

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CAMPUS FREDERICO WESTPHALEN - RS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

Joniel Decol

**BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IJUÍ/RS: UM ESTUDO
HIDROMORFOMÉTRICO DA SEÇÃO DO MÉDIO-ALTO IJUÍ**

Frederico Westphalen, RS

2020

Joniel Decol

**BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IJUÍ/RS: UM ESTUDO
HIDROMORFOMÉTRICO DA SEÇÃO DO MÉDIO-ALTO IJUÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM. RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Engenheiro Ambiental e Sanitarista**.

Orientador: Prof. Dr. Willian Fernando de Borba

Frederico Westphalen, RS
2020

Joniel Decol

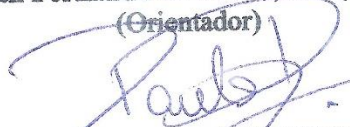
**BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IJUÍ/RS: UM ESTUDO
HIDROMORFOMÉTRICO DA SEÇÃO DO MÉDIO-ALTO IJUÍ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária,
da Universidade Federal de Santa Maria
(UFSM. RS), como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro Ambiental
e Sanitarista.

Aprovado em 25 de agosto de 2020:



Willian Fernando de Borba, Dr. (UFSM)
(Orientador)



Paulo Roberto Bairros Da Silva, Dr. (UFSM)



Malva Andrea Mancuso, Dra. (UFSM)

Frederico Westphalen, RS
2020

DEDICATÓRIA

A minha família, que sempre demonstrou todo o apoio e incentivo para que eu chegasse até aqui. Aos professores, os quais foram fontes de conhecimento e inspiração. Aos amigos, que tornaram essa trajetória especial.

*Mudanças são necessárias. Reciclagem não é só no meio ambiente, mas também no ambiente
do nosso ser.*

(Daniel Carvalho de Oliveira)

RESUMO

BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IJUÍ/RS: UM ESTUDO HIDROMORFOMÉTRICO DA SEÇÃO DO MÉDIO-ALTO IJUÍ

AUTOR: Joniel Decol

ORIENTADOR: Prof. Dr. Willian Fernando de Borba

A existência de fatores como a desigualdade na distribuição dos recursos hídricos, intensivos usos das águas, poluição e eventos hídricos extremos afetam frequentemente a qualidade e a disponibilidade hídrica em todas as regiões do Brasil, tornando o planejamento e a gestão dos recursos hídricos cada vez mais indispensável. O presente estudo teve como finalidade o estudo hidromorfométrico da seção hidrográfica médio-alto Ijuí, Rio Grande do Sul. Para a definição dos indicadores morfométricos da área estudada fez-se o uso dos arquivos de hidrografia e Modelo Digital de Elevação (MDE), disponibilizados pela FEPAM e USGS. Processando os arquivos no *software* ArcGIS 10.3, foi possível realizar os cálculos das variáveis morfométricas de forma remota. Os indicadores morfométricos definidos foram densidade de drenagem (km/km^2), fator de forma, coeficiente de circularidade, coeficiente de compacidade e razão do relevo, os quais resultaram nos valores de 0,55, 0,47, 0,22, 2,13, 0,002 respectivamente, e caracterizaram a bacia hidrográfica como de baixa susceptibilidade a inundações. Para a definição dos indicadores hídricos utilizou-se de dados, adquiridos no portal HidroWeb/ANA (2019), de 5 estações pluviométricas e 1 estação fluviométrica. Os indicadores hídricos determinados, para o rio Ijuí, foram as vazões mínimas de referência Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, que resultaram em $34,8 \text{ m}^3/\text{s}$, $27,2 \text{ m}^3/\text{s}$ e $21,15 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente, e cotas de nível de referência para situações hídricas extremas, que resultaram em 262, 329 e 406 cm para atenção, alerta e emergência a inundações e 102, 99 e 90 cm para atenção, alerta e emergência a estiagens.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica. Fluviometria. Gestão Hídrica. Indicadores. Pluviometria.

ABSTRACT

IJUÍ/RS RIVER HYDROGRAPHIC BASIN: A HYDROMORPHOMETRIC STUDY OF THE MEDIUM-HIGH IJUÍ SECTION

AUTHOR: Joniel Decol

ADVISOR: Prof. Dr. Willian Fernando de Borba

The existence of factors such as inequality in the distribution of water resources, intensive use of water, pollution and extreme water events often affect water availability in all regions of Brazil, thus, the planning and management of water resources is increasingly essential. The purpose of the present work was the hydromorphometric study of the Ijuí medium-high hydrographic section, in Rio Grande do Sul. For the definition of the morphometric indicators of the studied area, were used the hydrography files and Digital Elevation Model (DEM), made available by FEPAM and USGS. Processing the files in the ArcGIS 10.3 software, it was possible to perform the calculations of the morphometric variables remotely. The main morphometric indicators defined were drainage density (km / km²), form factor, circularity coefficient, compactness coefficient and relief ratio, which resulted in the values of 0.55, 0.47, 0.22, 2.13, 0.002 respectively, and characterized the hydrographic basin as having low susceptibility to flooding. For the definition of water indicators it was used data acquired in the portal HidroWeb/ANA, of 5 pluviometric stations and 1 fluviometric station. The water indicators determined for the Ijuí River were the minimum reference flows Q₉₀, Q₉₅ and Q_{7.10}, which resulted in 34.8 m³/s, 27.2 m³/s and 21.15 m³/s respectively, and quotas reference level for extreme water situations, which resulted in 262, 329 and 406 cm for attention, alert and emergency to floods and 102, 99 and 90 cm for attention, alert and emergency to droughts.

Keywords: River basin. Fluviometry. Water Management. Indicators. Pluviometry.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Regiões Hidrográficas do Brasil. | 14 |
| Figura 2 – Total de Estações Pluviométricas e Fluviométricas por Região Hidrográfica..... | 15 |
| Figura 3 – Eventos de cheia em cada região do Brasil entre 2016 e 2018. | 17 |
| Figura 4 – Eventos de seca em cada região do Brasil entre 2016 e 2018..... | 18 |
| Figura 5 – Sala de Situação do estado de Santa Catarina: Rios On-line. | 21 |
| Figura 6 – Fluxograma de Metodologia. | 23 |
| Figura 7 – Mapa de localização da área de estudo. | 24 |
| Figura 8 – Ilustração exemplo de um valor anômalo (outlier). | 28 |
| Figura 9 – Classificação das condições hídricas extremas. | 31 |
| Figura 10 – Mapa de Classes de declividade da Seção Hidrográfica do Médio-Alto Ijuí. | 34 |
| Figura 11 – Altimetria da Seção Hidrográfica do Médio-Alto Ijuí. | 35 |
| Figura 12 – Mapa de Polígonos de Thiessen e estações de monitoramento..... | 38 |
| Figura 13 - Mapa número de estiagens registradas por município, no S2iD, entre 1986 e 2019. | 48 |
| Figura 14 - Mapa número de inundações registradas por município, no S2id, entre 1986 e 2019. | 49 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Parâmetros morfométricos e classes de tendência de ocorrência de enchentes..... | 19 |
| Tabela 2 - Classificação do relevo em função da declividade..... | 27 |
| Tabela 3 - Classes de declividade em área. | 33 |
| Tabela 4 - Morfometria da bacia hidrográfica. | 36 |
| Tabela 5 - Características das estações de medição. | 37 |
| Tabela 6 - Estatística das estações pluviométricas. | 37 |
| Tabela 7 - Vazões mínimas de 7 dias consecutivos..... | 41 |
| Tabela 8 - Probabilidade e período de retorno das Q_7 | 43 |
| Tabela 9 - Classificação das Cotas de Referência para eventos hídricos extremos. | 44 |
| Tabela 10 - Série história de estiagens e inundações registradas, no S2iD, entre 1986 e 2019. | 47 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 - Hidrodinâmica Pluvi-fluviométrica da Bacia do Rio Ijuí, seção Médio-Alto Ijuí (1986-2017). | 39 |
| Gráfico 2 - Correlação chuva-vazão da bacia do Rio Ijuí, seção Médio-Alto Ijuí (1986-2017). | 40 |
| Gráfico 3 - Curva de permanência de vazões da bacia do Rio Ijuí, seção Médio-Alto Ijuí (1986-2017, 1992 e 2012). | 41 |
| Gráfico 4 - Curva de probabilidade de Q_7 , durante o período de 1986 a 2017. | 42 |
| Gráfico 5 - Curva de permanência de cotas de nível durante 1986 e 2017. | 44 |
| Gráfico 6 - Comportamento das cotas de nível do Rio Ijuí entre 1986 e 2017. | 45 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 12 |
| 2 | OBJETIVOS | 13 |
| 2.1 | OBJETIVO GERAL..... | 13 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 13 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 14 |
| 3.1 | GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS | 14 |
| 3.2 | BACIA HIDROGRÁFICA | 15 |
| 3.3 | GEOPROCESSAMENTO NA GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS | 16 |
| 3.4 | SEGURANÇA HÍDRICA | 16 |
| 3.5 | IMPORTÂNCIA DE INDICADORES NA GESTÃO HÍDRICA..... | 18 |
| 3.5.1 | Indicadores morfométricos | 19 |
| 3.5.2 | Indicadores de vazão | 20 |
| 3.5.3 | Indicadores de eventos hídricos extremos por meio da cota de nível dos rios | 21 |
| 4 | METODOLOGIA | 23 |
| 4.1 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 24 |
| 4.1.1 | Localização Geográfica | 24 |
| 4.2 | MORFOMETRIA DA SEÇÃO HIDROGRÁFICA DO MÉDIO-ALTO IJUÍ | 25 |
| 4.2.1 | Densidade de drenagem (Dd) | 25 |
| 4.2.2 | Fator de forma (F) | 25 |
| 4.2.3 | Coefficiente de compacidade (Kc) | 26 |
| 4.2.4 | Índice de circularidade (IC) | 26 |
| 4.2.5 | Declividade e Altitude | 27 |
| 4.3 | CARACTERIZAÇÃO HIDROMÉTRICA | 27 |
| 4.3.1 | Seleção de dados hidrométricos | 27 |
| 4.3.2 | Deteção e Remoção de Dados Anômalos (<i>outliers</i>) | 28 |
| 4.3.3 | Preenchimento de falhas de dados pluviométricos | 29 |
| 4.3.4 | Cálculo da precipitação média | 29 |
| 4.3.5 | Determinação de Vazões de Referência Q₉₀, Q₉₅, Q_{7,10} | 30 |
| 4.3.6 | Determinação de Cotas de Referência | 31 |
| 4.4 | CENÁRIO DE OCORRÊNCIAS DE INUNDAÇÕES E ESTIAGENS NA ÁREA DE ESTUDO | 32 |
| 4.4.1 | Série Histórica | 32 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 33 |
| 5.1 | CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS | 33 |
| 5.2 | CARACTERÍSTICAS HIDROMÉTRICAS..... | 37 |
| 5.2.1 | Comportamento Chuva-Vazão | 39 |
| 5.2.2 | Vazões de Referência | 40 |
| 5.2.3 | Cotas de Referência | 44 |
| 5.3 | SÉRIE DE OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES E ESTIAGENS | 46 |
| 6 | CONCLUSÃO | 50 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 51 |

1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os países com a maior quantidade de água doce disponível, o que aparentemente traz um conforto em relação à segurança hídrica. Porém, outros fatores como a desigualdade na distribuição dos recursos hídricos no país, ligado aos intensivos usos das águas, poluição hídrica e mudanças e eventos climáticos extremos afetam de forma frequente as bacias hidrográficas em todo o território nacional. Nesse sentido, é primordial que o planejamento e a gestão dos recursos hídricos ocorram de maneira eficaz e em constante adaptações e aprimorações (ANA, 2019; PBMC, 2016). Segundo dados do PBMC (2016), a ocorrência de estresses climáticos pode afetar diferentes sistemas de infraestrutura urbana, como o abastecimento de água, o saneamento básico, a distribuição de energia e o setor de mobilidade (transporte).

Segundo dados apresentados pelo relatório de conjuntura dos recursos hídricos no Brasil (ANA, 2019), 2.716 de 5.570 municípios brasileiros decretaram situação de emergência ou de calamidade pública em relação a ocorrência de pelo menos uma cheia entre os anos de 2003 e 2018, o que corresponde a 48,8 % de todo o Brasil. Destes 48,8 %, 88 % (2.392) são municípios das regiões Nordeste, Sul e Sudeste. Em relação as secas, para o mesmo período, aproximadamente 51 % (2.842) municípios decretaram, ao menos uma vez, situação de emergência ou de calamidade pública. Somente no ano de 2018, cerca de 1 milhão de pessoas foram afetadas por eventos de cheias e cerca de 43 milhões de pessoas afetadas por eventos de secas e estiagens no Brasil.

