (km);

S = declividade do canal principal (m/m);

A_i = fração de área impermeável (entre 0 e 1).

d) Método de Desbordes

Em 1974, Desbordes coletou dados de 21 bacias hidrográficas urbanas da França com áreas de até 51 km², declividade menor que 7% e comprimento do rio principal de até 18 km e agregou também em seu estudo os dados de oito bacias hidrográficas utilizadas no estudo de Schaake (DESBORDES, 1974).

Reunindo os resultados dessas 32 bacias urbanas que continham valores de área,

impermeabilização e tempos de retardo variáveis, Desbordes definiu os valores de T_c através da multiplicação do tempo de retardo por 1,417 (SILVEIRA, 2005).

Enfim, Desbordes descreve o cálculo do tempo de concentração através da **Equação 06**:

$$T_c = 0,0869 * A^{0,3039} * S^{-0,3832} * Ai^{-0,4523} \quad \text{Eq. 06}$$

Onde,

T_c = tempo de concentração (h);

A = área da bacia (km);

S = declividade do canal principal (m/m);

Ai = fração de área impermeável (entre 0 e 1).

O estudo de Silveira (2005) sugere que, apesar dos resultados pelo método de Desbordes serem coerentes, apresentaram erros consideravelmente elevados em comparação com os métodos de Carter e Schaake.

3.1.1.2. Métodos utilizados no estudo da bacia do Rio do Meio em 2006.

Os três métodos a seguir, juntamente com o método de Kirpich e o método de Carter, foram utilizados no estudo realizado por Kobiyama et al. (2006). As 5 diferentes fórmulas empíricas foram usadas para calcular o tempo de concentração da bacia do Rio do Meio.

e) Método de Dooge

Assim como o método de Kirpich, a equação estimada por Dooge (1956) também utiliza dos fatores físicos da bacia hidrográfica para calcular o T_c .

Segundo Mota (2014), em 1955 o cientista O'Kelly esquematizou a primeira versão da fórmula, utilizando 10 bacias hidrográficas em área rural na Irlanda com áreas variando entre 145 km² e 948 km². Assim, a partir da fórmula proposta por O'Kelly (1955), no ano seguinte Dooge fez sua dedução para estimar o tempo de concentração (**Equação 07**).

Porto (1995) defende que devido aos fatores das bacias onde os estudos de Dooge foram baseados, a fórmula deve aplicar-se com mais aderência em bacias com predominância

de escoamento por canais.

$$Tc = 0,3649 * A^{0,41} * S^{-0,17} \quad \text{Eq. 07}$$

Onde,

Tc = tempo de concentração (h);

A = área da bacia (km²);

S = declividade do canal principal (m/m).

f) Método de Federal Aviation Agency

Em 1970, com o intuito de desenvolver a drenagem de aeroportos dos Estados Unidos (FRANCO, 2004), a equipe da Federal Aviation Agency (FAA) utilizou-se da fórmula proposta por Kirpich para desenvolver seu próprio método empírico (**Equação 08**). Silveira (2005) sugere que:

Pode-se inferir que seu uso seria indicado em áreas de drenagem muito pequenas e com significativas taxas de impermeabilização. Isto explica sua possibilidade de extrapolação de uso para bacias urbanas, desde que não possuíssem áreas grandes, pois neste caso seria de se esperar uma tendência de subestimação do tempo de concentração pela desconsideração de efeitos de armazenamento.

O estudo de Silveira (2005) ainda propõe que os melhores resultados do método FAA foram em bacias urbanas muito pequenas.

$$Tc = 22,73 * (1,10 - C) * L^{0,50} * S^{-0,33} \quad \text{Eq. 08}$$

Onde,

Tc = tempo de concentração (min);

C = coeficiente do escoamento superficial;

L = comprimento do canal principal (km);

S = declividade do canal principal (m/m).

Nota-se que dos métodos utilizados no trabalho de Kobiyama, essa é a primeira que não apresenta somente parâmetros físicos.

g) Método de McCuen

O método proposto por McCuen (1984) utilizou uma base de dados de 48 bacias hidrográficas urbanas, com áreas variando de 0,4 a 16,0 km², declividade inferior a 4% e comprimento do canal principal inferior a 10 km (MOTA, 2012).

De acordo com o trabalho de Kobiyama et al. (2006), os resultados mais consistentes para o cálculo do tempo de concentração da bacia do Rio do Meio foram obtidos através do método de McCuen. Resultados que condizem com o estudo de Silveira (2005), que obteve os menores valores de erro para bacias urbanas, entretanto, o erro aumenta significativamente em bacias com área superior a 6,0 km², entrando assim em desacordo com a proposição teórica fundamentada por McCuen (1984).

O método de McCuen é apresentado na **Equação 09**:

$$T_c = 2,2535 * L^{0,5552} * S^{-0,2070} * i^{-0,7164} \quad \text{Eq. 09}$$

Onde,

T_c = tempo de concentração (h);

L = comprimento do canal principal (km);

S = declividade do canal principal (m/m);

i = intensidade da chuva com período de retorno de 2 anos (mm/h).

3.1.1.3. Métodos previamente utilizados em bacia urbana

Por fim, os métodos a seguir, da mesma forma que os métodos de Kirpich e Dooge, foram utilizados no estudo de Esteves (2003). Foram analisados cinco métodos empíricos para estimar o tempo de concentração de uma bacia urbana localizada em São Carlos, São Paulo.

h) Método da Onda Cinemática

De acordo com Franco (2004), esse método, adequado para bacias pequenas

(comprimento do rio principal menor que 0,03 km) com escoamento de superfícies predominantes, leva em conta a superfície de escoamento como canal de grande largura, considerando chuva constante e escoamento turbulento.

Esteves (2005, p.5) relata que:

A equação pelo método da onda cinemática foi deduzida a partir das equações de onda cinemática aplicada a superfícies, baseando-se na hipótese de precipitação constante igual ao tempo de concentração e na equação de resistência ao escoamento proposta por Manning. Essa equação é adequada para pequenas bacias onde o método racional pode ser aplicado e o efeito da superfície de escoamento é predominante.

Tucci (1993) apresenta a **Equação 10** como a formulação do tempo de concentração pelo método da onda cinemática.

$$Tc = 447 * (n * L)^{0,6} * S^{0,3} * I^{-0,4} \quad \text{Eq. 10}$$

Onde,

Tc = tempo de concentração (min);

n = rugosidade de Manning;

L = comprimento do canal principal (km);

S = declividade do canal principal (m/m);

I = intensidade da precipitação efetiva (mm/h).

i) Método da Onda Cinemática Fractal

O desenvolvimento da fórmula do Método da Onda Cinemática Fractal, segundo Aron et al. (1991), baseia-se na teoria da onda cinemática, no método racional, conceito de fractal e fatores e forma da bacia e do canal principal (MOTA, 2012). Primeiramente, para definir o fator de forma da bacia utilizou-se a **Equação 11** descrita a seguir:

$$k = L * A^{-3/5} \quad \text{Eq. 11}$$

Onde,

k = fator de forma da bacia (1/m²);

L = comprimento do canal principal (km);

A = área da bacia (km).

Com o resultado do fator de forma e utilizando de demais parâmetros geomorfológicos, Aron et al. (1991) apresentou a **Equação 12** para determinação do tempo de concentração.

$$T_c = 0,93 * \left(\frac{k^{5/12} * n^{3/4} * L^{7/12}}{C_f^{1/2} * I^{1/4} * S^{3/8}} \right) \quad \text{Eq. 12}$$

Onde,

T_c = tempo de concentração (h);

k = fator de forma da bacia (1/m²);

n = rugosidade de Manning;

L = comprimento do canal principal (km);

C_f = fator de forma do canal;

I = intensidade da chuva efetiva (mm/h);

S = declividade do canal principal (m/m).

De acordo com o estudo de Esteves (2005), a aplicação do Método da Onda Cinemática Fractal apresentou os melhores resultados em seu estudo, em comparação aos métodos de Kirpich, Dooge, Onda Cinemática e SCS Lag.

j) Método do SCS Lag

O método de SCS Lag foi baseado utilizando os dados de 24 bacias rurais dos Estados Unidos com áreas entre 0,005 a 55 km² (USDA,1973). De acordo com Folmar et al. (2007), o método SCS Lag foi criado a partir da necessidade de um parâmetro temporal para calcular o hidrograma de pico.

De acordo com Esteves (2005), a **Equação 13** descreve o Método do SCS Lag:

$$T_c = 3,42 * L^{0,8} * S^{-0,5} * \left(\frac{1000}{CN-9} \right)^{0,7} \quad \text{Eq. 13}$$

Onde,

T_c = tempo de concentração (min);

L = comprimento do canal principal (km);

S = declividade do canal principal (m/m);

CN = número da curva.

Uma síntese das características dos estudos que levaram à formulação dos 10 métodos de cálculo do tempo de concentração é apresentada na **Tabela 1**.

Tabela 1. Características dos estudos que originaram e das equações dos tempos de concentração selecionados para este estudo.

Equação	Número de bacias utilizadas para formular a equação	Estudos que originaram equação	Características das bacias dos estudos originais	Local dos estudos originais	Tipo
Kirpich	6	Ramser (1927), Kirpich (1940), Kibler (1982) e Porto (1995)	Cobertura vegetal de 0 a 55,5%, S entre 3 e 10%, $A \leq 0,5 \text{ km}^2$ e $L < 1,2 \text{ km}$	Estados Unidos	Rural
Carter	5	Carter (1961) e McCuen et. al (1984)	$A < 21 \text{ km}^2$, $S < 0,5 \%$, $L < 12 \text{ km}$	Estados Unidos	Urbana
Schaake	19	Schaake et. al (1967)	S entre 0,5 e 6%, L entre 0,046 e 1,828 km, $A_i > 8\%$ e $A < 0,700 \text{ km}^2$	Estados Unidos	Urbana
Desbordes	32	Schaake et. al (1967) e Desbordes (1974)	$A < 51 \text{ km}^2$, $S < 7\%$ e $L < 18 \text{ km}$	França	Urbana
Dooge	10	O'Kelly (1955) e Dooge (1956)	A entre 145 e 948 km^2 ,	Irlanda	Rural
Federal Aviation Agency	-	Kirpich (1940) e FAA (1970)	-	Estados Unidos	Rural/Urbana
McCuen	48	McCuen (1984)	A entre 0,4 e 16 km^2 , $S < 4\%$ e $L < 10 \text{ km}$	Estados Unidos	Urbana

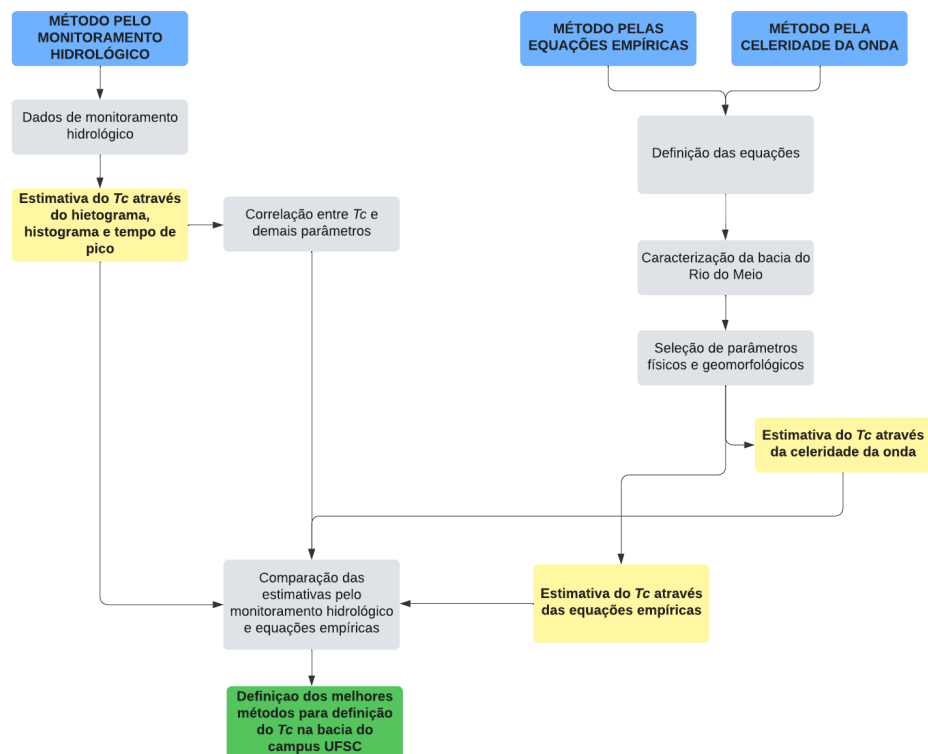
Onda Cinemática	-	Tucci (1993)	$L < 0,03 \text{ km}$	Estados Unidos	Rural/Úrbana
Onda Cinemática Fractal	-	Aron et. al (1991)	-	Estados Unidos	Rural/Úrbana
SCS Lag	24	McCuen (1982) e Tucci (1993)	A entre 0,005 a 55 km^2	Estados Unidos	Rural

Fonte: elaborado pelo autor.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O objetivo deste trabalho foi de avaliar o desempenho de equações empíricas para cálculo do tempo de concentração para a bacia do Rio do Meio em Florianópolis. As etapas e comparações utilizadas para o alcance deste objetivo são apresentadas no fluxograma metodológico da **Figura 1**.

