

MAURILIO USÓ

**MODELAGEM HIDROLÓGICA HEC-HMS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
BAURU, BAURU, SP**

Botucatu

2020

MAURÍLIO USÓ

**MODELAGEM HIDROLÓGICA HEC-HMS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO BAURU, BAURU, SP**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Barcellos Dalri

Botucatu

2020

U86m Usó, Maurilio
Modelagem hidrológica HEC-HMS da bacia hidrográfica do
Rio Bauru, Bauru, SP / Maurilio Usó. -- Botucatu, 2020
93 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Alexandre Barcellos Dalri

1. Geoprocessamento. 2. Sistema de informação geográfica.
3. Bacias hidrográficas. 4. Modelagem hidrológica. 5. Produção
de água. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MODELAGEM HIDROLÓGICA HEC-HMS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BAURU, BAURU - SP

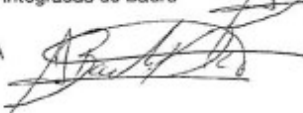
AUTOR: MAURÍLIO USÓ

ORIENTADOR: ALEXANDRE BARCELLOS DALRI

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ALEXANDRE BARCELLOS DALRI
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal - UNESP


Prof. Dr. DONIZETI APARECIDO PASTORI NICOLETE
Engenharia Civil / Faculdades Integradas de Bauru


Dr.ª YARA MANFRIN GARCIA
Bauru/SP /

Botucatu, 18 de setembro de 2020

Aos meus pais,
Manoel (in memoriam) e Neiva,
dedico.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer à Deus, pela resiliência, pela saúde e forças para dedicação ao meu trabalho.

Aos meus familiares, minha mãe e meu pai (in memoriam), minha querida esposa, meus filhos, minha nora-filha, pela ajuda e pelo apoio incondicional.

Ao Prof. Dr. Alexandre Barcellos Dalri, pela orientação, ensinamentos, muita paciência e que acreditou em minha capacidade de conclusão deste projeto.

Ao Prof. Dr. João Carlos Cury Saad, pelo incentivo e pela oportunidade em realizar essa importante etapa da minha vida profissional.

Ao Prof. Dr. Sérgio Campos, que me inseriu no estudo do geoprocessamento de bacias hidrográficas.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu/UNESP, Campus de Botucatu - SP, que tanto amo e me orgulho em pertencer como egresso, por mais esta oportunidade de aprendizado e crescimento profissional.

À Dra. Yara Manfrin Garcia por compartilhar sua experiência, pelo auxílio com seus conhecimentos e esclarecimentos e também por toda a ajuda e dedicação sem os quais não conseguiria finalizar este projeto.

Aos amigos Dr. Donizeti Nicoletti e Dr. Bruno T. Rodrigues, pela inspiração e importantíssima contribuição, além de sempre demonstrarem que o conhecimento compartilhado é que faz um grande mestre.

Aos meus amigos do Programa de Pós Graduação que me auxiliaram com seus conhecimentos e experiências no esclarecimento de muitas questões e dúvidas no decorrer desta jornada. Em especial, agradeço Jhonatan Piazzentin, Mikael Rodrigues, João Guimarães, Tiago Vicentin, Carlos Augusto, Deyver Bordin, Ícaro Monteiro Galvão, Wendel Antunes da Silva e Bruna pela amizade.

Aos funcionários e professores do Departamento de Engenharia Rural, pela atenção, ajuda prestada, pela convivência e amizade e a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

De tudo ficaram três coisas...
A certeza de que estamos começando...
A certeza de que é preciso continuar...
A certeza de que podemos ser interrompidos
antes de terminar...
Façamos da interrupção um caminho novo...
Da queda, um passo de dança...
Do medo, uma escada...
Do sonho, uma ponte...
Da procura, um encontro!

Fernando Sabino, O Encontro Marcado.

“Do rio que tudo arrasta se diz que
é violento. Mas ninguém diz:
violentas as margens que o
comprimem...”

Bertolt Brecht

RESUMO

O estudo do comportamento hidrológico das bacias hidrográficas, por meio de ferramentas de geoprocessamento e modelagem computacional, tornou-se imprescindível para a interpretação das relações chuva-vazão interligadas às características físicas das bacias. Nesse sentido, impulsionado pelo aumento do uso e ocupação solo, redução da capacidade de infiltração, aumento da impermeabilização do solo promovida pela urbanização, aliado com a crescente demanda dos recursos hídricos, o estudo e modelagem do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica é uma importante ferramenta no planejamento hídrico, bem como nos impactos ambientais. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi modelar o processo hidrológico de chuva-vazão da bacia hidrográfica do rio Bauru utilizando a ferramenta computacional HEC-HMS. Nesse estudo foi utilizada a bacia hidrográfica do rio Bauru que possui uma área de drenagem de 69,67 km². Assim, utilizando o Sistema de Informação Geográfica – SIG, elaborou-se um banco de dados digital, originando a base cartográfica para obtenção dos parâmetros necessários à modelagem hidrológica. Por meio da digitalização do mapa da bacia e a delimitação dos divisores de água, a bacia hidrográfica do rio Bauru foi dividida em doze sub-bacias. A modelagem matemática foi realizada por meio dos dados físicos da bacia e das séries históricas dos dados meteorológicos, as quais foram obtidas em quatro estações localizadas na área de drenagem da bacia. O programa computacional HEC-HMS foi empregado para estimar as perdas de precipitação e o escoamento superficial direto e subsuperficial utilizando os métodos SCS Curve Number e SCS Unit Hydrograph. A modelagem hidrológica da bacia do rio Bauru permitiu simular vazões escoadas nas sub-bacias como também no exutório da bacia. O hidrograma unitário gerado para cada sub-bacia estimou uma vazão total no ponto de controle de 384,03 m³ s⁻¹. Portanto, pode-se concluir que o modelo gerado após a caracterização da bacia hidrográfica mostrou-se uma ferramenta adequada para a simulação e previsão de cenários para apoio à tomada de decisões na gestão dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Caracterização fisiográfica. Geoprocessamento. Análise morfométrica. produção de água.

ABSTRACT

The study of the hydrological behavior of hydrographic basins, through geoprocessing tools and computational modeling, has become essential for the interpretation of rainfall-flow interconnections linked to the physical characteristics of the basins. In this sense, driven by increased land use and occupation, reduction of water infiltration capacity, increased soil waterproofing promoted by urbanization, combined with the growing demand for water resources, the study and modeling of hydrological behavior of the hydrographic basin is an important tool in water planning strategies, as well as in environmental impacts. In this context, the objective of this study was to model the hydrological process of rain-flow of the Bauru River basin using the computational tool HEC-HMS. In this study, the Bauru river basin was used, which has a drainage area of 69.67 km². Thus, using the Geographic Information System - GIS, a digital database was elaborated, originating the cartographic basis to obtain the parameters necessary for hydrological modeling. By digitizing the basin map and delimiting the water dividers, the Bauru river basin was divided into twelve sub-basins. The mathematical modeling was performed using the physical data of the basin and the historical series of meteorological data, which were obtained in four stations located in the drainage area of the basin. The HEC-HMS computational program was used to estimate precipitation losses and direct and subsurface surface runoff using the SCS Curve Number and SCS Unit Hydrograph methods. The hydrological modeling of the Bauru river basin allowed simulating flows flowed in the sub-basins as well as in the exutory of the basin. The unit hydrogram generated for each sub-basin estimated a total flow rate in the exutory of 384.0.3 m³ s⁻¹. Therefore, it can be concluded that the model generated after the characterization of the hydrographic basin proved to be an adequate tool for the simulation and prediction of scenarios to support decision-making in the management of water resources.

Keywords: Physiographic characterization. Geoprocessing. Morphometric analysis. Water production.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Bauru	33
Quadro 1 - Cartas topográficas planialtimétricas utilizadas.....	35
Figura 2 - Mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Bauru.....	36
Quadro 2 - Descrição e localização das estações pluviométricas utilizadas no projeto de pesquisa.....	38
Figura 3 - Fluxograma das etapas dos procedimentos metodológicos utilizados na modelagem por meio do programa HEC-HMS	39
Figura 4 - Mosaico das cartas planialtimétricas e delimitação da área de estudo....	41
Quadro 3 - Classes de declividade e relevo	42
Figura 5 - Planialtimetria da bacia hidrográfica do rio Bauru	43
Figura 6 - Composição da imagem do satélite Sentinel-2	45
Quadro 4 - Intervalo de valores para interpretação	47
Quadro 5 - Intervalo de valores para densidade de drenagem	47
Quadro 6 - Classificação da densidade hidrográfica de bacias.....	48
Quadro 7 - Intervalo de valores para classificação da razão do relevo	51
Quadro 8 - Intervalo de valores para classificação de razão de textura	51
Quadro 9 - Valores do CN para bacias com ocupação agrícola.....	53
Quadro 10 - Valores do CN para bacias com ocupação urbana	54
Figura 7 - Mapa pedológico da bacia hidrográfica do rio Bauru	59
Figura 8 - Perfis de solos da bacia hidrográfica do rio Bauru	60
Figura 9 - Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Bauru	62
Figura 10 - Perfil topográfico da bacia hidrográfica do rio Bauru.....	63
Figura 11 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Bauru.....	64
Figura 12 - Mapa do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Bauru....	66
Figura 13 - Subdivisão da bacia hidrográfica do rio Bauru	70
Figura 14 - Área de influencia de cada estação	72
Figura 15 - Esquema do componente elaborado no HEC-HMS denominado Modelo de Bacia (<i>Basin Model</i>).	76
Figura 16 - Elementos receptores e condutores da água na área de interesse.	77
Figura 17 - Alguns pontos de alagamento durante o evento de 21/02/2020	78
Figura 18 - Hietograma das vazões encontradas no ponto de controle	79
Figura 19 - Hietograma das vazões encontradas em cada sub bacia.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes geológicas da bacia hidrográfica do Rio Bauru	35
Tabela 2 - Classes de solos da bacia hidrográfica do Rio Bauru	57
Tabela 3 - Caracterização das classes de altitude da bacia hidrográfica	61
Tabela 4 - Caracterização das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Bauru.....	63
Tabela 5 - Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Bauru	65
Tabela 6 - Características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Bauru	67
Tabela 7 - Parâmetros calculados por sub-bacias hidrográficas	68
Tabela 8 - Relação ao uso do solo e os valores de CN	71
Tabela 9 - Porcentagem da área de influencia de cada estação.....	73
Tabela 10 - Estimativas de máximas precipitações (mm)	73
Tabela 11 - Dados de precipitação observados no evento de 21 de fevereiro de 2020 das estações utilizados no modelo.....	74
Tabela 12 - Parâmetros em relação aos trechos para aplicação do modelo.....	77
Tabela 13 - Resultados da simulação do evento de 21/2/2020.....	82
Tabela 14 - Parâmetros de simulação do modelo chuva-vazão da bacia do rio Bauru.....	83
Tabela 15 - Valores de vazão específica das sub-bacias do rio Bauru	84

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	Aspectos hidrológicos.....	23
2.1.1	A Água e os processos hidrológicos.....	23
2.2	Bacias hidrográficas	24
2.3	Sensoriamento Remoto.....	25
2.4	Geoprocessamento	26
2.5	Modelos hidrológicos.....	27
2.6	Modelos Precipitação-Vazão.....	28
2.7	O Modelo HEC-HMS	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1	Material.....	32
3.1.1	Bacia do Rio Bauru: caracterização geral	32
3.1.2	Material cartográfico	34
3.1.2.1	Cartas planialtimétricas	34
3.1.2.2	Geologia	35
3.1.2.3	Solos	36
3.1.2.4	Imagens de Satélite.....	37
3.1.3	Aplicativos computacionais	37
3.1.4	Modelagem Hidrológica: dados de entrada do modelo HEC-HMS.....	37
3.1.5	Dados meteorológicos.....	38
3.2	Métodos.....	38
3.2.1	Elaboração da base de dados.....	39
3.2.1.1	Base de dados cartográficos	39
3.2.1.2	Georreferenciamento das cartas planialtimétricas	40
3.2.1.3	Mapas temáticos	40
3.2.1.4	Mapas hipsométrico e declividade.....	41
3.2.1.5	Mapa de uso e ocupação do solo.....	44
3.2.2	Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Bauru	45
3.2.2.1	Parâmetros morfométricos	46
3.2.3	Parâmetros utilizados no modelo hidrológico HEC-HMS	52

3.2.3.1	Tempo de Concentração (t_c).....	52
3.2.3.2	Cálculo da Curva Número (CN) tabelado	53
3.2.3.3	Método do Hidrograma Unitário	55
3.2.3.4	Dados meteorológicos	55
3.2.3.4	Equação de precipitações Intensas	55
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1	Caracterização física da bacia hidrográfica do Rio Bauru	57
4.1.1	Pedologia.....	57
4.1.2	Hipsometria.....	61
4.1.3	Declividade	63
4.1.4	Uso e Ocupação do solo.....	65
4.1.5	Morfometria da bacia hidrográfica.....	66
4.2	Parâmetros utilizados no modelo HEC-HMS	68
4.2.1	Subdivisão da bacia hidrográfica do rio Bauru.....	68
4.2.2	Determinação da Curva Número das sub bacias.....	70
4.2.3	Modelo meteorológico das sub bacias.....	72
4.2.4	Resultados da base de dados da equação de precipitações intensas.....	73
4.2.5	Projeto para Modelagem hidrológica da bacia do rio Bauru – HEC-HMS....	75
4.2.5.1	Modelo da bacia do rio Bauru – HEC-HMS	75
4.2.5.2	A simulação hidrológica	78
4.3	Considerações finais.....	82
5	CONCLUSÕES.....	85
	REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

A água é essencial à vida e todos os organismos vivos no planeta Terra dependem da água para sua sobrevivência. Apenas 3% de toda a água do planeta se apresenta como água doce e desses, uma pequena parte (15%) na forma líquida, como recursos hídricos disponíveis (TUNDISI, 2003).

A demanda por água vem aumentando a uma taxa de aproximadamente 1% ao ano, devido ao crescimento da população, ao desenvolvimento econômico e às mudanças nos padrões e aumento do consumo. Prevê-se que o consumo deve continuar aumentando de forma significativa nas próximas duas décadas. A demanda industrial e residencial será maior que a demanda da agricultura, mesmo essa sendo ainda a maior consumidora em termos gerais, acontecendo mais intensamente em países com economias emergentes (WWAP, 2018).

O uso de insumos e os resíduos produzidos pela agropecuária, pela indústria e nas áreas de concentração urbana, além dos processos naturais, vêm comprometendo a quantidade e qualidade da água disponível para consumo.

São vários os usos proporcionados pelos recursos hídricos, que variam desde a utilização na agricultura, na geração de energia, no transporte e recreação, dentre outros. Sendo assim, a gestão adequada dos recursos hídricos assume papel preponderante no contexto de assegurar a atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de águas em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos (TUNDISI, 2008).

O conjunto de ações que visam preservar e regular o uso das águas é definido como “gestão de recursos hídricos” e são mecanismos baseadas na legislação vigente. Gerir os recursos hídricos de forma integrada significa ter um plano estratégico para o uso sustentável da água (CBHSF, 2013).

O Brasil em 1997, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH) e instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) através da Lei n.º 9.433/97, estabelecida para regulamentar o artigo 21, inciso XIX, da Constituição Federal de 1988, que tornou-se um dos mais modernos modelos de gestão dos recursos hídricos da América Latina utilizando mecanismos econômicos para gestão da água, levando em conta o caráter federativo do país e a possibilidade

do envolvimento da sociedade no processo de tomada de decisão (BRAGA et al., 2008).

Tundisi (2003) afirma que a bacia hidrográfica tem as características essenciais de fácil caracterização e delimitação, permitindo o estudo multidisciplinar por diferentes meios de gerenciamento, ressaltando assim o uso de avançados recursos tecnológicos.

O uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) aliado aos modelos hidrológicos permite agregar a capacidade de mapear as características da bacia hidrográfica com os bancos de dados hidrológicos, realizando análises espaciais de forma rápida e eficaz (SILVA; PRUSKI, 2005).

Com a aplicação do modelo *Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) desenvolvido pelo *U.S Army Corps of Engineers* (USACE), será possível estimar a produção de água da bacia hidrográfica em estudo.

A área inicial da bacia do Rio Bauru, utilizada no estudo, está localizada no município de Bauru, SP e contempla a maior parte da área urbana. A água produzida por essa bacia passou a ser uma opção de fornecimento de água ao município após a finalização da instalação dos interceptores de esgoto em agosto de 2011, que possibilitou a despoluição do trecho urbano do rio Bauru.

O objetivo do presente trabalho foi estimar a produção de água superficial na porção inicial da bacia do Rio Bauru, por meio do modelo HEC-HMS, utilizando ferramentas de geoprocessamento para caracterização física da área e obtenção dos parâmetros necessários para possibilitar a modelagem com maior precisão.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos hidrológicos

2.1.1 A Água e os processos hidrológicos

A água doce, como elemento vital aos seres vivos, vem se tornando cada vez mais escassa devido aos hábitos de consumo e interferência do homem nos ecossistemas. Apesar de ser uma substância abundante e sua quantidade ser a mesma desde os tempos mais remotos, a poluição, principalmente, tem afetado a qualidade da água doce de consumo, tornando mais onerosos os processos de captação e tratamento (RIBEIRO, 2014).

Conforme o relatório de Desenvolvimento Humano do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (ONU, 2006), mais de 1 bilhão de pessoas no mundo ainda não tem acesso à água potável, ocasionando limitação de suas escolhas e liberdades, aumentando a incidência de doenças, a pobreza e a vulnerabilidade, mostrando que a crise da água perpetua as desigualdades.

O desenvolvimento da humanidade sempre esteve mais ligado e influenciado pela água do que com a terra de onde conseguiam seu sustento. As relações entre a escassez e o excesso de água vêm se agravando com a ocupação desordenada das bacias e suas consequências tem se mostrado cada vez mais severas (LIMA, 2008).

Constatou-se que a falta de água limpa é responsável pela morte de mais de 1,8 milhão de crianças, e também que morrem mais pessoas por causa de água contaminada ou poluída do que por violência e guerras (ONU, 2016).

A agricultura e a pecuária estão entre as principais atividades que captam água diretamente, retirando em 2015, 32,5 bilhões de m³, seguido pela captação, tratamento e distribuição da água que utilizou 17,1 bilhões de m³ e a Indústria de transformação e construção com 6,1 bilhões de m³. O consumo médio per capita das famílias brasileiras foi de 108,4 litros/dia (IBGE, 2018).

O ciclo hidrológico consiste basicamente na movimentação da água em suas diferentes fases (líquida, gasosa ou sólida), percorrendo vários caminhos no planeta, em um sistema fechado (SILVEIRA, 2005).

Para Poletto (2014), o ciclo hidrológico é um modelo conceitual que descreve o movimento da água na natureza, que pode ser descrito pelos processos físicos

envolvidos, a evaporação, condensação, precipitação, interceptação, infiltração, percolação, transpiração, escoamento e armazenamento, impulsionados pela energia solar e pelos movimentos da Terra.

2.2 Bacias hidrográficas

A gestão de recursos hídricos no Brasil passa a assumir importância com a edição do Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, o Código das Águas que, apesar da visão prevalecente à época de que os recursos naturais eram infinitos, criou-se a outorga para o uso das águas, havendo então necessidade de autorização para seu uso e penalidades para os infratores, instituindo o que posteriormente seria o princípio do poluidor/pagador.

Em 1981, a Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, em seu Artigo VII, delega ao Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a gestão dos recursos hídricos no Brasil, mas ainda não estabelece a forma de gerenciamento dos mesmos.

Segundo Thomé (2000), a Constituição Federal de 1988 extingue o domínio privado sobre os recursos naturais, por entender serem de uso e interesse comum, buscando assim garantir o direito de todos a um Meio Ambiente ecologicamente equilibrado. A Constituição também incumbiu à União o dever de instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SNRH) e a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), ambos criados pela Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

Com a promulgação da PNRH, torna-se oficial o uso da bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação e gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos. Yassuda (1993), evidencia que a experiência dos países desenvolvidos na gestão integrada dos recursos hídricos se faz pela unidade regional da bacia hidrográfica ou do conjunto de bacias interligadas, pois é nesse ambiente que se dá a “interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural”. O estudo da integração dos vários aspectos que interferem na produção e uso dos recursos hídricos aliado à proteção do meio ambiente é o principal fator para o sucesso da gestão integrada (PORTO; PORTO, 2008).

Tucci (2013) define a bacia hidrográfica como uma área de captação natural da água de precipitação que direciona o escoamento para um único ponto de saída.

A bacia hidrográfica compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por diversos cursos de água que resultam em um leito único no seu exutório.

Apesar de todas as vantagens do uso do recorte geográfico da bacia como unidade de gestão das águas, muitas vezes os divisores da bacia não correspondem aos limites municipais estaduais ou até territoriais de uma só nação, por vezes dificultando o gerenciamento dos recursos hídricos devido aos conflitantes interesses locais (LIMA et al., 2016).

Para auxiliar no estudo e, conseqüentemente, no gerenciamento das bacias hidrográficas tem-se o uso de dados que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite e, para Tucci (2013), basicamente são áreas, comprimentos, declividades, entre outros, obtidos diretamente ou expressos por índices, conhecido assim como morfometria de bacia hidrográfica.

Segundo Carpi Jr. (2001), determinados índices morfométricos, que caracterizam o formato da bacia, a densidade e comprimento dos canais fluviais, determinam o tempo e o volume de escoamento da água e assim são importantes para auxiliar na prevenção de enchentes e acidentes relacionados a qualidade da água.

A análise morfométrica da bacia hidrográfica proporciona o diagnóstico preliminar e o entendimento dos processos decorrentes da dinâmica hidrogeomorfológica, como as inundações e as enchentes, que são eventos que ocorrem naturalmente em ambientes fluviais (KOBIYAMA et. al., 2006).