Visto que a gestão dos recursos hídricos é um tema muito relevante e deve ser constantemente aprimorado ao longo do tempo, o presente trabalho tem como finalidade o estudo hidromorfométrico da seção hidrográfica médio-alto Ijuí, da bacia hidrográfica do rio Ijuí, no Rio Grande do Sul. Para isso, desenvolvemos a pesquisa a partir do estudo inicial publicado em 2018, intitulado “Bacia hidrográfica do Rio Ijuí: comportamento Hidrométrico da seção médio-alto Ijuí” (DECOL; SILVA; DA SILVA, 2018). Aprimorou-se esta análise inicial para além do enfoque hidrométrico, abrangendo também parâmetros morfométricos e outros indicadores para compreender melhor os eventos hídricos extremos da área de estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar a caracterização morfométrica e hidrométrica da Seção Hidrográfica do Médio-Alto Ijuí / Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar a morfometria da área de estudo;
- Selecionar e trabalhar com dados de estações fluviométricas e pluviométricas;
- Determinar vazões mínimas de referência;
- Determinar cotas de nível de referência para situações hídricas extremas; e
- Avaliar o cenário de ocorrência de eventos hídricos extremos na área.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

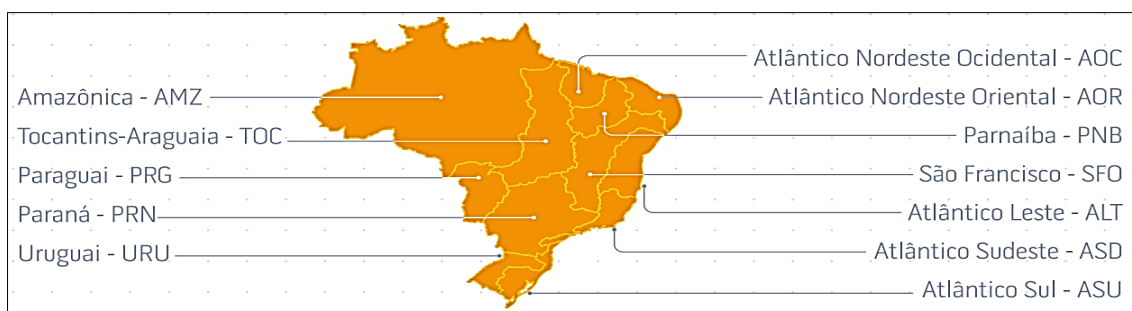
3.1 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A gestão das águas é um processo amplo que tem como objetivo a estruturação e a organização de atividades para o efetivo controle e regularização dos usos das águas de maneira que garanta sua qualidade e disponibilidade para as presentes e futuras gerações (ANA, 2019). Porém, para que o propósito seja atingido com sucesso, devido a água ser de domínio público, implementou-se a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), norma balizadora para a gestão dos recursos hídricos no Brasil, instituída pela Lei nº 9.433/1997 (BRASIL, 1997). A PNRH aborda dentro de seus instrumentos o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos, que consiste em um amplo sistema de coleta, tratamento, armazenamento e divulgação de informações sobre os recursos hídricos, sendo um dos instrumentos essenciais para a correta gestão e gerenciamento das águas.

Para se ter informações concretas sobre os recursos hídricos, existe a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) com inúmeras estações para o monitoramento hidrológico ao longo do tempo. Em 2018 a RHN possuía cerca de 22 mil estações de monitoramento sob responsabilidade de diversas entidades (ANA, 2019).

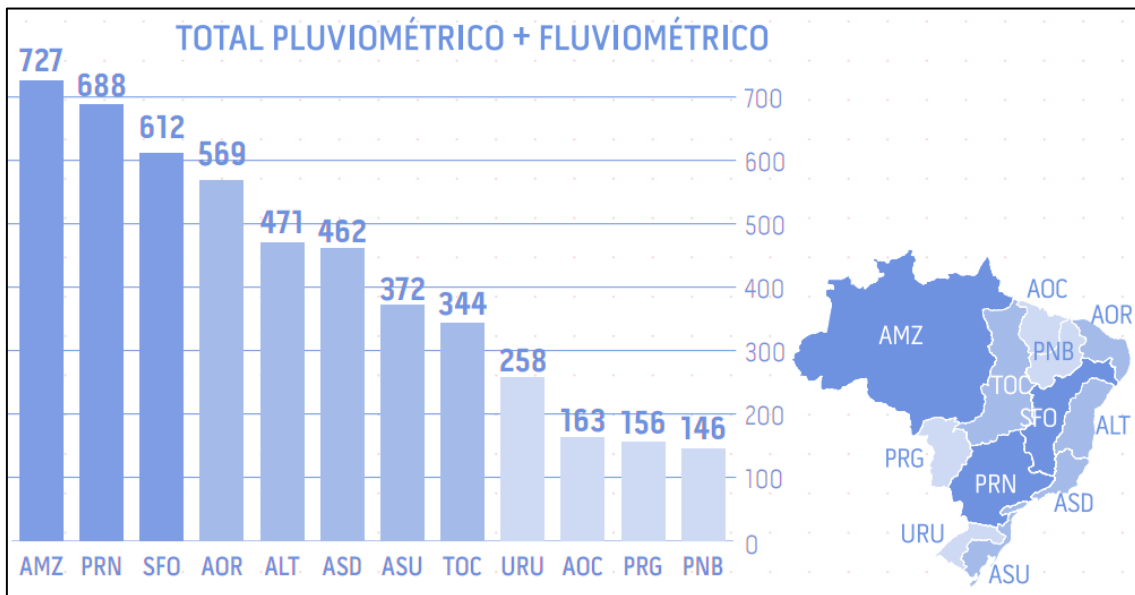
A Agência Nacional de Águas (ANA), a qual tem a responsabilidade da implementação da gestão hídrica no Brasil, possui controle sobre 2.769 estações pluviométricas (monitoramento das chuvas) e 2.199 estações fluviométricas (monitoramento dos rios), totalizando o gerenciamento direto de 4.968 estações distribuídas nas diferentes Regiões Hidrográficas (RHs) do Brasil (ANA, 2019). A Figura 1 e Figura 2 apresentam as RHs bem como a distribuição das estações pluviométricas + fluviométricas por RHs.

Figura 1 – Regiões Hidrográficas do Brasil.



Fonte: ANA (2019).

Figura 2 – Total de Estações Pluviométricas e Fluviométricas por Região Hidrográfica.



Fonte: ANA (2019).

Observa-se que a Região Hidrográfica Amazônica possui o maior número dessas estações, com 727 ao total, seguida da Região Hidrográfica do Paraná com 688 e de São Francisco com 612. A Região Hidrográfica do Rio Uruguai, região na qual está inserida a área de estudo deste trabalho, possui ao todo 258 estações de monitoramento (ANA, 2019).

3.2 BACIA HIDROGRÁFICA

Segundo Tucci (2007), bacia hidrográfica é denominada como a região delimitada por divisores topográficos que tem como característica captar difusamente e drenar naturalmente as águas das chuvas, de modo a convergir para um único ponto de saída ou exutório.

Conforme a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº9.433/1997), a bacia hidrográfica corresponde a unidade espacial para a gestão das águas. As bacias hidrográficas correspondem a uma região onde os fatores físicos naturais estão conectados com o ciclo da água, ou seja, as variáveis como geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, clima e rios estão integrados e interligados (SEMA/RS, 2018; FAUSTINO *et al.*, 2014; BRASIL, 1997).

Diante disso, estudos técnicos referente a comportamentos hidrológicos, usos das águas, aspectos ambientais e demais caracterizações de bacias hidrográficas, ou seções de bacias hidrográficas, são primordiais para a otimização da gestão e do gerenciamento dos recursos hídricos ali presentes.

3.3 GEOPROCESSAMENTO NA GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

O desenvolvimento de novas tecnologias ocorre de maneira cada vez mais acelerado. O geoprocessamento, dentro deste cenário, consiste em uma tecnologia muito utilizada por profissionais no trabalho com informações espaciais da terra, geralmente na área da cartografia digital, processamento digital de imagens e sistemas de informação geográfica. (ROSA, 2013).

Segundo Rosa (2013), o geoprocessamento consiste na integração de diversas tecnologias que juntas tem como objetivo a coleta e o tratamento de informações espaciais, e com aplicabilidade em inúmeras áreas do conhecimento.

O emprego de computadores com a finalidade de manipular elevada quantidade e variedade de dados consiste nos denominados “Sistemas de Informação”, que visa armazenar e analisar dados de forma integrada. O Sistema de Informação Geográfica (SIG), de maneira específica, é um tipo de sistema de informação com o propósito de adquirir, armazenar, manipular, realizar simulações, modelagens e apresentações de dados geoespaciais, servindo de instrumento aplicado nas áreas do conhecimento que utilizam do mapeamento para estruturar, em uma única base de dados, variados aspectos e informações de uma região ou área de estudo (ROSA, 2013).

O SIG tem o potencial de otimizar as atividades de gestão em bacias hidrográficas, uma vez que permite avaliar de forma integrada diversos aspectos, sendo eles físicos, morfométricos e demais aspectos relevantes, para que a melhor tomada de decisão seja efetuada perante um cenário observado, e o uso e proteção ambiental dos recursos hídricos sejam mantidos em equilíbrio.

3.4 SEGURANÇA HÍDRICA

De acordo com o conceito estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU), a segurança hídrica é alcançada quando há disponibilidade suficiente de água, tanto quantitativa quanto qualitativamente, para o atendimento das necessidades humanas, para as atividades econômicas e manutenção dos ecossistemas aquáticos, levando em conta um nível aceitável em relação a ocorrências de risco a eventos hídricos extremos, como seca e inundações (ANA, 2019).

Por meio dessa definição, a Agência Nacional de Águas (2019) argumenta que a segurança hídrica relaciona quatro pilares balizadores da oferta e do uso da água no

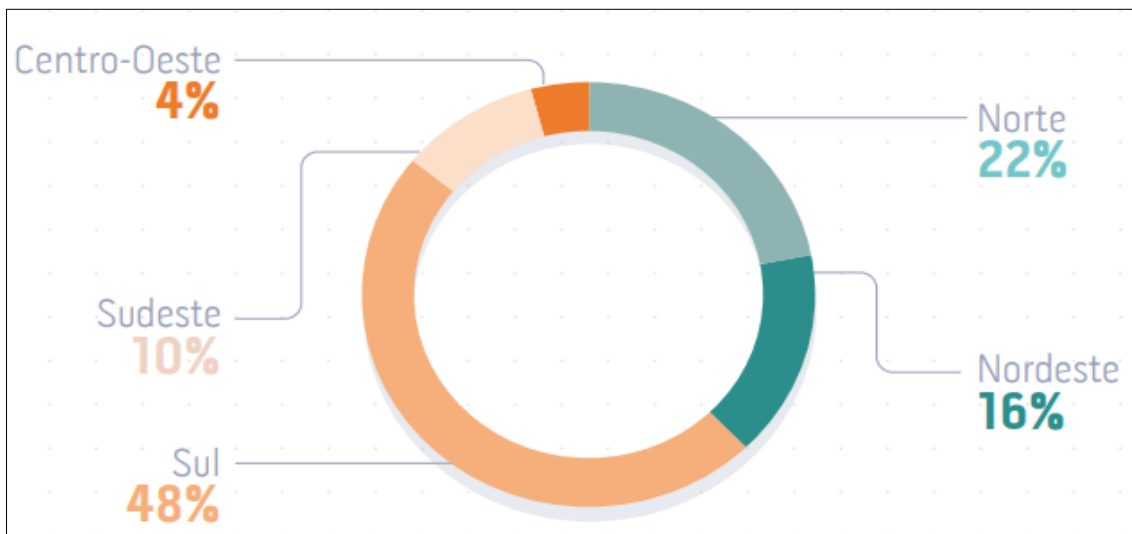
planejamento territorial, sendo eles de **dimensão humana e socioeconômica**: que relaciona a disposição de infraestrutura que garanta o acesso à água tanto para desenvolvimento humano e econômico; **de dimensão resiliência**: que relaciona o potencial do ambiente em resistir sob a ocorrência de eventos hidrológicos extremos e de **dimensão ecossistema**: que relaciona a manutenção da qualidade da água para o meio ambiente e múltiplos usos.

Os principais fatores que afetam a segurança hídrica, relacionados com o déficit de planejamento, são o crescimento populacional, o crescimento econômico, acarretando o aumento na demanda, e o efeito das mudanças climáticas ocasionando eventos hidrológicos extremos (ANA, 2019).

Segundo a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), por meio do registro do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), em 2018, aproximadamente 1 milhão de pessoas foram afetadas por cheias (alagamentos, enxurradas e inundações) no Brasil.

Segundo dados apresentados no relatório Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019, da Agência Nacional de Águas, as região brasileira que mais sofreu com eventos de cheias, entre 2016 e 2018, foi a região Sul (com 48% dos eventos), seguida das regiões Norte (22% dos eventos), Nordeste (16% dos eventos), Sudeste (10% dos eventos) e a região Centro-Oeste com somente 4% dos eventos (Figura 3).

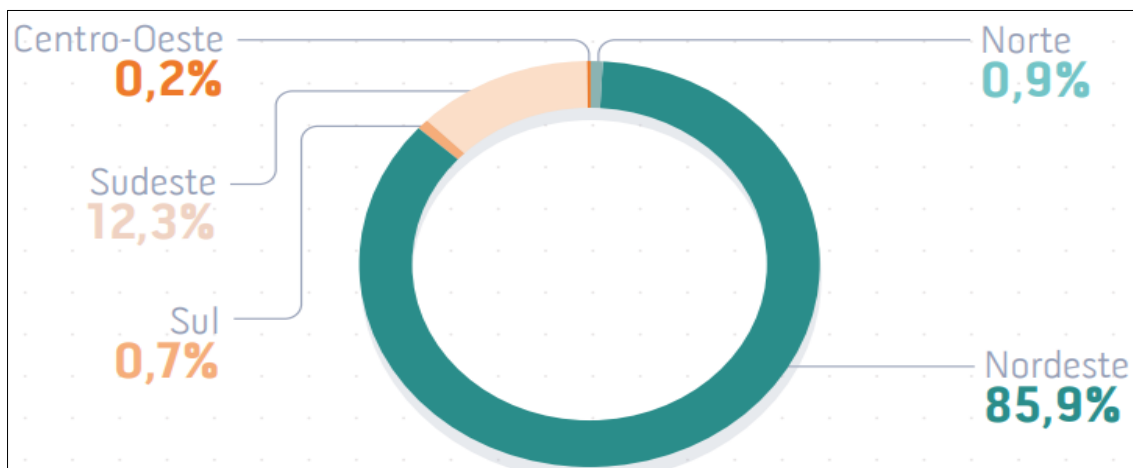
Figura 3 – Eventos de cheia em cada região do Brasil entre 2016 e 2018.