Figura 1: Fluxograma metodológico do trabalho



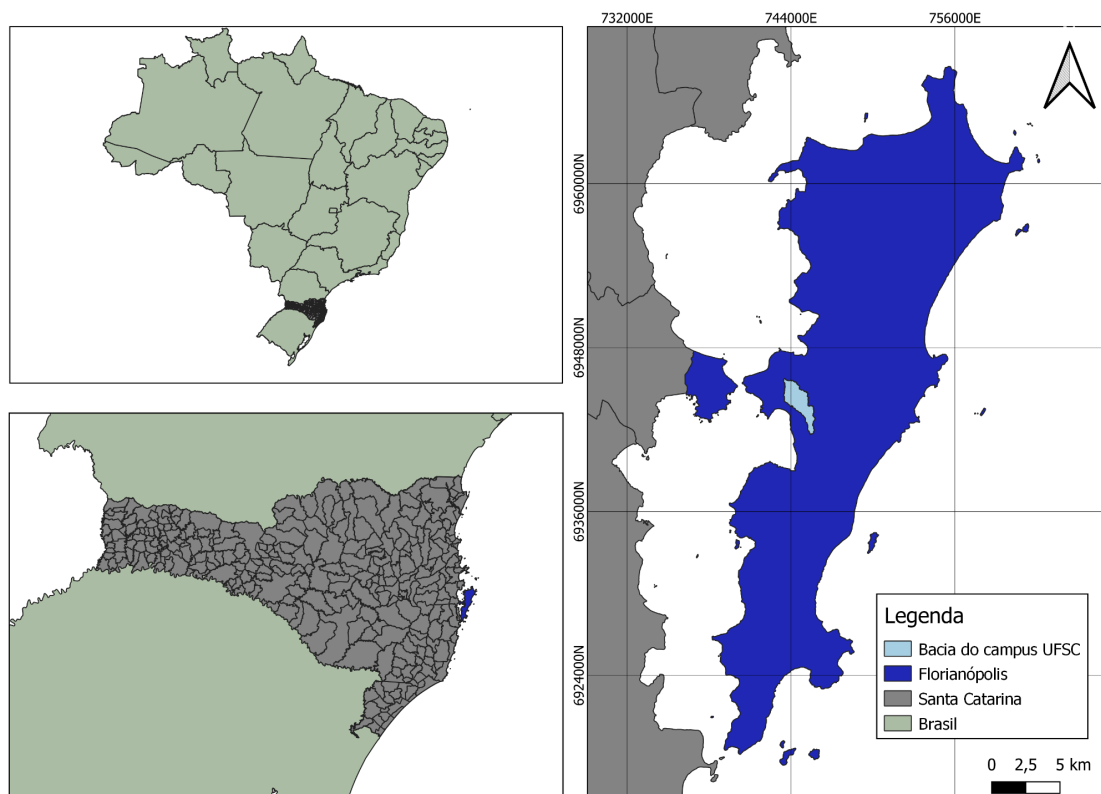
Fonte: elaborado pelo autor.

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica urbana do Rio do Meio fica localizada na cidade de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. A capital catarinense possui uma população estimada de 516.524 habitantes (IBGE, 2021). A bacia do Rio do Meio possui área igual a 4,087 km², seu rio principal é o rio do Meio, com 3,771 km de extensão e a declividade média é de 12,49%, valores encontrados no trabalho atual e que são explicados sua obtenção no capítulo 4.3.2.

De acordo com Mulungo (2012), a bacia é formada por 6 sub-bacias: bacia do rio do Meio, bacia do rio Serrinha, bacia do rio Pantanal, bacia do rio Cesar Seara, bacia do rio Eletrosul e bacia do rio Carvoeira. As chuvas da cidade são bem distribuídas ao longo do ano, assim como descreve Wu (2019). Andrade (1996) classifica a precipitação de Florianópolis anual como 1600 mm no norte da ilha e 1400 mm no sul da ilha, com média de 140 dias chuvosos ao longo do ano. A **Figura 2** apresenta a localização da bacia do Rio do Meio.

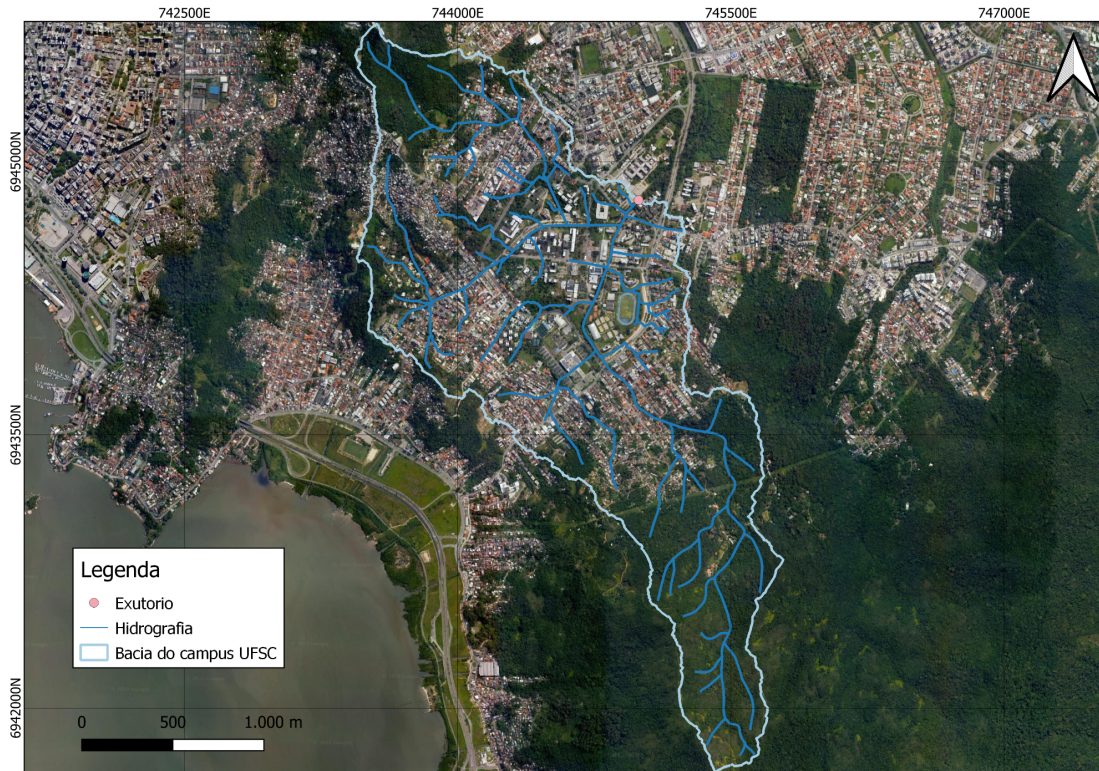
Figura 2: Mapa de localização da bacia do Rio do Meio



Fonte: elaborado pelo autor com dados de IBGE (2010) e CGA-UFSC (2021).

A hidrografia da bacia do Rio do Meio é apresentada na **Figura 3**. A hidrografia da bacia do campus UFSC foi solicitada ao Laboratório de Águas Pluviais Urbanas e Técnicas Compensatórias (LAUTEC, 2022), e o exutório da bacia foi definido pelo autor pelo software Qgis (próximo à estação fluviométrica da bacia do Rio do Meio).

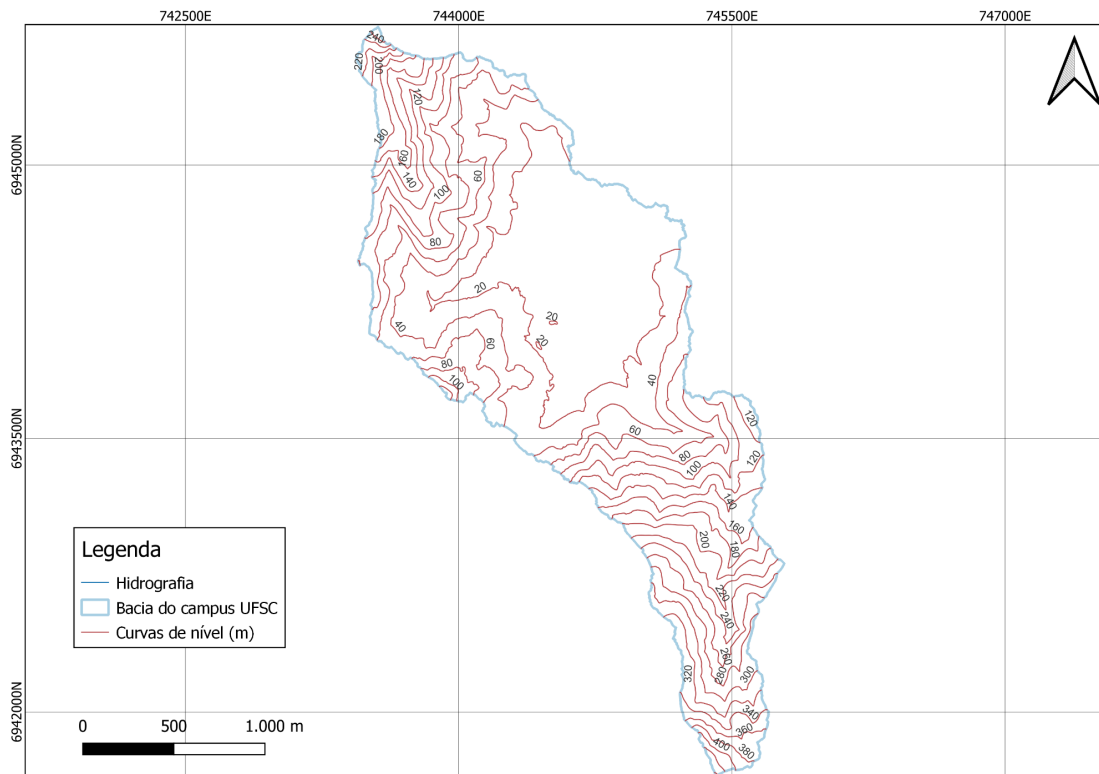
Figura 3: Hidrografia da bacia do Rio do Meio.



Fonte: elaborado pelo autor com dados de LAUTEC (2022).

A topografia da bacia do Rio do Meio, apresentada na **Figura 4**, foi obtida através do Geoportal da Prefeitura de Florianópolis (PMF, 2014). A topografia da bacia varia em regiões variando de 0 a 20 metros, principalmente na região central onde localiza-se o campus, até nas áreas mais afastadas com maior vegetação e declividade, próximo ao morro do Pantanal, chegando até 440 metros.

Figura 4: Topografia da bacia do Rio do Meio.

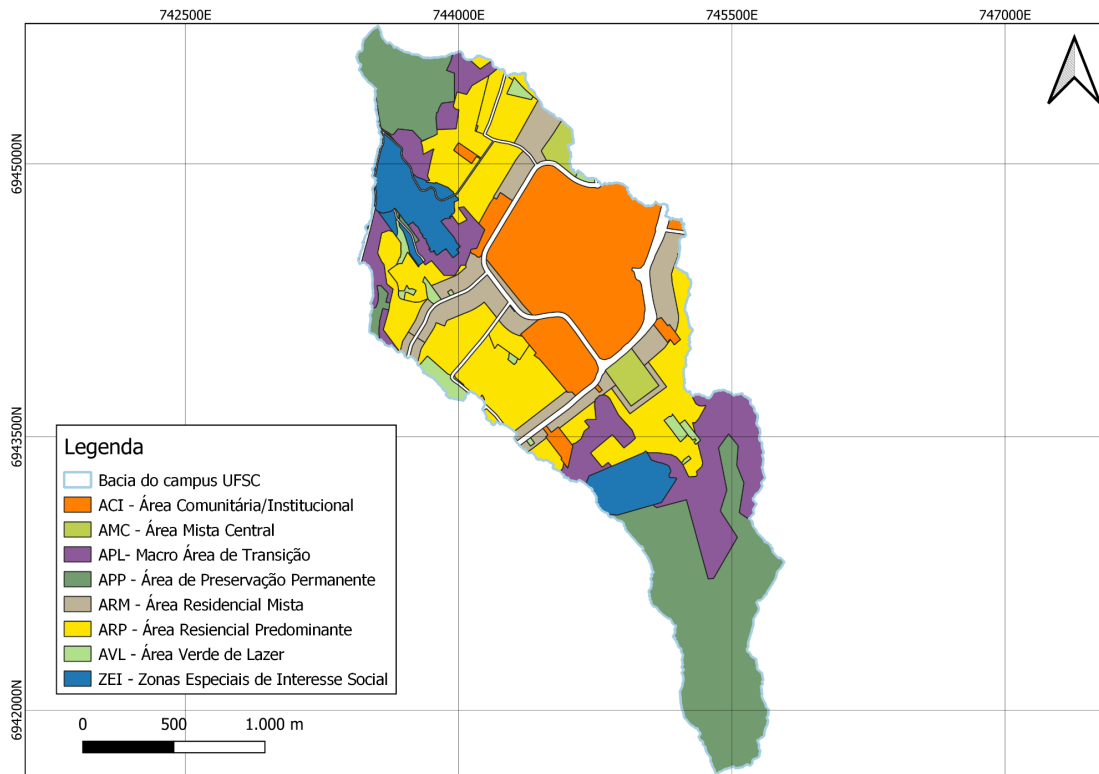


Fonte: elaborado pelo autor com dados da PMF (2014).

