

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

Eduardo Scotti

**Modelagem de escoamento superficial da bacia urbanizada do Rio do Meio em  
Florianópolis/SC utilizando o modelo MIKE URBAN+**

Florianópolis

2022

Eduardo Scotti

**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 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Patrícia Kazue Uda, Dr.<sup>a</sup>  
Coorientadora: Thays Mitsuko Tsuji, Ms.<sup>a</sup>

Florianópolis

2022

Scotti, Eduardo

Modelagem de escoamento superficial na bacia urbanizada do Rio do Meio em Florianópolis/SC utilizando o modelo Mike Urban+ / Eduardo Scotti ; orientadora, Patrícia Kazue Uda, coorientadora, Thays Mitsuko Tsuji, 2022.

74 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. modelagem hidrológica. 3. drenagem urbana. 4. Mike Urban. 5. escoamento superficial. I. Kazue Uda, Patrícia. II. Mitsuko Tsuji, Thays. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. IV. Título.

Eduardo Scotti

**Modelagem de escoamento superficial na bacia urbanizada do Rio do Meio em  
Florianópolis/SC utilizando o modelo MIKE URBAN+**

Este Trabalho de 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, 09 de setembro de 2022.

---

Prof. Maria Elisa Magri, Dr.<sup>a</sup>  
Coordenação do Curso

**Banca examinadora**

---

Prof.<sup>a</sup> Patrícia Kazue Uda, Dr.<sup>a</sup>  
Orientador(a)

---

Prof.<sup>a</sup> Alexandra Rodrigues Finotti, Dr.<sup>a</sup>  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Felipe Bier, Ms.  
HydroInfo

Florianópolis, 2022.

## AGRADECIMENTOS

Quando comecei a graduação, tudo parecia impensável, foram 6 anos de estudos, onde conheci muitas pessoas e, graças a elas, tudo passou de forma rápida e agradável. Devo agradecer as pessoas que estão comigo desde o início do curso: Larissa Walzburiech, Larissa Lis e Mônica Vitart, que sempre me deram suporte e me acompanharam juntas por todo o período.

Ao longo do curso, outras amizades foram sendo feitas e, entre elas, agradeço aos amigos que fiz em outros cursos, Luís, Pedro, Gustavo e Thiago, que mesmo sendo de outro curso, sempre estavam lá. Também as amizades adquiridas dentro do curso, David Niches e Edenilson Assunção, ambos estando ali participando dos trabalhos, principalmente durante as etapas finais. Ainda, não há como esquecer duas amigas que fiquei próximo ao longo dos semestres, Deborah Dotta e Taísa Salgueiro, duas pessoas sensacionais que me acompanharam durante esse período e me auxiliaram a encontrar minhas áreas de interesse dentro do leque de opções do curso.

Devo agradecer também a meus amigos Mathias e Matheus, ambos me acompanharam boa parte desses anos, principalmente nos momentos em que eu precisava distrair, além de sempre poder contar com a ajuda de ambos para o que der e vier.

Agradeço a meus pais e padrinhos, que me deram sempre apoio, desde a infância para me tornar quem eu sou hoje, agradeço por toda a educação e auxílio em todas as etapas até agora, espero poder retribuir de alguma forma a partir de agora, em especial a minha mãe que mesmo não estando mais presente na minha vida, sei que ela ainda me deu e continua dando forças para continuar em frente.

Agradeço também a Prof.<sup>a</sup> Patrícia e a Thays, orientadora e coorientadora deste trabalho por todo o auxílio nesses meses em que o trabalho foi sendo construído. Ambas me mostraram uma nova visão da área de drenagem, me proporcionando novos conhecimentos.

No mais, agradeço a todos os professores que acompanharam a mim durante toda a graduação e a UFSC por fornecer ensino de qualidade.

## RESUMO

O processo de urbanização que o Brasil passou após a década de 70 devido à limitação de espaço e as disputas por recursos naturais nas zonas rurais trouxe diversos problemas relacionados à drenagem urbana, já que a migração do campo para a cidade se deu de forma desordenada e sem planejamento, acarretando diversos problemas para os dias atuais. Nesse cenário entra a bacia urbanizada do Rio do Meio, a qual apresenta problemas relacionados a drenagem urbana da região, principalmente relacionados ao extravasamento da rede de drenagem em eventos de precipitação mais intensos. Dessa forma, o uso do software MIKE URBAN+ vem como objeto que permite avaliar o escoamento superficial que os eventos chuvas podem gerar, além de permitir prever cenários futuros e desenvolver soluções que mitiguem os danos gerados. A partir da análise dos eventos de precipitação disponíveis entre novembro de 2016 e agosto de 2018, em que se adotou um critério de classificação dos eventos baseado no Tempo Mínimo Inter-evento de 1h, foram selecionados sete eventos de toda a série de dados. Todos os eventos inseridos no modelo foram modelados a partir do método de Hidrograma Unitário utilizando os métodos SCS triangular e SCS adimensional. A partir da avaliação dos resultados para os eventos modelados apresentaram resultados semelhantes para todos os casos, tendo um melhor desempenho do método triangular que, em cinco dos sete eventos selecionados apresentou valores de correlação entre os dados simulados e os dados observados superior aos obtidos pela simulação utilizando o método SCS adimensional. Dentre os resultados de cada evento, se verificou que o evento 350 apresentou os melhores resultados, apresentando um comportamento semelhante ao dado real, contudo seu dado de vazão máxima simulada é cerca de duas vezes o dado real, além de ter seu pico de vazão em um horário posterior ao dado real. Esse comportamento dos dados de vazões simuladas em comparação aos dados reais apresentou nas análises dados simulados de duas a quatro vezes superior ao dado real.

**Palavras-chave:** Modelagem hidrológica. Drenagem urbana. Bacia do Rio do Meio. Escoamento superficial. MIKE Urban.

## ABSTRACT

The urbanization process that Brazil passed through after the 70's due to the limitation of space and disputes for natural resources in the rural areas brought upon us a series of issues related to urban drainage, once that migration from the countryside to the cities happened in a desorganized and unplanned way, leading to some of the big problems that we have nowadays. In this scenario enters the urbanized basin of the Rio do Meio, which presents problems related to urban drainage in the region, mainly related to the overflow of the drainage network in more intense precipitation events. Thus, the use of the software MIKE URBAN+ comes as an object that allows us evaluate surface runoff and assess the consequences of rainfall events, besides making possible to predict future scenarios and also developing solutions that mitigate the damage. From the analysis of precipitation events available between November 2016 and August 2018, it is used a criterion of events classification based on Minimum Interevent Time, being selected seven events from the whole database. All events inserted in the model were modeled using the Unitary Hydrograph Method using the SCS Triangular and SCS dimensionless methods. From the evaluation of the results for the modeled events, they presented similar results for all cases, with a better performance of the triangular method that, in five of the seven selected events, presented correlation values between the simulated data and the observed data higher than those obtained by the simulation using the SCS dimensionless method. Among the results of each event, it was verified that event 350 presented the best results, presenting a behavior similar to the real data, however its maximum simulated flow data is about twice the real one, in addition to having its peak flow in a time later than the actual data. This behavior of the simulated flow data compared to the real data presented in the analyzes simulated data two to four times higher than the real data.

**Keywords:** Hydrological modelling. Urban drainage. Rio do Meio basin. Surface runoff. MIKE Urban.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo hidrológico.....	4
Figura 2 - Avaliação do escoamento antes e depois da urbanização. ....	7
Figura 3 - Passo a passo do processo de modelagem. ....	13
Figura 4 - Modelo conceitual do fenômeno de escoamento no SWMM. ....	15
Figura 5 - Exemplo de simulação no InfoWorks de áreas inundáveis. ....	16
Figura 6 - Estrutura modular do MIKE URBAN+. ....	18
Figura 7 - Mapa de localização da área de estudo.....	24
Figura 8 - Classificação dos solos da área de estudo. ....	26
Figura 9 - Mapa do modelo digital de terreno e a hidrografia da área de estudo. ....	27
Figura 10 - Mapa de ruas, edificações e uso e ocupação da área de estudo. ....	28
Figura 11 - Mapa da rede de drenagem da área de estudo. ....	29
Figura 12 - Mapa de CN da área de estudo. ....	32
Figura 13 - Comparação da rede de drenagem com a hidrografia.....	35
Figura 14 - Análise inicial dos dados utilizando método de Thiessen. ....	36
Figura 15 - Hidrograma do Evento 131. ....	37
Figura 16 - Hidrograma do Evento 350. ....	37
Figura 17 - Hidrograma do Evento 420. ....	38
Figura 18 - Hidrograma do Evento 477. ....	39
Figura 19 - Hidrograma do Evento 482. ....	40
Figura 20 - Hidrograma do Evento 483. ....	41
Figura 21 - Hidrograma do Evento 596. ....	41
Figura 22 - Resultado da modelagem do Evento 131 no exutório pelo método SCS Adimensional.....	42
Figura 23 - Resultado da modelagem do Evento 131 no exutório pelo método SCS Triangular. ....	43
Figura 24 - Resultado da modelagem do Evento 350 no exutório pelo método SCS Adimensional.....	44
Figura 25 - Resultado da modelagem do Evento 350 no exutório pelo método SCS Triangular. ....	44
Figura 26 - Resultado da modelagem do Evento 420 no exutório pelo método SCS Adimensional.....	45

Figura 27 - Resultado da modelagem do Evento 420 no exutório pelo método SCS Triangular.....	46
Figura 28 - Resultado da modelagem do Evento 477 no exutório pelo método SCS Adimensional.....	47
Figura 29 - Resultado da modelagem do Evento 477 no exutório pelo método SCS Triangular.....	48
Figura 30 - Resultado da modelagem do Evento 482 no exutório pelo método SCS Adimensional.....	49
Figura 31 - Resultado da modelagem do Evento 482 no exutório pelo método SCS Triangular.....	49
Figura 32 - Resultado da modelagem do Evento 483 no exutório pelo método SCS Adimensional.....	50
Figura 33 - Resultado da modelagem do Evento 483 no exutório pelo método SCS Triangular.....	51
Figura 34 - Resultado da modelagem do Evento 596 no exutório pelo método SCS Adimensional.....	52
Figura 35 - Resultado da modelagem do Evento 596 no exutório pelo método SCS Triangular.....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ações e impactos ocasionados pela intervenção antrópica. ....	6
Tabela 2 - Comparação de funções do HEC-RAS e HEC-HMS. ....	17
Tabela 3 - Comparativo entre modelos existentes. ....	20
Tabela 4 - Regra adotada para correção dos diâmetros. ....	30
Tabela 5 - Dados dos eventos selecionados. ....	31
Tabela 6 - Avaliação do coeficiente $R^2$ ....	34
Tabela 7 - Resumo dos resultados obtidos. ....	53

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANA	Agência Nacional de Águas
CGA	Coordenadoria de Gestão Ambiental
CN	Curve Number
CS	Collection System
DN	Diâmetro Nominal
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center's - Hydrologic Modeling System
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center's - River Analysis System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade, Duração e Frequência
IMEE	Intervalo Mínimo Entre Eventos
LabUrb	Laboratório de Urbanismo
MDT	Modelo Digital de Terreno
MOUSE	Modelling of Urban Sewer
NEA	Núcleo de Estudos da Água
PMF	Prefeitura Municipal de Florianópolis
RDII	Rainfall-Dependent Infiltration/Inflow
RTC	Real Time Control
SCS	Soil Conservation Service
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SUDS	Sustainable Urban Drainage Systems
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SUH	Snyder Unit Hydrograph
SWMM	Storm Water Management Model
TMI	Tempo Mínimo Inter-evento
UHM	Unit Hydrograph Method
USACE	United States Army Corps of Engineers
USEPA	United States Environmental Protection Agency
USGS	United States Geological Survey

UFSC Universidade Federal de Santa Catarina  
UTM Universal Transversa de Mercator

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1	OBJETIVOS .....	2
1.1.1	<b>Objetivo Geral</b> .....	<b>3</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>URBANIZAÇÃO E CICLO HIDROLÓGICO</b> .....	<b>4</b>
2.1	O CICLO HIDROLÓGICO .....	4
2.2	O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E SEU IMPACTO NO CICLO HIDROLÓGICO.....	5
2.3	PROBLEMAS DA DRENAGEM URBANA .....	6
<b>3</b>	<b>MODELAGEM</b> .....	<b>9</b>
3.1	GEOPROCESSAMENTO APLICADO A MODELAGEM HIDROLÓGICA...	10
3.2	CONCEITOS DE MODELAGEM.....	11
<b>3.2.1</b>	<b>Modelagem Chuva-Vazão</b> .....	<b>11</b>
3.3	MODELOS APLICADOS A DRENAGEM URBANA.....	14
<b>3.3.1</b>	<b>SWMM</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3.2</b>	<b>InfoWorks</b> .....	<b>15</b>
<b>3.3.3</b>	<b>HEC-RAS e HEC-HMS</b> .....	<b>16</b>
<b>3.3.4</b>	<b>MIKE URBAN+</b> .....	<b>17</b>
3.4	CONDIÇÕES DE CONTORNO.....	21
<b>3.4.1</b>	<b>Dados de Precipitação</b> .....	<b>21</b>
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	24
4.2	ESTRUTURAÇÃO DO BANCO DE DADOS.....	26
4.3	APLICAÇÃO DO MODELO.....	31
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>35</b>
5.1	ANÁLISE DA REDE DE DRENAGEM DA BACIA.....	35
5.2	ANÁLISE DOS EVENTOS DE CHUVA.....	36
5.3	MODELAGEM DOS EVENTOS DE CHUVA .....	42
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>54</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>56</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao avaliar o histórico da urbanização do Brasil, nota-se que houve uma inversão no crescimento da população rural. De acordo com dados do IBGE (2010), a população rural era maior que a população urbana até o ano de 1970. Nesta data, o País atingiu 56% de urbanização, superando assim a população rural. Ainda, conforme o último dado censitário, a população urbana brasileira correspondia a cerca de 84%. Em termos numéricos, a população urbana passou de 18,7 milhões de pessoas em 1950 para 160,9 milhões em 2010.

A migração da zona rural para a zona urbana em tamanha escala deveria ser acompanhada com a oferta de serviços referentes ao saneamento básico. Conforme dados do Atlas Esgotos (2017), 61% da população brasileira possui coleta de esgoto, sendo que, 70% desses passam por tratamento após a coleta. Referente a população urbana, 55% possuem acesso considerado adequado aos conceitos do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), sendo 43% referente a coleta e tratamento do esgoto e 12% referente a solução individual (fossa séptica e sumidouro).

Entre outros aspectos, a falta de acesso a saneamento básico leva a problemas nos sistemas de drenagem urbana, principalmente a partir de inundações, já que não há o manejo de águas pluviais realizado de forma correta. CRISTOFIDIS, ASSUMPÇÃO e KLIGERMAN (2019) comentam das três fases da drenagem urbana no Brasil, sendo a primeira fase higienista, a qual alterava o tempo de concentração, fazendo com que o escoamento das águas pluviais se dê de maneira mais rápida, a segunda fase referente à drenagem urbana sustentável que levou a um manejo das águas pluviais urbanas controlado e a terceira fase, a qual remete a soluções baseadas na natureza para a gestão da água.

A primeira fase associada a urbanização da população brasileira fez com que muitas das pessoas que migraram do interior para a zona urbana acabassem ocupando áreas pantanosas e de baixada, o que levou a alteração de terras alagadiças e várzeas, aterros de áreas inundáveis, bem como a limpeza ou a retificação de rios, tornando as condições ambientais vulneráveis às epidemias (CRISTOFIDIS, ASSUMPÇÃO e KLIGERMAN, 2019).

Em Santa Catarina, de acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2020), o sistema de drenagem urbana é caracterizado por 37,5% dos municípios possuindo sistema exclusivo de drenagem, 54% possuindo sistema combinado ou unitário de drenagem e 1,9% dos municípios não possuindo nenhum sistema de drenagem. Além disso, cerca de 8,6% dos domicílios do Estado possuem risco de inundação, sendo que três municípios possuem mais de 50% dos domicílios com risco de inundação. De todos os municípios, 26,6% possuem alguma medida compensatória para redução do impacto do manejo incorreto das águas pluviais, sendo a maior parcela (18,9%) realizada por faixas ou valas de infiltração. Ainda, menos de 50% dos municípios possuem algum sistema para gestão de risco (SNIS, 2020), evidenciando que em caso de uma possível inundação ocorra, os municípios não estarão aptos para realizar o manejo correto das águas pluviais e minimizar os impactos causados.

Em Florianópolis, na bacia hidrográfica do Rio do Meio, essa situação de risco de inundação é evidenciada. O sistema de drenagem é dividido entre condutos fechados e abertos, sendo os condutos abertos o próprio leito do rio e os condutos fechados da rede de drenagem pluvial. Contudo, esse manejo de águas pluviais, em casos de chuvas intensas e duradouras não é suficiente para comportar de maneira adequada o transporte da água que chega à rede de drenagem, de forma a exceder sua capacidade máxima.

Sendo assim, a modelagem hidrológica vem como saída para avaliar o cenário atual e prever cenários futuros e, dessa forma, encontrar soluções que resolvam os problemas a partir dos dados já existentes.

Com essa motivação, o presente estudo visa simular o escoamento superficial das águas pluviais da bacia urbana do Rio do Meio em Florianópolis/SC, por meio de modelagem.

## 1.1 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste TCC.

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Avaliar o escoamento superficial em uma área densamente urbanizada na bacia hidrográfica do Rio do Meio, em Florianópolis/SC.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Representar a rede de drenagem para verificar o escoamento superficial da área urbanizada na Bacia hidrográfica do Rio do Meio, em Florianópolis/SC;
- Analisar eventos de precipitação intensa registrados na bacia visando a modelagem do escoamento superficial da área de estudo;
- Modelar o escoamento superficial da bacia do rio do Meio, usando o modelo MIKE URBAN+

## 2 URBANIZAÇÃO E CICLO HIDROLÓGICO

### 2.1 O CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico ou ciclo da água consiste em uma série de processos em que a água passa por diversos estágios. Pode se explicar o ciclo hidrológico partindo da evaporação da água dos oceanos, a qual, ao atingir camadas atmosféricas mais elevadas é convertida em forma de vapor e é transportada pelas massas de ar até que, em determinadas condições condensa, resultando nas nuvens e então pode precipitar. A precipitação pode ocorrer na forma de chuva, neve ou granizo. Ao atingir o solo, o escoamento se dá pela superfície ou infiltração no solo. Então, ao chegar em um corpo hídrico, a água pode evaporar novamente, fechando o ciclo (PASCHOAL, 2012). A Figura 1 apresenta um esquema do ciclo hidrológico.

Figura 1 - Ciclo hidrológico.



Fonte: USGS (2017).

Para Carvalho (2009), a precipitação é definida pela água, na forma de chuva, neve, granizo, orvalho ou geada, oriunda do vapor de água da atmosfera e depositada na superfície, sendo considerado uma das etapas do ciclo hidrológico mais utilizadas para a Engenharia, já que está diretamente relacionada com o processo de

escoamento superficial, controle de cheias, com o entendimento do comportamento de bacias hidrográficas etc.

Além dos conceitos e medições de precipitação, outros conceitos estão diretamente relacionados. Para estudos hidrológicos não só os dados de precipitação são necessários, mas outros conceitos como tempo de concentração ( $T_c$ ), o escoamento superficial e a infiltração no solo, os quais serão discutidos posteriormente.

## 2.2 O PROCESSO DE URBANIZAÇÃO E SEU IMPACTO NO CICLO HIDROLÓGICO

Após a metade do século XX, o processo de urbanização se intensificou principalmente ocasionado pelo êxodo rural, na busca por moradia nas cidades em busca de melhores condições de vida afetou o meio econômico, social e industrial (ROSA, 2017). Essa urbanização de forma desordenada, sem planejamento de uso e ocupação, trouxe impactos no ciclo hidrológico, como a alterações na drenagem, que aumentam as possibilidades de ocorrência de enchentes e deslizamentos, conferindo riscos à saúde e à vida humana (BENINI; MEDIONDO, 2015). Entre as alterações na drenagem há a alteração principalmente na etapa de infiltração da água no solo. O processo de infiltração de água no solo se dá através entrada de água na superfície e a sua percolação da mesma no perfil do solo, podendo ter seu desempenho afetado por diversos fatores, tais como o tipo de solo, propriedades físicas e ainda o manejo inadequado (falta de vegetação, grau de compactação do solo) tanto em bacias urbanas ou em bacias rurais (KEMERICH *et al.*, 2014).

Somado a isso, Mota (2008) comenta que à medida que o processo de urbanização avança, os corpos hídricos vão sendo assoreados, resultando também na degradação das águas.

Benini e Mediondo (2015) falam que o desenvolvimento das cidades, comumente está relacionado à substituição de ambientes naturais ou seminaturais por ambientes construídos, como no direcionamento das águas pluviais e dos esgotos dos canais de drenagem para os corpos d'água, alterando o ciclo natural da água.

Ainda, vale ressaltar que a intervenção antrópica sem planejamento e gestão da bacia de ocupação ocasiona problemas tanto na questão de águas urbanas quanto

aos usos e ocupações dos solos urbanos (FRITZEN; BINDA, 2011). Na Tabela 1 são apresentadas ações e respectivos impactos relacionados à intervenção antrópica.

Tabela 1 - Ações e impactos ocasionados pela intervenção antrópica.