Fonte: ANA (2019).

Já para os eventos de seca, o relatório Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil (ANA, 2019), aponta o Nordeste como a região mais afetada, no período de 2016 a 2018, com a concentração de 85,9% dos eventos, seguida das regiões Sudeste, com 12,3% dos eventos, Norte, com 0,9% dos eventos, Sul, com 0,7% dos eventos e Centro-Oeste com somente 2% dos eventos ocorridos no período (Figura 4).

Figura 4 – Eventos de seca em cada região do Brasil entre 2016 e 2018.



Fonte: ANA (2019).

3.5 IMPORTÂNCIA DE INDICADORES NA GESTÃO HÍDRICA

Dentro de conceitos de literatura relacionado ao termo “indicadores”, Ferreira *et al* (2009) o definem como uma unidade de medida, de caráter qualitativo ou quantitativo, que possui especificidade e objetivo de extrair as informações mais relevantes dos elementos que fazem parte da área de interesse ou análise.

Dentro de Planos de Recursos Hídricos, os indicadores podem ser utilizados como forma simplificada de representar um comportamento real, sendo uma ferramenta de subsídio para a compreensão dos fenômenos decorrentes e para a tomada de decisão em diversas situações (PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA LITORÂNEA, 2018).

No âmbito da gestão dos recursos hídricos existem diversos indicadores, podemos citar além dos indicadores estruturados por meio de dados hidrológicos, como vazões e cotas de referências, os indicadores físicos e morfométricos são também de extrema importância uma vez que permitem entender de forma integrada as variações do comportamento hidrológico em determinada bacia ou região hidrológica de interesse.

3.5.1 Indicadores morfométricos

O estudo morfométrico de bacias hidrográficas corresponde à análise quantitativa de seus aspectos físicos em relação ao seu respectivo comportamento hidrodinâmico, o mesmo pode resultar em bons indicadores de capacidade de escoamento superficial, permitindo a compreensão mais clara das respostas hídricas e buscando a gestão sustentável do território de interesse (NUNES *et al.*, 2006; CUNHA E SILVA *et al.*, 2016).

Na Tabela 1 está relacionado a descrição de alguns indicadores morfométricos com a tendência de resposta a ocorrência de enchentes em bacias hidrográficas. Esses indicadores serão abordados no decorrer desse trabalho.

Tabela 1 – Parâmetros morfométricos e classes de tendência de ocorrência de enchentes.

| Parâmetro | Equação | Objetivo | Tendência a enchentes |
|----------------------------------|-----------------------------------|--|---|
| Coefficiente de compacidade (Kc) | $K_c = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$ | Relaciona a bacia a um círculo. | 1,00 - 1,25 = alta 1,25 - 1,50 = média > 1,50 = baixa |
| Fator de forma (Kf) | $K_f = \frac{A}{L^2}$ | Relação entre largura e comprimento para avaliação de geometria. | $\geq 0,75$ = alta 0,75 - 0,50 = média $\leq 0,50$ = baixa |
| Índice de Circularidade (IC) | $I_c = \frac{12.57 * A}{P^2}$ | Quanto mais próximo do valor 1 maior a circularidade e mais sujeita a inundações. | > 0,51 = alta 0,51 = média < 0,51 = baixa |
| Densidade de drenagem (Dd) | $Dd = \frac{Lt}{A}$ | Soma de comprimento dos canais em função da área, verifica-se a velocidade da drenagem. | 5,0 km/km ² = baixa 5,0 - 13,5 km/km ² = média 13,5 - 155,5 km/km ² = alta |
| Razão de Relevo (RR) | $RR = \frac{H}{L}$ | Indica a declividade média pela relação entre a amplitude altimétrica e comprimento axial. | 0,0 - 0,10 = baixa 0,11 - 0,30 = média 0,31 - 0,60 = alta |

Fonte: SOUZA *et al.* (2017). Adaptado de Horton (1932), Miller (1953), Schumm (1956) e Horton, (1945). Em que: P: perímetro da bacia (km); A: área da bacia (km²); L: comprimento do canal principal (km); Dd: densidade de drenagem (km/km²); Lt: comprimento total dos canais (km); H: amplitude altimétrica.

3.5.2 Indicadores de vazão

Um dos grandes fatores característicos de regimes hidrológicos é a sua variabilidade de vazões ao longo do tempo e em períodos ou estações do ano, como por exemplo em épocas de estiagem e de cheias. Algumas regiões do Brasil apresentam regimes hídricos com sazonalidade, onde há um espaço de tempo em que ocorre o período chuvoso e um período em que ocorre a estiagem, no primeiro as vazões são elevadas, já no segundo período as vazões decaem de forma significativa. Essas características são observadas em regiões como Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste do País. No caso da região Sul, não há ocorrência de sazonalidade, sendo que em todos os meses do ano podem ocorrer vazões altas ou baixas. Portanto, para que haja uma tomada de decisão assertiva, dentro do gerenciamento das águas, o regime hídrico deve ser amplamente conhecido (ANA, 2019).

Segundo a Lei Federal nº 9.433/1997, o uso múltiplo das águas deve ser assegurado. Para tanto, devido à instabilidade das vazões dos cursos d'água ao longo do tempo, se faz necessário o emprego de critérios técnicos afim de quantificar a disponibilidade hídrica e autorizar a emissão de outorgas de direito de uso dos recursos hídricos de forma sustentável. A definição de vazões mínimas de referência, no âmbito do gerenciamento dos recursos hídricos, é fundamental para a manutenção da segurança hídrica, possibilitando que a determinada vazão extraída de um curso d'água estará disponível ao longo do tempo com a frequência adequada e o menor risco possível (ANA, 2019).

No Brasil, geralmente utiliza-se dois métodos para a definição de vazões mínimas de referência, sendo o método de vazão mínima de recorrência em função de um tempo determinado, sendo o parâmetro mais utilizado a vazão mínima de 10 anos de recorrência e 7 dias de duração ($Q_{7,10}$), e o método da vazão mínima por meio de curvas de permanência, que consiste basicamente em reorganizar, em ordem decrescente, os dados de vazões observadas em uma determinada série histórica, identificando a vazão superada em relação a porcentagem do tempo decorrido, sendo a faixa percentual de vazão superior denominada de garantia e a faixa de vazão inferior a probabilidade de risco. Sabendo que determinados usos das águas, como por exemplo o uso para o abastecimento humano, exigem uma faixa de risco menor, ou seja, requerem uma garantia maior da disponibilidade hídrica no tempo, muitos órgãos públicos nacionais e estaduais adotam como vazões de referência de permanência a Q_{90} , que assegura um valor vazão mínima com garantia de 90 %, e a Q_{95} , com garantia de 95 % no tempo avaliado (ANA, 2019).

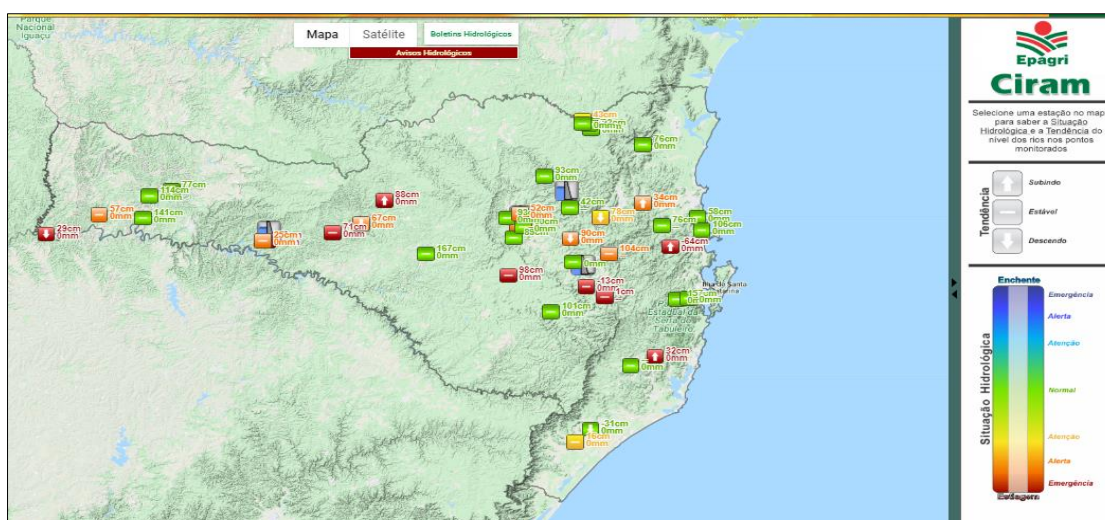
3.5.3 Indicadores de eventos hídricos extremos por meio da cota de nível dos rios

Assim como a variável vazão, o comportamento da cota de nível dos rios é fundamental para a gerenciamento dos recursos hídricos, principalmente no que diz respeito ao monitoramento e estimativas da ocorrência de eventos hídricos extremos. Retomando as informações apresentadas do item de segurança hídrica, deste trabalho, o Brasil sofre muitos impactos com a ocorrência de eventos extremos, como as secas e as cheias, fazendo com que novas alternativas e tecnologias fossem implementadas para a melhor gestão sobre esses eventos.

Uma das alternativas implantadas com esse objetivo foi as salas de situação dos estados, as quais funcionam como centros para a gestão de situações críticas. As salas de situação começaram a serem implementadas em 2010, sendo que em 2016 todas as salas já estavam operando, sendo 26 estaduais e 1 do Distrito Federal. Em 2018, com a necessidade de aprimorar a configuração das salas de situação, novos projetos foram incluídos, estando relacionado as atividades de monitor de secas e a criação de cotas de referência de inundação (ANA, 2019).

Santa Catarina [2017?], por meio de uma construção entre a ANA e a EPAGRI/CIRAM, apresenta em sua sala de situação a determinação das cotas de referência a inundações e a estiagem, juntamente com o monitoramento online e instantâneo das cotas de nível dos rios (que apresentam estações fluviométricas), trazendo avisos e alertas sobre a probabilidade da ocorrência ou não de eventos hídricos extremos dentro do estado (Figura 5).

Figura 5 – Sala de Situação do estado de Santa Catarina: Rios On-line.



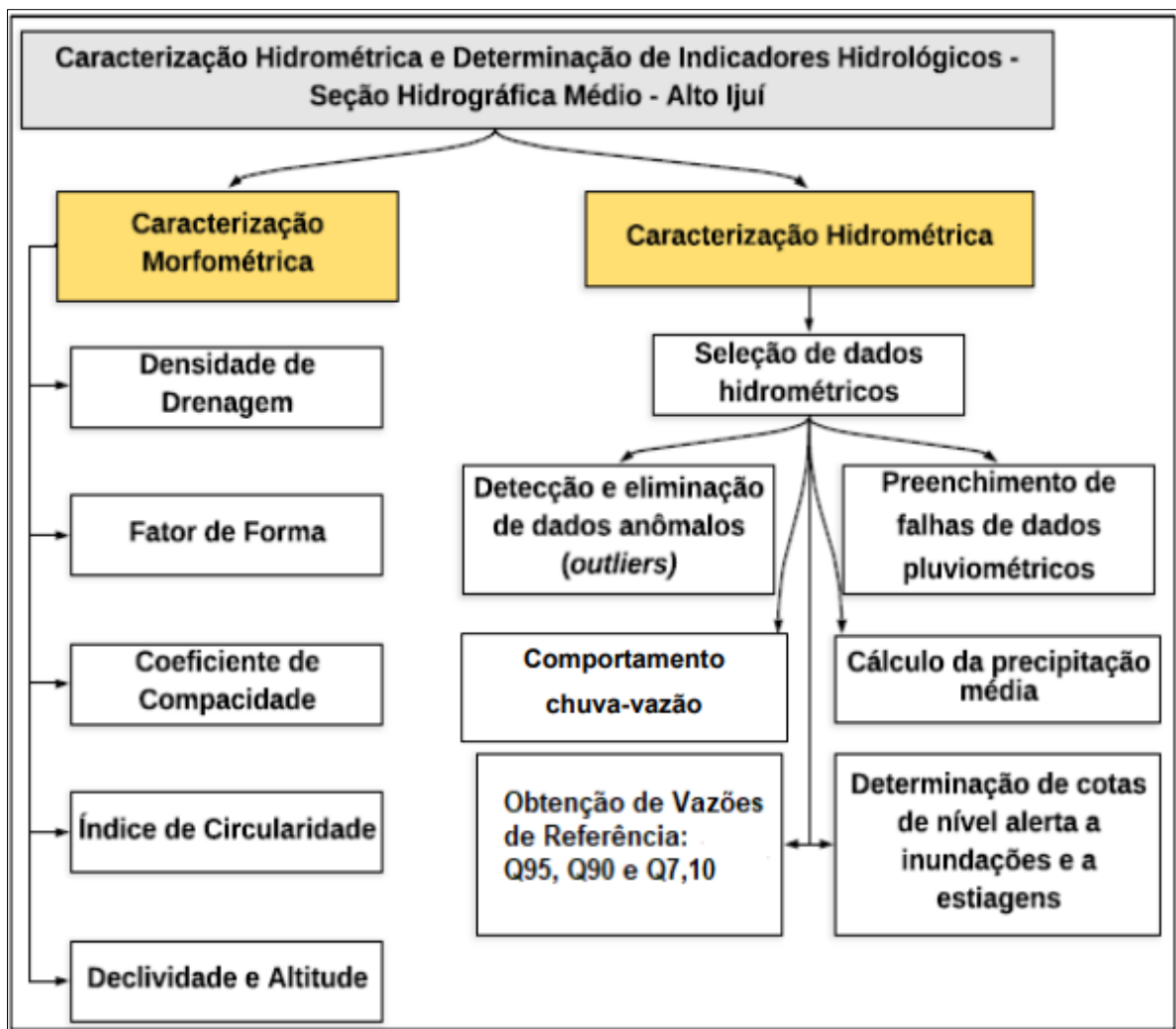
Fonte: EPAGRI-SC/CIRAM (2020).