Já o zoneamento foi obtido pelo web site do Laboratório de Urbanismo da UFSC (LABURB, 2019). A **Figura 5** apresenta o mapa de zoneamento da bacia do Rio do Meio, onde é possível observar a predominância de áreas residenciais nos bairros vizinhos ao Campus, além de uma grande quantidade de edificações institucionais como: universidade, creches, polícia militar, escolas e entre outros (SANTANA, 2022).

É possível observar também, uma predominância de Área de Preservação Permanente (APP) na região mais ao sul, com maior declividade e maior vegetação da bacia.

Figura 5: Zoneamento da bacia do Rio do Meio.

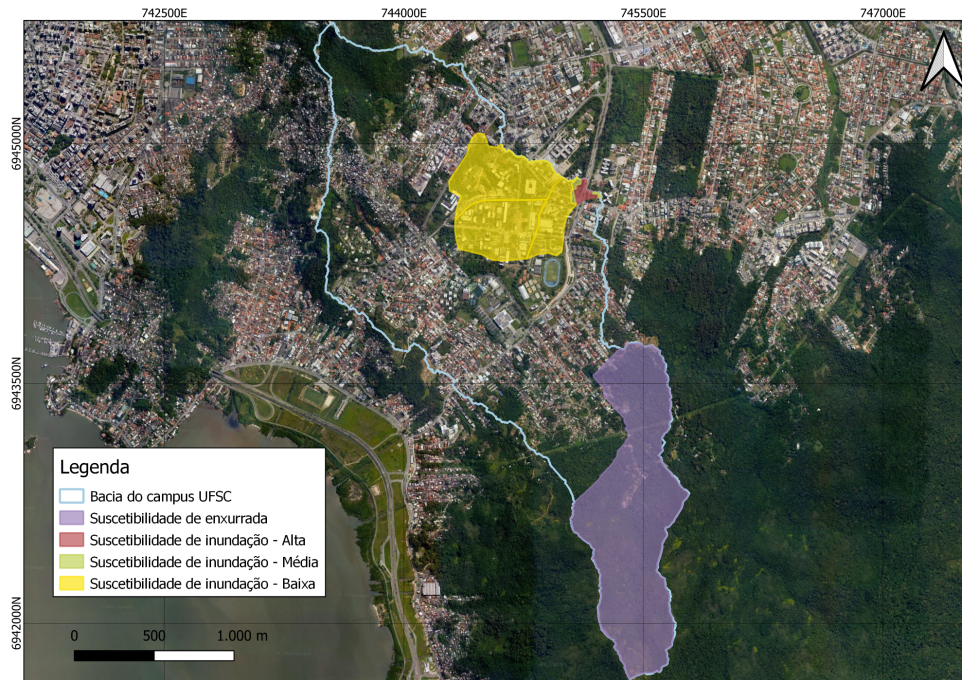


Fonte: elaborado pelo autor com dados de LABURB (2019).

Por fim, o website do Geoportal da Prefeitura de Florianópolis (PMF, 2014) disponibiliza os shapefiles de suscetibilidade à inundação e risco de enxurrada na bacia do Rio do Meio, como mostrado na **Figura 6**. Nota-se que a região suscetível a inundação atinge justamente áreas dentro do Rio do Meio, enquanto a região que corre risco de enxurrada é na parte superior e sul da bacia.

O mapa pode ser conservador em relação às áreas atingidas, pois a região da bacia do Rio do Meio é acometida por eventos de inundações e alagamentos com certa frequência (SANTANA, 2022). A **Figura 7** mostra os altos níveis observados no rio do Meio próximo ao exutório no dia 30 de novembro de 2022, onde eventos extremos foram registrados, enquanto a **Figura 8** apresenta o mesmo no dia 01 de dezembro de 2022 já com as vazões normalizadas. O relevo e ocupação desordenada da região fez com que a situação atual da região seja de constantes eventos de enchentes e transbordamentos (FLORIANÓPOLIS, 2009).

Figura 6: Suscetibilidade à inundação e enxurrada da bacia do Rio do Meio.



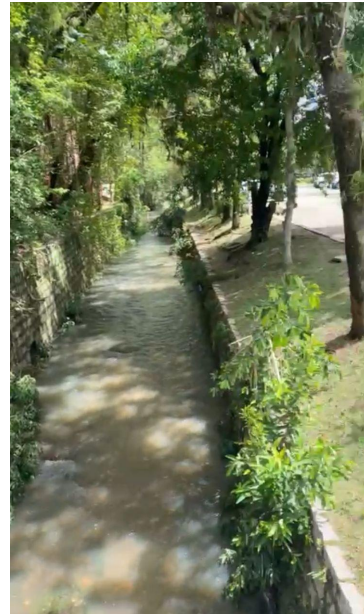
Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 7: Aspecto visual do Rio do Meio no dia 30/11/2022



Fonte: elaborado pelo autor.

Figura 8: Aspecto visual do Rio do Meio no dia 01/12/2022.



Fonte: elaborado pelo autor.

4.2. OBTENÇÃO DE DADOS

O monitoramento dos dados fluviométricos foi obtido a partir de um sensor de nível por pressão localizado próximo ao exutório da bacia do Rio do Meio. Os dados foram desenvolvidos pelo Núcleo de Estudos da Água (NEA) e estão disponíveis no banco de dados da Coordenadoria de Gestão Ambiental da UFSC (PRAD).

A série de dados abrange o período de 24 de fevereiro de 2017 a 15 de junho de 2018, com sensor de resposta de pulso de 5 em 5 minutos, que quando transformados em valores de nível podem descrever a vazão. A **Figura 9** mostra a estação fluviométrica:

Figura 9: Estação fluviométrica da bacia do Rio do Meio.



Fonte: elaborado pelo autor.

O monitoramento dos dados pluviométricos foi disponibilizado pelo Laboratório de

Hidrologia da UFSC (LABHIDRO) através do próprio site. A estação localizada próxima a Biblioteca Universitária da UFSC (BU) está em funcionamento desde 2014, e para o atual estudo, foram utilizados os dados do mesmo período da estação pluviométrica, que totaliza aproximadamente 1 ano e 4 meses de monitoramento.

Os dados também estão dados em resolução de 5 em 5 minutos, e a **Figura 10** apresenta a estação pluviométrica.

Figura 10: Estação pluviométrica da bacia do Rio do Meio.



Fonte: elaborado pelo autor.

Em seguida, foram definidos os eventos de precipitação para posterior estimativa do tempo de concentração. Para definição de começo e fim do evento, foi levado em conta o estudo do Groupe de Liaison Inter-Projets (2022), que define que:

O evento de precipitação é analisado de acordo com um período de tempo ΔT correspondente a base da dados em questão, entre 3 e 10 minutos. Quando a precipitação for superior a uma intensidade limite (I_{lim}) o começo do evento é identificado nesse momento.

O ΔT definido para esse trabalho foi de 15 minutos. Ou seja, o começo do evento é definido quando a precipitação apresentar aumento superior a I_{lim} (precipitação limite) num

período de 15 minutos. O valor de I_{lim} dos dados pluviométricos da estação é no valor de 0,2286 mm.

Já o fim do evento de precipitação, também definido por Groupe de Liaison Inter-Projets (2022), pode ser declarado quando o valor de I_{lim} não é mais extrapolado no ΔT definido, ou seja, num período de 15 minutos em que a precipitação não apresenta valores superiores a 0,2286 mm, ou no caso do estudo atual, valor igual a zero.

Atendendo às recomendações sugeridas, foram selecionados 9 eventos, que estão detalhados na **Tabela 2** a seguir, e foram denominados de 1 a 9 em ordem crescente de duração. A seleção dos eventos de chuva é feita em conjunto com os de vazão.

Tabela 2: Características dos eventos de precipitação selecionados.

Eventos	Data	Hora	Duração (min)	Duração (min)	Duração (h)	Precipitação total (mm)	Período seco (h)	Intensidade da chuva (mm/h)
1	28/02/2017	17:00	00:20	20	0,33	10,36	35:10:00	31,08
2	04/03/2017	16:45	00:40	40	0,67	27,1	95:20:00	40,65
3	02/10/2017	00:35	00:50	50	0,83	7,57	35:00:00	9,08
4	29/09/2017	06:30	01:45	105	1,75	7,62	05:20	4,35
5	06/10/2017	15:45	01:45	105	1,75	16,26	86:10:00	9,29
6	07/12/2017	16:30	02:10	130	2,17	23,83	09:20	11,00
7	16/11/2017	19:25	02:10	130	2,17	16,74	145:10:00	7,73
8	01/03/2018	21:05	02:35	155	2,58	22,71	21:40	8,79
9	19/02/2018	14:25	06:35	395	6,58	34,04	70:10:00	5,17

Fonte: elaborado pelo autor.

4.3. ESTIMATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

4.3.1. Estimativa pela análise do monitoramento hidrológico

Com os eventos de precipitação previamente selecionados e utilizando os dados de chuva e vazão, foi possível elaborar um hietograma e hidrograma dos eventos. Através dessas informações, o tempo de pico (T_p) de cada evento individual pode ser definido como o tempo

decorrido desde o aumento da vazão até o pico do hidrograma (ESTEVES, 2003).

Assim, com o T_p definido, o tempo de concentração pode ser calculado através da **Equação 14** a seguir (GRAY, 1970):

$$T_c = \left(\frac{T_p}{0,6}\right) \quad \text{Eq. 14}$$

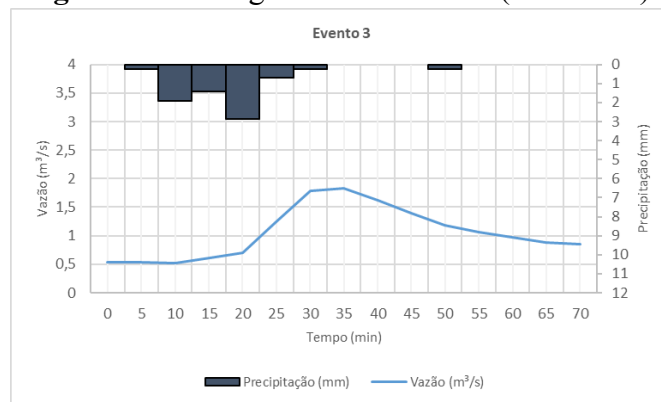
Onde,

T_c = tempo de concentração (min);

T_p = tempo de pico (min).

Com intuito de exemplificação, a **Figura 11** apresenta o hietograma e hidrograma do evento de precipitação 3 que ocorreu em 02 de outubro de 2017. Considerando as definições de começo e fim dos eventos de precipitação citadas anteriormente, o evento 3 inicia no minuto 5 e termina no minuto 55, tendo 50 minutos de duração. O tempo de pico acontece entre os minutos 20 e 35 do evento, ou seja, apresenta um valor de 15 minutos. Já o tempo de concentração do evento 3 utilizando a Equação 14 apresenta um valor de 25 minutos.

Figura 11: Hidrograma do Evento 3 (2/10/2017).



Fonte: elaborado pelo autor.

Para encontrar a correlação dos parâmetros para encontrar o que mais se relaciona com o T_c , utilizou-se do Coeficiente de Correlação de Pearson, que mede a relação de variáveis assumindo valores entre -1 e 1, onde:

- “-1” indica correlação negativa perfeita entre duas variáveis, ou seja, quando uma aumenta, a outra diminui;
- “0” indica que as variáveis não dependem uma da outra;

- “1” indica correlação perfeita entre duas variáveis, ou seja, quando uma aumenta, a outra aumenta.

A interpretação dos valores foi definida assim como Pscheidt (2017) como:

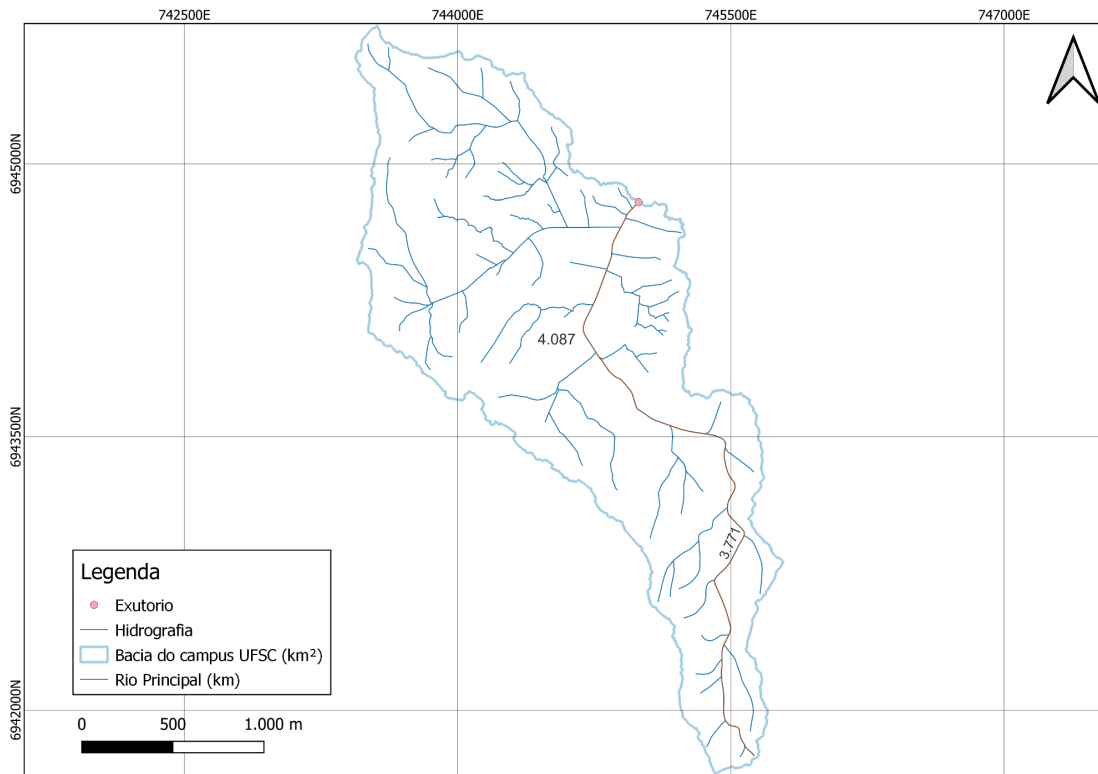
- 0 a 0,3 = correlação desprezível;
- 0,3 a 0,5 = correlação fraca;
- 0,5 a 0,7 = correlação moderada;
- 0,7 a 0,9 = correlação forte;
- 0,9 a 1,0 = correlação muito forte.