Para Campanharo (2010), a morfometria apresenta os índices comumente organizados em três grandes grupos: os que indicam características geométricas, os que indicam características da rede de drenagem e os que são relacionados as características do relevo (CAMPANHARO, 2010).

2.3 Sensoriamento Remoto

São muitas as definições de sensoriamento remoto encontradas na literatura, para Ebert (2001), o sensoriamento remoto é uma ciência que visa à obtenção de informação de um determinado alvo, sem contato físico com o mesmo.

Sensoriamento remoto é um termo utilizado à obtenção de imagens à distância, adquiridas através de sensores instalados em satélites, aviões ou outros instrumentos para observação da superfície terrestre, que captam a energia refletida pelo objeto num determinado comprimento de onda (RUDORFF, 2001).

Quando a radiação interage com um objeto ela pode ser refletida, absorvida ou transmitida e a parte refletida se espalha pelo espaço. O fator que mede a capacidade de um objeto de refletir a energia radiante indica a sua reflectância que é a maneira com que se estabelece a ligação entre o alvo e o sensor, pois cada um dos objetos possui uma assinatura espectral (MENESES; MADEIRA NETTO, 2001).

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), desde começo da década de 1970 tem desempenhado um papel importante no desenvolvimento da área de geotecnologias, fortalecendo o uso do sensoriamento remoto em escala nacional e consolidando o país como um dos mais desenvolvidos nesse campo no hemisfério Sul (FORMAGGIO; SANCHES, 2017).

Segundo Neta et al. (2009), o uso de satélites para obtenção de dados ambientais, tem permitido estudos com maior profundidade de investigação e, principalmente, com maior confiabilidade.

Atualmente, existem vários satélites disponíveis para uso de imagens sejam gratuitas ou não. Entre esses satélites destaca-se o Sentinel.

O satélite Sentinel, controlado pela Agência Espacial Europeia (ESA, na sigla em inglês), é uma das missões que fazem parte do programa Copérnicus que lidera a Comissão Europeia.

A missão Sentinel-2A tem um sensor Multi Spectral Instrument (MSI) de alta resolução com 13 bandas espectrais e resolução espacial de 10m, 20m ou 60m, dependendo da banda, e uma resolução temporal de 10 dias com um satélite e de 5 dias com os dois satélites operacionais (DGT, 2016).

2.4 Geoprocessamento

O geoprocessamento engloba o conjunto de técnicas ligadas à informação espacial visando representar todos os aspectos da superfície da terrestre que representam o mundo real, físico, num único mapa (MENDES; CIRILO, 2013).

Rosa (2005), define as geotecnologias como o conjunto de tecnologias utilizadas para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referências geográficas e espaciais bem definidas, utilizadas no estudo do espaço geográfico.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) utilizados em geoprocessamento são compostos por *softwares*, metodologias aplicadas, dados a serem coletados e tratados, *hardwares* específicos e recursos humanos que são responsáveis por operar os programas, manipular os equipamentos e dados e definir as metodologias adequadas (MEDEIROS, 2012).

Para Câmara (1995), um SIG realiza o tratamento computacional de dados geográficos, armazenando a geometria e os atributos dos dados georreferenciados, sistematizando-os de maneira a permitir um planejamento e monitoramento de assuntos ligados ao espaço físico geográfico por meio dos produtos gerados.

2.5 Modelos hidrológicos

Um modelo hidrológico consiste na busca da representação de um sistema para entender, de maneira simplificada, o comportamento dos fenômenos hidrológicos na bacia hidrográfica, possibilitando seu entendimento e simulando situações diferentes das observadas (TUCCI, 1998).

Segundo Moraes (2003), a modelagem hidrológica é uma ferramenta utilizada na obtenção de conhecimento quanto aos fenômenos físicos envolvidos na previsão de cenários, então, com o conhecimento a respeito de um determinado fenômeno observado, pode-se realizar modelagens de várias maneiras (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Os modelos podem ser divididos em 3 grupos que são modelos físicos, analógicos e matemáticos. Os modelos físicos representam a realidade por meio de protótipos em escala reduzida, ou maquetes, são largamente utilizados em projetos de obras hidráulicas. Os analógicos utilizam as analogias existentes entre o comportamento de sistemas hidráulicos e de circuitos elétricos, adotando o segundo para simular o comportamento do primeiro. Já nos modelos matemáticos adota-se a representação matemática do sistema ou fenômeno em análise (TUCCI, 1998).

Os modelos matemáticos são os mais utilizados para a simulação do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas e apresentam tipologia diversa.

Os modelos são classificados, dentre outras formas, de acordo com o tipo de variáveis utilizadas na modelagem (estocásticos ou determinísticos), o tipo de relações entre essas variáveis (empíricos ou conceituais), a forma de representação dos dados (discretos ou contínuos), a existência ou não de relações espaciais (pontuais ou distribuídos), e a existência de dependência temporal (estáticos ou dinâmicos) (RENNÓ; SOARES, 2000).

Para Santos (2009), a modelagem hidrológica permite verificar a consistência das informações obtidas por meio de estações hidrológicas disponíveis nas bacias hidrográficas e calibrar os modelos hidrológicos permitindo assim, a obtenção de dados em bacias não monitoradas.

Os modelos são essenciais para a compreensão dos fenômenos hidrológicos que ocorrem na natureza, para predição e quantificação do escoamento superficial para bacias com diferentes características.

2.6 Modelos Precipitação-Vazão

Os modelos denominados precipitação-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.

Um dos primeiros modelos conceituais de precipitação-vazão é o chamado *Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation* (SSARR), desenvolvido pelo *U.S. Army Corps of Engineers*. Esse modelo possui três módulos: simulação do processo precipitação-vazão numa bacia hidrográfica; o escoamento em rios e reservatórios; e a regularização de vazão em reservatórios (TUCCI, 1998).

Já, o modelo Stanford IV foi apresentado por Crawford e Linsley em 1966 e gerou uma série de outras versões, sendo considerado como um modelo completo, devido ao número de algoritmos e processos representados (TUCCI, 1998). O Stanford IV possui duas estruturas básicas que são a simulação na bacia (*Land*) e a propagação no rio e canal (*channel*). Na primeira estrutura existe um submódulo que considera o degelo.

O Departamento de Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, atual *Natural Resources Conservation Service* (NRCS) realizou inúmeros experimentos em bacias hidrográficas de pequeno porte, com o objetivo de estabelecer relações entre a precipitação, o escoamento superficial, o grau de vegetação presente na área e o tipo e a ocupação do solo na bacia hidrográfica (RIGHETTO, 1998). O modelo é simples e expresso por uma equação que relaciona a altura precipitada à altura de lâmina escoada e a um índice de armazenamento de água na bacia hidrográfica. Com a determinação do volume escoado, o hidrograma resultante é especificado, considerando-o triangular, com os tempos ao pico e de base definidos a partir de características geométricas da bacia hidrográfica.

O modelo *Soil Moisture Accounting Procedure* (SMAP) foi desenvolvido por Lopes et al. (1982). Na versão mensal, o modelo possui dois reservatórios matemáticos, cujas variáveis de estado são atualizadas a cada mês sob a forma de reservatório do solo (zona aerada) e reservatório subterrâneo (zona saturada). Para o cálculo da zona aerada, os elementos envolvidos são: a precipitação, o escoamento superficial, a evapotranspiração real e a recarga subterrânea. Já para a zona saturada, os elementos são: a recarga subterrânea e o escoamento básico.

Os modelos hidrológicos precipitação-vazão exprimem a extensa variedade de tipos, desde os que demandam poucas variáveis de entrada, como os concentrados e empíricos, até os mais sofisticados, como os físicos-distribuídos.

O *Hydrology Engineering Center* (HEC) dos *U.S. Army Corps of Engineers* desenvolveu e dispõe de módulos hidráulicos e hidrológicos para simulação, entre os quais os mais importantes são o módulo hidráulico (HEC-RAS) e o módulo hidrológico (HEC-HMS).

O módulo *Hydrologic Modeling System* (HMS) simula diversos processos hidrológicos, entre eles, tem-se o processo de transformação chuva-vazão em sistemas de bacias hidrográficas tanto urbanas quanto rurais (ABREU; SOBRINHA; BRANDAO, 2017).

O programa HEC-HMS tem implementado hidrogramas unitários sintéticos definidos por parâmetros que são avaliados em função de características fundamentalmente fisiográficas, ou seja, das bacias hidrográficas que são facilmente avaliadas a partir de representações cartográficas (USACE-HEC, 2016).

Ainda, conforme USACE-HEC (2016), uma grande vantagem do modelo hidrológico HEC-HMS é que se utiliza de modelos separados para cada componente do processo de transformação da chuva em vazão na bacia hidrográfica o qual abrange a maioria das etapas do ciclo hidrológico previstas no processo. Esse modelo foi elaborado para ser aplicado em uma grande variedade de áreas geográficas e sua interface gráfica permite uma integração amigável com o usuário (disponível nas diferentes partes do programa) e, também, nas etapas de representação esquemática da bacia hidrográfica, ou seja, na entrada dos dados e na visualização desses resultados.

Em cada componente do processo de escoamento, o HEC-HMS possui diversos modelos, partindo de formulações matemáticas, que vão desde as simples, até as mais complexas, permitindo ao usuário a liberdade de compor a melhor estrutura capaz de atingir os objetivos propostos.

2.7 O Modelo HEC-HMS

Conforme o Manual do Usuário (USACE-HEC, 2006), o programa HEC-HMS calcula o hidrograma unitário sintético produzido por uma bacia hidrográfica, utilizando informações das características físicas e da precipitação dessa bacia. As simulações produzidas geram hidrogramas e tabelas de informações, referentes principalmente aos volumes de deflúvio, vazão de pico e tempo de base. A aplicação da modelagem elaborada pelo programa HEC-HMS pode ser utilizada em várias áreas de conhecimento, pois seu objetivo principal é a previsão de vazões.

Resumidamente pode-se descrever as quatro fases de operação do sistema como: (A) Perdas (*Loss*), nessa fase o programa calcula as perdas de acordo com o método adotado, o que resulta na precipitação efetiva, ou seja, a parte da precipitação que irá gerar escoamento superficial; (B) Transformação (*Transform*), nessa etapa o programa calcula o escoamento superficial direto produzido pela precipitação efetiva, produzindo o hidrograma unitário; (C) Fluxo de Base (*Baseflow*), nessa etapa adiciona o escoamento de base, caso exista, ao escoamento direto, calculando a evolução do escoamento de base ao longo do tempo; (D) Roteamento (*Routing*), nessa etapa o programa calcula como um hidrograma evolui à medida que corre ao longo do leito de

um rio ou através de um reservatório, o que é chamado de “trânsito do hidrograma”, somando as vazões de entrada e descontando as perdas em cada trecho.

Ainda segundo o mesmo manual, o *Software* HEC-HMS possibilita a subdivisão da área em várias sub-bacias e realiza os cálculos de vazão para cada uma delas, somando as vazões geradas à montante com as produzidas e transportadas à jusante, até o resultado final no ponto de controle.

Para realizar a modelagem de uma bacia o programa necessita de, pelo menos, quatro componentes, o Modelo da Bacia (*Basin Model*), onde se informa ao programa as sub-bacias e suas características, podendo fazer uso de mapas previamente elaborados da hidrografia e forma da área, facilitando assim a elaboração do modelo. O segundo componente necessário é denominado Série de dados de precipitação (*Time series data*), onde é informado o volume precipitado, o tempo decorrido em um ou mais pluviômetros ou pluviógrafos e sua localização. Pode-se utilizar precipitações reais ou precipitações teóricas, como as informações de chuva conforme o tempo de retorno obtido com as curvas IDF, ou chuvas de interesse do projeto hidráulico.

Modelo Meteorológico (*Meteorological Model*), como é chamado o terceiro parâmetro, consiste na definição das áreas de influência de cada pluviógrafo, necessário para o programa calcular a precipitação em cada sub bacia. Finalmente, o último componente denominado Especificações de controle (*control specifications*), é utilizado apenas para especificar o tempo de interesse para o programa realizar a modelagem.

Com os elementos fisiográficos da bacia hidrográfica previamente calculados, deve-se escolher os métodos de cálculo de transformação de chuva-vazão, composição do escoamento de base, propagação em rios e perdas, assim como dos parâmetros ligados a cada um desses métodos, como o tempo de concentração, perdas por infiltração e evapotranspiração.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Bacia do Rio Bauru: caracterização geral

A área de interesse está localizada no município de Bauru, na região noroeste do Estado de São Paulo, distante aproximadamente 350 km da capital, entre os meridianos 48° e 50° a oeste de Greenwich de Longitude e os paralelos 21° 30" e 23° de Latitude sul do Equador (Figura 1). O município possui área total de 702 km² e o perímetro urbano ocupa área de 120 km², 17% da área total, fazendo divisa com os municípios de Reginópolis (N), Agudos (S), Pederneiras (E), Arealva (NE), Avaí (NO) e Piratininga (SE) (BAURU, 2008).

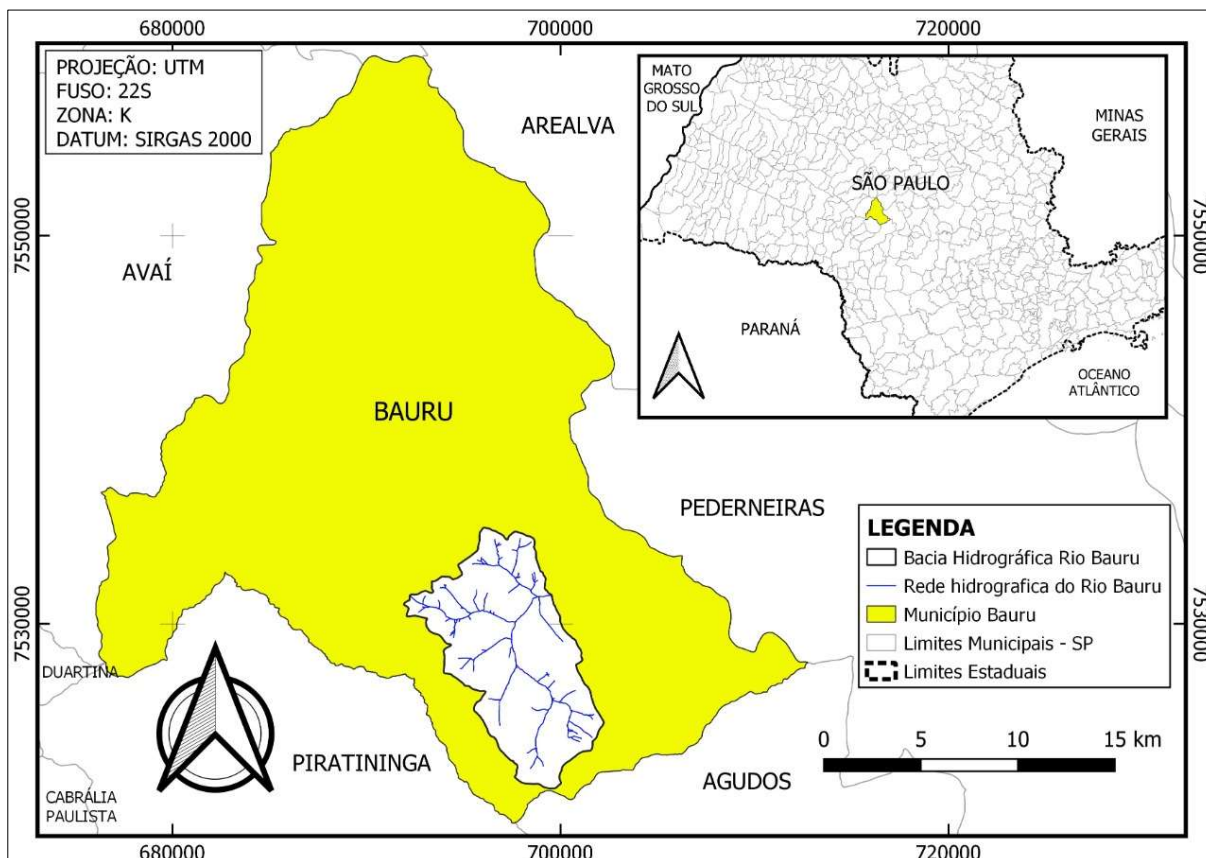
A área de estudo está localizada à montante da estação hidrológica do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), identificada pelo código 350600302H, compondo a parte inicial da bacia do Rio Bauru, situada na área urbana do município de Bauru, Estado de São Paulo, com área de drenagem de 69,67 Km² compreendida geograficamente entre as coordenadas E: 696.891,49 m N: 7.534.528,99 e E: 699.794,13 e N: 7.521.469,32 UTM 22 Z SIRGAS 2000.

De acordo com o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo, a bacia hidrográfica do Rio Bauru está inserida na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI-13) a qual pertence a bacia hidrográfica Tietê/Jacaré. O Rio Bauru apresenta 44 km de extensão total entre suas nascentes até a foz que está localizada no rio Grande a poucos quilômetros do Rio Tietê, onde o mesmo desagua. Sua área de drenagem totaliza 823 Km², abrangendo os municípios de Agudos, Arealva, Bauru e Pederneiras. Seus principais afluentes localizados na área urbana são: Córrego Água da Ressaca, Córrego Água da Forquilha, Córrego Água do Sobrado, Córrego da Grama, Córrego Água do Castelo, Córrego do Barreirinho, Córrego da Vargem Limpa, Córrego da Água Comprida, Ribeirão da Vargem Limpa.

A área urbana do município de Bauru está totalmente inserida na bacia do Rio Bauru que apresenta suas nascentes e afluentes em áreas fortemente antropizadas.

Em 2017, o Rio Bauru deixou de receber esgoto in natura devido à conclusão das obras de instalação de 93 km de rede interceptora previstos no plano de tratamento de esgoto da cidade.

Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Bauru



O município de Bauru está inserido no Planalto Arenítico Basáltico do Estado de São Paulo no Planalto Ocidental, dentro da Bacia Sedimentar do Paraná em províncias geomorfológicas associadas a derrames vulcânicos basálticos do período Jura-Cretácio (IPT, 1981). O Planalto Ocidental ocupa quase a metade do território do estado e pode ser descrito como um relevo ondulado, esculpido nos arenitos do grupo Bauru onde predominam as colinas e morrotes (ROCHA, 2005).

A classificação climática de Bauru, segundo Koeppen, é do tipo Cwa, ou seja, possui clima tropical de altitude marcado por inverno ameno e seco e verão chuvoso com temperatura moderadamente alta (BAURU, 2017).

O clima de Bauru nos últimos 20 anos tem apresentado temperatura média de 20,5° C, sendo as médias mínimas 17,1° C e as médias máximas 25,8° C. A precipitação média anual é de 1289,0 mm (IPMET, 2020).

Assim, quando se relaciona a temperatura com a precipitação, é notório que durante os meses mais frios há redução também dos volumes de chuva, o que caracteriza outono/inverno mais seco e primavera/verão mais chuvosos na região (BAURU, 2019).

O recorte da área de estudo da bacia hidrográfica do rio Bauru tem sua principal nascente localizada na antiga Fazenda Fortaleza (loteada no Bairro Lago Sul) onde é chamado de Córrego Água da Ressaca. Na zona sul da cidade encontra-se com o Córrego Água da Forquilha e a partir de então, recebe a denominação de Rio Bauru. Seus principais afluentes são: Água da Ressaca, Água da Forquilha, Água do Sobrado, Córrego da Grama, Água do Castelo e Ribeirão das Flores.

3.1.2 Material cartográfico

Para a elaboração do material cartográfico necessário para a caracterização e modelagem matemática da bacia hidrográfica do Rio Bauru, foram utilizados mapas temáticos e modelos digitais de elevação disponibilizadas gratuitamente e preferencialmente, de órgãos públicos.

3.1.2.1 Cartas planialtimétricas

Foram utilizadas as cartas topográficas planialtimétricas em escala 1:10.000, produzidas pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC), publicadas em 1983, com equidistância de 5 m entre as curvas de nível, apresentados no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e no sistema de referência de coordenadas, DATUM Córrego Alegre (Quadro 1).

Quadro 1 - Cartas topográficas planialtimétricas utilizadas.