<b>AÇÃO</b>	<b>IMPACTO</b>
Impermeabilização do solo (desmatamento, construção de casas, edifícios e pavimentação de ruas)	Alteração do clima urbano
	Diminuição da evapotranspiração
	Maiores picos de vazões, contribuindo para a ocorrência de enchentes
	Aumento do escoamento superficial, intensificando a erosão do solo e assoreamento de corpos d'água
Redes de drenagem (canalização de rios e da água pluvial)	Redução da infiltração, diminuindo o abastecimento do lençol freático
	Maiores picos a jusante
	Aumento da velocidade dos cursos d'água
Resíduos sólidos urbanos	Eliminação da mata ciliar
	Entupimento de galerias, obstrução de bueiros e bocas de lobo
Redes de esgoto sanitários deficientes	Degradação da qualidade das águas
	Degradação da qualidade das águas
Ocupação de várzeas e fundos de vale	Maiores picos de vazão
	Maiores prejuízos financeiros

Fonte: Adaptado de FEAM (2006)

Conforme apresentado na Tabela 1, fica evidente que diversas ações antrópicas causam impactos diretos no meio econômico, social e ambiental, seja a partir da pavimentação de ruas ou pela deficiência de redes de drenagem.

### 2.3 PROBLEMAS DA DRENAGEM URBANA

A humanidade, desde o princípio sempre teve uma relação de proximidade com a água, a qual sempre era um fator determinante para a própria existência, já que toda evolução era vinculada a ela (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2001). Com o avanço industrial e o aumento da concentração de pessoas nas cidades, foram autorizadas as ligações das águas residuais domésticas às redes de drenagem pluvial existente, o que impactou negativamente na saúde pública, devido às péssimas condições dos sistemas de drenagem pluviais (MATOS, 2003). Tinha-se como objetivo evacuar as águas pluviais e esgotos o mais rápido possível da área

urbana, passando a ser feita por condutos artificiais, para zonas protegidas e tratadas, evitando assim prejuízos locais (SOUZA, 2007). Mais tarde surgiu o sistema separador absoluto pluvial/esgoto e depois, o sistema de drenagem convencional, ainda comumente utilizado atualmente.

Nesse sistema convencional, as águas de chuvas desembocam em bueiros e sarjetas, e são escoadas por tubulações que alimentam condutos secundários a partir do qual atingem o fundo do vale, com escoamento topograficamente bem definido a jusante (KIPPER, 2015). Em outras palavras, a água é drenada o mais rápido possível, sendo encaminhada para um único ponto (o qual corresponde à saída da zona urbana), possivelmente gerando impactos na região do corpo receptor e assim, sendo apenas uma solução pontual, mas não definitiva.

Um exemplo que torna visível o impacto da urbanização é a avaliação do escoamento antes da urbanização e o escoamento depois da urbanização, conforme apresentado na Figura 2.



Fonte: Manual da Drenagem Urbana (2003).

É evidente a diferença entre o antes e depois do processo de urbanização, sendo observado que antes da urbanização o escoamento se dá de maneira uniforme, mantendo uma menor variação entre as vazões ao longo do tempo e depois da urbanização há a geração de um pico maior e de vazão mais rápida, causando o aumento do volume de água, resultando em enchentes nas áreas próximas aos cursos de água.

Tanto o recobrimento do solo por obras de engenharia quanto a urbanização geram um aumento no escoamento superficial, o que causa o aumento da vazão de pico, de forma a reduzir o tempo de concentração e ocorre a diminuição da vazão de base que acarreta o aumento das inundações, de forma a tornar necessário a realização de estudos mais detalhados que visem compreender a variação do regime hidrológico causado pelo processo de adensamento urbano (TUCCI, 1995).

### 3 MODELAGEM

Os modelos podem ser divididos em três grupos que são modelos físicos, analógicos e matemáticos (USÓ, 2020). Para Tucci (1998), nos modelos físicos, a realidade é apresentada por meio de protótipos em escala reduzida, ou maquetes; os analógicos consistem no uso de analogias existentes entre o comportamento de sistemas hidráulicos e de circuitos elétricos e quanto aos modelos matemáticos adota-se a representação matemática do sistema ou do fenômeno em análise.

Silva *et al.* (2010) comentam que a modelagem hidrológica deve ser capaz de tornar possível a compreensão do sistema hidrológico como um todo, dentro de uma análise mais genérica, permitir reproduzir o passado e prever situações futuras, de forma a orientar a tomada de decisão na execução dos estudos e projetos de engenharia. Garcia (2005) complementa que esse tipo de modelo comumente gera melhores resultados para bacias urbanizadas, já que estas possuem elevadas heterogeneidades, oriundas das modificações ocasionadas pelo uso e ocupação do solo.

Garcia (2005) afirma também que vem sendo desenvolvido *softwares* com o objetivo de modelar os fenômenos relacionados a drenagem urbana e que as simulações obtidas apresentam resultados diferentes, em função do processo de cálculo aplicado e em função das estruturas que compõem a rede de drenagem.

Atualmente, existem diversos *softwares* de modelagem hidrológica no mercado, desde *softwares* de código aberto, como o SWMM, desenvolvido pela US EPA, como outros de código fechado, como InfoWorks, HEC-HMS ou MIKE URBAN+. Mais detalhes acerca desses *softwares* serão apresentados na Seção 3.3

Há uma grande variedade de modelos hidrológicos, com diferentes aplicações para a mesma área e em outras, apresentando melhores resultados para diferentes estudos, não apenas possibilitando a obtenção de bons resultados para uma única área de estudo. A seleção do modelo mais adequado deve basear-se em critérios como: objetivos da modelagem, características da área de estudo, disponibilidade de dados, familiaridade com o modelo, aspectos econômicos (disponibilidade de recursos financeiros e computacionais), dentre outros (BENDIENT; HUBER; VIEUX, 2008; TUCCI, 2005).

Baseando-se em estudos similares realizados anteriormente ou a partir da disponibilidade, a escolha do software mais adequado para um projeto pode variar. Para a simulação de escoamento superficial por exemplo, Souza, Costa e Koide (2019) compara outros modelos como DR3M-QUAL, HSPF e STORM com o SWMM, de forma a preferir utilizá-lo pois o *software* pode simular a quantidade e qualidade do escoamento superficial em áreas urbanas, permitindo aplicações como projeto e dimensionamento de rede de drenagem, o projeto de estruturas de retenção, a modelagem de poluição difusa. Ainda, o SWMM é mais conhecido pela modelagem do ciclo urbano da água, podendo ser observado isso nos estudos de Mikovits, Rauch e Kleidorfer (2014) que realizaram simulações com o SWMM para mostrar diferenças no escoamento e inundação no desenvolvimento urbano ou no estudo de Souza, Costa e Koide (2019) que avaliaram o comportamento quantitativo e qualitativo das águas pluviais urbanas foi analisado por meio do monitoramento dos fluxos de escoamento superficial.

Contudo, vale ressaltar que nem sempre é capaz de se obterem resultados satisfatórios. Bertrand-Krajewski (2007) realizou um estudo dos problemas e dificuldades com consequências práticas na aplicação de modelos hidrológicos, no qual destaca a forte dependência entre o conjunto de dados inseridos no modelo com a calibração e verificação, deixando claro que para haver resultados mais confiáveis, deve-se haver a coleta de dados mais confiáveis.

### 3.1 GEOPROCESSAMENTO APLICADO A MODELAGEM HIDROLÓGICA

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) utilizados no geoprocessamento são um conjunto de informações obtidas por softwares, metodologias aplicadas, dados coletados, hardwares específicos e recursos humanos, este último responsável por operar os programas, manipular os equipamentos e dados e definir as metodologias adequadas (MEDEIROS, 2012).

Desse modo, a integração entre modelos hidrológicos e/ou hidráulicos com o SIG vem crescendo significativamente nos últimos anos, principalmente aplicados em mapeamentos de áreas de inundação, tanto em áreas urbanas como em áreas rurais devido a seu potencial apresentado na integração de dados de tipos e formatos diferentes CABRAL *et al.* (2016).

Ainda, a integração entre os SIGs e os modelos possibilita, por exemplo, a associação com análise multicritério com AHP, permitindo identificar áreas inundáveis, de forma a possibilitar a geração de mapas que poderiam ser utilizados pelos órgãos de planejamento ou partes interessadas para a diminuição dos efeitos das inundações e/ou classificar os tipos de usos do solo (Siddayao *et al.*; 2015).

## 3.2 CONCEITOS DE MODELAGEM

É comum que estudos de modelagem hidrológica utilize bacia hidrográficas como objeto de estudo, já que a bacia é a responsável por reunir todo o escoamento que chega na bacia em direção à um único ponto de saída, o exutório. Essa análise permite avaliar e tornar conhecido dados médios referente a toda a bacia ou considerar uma análise espacial, dividindo a bacia em sub-bacias (RENNÓ, 2000).

Para tal estudo, são necessários dados para a execução das simulações hidrológicas e, como se espera avaliar o escoamento que chega à bacia, são necessários dados de chuva. Para Tucci (2005), o surgimento dos modelos hidrológicos trouxe a necessidade de se avaliar séries históricas mais longas e representativas de chuvas e vazões para os projetos. Considerando que ao longo do tempo, as bacias sofrem alterações devido a construção de obras hidráulicas e a alteração do uso do solo, se percebeu que mesmo que a bacia mude, o uso de dados de vazão deixou de ser homogêneo e estacionário, diferente do comportamento dos dados de precipitação, de forma a se tornarem dados mais confiáveis para a avaliação dos novos cenários e na previsão de cenários futuros.

### 3.2.1 Modelagem Chuva-Vazão

É conhecido que chuvas muito intensas provocam escoamento superficial até mesmo em solos não saturados, quando o volume de água excede a capacidade de infiltração no solo. Ainda, é necessário entender sua distribuição espacial. Comumente essas análises realizadas através da modelagem hidrológica são estimadas a partir de análises pontuais, que, ao serem analisadas, geram resultados espaciais e esses resultados estimam as quantidades de chuva até para pontos mais distantes do ponto conhecido. (MOREIRA; MINE; FILHO, 2007).

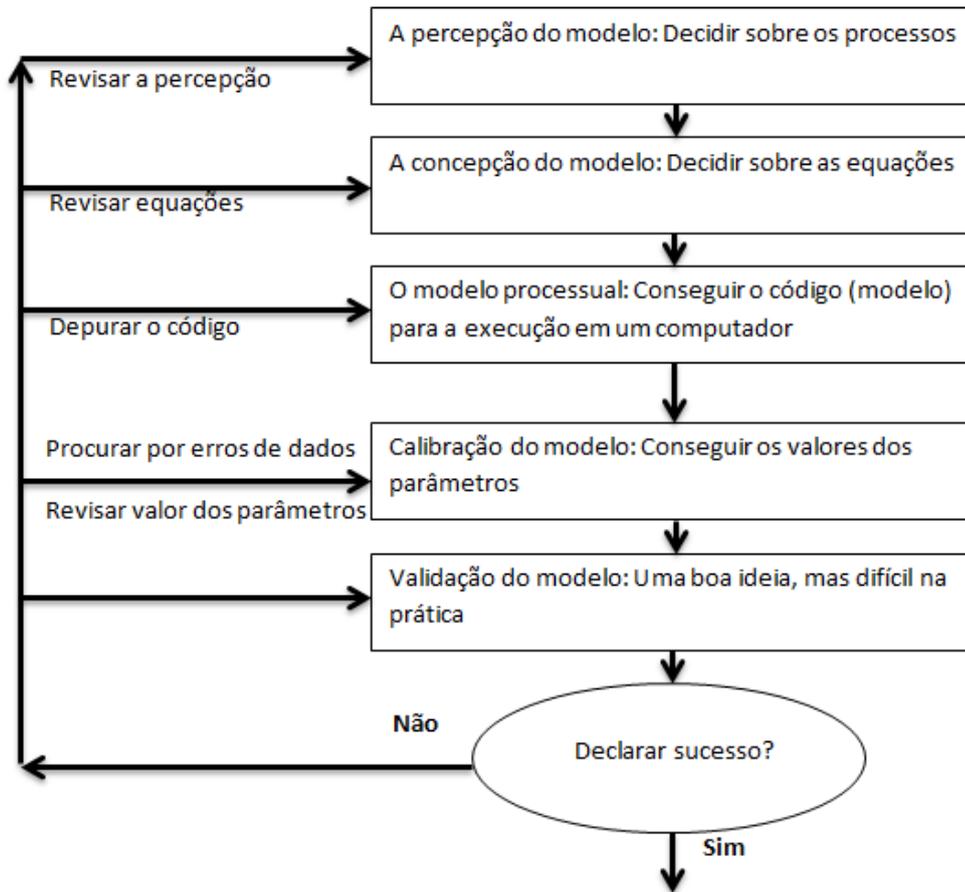
Contudo, essas análises podem não ser precisas e gerar resultados sub ou superestimados. Tucci (1998) cita que, pelo fato das medidas de chuva serem realizadas de forma pontual, sua distribuição espacial e temporal pode incluir erros maiores que qualquer refinamento de metodologia que simule os processos físicos de uma bacia hidrográfica.

A simulação chuva-vazão é uma modelagem hidrológica matemática o qual representa um dos principais componentes do ciclo hidrológico, partindo da precipitação até a resposta da bacia, em termos de vazões (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Os modelos denominados chuva-vazão são modelos hidrológicos adotados no estudo de bacias hidrográficas e têm como principal função a previsão do escoamento em bacias, tendo como variável de entrada a precipitação (USÓ, 2020).

Contudo, antes da realização de qualquer ação referente a modelagem, é necessária uma etapa anterior, a “modelagem perceptiva”, a qual remete a análise dos processos de chuva-vazão, assumindo que o processo de modelagem se inicia já nessa etapa de modelagem perceptiva (BEVEN, 2012). A Figura 3 apresenta o modelo conceitual proposto por Beven (2012).

Figura 3 - Passo a passo do processo de modelagem.



Fonte: Adaptado de Beven (2012).

Quanto às classificações dos modelos hidrológicos, as características dependem do próprio modelo de estudo, podendo ser modelos estocásticos ou determinísticos, concentrados ou distribuídos, conceituais, empíricos ou baseados na física do sistema (SILBERSTEIN, 2006). Modelos concentrados consideram a bacia como um único elemento, de forma a que os parâmetros utilizados são médios para toda a bacia, enquanto modelos distribuídos reduzem a bacia em sub-bacias e suas variáveis são em função do espaço (CHAFFE, 2009). Modelos determinísticos são definidos quando para uma mesma entrada, o modelo gera uma mesma saída, desconsiderando assim as probabilidades e utilizando uma lei própria definida ou classificados como estocásticos são definidos quando a relação de dados de entrada e saída são estatísticos e, sendo assim, uma mesma entrada pode gerar saídas diferentes (TUCCI, 2005).

### 3.3 MODELOS APLICADOS A DRENAGEM URBANA

Há um leque enorme de modelos atualmente que podem ser aplicados na drenagem urbana, alguns com grande destaque, como SWMM, HEC-HMS, Infowoks e MIKE URBAN+. São utilizados comumente no meio da drenagem urbana para avaliar os sistemas de micro e macrodrenagem das cidades.

#### 3.3.1 SWMM

O SWMM (*Storm Water Management Model*) é um modelo hidrológico-hidráulico bastante difundido, desenvolvido pela U.S. EPA (*United States Environmental Protection Agency*), usado principalmente para simulações em áreas urbanas. Consiste em uma ferramenta hidrodinâmica de código aberto bem conhecida que calcula os processos de fluxo de tubos de maneira precisa enquanto o escoamento é calculado conceitualmente (HELMI *et al.*, 2019).

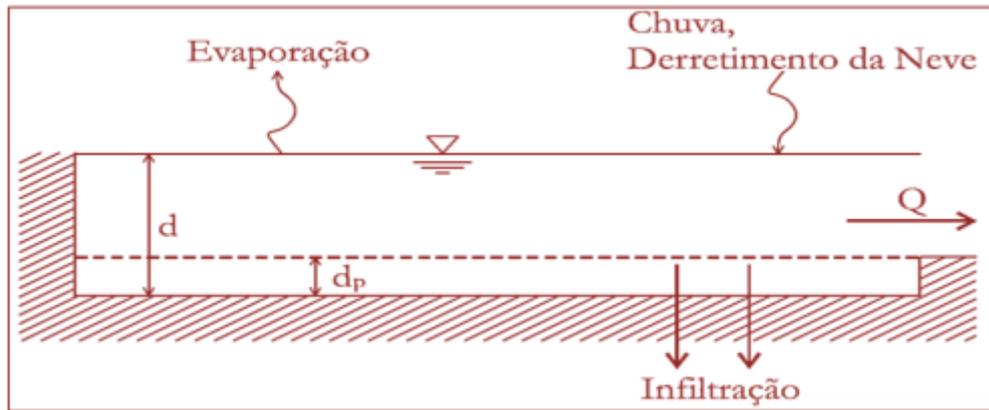
De acordo com Araújo (2018) o SWMM funciona a partir de interações entre quatro módulos descritores do ambiente: atmosférico – a entrada da precipitação, de superfície do solo – conjunto de sub-bacias, de águas subterrâneas – infiltração e de transporte – escoamento superficial. Rossman (2012) cita que cada um desses módulos possui objetos para representar e caracterizar o ambiente e assim simular os fenômenos que acontecem no mesmo.

O *software* calcula a quantidade e a qualidade do escoamento gerado dentro de cada sub-bacia, a taxa de escoamento, a profundidade do escoamento e a qualidade da água em cada tubo e canal durante o período de simulação em cada passo de tempo (US EPA, 2015).

Conforme ilustrado na Figura 4, só ocorre escoamento superficial por unidade de área “Q” quando a profundidade da água neste “reservatório” exceder o valor máximo do armazenamento em depressões dp. Neste caso, Q é calculado pela equação de Manning. A lâmina de água no reservatório d (em pés ou metros) é recalculada de forma contínua na sub-bacia, no tempo t (em segundos) mediante a

resolução numérica do balanço hídrico na sub-bacia. (US EPA, 2015; PEDROSA, 2015).

Figura 4 - Modelo conceitual do fenômeno de escoamento no SWMM.



Fonte: US EPA (2015)

### 3.3.2 InfoWorks

O InfoWorks é um *software* desenvolvido pelo *Wallingford Institute* - Inglaterra, o qual contém uma estrutura dividida em diversos módulos que são capazes de realizar estimativas da carga de lavagem, simulação da qualidade da água na rede, construção de hietogramas de projeto, transformação chuva-vazão e propagação na rede de condutos e canais (NÓBREGA, 2012).

De acordo com Walker (20-?), o *Infoworks* foi o primeiro software a integrar completamente as simulações 1D e 2D dos sistemas de drenagem superficiais e subterrâneos em um único sistema de simulação.

Siang *et al.* (2007) utilizou o *software* para a modelagem da bacia urbanizada do rio Berop, na Malásia. Com ele, foi possível simular o efeito de estruturas hidráulicas. Ainda, foram adicionadas ao modelo componentes de sistema de drenagem sustentável (SUDS), o que forneceu uma vantagem na preparação do modelo conceitual do plano de manejo de águas pluviais. A Figura 5 apresenta um exemplo de simulação realizado no *InfoWorks*.

Figura 5 - Exemplo de simulação no InfoWorks de áreas inundáveis.



Fonte: Walker (20--)

### 3.3.3 HEC-RAS e HEC-HMS

O *Hydrologic Engineering Center's – Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) é um *software* de modelagem hidrológica utilizado para realizar simulações chuva-vazão, gerar hidrogramas e rotas de fluxo através dos reservatórios (USACE, 2010). Para seu uso, é requerido que o usuário insira informações da bacia hidrográfica (como área de drenagem, o coeficiente CN – *Curve Number*), dados de precipitação e informações da simulação (data de início e fim da simulação, passo de tempo). Como resultado, são obtidos hidrogramas (Vazão x Tempo) e volume de escoamento (BRUNNER, 2016b). Ainda, pode ser utilizado para a otimização de parâmetros e executar análises de incertezas. Entre seus pontos fortes, se destacam a possibilidade de agregar e desagregar dados temporais e a conversão de unidades ser realizada facilmente.

Quanto ao *Hydrologic Engineering Center's – River Analysis System* (HEC-RAS) é utilizado para a modelagem de fluxos de sistemas de canais abertos (como rios), para estudos de ruptura de barragens de inundação, delimitação de áreas inundáveis e a modelagem de estruturas hidráulicas, como pontes e bueiros. Permite que o usuário gere, através de modelos computacionais unidimensionais de fluxo

constante ou variável, perfis de escoamento da água. Seus resultados então podem ser utilizados em estudos de carga diária máxima total, estudos de planície de inundação e o projeto de estruturas hidráulicas (USACE, 2010).

Frequentemente o HEC-HMS é utilizado para gerar hidrogramas que são utilizados como condições de contorno para os modelos hidráulicos, como o HEC-RAS, portanto, é comum ver a aplicação de ambos os modelos em estudos de modelagem hidráulica. Na Tabela 2 são apresentadas as funções possíveis de execução nos *softwares* HEC-RAS e HEC-HMS.

Tabela 2 - Comparação de funções do HEC-RAS e HEC-HMS.

Capacidade	HEC-RAS	HEC-HMS
Sistema de Informação Geográfica	X	X
Modelagem 2D	X	
Modelagem 1D	X	
Modelagem de ruptura de barragem	X	X
Modelagem Chuva-vazão	X	X
Transporte de sedimentos	X	X
Modelagem de evapotranspiração		X
Estimativa de escoamento de ponte	X	
Rotas hidráulicas	X	X

Fonte: Adaptado de (USACE, 2010).