De modo similar a determinação das vazões de permanência, a definição das cotas de nível de referência para situação hídricas extremas, indicando situação de atenção, alerta e emergência a inundações e a estiagens, a metodologia empregada pela EPAGRI-SC/CIRAM e ANA, leva em conta a curva de permanência das cotas de nível ao longo da série histórica dos rios monitorados (SANTA CATARINA [2017?]).

4 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho consistiu em fazer a caracterização morfométrica, a caracterização hidrométrica e a definição de parâmetros e indicadores hidrológicos de referência para a seção hidrográfica Médio – Alto Ijuí, Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí. Na Figura 6 é apresentado fluxograma da metodologia desenvolvida no estudo.

Figura 6 – Fluxograma de Metodologia.



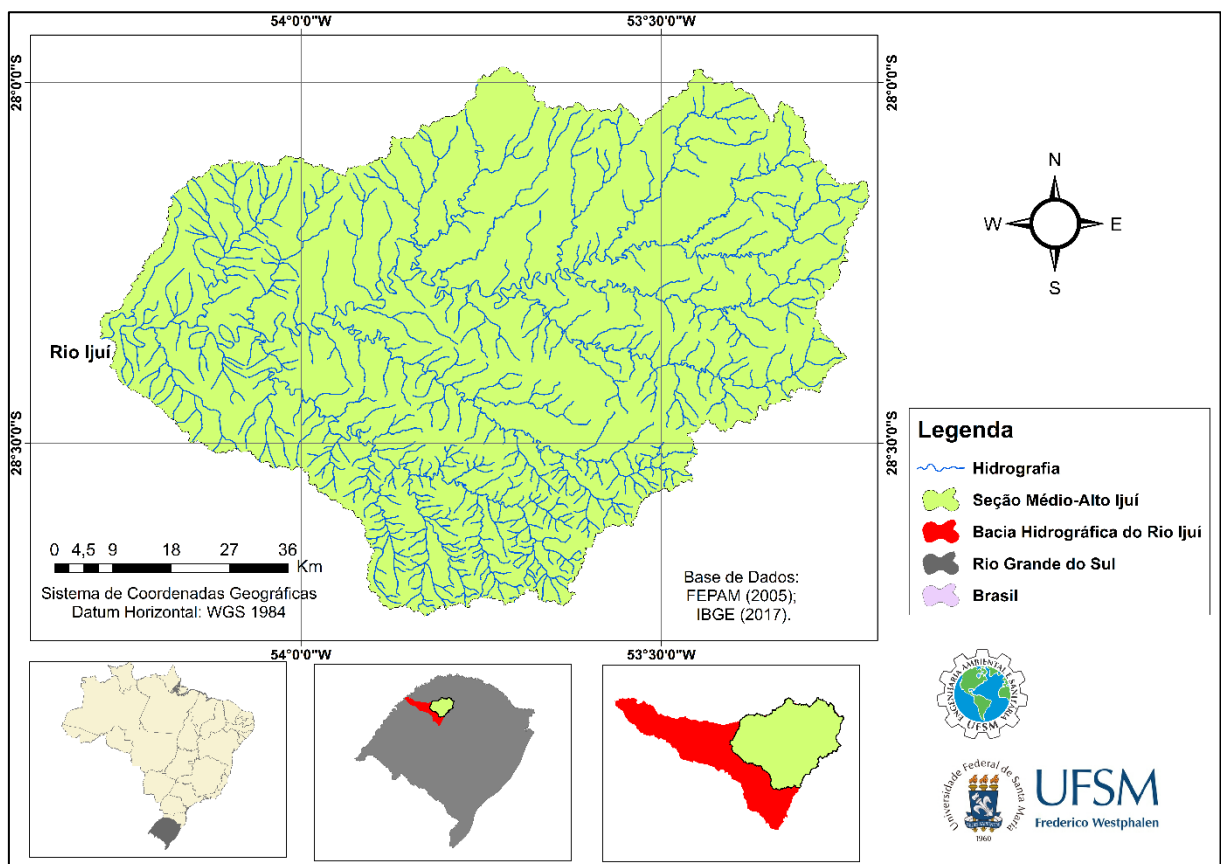
Fonte: Autor (2020).

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Localização Geográfica

A área de estudo abrange a seção Médio e Alto Ijuí da Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí, localizada no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, no interior da Região Hidrográfica do Rio Uruguai (SEMA/RS, 2018). Na Figura 7 é mostrado o mapa de localização da área.

Figura 7 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

4.2 MORFOMETRIA DA SEÇÃO HIDROGRÁFICA DO MÉDIO-ALTO IJUÍ

A delimitação e caracterização morfométrica da área de estudo foi realizada pelo software ArcGIS versão 10.3, utilizando a Base Cartográfica Digital do Rio Grande do Sul disponibilizada pela FEPAM e demais fontes de arquivos geoespaciais, como o USGS (United States Geological Survey). Os parâmetros de morfometria relacionam as condições físicas da bacia hidrográfica com as respostas hidrológicas, indicando a susceptibilidade a ocorrência de eventos como inundações, enchentes, fenômenos naturais hidrológicos, etc. (OLSZEWSKI *et al.*, 2011; CARDOSO *et al.*, 2006; NUNES *et al.*, 2006; VILLELA & MATTOS, 1975). Os parâmetros morfométricos determinados foram:

4.2.1 Densidade de drenagem (Dd)

A densidade de drenagem é o conjunto de todos os canais hídricos em função da área total da bacia hidrográfica. A densidade informa a velocidade em que as águas escoam e desembocam no exutório da bacia. Quanto maior a densidade de rios, maior é o grau efetivo do sistema de drenagem (CARDOSO *et al.*, 2006). A densidade de drenagem é calculada pela Equação 1.

$$Dd = \frac{Lt}{A} \text{ Eq. (1)}$$

Em que:

Dd: Densidade de drenagem (km/km²);

A: Área total da bacia (km²);

Lt: comprimento de todos os rios (km);

4.2.2 Fator de forma (F)

O fator de forma relaciona a área total da bacia hidrográfica com o seu comprimento axial ao quadrado. Esse fator pode influenciar em processos hidrológicos dentro da unidade hidrográfica. Um baixo fator de forma reduz a susceptibilidade a enchentes em comparação a uma segunda bacia de mesma área e somente com um fator de forma maior (VILLELA & MATTOS, 1975). O fator é calculado pela Equação 2.

$$F = \frac{A}{L^2} \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

F: Fator de forma;

A: Área (km²);

L: comprimento axial da bacia (km);

4.2.3 Coeficiente de compacidade (Kc)

O coeficiente de compacidade (Kc) relaciona o perímetro da bacia e um círculo de área igual ao da bacia, comparado o formato da bacia hidrográfica ao formato circular. Bacias com maior irregularidade apresentam um Kc elevado, e Bacias com Kc mais próximo da unidade representa o formato com tendência circular (CARDOSO *et al*, 2006). O Coeficiente de compacidade é calculado pela Equação 3.

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

Em que:

Kc: Índice de compacidade;

A: Área (km²);

P: Perímetro (km);

4.2.4 Índice de circularidade (IC)

O índice de circularidade é a razão entre a área da bacia e a área de um círculo com o mesmo perímetro da bacia (ZAVOIANU, 2011). O índice varia de 0,785 a 1, sendo o maior grau de circularidade próximo a unidade (EZEH & MOZIE, 2019). Calculado conforme a Equação 4.

$$IC = \frac{12,27 \cdot A}{P^2} \quad \text{Eq. (4)}$$

Em que:

IC: Índice de circularidade;

A: Área (km²);

P: Perímetro (km);

4.2.5 Declividade e Altitude

Para a caracterização da declividade foram utilizados arquivos de modelo digital de elevação (MDE), em formato raster, do banco de dados de Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponíveis pelo serviço geológico dos Estados Unidos (USGS). A declividade gerada por meio do tratamento do MDE na plataforma do ArcGIS 10.3 com o uso do comando *slope*, acessando o e foi classificada de acordo com a recomendação de Santos *et al.* (2013), expressado na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação do relevo em função da declividade.

| Relevo | Declividade |
|----------------|--------------------|
| Plano | 0 - 3 % |
| Suave Ondulado | 3 - 8 % |
| Ondulado | 8 - 20 % |
| Forte Ondulado | 20 - 45 % |
| Montanhoso | 45 - 75 % |
| Escarpado | Acima de 75 % |

Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2013).

4.3 CARACTERIZAÇÃO HIDROMÉTRICA

4.3.1 Seleção de dados hidrométricos

Analisou-se os dados de precipitação e vazão durante o período de 1986 a 2017, a partir de estações pertencentes à rede hidrometeorológica nacional gerenciados pela ANA, disponíveis para acesso no sistema HidroWeb (ANA, 2019). As estações pluviométricas foram selecionadas através da adoção de alguns critérios propostos por Teixeira (2010):

- a) Estar alocada no interior da bacia hidrográfica;
- b) Apresentar as séries históricas de dados maior ou igual a 30 anos;
- c) Não apresentar limiar maior de 10% de falhas.

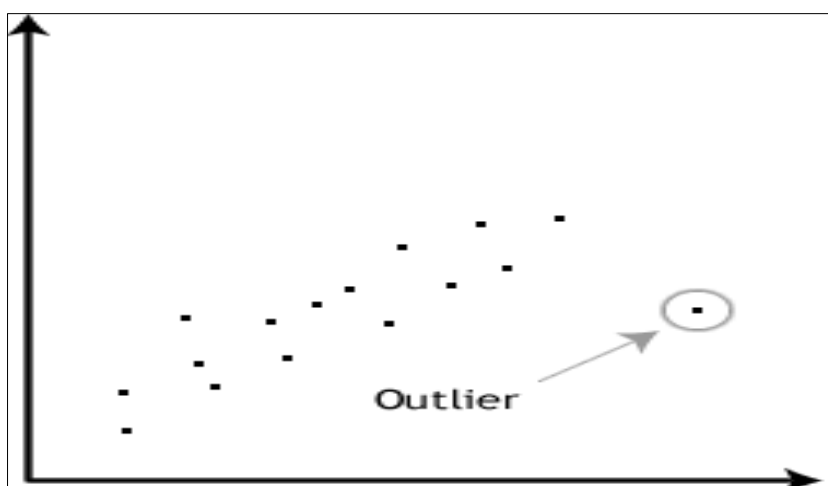
4.3.2 Detecção e Remoção de Dados Anômalos (*outliers*)

De acordo com a ISO 13528:2015, outlier é definido como um membro ou indivíduo de um conjunto de valores que se apresenta inconsistente em relação aos demais membros desse conjunto.

Várias áreas de estudo utilizam abordagens estatísticas para o tratamento de valores outliers (anômalos) visando a redução dos erros sistemáticos e aleatórios em conjunto de dados e medições (FERREIRA, 2017). Os métodos utilizados para a detecção de valores outliers foram o teste de Grubbs, com significância $p=0,05$, o qual manifesta a presença de valores anômalos de observações (COHN *et al.*, 2013) através da plataforma online QuickCalcs (GRAPHPAD, 2018) e o método Box-Plot (SILVA, 2017).

A ferramenta permite compreender e analisar melhor a dispersão de valores fora da relação do Quartil 25% (Q_{25}) e do Quartil 75% (Q_{75}) com o Intervalo interquartil (IQR), sendo IQR a diferença entre os quartis citados. Na Figura 8 observa-se uma demonstração ilustrativa de um valor anômalo em um conjunto de dados.

Figura 8 – Ilustração exemplo de um valor anômalo (outlier).



Fonte: UFBA (2015).

A adoção dos testes de detecção de outlier permite avaliar se as anomalias nos dados de precipitação de estações pluviométricas oriundas de erros de medição ou de eventos extremos durante o período analisado (ASIKOGLU, 2017; MIRZAEI, 2014). Foram analisados todos os dados estatísticos do conjunto amostral no software PAST Statistic (HAMMER, 2015). Comparando os resultados dos testes de outliers por meio de metodologia adaptada de Asikoglu

(2017), em que nos casos de detecção de outliers simultaneamente em duas ou mais estações, considerou-se como uma ocorrência de eventos extremos, como chuvas torrenciais que atingem parte das estações de medição. Em casos da presença de apenas um outlier detectado por ambos os testes, em uma estação isoladamente, considera-se como um dado falho, ou seja, um erro de medição e por consequência removido da série histórica.

4.3.3 Preenchimento de falhas de dados pluviométricos

Depois da análise dos dados, aqueles falhos ou inexistentes foram preenchidos por meio do método da ponderação regional proposto por Bertoni e Tucci (2007), conforme a Equação 5.

$$P_x = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{N_x}{N_i} \cdot P_i \quad \text{Eq. (5)}$$

Em que:

P_x = precipitação anual da estação a ter a falha na série preenchida (mm);

P_i = precipitação anual da estação vizinha de ordem “i” para o ano em que se verificou a falha (mm);

N_x e N_i = precipitações médias anuais das estações a ter a falha na série preenchida e da vizinha de ordem “i”, respectivamente (mm);

n = número de estações vizinhas.