4.3.2. Estimativa pelos métodos empíricos

Para aplicação das equações empíricas é necessário determinar os parâmetros característicos da bacia como área, comprimento do rio principal e declividade, os parâmetros relativos à ocupação da bacia e seu uso do solo, os parâmetros relativos à chuva e os parâmetros relativos ao curso d'água.

Os parâmetros físicos da bacia foram obtidos a partir do banco de dados fornecido pela CGA (2022) que disponibiliza os cursos d'água da bacia (**Figura 12**) e os softwares Qgis e ArcGis. O comprimento do canal principal (L) foi calculado em km igual a 3,771 e a área da bacia em km² encontrada foi igual a 4,087.

Figura 12: Hidrografia da bacia do Rio do Meio (campus UFSC).



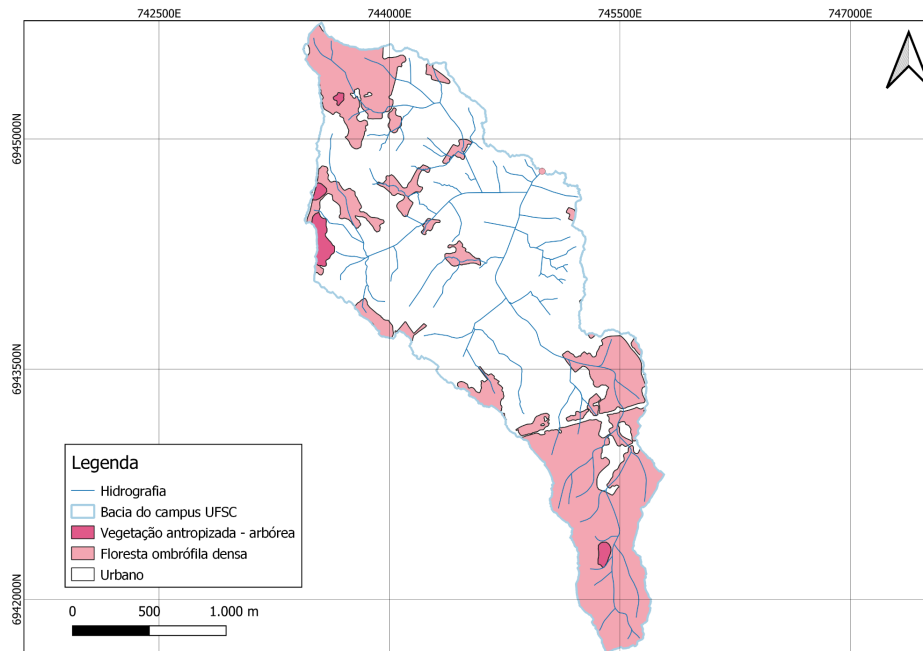
Fonte: elaborado pelo autor.

O cálculo da declividade levou em consideração o trabalho de Gava e Finotti (2012) que considera que o rio do Meio pode ser dividido em dois segmentos com declividade média diferentes. O trecho superior mais íngreme, com declividade de 0,154 m/m e que representa 78,39% da extensão do rio principal, e um trecho inferior com baixa declividade de 0,013 m/m que representa 20,61%. Assim, realizando uma média ponderada, foi encontrado um valor de declividade do canal principal $S = 0,125$ m/m.

Em seguida, para definir a área impermeável da bacia (A_i) utilizou-se o conceito de A_i como 60% da área urbana, relação que foi adotada seguindo o plano diretor do município de Florianópolis que estabelece uma impermeabilização limite de 70% para áreas urbanas, como explica Santana (2022). Usando de base o shape de áreas de vegetação fornecido pela prefeitura de Florianópolis, um mapa de uso do solo foi elaborado (**Figura 13**). As áreas foram obtidas a partir deste mapa, e através do Qgis foi calculada a relação de área urbana e área com vegetação (**Tabela 3**). Com o valor da área urbana, podemos então encontrar o valor

de área impermeável A_i , que corresponde a 60% da área urbana de 64,421%, o que resulta num valor de 38,65% ou de 0,386.

Figura 13: Vegetação da bacia do campus UFSC.



Fonte: elaborado pelo autor com dados de (PMF, 2014).

Tabela 3: Uso do solo da bacia do campus UFSC.

Uso do solo	Área (km ²)	Área (%)
Vegetação	1,454	35,58%
Urbano	2,633	64,42%

Fonte: elaborado pelo autor.

Para cálculo do número de curva (CN), foram utilizados os valores calibrados através do software PCSWMM encontrados por Wu (2019) para cada sub-bacia da bacia do campus UFSC. Na **Tabela 4**, A (km²) é a área de cada sub-bacia encontrados por Wu (2019) e A% a sua porcentagem em relação a área total da bacia. O CN calibrado é o valor encontrado de CN para cada sub-bacia por (Wu, 2019). O valor obtido de CN calibrado da bacia do campus UFSC através da média ponderada foi igual a 87,10.

Tabela 4: Número de curva (CN) da bacia do campus UFSC.

Bacia	A (km ²)	A %	CN calibrado
Carvoeira	0,826	19,297	89,00
Cesar Seara	0,216	5,039	91,00
Eletrosul	0,577	13,487	90,00
Meio jusante	0,380	8,870	92,00
Meio montante	1,216	28,416	82,00
Pantanal	0,290	6,780	91,00
Serrinha	0,775	18,111	86,00
Campus UFSC	4,279	100,000	87,10

Fonte: elaborado pelo autor a partir de Wu (2019).

Para estimar o valor de coeficiente de escoamento superficial (C) foi utilizado o uso do solo da bacia (**Tabela 3**) e os valores da **Tabela 5** que apresenta os coeficientes de escoamento superficial reproduzido por Tomaz (2002) através do método SCS. Para a porção urbana, utilizou-se o valor de $C = 0,95$, enquanto para a porção vegetal usou-se $C = 0,05$. Assim, levando em conta as áreas e valores de C adotados, mostra-se na **Tabela 6**, o cálculo do coeficiente C ponderado pela área que fica com um valor de $C = 0,63$ para um tempo de retorno de 10 anos.

Tabela 5: Valores do coeficiente de escoamento superficial.

Zonas	Valor de C
Edificação muito densa: partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas.	0,70 a 0,95
Edificação não muito densa: partes adjacentes ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 a 0,70
Edificações com poucas superfícies livres: partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas.	0,50 a 0,60
Edificações com muitas superfícies livres: partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25 a 0,50

Subúrbios com alguma habitação: partes de arrabaldes e suburbanos com pequena densidade de construção.	0,10 a 0,25
Matas, parques e campos de esportes: partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esportes sem pavimentação.	0,05 a 0,20

Fonte: Tomaz (2002).

Tabela 6: Valores do coeficiente de escoamento superficial para a bacia do campus UFSC.

Parâmetro	Porção urbana	Porção vegetal	Total
Área (%)	64,42%	35,58%	100,00%
Área (km ²)	2,633	1,454	4,087
C	0,95	0,05	0,63

Fonte: elaborado pelo autor.

De acordo com Porto (1995), o valor de C calculado pela média ponderada é válido para tempo de retorno de 10 anos. Então, para adaptar o valor a diferentes tempos de retorno, foi utilizada a **Equação 15** (PORTO, 1995) que define diferentes coeficientes de escoamento superficial de acordo com respectivos tempos de retorno. Os valores de C para outros períodos de retorno (5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos) são mostrados na **Tabela 7**. Para posterior utilização nos cálculos, o valor de coeficiente de escoamento superficial necessário é o que possui tempo de retorno de 20 anos, ou seja, $C = 0,68$.

$$C = 0,8 * Tr^{0,1} * C10 \quad \text{Eq. 15}$$

Onde,

C = coeficiente de escoamento superficial;

Tr = tempo de retorno (anos);

$C10$ = coeficiente de escoamento superficial para tempo de retorno de 10 anos.

Tabela 7: Valores do coeficiente de escoamento superficial para a bacia do campus UFSC com diferentes tempos de retorno.

Tr (anos)	C
5	0,59
10	0,63
15	0,66
20	0,68
25	0,70
50	0,75
100	0,80

Fonte: elaborado pelo autor.

Para determinar o valor de intensidade de chuva máxima, foi utilizada a equação de chuvas de Florianópolis ajustada por Festi (2006) (**Equação 16**) da estação meteorológica de São José.

$$i = \frac{145 * Tr^{0,25}}{(t+1)^{0,34}} \quad \text{Eq. 16}$$

Onde,

i = intensidade da chuva (mm/h)

Tr = tempo de retorno (anos);

t = duração da chuva (min);

a, b, c, d = parâmetros ajustáveis de acordo com a localidade.

A chuva a ser usada para o cálculo de Tc , de acordo com Paulino (2019), deve ter a duração maior ou igual ao tempo de concentração, e de acordo com Kobiyama (2006), o tempo de concentração da bacia do campus UFSC varia entre 30 e 35 minutos. Logo, foi utilizado t = duração de chuva como 45 minutos e tempo de retorno = 2 anos, para então encontrar um valor de $i = 46,91$ mm/h.

Quanto aos parâmetros relativo ao curso d'água, para determinar o valor de n = rugosidade de Manning, foi calculada uma média ponderada da área urbana e vegetal com os

valores de coeficiente de Manning propostos por Porto (2003) de acordo com a natureza da parede, apresentados na **Tabela 8**. Utilizou-se para a área urbana $n = 0,033$ (canais abertos em rocha, lisos e uniformes com condições regulares) e para a área vegetal $n = 0,040$ (arroios e rios com meandros, bancos e poços poucos profundos, limpos, com vegetação e pedras com condições regulares). Assim, através da média ponderada apresentada na **Tabela 9**, foi possível encontrar um valor de rugosidade de Manning de 0,035 para a bacia do campus UFSC.

Tabela 8 : Coeficientes de Manning de acordo com a natureza das paredes.

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 empedra- dos.....	0,028	0,030	0,033	0,035
ARROIOS E RIOS				
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 pro- fundos, 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 espraiadas, pouca vegetação...	0,050	0,060	0,070	0,080
8. Com margens espraiadas, muita vegetação...	0,075	0,100	0,125	0,150

* Valores aconselhados para projetos.

Fonte: Porto (2006).

Tabela 9: Coeficientes de Manning da bacia do campus UFSC.

Uso do solo	Área (km ²)	Rugosidade de manning
Urbano	2,633	0,033
Vegetal	1,454	0,040
Total	4,087	0,035

Fonte: elaborado pelo autor.

O cálculo do fator de forma da bacia (k), de acordo com Esteves (2003), pode ser simplificado como uma relação entre a área da bacia e o comprimento do rio principal, como foi apresentado na **Equação 11**. Assim, o valor de k encontrado foi de $1,62 \text{ l/m}^3$. E finalmente quanto ao fator de forma do canal C_f , de acordo com Toscano (2018), a bacia do campus UFSC apresenta um valor menor que 0,2 para este parâmetro. Logo, foi adotado o valor de 0,2.

4.3.3. Estimativa pela celeridade da onda

A estimativa do tempo de concentração através da celeridade da onda dá-se através da **Equação 17** (TUCCI, 1993):

$$C_o = 1,67 * \left(\frac{S_o^{0,3} * Q_o^{0,4}}{n^{0,6} * B^{0,4}} \right) \quad \text{Eq. 17}$$

Onde,

C_o = celeridade da onda (m/s);

S_o = declividade do canal principal (m/m);

Q_o = vazão (m^3/s)

n = rugosidade de Manning;

B = largura (m).

A partir do monitoramento hidrológico da vazão do Rio do Meio, que computou dados entre fevereiro de 2017 a junho de 2018, foi utilizado três valores de vazão diferentes, sendo o primeiro a vazão média ($Q_{\text{méd}}$) entre fev/2017 a set/2018, com valor de $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$, o segundo que usou a $Q_{\text{méd}}$ de $0,54 \text{ m}^3/\text{s}$ entre set/2018 a fev/2018, e por fim, a $Q_{\text{méd}}$ também igual a $0,54 \text{ m}^3/\text{s}$ entre fev/2018 a jun/2018. Importante pontuar que a separação foi realizada dividindo todos os 109.770 dados obtidos, tendo 36.590 dados em cada uma das divisões. Os níveis da bacia do rio do Meio estavam consideravelmente abaixo no primeiro semestre de 2017, como mostra a primeira divisão de valores de vazão. A média de todos os dados de vazão obtidos é de $0,48 \text{ m}^3/\text{s}$.