Código internacional	Nome da folha
SF-22-Z-B-I-4-NE-A	Bauru I
SF-22-Z-B-I-4-NO-D	Água da Leopoldina
SF-22-Z-B-I-4-NE-C	Bauru III
SF-22-Z-B-I-4-NE-D	Bauru IV
SF-22-Z-B-I-4-NO-F	Água do Barreiro
SF-22-Z-B-I-4-NE-E	Bauru V
SF-22-Z-B-I-4-NE-F	Bauru VI
SF-22-Z-B-I-4-SE-A	Água do Ventura
SF-22-Z-B-I-4-SE-B	Fazenda Prata

3.1.2.2 Geologia

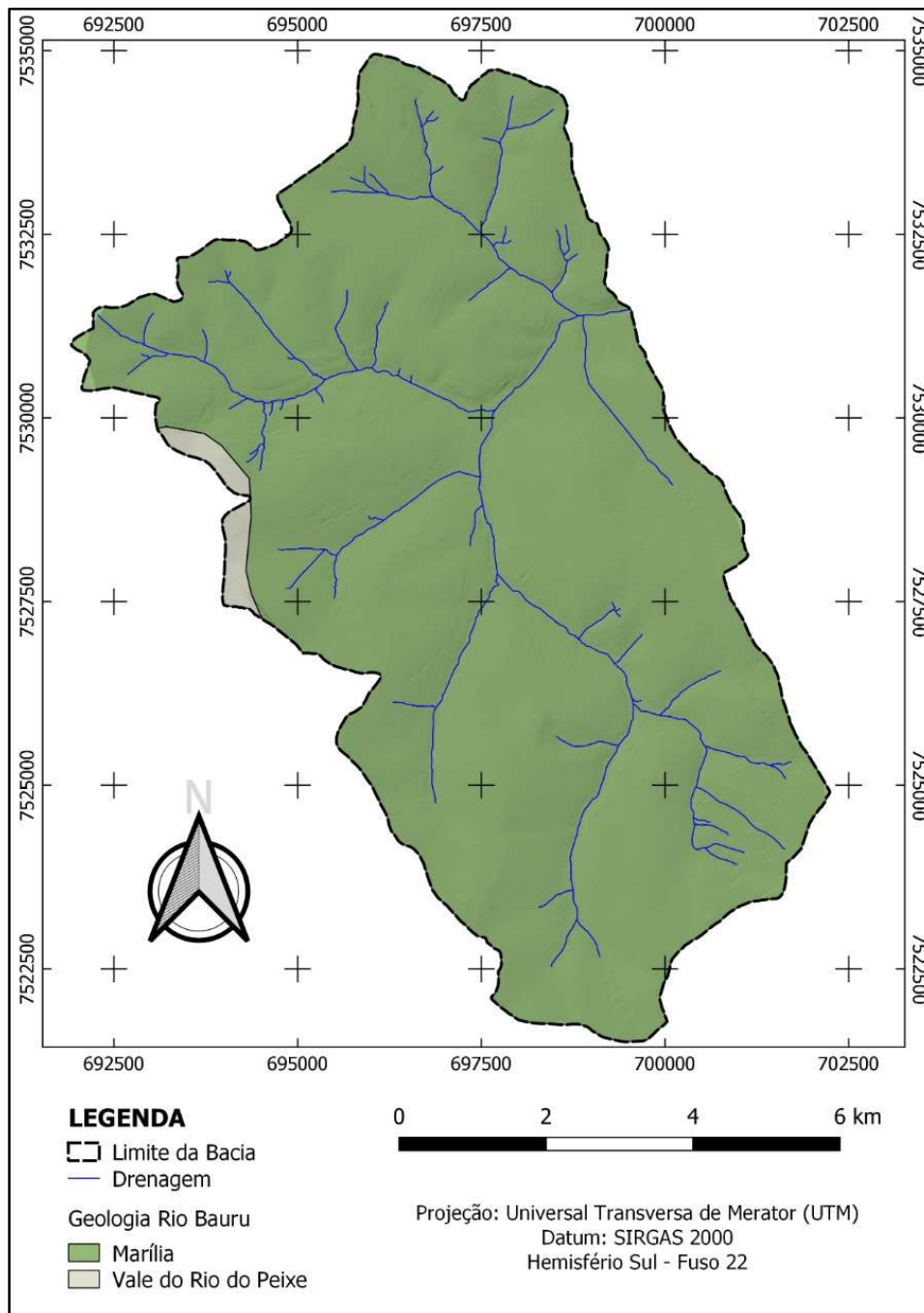
Para a descrição das formações geológicas da Bacia do Rio Bauru, utilizou-se o banco de dados do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2004), GEOBANK, escala 1:1.000.000.

Conforme o mapa geológico da bacia do rio Bauru, Tabela 1 e Figura 2, ocorre na área de estudo, duas formações geológicas do Grupo Bauru, de idade Mesozóica, sendo a Formação Marília, a de maior predomínio, ocupando 6907,12 ha (98,71%) e a Formação Vale do Rio do Peixe que ocupa 90,67 ha (1,29%).

Tabela 1 - Classes geológicas da bacia hidrográfica do Rio Bauru

Classe Geológicas	Área	
	ha	%
Formação Marília	6907,12	98,71
Formação Vale do Rio do Peixe	90,67	1,29
Total	6997,79	100

Figura 2 - Mapa geológico da bacia hidrográfica do rio Bauru



3.1.2.3 Solos

Para a descrição dos tipos de solos presentes na área ocupada pela Bacia do Rio Bauru, utilizou-se o banco de dados do mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado, editado pelo Instituto Florestal, elaborado por Rossi (2017), em escala 1:250.000.

3.1.2.4 Imagens de Satélite

Para a classificação do uso e ocupação do solo da área de estudo foram utilizadas imagens da superfície da Terra, obtidas por meio de sensoriamento remoto orbital.

A imagem foi do satélite Sentinel-2, sensor *Multi Spectral Instrument* (MSI), de 14 de julho de 2019, com resolução espacial de 10 metros (referente as bandas 2, 3 e 4) - obtidas gratuitamente do catálogo de imagens do Departamento do Interior dos EUA/ Pesquisa Geológica dos EUA.

3.1.3 Aplicativos computacionais

O processamento dos dados para a caracterização da bacia hidrográfica foi realizado por meio do uso de programas computacionais de licença livre.

Foi utilizado o programa QGIS na versão 2.18 Las Palmas (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2016), para o georreferenciamento das cartas, delimitação da bacia hidrográfica, vetorização, edição, elaboração e finalização dos mapas.

Também, foi utilizado o programa *System for Automated Geoscientific Analysis* - SAGA e *Geographic Resources Analysis Support System* – GRASS para a subdivisão da bacia em doze sub bacias para uso na modelagem hidrológica pelo HEC-HMS.

3.1.4 Modelagem Hidrológica: dados de entrada do modelo HEC-HMS

O modelo HEC-HMS foi desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Exército dos Estados Unidos e caracteriza-se como um modelo determinístico que representa de forma simplificada a transformação da precipitação na bacia hidrográfica em vazão num determinado ponto do corpo d'água (USACE-HEC, 2016).

O modelo permite, dentre vários métodos de cálculo das perdas, o uso do Número de Escoamento (*Curve Number* – CN), do *Soil Conservation Service* (SCS), atual *Natural Resources Conservation Service*, utilizado para transformar a precipitação em escoamento superficial levando-se em conta o tipo e uso do solo.

O modelo da curva número do SCS é simples, previsível, estável, possui um parâmetro que varia em função do grupo de solo, tratamento e uso do solo, condições

da superfície e de umidade antecedente e, principalmente, é um método estabelecido e amplamente aceito.

3.1.5 Dados meteorológicos

O modelo hidrológico HEC-HMS é um modelo que converte precipitação em vazão. Utilizando a precipitação conhecida ou prevista é capaz de simular o comportamento do escoamento superficial da bacia hidrográfica fornecendo informações importantes como vazão máxima, escoamento e tempo de retorno (USACE-HEC, 2016).

Foram utilizadas séries históricas dos dados pluviométricos, disponíveis nas estações de propriedade do Centro Nacional de Monitoramento de Alertas e Desastres Naturais, existentes no interior da bacia hidrográfica e ainda operacionais, (Quadro 2).

Vale ressaltar que utilizou-se também os dados de um evento de intensa precipitação que ocorreu no dia 20 de fevereiro de 2020, que em 4 horas observou-se mais de 100 mm de chuva.

Quadro 2 - Descrição e localização das estações pluviométricas utilizadas

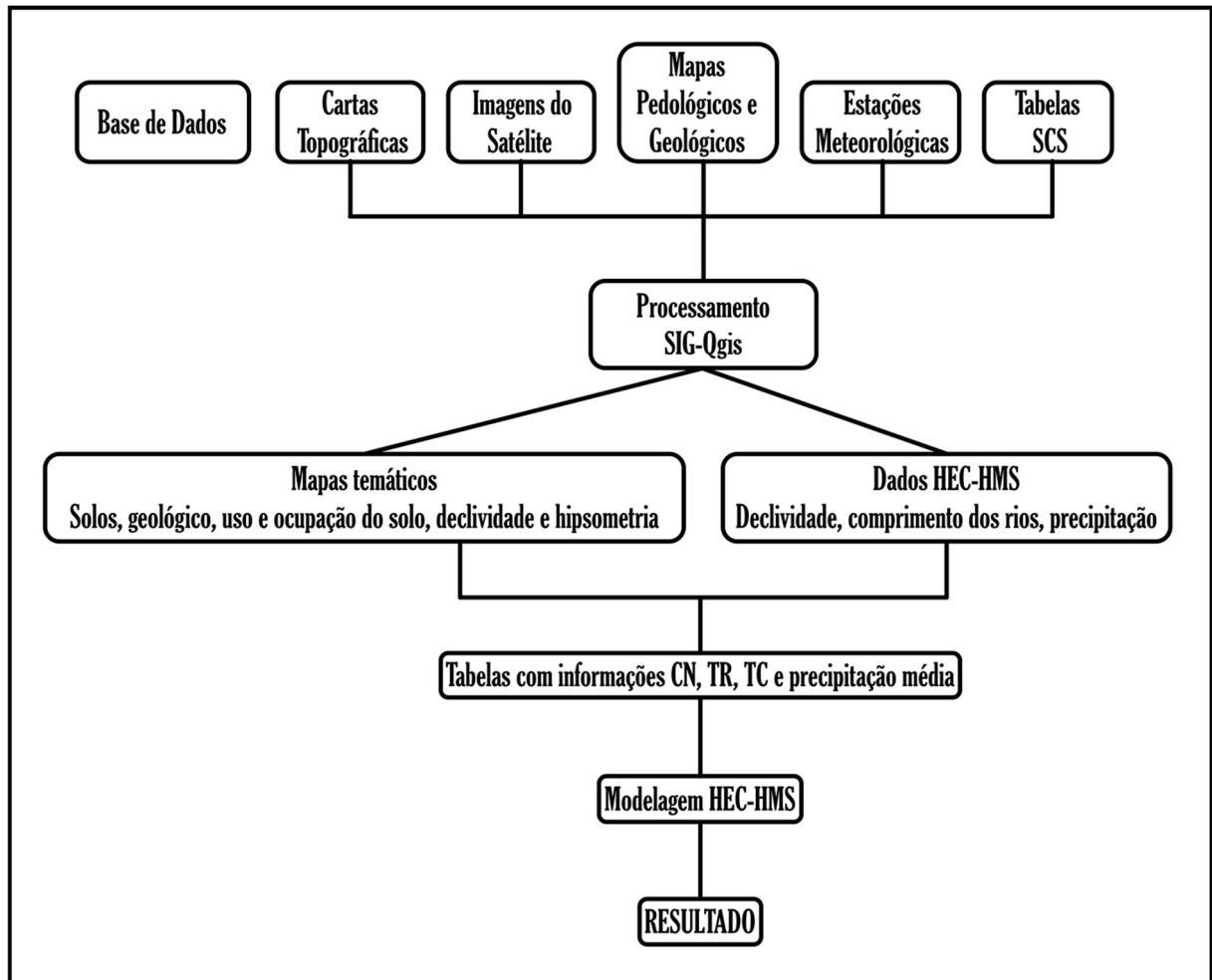
RESPONSÁVEL	IDENT.	NOME	NORTE	ESTE
CEMADEN	350600301A	Vila Pacífico	7529636,92	695485,05
CEMADEN	350600302A	J. Eldorado	7531653,35	693655,50
CEMADEN	350600304A	J. Ferraz	7526415,22	696268,61
CEMADEN	350600305A	Vila Maracy	7528913,44	700112,53

3.2 Métodos

Para possibilitar a modelagem hidrológica da bacia hidrográfica do Rio Bauru em sua porção inicial, fez-se necessário a caracterização física da mesma. A base de dados georreferenciados possibilitou a elaboração de uma base cartográfica temática bem como a locação e contribuição de cada uma das estações meteorológicas

utilizadas, conforme a Figura 3, que apresenta o fluxograma das principais etapas do trabalho.

Figura 3 - Fluxograma das etapas dos procedimentos metodológicos utilizados na modelagem por meio do programa HEC-HMS



3.2.1 Elaboração da base de dados

3.2.1.1 Base de dados cartográficos

A base cartográfica para a Bacia Hidrográfica do Rio Bauru foi produzida utilizando o DATUM SIRGAS 2000 e o sistema de projeção de coordenadas planas triangulares UTM – Universal Transversa de Mercator, no fuso 22 sul.

3.2.1.2 Georreferenciamento das cartas planialtimétricas

Em ambiente SIG, as cartas topográficas foram inicialmente georreferenciadas utilizando os cruzamentos entre coordenadas indicados na própria carta como pontos de controle, no DATUM apresentado e, posteriormente, convertidos para o *Datum* de interesse, SIRGAS 2000.

Após o georreferenciamento extraiu-se as informações da rede de drenagem e altitude por meio de procedimentos de vetorização das informações, proporcionando a transformação do formato original de imagem, *Tagged Image File (.tif)* para o formato vetorial *shapefile*.

Neste ponto, delimitou-se a bacia hidrográfica do Rio Bauru em sua porção inicial, em um local onde existe uma estação hidrológica do CEMADEN, identificada pelo número 350600302H, localizada nas coordenadas: Latitude 22°18'39.60"S e Longitude 49°3'43.20" O como ponto de saída, o exutório, utilizando-se os divisores de água apresentados nas cartas planialtimétricas.

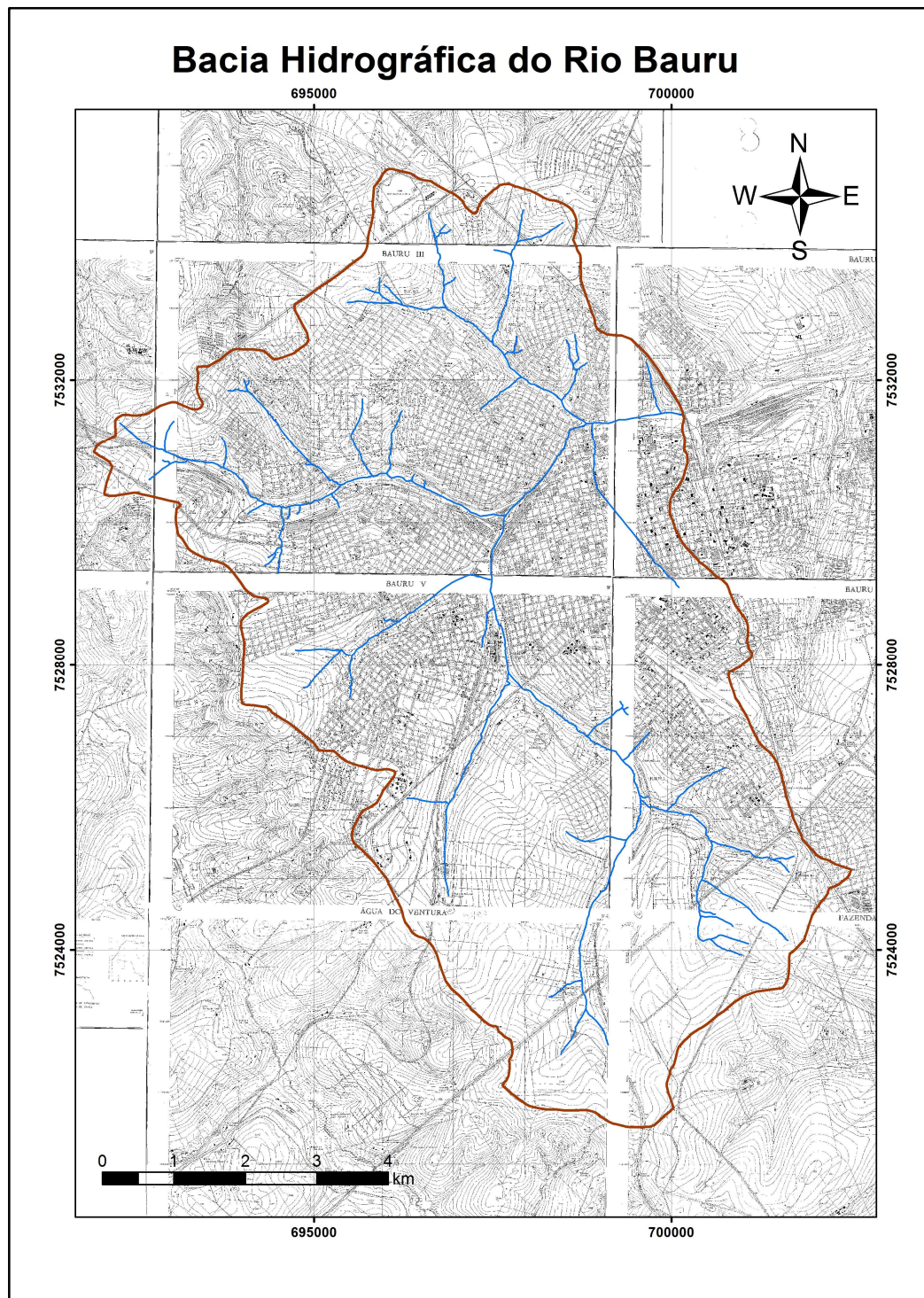
Na Figura 4, apresenta-se o mosaico das cartas planialtimétricas do IGC georreferenciadas e vetorizadas com as curvas de nível equidistantes em 5 metros, a rede de drenagem e a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Bauru.

Posteriormente, delimitou-se de forma automática as subbacias da bacia hidrográfica principal através do programa GRASS (GRASS, 2015), possibilitando a extração dos parâmetros morfométricos necessários para a modelagem hidrológica no *software* HEC-HMS.

3.2.1.3 Mapas temáticos

Os arquivos dos bancos de dados referentes aos mapas geológico, geomorfológico e pedológico estavam em formato *shapefile*. Desta forma, após a verificação e conversão dos arquivos no *datum* utilizado, fez-se o recorte da bacia hidrográfica do Rio Bauru em ambiente SIG, utilizando o arquivo do limite da área de estudo que foi delimitado anteriormente.

Figura 4 - Mosaico das cartas planialtimétricas e delimitação da área de estudo



3.2.1.4 Mapas hipsométrico e declividade

Os mapas de hipsometria e declividade foram gerados por meio da utilização dos arquivos referente as curvas de nível e drenagem. Para isso, foram interpoladas

em ambiente SIG, utilizando-se o programa SAGA GIS, por meio do método de interpolação *Thin Plane Spline*.

A ferramenta cria uma grade de triângulos irregulares TIN (*Triangular Irregular Network*), que é uma estrutura de dados vetoriais que particionam o espaço geográfico em triângulos que não se sobrepõem, para cada triângulo, com topologia do tipo nó-arco permite a representação de uma determinada área por meio de um conjunto de faces triangulares interligadas (COELHO, 2007).

O TIN é criado internamente a partir da entrada de pontos de dados dispersos e os vértices destes triângulos são pontos de amostragem de dados com coordenadas X, Y e Z. As linhas que unem estes vértices formam os triângulos de Delaunay.

Na Figura 5 visualiza-se a planialtimetria da bacia hidrográfica do Rio Bauru com sua área delimitada, rede de drenagem e curvas de nível que serviram de base para elaboração dos mapas de hipsometria e declividade.

Para a elaboração do mapa hipsométrico foram estabelecidas 12 classes temáticas de altitude distribuídas no intervalo de 500m a acima de 610 metros, com 110 metros cada classe.

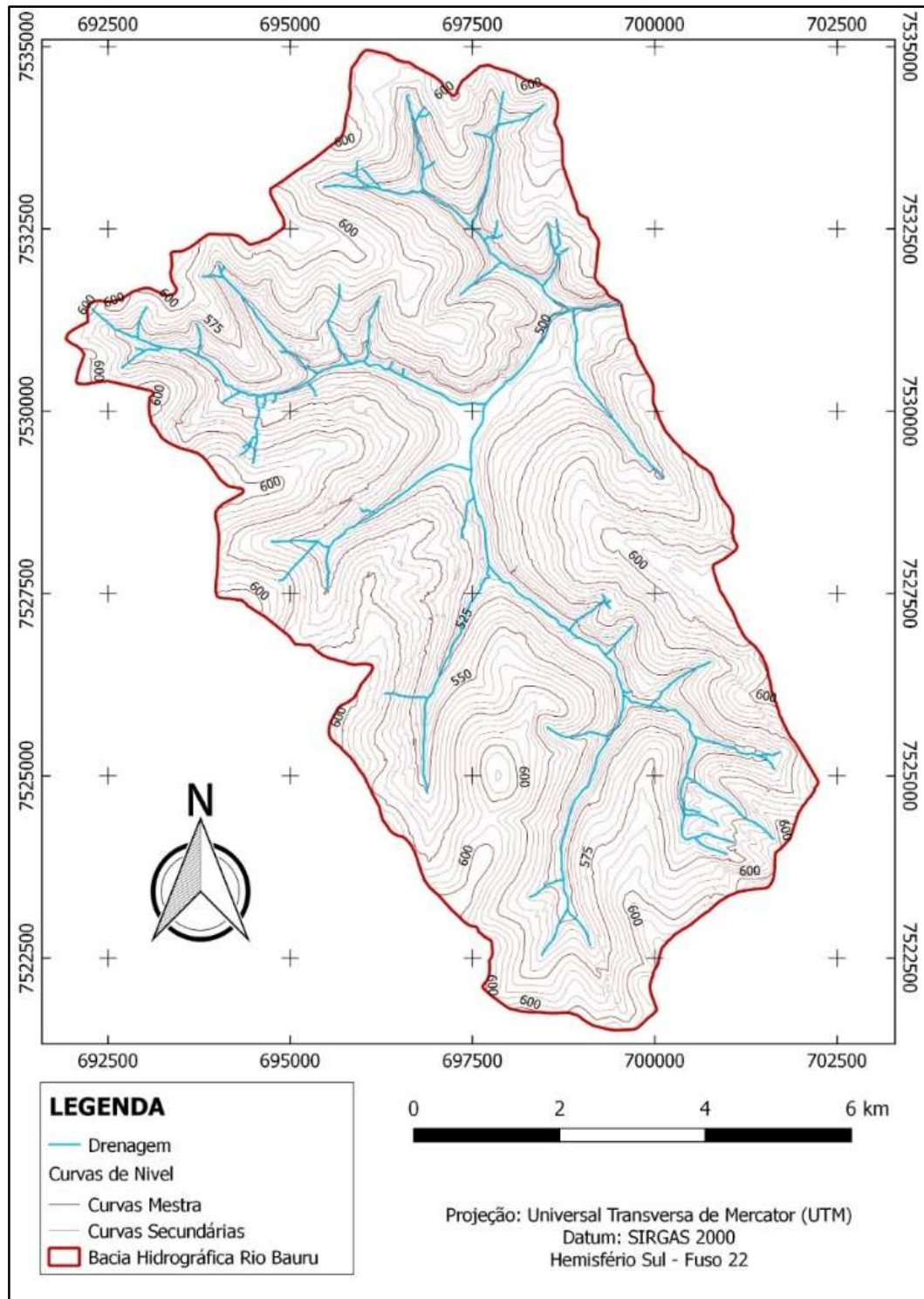
Para o mapa das classes de declividade utilizou-se a classificação de Lepsch et al. (2001) segundo consta no “Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso” apresentado no Quadro 3:

Quadro 3 - Classes de declividade e relevo

Classes de Declividade (%)	Classe de relevo
0 – 2	Plano
2 – 5	Suave ondulado
5 – 10	Moderadamente ondulado
10 – 15	Ondulado
15 – 45	Forte ondulado
45 – 70	Montanhoso
> 70	Escarpado

Fonte: Lepsch et al. (2001).