4.3.4 Cálculo da precipitação média

Utilizou-se o método de polígonos de Thiessen (TUCCI, 1997) para determinar a precipitação média sobre a seção hidrográfica analisada. Assim foi possível ponderar os dados pluviométricos, levando em consideração a área de influência de cada estação, conforme a Equação 6.

$$P_m = \frac{\sum A_i \cdot P_i}{A} \quad \text{Eq. (6)}$$

Em que:

Pm: Precipitação média na bacia mm;

Pi: Precipitação no posto i mm;

Ai: Área de influência do posto;

A: Área total da bacia.

4.3.5 Determinação de Vazões de Referência Q_{90} , Q_{95} , $Q_{7,10}$

Para a obtenção das vazões de permanência Q_{90} e Q_{95} da série histórica total, utilizou-se os dados das vazões mínimas mensais no período. Nos casos de determinação de vazões de permanência para anos específicos utilizou-se valores de vazões diárias, conforme a metodologia proposta por Von Sperling (2007).

Para verificar o efeito de eventos pluviométricos extremos sobre as vazões Q_{90} e Q_{95} na área de estudo, procuramos informações acerca de acontecimentos históricos relevantes. Estas informações possibilitam compreender as influências climáticas sobre a disponibilidade hídrica, por meio de curvas de permanência de vazões comparativas.

Para o cálculo da vazão mínima de sete dias consecutivos (Q_7), usou-se a metodologia da distribuição de frequência (BEZERRA *et al.* 2013). Conforme a Equação 7 utilizada na expressão:

$$P = \frac{m}{N+1} \quad \text{Eq. (7)}$$

Em que:

P: Probabilidade;

m: Ordem da vazão;

N: Tamanho da amostra.

Com a obtenção da probabilidade chegou-se ao cálculo da $Q_{7,10}$, com base na equação abaixo, proposta por Naghettini e Pinto (2007):

$$T = \frac{1}{P} \quad \text{Eq. (8)}$$

Em que:

T: Tempo de retorno;

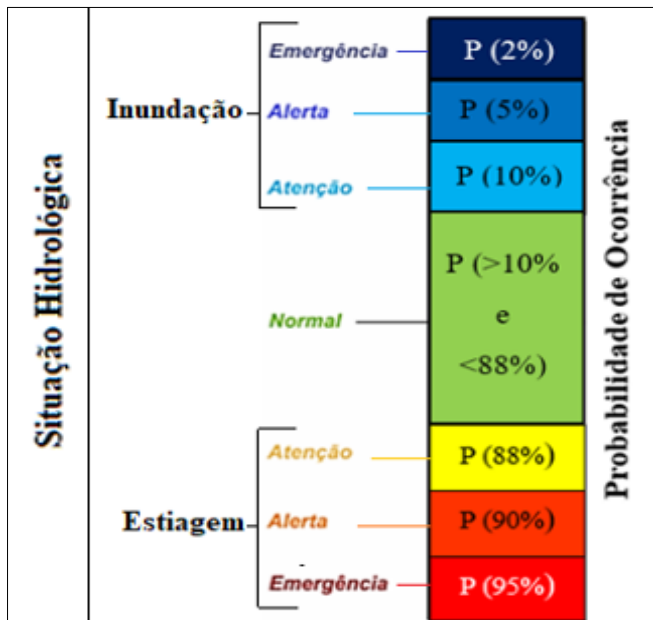
P: Probabilidade.

4.3.6 Determinação de Cotas de Referência

Determinou-se as cotas de referência para situações hidrológicas extremas, usando como base a metodologia das salas de situação do Estado de Santa Catarina para identificação e acompanhamento de situações hidrológicas críticas (EPAGRI & ANA, [2017?]) e do curso de capacitação para determinação de cotas de referências da ANA (2018).

Mesclando e adaptando as duas metodologias foi classificado as cotas de nível de referência do Rio Ijuí (estação fluviométrica de Santo Ângelo) para as situações hidrológicas de atenção, alerta e emergência a estiagens, bem como para as situações de atenção, alerta e emergência a ocorrência de inundações, como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Classificação das condições hídricas extremas.



Fonte: Adaptado de EPAGRI & ANA ([2017?]) e ANA (2018).

Definindo a metodologia foi trabalhado com os dados da série histórica (1986 – 2017) e determinado a curva de permanência de probabilidade das cotas de nível, seguindo o mesmo processo que na determinação das vazões de permanência. Adotando os valores de

probabilidade 10 %, 5 % e 2 % para as classes de atenção, alerta e emergência a enchentes e 88%, 90% e 95% de probabilidade para as classes atenção, alerta e emergência a estiagens (Figura 9).

4.4 CENÁRIO DE OCORRÊNCIAS DE INUNDAÇÕES E ESTIAGENS NA ÁREA DE ESTUDO

4.4.1 Série Histórica

Com o objetivo de caracterizar o cenário de ocorrências de inundações, enchentes e/ou estiagens nas cidades mais próximas da estação fluviométrica de Santo Ângelo usou-se a base de dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil – SEDEC, da Sala de Situação do Estado do Rio Grande do Sul e informações de notícias, artigos e documentos publicados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

Os parâmetros morfométricos caracterizam a dinâmica hídrica da bacia. Através dos valores obtidos pelas equações é possível estimar tendências hidrológicas fundamentais para o controle e prevenção de possíveis eventos hídricos (SONI, 2016).

A Tabela 3 e Figura 10 apresentam os dados de declividade da bacia em estudo, a qual 82,4% da área compreende entre o relevo suavemente ondulado (40 %) e ondulado (42,4 %), correspondendo a uma área de 4482,56 km², e restante da área, cerca de 957,49 km² (17,6 %), corresponde a relevo plano (14,9 %), fortemente ondulado (2,7 %) e montanhoso (0,001 %). Não foi mensurado valor de área para relevo escarpado, com declividade maior que 75 % em função de não ser representativo na área em questão. De maneira geral, a seção hidrográfica Médio-Alto Ijuí apresentou uma declividade média de 36,27 %, caracterizando o relevo como forte ondulado.

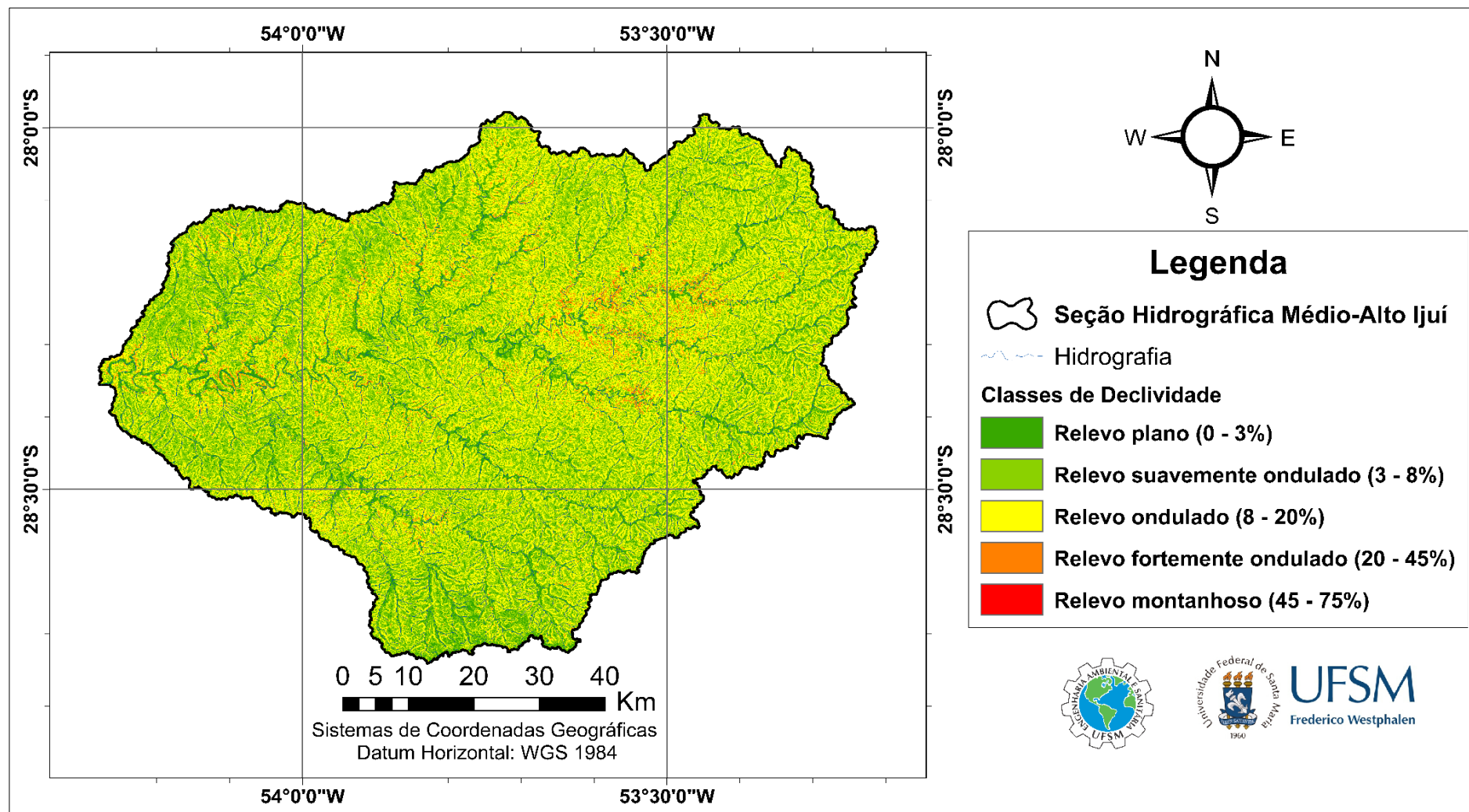
Tabela 3 - Classes de declividade em área.

| Classes de declividade | Área (km²) | Área (%) | Declividade Média (%) |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| Relevo plano (0 - 3 %) | 810,56 | 14,90 | - |
| Relevo suave ondulado (3 - 8 %) | 2176,00 | 40,00 | - |
| Relevo ondulado (8 - 20 %) | 2306,56 | 42,40 | - |
| Relevo forte ondulado (20 - 45 %) | 146,88 | 2,70 | - |
| Relevo montanhoso (45 - 75 %) | 0,05 | 0,001 | - |
| Declividade média da bacia (%) | - | - | 36,27 |

Fonte: Autor (2020).

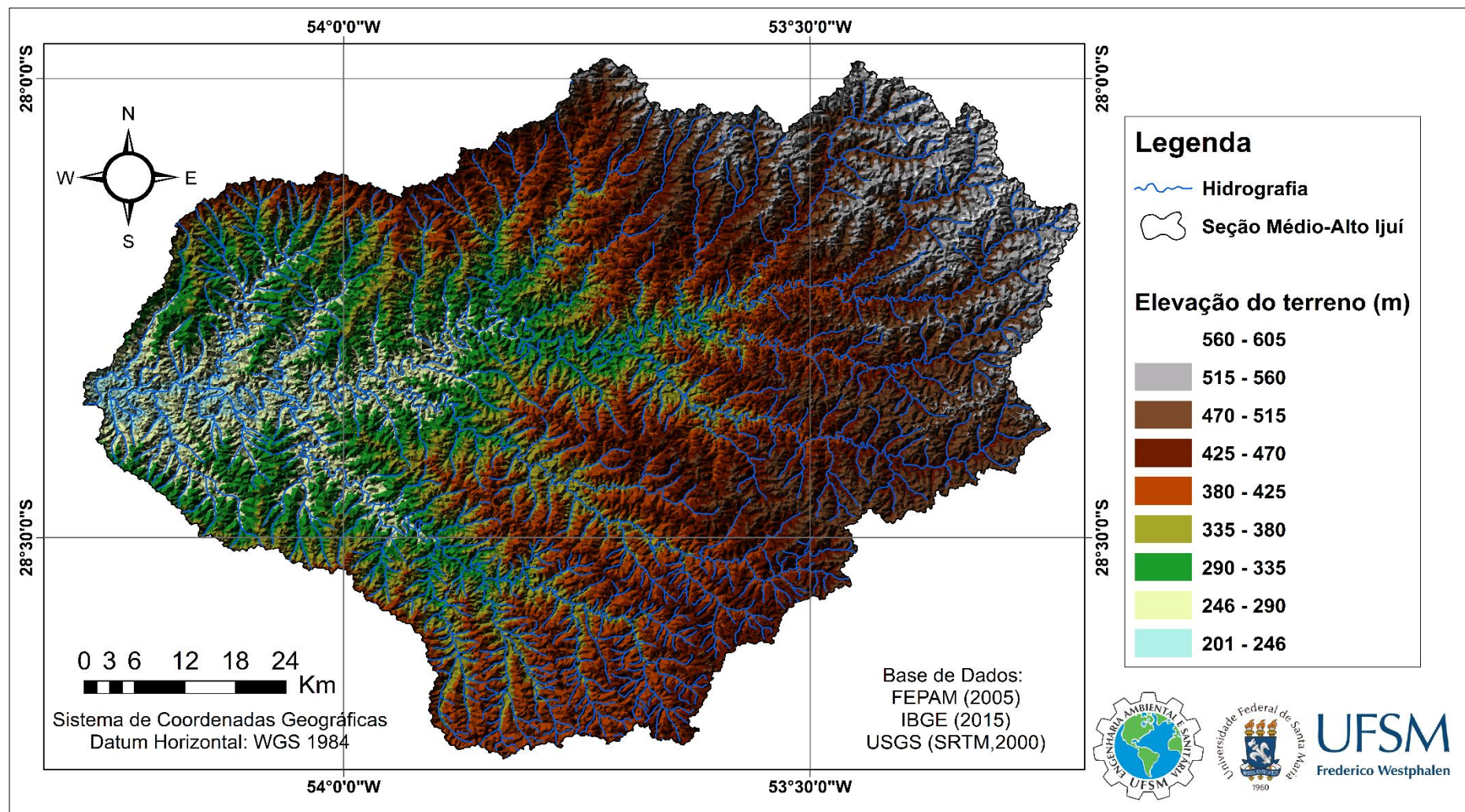
Os dados de altimetria da Seção Médio-Alto Ijuí variaram de 201 m a 605 m, conforme mostra a Figura 11.