Já a largura varia entre 5 e 7 metros (SANTANA, 2022), e Santana (2019) utilizou um valor de largura de 6,00 metros, logo o $B = 6,00$ metros.

Descobrimo a celeridade da onda, pode-se estimar o tempo de concentração através da **Equação 18**:

$$T_c = \left(\frac{L}{C_o} \right) \quad \text{Eq. 18}$$

Onde,

T_c = tempo de concentração (s);

L = comprimento do canal principal (m);

C_o = celeridade da onda (m/s).

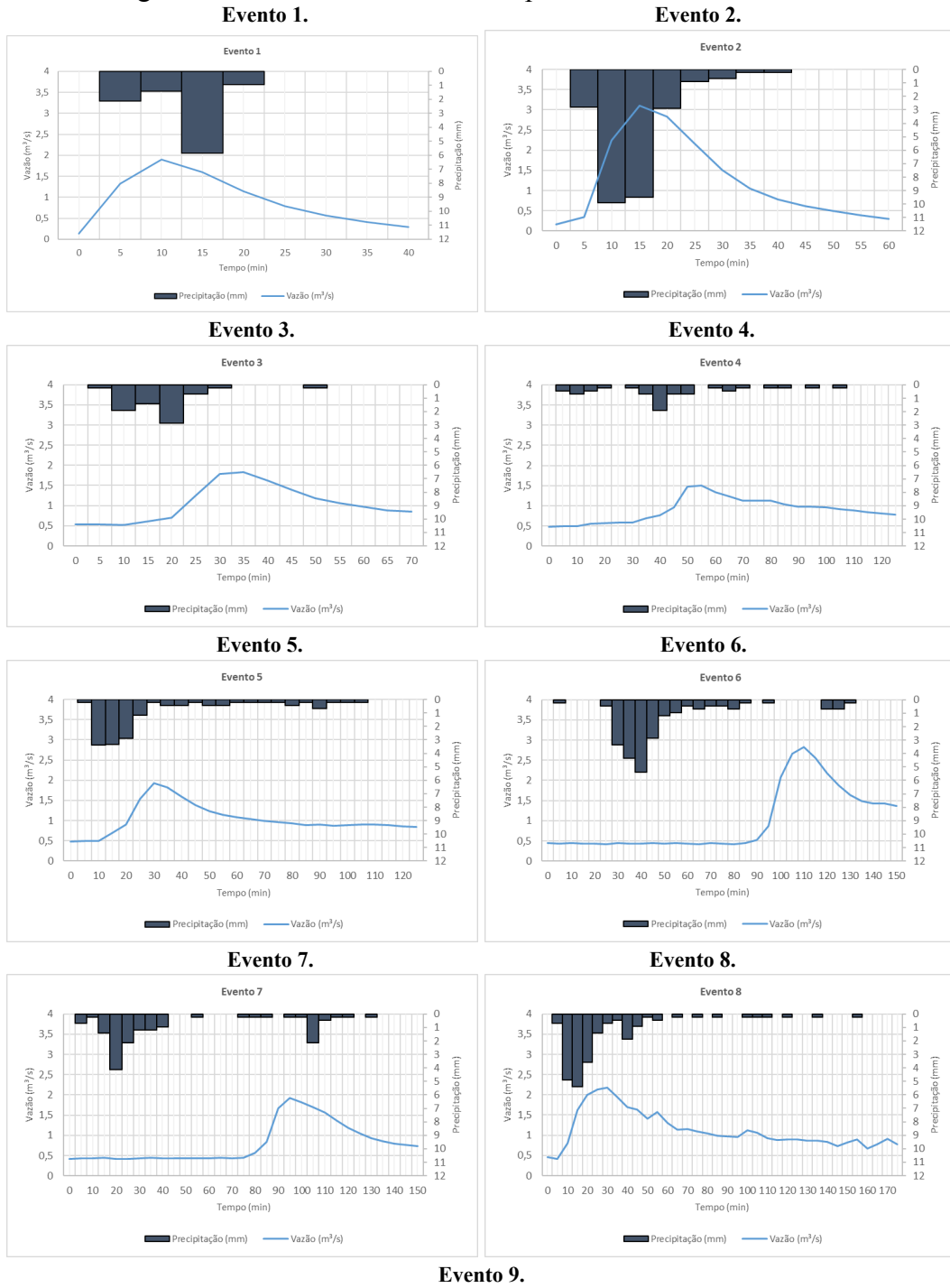
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. ESTIMATIVA PELA ANÁLISE DO MONITORAMENTO HIDROLÓGICO

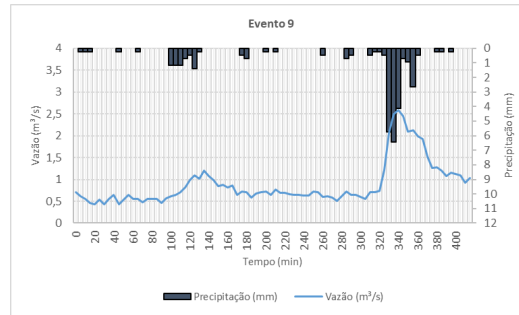
A partir dos eventos de precipitação selecionados anteriormente, foram elaborados os hietogramas e hidrogramas dos eventos, visando identificar o tempo de pico, e consequentemente, o tempo de concentração.

Os hietogramas e hidrogramas são apresentados na **Figura 14**. Os tempos de pico e de concentração são apresentados na **Tabela 10**. Retomando que foram calculados de acordo com a Equação 14, apresentada previamente.

Figura 14. Hidrogramas dos eventos selecionados para estudo do T_c na bacia do Rio do Meio.



Evento 9.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 10: Tempo de pico e de concentração dos eventos selecionados.

Evento	Tempo de pico (min)	Tempo de concentração (min)
1	10,0	16,7
2	10,0	16,7
3	15,0	25,0
4	20,0	33,3
5	20,0	33,3
6	20,0	33,3
7	20,0	33,3
8	20,0	33,3
9	20,0	33,3
Média	20,0	28,7
Desvio Padrão	4,4	7,4

Fonte: elaborado pelo autor.

O tempo de concentração médio observado pela análise do monitoramento hidrológico foi de 28,7 minutos com desvio padrão de 7,4. Com o intuito de identificar uma correlação entre os parâmetros dos eventos e os tempos de concentração estimados, a **Tabela 11** reintroduz as características dos eventos selecionados, e apresenta sequencialmente: evento, data, hora, duração (min), precipitação total (mm), intensidade média de precipitação (mm/min), tempo de concentração (min), vazão média (m³/s), precipitação máxima (em mm), vazão máxima (m³/s) e período antecedente seco (h).

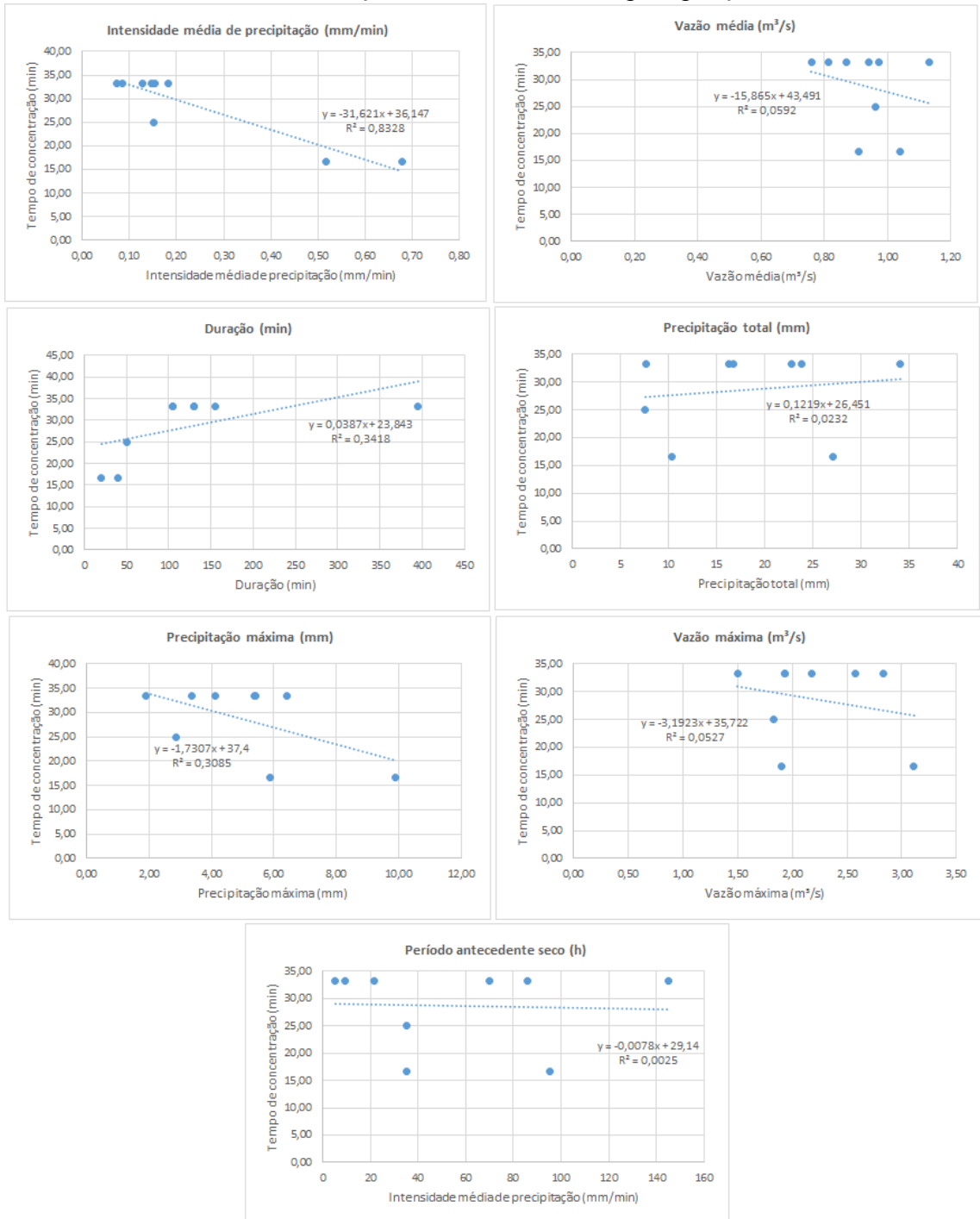
Tabela 11: Características dos eventos selecionados.

Eventos	Data	Hora	Duração (min)	Precipitação total (mm)	Intensidade média de precipitação (mm/min)	Tempo de concentração (min)	Vazão média (m ³ /s)	Precipitação máxima (mm)	Vazão máxima (m ³ /s)	Período antecedente seco (h)
1	28/02/2017	17:00	20	10,36	0,52	16,7	0,91	5,87	1,90	35,16
2	04/03/2017	16:45	40	27,1	0,68	16,7	1,04	9,88	3,11	95,33
3	02/10/2017	00:35	50	7,57	0,15	25,0	0,96	2,87	1,83	35,00
4	29/09/2017	06:30	105	7,62	0,07	33,3	0,81	1,91	1,50	5,33
5	06/10/2017	15:45	105	16,26	0,15	33,3	0,97	3,38	1,93	86,16
6	07/12/2017	16:30	130	23,83	0,18	33,3	0,94	5,41	2,83	9,33
7	16/11/2017	19:25	130	16,74	0,13	33,3	0,76	4,11	1,93	145,16
8	01/03/2018	21:05	155	22,71	0,15	33,3	1,13	5,38	2,18	21,66
9	19/02/2018	14:25	395	34,04	0,09	33,3	0,87	6,43	2,58	70,16

Fonte: elaborado pelo autor.

A correlação de Pearson foi estimada no Microsoft Excel, que através da linha de tendência, ele indica o R^2 = coeficiente de determinação. Calculando a raiz quadrada do mesmo, é possível encontrar o R = coeficiente de correlação. A **Figura 15** apresenta visualmente a relação dos parâmetros abordados de intensidade média de precipitação, vazão média, duração do evento, precipitação total, precipitação máxima, vazão máxima e período seco antecedente com suas respectivas linhas de tendência, equações e coeficientes de determinação. Essas métricas são sintetizadas na **Tabela 12**.

Figura 15 Correlações entre o tempo de concentração e a intensidade, chuva total, vazão média e duração do evento média de precipitação.



Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 12: Coeficientes de correlação dos parâmetros com o tempo de concentração.

Coeficiente	Intensidade média de precipitação	Duração	Precipitação total	Precipitação máxima	Vazão máxima	Vazão média	Período antecedente seco
Coeficiente de determinação R^2	83,28%	34,18%	2,32%	30,85%	5,27%	5,92%	0,25%
Coeficiente de correlação R	0,91	0,58	0,15	0,56	0,24	0,23	0,05

Fonte: elaborado pelo autor.

Avaliando os resultados obtidos, pode-se afirmar que:

- Precipitação total, vazão máxima, vazão média e período antecedente seco apresentam correlação desprezível;
- Duração e precipitação máxima apresentam correlação moderada;
- Intensidade média de precipitação apresenta correlação muito forte.

Os resultados apontam que a intensidade média de precipitação (mm/min) é o parâmetro que mais apresentou correlação, seguido pela duração e depois pela precipitação máxima. Pscheidt (2017) encontrou: relação forte entre tempo de concentração e duração, a qual quanto maior a duração, maior o T_c , e relação forte entre intensidade da chuva e precipitação máxima, porém, a medida que estes parâmetros crescem, o T_c diminui.