Figura 5 - Planialtimetria da bacia hidrográfica do rio Bauru



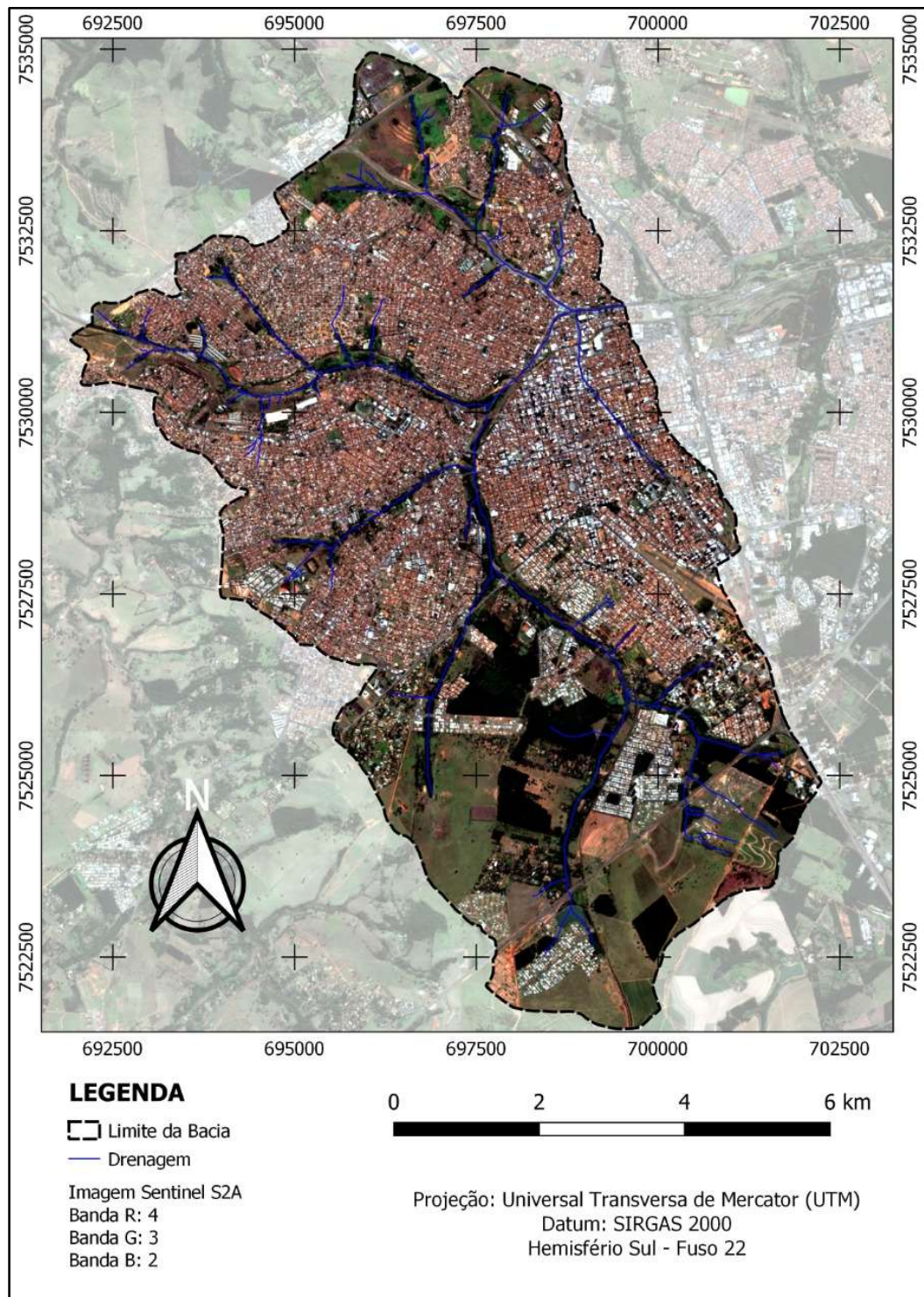
3.2.1.5 Mapa de uso e ocupação do solo

Para este processo, escolheu-se a imagem do satélite Sentinel - 2 do dia 14 de julho de 2019, para posteriormente, fazer-se a classificação dos elementos no ambiente SIG QGIS.

Na sequência, foi feito o processo de composição colorida em RGB (Red, Green, Blue) com as bandas 4, 3, 2 respectivamente. Para finalizar, fez-se o recorte da bacia hidrográfica do rio Bauru.

O resultado deste processo pode ser visualizado na Figura 6.

Figura 6 - Composição da imagem do satélite Sentinel-2



3.2.2 Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Bauru

Para melhor entendimento do comportamento do ciclo hidrológico na bacia hidrográfica do Rio Bauru, faz-se necessária a análise morfométrica da bacia, para

conhecer suas características físicas já que essas influenciam diretamente o escoamento superficial e subsuperficial.

Com o auxílio do SIG QGIS, calculou-se a área, o perímetro, o comprimento das curvas de nível e do sistema de drenagem em cada segmento, o maior comprimento e a maior largura da bacia e o comprimento do talvegue principal. O mesmo procedimento foi realizado posteriormente para cada sub bacia, gerando assim, os parâmetros necessários para alimentar o sistema de modelagem hidrológica.

3.2.2.1 Parâmetros morfométricos

O Fator de Forma (Kf) é muito importante, pois, segundo Villela e Mattos (1975), uma microbacia apresenta um fator de forma baixo quando é menos sujeita a enchentes que outra de mesmo valor de área, porém com fator de forma maior.

O Kf foi determinado pela Equação 1:

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (1)$$

Onde Kf é o fator de forma (adimensional), A é a área da microbacia (km²) e L é o comprimento axial da bacia (metros ou km).

No Índice de circularidade (Ic), o número calculado depende apenas da forma da bacia. O menor valor possível a ser encontrado é 1,0 e corresponde a uma bacia circular (GANDOLFI, 1971). De acordo com Silva, Schulz e Barbosa (2004), tal parâmetro influencia a determinação da vazão e a intensidade de escoamento.

O Ic foi estimado pela Equação 2.

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

Sendo: Ic (adimensional), A é a área da bacia (km²) e P é o perímetro (km).

No Quadro 4 apresentam-se os valores para interpretação dos resultados de fator de forma (Kf) e Índice de Circularidade (Ic).

Quadro 4 - Intervalo de valores para interpretação

Kf	Ic	Formato	Interpretação ambiental
1,00 a 0,75	1,00 a 0,80	Redonda	Alta tendência a enchentes
0,75 a 0,50	0,80 a 0,60	Ovalada	Tendência mediana a enchentes
0,50 a 0,30	0,60 a 0,40	Oblonga	Baixa tendência a enchentes
<0,30	<0,40	Comprida	Tendência à conservação

Fonte: Adaptado de Villela e Mattos (1975).

A Densidade de Drenagem (Dd) é calculada pela razão entre o comprimento de drenagem com a área da microbacia, Equação 3, de acordo com França (1968).

$$Dd = \frac{Cr}{A} \quad (3)$$

Onde Dd é a densidade de drenagem (km/km²), Cr é o comprimento total da rede de drenagem (km) e A é a área das bacias hidrográficas (km²).

França (1968) classificou a densidade de drenagem da seguinte forma, conforme o Quadro 5.

Quadro 5 - Intervalo de valores para densidade de drenagem

Densidade de drenagem (Dd) em km km⁻²	Classificação	Interpretação ambiental da bacia
< 1,5	Baixa	Baixo escoamento superficial e maior infiltração
1,5 a 2,5	Média	Tendência mediana de escoamento superficial

2,5 - 3,0	Alta	Alta tendência ao escoamento superficial e enxurradas
> 3,0	Super alta	Alta tendência ao escoamento superficial, enxurradas e erosão

Fonte: França (1968).

Proposto por Horton (1945), a Densidade Hidrográfica (Dh) relaciona o número de rios ou canais com a área da bacia.

Expressa a grandeza da rede hidrográfica da bacia, indicando a capacidade de gerar novos cursos d'água (CHRISTOFOLETTI, 1969), Equação 4.

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (4)$$

Onde Dh é a densidade hidrográfica, N é o número total de rios ou cursos de água de primeira ordem e A é a área da bacia hidrográfica (km²).

No Quadro 6 apresenta-se os valores para interpretação dos resultados da densidade hidrográfica.

Quadro 6 - Classificação da densidade hidrográfica de bacias

Dh (*N1/km²)	Classificação
< 3	Baixa
3 - 7	Média
7 - 15	Alta
> 15	Muito alta

*N1 = Comprimento dos rios de primeira ordem conforme Strahler (1952).

Fonte: Lollo (1995) apud Santos et al. (2012).

A extensão do percurso superficial da água de enxurrada (Eps), representa a distância média percorrida pelas enxurradas antes de encontrar um canal permanente e é determinada, segundo Horton (1945), pela Equação 5.

$$Eps = \frac{1}{2} \cdot Dd \cdot 1000 \quad (5)$$

Onde Eps é a extensão de percurso superficial (m) e Dd é a densidade de drenagem (km km^{-2}).

O Coeficiente de manutenção dos canais (Cm) consiste no inverso da densidade de drenagem (Dd), expresso pela Equação 6, proposta por Schumm (1956).

$$Cm = \left(\frac{1}{Dd} \right) \cdot 1000 \quad (6)$$

Onde Cm é o coeficiente de manutenção (km^2/km) e Dd é a densidade de drenagem (km km^{-2}).

Já, o Gradiente de canais (Gc) consiste na razão entre a maior altitude pelo comprimento do canal principal, Equação 7, conforme Horton (1945) e Strahler (1952).

$$GC = \frac{H_{\text{máx}}}{L} \quad (7)$$

Onde GC é o gradiente de canais (%), H.máx é a altitude máxima (km) e L é o comprimento do canal principal (km).

De acordo com Rocha e Silva (2001) apud Campos et al. (2015), a magnitude dos picos de enchente e de infiltração de água apresentam como consequência maior ou menor grau de erosão e isso depende da declividade média da bacia (que determina a maior ou menor velocidade de escoamento da água superficial), associada à cobertura vegetal, tipo de solo e forma de uso da terra.

Segundo proposta por Horton (1945), a declividade média é representada pela Equação 8.

$$D_m = 100 \cdot \frac{D \cdot L}{A} \quad (8)$$

Onde: D_m é a declividade média da bacia em %, D é a equidistância vertical das curvas de nível em km, L é o comprimento total das curvas de nível da bacia em km e A é a área total da bacia em km².

Para Strahler (1952), a amplitude altimétrica consiste na diferença entre a maior altitude e a menor altitude da microbacia. É calculada pela Equação 9.

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\min} \quad (9)$$

Onde ΔH é a amplitude altimétrica, $H_{\max}$ é a maior altitude e $H_{\min}$ é a menor altitude.

Já, a altitude média é obtida por meio da média aritmética entre os valores de maior altitude observada na cabeceira e a menor altitude na foz ou desembocadura, Equação 10.

$$H_m = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2} \quad (10)$$

Onde H_m é a altitude média, $H_{\max}$ é a maior altitude e $H_{\min}$ é a menor altitude.

Para a Razão de relevo, esse índice mede a declividade geral da bacia de drenagem sendo um indicador da intensidade de erosão (STRAHLER, 1974), calculado pela Equação 11.

$$R_r = \frac{H}{C} \quad (11)$$

Onde R_r é a razão do relevo (km/km), H é a amplitude altimétrica (m) e C é o maior comprimento (km).

No Quadro 7 tem-se os valores para quantificar a razão de relevo.

Quadro 7 - Intervalo de valores para classificação da razão do relevo

Intervalo	Razão do Relevo
0,0 a 0,10	Baixa
0,11 a 0,30	Média
0,31 a 0,60	Alta

Fonte: Piedade (1980) apud Pollo et al. (2012).

A Razão de textura (T), conforme Smith (1950) apud Tagliarini et al. (2015), é a razão entre o número de canais de primeira ordem (Nw_1) com o perímetro do divisor topográfico (P), obtida pela Equação 12.

$$T = \frac{Nt}{P} \quad (12)$$

Onde T é a razão de textura, Nt é o número de segmentos de rios (km^2) e P é o perímetro da bacia.

Segundo França (1968), a razão de textura pode ser classificada em grosseira, média e fina, conforme Quadro 8.

Quadro 8 - Intervalo de valores para classificação de razão de textura

Valores	Classificação
Menor que 2,5	Grosseira
2,5 e 6,2	Média
Acima de 6,2	Fina

Fonte: França (1968).

3.2.3 Parâmetros utilizados no modelo hidrológico HEC-HMS

3.2.3.1 Tempo de Concentração (t_c)

O Tempo de concentração é definido como sendo o tempo necessário para que toda a bacia esteja contribuindo para o escoamento superficial total na seção de saída (SILVEIRA; LOUZADA; BELTRAME, 2000).

Para elaboração dos hidrogramas necessários ao modelo hidrológico HEC-HMS, necessita-se do tempo de concentração (t_c) de cada subbacia, para o cálculo tempo de retardo (t_r), que o modelo HEC-HMS define como sendo 0,6 vezes o tempo de concentração.

As fórmulas para cálculo do tempo de concentração são escolhidas, de modo geral, pelas características da bacia hidrográfica como a área, o comprimento do talvegue, a rugosidade e a declividade do córrego ou canal (SOUZA, 2017).

Segundo DENIT (2005), estudos em bacias médias e grandes, com dados de enchentes observadas, demonstram que a aplicação do hidrograma unitário triangular do *U.S. Soil Conservation Service* apresenta resultados pertinentes as observações se forem utilizados tempos de concentração 50% maiores do que os calculados pela expressão proposta por KIRPICH, sugerindo assim, a adoção da seguinte fórmula modificada, Equação 13 e Equação 14.

$$t_c = 1,42 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (13)$$

onde:

t_c : Tempo de concentração, em horas;

L: Comprimento do talvegue principal, em Km, e;

H: desnível máximo, em m.

e:

$$t_r = 0,60.t_c \quad (14)$$

onde: t_r é o tempo de retardo e t_c é o tempo de concentração.

3.2.3.2 Cálculo da Curva Número (CN) tabelado

Para obtenção dos valores de CN, por meio de técnicas de geoprocessamento, utilizou-se o mapa pedológico da bacia e o mapa de uso e ocupação do solo e ponderou-se os valores tabelados obtidos de Tucci (1998) de acordo com a área ocupada por cada elemento da paisagem e de acordo com o grupo hidrológico.

Para o cálculo das perdas foram utilizadas tabelas e estudos obtidos na revisão bibliográfica cujos valores de CN para uso e ocupação da terra são classificados conforme os grupos hidrológicos pré definidos, e variam de 0 (permeável) a 100 (impermeável) para bacias de ocupações agrícola e urbana. Os valores utilizados encontram-se no Quadro 9 para as bacias com ocupação agrícola e no Quadro 10 para aquelas com ocupação urbana.

Quadro 9 - Valores do CN para bacias com ocupação agrícola

Uso do Solo	Superfície	Tipo de Solo			
		A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curva de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereais	Em curva de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curva de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	94
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83

	Normais	36	60	73	79
	Densas, de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras	Normais	56	75	86	91
Estradas de terra	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, de alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: Tucci (1998)

Nota: A – Solos arenosos com menos de 8% de argila, B – Solos arenosos com menos de 15% de argila, C – Solos argissolos associados a argila de atividade baixa (Tb) e D – Solos argissolos associados a argila de atividade alta (Ta).

Quadro 10 - Valores do CN para bacias com ocupação urbana

Descrição do uso do solo		Tipo de Solo			
		A	B	C	D
Zonas cultivadas	Sem conservação do solo	72	81	88	91
	Com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições		68	79	86	89
Baldios – boas condições		39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas Florestais:	Cobertura ruim	45	66	77	83
	Cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições	Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
	Com relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais					
Lotes de (m ²)	% média impermeável				
< 500	65	77	85	90	92
1000	38	61	75	83	87
1300	30	57	72	81	86
2000	25	54	70	80	85
4000	20	51	68	79	84

Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Paralelepípedos	76	85	89	91
Terra	72	82	87	89

Fonte: Tucci (1998)

Nota: A – Solos arenosos com menos de 8% de argila, B – Solos arenosos com menos de 15% de argila, C – Solos argissolos associados a argila de atividade baixa (Tb) e D – Solos argissolos associados a argila de atividade alta (Ta).

3.2.3.3 O Método do Hidrograma Unitário (SCS)

Para a transformação da precipitação efetiva em escoamento direto, o programa HEC-HMS disponibiliza vários modelos. Utilizou-se o método do Hidrograma Unitário do *Soil Conservation Service* (SCS), atual Natural Resources Conservation Service, por ser um dos mais representativos para bacias médias, com áreas entre 2,5 e 250 Km².

3.2.3.4 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos utilizados, provenientes das estações pluviométricas do CEMADEN, tiveram sua distribuição espacial e temporal determinados pelo método de Thiessen (1911), que utilizou a teoria do diagrama de Voronoi e baseia-se na geometria do plano de localização das estações, ponderando o cálculo da precipitação média da área (TUCCI, 1998).

3.2.3.4 Equação de precipitações Intensas

Para possibilitar a modelagem de uma bacia hidrográfica faz-se necessário o conhecimento da precipitação dessa bacia em relação a sua intensidade, duração, frequência e distribuição, pois trata-se de um evento de grande variabilidade.

O conhecimento e utilização das equações de chuvas intensas, de curta duração, obtidas através de modelos matemáticos que utilizam séries históricas de precipitação observadas na região de estudo, possibilitam a estimativa das máximas

intensidades de chuva sendo de grande valia para projetos hidráulicos e ambientais (DAEE, 1999).

Entende-se por chuvas intensas, aquelas que produzem lâminas precipitadas bastante elevadas e sua intensidade supere um valor mínimo em função do tempo de duração, produzindo assim escoamento superficial de grande magnitude (MELLO, 2013).

Ainda conforme DAEE (1999), as observações de séries históricas de longa duração possibilitam conhecer as relações entre intensidade, duração e frequência, possibilitando considerar a frequência como probabilidade e demonstrar essa relação na forma de curvas de intensidade-duração para cada período de retorno.

Assim, as equações de chuvas intensas para 11 postos pluviográficos do Estado de São Paulo, sendo a curva do município de Bauru representada pela Equação 15.

$$i_{t,T} = 35,4487 (t+20)^{-0,8894} + 5,9664 (t+20)^{-0,7749} \cdot [-0,4772 - 0,9010 \ln \ln(T/T-1)] \quad (15)$$

Equação para $10 < t \leq 1440$ m

onde:

i: intensidade da chuva, correspondente à duração t e período de retorno T, em mm/min;

t: duração da chuva em minutos;

T: período de retorno em anos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização física da bacia hidrográfica do Rio Bauru

4.1.1 Pedologia

Na maior parte da área de estudo ocorrem os Latossolos Vermelho Amarelo (LVA6), onde se consolidou a área urbana do município de Bauru, e o grupo dos Argissolos Vermelho Amarelo (PVA4).

Através dos resultados pedológicos obtidos, detalhadas na Tabela 2, as informações auxiliam o entendimento do comportamento do solo em relação a sua capacidade de infiltração e formação do deflúvio que, juntamente com a classificação do uso e ocupação do solo, tornou possível a quantificação do CN.