Figura 10 – Mapa de Classes de declividade da Seção Hidrográfica do Médio-Alto Ijuí.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Figura 11 – Altimetria da Seção Hidrográfica do Médio-Alto Ijuí.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Com base nos dados da Tabela 4 é possível observar que a Seção Médio-Alto Ijuí possui uma rede de drenagem alongada, em virtude de apresentar fator de forma 0,47.

Tabela 4 - Morfometria da bacia hidrográfica.

| Caracterização morfométrica | SRTM (30 m) | Tendência à enchentes |
|---|--------------------|------------------------------|
| Comprimento do rio principal (km) | 221,69 | - |
| Comprimento axial da bacia (km) | 107,4 | - |
| Área da bacia (km ²) | 5440 | - |
| Perímetro da bacia (km) | 561,15 | - |
| Largura média da bacia (km) | 50,64 | - |
| Altitude Máxima | 605 | - |
| Altitude Mínima | 201 | - |
| Amplitude Altimétrica (m) | 404 | - |
| Densidade de drenagem (km/km ²) | 0,55 | Baixa |
| Fator de forma | 0,47 | Baixa |
| Coefficiente de circularidade | 0,22 | Baixa |
| Coefficiente de compacidade | 2,13 | Baixa |
| Razão de Relevô | 0,002 | Baixa |

Fonte: Autor (2020).

A bacia também se mostrou não suscetível a enchentes e inundações, pois apresenta fator de forma de 0,47, densidade de drenagem de 0,55 km/km², coeficiente de circularidade e de compacidade de 0,22 e 2,13 respectivamente, além de apresentam baixa razão de relevo (Tabela 4).

Tais parâmetros refletem uma forma mais alongada da bacia, proporcionando uma dinâmica de escoamento adequado e uma baixa probabilidade de ocorrência de precipitação intensa concentrada em toda extensão da bacia simultaneamente.

No entanto, a não suscetibilidade a enchente se garante em condições de precipitação normalizada. Exclui-se tal garantia em eventuais anormalidades climáticas, observando que a bacia possui uma baixa densidade de drenagem (0,55 km/km²), o que, conforme Villela & Mattos (1975), pode representar um regime de drenagem pobre, que é capaz de proporcionar eventuais acúmulos de água em virtude de o escoamento acontecer com velocidade muito baixa (RIBEIRO; PEREIRA, 2015).

5.2 CARACTERÍSTICAS HIDROMÉTRICAS

A metodologia posta em prática inicialmente em Decol, Silva, Da Silva (2018) permitiu selecionar 5 estações pluviométricas, dentro da Seção Hidrográfica Médio-Alto Ijuí. A Seção Hidrográfica apresenta o exutório na estação pluviométrica de Santo Ângelo (código 75230000). A partir da aplicação da metodologia dos polígonos de Thiessen foi possível obter as áreas de contribuição de cada estação pluviométrica e seus respectivos coeficientes de ponderação, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Características das estações de medição.

| Tipo | Código | Lat. | Long. | Área (km ²) | CP |
|------|----------|-------------|-------------|-------------------------|-----|
| P | 2853023 | 28°13'32''S | 53°28'13''O | 1691 | 0,3 |
| P | 2853010 | 28°17'22''S | 53°46'46''O | 1137 | 0,2 |
| P | 2854001 | 28°06'40''S | 53°59'35''O | 653 | 0,1 |
| P | 2853003 | 28°27'22''S | 53°58'18''O | 1169 | 0,2 |
| P | 2853028 | 28°40'00''S | 53°36'53''O | 790 | 0,1 |
| F | 75230000 | 28°21'19''S | 53°16'05''O | 5440 | - |

P = Pluviometria; F = Fluviometria; Lat. = Latitude; Long. = Longitude; CP = Coeficiente de Ponderação.

Fonte: Decol, Silva e Da Silva (2018).

A Tabela 6 apresenta o número de dados anômalos identificados em cada estação pluviométrica conforme o estudo inicial apresentado em Decol, Silva, Da Silva (2018)

Sendo que nas estações 2853028, 2853023, 2853003 e 2854001 foi identificado 5, 3 e 2 outliers respectivamente, enquanto a estação 2853010 não apresentou números anômalos.

Tabela 6 - Estatística das estações pluviométricas.

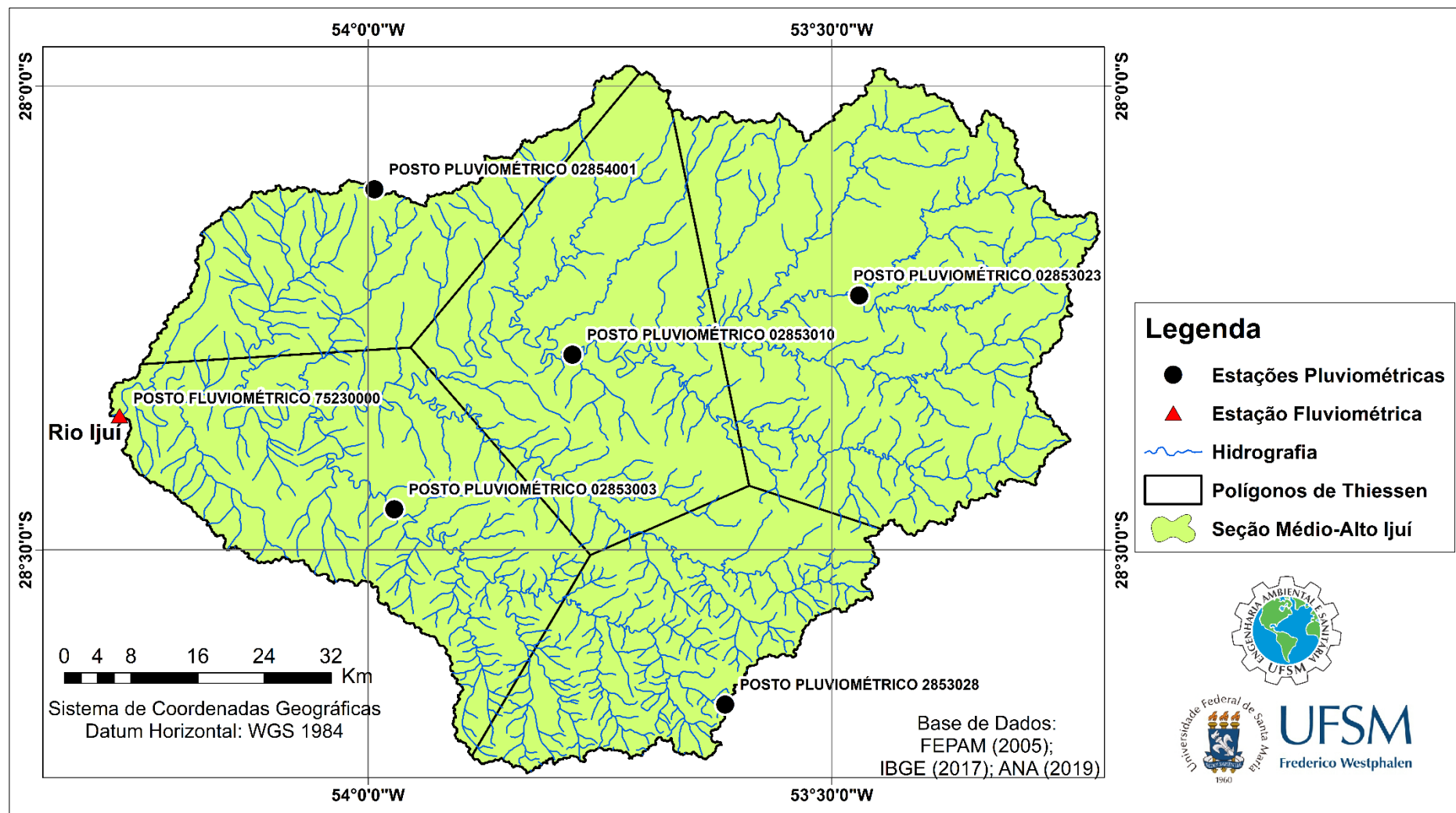
| Estação | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Código | 2853023 | 2853010 | 2854001 | 2853003 | 2853028 |
| Amostras | 384 | 384 | 384 | 384 | 384 |
| Média | 163,3 | 154,9 | 160,2 | 157,2 | 157,6 |
| DP | 98,5 | 92,6 | 105,4 | 97,2 | 98,4 |
| Q25 | 94,5 | 89,6 | 84,1 | 86,9 | 91,6 |
| Q75 | 216,7 | 199,2 | 212,2 | 205,8 | 201,4 |
| IQR | 122,2 | 109,5 | 128,1 | 118,8 | 109,8 |
| BoxPlot | 3 | 0 | 2 | 2 | 5 |

DP = Desvio Padrão; Q25 = Quartil 25 %; Q75 = Quartil 75 %; IQR = Variação interquartil.

Fonte: Decol, Silva e Da Silva (2018).

Na Figura 12 mostra o mapa da seção hidrográfica em estudo, com suas respectivas estações de monitoramento selecionadas, e suas áreas de contribuição determinadas por Polígonos de Thiessen.

Figura 12 – Mapa de Polígonos de Thiessen e estações de monitoramento.

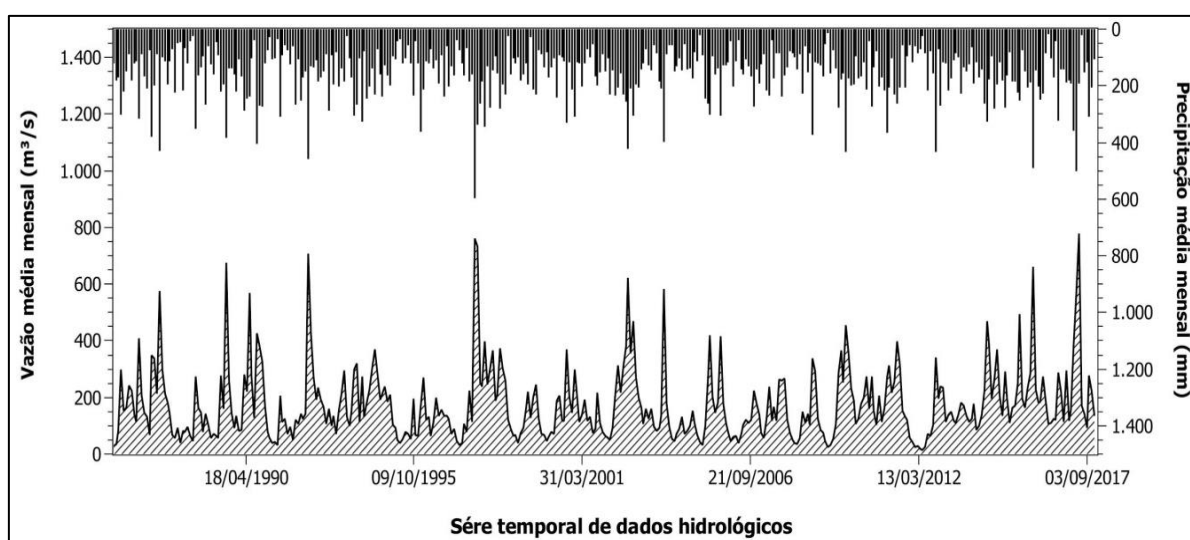


Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

5.2.1 Comportamento Chuva-Vazão

Os eventos pluviométricos extremos podem gerar grandes impactos na vazão nos cursos hídricos. Nos anos de 1992 e 2012, houve a ocorrência de eventos históricos extremos. Em 1992 a área é atingida com uma forte enchente e em 2012 por estiagem, levando a situações emergenciais (CHEVALLIER; DHEIN, 1993; CORREIO DO POVO, 2012). No Gráfico 1, verifica-se os resultados obtidos em Decol, Silva, Da Silva (2018) acerca do comportamento dos picos de precipitação mensal e de vazão média mensal durante a série.