Devido a quantidade de dados ser apenas nove (número de eventos), os resultados podem ser considerados não tão conclusivos, visto que para confirmação de uma correlação, uma quantidade elevada de dados para entrada traria mais credibilidade aos resultados.

5.2. ESTIMATIVA PELOS MÉTODOS EMPÍRICOS

Os métodos empíricos apresentados anteriormente e os resultados obtidos de T_c são sintetizados e apresentados na **Tabela 13**. A média do T_c foi de 52,5 minutos com desvio padrão de 49,8.

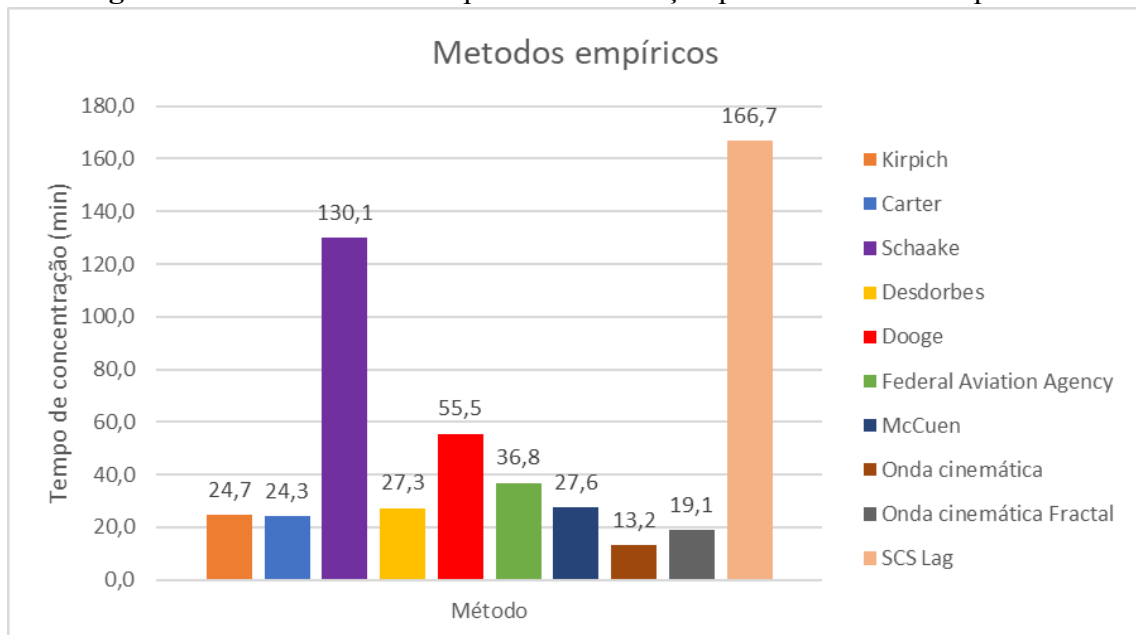
Tabela 13: Resumo dos métodos empíricos.

Método	Fórmula	Fonte	Tempo de concentração (min)
Kirpich	Equação 02: $Tc = 3,989 * L2^{0,77} * S2^{-0,385}$	Kirpich (1940)	24,7
Carter	Equação 04: $Tc = 0,0977 * L^{0,6} * S^{-0,3}$	Carter (1961)	24,3
Schaake	Equação 05: $Tc = 0,8828 * L^{0,24} * S^{-0,16} * Ai^{-0,26}$	Schaake (1967)	130,1
Desbordes	Equação 06: $Tc = 0,0869 * A^{0,3039} * S^{-0,3832} * Ai^{-0,4523}$	Desbordes (1974)	27,3
Dooge	Equação 07: $Tc = 0,3649 * A^{0,41} * S^{-0,17}$	Porto (1995)	55,5
Federal Aviation Agency	Equação 08: $Tc = 22,73 * (1,10 - C) * L^{0,50} * S^{-0,33}$	Federal Aviation Agency (1970)	36,8
McCuen	Equação 09: $Tc = 2,2535 * L^{0,5552} * S^{-0,2070} * i^{-0,7164}$	McCuen et al. (1984)	27,6
Onda cinemática	Equação 10: $Tc = 447 * (n * L)^{0,6} * S^{0,3} * I^{-0,4}$	Tucci (1993)	13,20
Onda cinemática Fractal	Equação 12: $Tc = 0,93 * \left(\frac{k^{5/12} * n^{3/4} * L^{7/12}}{Cf^{1/2} * I^{1/4} * S^{3/8}} \right)$	Aron (1991)	19,1
SCS Lag	Equação 13: $Tc = 3,42 * L^{0,8} * S^{-0,5} * \left(\frac{1000}{CN-9} \right)^{0,7}$	Tucci (1993)	166,7
Média			52,5
Desvio Padrão			49,8

Fonte: elaborado pelo autor.

Os valores encontrados para os métodos de Schaake (130,1 min) e SCS Lag (166,7 min) são muito maiores em comparação com as demais equações, conforme é possível observar no **Figura 16**, logo, esses métodos serão desconsiderados nas discussões apresentadas a seguir.

Figura 16: Resultados de tempo de concentração para os métodos empíricos.



Fonte: elaborado pelo autor.

Desconsiderando os métodos de Schaake e SCS Lag, obtemos um tempo de concentração médio de 28,6 minutos, com desvio padrão de 12,9, erro de 45,0%. Nota-se que o valor encontrado aproxima-se bastante do resultado encontrado pelas observações hidrológicas de $T_c = 28,7$ min.

O método de Kirpich, um dos métodos mais conhecidos, apresentou um valor de 24,7 minutos, com desvio padrão de 2,8, diferença de 4,0 minutos e erro absoluto de 13,9% do tempo de concentração médio através do monitoramento hidrológico.

Já o método de Carter, que utiliza os mesmos parâmetros que o de Kirpich, foi o mais recomendado para bacias urbanas no estudo de Silveira (2005). O resultado obtido neste estudo foi de 24,3 minutos, com desvio padrão de 3,1, diferença de 4,4 minutos e erro absoluto de 15,3%.

Considerando que os métodos utilizam apenas os parâmetros físicos de comprimento do rio principal e declividade média, podem-se considerar equações com resultados adequados.

O método de Schaake por sua vez, como comentado anteriormente, apresentou um tempo de concentração de 130,1 minutos com um erro absoluto bastante expressivo, que ultrapassa o 100% quando considerada a média de tempo de concentração de todos os métodos, com valor de 52,5 minutos. Tal valor exorbitante pode ser considerado devido às limitações para eficácia da fórmula, e como pode-se perceber na **Tabela 14**, a bacia do campus UFSC adequa-se a somente uma das recomendações, que é a de área impermeável maior que 8%.

Tabela 14: Recomendações de uso do método de Kirpich em comparação com a bacia do Campus UFSC.

Parâmetro	Bacia do campus UFSC	Recomendações do método de Schaake
L (km)	3,771	0,460 a 1,828 km
S (%)	12,49%	0,50 a 6,00%
Ai (%)	38,60%	Ai > 8,00 %
A (km ²)	4,087	A < 0,700 km ²

Fonte: elaborado pelo autor.

O método de Desbordes utiliza tanto fatores físicos da bacia, como área e declividade média, quanto parâmetros geomorfológicos, como a fração de área impermeável. O resultado obtido de T_c foi igual a 27,3 minutos, desvio padrão de 1,0, diferença de 1,4 minutos e erro absoluto de 4,9%. Foi o segundo método que mais se aproximou do T_c médio obtido através do monitoramento hidrológico.

Em seguida, o método de Dooge também apresentou valores considerados relativamente elevados em consideração aos demais. O T_c apresentou um valor de 55,5 minutos, desvio padrão de 19,0, diferença de 26,8 minutos e erro absoluto de 93,4%. O método de Dooge considera apenas os fatores físicos de área da bacia e declividade média, e o seu valor elevado pode ser atribuído ao fato do estudo ter sido realizado em bacias rurais com áreas muito mais elevadas das do estudo atual, entre 145 e 948 km².

O método da Federal Aviation Agency depende do fator geomorfológico coeficiente de escoamento superficial, além dos parâmetros físicos de comprimento do rio principal e declividade média. O tempo de concentração apresentou o resultado de 36,8 minutos, desvio padrão de 5,7, diferença de 8,1 minutos e erro absoluto de 28,2%.

Já o método de McCuen apresentou um resultado bem satisfatório, sendo o método que mais se aproximou do T_c hidrológico. É importante ressaltar que o método depende do valor de intensidade de chuva, que de acordo com o autor do método, é o valor mais importante para determinação do tempo de concentração (MOTA, 2012). O resultado de tempo de concentração foi de 27,6 minutos, desvio padrão de 0,8, diferença de 1,1 minutos e erro absoluto de 3,8%.

O método da onda cinemática, por sua vez, apresentou um valor consideravelmente baixo em relação ao T_c hidrológico, diferente dos métodos de Schaake, SCS Lag e Dooge que, em contrapartida, extrapolaram o mesmo. Tal método utiliza os fatores físicos de comprimento do rio principal e declividade, já os fatores geomorfológicos em questão são o coeficiente de Manning e a intensidade da chuva.

Diferente do método de McCuen, onde i é dado através da IDF de Florianópolis, aqui a duração de chuva é equivalente a o tempo de concentração calculado em Kirpich. O valor atribuído de i foi igual a 57,19 mm/h. Assim, um processo iterativo acontece, onde descobre-se um valor de tempo de concentração através da fórmula igual a 14,2 minutos.

Então, agora, utilizando o 14,2 no lugar da duração, o novo valor de i é de 68,35 mm/h, e o valor do tempo de concentração, finalmente, é de 13,2 minutos, com desvio padrão de 11,0, diferença de 15,6 minutos e erro absoluto de 54,0%. Esse valor baixo pode ser por conta das limitações da fórmula, que são recomendadas para bacias muito pequenas (L menor que 0,03 km), com escoamento de superfícies predominantes, escoamentos com canais de grande largura, chuva constante e escoamento turbulento.

O método da onda cinemática fractal é um método considerado promissor por ser o que mais utiliza parâmetros físicos e geomorfológicos em sua fórmula, sendo os físicos: comprimento do rio principal, área da bacia, fator de forma da bacia e fator de forma do canal, e os geomorfológicos: rugosidade de manning e intensidade da chuva. O T_c encontrado foi de 19,1 minutos, desvio padrão de 6,8, diferença de 9,6 minutos e erro absoluto de 33,5%.

E por fim, o método que apresentou os valores mais superestimados, foi o de SCS

Lag, com tempo de concentração de 166,7 minutos, desvio padrão de 97,6, diferença de 138,0 minutos e erro absoluto com mais de 480% . Não foi necessário realizar o fator de ajuste proposto por SCS, pois o mesmo apresentou uma diferença desprezível em relação ao resultado de 0,5 minutos. Esse é o único método do trabalho que utiliza o curve number, e a utilização de valores diferentes também apresentou resultados que extrapolam demasiadamente a média, como mostrado na **Tabela 15**.

Uma possibilidade para explicar o valor elevado é o fato do estudo ter sido realizado estritamente em bacias rurais, e o método é mais efetivo em bacias com áreas menores e declividades elevadas.

Tabela 15: Resultados de tempo de concentração utilizando a fórmula de SCS Lag com diferentes valores de CN.

Curve Number	Tempo de concentração (min)
87,1	166,7
95,0	155,8
75,0	187,6
65,0	210,4

Fonte: elaborado pelo autor.

Dos métodos recomendados para bacias urbanas segundo Silveira (2005), apenas o método de Schaake não apresentou resultados satisfatórios. Já das equações empíricas previamente utilizadas na bacia do campus UFSC através do estudo de Kobiyama (2006), todos os métodos adequam-se ao modelo. Por fim, das fórmulas sugeridas no estudo do tempo de concentração realizado por Esteves (2003), o método que não se adequou foi o SCS Lag.

5.3. ESTIMATIVA PELA CELERIDADE DA ONDA

A estimativa pela celeridade da onda contrasta o tempo de concentração com a velocidade média na seção. Nota-se que a celeridade (C_o) aumenta com vazões mais elevadas, e assim, conseqüentemente apresenta tempos de concentrações mais baixos. A **Tabela 16** a seguir apresenta os valores de celeridade da onda e tempo de concentração para as três medições de vazão definidas.

Tabela 16: Cálculo da celeridade da onda e do tempo de concentração de acordo com a vazão.

Medição	Qo (m ³ /s)	B (m)	So (m/m)	n	Co (m/s)	Tc (s)	Tc (min)
1	0,36	6,00	0,1249	0,035	2,15	1752,03	29,2
2	0,54	6,00	0,1249	0,035	2,53	1489,72	24,8
3	0,54	6,00	0,1249	0,035	2,53	1489,72	24,8
Média							26,3

Fonte: elaborado pelo autor.

Os tempos de concentração estimados foram de 29,2, 24,8 e 24,8 minutos, e a média dos três é igual a 26,3 minutos com desvio padrão 2,5 e erro de 9,6%. O valor encontrado aproxima-se ao valor médio de T_c definido pelos métodos empíricos de 28,6 minutos, e pelo encontrado através do monitoramento hidrológico de 28,7 minutos. Os desvios padrões entre o método da celeridade da onda e os métodos empírico e hidrológico são, respectivamente, 1,6 e 1,2, e os erros de 9,2 e 8,8. A **Tabela 17** a seguir apresenta o resumo dos três métodos aplicados no estudo.