### 3.3.4 MIKE URBAN+

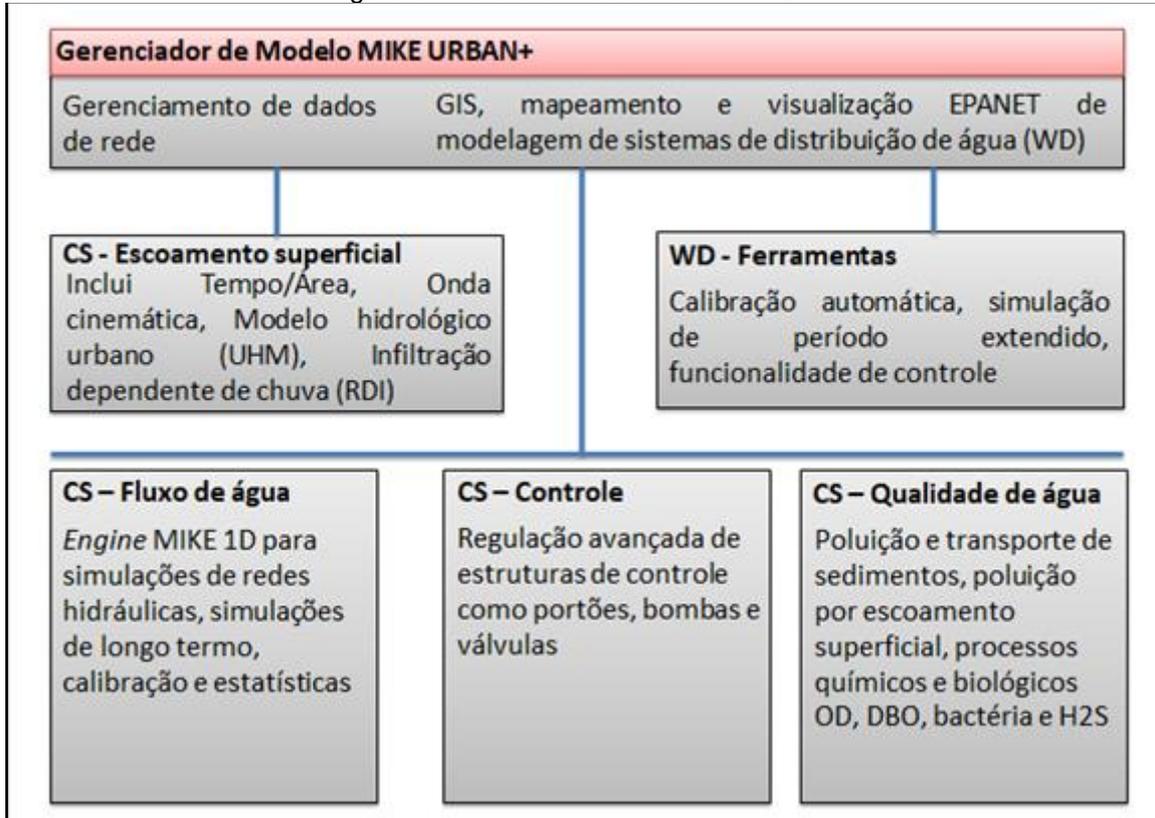
De acordo com o Manual do Usuário da DHI (2020), o MIKE URBAN+ é um sistema flexível para modelagem, projeto de redes de distribuição de água e sistemas de coleta de águas residuais e pluviais. O MIKE URBAN+ é baseado em um banco de dados para armazenamento de dados de modelagem hidráulica e de rede. Esse banco de dados é baseado no SQLite e/ou PostGIS (DHI, 2020).

O MIKE URBAN+ permite rápida integração ao *software* ArcGIS para uma construção rápida de uma base de dados GIS nativo. Devido a isso, uma interação direta com outros *softwares* GIS padrão é possível.

Entre as funções que podem ser realizadas no *software* de modelagem destacam-se a construção e gerenciamento de modelos baseados em GIS, simulação de controle em tempo real de distribuição de água, avaliar o transporte de sedimentos, gerenciar cenários, realizar o mapeamento temático e a visualização dinâmica

integrada de resultados, uma fácil integração com outros aplicativos, avaliar o escoamento superficial de chuvas, realizar estudos de controle de inundação, entre outras funções. A Figura 6 apresenta a estrutura modular do *software*.

Figura 6 - Estrutura modular do MIKE URBAN+.



Fonte: Traduzido de DHI (2020).

Na modelagem dos Sistemas de Coleta (CS), o *software* trabalha com os módulos de modelagem chuva-vazão, de qualidade d'água, de transporte de poluentes, de análise de vazões em tubulações e de controle.

Os módulos podem ser utilizados separadamente ou em conjunto, como por exemplo, em uma situação de avaliar o escoamento superficial de uma área com o uso do módulo "*Surface Runoff*", onde os modelos de escoamento superficial funcionam a partir de parâmetros hidrológicos ajustados, obtendo assim os hidrogramas que servirão de base para o modelo. Ainda, considerando o sistema de drenagem urbana, se faz o uso do módulo "*Control*", o qual permite que seja avaliado o escoamento nas galerias de drenagem.

Entre as modelagens possíveis dentro do MIKE URBAN+, há a modelagem Tempo/Área, um método que utiliza alguns dos princípios do Método Racional, como

o tempo de concentração, o coeficiente de escoamento e a intensidade da infiltração, contudo, diferente do método racional que é estático, o método Tempo/Área leva em consideração chuvas não homogêneas, criando assim subcampos de precipitação, de forma a se obter valores mais precisos (Lågeide e Kampenhuug, 2022).

Outros métodos aplicados pelo modelo são: método da teoria da onda cinemática, método do reservatório linear e o método do hidrograma unitário.

O método da onda cinética é realizado a partir do preenchimento de dados moderados, sendo baseado em um tratamento abrangente das perdas hidrológicas (incluindo infiltração) e o encaminhamento do escoamento pelo uso da Fórmula de Onda Cinemática (Manning) (DHI, 2022).

O método do reservatório linear é aplicado de duas formas, C1 e C2, os quais são variações do mesmo modelo. É baseado em um tratamento abrangente de perdas hidrológicas (incluindo infiltração) e roteamento de escoamento pelo princípio do reservatório linear (DHI, 2022).

Conforme o Manual de Sistemas de Coleta da DHI (2022) o Método do Hidrograma Unitário (UHM) consiste em um modelo linear simples de escoamento superficial usado para derivar hidrogramas para qualquer quantidade de precipitação. O cálculo do escoamento inclui um tratamento abrangente das perdas hidrológicas (ou seja, cálculo do excesso de precipitação) e roteamento do escoamento através da criação de um hidrograma composto.

O Método UHM é uma alternativa para a simulação de escoamento para regiões onde não se possuem registros de vazão ou quando a técnica de hidrografia unitária já é bem estabelecida. Esse método de análise assume que as perdas por infiltração podem ser descritas como uma perda inicial fixa e constante, uma perda proporcional (o método racional) ou pelo método do número da curva do U.S. Soil Conservation Service (SCS) (DHI, 2017).

De forma a apresentar um comparativo entre os modelos existentes, a Tabela 3 apresenta um comparativo entre os modelos MIKE URBAN+, Infoworks CS e SWMM 5.0.

Tabela 3 - Comparativo entre modelos existentes

TÓPICO	ITEM	MODELO		
		INFOWORKS CS	MOUSE/MIKE URBAN+	SWMM 5.0
HIDRÁULICA	Avaliação de Fluxo (magnitude e tempo)	Onda dinâmica	Onda dinâmica	Onda dinâmica
	Avaliação da rotina de cálculo	Numericamente implícito, o mecanismo mais rápido e dinamicamente estável	Numericamente implícito, hidráulica rápida, mas mais lento que a <i>engine</i> do Infoworks CS	Numericamente explícito, tem problemas de estabilidade com o modelo revisado
	Sistema de Controle Integrado	Sim	Não	Não
	Armazenamento e Detenção	Sim	Sim	Sim
	RTC (Controle em Tempo Real)	Sim	Sim	Sim
	Bombas	Sim	Sim	Sim
HIDROLOGIA	Escoamento superficial	Produz vários modelos de escoamento superficial, incluindo o modelo de reservatório não linear SWMM	Produz vários modelos de escoamento superficial, por exemplo o método Tempo/Área e de Onda Cinética	Aplicação de modelo de reservatório não linear para simulação de escoamento
	Taxa de Infiltração	Modelos de: Porcentagem Simples, Horton, Green-Ampt, Procedimento de Wallingford, Constante de Infiltração, Modelo SCS, entre outros	Modelo RDII, MOUSE utiliza a aplicação da Equação de Horton para simulação de infiltração via Curva Número (CN)	Três opções para Infiltração (Equação de Horton, Green-Ampt e Curva Número)
	Entrada e Infiltração derivada de chuvas (RDII)	Fornecimento de um hidrograma unitário para simulação de RDII ou um módulo para infiltração de águas subterrâneas para estimular o lençol freático para fluxo de infiltração como para o SWMM	Aplicação do MOUSE para construir um modelo complexo	Fornecimento de um hidrograma unitário para simulação de RDII ou um módulo para infiltração de águas subterrâneas para estimular o lençol freático para fluxo de infiltração
USABILIDADE	Compatibilidade do Usuário	Sofisticadamente compatível	Boa compatibilidade	Compatibilidade básica
	Manuseio de ados	Excelente	Razoável (controle de cenários)	Nenhum

TÓPICO	ITEM	MODELO		
		INFOWORKS CS	MOUSE/MIKE URBAN+	SWMM 5.0
	Exibição de Resultados	Excelente	Boa	Razoável
	Habilidade de suporte	Compreensiva	Compreensiva	Falta suporte da desenvolvedora do <i>software</i>

Fonte: Adaptado de Saleh *et al.* (2016).

### 3.4 CONDIÇÕES DE CONTORNO

Para um estudo hidrológico, são necessárias assumir algumas suposições para a possibilidade de execução do estudo. Em exutórios da bacia, por exemplo, podem ser assumidas condições de contorno referente ao nível de água, se ele é constante ou variável no tempo (FAN *et al.*, 2014). De acordo com Fagundes (2018), as condições de contorno são aplicadas aos limites do espaço físico, ou seja, na seção inicial e final do trecho analisado, sendo necessário ter uma vazão ou altura da lâmina de água nesses pontos. Em seu estudo, Fagundes (2018) utilizou os hidrogramas gerados pelo HEC-HMS como condições de contorno para a seção do rio de estudo mais a montante, enquanto assumiu a declividade do trecho para a seção mais a jusante. Com a simulação realizada, se pode obter dados referentes a profundidade do trecho de drenagem e da velocidade do escoamento.

Góes (2009) fez uso do MIKE SHE para avaliar a situação da macrodrenagem em centros urbanos e utilizou como condição de contorno a montante como uma vazão nula contribuinte aos rios e canais e para jusante a variação da maré.

#### 3.4.1 Dados de Precipitação

A obtenção de dados de chuva se dá através de medições realizadas em locais pontuais com o uso de pluviômetros, pluviógrafos, imagens de satélite ou radares, os quais irão medir a altura da lâmina de água precipitada ao longo do tempo (PASSOS, 2015).

Para estudos hidrológicos, é necessário também conhecer a condição de umidade antecedente. De acordo com Tucci (2005), a condição de umidade antecedente do solo é dada em função da chuva ocorrida nos cinco dias anteriores

para cada evento simulado sendo classificada em AMC I, para precipitações acumuladas entre 0,00 e 35,00 mm, AMC II, para precipitações acumuladas entre 35,00 e 52,50 mm e AMC III, para precipitações acumuladas superiores a 52,50 mm.

O tempo de concentração de uma bacia de uma bacia é definido como o tempo necessário para que toda a área da bacia contribua para o escoamento superficial num determinado ponto de controle (Araújo *et al.* 2011). Esse tempo é influenciado por características da bacia como fator de forma, declividade média, comprimento e sinuosidade do rio principal, entre outros.

A curva IDF relaciona a intensidade máxima da chuva (mm/h) com a sua duração no tempo (minutos) e a sua probabilidade ou tempo de retorno (probabilidade em % ou anos) (TUCCI, 2011). Comumente é utilizada para avaliar a drenagem de forma geral, para a determinação de vazões de projeto para pequenas bacias ou para determinar a erosão do solo, por exemplo.

Garcia, Ferreira e Mattos (2011) comentam em seu estudo que a análise de precipitações é realizada a partir de séries históricas de eventos chuvosos a partir da classificação dos eventos chuvosos e sendo assim, são estabelecidos critérios para a classificação dos eventos. Os mesmos autores utilizaram o critério de Intervalo Mínimo Entre Eventos (IMEE) para seu estudo, variando o tempo analisado para classificação dos eventos entre 10 e 720 minutos, obtendo uma predominância de eventos moderados (entre 2 e 5 mm/h) para todos os tempos do estudo, com exceção para o tempo de 720 minutos.

Sá *et al.* (2015) avaliou o Tempo Mínimo Inter-evento (TMI), avaliando tempos entre eventos entre 1 e 24 horas, obtendo valores significativamente diferentes, conforme o tempo escolhido.

Dunkerley (2008) observa essa variação dos TMI ou IMEE adotados em relação à classificação dos eventos de precipitação e que ainda não há consenso no meio científico em valores a serem usados como critério de análise e dessa forma cada estudo utiliza o valor que considera mais coerente.

Contudo, é necessário ressaltar que, apesar de ser possível a obtenção de dados de precipitação, nem sempre são de fácil acesso. Almeida *et al.* (2015) comentam que é comum não possuir dados de locais de difícil acesso, devido a seu elevado custo para obtenção ou como escrito por Kidder e Haar (1995) para o monitoramento de uma região grande, é necessária uma elevada quantidade de

pluviógrafos ou pluviômetros e que eles estejam bem distribuídos espacialmente, pois todas as medições são pontuais e não necessariamente representará de forma satisfatória toda a bacia.

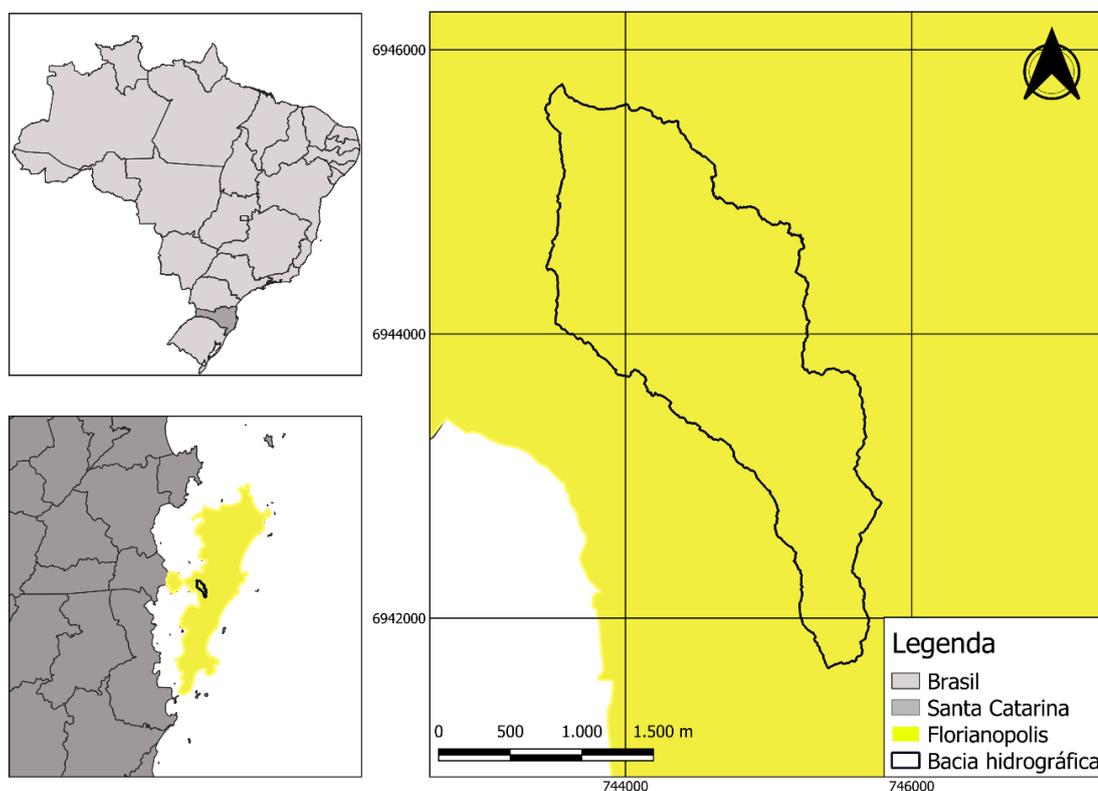
## 4 METODOLOGIA

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica Urbana do Campus Reitor João David Ferreira Lima da Universidade Federal de Santa Catarina, popularmente conhecida como bacia do Rio do Meio está localizada em Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina. De acordo com dados do IBGE (2021), a cidade possui uma população estimada de 516.524 habitantes, área de 674,8 km<sup>2</sup>, divididos em 12 distritos e um IDH de 0,847.

A bacia urbanizada do Rio do Meio possui aproximadamente 4,09 km<sup>2</sup>, o rio principal (Rio do Meio) o tem 3,8 km de extensão, e o exutório está 2,27 metros acima do nível do mar, o sistema de drenagem natural é formado pelo Rio do Meio e seus afluentes: os rios Serrinha, Pantanal, Cesar Seara, Eletrosul e Carvoeira (MULUNGO, 2012). Com ocupação classificada entre uso comercial e residencial, cerca de 70% de sua área é urbanizada (TOSCANO, 2018). A Figura 7 apresenta o mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio do Meio.

Figura 7 - Mapa de localização da área de estudo.

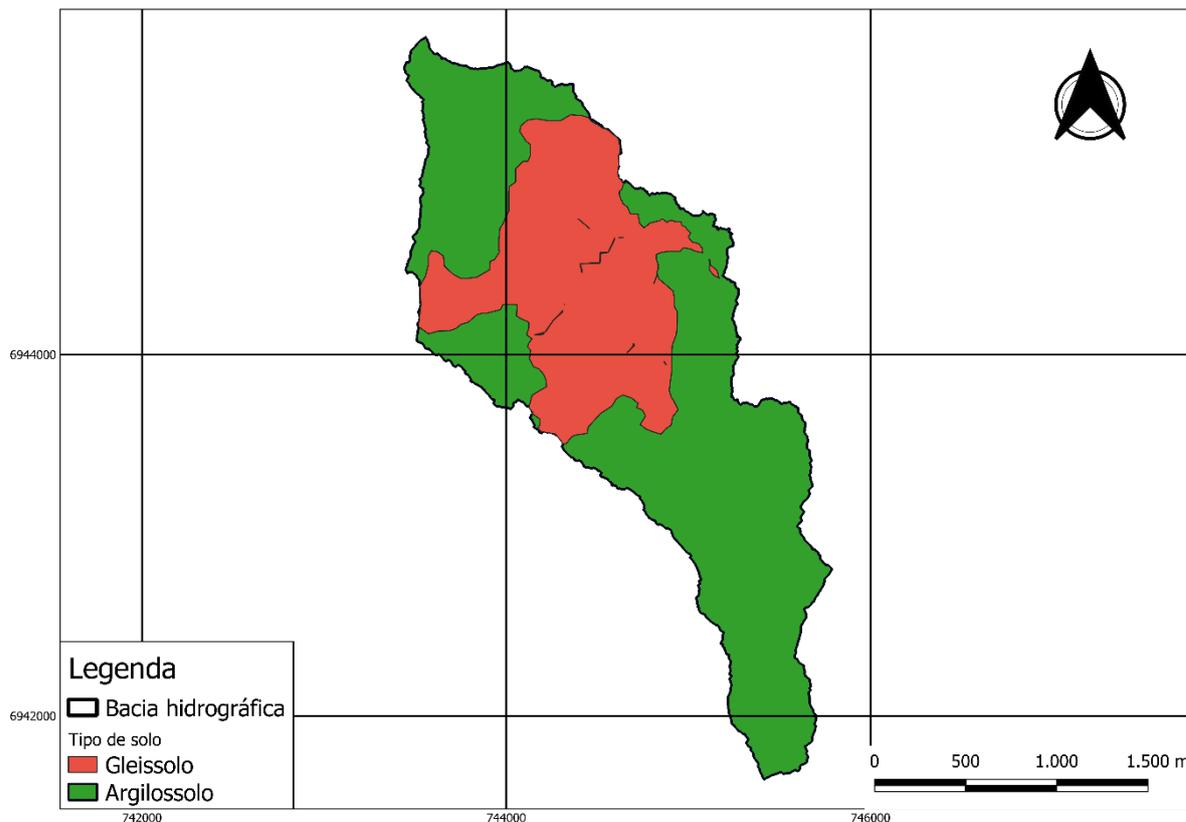


Fonte: O autor (2022)

Quanto ao clima da região, de acordo com Freyesleben (1979) é dado pela predominância das massas de ar quente e úmida, Tropical Atlântica e da influência das massas Intertropical e Polar Atlântica, caracterizando assim um clima mesotérmico úmido. Já em relação ao regime de chuvas, é influenciado pela Frente Polar Atlântica, resultado do encontro das massas Polar Atlântica e Tropical Atlântica, sendo estas, responsáveis pelos ventos sul e sudeste; norte e nordeste. Conforme Pandolfo *et al.* (2002) a precipitação média anual de Florianópolis se situa na faixa entre 1500 e 1700 mm. Segundo a PMF (2009) a precipitação média anual do município é de 1493,12 mm, avaliando uma série histórica de 70 anos.

A área de estudo está localizada na Unidade Territorial de Análise e Planejamento (UTP do Itacorubi). Nesta UTP as características do solo se dão pelo domínio dos argissolos e cambissolos (associados ao relevo montanhoso) no Maciço do Morro da Cruz, características litólicas nas áreas de alta encosta nos setores sudeste e nordeste da subbacia do Itacorubi, tendo maior predominância nas cabeceiras de drenagem. Há também o afloramento de rochas no divisor de águas no Morro da Cruz. Quanto à região do manguezal do Itacorubi, há a presença de solo de manguezal junto a foz do Rio Itacorubi-Glei (PMF, 2009). A Figura 8 apresenta o mapa de classificação do solo da área de estudo.