Tabela 2 - Classes de solos da bacia hidrográfica do Rio Bauru

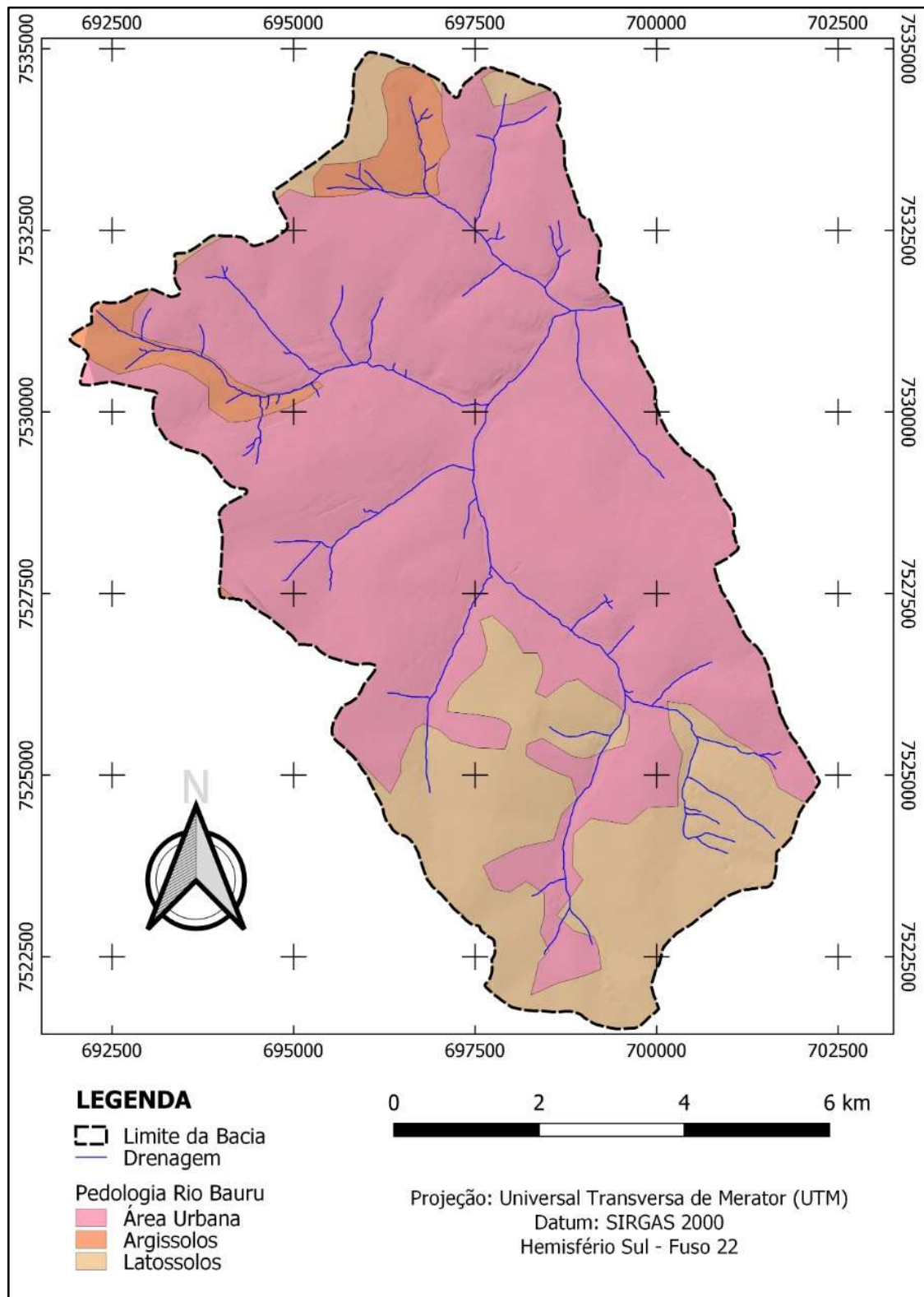
Classe de Solos	Área	
	ha	%
Latossolos Vermelho Amarelo	1585,21	22,65
Argissolos Vermelho Amarelo	337,57	4,82
Área urbana	5075,01	72,53
Total	6997,79	100

Os Latossolos são constituídos de material mineral, muito intemperizados, são normalmente muito profundos e quanto a sua drenagem, variam de fortemente a bem drenados (EMBRAPA, 2006), esses solos aparecem em relevos suave ondulado e ondulado, característica essa predominante na bacia hidrográfica do rio Bauru.

Os Latossolos Vermelho-Amarelos de textura média são solos originalmente vegetados por florestas com caráter semidecíduo ou por cerrados, apresentam elevada permeabilidade, baixa retenção de água e baixa coesão, tornando-os assim sensíveis à degradação sob manejo agrícola. Ressalta-se que podem ter maior estresse hídrico nos períodos de estiagem e maior susceptibilidade à erosão nos períodos chuvosos (IAC, 2015).

O Latossolo Vermelho Amarelo ocorre em 1585,21 hectares da área não urbanizada da bacia inicial do Rio Bauru, representando 22,65% da área total, Figura 7, logo, segundo Spera (2000), por se apresentar extremamente duro quando seco, torna mais lenta a infiltração de água, portanto mais propensos à erosão e condução de água quando se apresentam sem cobertura vegetal.

Figura 7 - Mapa pedológico da bacia hidrográfica do rio Bauru



O Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA4) é a Associação de Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico típico com A moderado + Argissolo Vermelho Distrófico

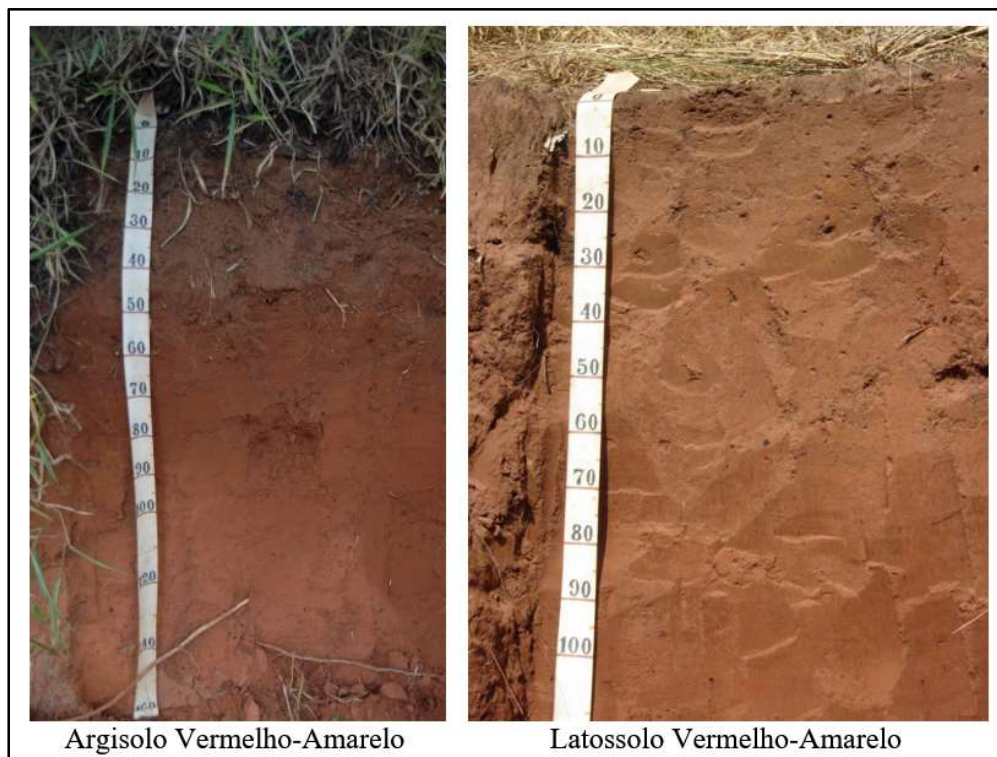
e Eutrófico típico, ambos textura arenosa/média e média, são profundos e estão presentes em relevo suave ondulado (ROSSI, 2017).

Esse tipo de solo que ocorre em condições de relevo desde relativamente suavizado a mais ondulado, por sua natureza pouco coesa em superfície e menor permeabilidade nos horizontes subsuperficiais, apresentam elevada susceptibilidade à erosão (IAC, 2015).

O Argissolo Vermelho Amarelo abrange 337,57 hectares da área não urbanizada da bacia inicial do Rio Bauru, representando 4,82% da área total. Esse tipo de solo é encontrado em relevo suave a mais ondulado (ambos presentes na área de estudo) e este, é bastante susceptível à erosão, ou seja, necessita de práticas adequadas para sua conservação.

Na Figura 8, visualiza-se os perfis de solos encontrados na bacia hidrográfica do rio Bauru.

Figura 8 - Perfis de solos da bacia hidrográfica do rio Bauru



Fotos: Marcio Rossi (arquivo pessoal).

4.1.2 Hipsometria

O mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Bauru revela as faixas de elevação da área. A altitude varia de 500m a 610m (os valores acima de 610 referem-se aos pontos cotados da bacia e apresentam valores altimétricos variados).

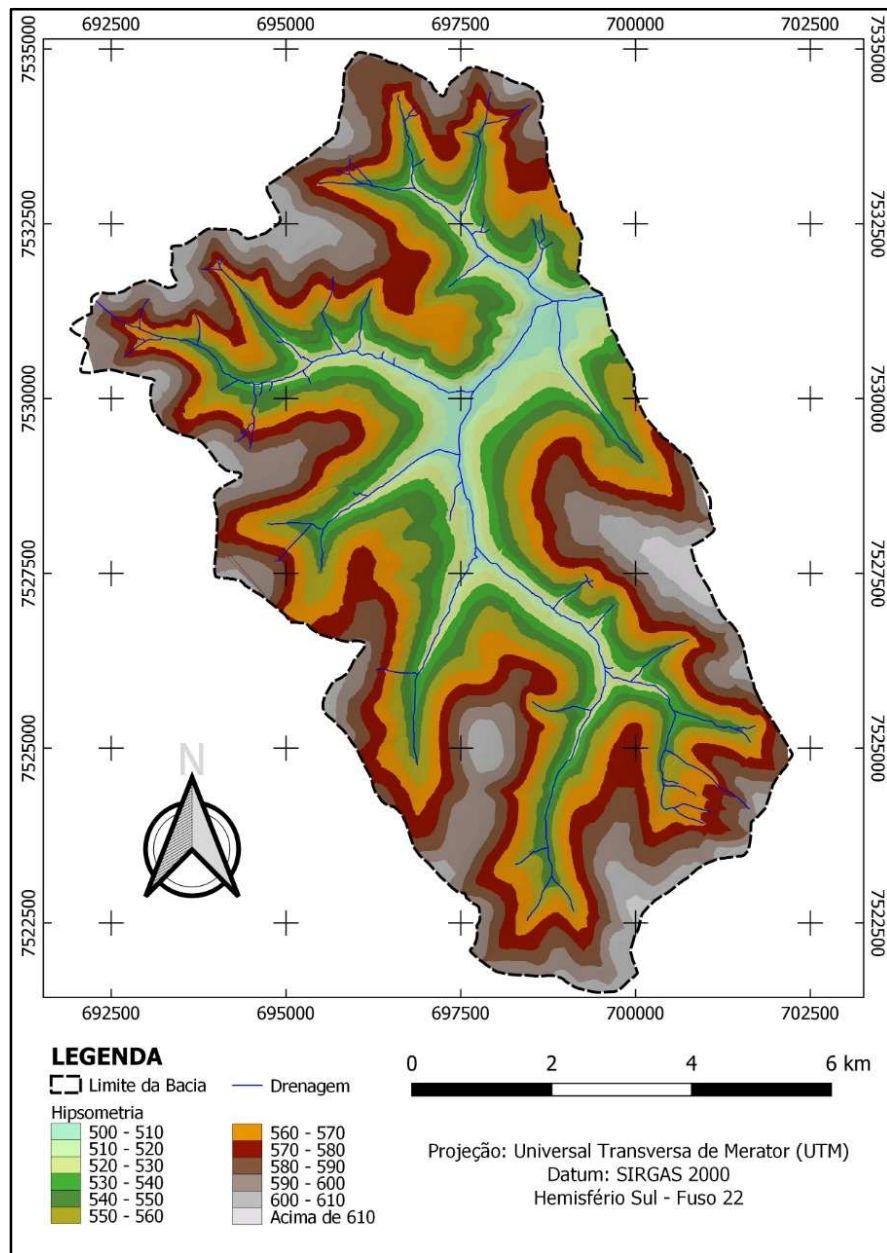
Na Tabela 3 e Figura 9 visualiza-se as classes de altitude e a área que elas representam na bacia hidrográfica em estudo.

Tabela 3 - Caracterização das classes de altitude da bacia hidrográfica

Classe de altitude (m)	Área	
	ha	%
500 – 510	189,90	2,71
510 – 520	278,79	3,99
520 – 530	367,89	5,27
530 – 540	501,78	7,18
540 – 550	684,59	9,79
550 – 560	873,10	12,48
560 – 570	995,12	14,22
570 – 580	981,38	14,02
580 – 590	901,76	12,88
590 – 600	794,26	11,35
600 – 610	369,57	5,28
Acima de 610	59,65	0,83
Total	6997,79	100

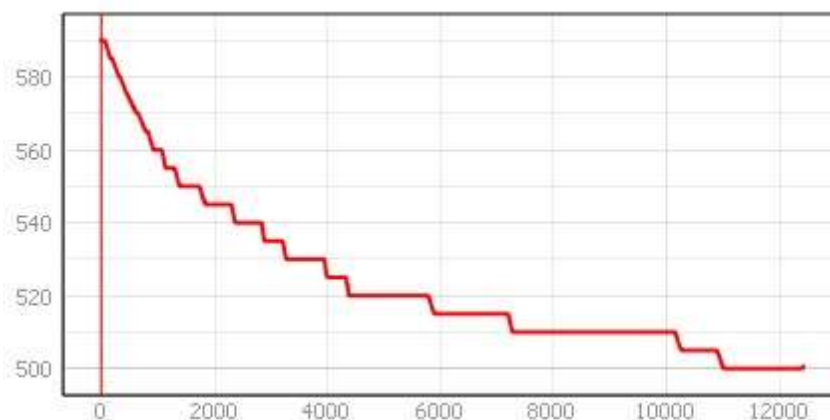
A bacia hidrográfica do rio Bauru tem a maior parte de sua área, cerca de 3751,36 ha ou 53,6% da área total da bacia, na classe hipsométrica dos 550 aos 580 metros.

Figura 9 - Mapa hipsométrico da bacia hidrográfica do rio Bauru



Na Figura 10 tem-se o perfil topográfico do canal principal da bacia hidrográfica do rio Bauru.

Figura 10 - Perfil longitudinal do rio principal da bacia hidrográfica do rio Bauru



4.1.3 Declividade

É a partir da carta de declividade, ou clinográfica, que é possível caracterizar o terreno por meio da inclinação e determinar o melhor aproveitamento do uso da terra. Outro fator é quanto ao escoamento das águas, já que quanto maior for o declive, maior será o escoamento superficial (MOTA, 1995).

As faixas de declividades encontradas estão distribuídas conforme Tabela 4.

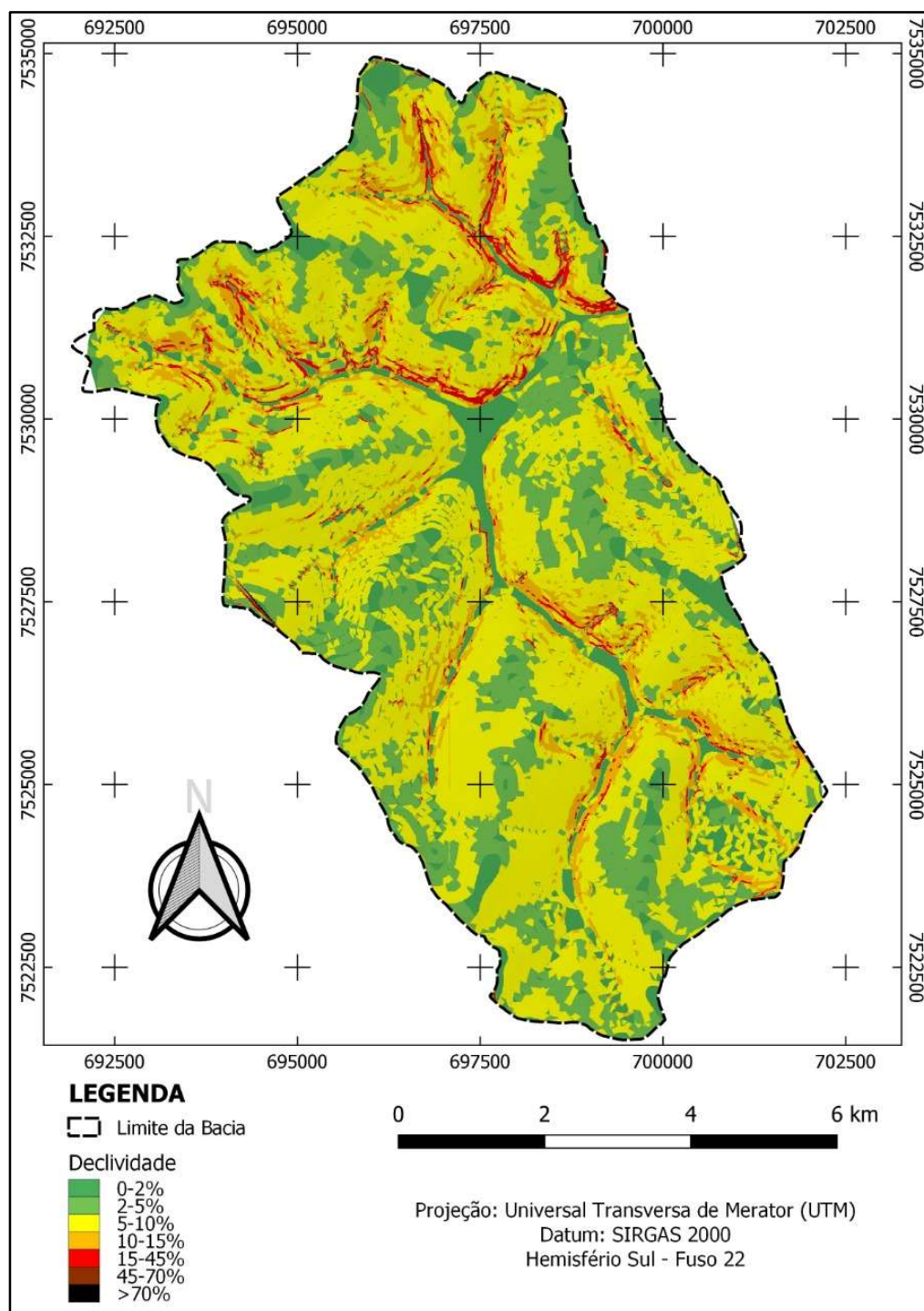
Tabela 4 - Caracterização das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Bauru

Classe de Declividade	Área	
	ha	%
0 – 2%	722,41	10,32
2 – 5%	1495,66	21,37
5 – 10%	3845,68	54,96
10 – 15%	746,47	10,67
15 – 45%	183,15	2,62
45 – 70%	2,73	0,04
>70%	1,28	0,02
Total	6997,79	100

Conforme a tabela anterior, a classe de declividade predominante na bacia hidrográfica do rio Bauru refere-se ao relevo moderadamente ondulado que

corresponde a 3845,68ha (54,96%) da área total da bacia hidrográfica do rio Bauru e em seguida, a de relevo suave ondulado (2 – 5%), com 1495,66ha (21,37%). Na Figura 11 é possível observar a declividade da área.

Figura 11 - Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Bauru



4.1.4 Uso e Ocupação do solo

O uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Bauru, em 2019, foi classificado em quatro usos, que são área urbana, área rural, vegetação e campo limpo, conforme Tabela 5.

Tabela 5 - Uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Bauru

Uso e cobertura do solo	Área	
	ha	%
Área urbana	5185,49	74,10
Área rural	888,84	12,70
Vegetação	566,11	8,09
Campo Limpo	357,35	5,11
Total	6997,79	100

A bacia hidrográfica do rio Bauru é predominantemente urbanizada, o que ocupa 5185,49 ha (74,10%) do território da bacia.

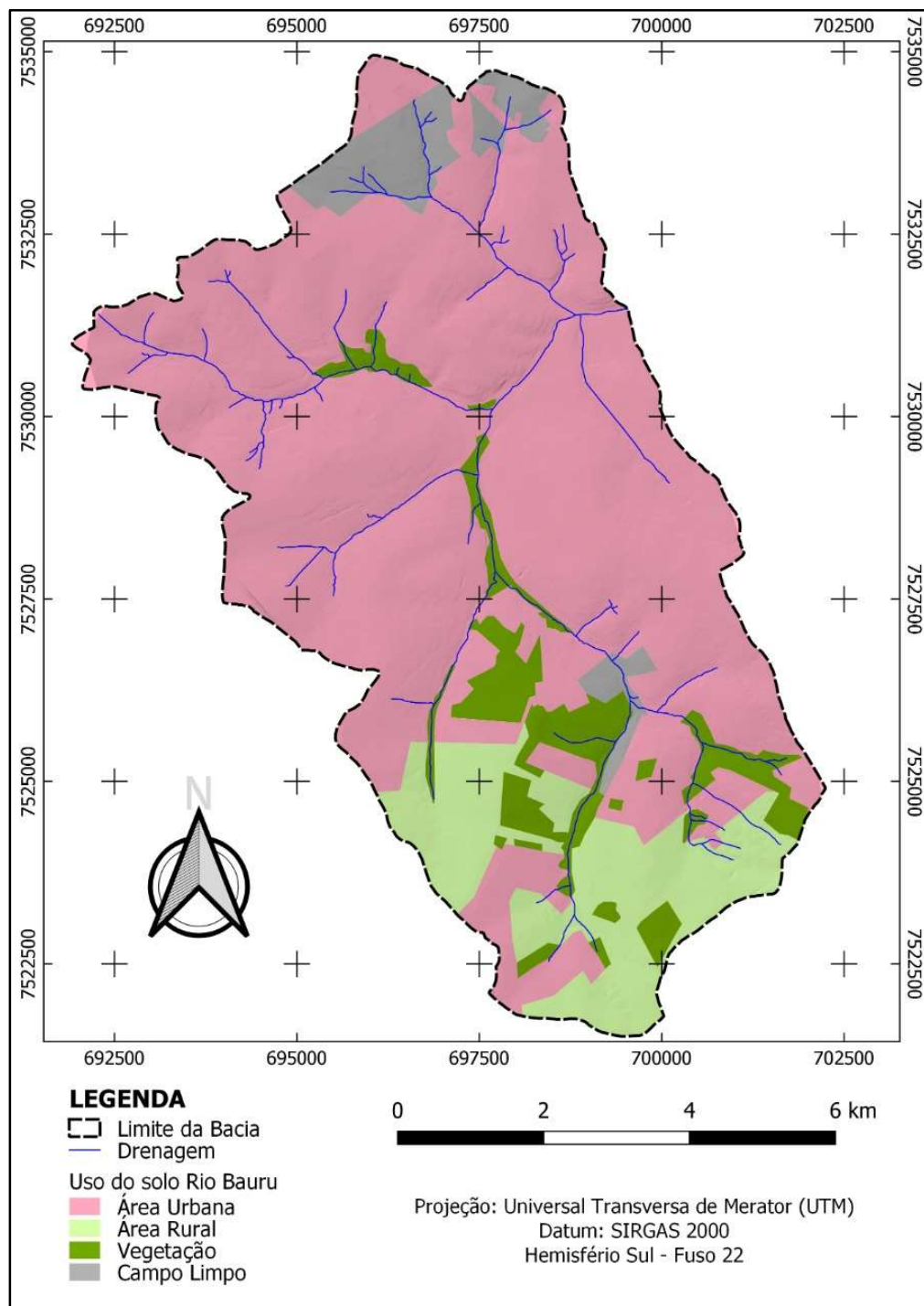
A área rural ocupa 888,84 ha da área total e equivale a 12,70% da bacia hidrográfica do rio Bauru. Essa área engloba os mais variados tipos de cultivos agrícolas, tanto anuais como perenes.