Tabela 17: Resumo do tempo de concentração para os três diferentes métodos.

Tabela resumo			
Parâmetro	Método hidrológico	Método empírico (desconsiderando Dooge e SCS)	Método da celeridade da onda
Tempo de concentração (min)	28,7	28,6	26,3

Fonte: elaborado pelo autor.

5.4. COMPARAÇÃO DAS ESTIMATIVAS ENTRE O MÉTODO HIDROLÓGICO E OS MÉTODOS EMPÍRICOS

A estimativa do tempo de concentração pelo monitoramento hidrológico apresentou um resultado de 28,7 minutos com desvio padrão de 7,4, já através dos métodos empíricos, o tempo de concentração encontrado foi de 28,6 minutos com desvio padrão de 12,9.

A **Tabela 18** reintroduz os resultados obtidos pelo monitoramento hidrológico, e a **Tabela 19** apresenta os resultados dos métodos empíricos com a diferença em minutos e porcentagem da média dos resultados obtidos pelo hietograma e hidrograma.

Tabela 18: Tempo de concentração através do monitoramento hidrológico.

Evento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média	Desvio Padrão
Tempo de concentração (min)	16,7	16,7	25,0	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	33,3	28,7	7,4

Fonte: elaborado pelo autor.

Tabela 19: Tempo de concentração através dos métodos empíricos.

Método	Kirpich	Carter	Desbordes	Dooge	Federal Aviation Agency	McCuen	Onda cinemática	Onda cinemática Fractal	Média
Tempo de concentração (min)	24,7	24,3	27,3	55,5	36,8	27,6	13,2	19,1	28,6
Diferença (min)	-4,0	-4,4	-1,4	26,8	8,1	-1,1	-15,5	-9,6	-0,1
Diferença (%)	-13,9	-15,3	-4,9	93,4	28,2	-3,8	-54,0	-33,5	-0,4

Fonte: elaborado pelo autor.

A média do tempo de concentração pela estimativa através dos métodos empíricos apresentou uma diferença de 0,1 minutos ou 0,4% do valor encontrado no monitoramento hidrológico. Apesar do esperado ser o valor pelas equações teóricas apresentar valores menores de tempo de concentração em relação aos valores observados, no trabalho atual a diferença é mínima. O resultado adquirido é considerado satisfatório por possuir um erro baixo considerando outros estudos de tempos de concentração, como no estudo de Pscheidt

(2017) que apresentou um desvio padrão em torno de 65% pelos métodos empíricos.

Dentre as fórmulas utilizadas para análise no presente estudo, a fórmula de McCuen foi a que apresentou menor diferença da média do monitoramento hidrológico, sendo 1,1 minutos ou 3,8%.

Assim como no trabalho de Kobiyama (2006), a fórmula de McCuen foi a mais consistente no cálculo do tempo de concentração, resultados que condizem com o estudo de Silveira (2005), onde a fórmula obteve os menores valores de erro para bacias urbanas. Esse método, juntamente com o da onda cinemática e da onda cinemática fractal, utiliza a intensidade da chuva em sua formulação, fator que mostrou-se expressivo no monitoramento hidrológico onde apresenta correlação forte. Logo, conclui-se a importância na determinação da intensidade da chuva para estimar o tempo de concentração.

Já os métodos de Desbordes, Kirpich e Carter foram os que mais se aproximaram do valor de 28,7 minutos dentre os demais métodos, depois do método de McCuen, com diferença de 4,9%, 13,9% e 15,3% respectivamente. Os três métodos estão enquadrados nas fórmulas recomendadas por Silveira (2005). A equação de Desbordes usa na sua formulação a fração da área impermeável além dos parâmetros físicos da área da bacia e declividade média. Os métodos de Kirpich e de Carter, assim como analisado no estudo de Kobiyama (2006), apresentaram valores abaixo da média e do observado. Essas equações utilizam apenas os fatores físicos da bacia para estimativa do tempo de concentração.

O método de Dooge foi o que mais aumentou o valor de tempo de concentração das equações analisadas, tendo uma diferença de 93,4%. Além de depender apenas dos fatores físicos da bacia, o estudo de Dooge foi realizado somente em bacias rurais e de áreas elevadas, variando entre 145 km² a 948 km², essas recomendações deixam a bacia do campus UFSC fora das recomendações da fórmula, o que pode explicar a discrepância do valor obtido. Já a equação da FAA utiliza o coeficiente de escoamento superficial em sua aplicação, além do comprimento do rio principal e declividade média, e apresentou uma diferença de 28,2%

A maior diferença negativa foi observada no método da Onda Cinemática com 54,0%. O valor baixo encontrado de tempo de concentração se dá pelas limitações da fórmula apresentadas anteriormente e pela superestimação da intensidade da chuva, que foi definida pelo método iterativo como 68,35 mm/h, um valor muito superior ao 46,91 mm/h utilizado no

método de McCuen. Se a intensidade da chuva usada na Onda Cinemática fosse utilizada em McCuen, o valor do tempo de concentração seria de 21,1 minutos, e se o contrário fosse aplicado, sendo 46,91 mm/h estimado na fórmula da Onda Cinemática, o valor do tempo de concentração seria 15,4 minutos. Outro fator que influencia bastante na fórmula da Onda Cinemática é o coeficiente de rugosidade de Manning, quanto mais urbano ou menor o coeficiente, menor o tempo de concentração.

O método da Onda Cinemática Fractal é o que mais considera parâmetros, sendo eles: comprimento do rio principal, área da bacia, declividade média, fator de forma da bacia, fator de forma do canal, rugosidade de Manning e intensidade da chuva. O tempo de concentração encontrado foi de 19,1 minutos com uma diferença de 33,5%. É importante ressaltar a importância do valor obtido neste método, pois de acordo com Esteves (2005), a equação considera a topologia dos canais e densidade de drenagem, dando uma maior aproximação dos valores com a realidade.

Uma outra abordagem dos resultados foi realizada, separando os métodos como: recomendados para bacias urbanas, utilizados na bacia do campus UFSC por Kobiyama e métodos previamente utilizados em outro estudo de bacia urbana.

5.4.1. Métodos recomendados para bacias urbanas

A **Tabela 20** a seguir apresenta os resultados e médias dos métodos recomendados para bacias urbanas por Silveira (2005) já desconsiderando o método de Schaake. A tabela apresenta a média encontrada levando em conta somente esses métodos, de 25,4 minutos com desvio padrão de 1,6 e diferença em porcentagem de 11,4% dos 28,7 minutos estimados através do monitoramento hidrológico. Os três métodos apresentaram valores inferiores ao 28,7 observado. É importante considerar que dentre as equações selecionadas, o único método que utiliza fatores geomorfológicos é o de Desbordes, o que pode explicar os valores baixos nos demais métodos.

Tabela 20: Resultados dos métodos recomendados para bacias urbanas.

Métodos recomendados para bacias urbanas	
Método	Tempo de concentração (min)
Kirpich	24,6
Carter	24,2
Desbordes	27,3
Média	25,4
Desvio Padrão	2,3
Diferença (%)	-11,4

Fonte: elaborado pelo autor.

5.4.2. Métodos utilizados no estudo da bacia do Rio do Meio em 2006.

Em seguida, foram classificados os métodos de acordo com os que foram usados no estudo de Kobiyama (2006) na bacia do campus UFSC, conforme apresentado na **Tabela 21**. A média encontrada considerando apenas as equações apresentadas a seguir foi de 33,8 minutos, com desvio padrão de 3,6 e diferença de 17,7% dos 28,7 minutos obtidos pelo monitoramento hidrológico.

Tabela 21: Resultados dos métodos utilizados no estudo da bacia do campus UFSC em 2006.

Métodos utilizados no estudo da bacia do campus UFSC em 2006	
Método	Tempo de concentração (min)
Kirpich	24,7
Carter	24,3
Dooge	55,5
Federal Aviation Agency	36,8
McCuen	27,6
Média	33,8
Desvio Padrão	3,6
Diferença (%)	17,7

Fonte: elaborado pelo autor.

Novamente, a fórmula que considera fator geomorfológico foi a que mais se aproximou dos valores reais, sendo a equação de McCuen. Importante ressaltar que o tempo de concentração obtido por Kobiyama (2006) pelo método hidrológico foi igual a 33,8 minutos, já pelos métodos empíricos foi de 31,8 minutos. A seguir, a **Tabela 22** apresenta os valores estimados para os parâmetros em cada estudo.

Tabela 22: Comparação dos parâmetros utilizados nas equações nos estudos de 2006 e 2022.

Parâmetros	Estudo de 2006	Estudo de 2022
L (km)	3,550	3,771
A (km²)	4,078	4,087
S (m/m)	0,0927	0,1249
C	0,90	0,68
i (mm/h)	44,20	46,91

Fonte: adaptado de Kobiyama (2006) e elaborado pelo autor.

Nota-se que o comprimento do rio principal e a área da bacia encontrados no estudo atual foram maiores, isso se dá pela escolha do exutório da bacia no software Qgis, e pode apresentar mudanças mínimas. A declividade média de 2022 apresentou um valor também superior ao de 2006, e foi obtida através do estudo de Gava e Finotti (2012).

O coeficiente de escoamento superficial foi o valor que mais apresentou discrepância entre os estudos. No trabalho de Kobiyama (2006), o autor adotou o valor de 0,9 recomendado por Silveira (2005) para bacias urbanas. Já no estudo atual, o C foi determinado com base no uso de solo da bacia, apresentando valor de 0,68. O valor de 0,9 para C é considerado muito elevado, levando em conta que 35,58% da área é preenchida por cobertura vegetal. Tal diferença é bastante representativa, pois se o presente trabalho usasse o $C = 0,9$ na fórmula de FAA, o T_c seria de 17,5 minutos, resultado que difere-se consideravelmente dos 36,8 minutos encontrados.

E por fim, o valor de intensidade da chuva também teve um valor maior no estudo atual, utilizando a fórmula IDF de Florianópolis para um tempo de retorno de 2 anos. O i

definido por Kobiyama (2006) foi com base no maior valor registrado nos dados pluviométricos dos últimos dos anos (2004 a 2006) utilizados no estudo.

A seguir, a **Tabela 23** apresenta uma comparação dos resultados dos métodos empíricos obtidos por Kobiyama (2006) com os obtidos no presente trabalho.

Tabela 23: Comparação de resultados de tempo de concentração por métodos empíricos em 2006 e 2022 na bacia do campus UFSC.

Método	Resultados de 2006	Resultados de 2022
	Tempo de concentração (min)	
Kirpich	26,4	24,7
Carter	25,6	24,3
Dooge	58,3	55,5
Federal Aviation Agency	18,8	36,8
McCuen	29,6	27,6
Média	31,8	33,8

Fonte: adaptado de Kobiyama (2006) e elaborado pelo autor.

O método de Kirpich e Carter apresentaram valores menores por apresentar valor de declividade média maior, logo, o parâmetro é inversamente proporcional ao tempo de concentração. O comprimento do rio principal é diretamente proporcional, mas como a declividade média influencia mais a fórmula diretamente, os tempos de concentração acabaram diminuindo. No método de Dooge, S também é mais influente do que A , justificando assim um valor menor no estudo atual.

Já o método da FAA apresentou valores bastante diferentes, no estudo de 2006 apresentou um tempo de concentração de 18,8 minutos e no estudo atual o resultado obtido foi de 36,8 minutos. Essa diferença se dá justamente pela diferença do coeficiente C estimado em cada estudo, pois quanto maior o C , menor o T_c , e quanto menor o C , maior o T_c .

Enfim, o método de McCuen possui uma análise semelhante aos métodos de Kirpich, Carter e Dooge, apresentando um valor menor no trabalho atual do que no trabalho de 2006.

Essa resposta se dá pela intensidade da chuva, que é inversamente proporcional ao tempo de concentração.

5.4.3. Métodos previamente utilizados em bacia urbana.

Por fim, classificou-se os métodos como os mesmos utilizados no estudo de Esteves (2003) em bacia urbana conforme introduz a **Tabela 24**. O método de SCS Lag nesta análise já está descartado. O tempo de concentração médio por esses métodos foi de 28,1 minutos, com desvio padrão de 0,4 e diferença de 2,0% da média de 28,7 minutos observado no método hidrológico.

Tabela 24: Resultados dos métodos utilizados em estudo em bacia urbana.

Métodos utilizados em estudo em bacia urbana	
Método	Tempo de concentração (min)
Kirpich	24,7
Dooge	55,5
Onda cinemática	13,2
Onda cinemática fractal	19,1
Média	28,1
Desvio Padrão	18,9
Diferença (%)	-19,6

Fonte: elaborado pelo autor.

Os métodos da onda cinemática e da onda cinemática fractal utilizam mais de um fator geomorfológico para a estimativa. Esse ponto é bastante importante, principalmente no método da onda cinemática fractal, pois, no estudo de Esteves (2003) foi a fórmula que mais se aproximou dos dados hidrológicos do trabalho, diferente do trabalho atual. Porém, vale ressaltar que o valor encontrado de 19,1 minutos foi o que mais se aproximou dos tempos de concentração dos eventos 1 e 2, que foram os que apresentaram menor valor de T_c (16,7 minutos), menor duração (20 e 40 minutos) e maior intensidade média de chuva (0,52 e 0,68 mm/min). Então, pode-se concluir que eventos de forte intensidade e tempos curtos, a fórmula da onda cinemática fractal foi coerente.