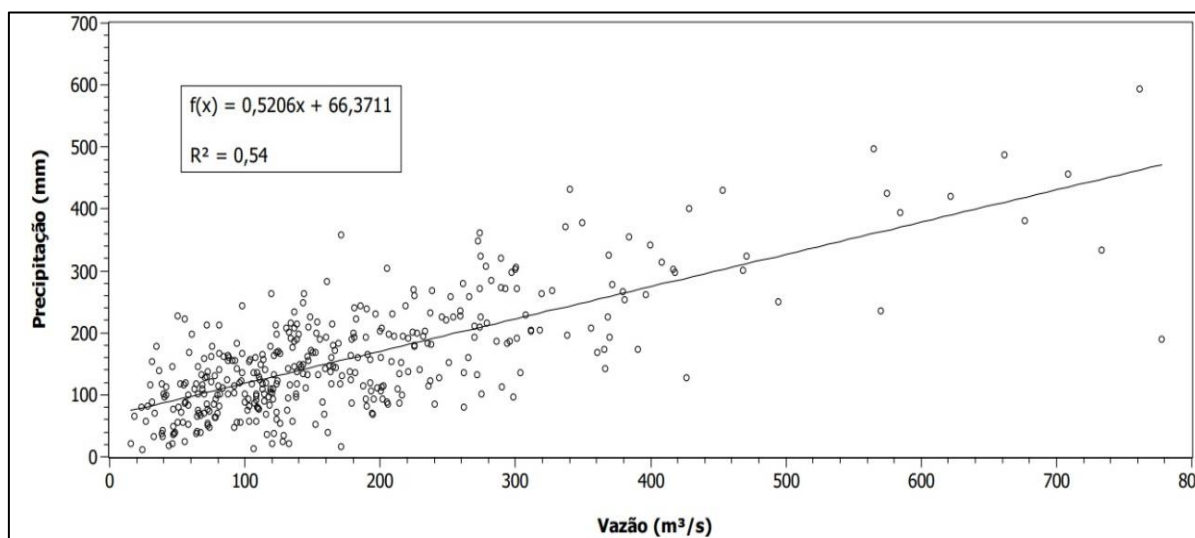
Gráfico 1 - Hidrodinâmica Pluvi-fluviométrica da Bacia do Rio Ijuí, seção Médio-Alto Ijuí (1986-2017).



Fonte: Fonte: Decol, Silva e Da Silva (2018).

Em Decol, Silva e da Silva (2018) verificou-se que a pluviosidade anual no período demonstrou uma média de 1895 mm, sendo o mês de outubro o mais chuvoso com média de 234 mm e agosto com a menor pluviosidade, 119 mm. A vazão média geral resultou em 178 m³/s. Os meses com o maior regime médio mensal de vazão foram outubro e novembro com 263 e 220 m³/s respectivamente. Enquanto os meses de fevereiro, março e abril foram os de menor regime médio de vazão com 118, 90 e 136 m³/s respectivamente. Observou-se também que a eventualidade da precipitação se correlaciona com as alterações de vazão ($R^2= 0,54$), apresentado no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Correlação chuva-vazão da bacia do Rio Ijuí, seção Médio-Alto Ijuí (1986-2017).



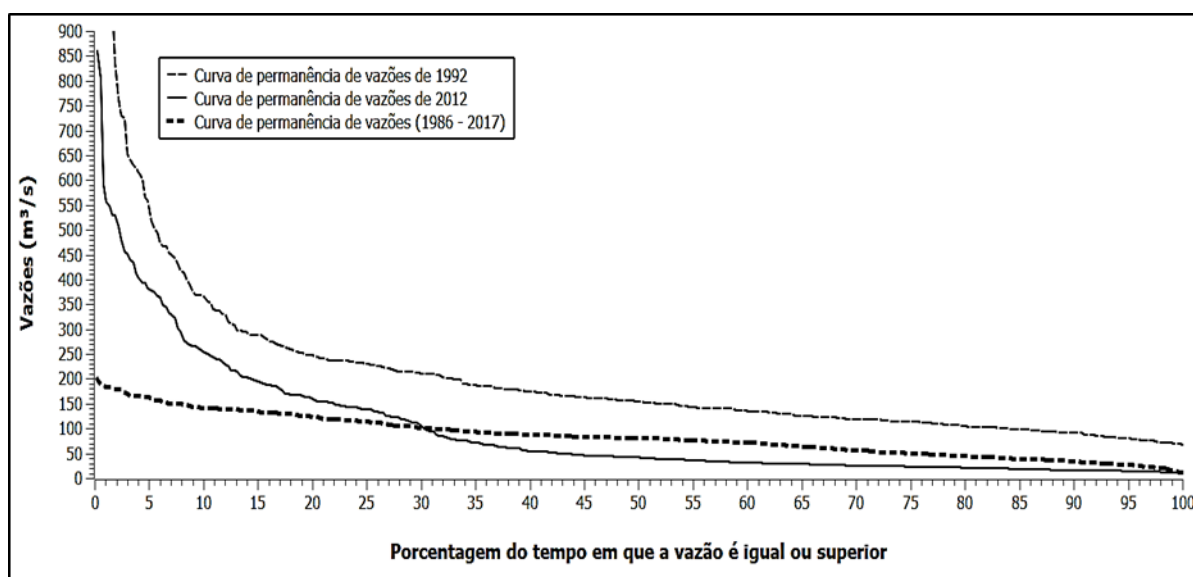
Fonte: Decol, Silva e da Silva (2018).

Essa correlação possui uma dinâmica multifatorial, segundo Collischon e Tassi (2008), devendo ser levado em consideração as condições da bacia hidrográfica como: clima, declividade, usos do solo, geologia e pedologia. Assim, em uma região hidrográfica, a precipitação e a vazão não ocorrem de maneira instantânea.

5.2.2 Vazões de Referência

De acordo com Decol, Silva e da Silva (2018), as vazões de permanência de 1986 a 2017 demonstraram valores de $34,8 m^3/s$ e $27,2 m^3/s$ para Q_{90} e Q_{95} , conforme no Gráfico 3. Em 1992, em virtude ao evento de cheia, a disponibilidade hídrica da bacia sofreu grandes alterações, isso maximizou as vazões Q_{90} e Q_{95} para $91 m^3/s$ e $79,4 m^3/s$. Estes valores foram superiores a 250% do obtido na série histórica de 31 anos (Gráfico 3). No ano de 2012 houve estiagem, fazendo com que as vazões Q_{90} e Q_{95} minimizassem a $15,7m^3/s$ e $13,80m^3/s$ respectivamente, valores percebidos como extremamente baixos, decaindo 50% em relação ao avaliado em toda a série de dados (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Curva de permanência de vazões da bacia do Rio Ijuí, seção Médio-Alto Ijuí (1986-2017, 1992 e 2012).



Fonte: Autor (2020) com base em Decol, Silva e da Silva (2018).

A determinação da curva de permanência de vazões a longo período apresenta-se como uma ferramenta importante dentro da gestão de cursos d'água, possibilitando projetar um cenário futuro com uma boa margem de segurança. Porém, a curva de permanência de vazões a curto período não deixa de ser relevante, principalmente quando se refere a períodos com influência de fenômenos críticos, como por exemplo os ocorridos na região em 1992 e 2012, permitindo analisar a variabilidade das vazões em épocas mais específicas. Em relação a vazão mínima de sete dias consecutivos (Q_7) de cada ano está expresso na Tabela 7.

Tabela 7 - Vazões mínimas de 7 dias consecutivos.

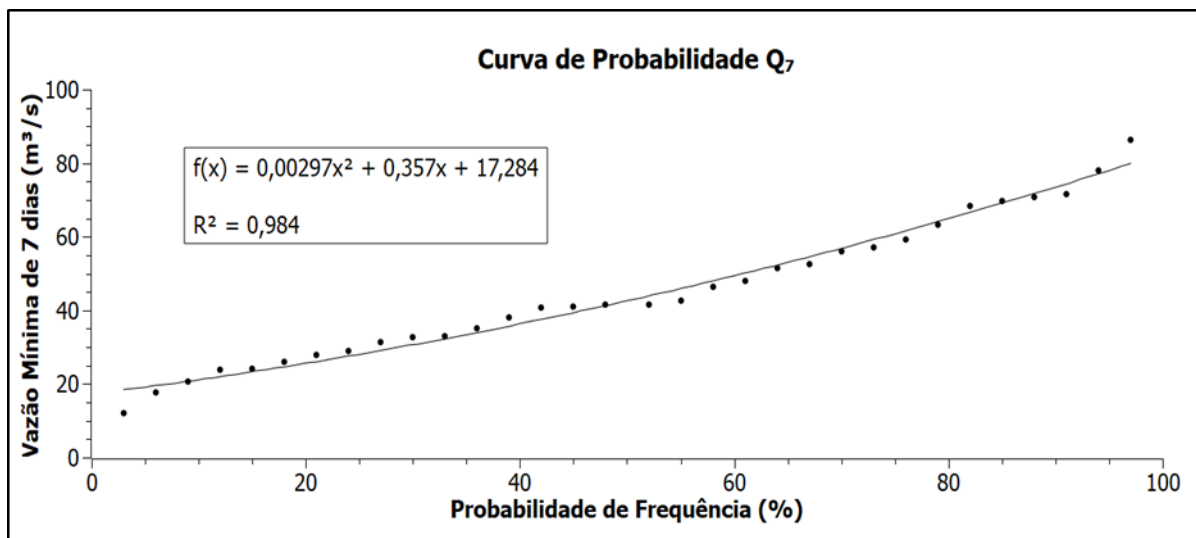
| Ano | Q_7 (m ³ /s) | Ano | Q_7 (m ³ /s) | Ano | Q_7 (m ³ /s) |
|------|---------------------------|------|---------------------------|------|---------------------------|
| 1986 | 23,7 | 1997 | 24,2 | 2008 | 25,9 |
| 1987 | 48,0 | 1998 | 57,0 | 2009 | 17,6 |
| 1988 | 32,7 | 1999 | 35,1 | 2010 | 52,6 |
| 1989 | 40,9 | 2000 | 31,4 | 2011 | 46,5 |
| 1990 | 63,2 | 2001 | 41,6 | 2012 | 12,0 |
| 1991 | 27,8 | 2002 | 41,6 | 2013 | 77,9 |
| 1992 | 69,7 | 2003 | 42,7 | 2014 | 56,0 |
| 1993 | 59,3 | 2004 | 38,1 | 2015 | 70,8 |
| 1994 | 86,4 | 2005 | 20,7 | 2016 | 68,2 |
| 1995 | 28,9 | 2006 | 32,9 | 2017 | 71,7 |
| 1996 | 51,5 | 2007 | 40,7 | - | - |

Fonte: Autor (2020).

Analisando a Tabela 7, houve uma variação de 74,33 m³/s nas vazões Q₇ durante o período de 1986 a 2017. Pode-se observar que o ano que representou a menor Q₇ foi 2012 com 12,04 m³/s, convergindo ao ano caracterizado pela seca. A maior média Q₇ ocorreu em 1994, com 86,37 m³/s.

Rearranjando os valores em ordem crescente foi possível montar uma curva de probabilidade de vazões médias mínimas de sete dias consecutivos durante a série em estudo (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Curva de probabilidade de Q₇, durante o período de 1986 a 2017.



Fonte: Autor (2020).

Conforme Gasques et al. (2018), curvas de probabilidade de vazões máximas e mínimas, curvas de permanência e curvas de regularização são as principais funções hidrológicas utilizadas em estudos de recursos hídricos.

Com base na equação descrita por Naghettini e Pinto (2007), pode-se calcular, a partir da obtenção da probabilidade de vazões, o seu respectivo período de retorno. Os períodos de retorno de vazões durante o período estão expressos na Tabela 8.

Tabela 8 - Probabilidade e período de retorno das Q_7 .

| N | Q_7 (m³/s) | P | T (anos) |
|----------|---|----------|-----------------|
| 1 | 12,0 | 0,03 | 33,0 |
| 2 | 17,6 | 0,06 | 16,5 |
| 3 | 20,7 | 0,09 | 11,0 |
| 4 | 23,7 | 0,12 | 8,3 |
| 5 | 24,2 | 0,15 | 6,6 |
| 6 | 25,9 | 0,18 | 5,5 |
| 7 | 27,8 | 0,21 | 4,7 |
| 8 | 28,8 | 0,24 | 4,1 |
| 9 | 31,4 | 0,27 | 3,7 |
| 10 | 32,6 | 0,30 | 3,3 |
| 11 | 32,9 | 0,33 | 3,0 |
| 12 | 35,1 | 0,36 | 2,8 |
| 13 | 38,1 | 0,39 | 2,5 |
| 14 | 40,7 | 0,42 | 2,4 |
| 15 | 40,9 | 0,45 | 2,2 |
| 16 | 41,6 | 0,48 | 2,1 |
| 17 | 41,6 | 0,51 | 1,9 |
| 18 | 42,7 | 0,54 | 1,8 |
| 19 | 46,5 | 0,58 | 1,7 |
| 20 | 48,0 | 0,61 | 1,7 |
| 21 | 51,5 | 0,64 | 1,6 |
| 22 | 52,6 | 0,67 | 1,5 |
| 23 | 55,7 | 0,70 | 1,4 |
| 24 | 57,0 | 0,73 | 1,4 |
| 25 | 59,3 | 0,76 | 1,3 |
| 26 | 63,2 | 0,79 | 1,3 |
| 27 | 68,2 | 0,82 | 1,2 |
| 28 | 69,7 | 0,85 | 1,2 |
| 29 | 70,8 | 0,88 | 1,1 |
| 30 | 71,7 | 0,91 | 1,1 |
| 31 | 77,9 | 0,94 | 1,1 |
| 32 | 86,4 | 0,98 | 1,0 |

P = Probabilidade; T = Período de retorno.

Fonte: Autor (2020).

Através do uso da equação do período de retorno, conclui-se que para a obtenção de uma vazão com tempo de recorrência igual há 10 anos, a sua probabilidade de frequência deve ser igual a 10 %. Com o uso da equação da curva de probabilidade de vazões Q_7 foi possível calcular a $Q_{7,10}=21,15$ m³/s, conforme a equação da curva de probabilidade abaixo.