As áreas consideradas de vegetação, são aquelas ocupadas por vegetação nativa e somam 566,11 ha, equivalem a 8,09%, da área total da bacia. Já nas áreas de campo limpo, foram consideradas aquelas áreas de pastagem em desuso e com vegetação arbórea e ocupam 357,35 ha, ou 5,11% do total.

Salienta-se também, por estar localizada no entorno do limite urbano, essas áreas podem estar em transição para construção de loteamentos, o que não foi possível identificar até a data da classificação dessa imagem de satélite, ou seja, 14 de julho de 2019. Também se nota a baixa ocupação por vegetação nas áreas lindeiras do leito do rio principal na área urbana do município.

Na Figura 12 visualiza-se o mapa de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Bauru.

Figura 12 - Mapa do uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do rio Bauru



4.1.5 - Morfometria da bacia hidrográfica

Na Tabela 6 são apresentados os resultados das variáveis e parâmetros morfométricos relacionados à dimensão, ao relevo, à forma e drenagem da bacia hidrográfica do rio Bauru.

Tabela 6 - Características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Bauru

Características Físicas	Unidade	Resultados
Parâmetros da Bacia		
Área (A)	km ²	69,98
Perímetro (P)	km	71,00
Comprimento (L)	km	13,90
Comprimento da Drenagem (Ld)	km	65,55
Comprimento das Cotas (Cc)	km	1012,33
Características de Relevo		
Coeficiente de Compacidade (Kc)	---	2,35
Fator de Forma (Kf)	---	0,37
Índice de circularidade (Ic)	---	0,18
Declividade média (Dm)	%	7,10
Altitude média (Hm)	m	555
Maior Altitude (MA)	m	610
Menor Altitude (mA)	m	500
Amplitude Altimétrica (ΔH)	m	110
Coeficiente de Rugosidade (Rd)	---	6,53
Padrões de Drenagem		
Ordem da Bacia (W)	---	4 ^a
Densidade de drenagem (Dd)	km ² /km ²	0,92
Coeficiente de Manutenção (Cm)	m/m ²	1,09
Extensão de percurso superficial (Eps)	m	543,58

A bacia da porção inicial do Rio Bauru foi classificada como uma bacia pequena, pois apresenta área de drenagem de 69,98Km² e perímetro de 71 km, segundo o sistema de Strahler (1952), ela é de 4^a ordem de ramificação, resultado das condições do meio físico em que está inserida.

Em relação a forma, parâmetro relacionado ao tempo de concentração, que determina o tempo necessário para que toda a microbacia contribua na saída da água, no ponto de controle, foi determinada por índices que relacionam com as formas geométricas conhecidas, como o fator de forma (Kf), que se apresenta baixo (0,37), o índice de circularidade (Ic) também baixo (0,18), e o coeficiente de compacidade (Kc)

afastado do valor da unidade (2,35). Segundo Villela e Mattos (1975), pode-se então, classificar a bacia como oblonga, apresentando baixa tendência a enchentes pois deve apresentar um maior tempo de concentração.

Ainda em relação as características intrínsecas ao relevo, que se apresenta moderadamente ondulado (7,1%), e sua amplitude altimétrica de 100 m, fatores que influenciam diretamente a velocidade do escoamento superficial, pode-se concluir que o relevo se mostra menos propenso a ação do deflúvio.

A densidade de drenagem obtida foi de $0,92 \text{ km}^2 / \text{km}^2$, o que classifica a bacia, segundo Villela e Mattos (1975), com alta capacidade de infiltração, diminuindo o escoamento superficial e o risco de erosão e degradação ambiental.

Porém, resalta-se que a ausência de cobertura vegetal e alta impermeabilização do solo devido a urbanização, torna a área mais suscetível as enchentes.

4.2 Parâmetros utilizados no modelo HEC-HMS

4.2.1 Subdivisão da bacia hidrográfica do rio Bauru

O modelo HEC-HMS é um modelo hidrológico semi-distribuído, que calcula o hidrograma unitário de cada sub-bacia. Dividiu-se então a bacia do Rio Bauru em 11 sub-bacias e calculou-se os parâmetros necessários para cada uma individualmente para possibilitar a realização da modelagem hidrológica com maior precisão.

Os resultados encontram-se na Tabela 7 e Figura 13.

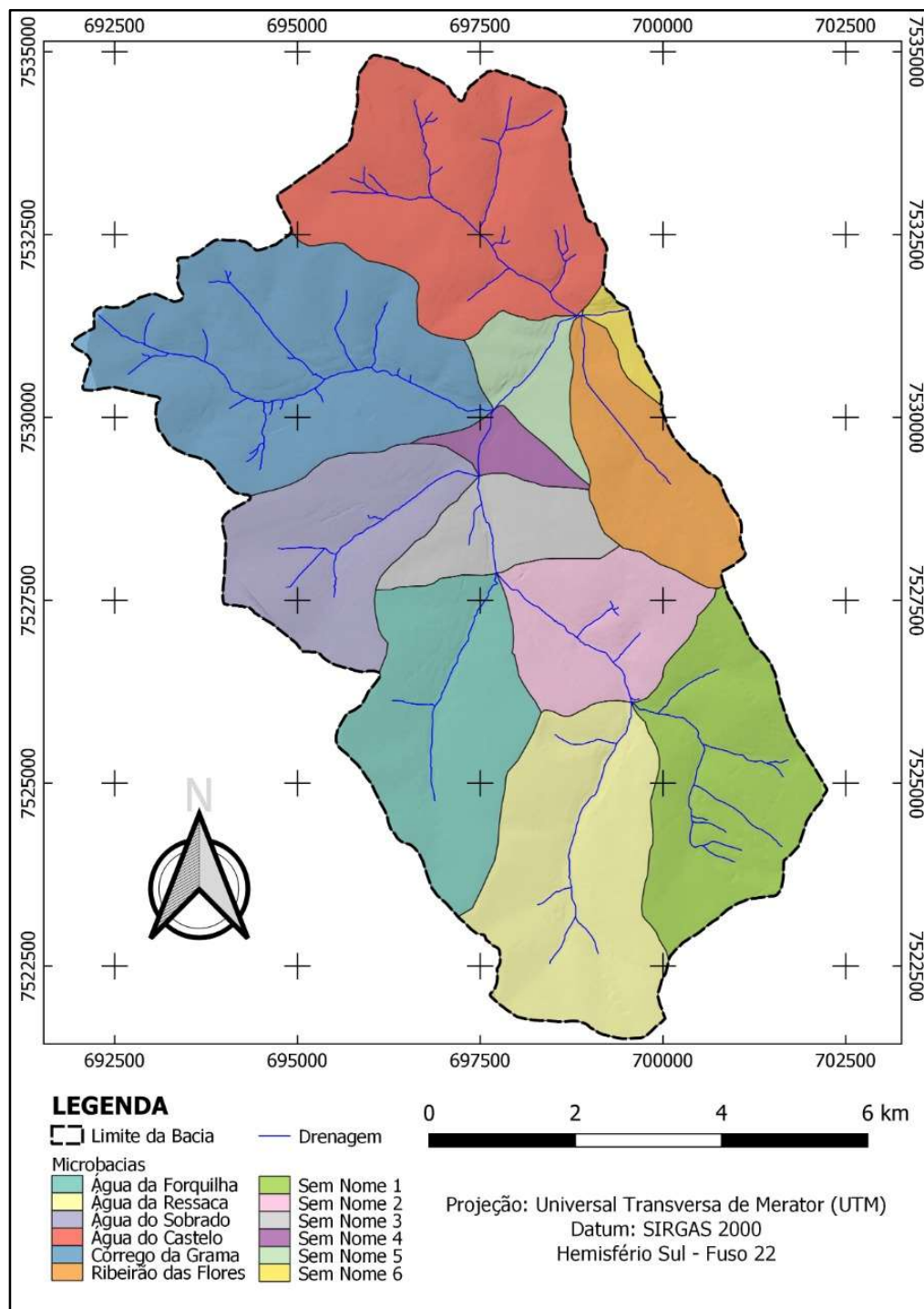
Tabela 7 - Parâmetros calculados por sub-bacias hidrográficas

Sub_bacias hidrográficas	Área (km)	Lcp (km)	Scp (m.m ⁻¹)	Tc (h)	Tr (h)	Tr (min)
Água da Forquilha	7,79	3,420000	0,247521	1,720776	1,032465	61,94792
Água da Ressaca	9,16	3,800000	0,260194	1,830663	1,098398	65,90386
Ribeirão das Flores das Flores	4,49	3,768017	0,259354	1,821053	1,092632	65,55791
Água do Sobrado	6,27	3,282736	0,267742	1,61769	0,970614	58,23684
Córrego da Grama	12,53	6,160000	0,316202	2,463515	1,478109	88,68653

Córrego do Castelo	10,84	4,070000	0,314994	1,793105	1,075863	64,55179
Sem Nome 1	7,64	3,420000	0,290837	1,617185	0,970311	58,21865
Sem Nome 2	4,66	2,710000	0,308635	1,32134	0,792804	47,56822
Sem Nome 3	2,87	1,380000	0,242111	0,862831	0,517699	31,06192
Sem Nome 4	1,11	0,948631	0,189949	0,709830	0,425898	25,55388
Sem Nome 5	1,76	1,798018	0,272471	1,010782	0,606469	36,38817
Sem Nome 6	0,56	0,650274	0,310948	0,439000	0,263400	15,80399
Total	69,67					

Onde: Área em Km²; Lcp: comprimento do curso de água principal (Km), Scp: declividade média (m/m); Tc: tempo de concentração (horas); Tr: tempo de retardo (horas); Tr_m: Tempo de retardo (minutos).

Figura 13 - Subdivisão da bacia hidrográfica do rio Bauru



4.2.2 Determinação da Curva Número das sub bacias

Utilizou-se a classificação hidrológica para os solos do estado de São Paulo proposta por Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005), que adaptou a classificação original do SCS para a realidade local. Os tipos de solos presentes na área de estudo,

o Latossolo Vermelho Amarelo (LVA6) e o Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA4), foram definidos nos grupos hidrológicos B e C respectivamente, e o CN da sub bacia foi calculado ponderando-se a média dos valores encontrados para cada uso.

Existem quatro grupos de uso do solo na área de interesse, área urbana, área rural com cultivos agrícolas variados, vegetação de maior porte que são as matas nativas e o cultivo de florestas e por último o campo limpo, de modo geral as pastagens.

Assim utilizou-se os valores de CN para a área urbanizada 98, para a área rural nos grupos hidrológicos B e C os valores de 77 e 83, vegetação 75 e 86 e campos limpos 61 e 74 respectivamente.

Os resultados obtidos para cada sub-bacia em relação ao uso do solo e os valores de CN obtidos estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8 - Relação ao uso do solo e os valores de CN

Usos - Microbacias (ha)						
	Área Urbana	Área Rural	Vegetação	Campo Limpo	Total	CN
Água da Forquilha	405,29	265,78	108,24	0	779,31	88
C. Água do Sobrado	621,86	0	4,86	0	626,72	98
C. Água da Grama	1204,87	0	47,73	0	1252,6	97
C. Água do Castelo *	792,54	0	0	96,2	1064,24	91
				175,5		-
C. Água da Ressaca	285,65	397,29	214,67	18,85	916,46	83
Ribeirão das Flores	448,55	0	0	0	448,55	98
Sem Nome 1	416,21	225,68	118,69	3,23	763,81	88
Sem Nome 2	381,26	0	40,87	43,59	465,72	93
Sem Nome 3	263,36	0	23,51	0	286,87	96
Sem Nome 4	103,97	0	6,85	0	110,82	97
Sem Nome 5	205,17	0	0,69	0	205,86	98
Sem Nome 6	55,83	0	0	0	55,83	98

* A Sub-bacia Córrego Água do Castelo foi dividida em 1 e 2 para cálculo do CN, pois estão presentes os dois grupos de solos encontrados, LVA6 e PVA4.

4.2.3 Modelo meteorológico das sub bacias

Para a utilização dos dados de precipitação disponíveis nas estações pluviométricas do CEMADEN, localizadas na bacia hidrográfica do rio Bauru, utilizou-se o SIG QGis que gerou os polígonos de Thissen e calculou a área de influência de cada estação, conforme exibido na Figura 14.

Os resultados encontrados, em percentuais, estão apresentados na Tabela 9.

Figura 14 - Área de influencia de cada estação

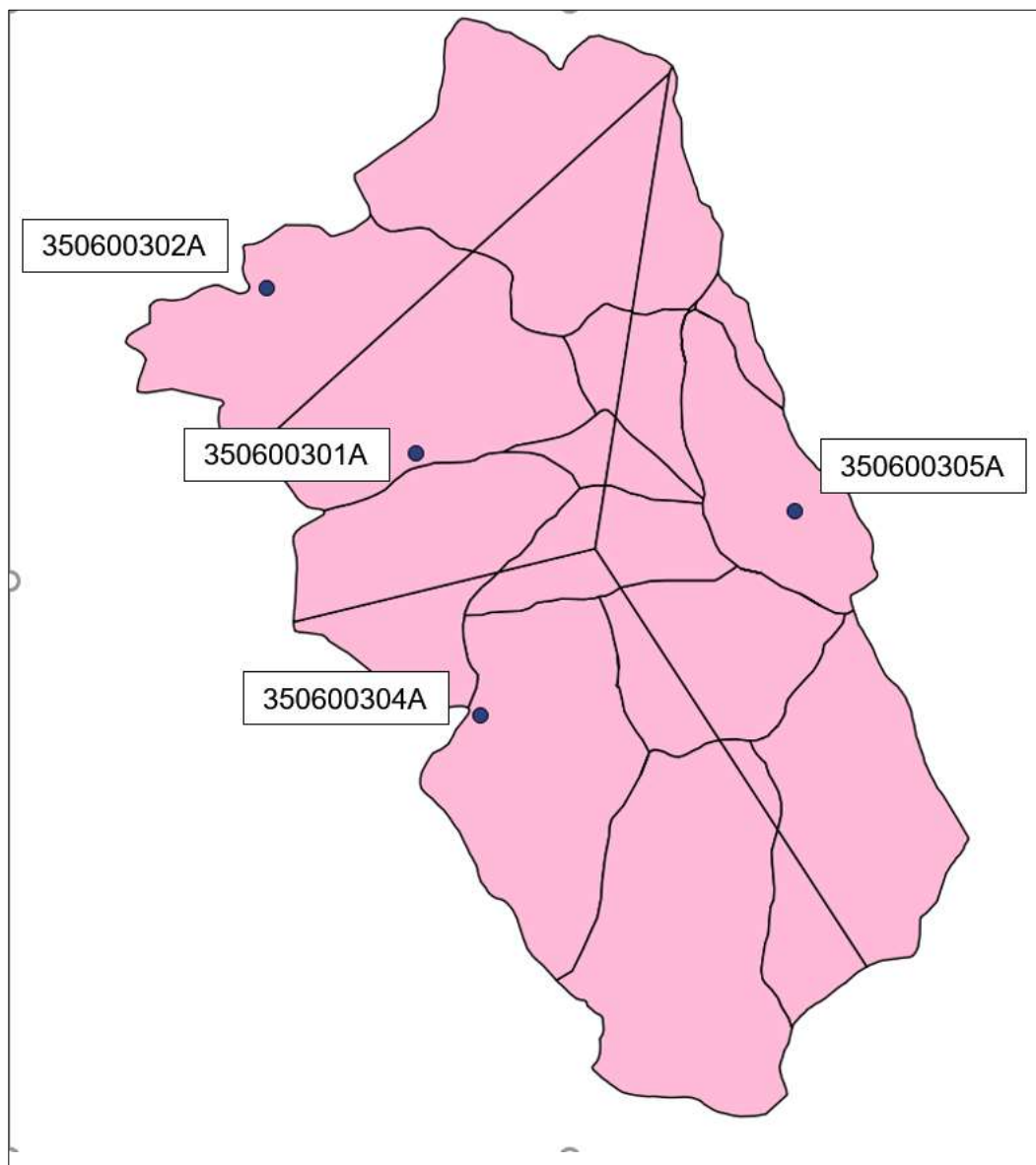


Tabela 9 - Porcentagem da área de influência de cada estação

Sub Bacias	350600301	350600302	350600304	350600305
A. da Forquilha	-	-	100,00 %	-
A. da Ressaca			96,70 %	3,30 %
R.das Flores	-	-	-	100,00 %
A. do Sobrado	68,70 %	-	31,30 %	-
C. da Grama	52,70 %	47,30 %	-	-
C. do Castelo	33,50 %	51,20 %	-	15,30 %
Sem Nome 1			20,00 %	80,00 %
Sem Nome 2			28,00 %	72,00 %
Sem Nome 3	20,00 %	-	30,00 %	50,00 %
Sem Nome 4	-	49,00 %	-	51,00 %
Sem Nome 5	-	40,00 %	-	60,00 %
Sem Nome 6	-	-	-	100,00 %

4.2.4 Resultados da base de dados da equação de precipitações intensas

Aplicando-se os dados observados das três estações do CEMADEN, no evento do dia 21 de fevereiro de 2020, cuja média foi de 98,3 mm no período de 5,5 horas, ou 0,3 mm/min, com a utilização da equação de precipitações intensas do DAEE (1999), obteve-se o tempo de retorno de 11 anos, muito próximo do TR de 10 anos utilizado para cálculo de projetos de drenagem urbana.