Figura 8 - Classificação dos solos da área de estudo.



Fonte: Adaptado de SANTANA (2019).

Conforme o mapa de solos do SANTANA (2019), a área de estudo é classificada pela presença de dois solos, na parte mais ao norte e ao sul composta por e na parte central por gleissolo.

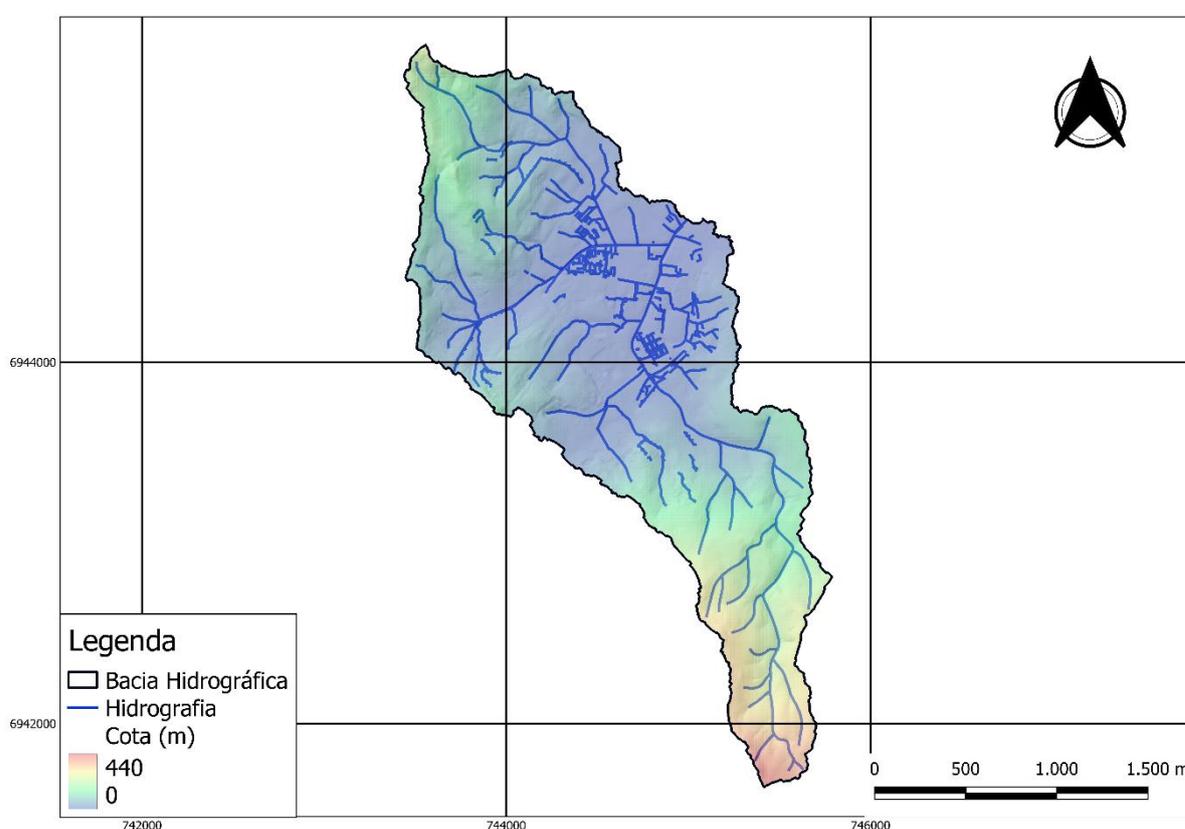
Quanto à geologia da região, conforme a PMF (2009) é caracterizada pela presença de granito por todo o Maciço do Morro da Cruz e a presença de diques de Biabósio e Aplito/Cataclasito na mesma região, possuindo falhas. Na ponta Noroeste da UTP, antes do aterro da beira Mar Norte há depósitos flúvio-marinhos e sedimentos colúvioaluvio-eluvionares indiferenciados em toda a área do Campus da UFSC. No bairro Itacorubi as características geológicas se dão pela presença de sedimentos argiloarenosos e no bairro Santa Mônica há sedimentos arenosílticos argilosos de baía e laguna.

#### 4.2 ESTRUTURAÇÃO DO BANCO DE DADOS

Para viabilizar as análises, foi necessário obter um banco de dados suficiente. Dessa forma, foram consultadas diversas fontes de dados.

Os dados referentes à topografia foram consultados na página *web* do Sistema de Informações Geográficas de Santa Catarina (SIG-SC), onde foi baixado o modelo digital de terreno (MDT) MDT-SG-22-Z-D-V, utilizando os *shapefiles* MDT-SG-22-Z-D-V-2-SE-B e MDT-SG-22-Z-D-V-2-NE-F e a página *web* da Coordenadoria de Gestão Ambiental (CGA), onde foi realizado o download do arquivo *shapefile* da hidrografia da área de estudo. A Figura 9 apresenta o MDT e a hidrografia da área de estudo.

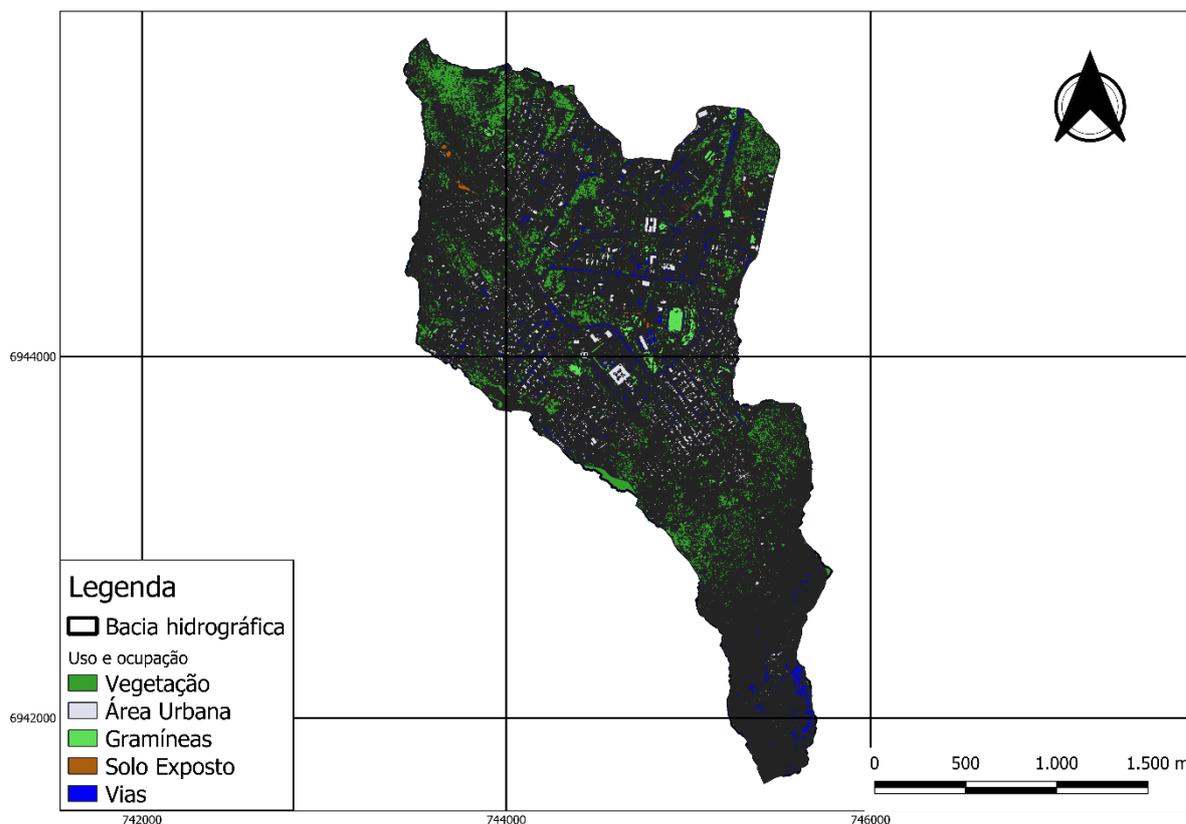
Figura 9 - Mapa do modelo digital de terreno e a hidrografia da área de estudo.



Fonte: O autor (2022)

Quanto aos dados de uso e ocupação do solo, foram obtidos através do MapBiomas (2020) e os dados referentes as ruas e edificações da área de estudo através da página do Laboratório de Urbanismo – LabUrb, atualizado por Tsuji (2022). Na Figura 10 é apresentado o mapa de edificações, ruas e uso e ocupação da área de estudo.

Figura 10 - Mapa de ruas, edificações e uso e ocupação da área de estudo.

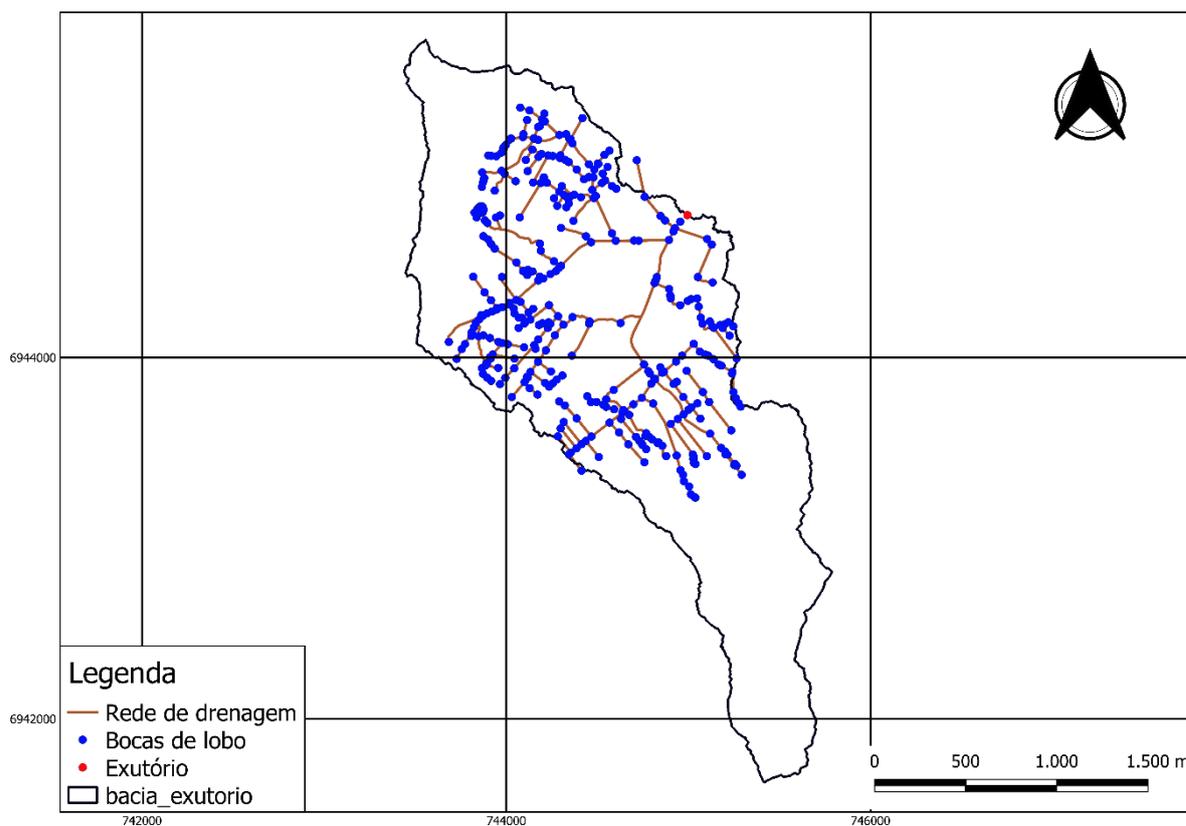


Fonte: Adaptado de TSUJI (2020)

Como observado na Figura 10, a porção central corresponde a área urbanizada, sendo confirmada pela presença de ruas e edificações nessa área. As regiões mais ao sul e ao norte correspondem a áreas de mangue e de agricultura e pastagem. Na região centro-oeste há a presença de silvicultura.

A rede de drenagem (tubulações e bocas de lobo) foi obtida a partir de Finotti (2021) e atualizadas em campo por Tsuji (2022), sendo apresentados na Figura 11.

Figura 11 - Mapa da rede de drenagem da área de estudo.



Fonte: O autor (2022)

As séries de dados hidrológicos (precipitação e vazão) foram obtidos junto ao NEA (Núcleo de Estudos da Água), o qual realizou as medições durante um período de 2 anos, entre 2016 e 2018.

Com os dados adquiridos, os dados geográficos em formato *shapefile* foram ajustados no Sistema de Informações Geográficas QGIS 3.22 onde foi possível a delimitação da bacia hidrográfica da área de estudo a partir da localização do exutório na coordenada UTM 744994,098 e 6944788,295 Projeção SIRGAS 2000 zona 22S. Com a delimitação da bacia hidrográfica, extraíram-se as cotas de cada boca de lobo a partir dos dados do MDT. Além disso, foram corrigidos os dados de cotas de fundo das bocas de lobo e diâmetro das tubulações (de acordo com dados levantados em campo), com o uso da calculadora de campo na Tabela de Atributos, bem como o preenchimento de dados de diâmetro das bocas de lobo faltantes baseado nos dados do *shapefile* de diâmetro das redes de drenagem encontrado na página do LabUrb.

No caso das cotas de fundo das bocas de lobo, adotou-se a profundidade de 1 m, conforme Manual de Drenagem Urbana do DNIT (2002) para aquelas que não

apresentavam dados de medição em campo. Com os devidos dados corrigidos, baseado na cota extraída do MDT se obtém a cota de cada boca de lobo.

Para a correção dos diâmetros foram considerados os diâmetros nominais (DN) disponíveis no mercado: 100, 150, 200, 250, 300, 400, ...,1100 mm. Dessa forma, as considerações assumidas se encontram na Tabela 4.

Tabela 4 - Regra adotada para correção dos diâmetros.

DN (mm)	Varição de DN (mm)	DN assumido (mm)
> 300	50	Se acima da variação, assume diâmetro acima; Se abaixo da variação, assume diâmetro abaixo;
100 < X < 300	25	Se acima da variação, assume diâmetro acima; Se abaixo da variação, assume diâmetro abaixo;
< 100	13	Se acima da variação, assume diâmetro acima; Se abaixo da variação, assume diâmetro abaixo;

Fonte: O autor (2022)

Posteriormente, com o uso da programação em *python* os eventos de precipitação que foram utilizados para a análise do comportamento do escoamento superficial, foram separados. Ao todo, de todo o período de dados, entre novembro de 2016 e outubro de 2018 ocorreram 689 eventos de chuva, seguindo o critério de classificação de eventos com o tempo entre eventos de no mínimo 1h sem ocorrer precipitação, de forma a permitir classificar os eventos por duração, precipitação acumulada, data e hora de início e data e hora de término.

A partir da separação dos eventos, realizou-se uma análise dos eventos, de forma a encontrar eventos candidatos para serem simulados pelo modelo hidrológico. Para isso, foram considerados os dados de precipitação, vazão e nível do rio disponíveis, os quais correspondem ao período entre março de 2017 e julho de 2018. Considerou-se também o estudo realizado por Wu (2019), na bacia do Rio do Meio, onde foram realizadas simulações hidrológicas com o modelo SWMM. A escolha dos eventos foi baseada principalmente em critérios de duração e intensidade, buscando-se avaliar eventos de pequeno, médio e grande porte com intensidades variáveis, além de buscar selecionar eventos semelhantes aos utilizados por Wu (2019) para comparação e verificação dos resultados. Os dados gerais de cada evento selecionado são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados dos eventos selecionados.

Evento	Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Duração (h)	Período Seco Antecedente (h)	Condição de umidade antecedente - AMC (mm/5 d)	Tempo de atraso (h)
131	04/03/2017	16:45:00	<b>28,24</b>	00:40:00	95,33	10,36	0,01
350	02/08/2017	02:55:00	<b>41,45</b>	12:50:00	252,08	0,00	0,28
420	10/11/2017	13:30:14	<b>23,29</b>	02:50:00	30,25	3,20	1,86
477	09/01/2018	08:20:00	<b>59,00</b>	06:00:01	1,08	3,20	4,14
482	10/01/2018	04:20:01	<b>89,53</b>	15:15:01	1,08	78,18	2,94
483	10/01/2018	21:05:02	<b>152,37</b>	10:05:00	1,50	167,72	3,71
596	13/04/2018	17:25:00	<b>28,75</b>	04:35:00	83,42	1,85	0,30

Fonte: O autor (2022).

Compreendendo a eventos de pequeno porte, foi considerado o evento 131 de forma a avaliar um evento curto de alta intensidade. Para eventos de médio porte, foram considerados os eventos 420, 477 e 596, os quais possuem uma variação de precipitação entre 23,29 e 59,00 mm, compondo chuvas médias com intensidade variável. Para os eventos de maior porte, foram selecionados os eventos 350, 482, 483, sendo o evento 483 o mais longo e de maior precipitação e o evento 350 sendo longo, mas com baixa intensidade.

Quanto as condições AMC, com exceção dos eventos 482 e 483 que se encaixam na classificação AMC III, com precipitações acumuladas nos 5 dias anteriores superiores à 52,50 mm, os demais eventos são classificados em AMC I apresentando precipitações entre 0,00 e 35,00 mm, não ocorrendo eventos selecionados classificados como AMC II.

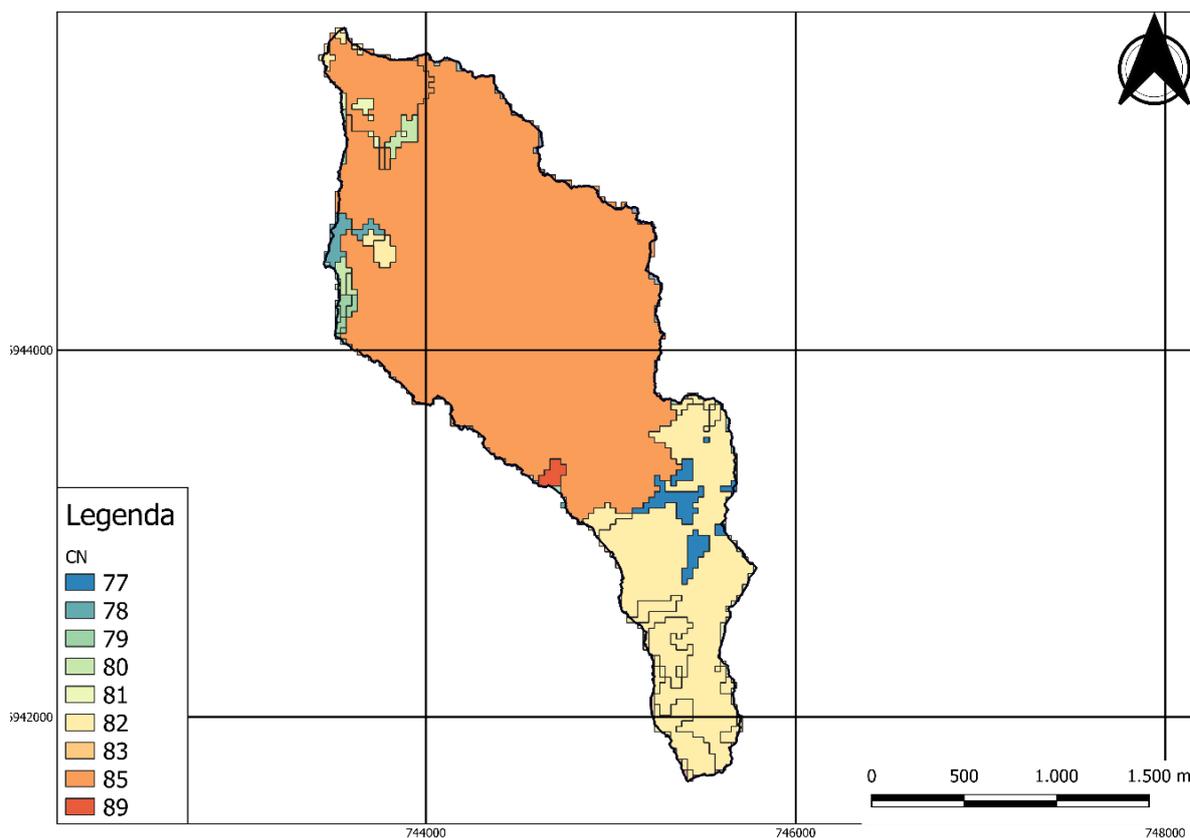
#### 4.3 APLICAÇÃO DO MODELO

Referente a aplicação do modelo, as condições de contorno que foram utilizadas são referentes aos métodos SCS triangular e SCS adimensional. Para tal, foi necessário fornecer, como dado de entrada, as condições de umidade antecedente no solo e a Curva Número (CN).

Para a obtenção do CN da bacia, foi necessário o uso do mapa de solos e de uso e ocupação. Como apresentado anteriormente, se fez uso do mapa de solos do IBGE (2018) e do mapa de uso e ocupação do MapBiomás (2020). Baseado nesses dois dados, foi obtido o CN para cada tipo de solo baseado em dados de literatura de

Sukmahartati (2018), Soares *et al* (2017) e Santos e Lollo (2016). Os dados de CN baseado nos tipos de solo e em seu uso, foram configurados para remeter as áreas de influência de cada boca de lobo, fornecendo como resultado o mapa apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Mapa de CN da área de estudo.