6. CONCLUSÕES

A partir das análises das estimativas, pode-se concluir que o resultado por meio da análise dos hietogramas e hidrogramas do tempo de concentração foi de 28,7 minutos, e o parâmetro da intensidade média da chuva foi o que apresentou maior correlação com o tempo de concentração, sendo classificado como muito forte, porém, uma maior quantidade de eventos traria uma maior confiabilidade nos resultados de correlação.

Já a estimativa do tempo de concentração através dos métodos empíricos apresentou T_c médio de 28,6 minutos, enquanto o T_c médio através da celeridade da onda apresentou um valor de 26,3 minutos, ambos valores que aproximam-se consideravelmente do encontrado através do monitoramento hidrológico, principalmente o resultado dos métodos empíricos.

Comparando os resultados obtidos no método hidrológico e nos métodos empíricos, a média do tempo de concentração pela estimativa empírica apresentou uma diferença de 0,1 minuto ou 0,4% do observado no monitoramento, e a fórmula que mais se aproximou dos 28,7 minutos foi a de McCuen, apresentando valor de 27,6 minutos com erro de apenas 3,8%. Já as maiores diferenças encontradas foram nos métodos de Dooge (55,5 minutos) e da onda cinemática (13,2 minutos).

O T_c empírico encontrado por Kobiyama (2006) foi de 31,8 minutos, valor superior ao do presente estudo (28,6 minutos), e, um parâmetro que apresentou diferença significativa nos dois estudos foi o coeficiente de escoamento superficial, que resultou em estimativas bem distintas pelo método de FAA. Já dos valores de monitoramento hidrológico, o tempo de concentração médio encontrado no estudo de 2006 foi de $T_c = 33,8$ minutos, e no estudo atual $T_c = 28,7$ minutos, ambos valores que possuem uma certa aproximação, mas, sua diferença pode ser dada pela característica dos eventos analisados e pelo fato do monitoramento de Kobiyama (2006) possuir uma resolução de 1 em 1 minuto, diferente do presente trabalho que apresentou resolução de 5 em 5 minutos.

Uma observação importante foi a aproximação que a equação da onda cinemática fractal teve dos valores de tempo de concentração observados nos eventos 1 e 2, que apresentaram menor duração e maior intensidade média de chuva, por isso, pode-se concluir que a este método é eficaz na determinação de T_c quando aplicado a eventos fortes e curtos.

É importante levar em conta principalmente os resultados de monitoramento

hidrológico, por tratar-se de valores reais observados. Recomenda-se, enfim, a utilização empírica do método de McCuen e o método da onda cinemática fractal para eventos mais extremos.

Baseando-se no que foi evidenciado acima, os objetivos propostos no trabalho foram atendidos. As fórmulas sugeridas para cálculo e valores numéricos encontrados de tempo de concentração são de grande importância e poderão ser muito úteis em futuros projetos de drenagem urbana aplicados na área do Rio do Meio e possíveis implementações de sistemas de alerta de inundações visto o histórico da região.

Foi possível observar durante o andamento do trabalho que a medição hidrológica através da resolução de 5 em 5 minutos acabou limitando os resultados de T_c em apenas três resultados: 16,7, 25,0 e 33,3 minutos. Por essa razão, percebe-se a importância de, talvez em análises futuras, estimar o tempo de concentração através do monitoramento hidrológico com dados que apresentem resolução de 1 em 1 minuto, de tal forma que a estimativa possa mostrar-se mais eficaz na determinação correta do tempo de pico, para assim determinar também de forma mais precisa o tempo de concentração. Outra linha de pesquisa sugerida seria analisar eventos extremos como os ocorridos em novembro de 2022 na região, a fim de aprofundar o conhecimento do comportamento da bacia em tais casos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, S. F. **Estudo de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis**. 1996. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 1996. Acessado em: 16. nov. 2022.
- ARON, G.; BALL, J.E.; SMITH, T.A. **Fractal Concept Used in Time-of-Concentration Estimates**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 117, No. 5, Setembro/Outubro, 1991.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6024**: informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento escrito: apresentação. Rio de Janeiro, 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HUMANOS. **XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Curitiba. Acesso em: < ABRH, www.abrh.org.br>. 2003
- BEVEN, D.J. **A history of the concept of time of concentration**. Lancaster Environment Centre, Lancaster University, Lancaster, UK, 2020.
- BISWAS, A.K. **History of hydrology**. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1970.
- BUTLER, S.S. **Overland-flow travel time versus Reynolds number**. J. Hydrol., v.32, n.1-2, p. 175-182, 1977.
- CARTER, R.W. **Magnitude and frequency of floods in suburban areas**. USGS Professional Paper 424-B, p.9-11. 1961.
- CENTRO DE DIVULGAÇÃO CIENTÍFICO CULTURAL. **Bacias de São Carlos**. CDCC - Setor de Biologia. 2002.
- CUNGE, A. J. HOLLY, F. M. Jr. VERWEY, A. **Practical aspects of computational river hydraulics**. Boston: Pitman Adv. Publ. Program, 1980.
- DA SILVEIRA, A.L.L. **Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 10 n.1 Jan/Mar 2005, 5-23.

2005.

DESBORDES, M. **Réflexions sur les méthodes de calcul des réseaux urbains d'assainissement pluvial**. Thèse Docteur-Ingénieur, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, França. 1974.

DOS SANTOS, C.I. **Uma abordagem de sistemas lineares no processo chuva-vazão de uma sub-bacia do rio dos bugres**. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

DINGMAN, S.L. **Physical Hydrology**. Prentice Hall. New Jersey. 646p. 2002.

ESTEVES, R. L. **Estratégias Metodológicas da Bacia Escola para o Gerenciamento Ambiental da Drenagem Urbana**. PIBIC/CNPq-EESC/USP. Acesso em: <www.baciaescola.hpg.com.br>. 2003.

ESTEVES, R. L.; MEDIONDO, E. M. **Análise comparativa entre equações e observações do tempo de concentração em uma bacia urbana de São Carlos, SP**, in: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, artigo submetido, Curitiba – PR, 2003.

FEDERAL AVIATION AGENCY. **Dept of Trans. Advisory Circular on Airport Drainage**. FAA Washington (Rep. A/C 150-5320-5B). 1970.

FESTI, A.V. **Coletânea das equações de chuva do Brasil**. Acesso em 05/11/2022. Disponível em <https://abr.h.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/13d9cc04b7caac079904ef66fcb35e3_b43668dc3c5475341b32596fab9ac0b8.pdf> UFSCAR, 2006.

FLORIANÓPOLIS. **Plano Diretor de Urbanismo de Florianópolis**. Florianópolis: PMF, 2014.

FLORIANÓPOLIS. **Plano municipal integrado de saneamento básico: Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas**. Florianópolis: PMF, 2009.

FOLMAR, N.D.; MILLER, A.C.; WOODWARD, D.E. **History and development of the NRCS lag time equation**. J. Amer. Water Resour. Assoc. 2007.

FRANCO, E.J. **DIMENSIONAMENTO DE BACIAS DE DETENÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS COM BASE NO MÉTODO RACIONAL**. Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. 2004.

GERMANO, A. **Estimativa dos Parâmetros do Modelo IPH II para algumas bacias urbanas brasileiras**. UFRGS-ABRH, Porto Alegre-RS, 2001.

GRAY, D.M. **Handbook on the principles of hidrology**. Huntigton: Wat. Inf. Center, 1970.

GROUPE DE LIAISON INTER-PROJECTS: MATRIOCHKAS, MICROMEGAS, ROULÉPUR. **Guide méthodologique pour l'évaluation de performances des ouvrages de maîtrise à la source des eaux pluviales**. 2022.

HOEPFNER, A.C. **ESTUDO COMPARATIVO ENTRE VAZÕES DE PICO ESTIMADAS PELO MÉTODO RACIONAL E PELO MÉTODO DO SCS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BOM RETIRO EM JOINVILLE-SC**. Trabalho de Conclusão de Curso do curso de graduação de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico de 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **População estimada de 2021**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

KIBLER, D. F. **Urban Stormwater Hydrology**. American Geophysical Union, Washington DC, pp 87-135, U.S.A. 1982.

KIRPICH, Z. P. **Time of concentration of small agricultural watersheds**. Civil Engineering, v. 10, n. 6, p. 362, 1940.

KOBIYAMA, M. GRISON, F. FELIX, L.L.J. & SILVA, V.R. **ESTIMATIVA MORFOMÉTRICA E HIDROLÓGICA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO NA BACIA DO CAMPUS DA UFSC, FLORIANÓPOLIS-SC**. Acesso em: <www.labhidro.ufsc.br>. LABURB/UFSC. Disponível em: laburb.paginas.ufsc.br. Acesso em: 18. nov. 2022. 2006

MCCUEN, R.H. **A Guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1982.

MCCUEN, R.H.; WONG, S.L.; RAWLS, W.J. **Estimating Urban Time of Concentration**. Journal of Hydraulic Engineering, vol. 110, nº 7, ASCE. 1984.

MOTA, A.A; Kobiyama, M. **Reconsiderações sobre a Fórmula de Kirpich para o cálculo de tempo de concentração**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 2014.

MOTA, A.A. **Tempo de concentração em pequena bacia experimental**. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

MULUNGO, H.E. **ESTUDO DE INUNDAÇÃO NA BACIA DO CAMPUS DA UFSC, FLORIANÓPOLIS/SC**. 2012. 171 f. TCC (Graduação) Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina,

Florianópolis. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/100556/308806.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 16. nov. 2022. 2012.

O'KELLY, J.J. **The employment of unit-hydrographs to determine the flows of Irish arterial drainage channels**. Proc. Inst. Civ. Eng. (Irel.), 1955.

PAULINO, P.F. **Estudo sobre a sensibilidade dos parâmetros do método SCS na determinação de hidrogramas de cheia em bacias urbanas**. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. 2014.

PORTO, R.L.L. **Escoamento Superficial Direto**, Drenagem Urbana, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, vol. 5, Editora da Universidade, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 1995.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. 4. ed. São Carlos: EESC-USP, 2006. 519 p. 2006.

PSCHEIDT, J.C. **Análise do tempo de concentração da bacia do campus da UFSC Joinville**. Trabalho de Conclusão de Curso, Curso de Engenharia de Infraestrutura, Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, 2017.

RAMSER, C.E. **Runoff from small agricultural areas**. Jour. Agr. Research., v.34, n.9, 1927.

RIGHETTO, A. M. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. Edusp-EESC, São Carlos, SP, 1998.

RIGHETTO, J.M. BARROS, R.M. e MENDIONDO, E.M. **Avaliação da Seguridade e Percepção Pública Sobre Riscos de Enchentes em Várzeas Urbanizadas: o Caso do Micro-Centro da Cidade de São Carlos – SP**, in: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, artigo submetido, Curitiba – PR, 2003.

SANTANA, P. L. **Avaliação do Impacto da Urbanização Sobre o Regime Fluviométrico de Vazões na Bacia Hidrográfica do Rio do Meio - Florianópolis/SC**. Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. 2022.

SCHAAKE, J. C; GEYER, J. C; KNAPP, J. W. **Experimental Examination of the Rational Method**. Journal of Hydraulics Division. 1967.

SCOTTI, E. **Modelagem de escoamento superficial da bacia urbanizada do Rio do Meio em Florianópolis/SC utilizando o modelo MIKE URBAN+**. Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. 2022.

SILVA, A.; TERRA, V. S. S.; VIEGAS FILHO, J. S. (s.d). **DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BACIA MONTANTE DO ARROIO CHASQUEIRO**. Universidade Federal de Pelotas.

SILVA, K.A. (2003) **Análise da Variabilidade Espacial da Precipitação e Parâmetros Hidrológicos em uma Bacia Experimental: Estudo Teórico-Experimental da Transformação da Chuva em uma Pequena Bacia Hidrográfica Urbana**. Tese Doutor em Hidráulica e Saneamento, SHS-EESC-USP, São Carlos, 2003.

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.

TOSCANO, B. **Aplicação e análise dos dados de entrada no modelo matemático HEC-RAS para o mapeamento de áreas de inundação no campus Reitor João David Ferreira Lima (UFSC)**. Trabalho de conclusão de curso para graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.

TUCCI, C.E.M. **Gerenciamento da Drenagem Urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, ABRH, Porto Alegre, v/7, n.1, Jan./Mar.2002, p.5-28. 2002.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. Porto Alegre, Ed. da Universidade, ABRH, EDUSP, 1993.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Gabinete da Reitoria. Coordenadoria de Gestão Ambiental – CGA/GR. **Caracterização dos cursos da água da Bacia Hidrográfica do Rio do Meio (mapeamento e banco de dados)**. Edição 11/2021 – 4a revisão. Disponível em <https://gestaoambiental.ufsc.br/gestaodasaguas/cursosdaaguaemanejodeaguaspluviais/caracterizacaobaciariodomeio/>. Acesso em: 27 out. 2022. 2021.

USDA. NRCS, **National Engineering Handbook**. Part 630 Hydrology. Cap. 15: Time of Concentration, Washington, DC. 2010.

WU, F.K. **AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS E SEU IMPACTO NAS VAZÕES NA BACIA DO CAMPUS DA UFSC**. Trabalho de conclusão de curso submetido ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa. 2019.