Tabela 10 - Estimativas de máximas precipitações (mm)

Duração (min)	Tempo de Retorno (anos)		
	10	50	100
10	23,84293	30,20668	32,89699
60	61,76978	79,62566	87,17433

120	76,59816	99,74443	109,5296
180	84,7622	111,0975	122,2309
330	96,49179	127,785	141,0144

Tabela 11 - Dados de precipitação observados no evento de 21 de fevereiro de 2020 das estações utilizados no modelo

Hora	350600301A	350600302A	350600304A	350600305A
12:10:00.0	0	1,8	0	0,8
12:20:00.0	0	1	0	3,2
12:30:00.0	0	1,2	0	3,4
12:40:00.0	0	0,4	0	1
13:00:00.0	1,2	0,2	1	0,2
13:10:00.0	2,6	0	3,6	1,2
13:20:00.0	0,8	4,8	4	0
13:30:00.0	1,4	3,4	2,6	4,2
13:40:00.0	8,8	6,8	3,4	4
13:50:00.0	11,6	13	4,8	3,4
14:00:00.0	14,6	7,4	3,8	4,6
14:10:00.0	12,2	8	4,6	4,2
14:20:00.0	9	3,4	2,8	6,6
14:30:00.0	3,6	7,2	3,2	5,8
14:40:00.0	3,4	3,6	5,2	5,4
14:50:00.0	5,4	2,4	5,6	3,6
15:00:00.0	4,4	1,6	6,8	2,2
15:10:00.0	0,8	1,4	4,4	2
15:20:00.0	2	1,2	2	1,6
15:30:00.0	2,4	1,8	1,6	1
15:40:00.0	1,8	1,4	1,2	1,2
15:50:00.0	2,2	5,8	6,4	0,4
16:00:00.0	6,8	8,8	8,4	1,2
16:10:00.0	4,6	4,4	6,8	7,2
16:20:00.0	1,4	3	5,6	1,8
16:30:00.0	1,8	2	3,2	1
16:40:00.0	1,8	1,8	2,6	2,2
16:50:00.0	0,4	0,6	3,4	2
17:00:00.0	0,8	1	1	1,2
17:10:00.0	0,8	1	0,8	1
17:20:00.0	1	2,6	1	1,2

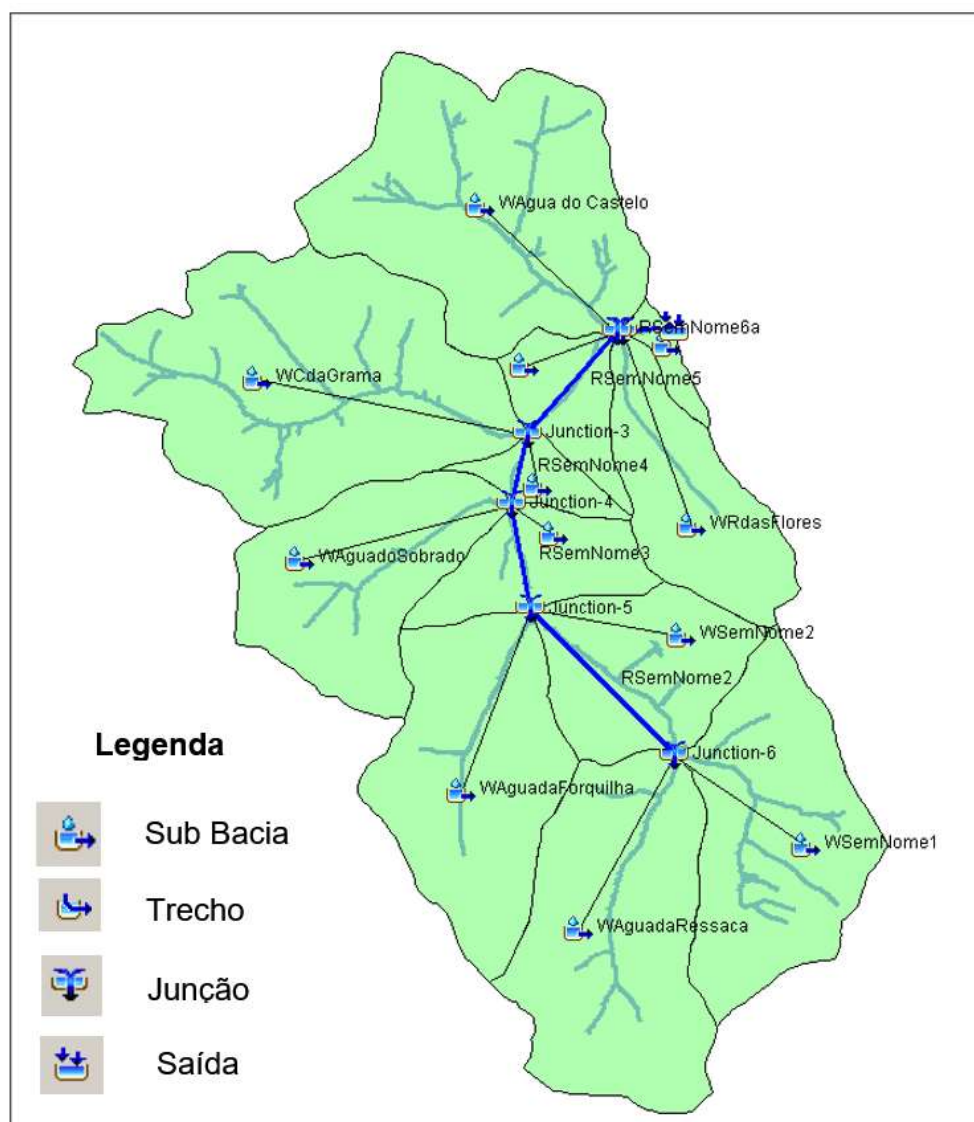
17:30:00.0	0,8	1	0,6	0,8
17:40:00.0	0,2	0	0,4	0,2
Total	108,6	104	100,8	79,8

4.2.5 Projeto para Modelagem hidrológica da bacia do rio Bauru – HEC-HMS

4.2.5.1 Modelo da bacia do rio Bauru – HEC-HMS

Após a delimitação da bacia e a divisão da área em sub-bacias, tendo os parâmetros necessários previamente definidos, iniciou-se o processo de criação do modelo da bacia do Rio Bauru na sua porção inicial e obtendo-se assim, o primeiro componente no HEC-HMS, conforme o modelo esquemático da Figura 15.

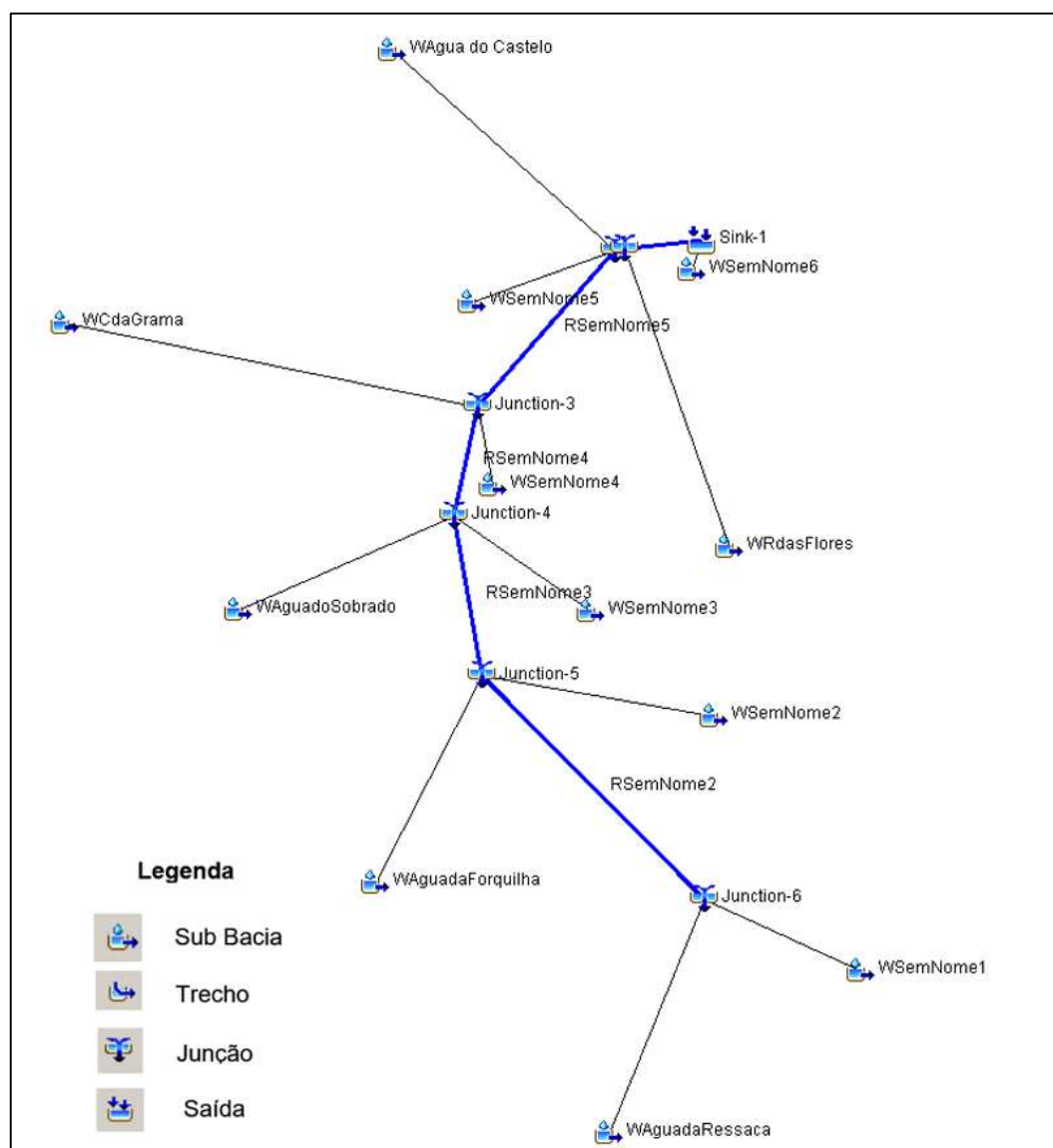
Figura 15 - Esquema do componente elaborado no HEC-HMS denominado Modelo de Bacia (*Basin Model*).



Nesse modelo, os símbolos das sub-bacias, que são os elementos que produzem água, estão definidos com o prefixo W (*watershed*), que se ligam as junções (*junction*), que são utilizados para combinar os fluxos à montante com os demais elementos hidrológicos à jusante. Os trechos que conduzem o fluxo da bacia são precedidos pelo prefixo R (*reach*) que fazem a ligação entre as junções, conduzindo o fluxo ao exutório, a saída no ponto de controle.

Na Figura 16, está a representação da topologia utilizada para a entrada dos dados no modelo HEC-HMS para a modelagem do escoamento superficial na Bacia do Rio Bauru até o ponto de controle escolhido.

Figura 16 - Elementos receptores e condutores da água na área de interesse.



Os parâmetros em relação aos trechos, conforme requerido pelo HEC-HMS para aplicação do modelo de propagação de *Muskingum-Cunge*, foram obtidos após a elaboração do modelo, com o auxílio do SIG QGis, e o número de *Manning* utilizado foi encontrado tabelado (NETTO, 2015) e estão descritos na Tabela 12.

Tabela 12 - Parâmetros em relação aos trechos para aplicação do modelo

Trecho	L (m)	D (m.m ⁻¹)	Manning	Forma	I (m)
RSemNome2	2480,39	0,027	0,33	retangular	8
RSemNome3	1649,49	0,020	0,33	retangular	13
RSemNome4	794,00	0,011	0,33	retangular	15

RSemNome5	1662,00	0,016	0,01	retangular	15
RSemNome6	514,44	0,015	0,01	retangular	15
RSemNome6a	176,39	0,005	0,01	retangular	15

Onde: (L) comprimento do trecho, em metros; (D) declividade do trecho (m/m); (Manning) número de Manning tabelado; (Forma) forma do canal e (l) largura observada do canal.

4.2.5.2 A simulação hidrológica

A simulação hidrológica proposta foi realizada para o evento ocorrido no dia 21 de fevereiro de 2020, que teve duração de 330 minutos com tempo de retorno próximo de 100 anos. Esse evento causou inúmeras inundações em vários pontos da cidade onde tradicionalmente acontecem com bastante frequência (Figura 17). Apesar dos pontos inundados, o escoamento superficial manteve-se contido no leito do rio, no ponto de controle.

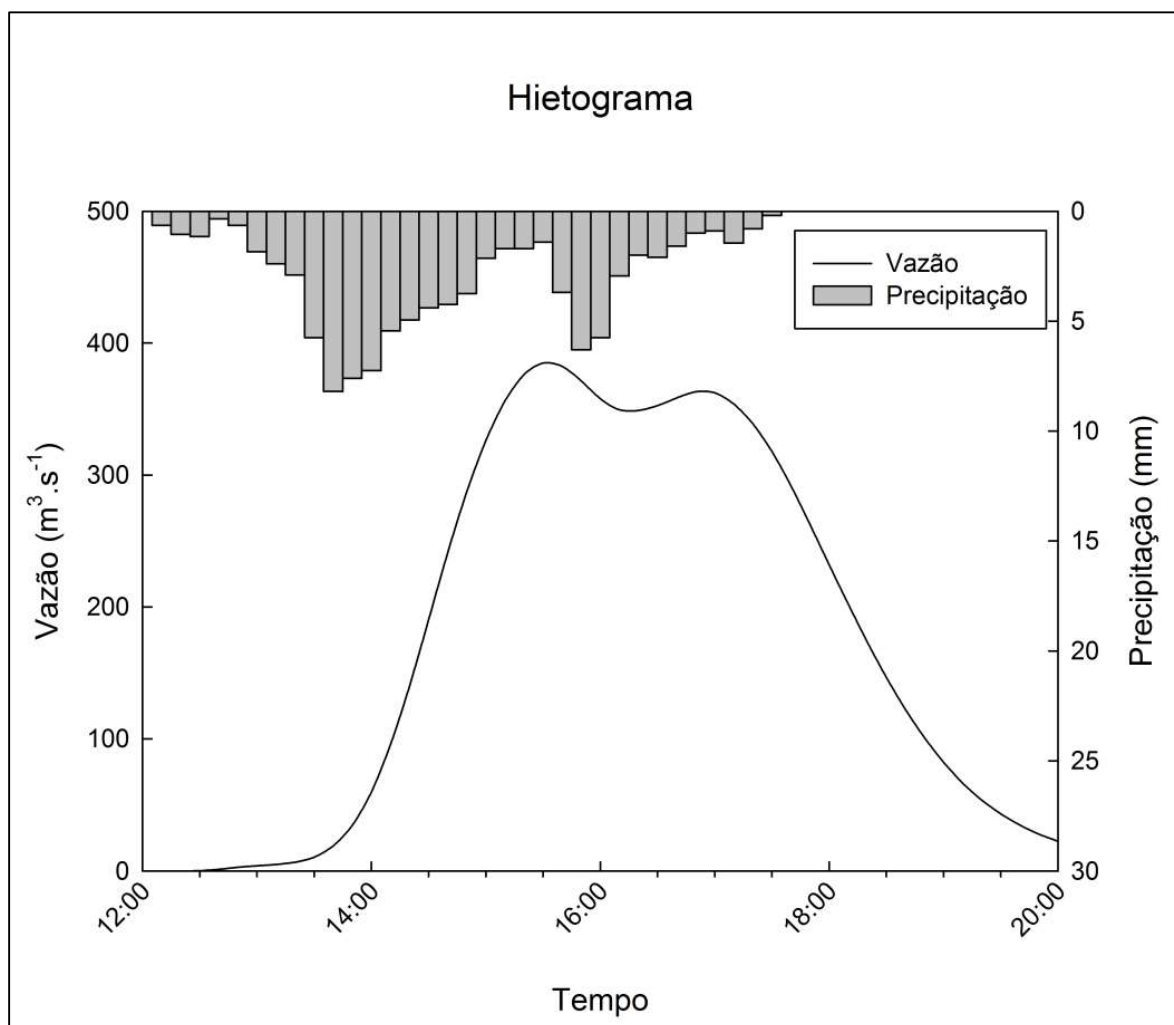
Figura 17 - Alguns pontos de alagamento durante o evento de 21/02/2020.



Fonte: JCNNet (2020).

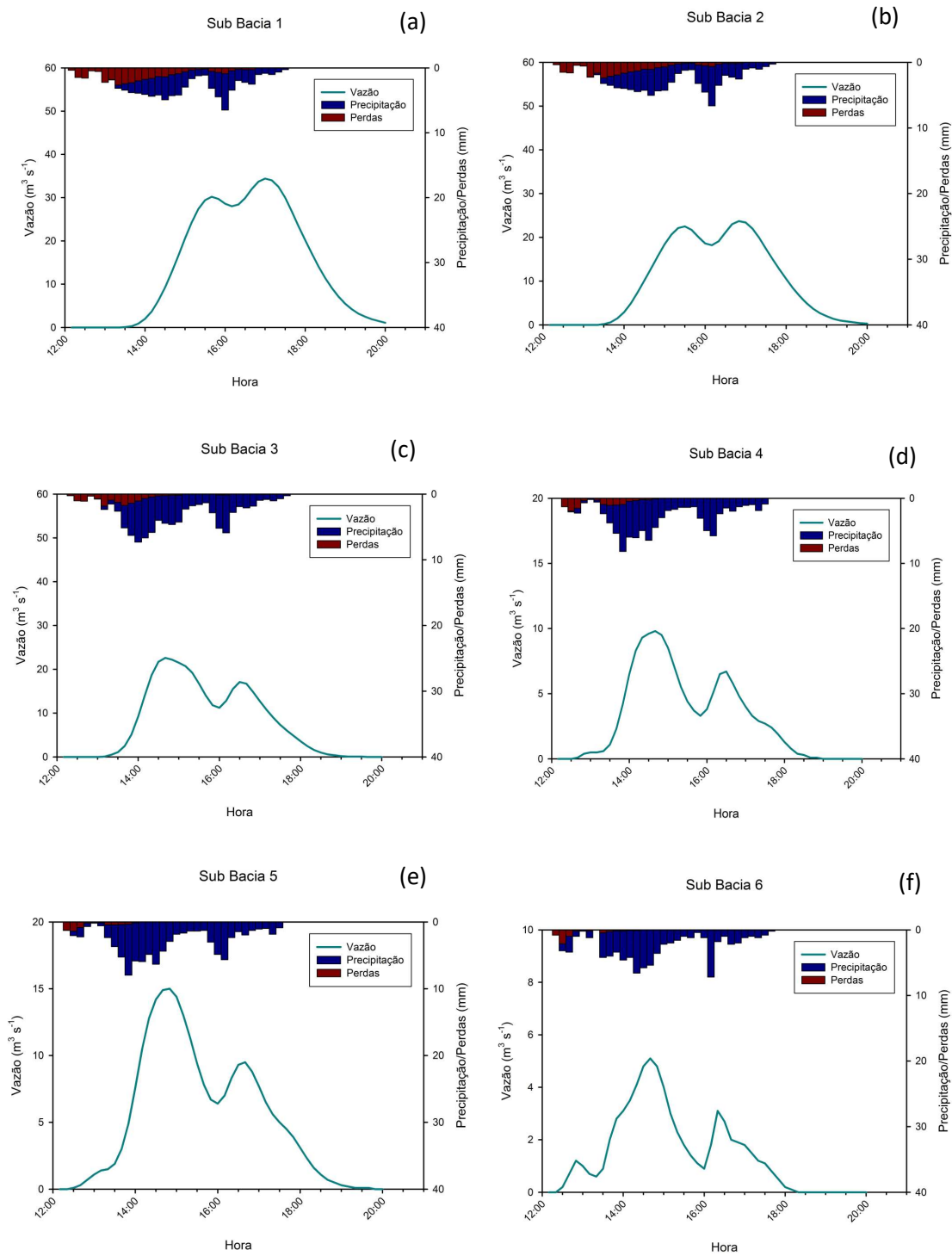
A aplicação do modelo hidrológico HEC-HMS permitiu a obtenção de importantes informações para auxiliar na interpretação do comportamento da bacia hidrográfica do Rio Bauru em sua porção inicial. Os resultados da simulação estão apresentados no gráfico da Figura 18, onde se pode visualizar os valores obtidos nesse evento de precipitação exibidos no hietograma e as vazões obtidas exibidas no hidrograma.

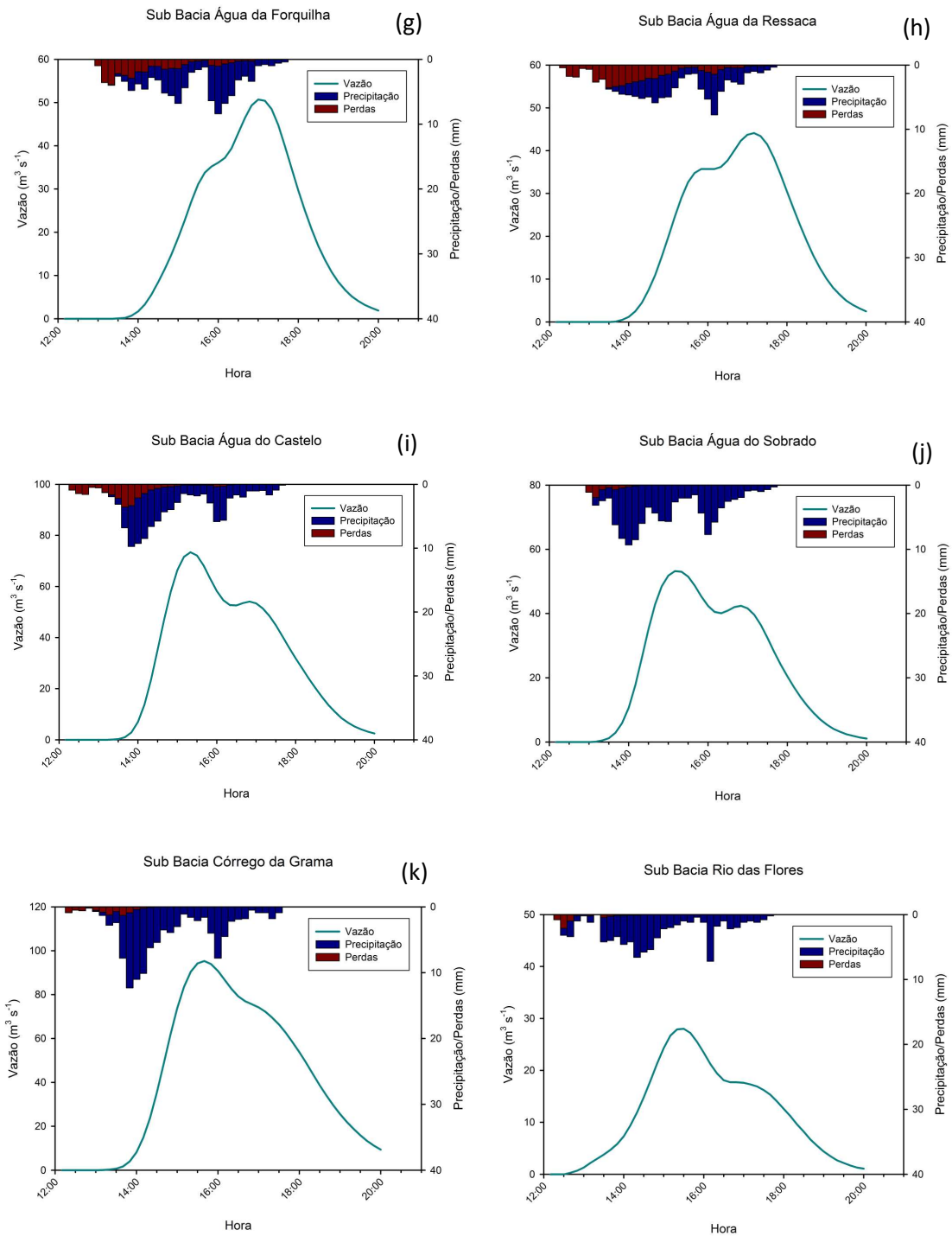
Figura 18 - Hietograma das vazões encontradas no ponto de controle na bacia hidrográfica do rio Bauru.



O modelo HEC-HMS calculou e gerou o hidrograma unitário de cada sub bacia, descontou as perdas, somou os resultados em cada junção e quantificou a vazão de pico e obteve a lâmina escoada em cada segmento. Esses resultados estão apresentados na Figura 19 e foram resumidos na Tabela 13.