Fonte: O autor (2022)

Ao avaliar a Figura 12, se nota que boa parte da região central-norte possui o CN médio de 85 e a parte sul apresenta o CN de 82. Ao avaliar a bacia como um todo, o CN médio obtido é de 84.

Posteriormente, para os eventos selecionados foram analisados os períodos antecedentes sem precipitação de cada evento. Os dados de Condição de Umidade Antecedente são apresentados na Tabela 5.

A partir da obtenção dos dados necessários foi possível a inserção dos dados no modelo e a realização da modelagem hidrológica dos eventos.

De acordo com o Manual de Referência do MIKE (DHI, 2017), para a aplicação dessa modelagem, a rotina de cálculo do modelo assume algumas suposições desde o princípio, sendo:

- O excesso de precipitação tem intensidade constante dentro da duração efetiva;
- O excesso de precipitação é distribuído uniformemente por toda a bacia área;
- O tempo base do hidrograma de escoamento direto resultante de um excesso precipitação com uma dada duração é constante;
- As ordenadas de todos os hidrogramas de escoamento direto de um tempo base comum são diretamente proporcionais à quantidade total de excesso de precipitação representada por cada hidrograma;
- O princípio da superposição se aplica a hidrogramas resultantes de períodos contínuos e/ou isolados de excesso de precipitação de intensidade uniforme;
- Para uma determinada bacia hidrográfica, o hidrograma resultante de um determinado excesso a precipitação reflete as condições imutáveis da bacia. (DHI, 2017, p. 239)

Para os métodos utilizando SCS, seja adimensional ou triangular, podem ser caracterizados pela duração da precipitação unitária  $T_r$ , que resulta no hidrograma e o tempo de atraso  $T_l$  que é definido como a diferença de tempo entre o pico do evento pluviométrico unitário e o pico de escoamento. A partir disso, o tempo de pico  $T_p$  é apresentado na Equação 1.

$$T_p = \frac{T_r}{2} + T_l \quad \text{Equação 1}$$

Para a aplicação de ambos, é necessário inserir o tempo de atraso que pode ser calculado a partir da Equação 2.

$$T_l = (L * 3,28 * 10^3)^{0,8} * \frac{(1000/CN-9)^{0,7}}{(1900-Y^{0,5})} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

L é o comprimento do rio principal (em km),

CN é o Curve Number,

Y é a declividade média da bacia (em %);

Acerca da análise dos resultados, foi avaliado o coeficiente  $R^2$  para estimar a qualidade dos resultados obtidos. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) pode variar de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximo a 1, os valores simulados se comportam mais próximo aos observados. Valores acima de 0,5 podem ser classificados como satisfatórios (MORIASI *et al.*, 2007). A classificação proposta por Moriasi *et. al* (2007) é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 - Avaliação do coeficiente  $R^2$ 

<b>Avaliação</b>	<b><math>R^2</math></b>
Muito bom	0,70 – 1,00
Bom	0,50 – 0,70
Razoável	0,30 – 0,50
Ruim	<0,30

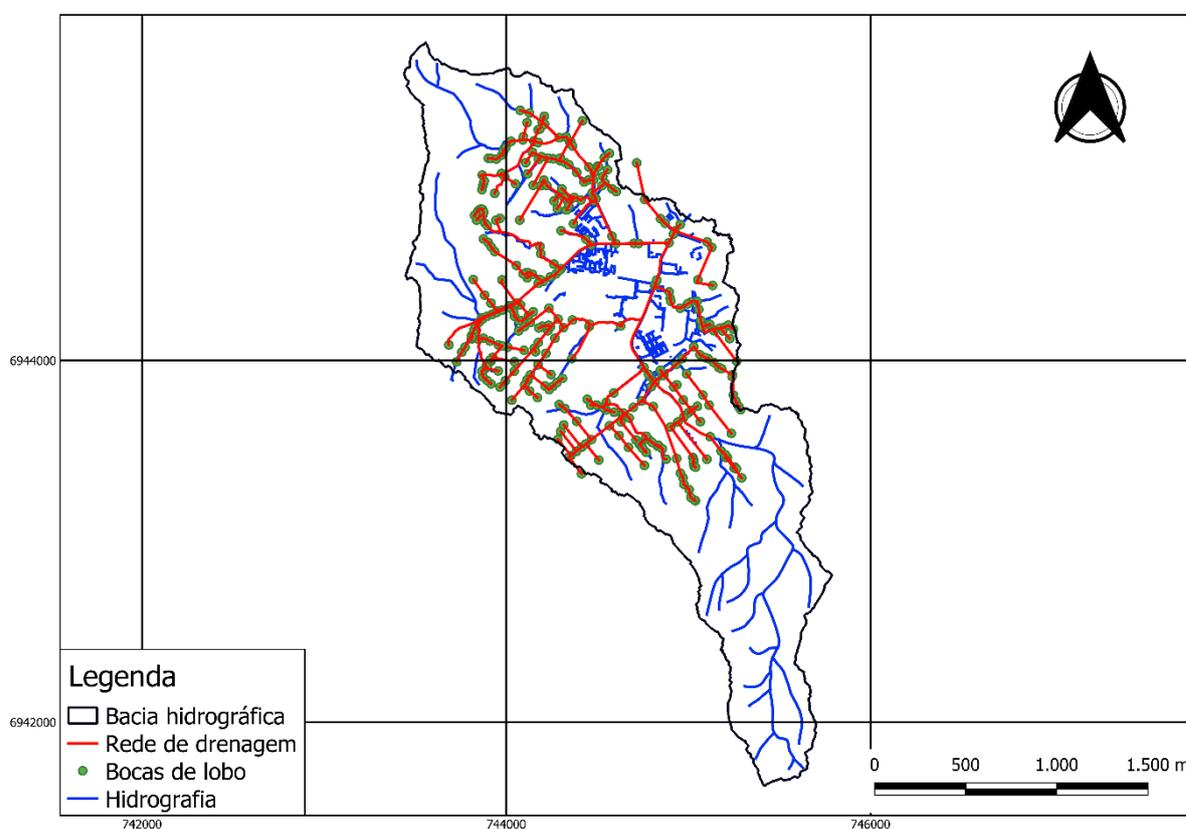
Fonte: Adaptado de Moriasi *et. al* (2007)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISE DA REDE DE DRENAGEM DA BACIA

A rede de drenagem compilada referente a bacia urbanizada do Rio do Meio conta com 364 bocas de lobo e 22,8 km de rede de drenagem, sendo 16,2 km de redes de conduto fechado e 6,6km correspondendo ao canal natural do rio, dispersas entre os bairros Trindade, Pantanal e Carvoeira, Serrinha e Córrego Grande com diâmetros variáveis entre 0,3 e 1,2 metros, podendo ser visualizados na Figura 13.

Figura 13 - Comparação da rede de drenagem com a hidrografia.



Fonte: O autor (2022).

Após a organização dos dados e inserção do modelo, se realizou a validação deles no modelo. Com os dados devidamente verificados, se fez a classificação de área contribuinte de cada boca de lobo utilizando o método de Thiessen. O resultado se encontra na Figura 14.

Figura 14 - Análise inicial dos dados utilizando método de Thiessen.



Fonte: O autor (2022)

## 5.2 ANÁLISE DOS EVENTOS DE CHUVA

Com os eventos hidrológicos inseridos no modelo, podem ser feitas algumas análises.

Para o evento 131, o hidrograma é apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Hidrograma do Evento 131.



Fonte: O autor (2022).

O Evento 131 é um evento curto, durando em torno de 40 minutos, contudo apresenta um pico de precipitação que chega a quase 10mm durante 10 minutos, o que diretamente gera uma elevação repentina do nível do rio de 15 para 130 cm.

Para o evento 350, o hidrograma é apresentado na Figura 16.

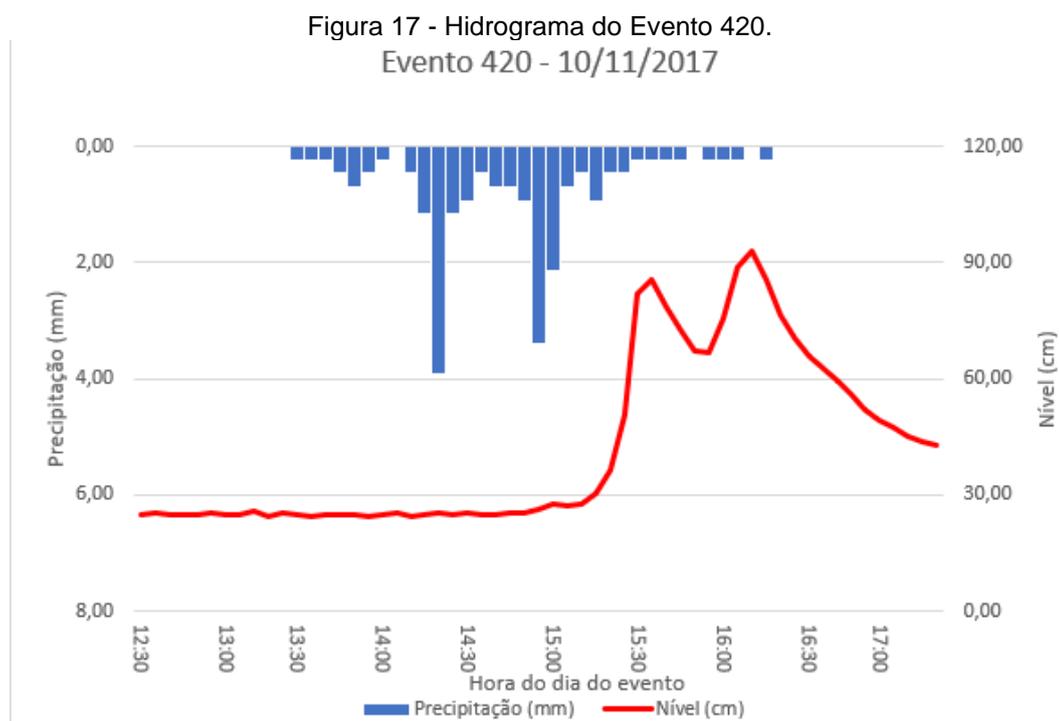
Figura 16 - Hidrograma do Evento 350.



Fonte: O autor (2022).

O Evento 350 apresenta uma longa duração, em maior parte apresentando chuvas fracas (com a precipitação medida de 0,2286mm) na maior parte do tempo, apresentado picos de chuva, com precipitações passando de 2,4 mm após as 05:40 da manhã e chegando a 3,5 mm as 8:10 da manhã, onde nesses mesmos horários é visto a elevação no nível do rio, chegando a 75 cm.

O hidrograma do Evento 420 é apresentado na Figura 17.

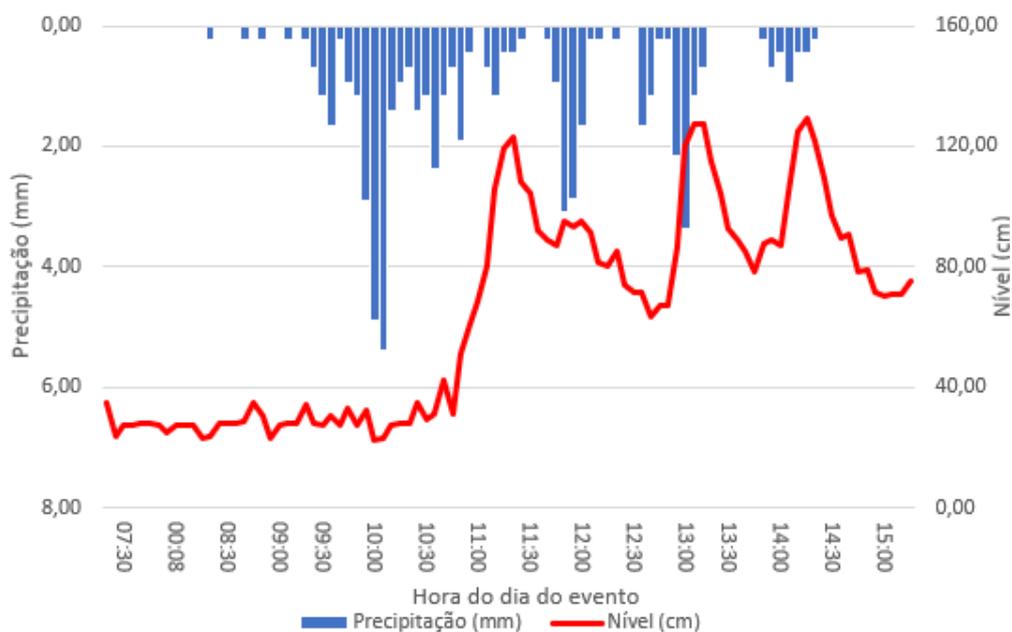


Fonte: O autor (2022).

Para o Evento 420, classificado como um evento de média duração, se percebe um comportamento um pouco diferente em relação aos eventos anteriores. Nele o pico de precipitação ocorre às 14:25, chegando a 3,8 mm e outro pico de precipitação às 15:05, contudo a elevação do nível do rio se dá apenas cerca de 1h após o primeiro pico ocorrer, chegando a 95 cm de altura.

Para o Evento 477, o hidrograma é apresentado na Figura 18.

Figura 18 - Hidrograma do Evento 477.  
Evento 477 - 09/01/2018

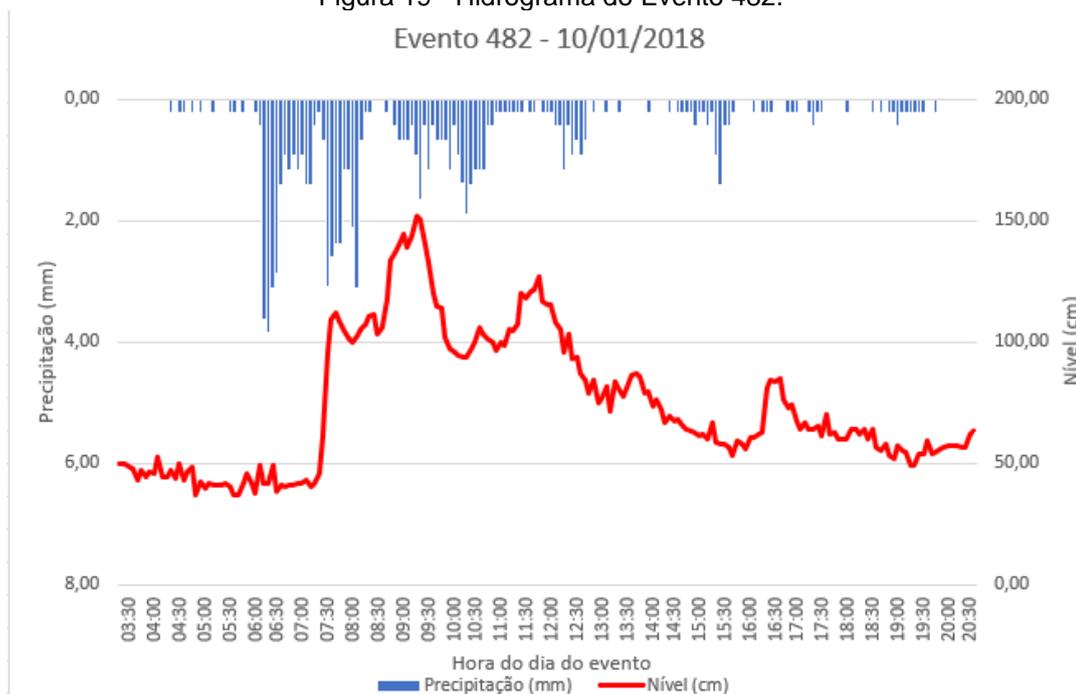


Fonte: O autor (2022).

De forma similar ao evento anterior, classificado também como um evento de média duração, o pico de precipitação ocorre antes do aumento do nível do rio. O pico se dá em torno das 10:00 chegando a pouco mais de 5 mm enquanto a elevação do nível se dá 1h após, as 11:00 atingindo 125 cm. Com a continuidade do evento, ocorrendo picos menores de vazão, chegando a 3 mm, o nível de 125 cm é novamente atingido duas vezes, as 12:50 e as 14:10.

Para o Evento 482, o hidrograma é apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Hidrograma do Evento 482.

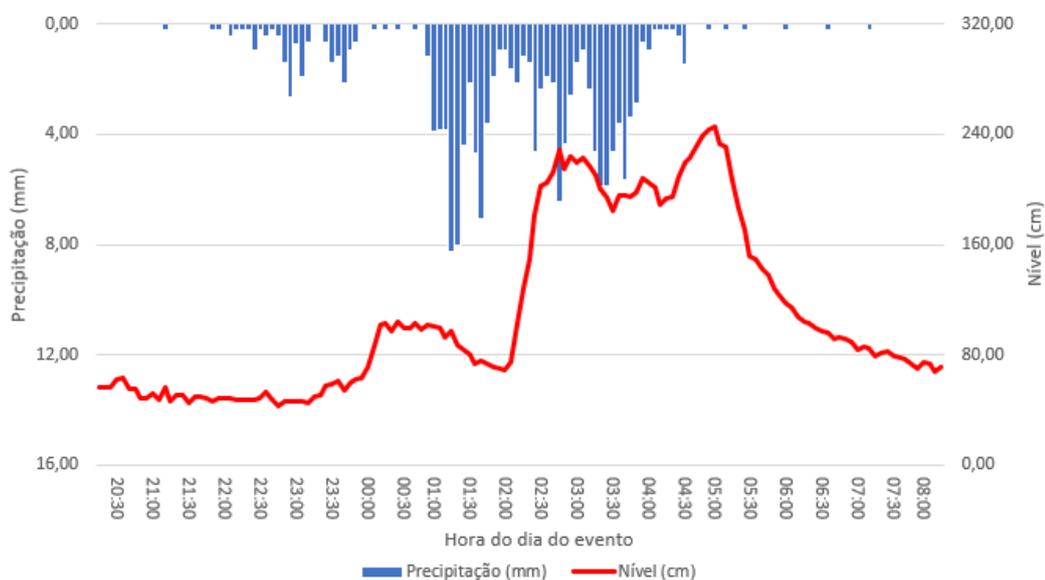


Fonte: O autor (2022).

Para o Evento 482, o evento selecionado de maior duração apresenta um pico de precipitação as 6:30, elevando o nível do rio para 110 cm, contudo devido a chuva se manter com uma intensidade maior, a cota máxima atingida para este evento chega a 150 cm as 9:00. Com a diminuição da intensidade o nível do rio diminui aos poucos, atingindo 60cm ao final do evento.

Para o Evento 483, o hidrograma é apresentado na Figura 20.

Figura 20 - Hidrograma do Evento 483.  
Evento 483 - 10/01/2018

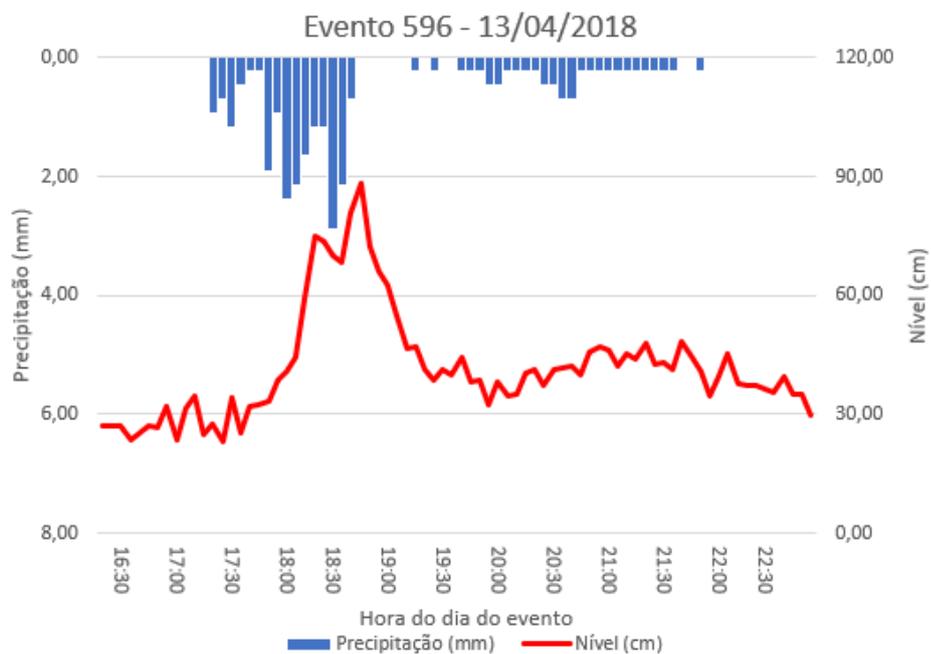


Fonte: O autor (2022).

O Evento 483 é o maior evento em relação a precipitação acumulada e de maior nível do rio observado. Nele, é observado o pico de vazão sendo de 8,2 mm às 01:00. Com a intensidade da chuva sendo mantida nas horas seguintes, o nível máximo atingido no rio é de 245 cm, ocorrendo às 05:00.

Por fim, para o Evento 596, o hidrograma é apresentado na Figura 21.

Figura 21 - Hidrograma do Evento 596.



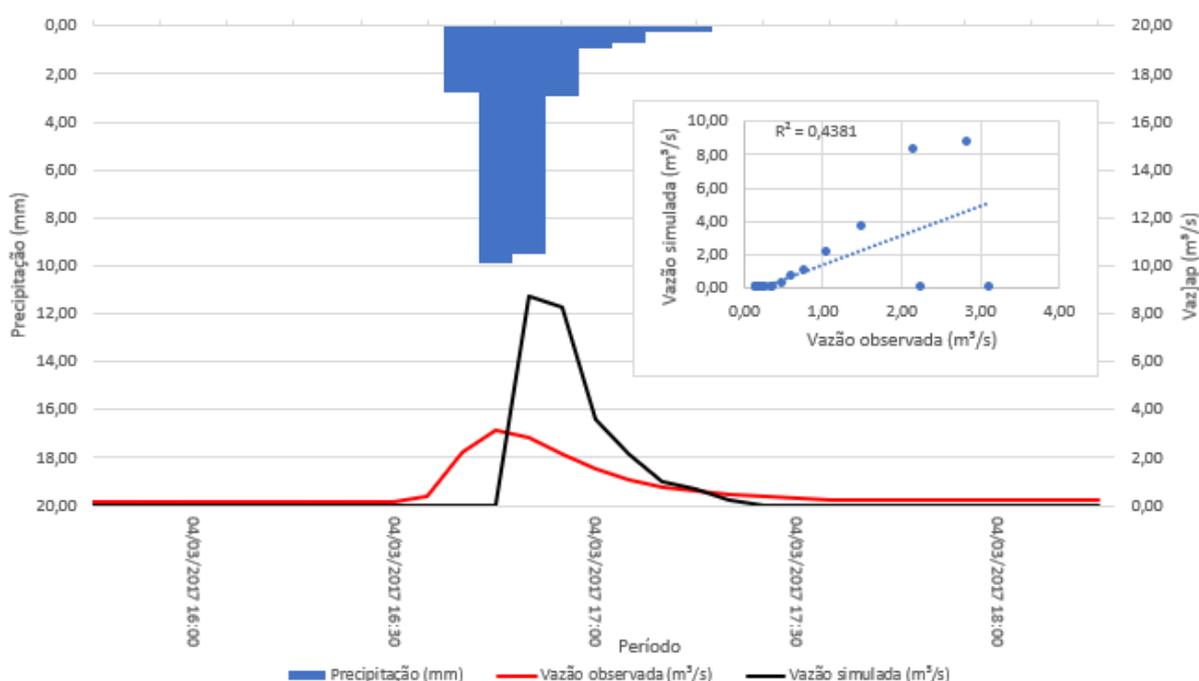
Fonte: O autor (2022).

Para o Evento 596, também de longa duração, é observado que o evento possui dois comportamentos distintos. Em um primeiro momento o evento apresenta maior intensidade, atingindo a precipitação máxima de 2,8 mm e o nível atingindo 90 cm e em um segundo momento, a chuva se mantém, contudo de forma menos intensa, não havendo precipitações superiores a 0,66 mm e o nível do rio reduz mantendo-se em torno de 40 a 50 cm.

### 5.3 MODELAGEM DOS EVENTOS DE CHUVA

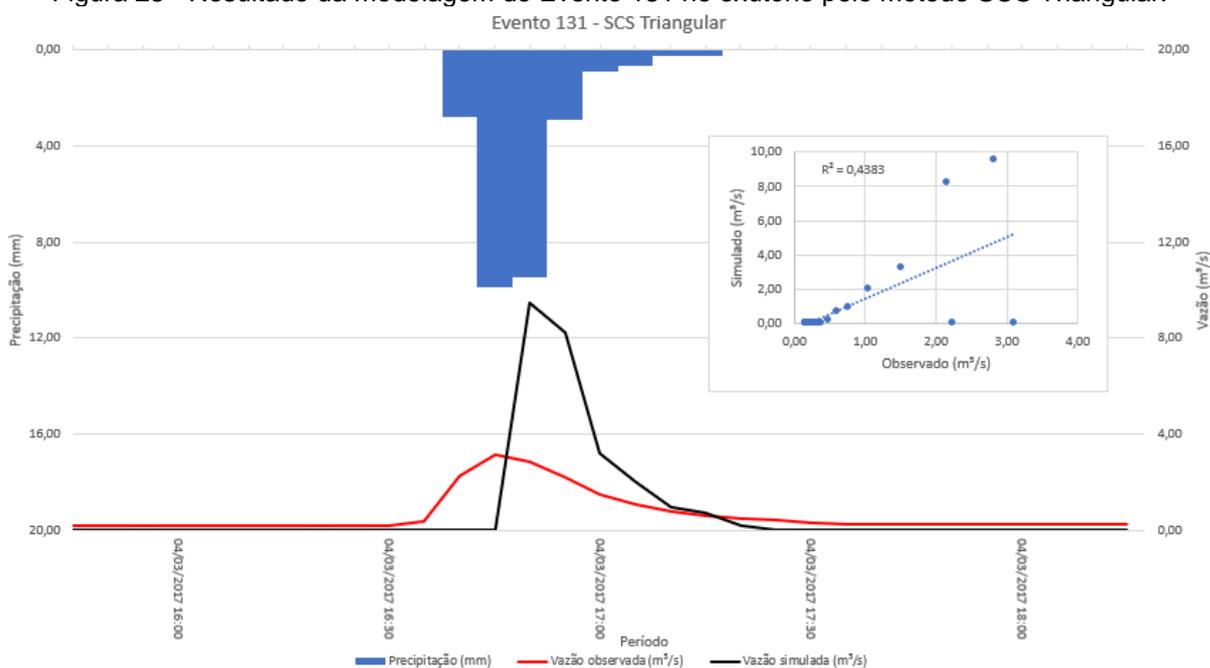
Para a realização da modelagem, se realizou a análise dos resultados utilizando os métodos SCS Triangular e SCS Adimensional para os eventos selecionados. Para o Evento 131, os resultados se encontram na Figura 26 e na Figura 27.

Figura 22 - Resultado da modelagem do Evento 131 no exutório pelo método SCS Adimensional.  
Evento 131 - SCS Adimensional



Fonte: O autor (2022).

Figura 23 - Resultado da modelagem do Evento 131 no exutório pelo método SCS Triangular.

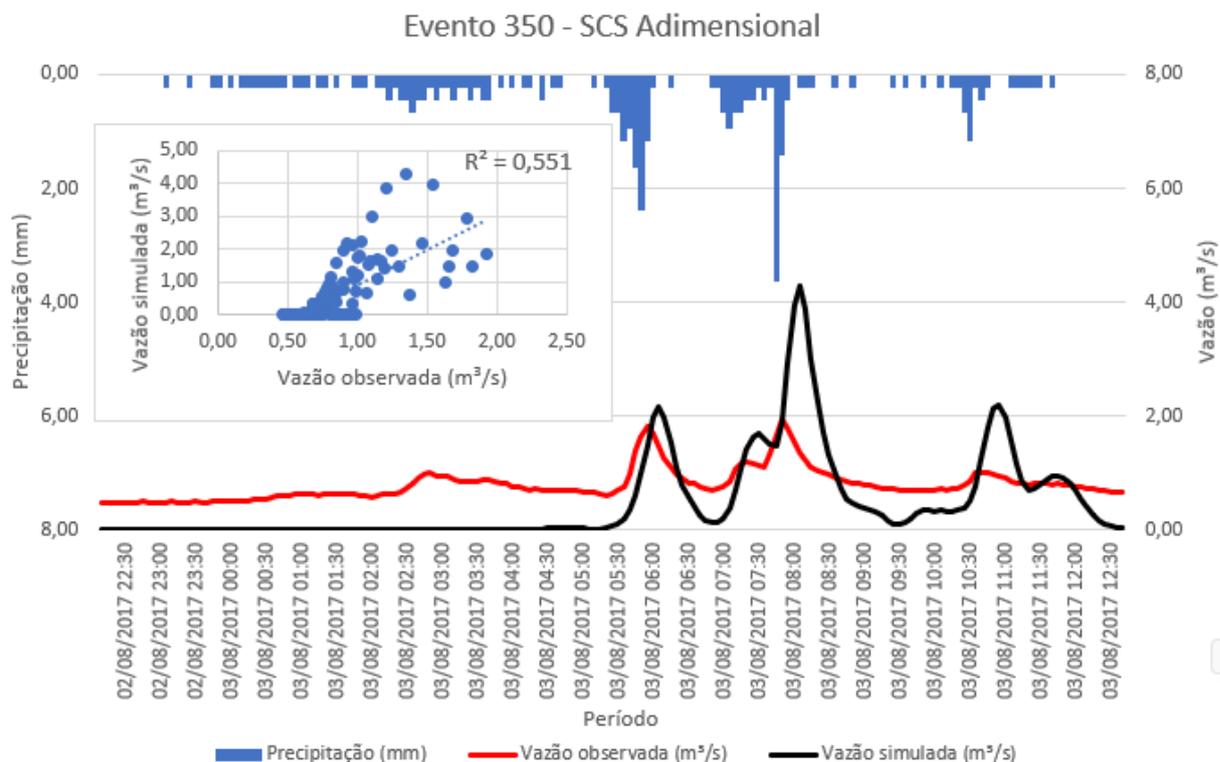


Fonte: O autor (2022).

Com base nos resultados obtidos é possível avaliar que para o método triangular, em seu pico máximo, a vazão simulada ( $9,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) obtido às 16:55h, sendo cerca de três vezes maior do que a observada ( $3 \text{ m}^3/\text{s}$ ) no mesmo horário. Referente ao método adimensional, o pico de vazão atingido no exutório foi de  $8,5 \text{ cm}^3/\text{s}$  obtida no mesmo horário do método triangular. Para ambos, o coeficiente de correlação obtido é de 0,44, o que comprova a baixa aderência do modelo ao dado real.

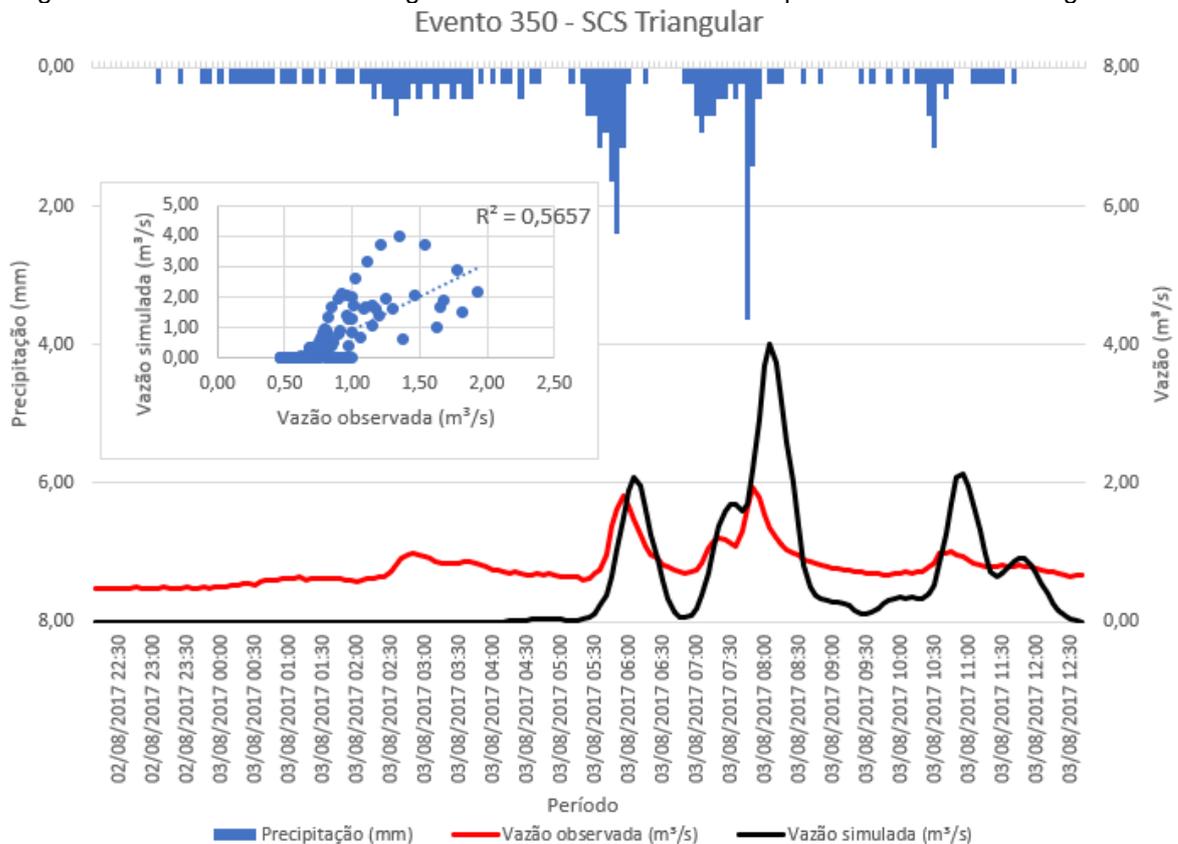
O resultado da modelagem do Evento 350 é apresentado na Figura 24 e na Figura 25.

Figura 24 - Resultado da modelagem do Evento 350 no exutório pelo método SCS Adimensional.



Fonte: O autor (2022).

Figura 25 - Resultado da modelagem do Evento 350 no exutório pelo método SCS Triangular.

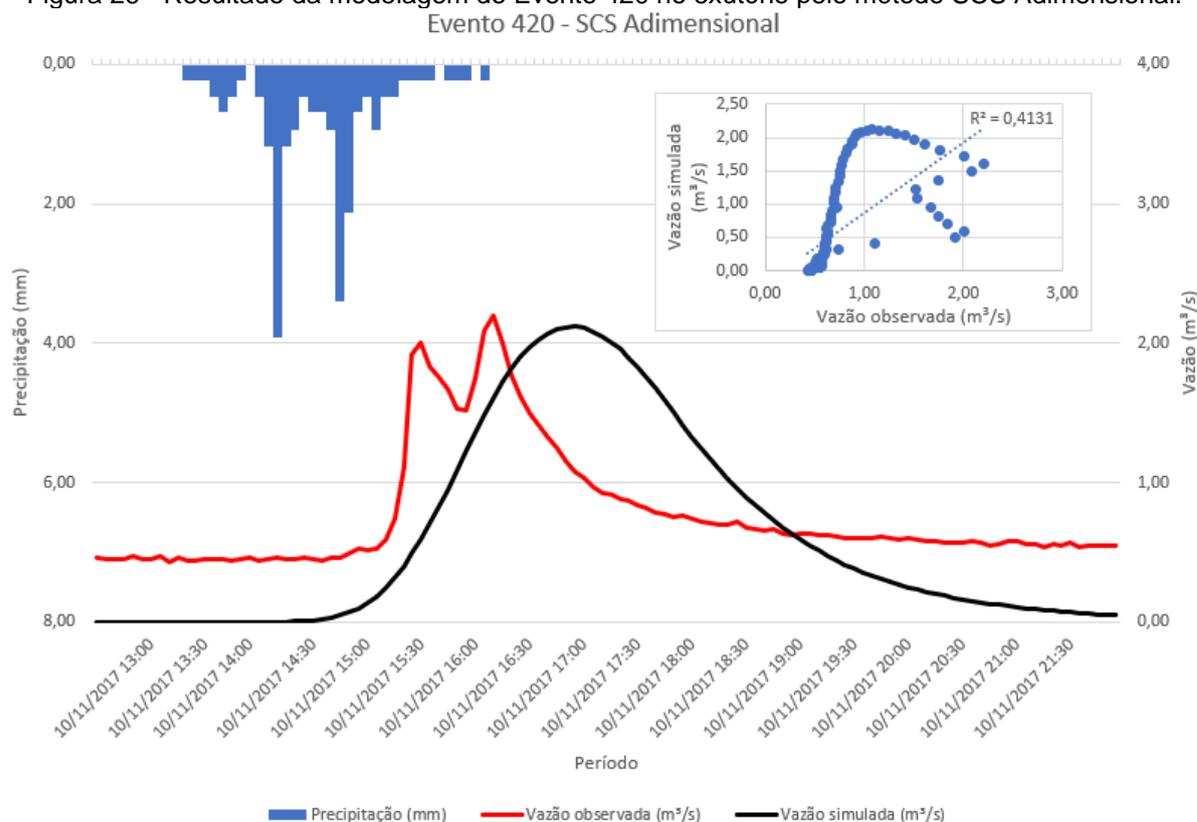


Fonte: O autor (2022).

O Evento 350 é considerado um evento longo. Ao avaliar seu comportamento em relação a modelagem se verifica que para o método adimensional, se obtém a vazão máxima de 4,2 m<sup>3</sup>/s às 08:10h e para o método triangular o valor de 4,0 m<sup>3</sup>/s no mesmo horário enquanto o dado real de vazão é de 2,0 m<sup>3</sup>/s obtido cerca de 15 minutos antes do dado simulado. Para os outros dois picos de vazão que ocorrem ao longo do evento, no primeiro, para ambos os casos a vazão simulada é próxima da vazão real, apresentando um comportamento semelhante com deslocamento e no segundo a vazão simulada (2,0 m<sup>3</sup>/s) apresenta o dobro do valor da vazão medida (1,0 m<sup>3</sup>/s). Quanto a correlação dos dados, ambos apresentaram R<sup>2</sup> semelhante, com a vantagem de 0,1 para o método SCS Triangular, apresentando a correlação R<sup>2</sup> de 0,57.

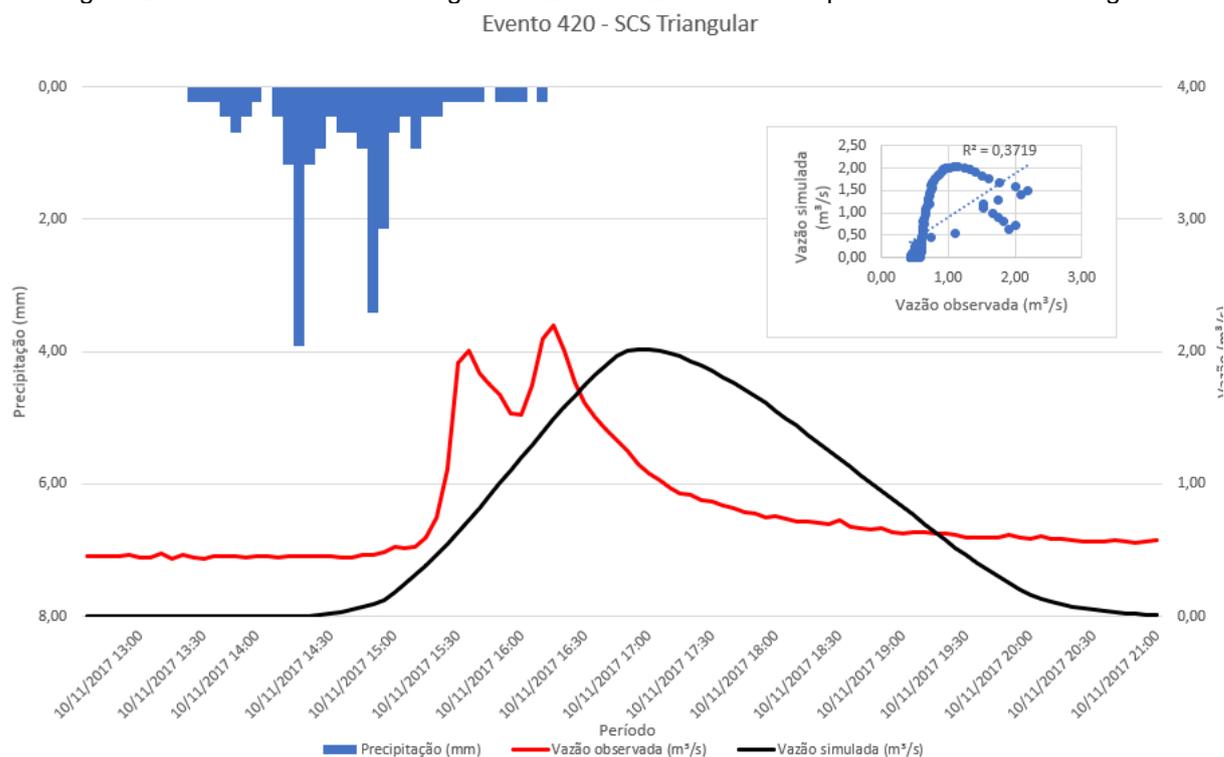
Para o Evento 420, os resultados são apresentados na Figura 26 e na Figura 27.

Figura 26 - Resultado da modelagem do Evento 420 no exutório pelo método SCS Adimensional.



Fonte: O autor (2022).

Figura 27 - Resultado da modelagem do Evento 420 no exutório pelo método SCS Triangular.