Figura 19 - Hietogramas das vazões encontradas em cada sub bacia do Rio Bauru





(a) Sub Bacia Sem Nome 1; (b) Sub Bacia Sem Nome 2; (c) Sub Bacia Sem Nome 3; (d) Sub Bacia Sem Nome 4; (e) Sub Bacia Sem Nome 5; (f) Sub Bacia Sem Nome 6; (g) Sub bacia Água da Forquilha; (h) Sub bacia Água da Ressaca; (i) Sub bacia Água do Castelo; (j) Sub bacia Água do Sobrado; (k) Sub bacia Córrego do Sobrado; (l) Sub bacia Rio das Flores.

Tabela 13 - Resultados da simulação do evento de 21/2/2020.

Elemento Hidrológico	Área Drenagem (km²)	vazão máxima (m³/s)	pico (h)	Precip. (mm)	perdas (mm)	Vol. Esc. (mm)
WAguadaRessaca	9,16	44,1	17:10	100,11	44,00	56,11
WSemNome1	7,64	34,4	17:00	84,00	31,13	52,87
WAguadaForquilha	7,79	50,7	17:00	100,80	32,78	68,02
WSemNome2	4,66	23,7	16:50	85,68	26,60	59,08
WAguadoSobrado	6,27	53,2	15:10	106,16	6,34	99,82
WSemNome3	2,87	21,6	14:50	91,86	14,31	77,55
WCdaGrama	12,53	95,3	15:40	106,42	11,34	95,08
WSemNome4	1,11	9,70	14:40	91,66	11,58	80,08
WAgua do Castelo	10,84	73,4	15:20	101,84	25,52	76,32
WSemNome5	1,76	14,2	14:50	89,48	6,00	83,48
WRdasFlores	4,49	28,0	15:30	79,80	6,47	73,33
WSemNome6	0,56	4,90	14:40	79,80	5,90	73,90
Junction-6	16,8	78,1	17:00	-	-	54,64
RSemNome2	16,8	78,0	17:10	-	-	54,52
Junction-5	29,25	151,1	17:00	-	-	58,84
RSemNome3	29,25	150,6	17:10	-	-	58,73
Junction-4	38,39	205,2	17:00	-	-	66,87
RSemNome4	38,39	204,6	17:00	-	-	66,84
Junction-3	52,03	283,0	17:00	-	-	73,92
RSemNome5	52,03	282,5	17:00	-	-	73,81
Junction-2	64,63	355,4	15:40	-	-	74,50
RSemNome6a	64,63	355,2	15:40	-	-	74,48
Junction-1	69,12	382,4	15:40	-	-	74,40
RSemNome6	69,12	382,3	15:40	-	-	74,38
Sink-1	69,68	384,9	15:40	-	-	74,38

O volume médio de precipitação na bacia, a partir dos dados dos pluviógrafos existentes em seu interior, foi de 98,3 mm nas 5,5 horas de duração do evento. A lâmina total escoada encontrada no ponto de controle foi de 74,38 mm. Obteve-se o CN médio da bacia de 78,67. De acordo com Tassi et al. (2006), em trabalho que avaliou dezenas de eventos em 4 sub bacias urbanas de Porto Alegre, os valores de CN encontrados, variaram de 61 a 81, conforme as diferentes porcentagens de impermeabilização das bacias, resultados que se assemelham ao deste trabalho.

Observou-se o pico de descarga de 384,9 m³/s no ponto de controle, após 2,5 horas do início das chuvas e o volume total escoado encontrado foi de 5.399.640 m³.

A vazão específica da bacia do Rio Bauru foi de $5,56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / \text{km}^2$, essa também é uma forma de expressar a capacidade de uma bacia em produzir escoamento superficial e serve como elemento comparativo entre bacias.

Tucci (2000), encontrou valores de vazão específica para bacias, de acordo com a porcentagem de área impermeável, em torno de $7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$ para bacias com 75% de impermeabilização, superior ao encontrado nesta pesquisa.

Os resultados do comportamento da bacia em relação a sua capacidade de produção de água, encontram-se resumidos na Tabela 14.

Tabela 14 - Parâmetros de simulação do modelo chuva-vazão da bacia do rio Bauru

Parâmetro	Valor
Tempo total de simulação	8 h
Tempo de controle	10 min
Pico de descarga de precipitação	$384,9 \text{ m}^3/\text{s}$
Tempo do pico de descarga	2 horas e 30 minutos
Volume de precipitação	6.871.170.000 litros
Volume de escoamento	5.399.640.000 litros
Volume de perdas	1.471.530.000 litros

O coeficiente de escoamento superficial (coeficiente de *runoff*), que é a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado desse evento, foi de 0,786. À partir desse valor, pode-se calcular o valor do escoamento superficial em outros eventos de precipitação diferentes, com a mesma duração.

As sub bacias Água da Forquilha, Água da Ressaca e Sem Nome 1, foram as que apresentaram as maiores perdas. Esse resultado se deve, conforme esperado, por serem as bacias onde estão localizadas as áreas com menor porcentagem de impermeabilização.

As sub-bacias Córrego da Grama e Córrego do Castelo foram as bacias que apresentaram as maiores vazões, com $95,3$ e $73,4 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente.

Na Tabela 15, são apresentadas as vazões específicas de cada sub-bacia, onde se destacam as sub bacias da Água do Sobrado e Sem Nome 3 com $5,05$ e $3,91 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}$.

Tabela 15 - Valores de vazão específica das sub bacias do rio Bauru.

SUB BACIA	Área / Drenagem	Vazão específica
	(Km ²)	(m ³ /s/km ²)
Água da Ressaca	9,16	2,84
Sem Nome1	7,64	2,67
Água da Forquilha	7,79	3,44
SemNome2	4,66	2,99
Água do Sobrado	6,27	5,05
SemNome3	2,87	3,91
Córrego da Grama	12,53	4,81
SemNome4	1,11	4,04
Água do Castelo	10,84	3,86
SemNome5	1,76	4,22
Rio das Flores	4,49	3,71
SemNome6	0,56	3,72

4.3 Considerações finais

O objetivo do presente trabalho foi realizar a modelagem do processo hidrológico de chuva-vazão da bacia hidrográfica do rio Bauru utilizando a ferramenta computacional HEC-HMS após a caracterização morfométrica da área de interesse, para entender a capacidade de produção de água dessa porção da bacia.

Sugere-se, para futuros trabalhos, maior número de simulações, para diversas condições de precipitação, bem como o estudo mais aprofundado da vazão com medidas diretas no ponto de controle para possibilitar a elaboração da Curva Chave do Rio Bauru.

O trabalho mostrou a importância do monitoramento do Rio Bauru em sua porção inicial, incluindo a operacionalidade da estação hidrológica existente no ponto de controle e a devida manutenção dos pluviógrafos em operação e daqueles inoperantes, para enriquecer os dados coletados. Isso tornara possível o melhor conhecimento das vazões para possibilitar, além do apoio à construção de obras para fornecimento de água, a prevenção de inundações que tem sido fatais em várias oportunidades.

5 CONCLUSÕES

A caracterização morfométrica da bacia do rio Bauru com o auxílio de geotecnologias, possibilitou a obtenção dos parâmetros necessários para aplicação do modelo HEC-HMS com maior precisão, evidenciando mais uma vez a importância da aplicação dessas técnicas no estudo ambiental.

A vazão de pico encontrada no ponto de controle da bacia hidrográfica, no evento de 21 de fevereiro de 2020, foi de $384,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

A produção total de água escoada foi de $5.399.640 \text{ m}^3$ durante o evento e a vazão específica de $5,56 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$, mostrando a grande capacidade dessa bacia em produzir escoamento superficial.

O CN médio encontrado para a bacia do rio Bauru foi de 88,11, e espera-se que se eleve ao longo dos próximos anos junto com o desenvolvimento da urbanização.

Nesse evento, atingiu-se o pico de vazão no ponto de controle após 2 horas e 30 minutos do início da precipitação, evidenciando o pouco tempo de resposta para prevenção de eventos de inundação pelas autoridades competentes, o que evidencia a necessidade de execução de obras para amortecimento hidráulico visando o aumento do tempo de concentração.

O modelo HEC-HMS, muito utilizado em vários estudos hidrológicos, mostrou-se eficiente para a simulação do evento e para a quantificação do escoamento superficial, evidenciando sua importância para ampliar os conhecimentos das bacias urbanas e rurais.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. G. de; SOBRINHA, L. A.; BRANDAO, J. L. B. Análise da distribuição temporal das chuvas em eventos hidrológicos extremos. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 239-250, Abril. 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522017000200239&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 05 ago. 2020.
- BRAGA, B. P. F.; FLECHA, R.; PENA, D. S.; KELMAN, J. Pacto Federativo e gestão de águas. **Estudos avançados** 22 (63), 2008.
- BAURU. Prefeitura Municipal de Bauru. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. **Elaboração do Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Municipal do Rio Batalha**. Bauru, São Paulo, V. 1, 2019.
- BAURU. Prefeitura Municipal de Bauru. **Plano Municipal De Saneamento Básico**. Volume 1. 2017. Ampla Consultoria e Planejamento.
- CÂMARA, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para bancos de dados geográficos**. 1995. 264 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995.
- CAMPANHARO, W. A. **Diagnóstico físico da bacia do rio Santa Maria do Doce-ES**. 2010. 66 f. Monografia (Graduação) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2010.
- CAMPOS, S.; UZÓ, M.; CAMPOS, M.; PISSARRA, T. C. T.; RODRIGUES, B. T. Caracterização morfométrica da microbacia do rio Bauru/SP obtida por técnicas de geoprocessamento. **InterEspaço**. Grajaú/MA. v. 1, n. 3 p. 222-234. Ed. Especial, 2015.
- CARPI JUNIOR, S. **Processos erosivos, riscos ambientais e recursos hídricos na Bacia do Rio Mogi-Guaçu**. 2001. 188 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, São Paulo, 2001.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1999. 236 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 9, n.18, p. 35-64, 1969.
- COELHO, A. L. N. Aplicações de Geoprocessamento em Bacias de Médio e Grande Porte. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Florianópolis, Brasil, 21-26 abril, INPE, p. 2437-2445. 2007. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/10.31.17.41/doc/2437-2445.pdf>. Acesso em: 02 jul. 2020.

COMITE DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO. CBHSF. **Notícias**. 2013. Disponível em: <http://cbhsaofrancisco.org.br/2017/o-que-e-gestao-de-recursos-hidricos/>. Acesso em: 19 jun. 2018.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. CPRM. Serviço Geológico do Brasil. **GEOBANK** - Sistema de Informações Geológicas da CPRM, 2004.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. DAEE. **Equações de chuvas intensas do estado de São Paulo**. Edição Revisada. Outubro de 2018. Francisco Martinez Júnior e Nelson Luiz Goi Magni. Centro Tecnológico de Hidráulica e Recursos Hídricos. São Paulo: DAEE/CTH, 2018. 246 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. DENIT. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas e Drenagem**. 2a. Ed. Rio de Janeiro, 2005. 133 p. Disponível em: http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf. Acesso em: 6 nov. 2018.

EBERT, M. **Uso da Análise Discriminante Regularizada (RDA) no reconhecimento de padrões em imagens digitais hiperespectral de sensoriamento remoto**. Dezembro de 2001. 118 f. Dissertações (mestrado em sensoriamento remoto) - Centro estadual de pesquisas em sensoriamento remoto e meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006. 306 p.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. 1ª edição. São Paulo, SP. 285p. 2017.

FRANÇA, G. V. **Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba**. 1968. 151f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1968.

GANDOLFI, P. A. **Investigações sedimentológicas, morfométricas e físico-químicas nas bacias do Moji-Guaçu, do Ribeira e do Peixe**. 1971. Tese (Livre Docência). Universidade de São Paulo, São Carlos/SP, 1971.

GRASS DEVELOPMENT TEAM. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.0. Open Source Geospatial Foundation. 2015 <http://grass.osgeo.org>.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, Colorado, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. IAC. **Solos do estado de São Paulo**. 2015. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/solosspp/>. Acesso em: 13 jul. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Contas econômicas ambientais da água**: Brasil – CEAA. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/contas-nacionais/20207-contas-economicas-ambientais-da-agua-brasil.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 19 jun. 2018.

INSTITUTO DE GEOGRAFIA CARTOGRAFIA. IGC. Secretaria de Economia e Planejamento. **Plano cartográfico do Estado de São Paulo**. Município de Bauru. Folhas SF-22-Z-B-I-4-NE-A. SF-22-Z-B-I-4-NO-D. SF-22-Z-B-I-4-NE-C. SF-22-Z-B-I-4-NE-D. SF-22-Z-B-I-4-NO-F. SF-22-Z-B-I-4-NE-E. SF-22-Z-B-I-4-NE-F. SF-22-Z-B-I-4-SE-A. SF-22-Z-B-I-4-SE-B. São Paulo. 1978. Escala 1:10.000.

INSTITUTO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS. IPMet. **Serviços**. Universidade Estadual Paulista (UNESP). Bauru, 2020.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. IPT. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo. 1981. 2 v. Escala 1:500.000.

JORNAL DA CIDADE DE BAURU. JCNet. Rio Bauru transborda e veículos ficam parcialmente submersos. **Jornal da Cidade** (versão digital). Bauru, 2020.

KOBIYAMA, M.; et al. **Prevenção de desastres naturais**: Conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading. 109 p., 2006.

LEPSCH, J. F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, SP, 2001. 175p.

LIMA, W. P. **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. 2. ed. Piracicaba. “Manejo de Bacias Hidrográficas” do Curso de Graduação em Engenharia Florestal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Departamento de Ciências Florestais. ESALQ/USP. 2008. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABaDgAF/hidrologia-florestal-aplicada-ao-manejo-bacias-hidrograficas-lima-w-p-2006>. Acesso em: 19 jun. 2018.

LIMA, G. A. de; GENEROSO, C. M.; SANTOS, C. M. dos; SILVA, L. A.; SOUZA, R.G. de. **Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento e gestão**: Estudo de caso Ribeirão Isidoro. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campina Grande. PB – 21 a 24/11/2016. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2016/VIII-074.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2018.

LOPES, J. E.; BRAGA, B. F. F.; CONEJO, J. L. (1982). SMAP - A simplified hydrologic model in applied modeling in catchment hydrology. **Singh, V. P. Water Resources Publication**. 1982.

MEDEIROS, A. **O Geoprocessamento e suas tecnologias**: Parte 1. Disponível em: <http://www.clickgeo.com.br/geotecnologias-parte1/>. Acesso em: 5 ago. 2020.

MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da. **Hidrologia**: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 455 p.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos**: Princípios, integração e aplicação. 2ª. Ed. Porto Alegre. Ed. ABRH. 2013. 576 p.

MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. da S. **Sensoriamento remoto**: reflectância dos alvos naturais. Brasília: Universidade de Brasília, 2001. 262 p.

MORAES, J. M. Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 8(1):61-70. 2003.

MOTA, S. **Preservação e conservação de recursos hídricos**. 2.ª ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995.

NETA, S. R. A. et al. Comparação entre classificação contextual e classificação por regiões para mapeamento de uso e cobertura da terra na região da Floresta Nacional de Tapajós - PA (FLONA): utilizando imagens polarimétricas em banda L. XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009. **Anais...**2009. INPE, p. 7749-7756.

NETTO, A.; FERNÁNDEZ, M. F. **Manual de Hidráulica**. 9. ed. São Paulo: Blucher, 2015. 632 p

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU. **Relatório do Desenvolvimento Humano**. 2006. Disponível em: <http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/library/idh/relatorios-de-desenvolvimento-humano/relatorio-do-desenvolvimento-humano-20006.html>. Acesso em: 19 jun. 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. ONU. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2016**. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002440/244040por.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2018.

POLETO, C. **Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos**. 1ª. Ed. Rio de Janeiro. Editora Interciência Ltda. 2014. 249 p.

POLLO, R. A. et al. Caracterização morfométrica da microbacia do ribeirão Água da Lucia, Botucatu-SP. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.5, n.1 jan/abr., 2012.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Estudos Avançados** 22 (63), USP, 2008. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/eav/issue/view/751>. Acesso em: 19 jun. 2018.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS**. Versão 2.8. 2016. Disponível em: <http://qgis.org/>. Acesso em: 15 jul.2019.

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. Disponível em:
http://www.dpi.inpe.br/geopro/modelagem/relatorio_modelos_hidrologicos.pdf.
 Acesso em: 6 nov. 2018.

RIBEIRO, S; CATALÃO, V; FONTELES, B.(organizadores); **Água e cooperação: reflexões, experiências e alianças em favor da vida**. Tradução: Roller Ibañez. – Brasília: Ararazul, Organização para a Paz Mundial, 2014. 240 p.

RIGHETTO, A. M. (1998). **Hidrologia e Recursos Hídricos**. 1ª Ed. Departamento de Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 1998.

ROCHA, G. Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo: escala 1:1.000.000: **Nota explicativa** / [coordenação geral]. - São Paulo: DAEE Departamento de Águas e Energia Elétrica: IG-Instituto Geológico: IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo: CPRM Serviço Geológico do Brasil, 2005.3v.

ROCHA, J. S. M., SILVA, S. M. J. M. **Manual de manejo Integrado de bacias hidrográficas**. Santa Maria: UFSM, 2001. 302p.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, 16 (2005) 81-90. Disponível em: <http://www.periodicos.usp.br/rdg/article/view/47288>. Acesso em: 19 jun. 2018

ROSSI, M. **Mapa pedológico do estado de São Paulo**: revisado e ampliado. São Paulo: Instituto Florestal, 2017. V.1. 118p. (inclui Mapas). Disponível em: <http://www.lflorestal.sp.gov.br>. Acesso em: 19 jan. 2020.

RUDORFF, B.F.T. Produtos de Sensoriamento Remoto. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2001. **Apostila**. Disponível em:
<http://www3.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>. Acesso em: 19 jun. 2018.

SANTOS, A. M. et al. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambi-Agua**, Taubaté, v.7, n.3, p.195-211, 2012.

SANTOS, L .L. dos. Modelos Hidráulicos-Hidrológicos: Conceitos e aplicações. RBGF- **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife-PE, Vol.2, n.03, set-dez, 2009, 01-19.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para estimativa da chuva excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos parte 1: classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 05 - 18, 2005.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597-646, 1956.

SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais. **Artigo**. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 2005. 27 p.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; BARBOSA, C. P. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: RiMa. 141p., 2004.

SILVEIRA, A. L. L. da. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista brasileira de recursos hídricos**. V.10, n. 1 Jan/Mar 2005, 5-23.

SILVEIRA, A. L. da; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. F. Infiltração e Armazenamento no Solo. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**, 2ª edição. Porto Alegre: Editora da Universidade UFRGS, p.335-372, 2000.

SMITH, K.G. Standards for grading texture of erosional topography. **American Journal of Science**, n. 248, p. 655-668, 1950.

SOUZA, T. C. T. de. **Avaliação de vazões máximas estimadas a partir dos modelos HEC-HMS e SWMM**: estudo de caso para o núcleo urbano e região periurbana de Muniz Freire. Tese (Mestrado – Programa de Pósgraduação de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável e Área de Concentração Saneamento Ambiental e Saúde Pública). Universidade Federal do Espírito Santo - UNESP– 2017.

SPERA, S. T.; REATO, A.; CORREA, J. R.; SILVA, J. C. S. **Características físicas de um latossolo vermelho-escuro no cerrado de Planaltina, DF**, submetido à ação do fogo. Agência de Informação EMBRAPA – Bioma Cerrado. Planaltina, DF. 2000. Disponível em:
<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/catalogo/recelectronico/RE200.0.70.202022007134510.html>> visualizado em 10/08/2020.

STRAHLER, A. N. **Geografia física**. Barcelona: Omega, 1974, 352 p.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis and erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p.1117-1142, 1952.

TAGLIARINI, F. S. N. et al. Avaliação morfométrica da microbacia do córrego do Bebedouro, Planalto - SP. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, v.30, n.4, p. 402-410, out./dez., 2015.

TASSI, R.; ALLASIA, D. G.; MELLER, A.; MIRANDA, T. C.; HOLZ, J.; SILVEIRA, A. L. L. Determinação do parâmetro curve number para sub-bacias urbanas do arroio Dilúvio – Porto Alegre/RS. In: Simpósio de Recursos Hídricos Sul Sudeste, 1., Curitiba, 2006. **Anais...** Curitiba: ABRH, 2006.

THIESSEN, A. H. Precipitation averages for large areas. **Monthly Weather Review**, v. 39, n.7, p. 1082-1089, 1911.

THOMÉ, R. **Manual de Direito Ambiental**. 5ª edição. Salvador: Editora JusPodium p.475-522, 2000. 905 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2013. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 2013. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.4). 145 p.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima para bacias urbanas. **Revista brasileira de recursos hídricos**. Vol 5. N. 1. Jan/Mar 2000. Fls 61 – 68.

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

TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos**. O Futuro dos Recursos Hídricos. Multiciência UNICAMP, 2003. Disponível em: https://www.multiciencia.unicamp.br/artigos_01/A3_Tundisi_port.PDF. Acesso em: 19 jun. 2018.

TUNDISI, J, G, Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008. Disponível em: <https://goo.gl/4stCGZ>. Acesso em: 19 jun. 2018.

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR. **Design of small dams**: a water resources technical publication. Washington: U.S Bureau of Reclamation. 1987. 904 p. Disponível em: <http://luk.staff.ugm.ac.id/USBRSmallDams.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2018.

USACE-HEC - US Army Corps of Engineers, Hydrology Engineering Center. Hydrologic Modeling System HEC-HMS **User's Manual**. V 4.2. 2016. Disponível em: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Users_Manual_4.2.pdf Acesso em: 19 jun. 2018.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: MacGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAM - **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**. 2018. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002615/261594por.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2018.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. **Revista de Administração Pública**, n.27, v.2, p.5-18, 1993. v. 2, abr/jun 1993. Disponível em: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rap/article/view/8663/7394>. Acesso em: 19 jun. 2018.