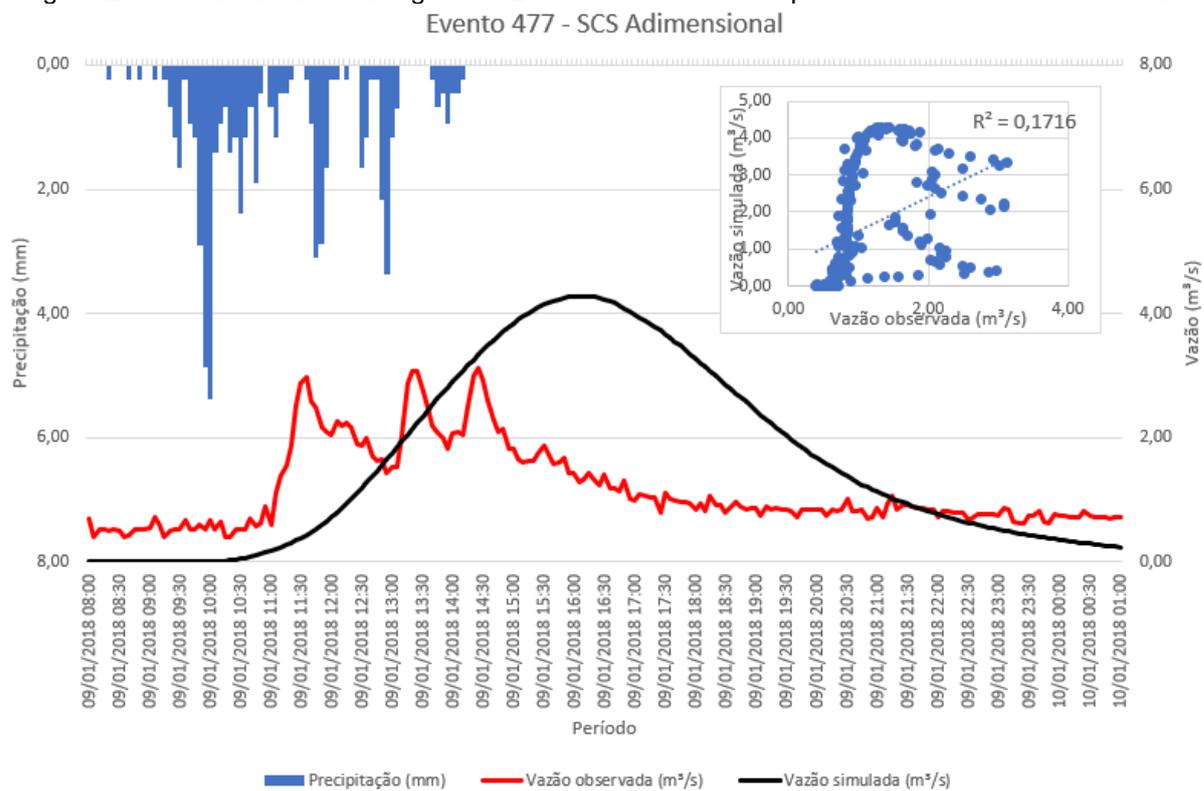
Ao avaliar o Evento 420 pelo método SCS Adimensional se percebe que o pico simulado é da mesma ordem e grandeza que o pico observado, contudo há um deslocamento da posição real. O pico é de cerca de 2,15 m<sup>3</sup>/s. Ainda, é observado que o tanto para a vazão simulada como a vazão observada, o momento em que, o valor de vazão começa a sumir é semelhante, sendo às 15h. A correlação R<sup>2</sup> entre os dados de vazão observada e simulada é de 0,41.

Para o método SCS Triangular é observado um comportamento semelhante ao anterior, contudo, é visível que o comprimento da curva obtida pelo método triangular é menor que a obtida no método adimensional. Em relação ao pico observado e simulado, o dado de vazão máxima simulada é de 2,0 m<sup>3</sup>/s, inferior ao valor de 2,15 m<sup>3</sup>/s do dado real. Ainda, é observado que durante a declive da curva, no método triangular só se atinge o valor mínimo às 21:00, enquanto no método adimensional esse valor é atingido somente às 22:00h. Para o método triangular, o coeficiente de correlação R<sup>2</sup> obtido é de 0,37.

Baseado nos dois coeficientes de correlação para o Evento 420, é verificado que o método adimensional possui uma maior aderência aos dados, cerca de 0,4 em comparação ao método triangular.

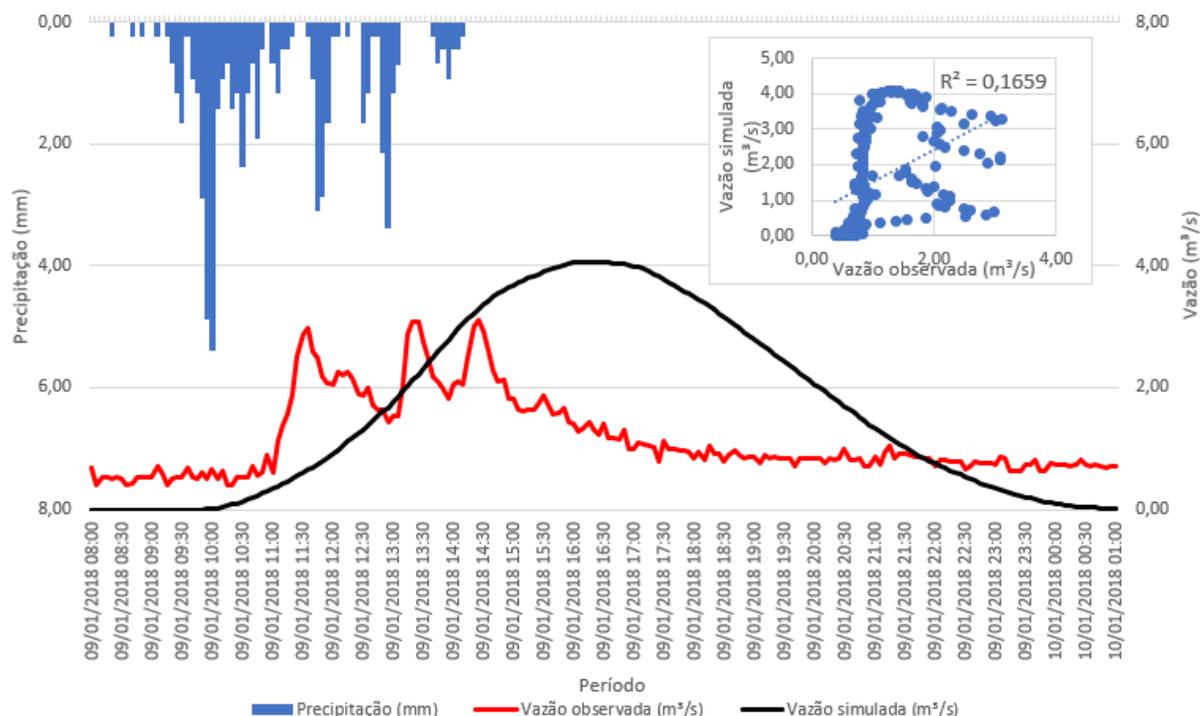
Quanto ao Evento 477, os resultados são apresentados na Figura 28 e na Figura 29.

Figura 28 - Resultado da modelagem do Evento 477 no exutório pelo método SCS Adimensional.



Fonte: O autor (2022).

Figura 29 - Resultado da modelagem do Evento 477 no exutório pelo método SCS Triangular.  
Evento 477 - SCS Triangular

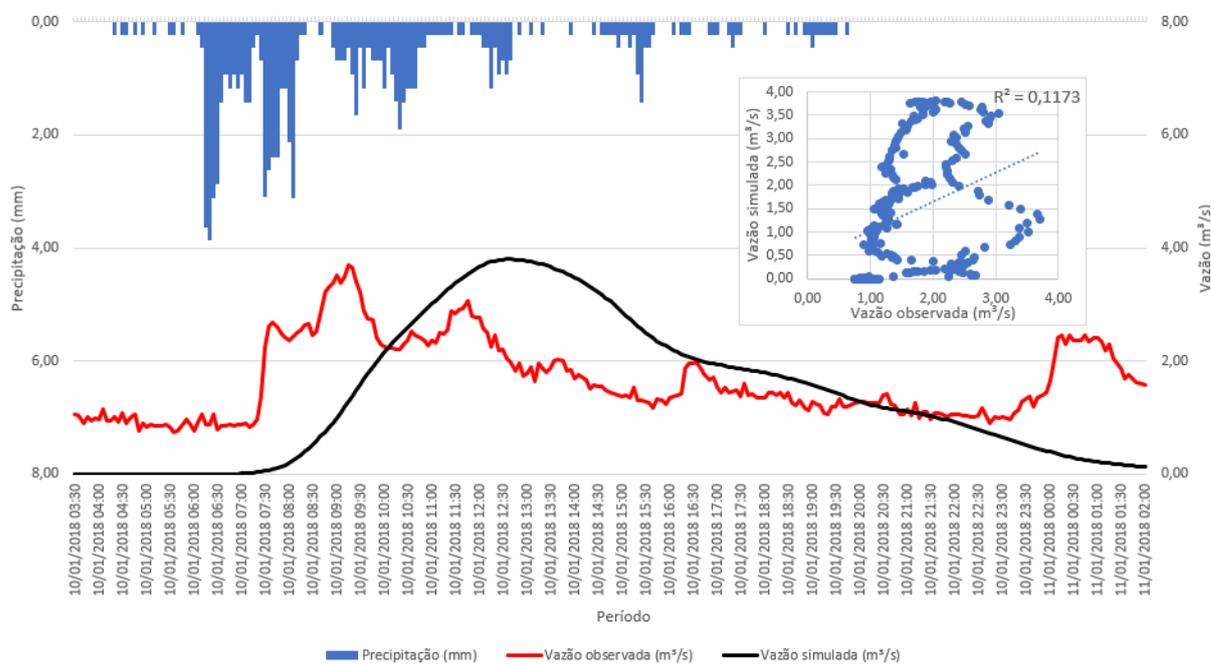


Fonte: O autor (2022).

O Evento 477 apresenta um dado simulado distante do real quando é comparado em ambos os casos, confirmado isso pelo valor de 0,17 de coeficiente de correlação dos dados de vazão reais e simulados. Para o método adimensional a vazão máxima obtida foi de 4,3 m³/s às 16:30h enquanto no método triangular se obteve a vazão máxima de 4,0 m³/s obtida às 16:05h. O dado de vazão máxima real foi obtido às 13:15h de 3,0 m³/s, corroborando a baixa aderência do modelo ao dado real.

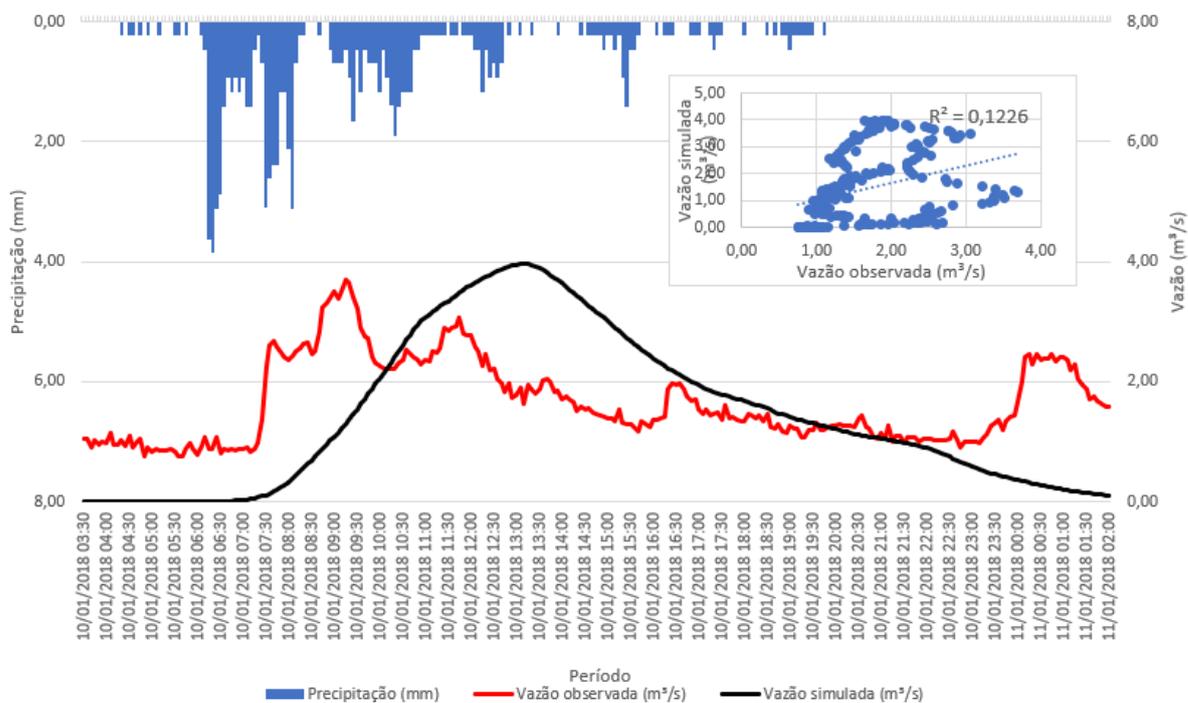
Quanto ao Evento 482, os resultados são apresentados na Figura 30 e na Figura 31.

Figura 30 - Resultado da modelagem do Evento 482 no exutório pelo método SCS Adimensional.  
Evento 482 - SCS Adimensional



Fonte: O autor (2022).

Figura 31 - Resultado da modelagem do Evento 482 no exutório pelo método SCS Triangular.  
Evento 482 - SCS Triangular

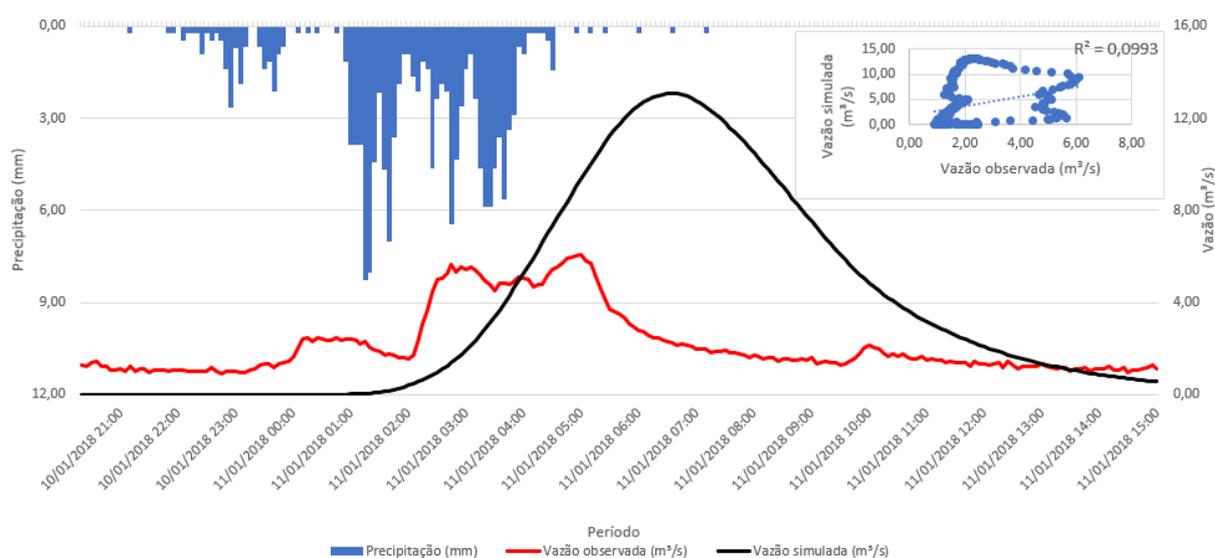


Fonte: O autor (2022).

O Evento 482, assim como o evento anterior apresenta resultados simulados não condizentes com o dado real, tendo como coeficiente de correlação  $R^2$  de 0,12 para ambos os métodos. A grande variação de precipitação do evento resulta em medidas observadas compatíveis com os dados de precipitação enquanto o dado simulado apresenta um único comportamento de aumento de vazão, até 3,8 m<sup>3</sup>/s às 12:40h para o método adimensional e de 4,0 m<sup>3</sup>/s às 13:35h para o método triangular enquanto o dado real é de 3,7 m<sup>3</sup>/s obtido por volta das 09:30h.

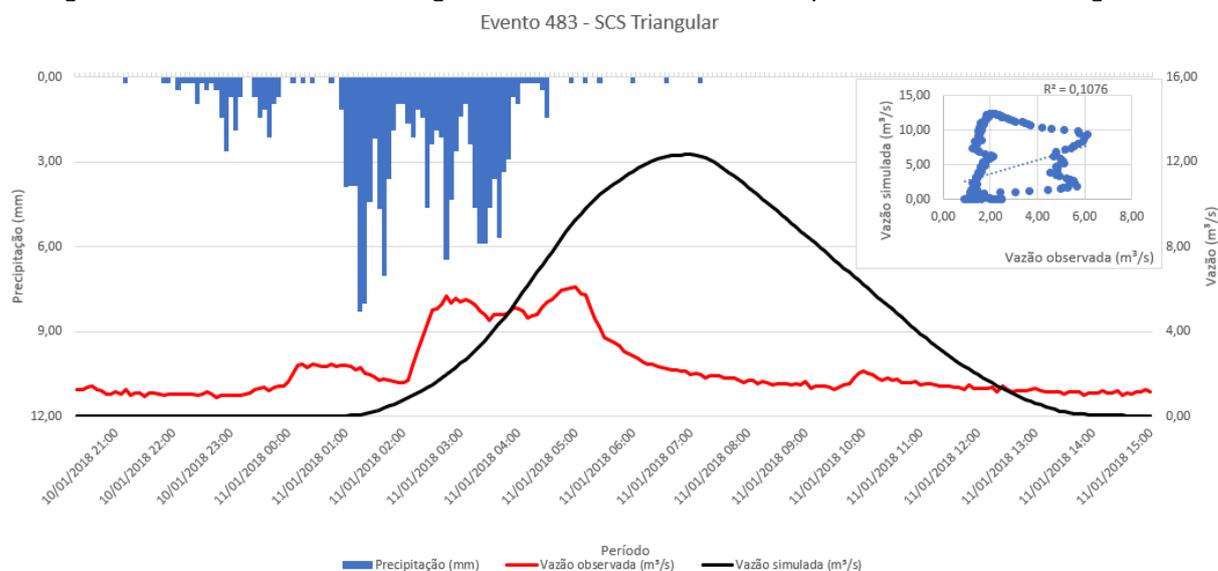
Para o Evento 483, os resultados são apresentados na Figura 32 e na Figura 33.

Figura 32 - Resultado da modelagem do Evento 483 no exutório pelo método SCS Adimensional.  
Evento 483 - SCS Adimensional



Fonte: O autor (2022).

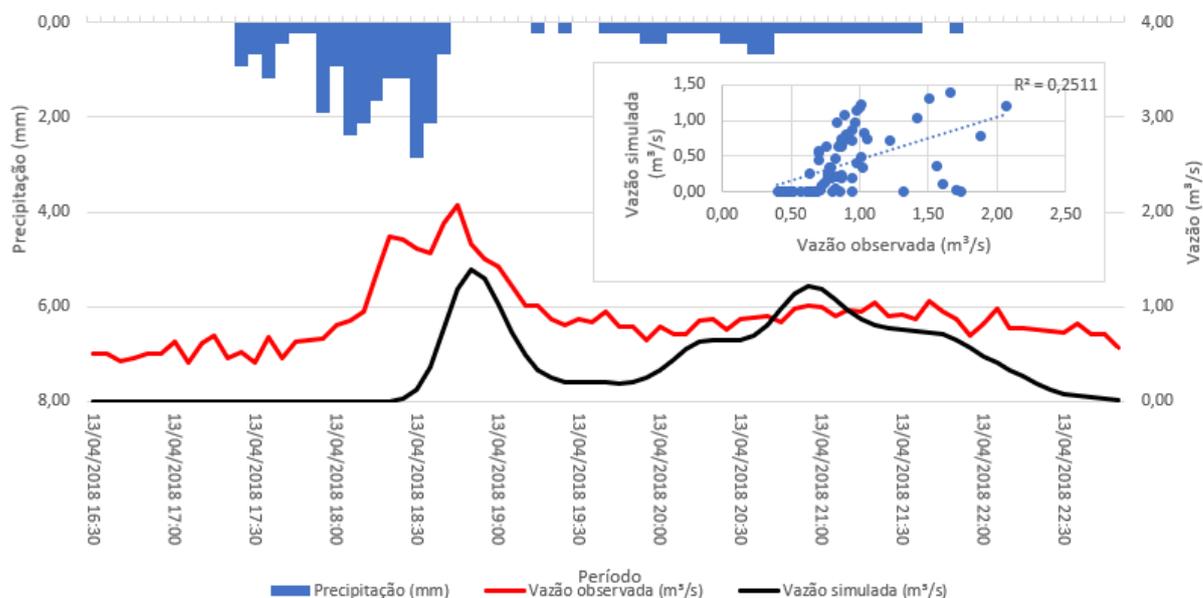
Figura 33 - Resultado da modelagem do Evento 483 no exutório pelo método SCS Triangular



O Evento 483 ocorre em menos de 2h após o Evento 482. Novamente, assim como observado nos eventos 477 e 482 a correlação dos dados obtidas em relação ao dado real é baixa, correspondente ao valor de  $R^2$  de 0,10. Em relação ao dado máximo de cada resultado, para o método adimensional, o pico de vazão obtido é de  $13,0 \text{ m}^3/\text{s}$  às 07:00h e para o método triangular se obteve a vazão máxima de  $12,0 \text{ m}^3/\text{s}$  no mesmo horário. O dado real máximo de vazão é de  $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$  obtido por volta das 05:00h. Dado os valores possuídos, é verificado que o dado simulado de vazão máxima corresponde ao dobro do dado real, além de possuir seu pico máximo deslocado do horário real.

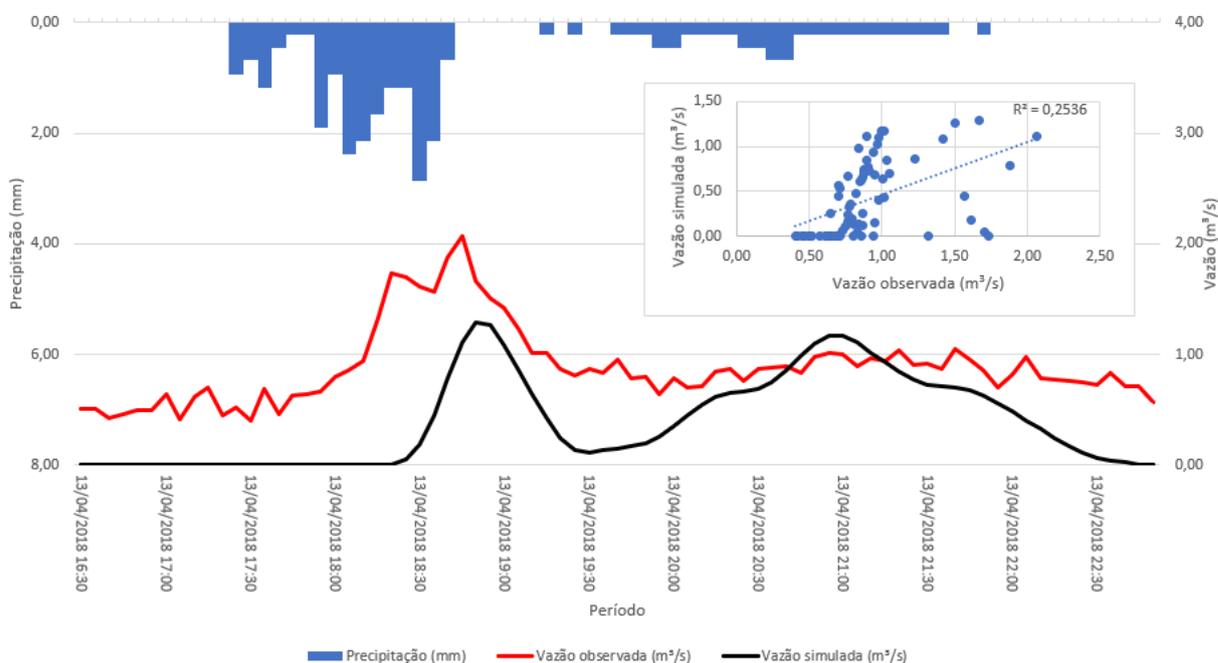
Por fim, os resultados obtidos para o Evento 596 são apresentados na Figura 34 e na Figura 35.

Figura 34 - Resultado da modelagem do Evento 596 no exutório pelo método SCS Adimensional.



Fonte: O autor (2022).

Figura 35 - Resultado da modelagem do Evento 596 no exutório pelo método SCS Triangular.



Fonte: O autor (2022).

O Evento 596 visivelmente apresenta um comportamento mais semelhante ao dado real em comparação com os outros eventos analisados, contudo seus valores de vazão são inferiores aos dados reais, apresentando o coeficiente  $R^2$  de 0,25 para ambos os métodos aplicados. No método adimensional é verificado que a vazão

máxima obtida é de 1,4 m<sup>3</sup>/s às 18:50h, no método triangular é de 1,3 m<sup>3</sup>/s no mesmo horário, enquanto o dado máximo real de vazão é de 2,0 m<sup>3</sup>/s obtido às 18:40h, 10 minutos antes do dado simulado. Posteriormente, após haver um recesso de precipitação, é observado um aumento na precipitação, principalmente às 20:35h, onde é verificado um aumento nos dados observados de vazão real. Nesse mesmo momento, o dado simulado gera um acréscimo na vazão, atingindo o valor de 1,2 m<sup>3</sup>/s para ambos os métodos, enquanto o dado real obtido é de 1,0 m<sup>3</sup>/s.

A Tabela 7 apresenta o resumo dos resultados obtidos.

Tabela 7 - Resumo dos resultados obtidos.

Evento		131	350	420	477	482	483	596	
Data		04/03/ 2017	02/08/ 2017	10/11/ 2017	09/01/ 2018	10/01/ 2018	10/01/ 2018	13/04/ 2018	
Precipitação	Acumulada (mm)	28,24	41,45	23,29	59,00	89,53	152,37	28,75	
	Máxima (mm)	9,88	3,63	3,91	5,38	3,86	8,28	2,87	
	Intensidade (mm/h)	42,36	3,23	8,22	9,83	5,87	15,11	6,27	
	Duração	00:40	12:50	02:50	06:00	15:15	10:05	04:35	
Dado real		Qp (m <sup>3</sup> /s)	3,00	2,00	2,15	3,10	3,70	6,00	2,10
		Horário	16:50	07:55	16:10	13:15	09:30	05:00	18:40
Dado simulado	SCS Triangular	Qp (m <sup>3</sup> /s)	9,50	4,00	2,00	4,00	4,00	12,00	1,30
		Horário	16:55	08:10	17:00	16:30	13:35	07:00	18:50
		R <sup>2</sup>	0,4383	0,5657	0,3719	0,1659	0,1226	0,1076	0,2536
	SCS Adimensional	Qp (m <sup>3</sup> /s)	8,50	4,20	2,15	4,30	3,80	13,00	1,40
		Horário	16:55	08:10	17:00	16:05	12:40	07:00	18:50
		R <sup>2</sup>	0,4381	0,5510	0,4131	0,1716	0,1173	0,0993	0,2511

Fonte: O autor (2022).

Ao avaliar os resultados compilados pode se observar que o Evento 350 apresentou os melhores resultados em relação ao coeficiente R<sup>2</sup>. Ainda, os eventos 420 e 482 apesar de apresentarem resultados R<sup>2</sup> abaixo de 0,40 apresentaram valores simulados similares ao dado medido em campo. Percebe-se também que o evento 131 apresentou os dados mais distantes do real, cerca de três vezes. Por fim se observa que o Evento 483 apresentou a pior correlação dos dados entre os eventos simulados. Pode ser visto também que o Evento 596 foi o único que apresentou um comportamento diferente em relação aos demais eventos, tendo seu dado simulado foi inferior ao dado real.

Em estudos anteriores, como o realizado por Wu (2019) utilizando o SWMM, em termos gerais, seus resultados referentes ao comportamento do escoamento superficial apresentaram resultados mais adequados aos valores observados, havendo algumas variações referentes a deslocamento da curva ou o dado de vazão máxima simulada é inferior ao dado real. Ainda, três de seus oito eventos apresentaram resultados de correlação  $R^2$  superiores a 0,8 e os demais apresentaram dados inferiores a 0,35. Mulungo (2012) avaliou o escoamento superficial da bacia do Rio do Meio para dois eventos utilizando o modelo HEC-HMS e obteve resultados muito satisfatórios, atingindo valores de correlação superiores a 0,90.

## **6 CONCLUSÃO**

A partir de uma análise geral dos dados simulados, se verifica que os eventos 477, 482 e 483 apresentaram uma baixa aderência, inferior a 0,30, tendo o evento 483 com a pior aderência em relação aos demais, de 0,10. Apesar de em geral todos os resultados apresentarem valores de  $R^2$  semelhantes, é observado que em cinco dos 7 eventos analisados se verificou uma melhor resposta do método SCS Triangular. O

melhor resultado de correlação obtido foi de 0,56 para o evento 350. Ambos os eventos 131 e 420 apresentaram a correlação mediana, em torno de 0,40.

Apesar de não ser possível a obtenção de dados satisfatórios, foi possível verificar o comportamento do modelo para uma variedade de eventos, em termos de intensidade e duração e disso, pode se constatar que para eventos onde há uma distribuição de precipitação como observada no evento 596, o comportamento da curva simulada é semelhante ao comportamento da curva real, apesar da diferença dos dados. Para os eventos onde houve baixa correlação é verificado que o pico de vazão simulada se deu em período posterior ao pico do evento de chuva. Para o evento 350, onde se obteve a maior correlação entre os dados simulados e os dados reais é observado que o comportamento do dado simulado é semelhante ao dado real, contudo, o dado de pico simulado obtido corresponde ao dobro do dado real.

Baseando se nos resultados obtidos, recomenda-se para análises futuras a calibração do modelo, de forma a possibilitar a garantir a qualidade dos dados obtidos e possibilitar uma análise mais profunda da bacia, permitindo obter resultados mais assertivos e que representem situações observadas em campo. Sobre a classificação dos eventos, outros critérios podem ser adotados, como a adoção de um tempo entre eventos maior, não apenas de 1h, como adotada para este estudo. Pode-se também realizar uma análise de sensibilidade, avaliar outros métodos para a realização da simulação hidrológica, tanto novamente com o uso do MIKE URBAN+, utilizando métodos como onda cinética, UHM com o método de Snyder ou o uso de outro *software*.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. T. de *et al.* **Avaliação das estimativas de precipitação do produto 3B43-TRMM do estado do Amazonas.** Floresta e Ambiente, v. 22, n. 3, p. 279–286, 2015.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas.** Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília. 2017.
- ARAGÃO, B. *et al.* **ANÁLISE DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FISIográficas EM BACIAS URBANAS.** 2011.
- ARAÚJO, A. S. **ANÁLISE E PROPOSIÇÃO DE MEDIDAS SUSTENTÁVEIS EM DRENAGEM URBANA NA REGIÃO DO LAGO NORTE-DF POR MEIO DE MODELAGEM HIDROLÓGICA-HIDRÁULICA.** 2018.
- BAPTISTA, M. B.; DE, N.; NASCIMENTO, O. **Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana.** 2001.
- BENDIENT, P. B.; HUBER, W. C.; VIEUX, B. E. **Hydrology and Floodplain Analysis.** 4th. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc., 2008.
- BENINI, Rubens de Miranda; MENDIONDO, Eduardo Mario. **Urbanização e impactos no ciclo hidrológico na Bacia do Mineirinho.** Floresta e Ambiente, v.22, n.2, p.211-222, 2015.
- BERTRAND-KRAJEWSKI, J.L. **Stormwater pollutant loads modelling: Epistemological aspects and case studies on the influence of field data sets on calibration and verification.** Water Sci. Technol. 2007, 55, 1–17.
- BEVEN, K. J. **Rainfall-runoff modelling.** 2012.
- Brunner, G.W., 2016b. **Hec-ras river analysis system user's manual.** US Army Corps of Engineers—Hydrologic Engineering Center , 1–962.
- CABRAL, S. L. *et al.* **INTEGRAÇÃO DO SIG, HEC/HMS E HEC/RAS NO MAPEAMENTO DE ÁREA DE INUNDAÇÃO URBANA: APLICAÇÃO À BACIA DO RIO GRANJEIRO-CE.** 2016. Disponível em: <<http://www.funceme.br>>. Acesso em: 02 de maio de 2022.
- CHAFFE, P. L. B. **MONITORAMENTO E MODELAGEM DO PROCESSO CHUVA-VAZÃO DE UMA PEQUENA BACIA FLORESTAL COM ÊNFASE EM INTERCEPTAÇÃO.** 2009.
- CHRISTOFIDIS, Demetrios; ASSUMPÇÃO, Rafaela dos Santos Facchetti Vinhaes; KLIGERMAN, Débora Cynamon. **A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza.** Saúde em Debate [online]. 2019,

v. 43, n. spe3 [Acessado 15 Março 2022] , pp. 94-108. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0103-11042019S307>>.

DHI. **MIKE 1D Reference Manual**. 2017.

DHI. **MIKE 2022 MIKE+ Collection System User Guide**. 2022.

Dunkerley, D. **Rain event properties in nature and in rainfall simulation experiments**: a comparative review with recommendations for increasingly systematic study and reporting. *Hydrological Processes* 22, pp. 4415 - 4435. 2008.

ESTADOS UNIDOS. USACE. **HEC-HMS**. US Army Corps of Engineers. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/features.aspx>. Acesso em: 09 maio 2022.

ESTADOS UNIDOS. USACE. **HEC-RAS**. US Army Corps of Engineers. Disponível em: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/features.aspx>. Acesso em: 09 maio 2022.

ESTADOS UNIDOS. US EPA. **HEC-RAS**. US Environmental Protection Agency. **Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1**. 2015.

ESTADOS UNIDOS. USGS. United States Geological Survey. **O Ciclo d'água**. 2017. Disponível em: <https://www.usgs.gov/media/images/o-ciclo-dagua-water-cycle-portuguese>. Acesso em: 09 maio 2022.

FAN, F. M.; PONTES, P.R.M; PAIVA, R.C.D.; COLLISCHONN, W. **Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial das equações de Saint-Venant**. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 4, p. 137-147. 2014.

FINOTTI, A. (org) CAPRARIO, J.; SANTANA, P. L.; WU, F. K.; MONTEIRO, P. C. S. **Cadastro Técnico de Drenagem de águas pluviais do município de Florianópolis**: Mapa da abrangência e caracterização da rede de drenagem. 1. ed. Florianópolis: Lautec/UFSC Publicações, 2021. 1 mapa, colorido. Escala 1:45.000.

FREIRE SOUZA, C.; SOUZA GONÇALVES, L.; AVRUCH OLDENFUM, J. **Plano Integrado de Sistemas de Drenagem Urbana**. Porto Alegre, 2007.

FRITZEN, Maycon; BINDA, Andrey Luis. **Alterações no ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente**. *Revista eletrônica Ateliê Geográfico*, v.5, n. 3, p. 239-254, dez.2011.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações básicas para drenagem urbana**. Belo Horizonte: FEAM, 2006. Disponível em: <<http://www.feam.br/images/stories/arquivos/Cartilha%20Drenagem.pdf>>. Acesso em: 01 de maio de 2022.

GARCIA, J. F. da C. *et al.* **CARACTERIZAÇÃO DOS EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO NO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO**. 2011.

GARCIA, J.I.B. **Monitoramento hidrológico e modelagem da drenagem urbana da bacia hidrográfica do Arroio Cancela**. Dissertação de Mestrado da Universidade Federal de Santa Maria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria, RS: UFSM, 2005.

GÓES, V. C. **Simulação Hidrológico-Hidrodinâmica Integrada ao Geoprocessamento para Avaliação da Macrodrenagem em Centros Urbanos**. 2009.

HENRIQUE, J. *et al.* **IDENTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS EVENTOS DE INTERCEPTAÇÃO EM UMA BACIA COBERTA POR FLORESTA OMBRÓFILA MISTA**. 2015.

HELMI, N. R.; VERBEIREN, B.; WIRION, C.; GRIENSVEN, A. V.; WEERASINGHE, I.; BAUWENS, W. **WetSpaUrban. An Adapted Version of WetSpa-Python, A Suitable Tool for Detailed Runoff Calculation in Urban Areas**. *Journal Water*, 2019, v.11, n. 12, 2460.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. **Banco de Dados Agregados**. 2010. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/> >. Acesso em 02 de maio de 2022.

KEMERICH, P. D. da C. *et al.* **Diferentes usos e ocupação em uma bacia hidrográfica infiltração e escoamento superficial**. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 37, n. 2, p. 75–88, 2014.

Kidder SQ, HaarTHV. **Satellite meteorology: an Introduction**. San Diego: Academic Press; 1995.

KIPPER, A. **COMPARATIVO DE CUSTOS NO DIMENSIONAMENTO UTILIZANDO SISTEMAS DE DRENAGEM TRADICIONAL (HIGIENISTA), E COMPENSATÓRIA COM MICRORRESERVATÓRIOS**. 2015. Acesso em: 01 de maio de 2022.

LÅGEIDE, H.; KAMPENHAUG, S. F. **Separering av fellessystem i Hommelvik**. 2022.

MATOS, J. S. **Aspectos Históricos a Actuais da Evolução da Drenagem de Águas Residuais**. Lisboa, Portugal: Instituto Superior Técnico. 2003. Acesso em: 09 de maio de 2022.

MIKOVITS, C.; RAUCH, W.; KLEIDORFER, M. **Dynamic in Urban Development, Population Growth and their Influences on Urban Water Infrastructure**. *Journal of Hydrology*, 2014, v. 70, pp. 1147-1156.

MOREIRA, I. Adilson; MINE, M.R. Moro; PEREIRA FILHO, A.J.. **Modelagem hidrológica chuva-vazão com dados de radar e pluviômetros**. *Ingeniería del Agua*, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 83, 1 mar. 2007. Universitat Politecnica de Valencia. <http://dx.doi.org/10.4995/ia.2007.2904>.

MORIASI, D. N. et al. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. Transactions of the ASABE - American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 50, n. 3, p.885-900, 2007

MOTA, S. **Gestão ambiental de recursos hídricos**. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2008.

MULUNGO, Hermínio Elias. **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, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/100556/308806.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 09 jul. 2022.

NOBREGA, P. V. de M.; GRANDE, C. **ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM DE CAMPINA GRANDE/PB PARA PROTEÇÃO DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO**. 2012.

OLIVEIRA, G. M. **SOFTWARE PARA ANÁLISE DE INCERTEZAS NO MODELO HIDRODINÂMICO HEC -RAS**. 2021.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P.; MASSIGNAN, A.M.; PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R.; VALCI, F.V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002.

PARANÁ. SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL. **MANUAL DE DRENAGEM URBANA**. 2002.

PASCHOAL, R. da S. *et al.* **USOS DA ÁGUA E NECESSIDADES DE TRATAMENTO PARA CONSUMO HUMANO**. 2012.

PEDROSA, R. A. **Gestão da Produção em Foco**. Editora Poisson, 2021. v. 50.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS – PMF (Florianópolis). Secretária Municipal de Habitação e Saneamento Ambiental - SMHSA. **Plano Integrado de Saneamento Básico**. Florianópolis, 2009. 92 p.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 2020 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil**, acessado em 09 de maio de 2022 através do link: [https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-6/lclu/coverage/brasil\\_coverage\\_2020.tif](https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-6/lclu/coverage/brasil_coverage_2020.tif).

RENNÓ, D. C.; SOARES, J. V. **Modelos hidrológicos para gestão ambiental**. Relatório Técnico Parcial “Métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental”. Brasília: MCTI; INPE, 2000.

ROSA, A. F. **OS IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO SOBRE O CICLO HIDROLÓGICO NO MUNICÍPIO DE PATROCÍNIO - MG**. 2017.

ROSSMAN, L.A. **Storm Water Management Model User's Manual**. Ohio, USA: United States Environmental Protection Agency. 2012.

SALEH, M. A. *et al.* **Civil Engineering Simulation of Catchment Modelling with Info Works CS V15.0 for Urban Drainage**. Design and Analysis International Journal of Applied Engineering Research. 2016.

SANTA CATARINA. SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO SUSTENTÁVEL. Modelo Digital de Terreno de Santa Catarina. Escala 1:2000. Disponível em: < <http://sigsc.sc.gov.br/download/restricted/raster.jsp>>. Acesso em 09 de maio de 2022.

SANTANA, Paula Lidia. **MODELAGEM HIDRÁULICO-HIDROLÓGICA PARA ANÁLISE DA VAZÃO ECOLÓGICA DO RIO DO MEIO NO CAMPUS DA UFSC**. 2019. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SANTOS, F. M. dos; LOLLO, J. A. de. **Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 4, p. 663–675, 2016.

SIDDAYAO, G. P.; VALDEZ, S. E.; FERNANDEZ, L. P. **Modeling flood risk for an urban CBD Using AHP and GIS**. International Journal of Information and Education Technology. Singapore. v. 5. p. 748-753. 2015.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO. **Painel de Informações sobre Saneamento - 2020**. Brasília: SNIS, 2020. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>>. Acesso em: 03 de maio de 2022

SIANG LEOW, C. *et al.* **Application of fuzzy FMEA to hydraulic flushing gate View project Flooded Vehicles View project**. 2007. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/237416552>>. Acesso em: 02 de maio de 2022.

SILVA, V. de A. *et al.* **A UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO PARA MODELAGEM DE CENÁRIOS DE USO E PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO COLÔNIA NO LITORAL SUL DA BAHIA (BRASIL)**. 2010.

SOARES, R. G. J. *et al.* **EFFICIENCY OF THE CURVE NUMBER METHOD OF RAINWATER RETENTION**. Mercator, v. 16, n. 01, 13 jan. 2017.

SOUZA, F. P.; COSTA, M. E. L.; KOIDE, S. **Hydrological modelling and evaluation of detention ponds to improve urban drainage system and water quality**. Water (Switzerland), v. 11, n. 8, 2019.

Sukmahartati, P. **Rainwater Harvesting System Scenario Analysis on Runoff Reduction Potential in Surabaya, Indonesia: A Geospatial Analysis for Brantas Hilir Watershed**. 2018.

TSUJI, T. M. **Ferramenta de auxílio à concepção de Plano Sustentável de Macrodrenagem como instrumento de planejamento e gestão da drenagem urbana**. Documento do exame de qualificação de doutorado, programa de pós graduação em engenharia ambiental, departamento de engenharia ambiental e sanitária, Universidade Federal de Santa Catarina. 62p., 2022.

TSUJI, Thays Mitsuko. **GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ÁREA DE PLANEJAMENTO URBANO: um estudo de caso baseado em processamento digital de imagens e sensoriamento remoto**. Belo Horizonte: Puc Minas, 2020. 10 p.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. 1ª ed. Brasília, Ministério das Cidades, 2005

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 1998. Ed. Universidade /UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 668p.

TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005. 678p.

TUCCI, Carlos E. M. **Curvas de intensidade de precipitação – Duração e frequência**. 2011. Disponível em: <http://www.rhama.com.br/blog/index.php/sem-categoria/curvas-de-intensidade-de-precipitacao-duracao-e-frequencia/>. Acesso em: 06 jul. 2022.

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/gestao-das-aguas/cursos-da-agua-e-manejo-de-aguas-pluviais/caracterizacao-bacia-rio-do-meio/>. Acesso em: 31 mai. 2022.

Universidade Federal de Santa Catarina. Laboratório de Urbanismo – LabUrb. **Arruamento de Florianópolis**. 2012. Disponível em <https://laburb.paginas.ufsc.br/2019/02/21/florianopolis-edificacoes-2012/>. Acesso em: 09 mai. 2022.

Universidade Federal de Santa Catarina. Laboratório de Urbanismo – LabUrb. **Edificações de Florianópolis**. 2012. Disponível em <https://laburb.paginas.ufsc.br/2019/02/21/florianopolis-edificacoes-2012/>. Acesso em: 09 mai. 2022.

WU, F. K. **AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS E SEU IMPACTO NAS VAZÕES NA BACIA DO CAMPUS DA UFSC**. 2019.

USÓ, M. **MODELAGEM HIDROLÓGICA HEC-HMS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO**. 2020.