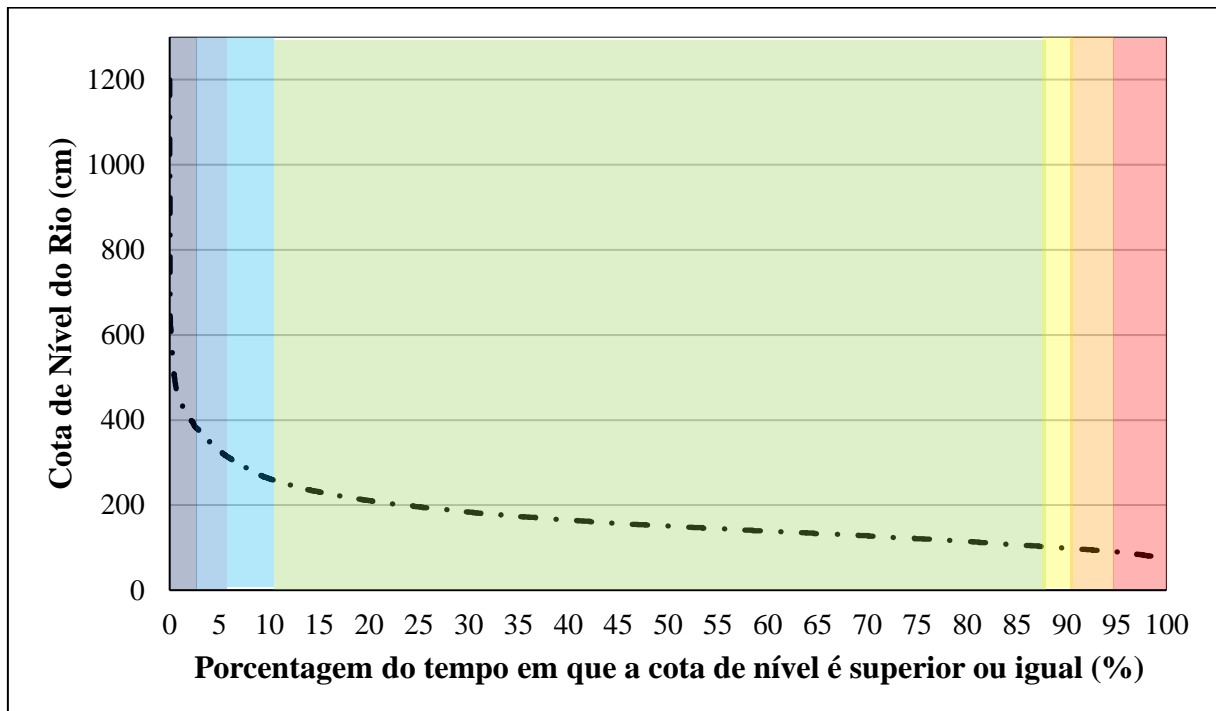
$$f(x) = 0,00297 \cdot x^2 + 0,357 \cdot x + 17,284$$

$$f(10) = 21,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.2.3 Cotas de Referência

A curva de permanência de cotas de nível do rio Ijuí (estação fluviométrica de Santo Ângelo) e a classificação das cotas de nível de referência para eventos hídricos extremos estão apresentados no Gráfico 5 e na Tabela 9.

Gráfico 5 - Curva de permanência de cotas de nível durante 1986 e 2017.



Fonte: Autor (2020).

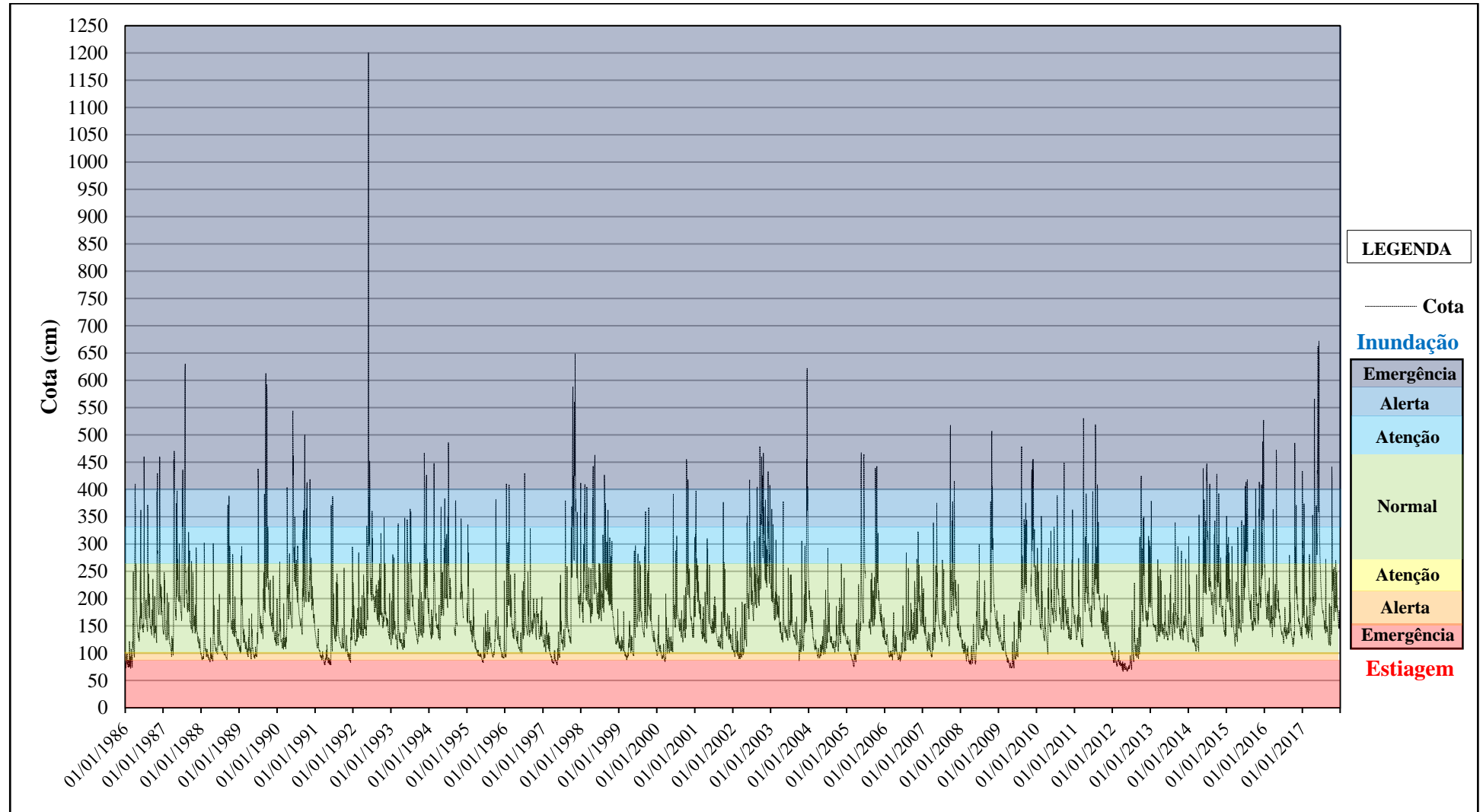
Tabela 9 - Classificação das Cotas de Referência para eventos hídricos extremos.

| Situação Hídrica | Classe | Permanência (%) | Intervalo Cota de Nível (cm) |
|------------------|------------|-----------------|------------------------------|
| INUNDAÇÃO | Emergência | 0-2 | ≥ 406 |
| | Alerta | 2-5 | 329 --- 405 |
| | Atenção | 5-10 | 262 --- 329 |
| NORMAL | Normal | 10-88 | 102 --- 262 |
| ESTIAGEM | Atenção | 88-90 | 102 --- 99 |
| | Alerta | 90-95 | 99 --- 90 |
| | Emergência | 95-100 | < 90 |

Fonte: Autor (2020).

O comportamento da variação das cotas de nível do rio Ijuí ao longo da série histórica pode ser visualizado no Gráfico 6.

Gráfico 6 - Comportamento das cotas de nível do Rio Ijuí entre 1986 e 2017.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

No Gráfico 6 pode-se verificar a ocorrência na maior e da menor cota de nível monitorada para o rio Ijuí em meados dos anos de 1992 e 2012 respectivamente, anos em que houve registros dos maiores eventos de inundação e seca na região.

As cotas de nível referência para situações hídricas extremas para o rio Ijuí ficaram entre 102 a 99 cm, 99 a 90 cm e menor que 90 cm para as respectivas classes de atenção, alerta e emergência a ocorrência de estiagens e entre 262 e 329 cm, 329 a 405 cm e maior de 406 cm para as respectivas classes de atenção, alerta e emergência a ocorrência de inundações. Entre o intervalo de cotas de 102 a 262 cm a situação hídrica ficou enquadrada como normal.

5.3 SÉRIE DE OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES E ESTIAGENS

Os resultados da série histórica de eventos hídricos extremos registrados no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD), no período estudado, abrangendo os municípios inseridos total ou parcialmente na Seção Hidrográfica Médio-Alto Ijuí – Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí/RS apresenta-se na Tabela 10.

Analisando os dados da Tabela 10, nota-se que os eventos de estiagem impactam com maior frequência a área de estudo, com 13 eventos registrados no período de 1986 a 2019, com média equivalente a 1 evento de estiagem a cada 2,40 anos.

Os anos de 2005, 2009, 2012 e 2004 foram os períodos em que houve o maior número de municípios com registros de estiagens, sendo 15 municípios em 2005 e 2009, 14 municípios em 2012 e 13 municípios em 2004.

Já os casos de inundações foram bem inferiores, com 7 registros entre os anos de 1986 e 2019, com média de 1 evento de inundação a cada 4,4 anos. A inundação de 1992 foi o evento de maior abrangência, com registro de 9 municípios atingidos, de acordo com os dados do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres.

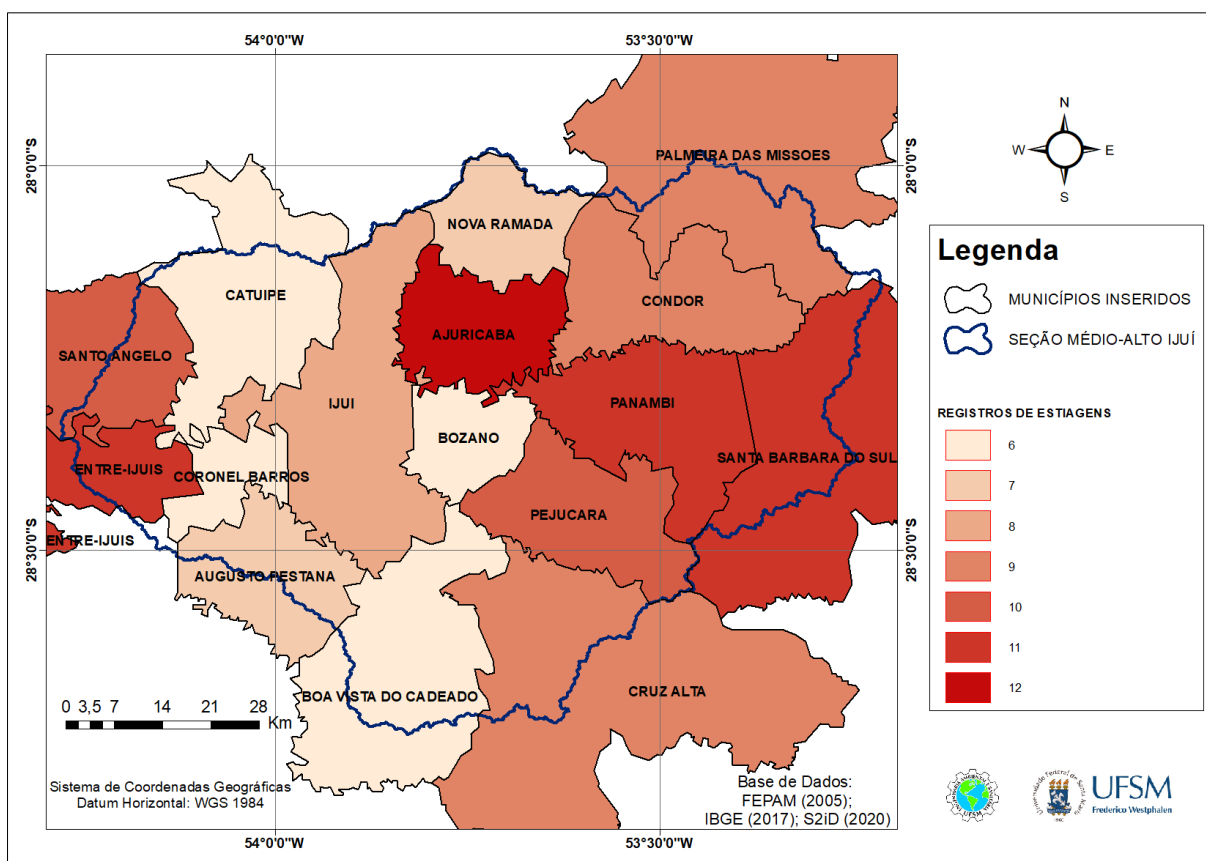
Tabela 10 - Série história de estiagens e inundações registradas, no S2iD, entre 1986 e 2019.

| Mês/Ano | Evento | Municípios que registraram no S2iD | Nº |
|--------------------------|---------------|--|-----------|
| Jan. – mar./1986 | Estiagem | Cruz Alta e Ajuricaba | 2 |
| Set./1988 | Inundações | Cruz Alta | 1 |
| Set./1989 | Inundações | Ijuí, Santo Ângelo, Panambi, Condor | 4 |
| Jun./1990 | Inundações | Palmeira das Missões | 1 |
| Dez. – abril/(1990-1991) | Estiagem | Entre-Ijuís, Santo Ângelo, Catuípe, Augusto Pestana, Pejuçara, Panambi, Ajuricaba, Santa Bárbara do Sul, Palmeira das Missões, Condor | 10 |
| Dez./1991 | Estiagem | Entre-Ijuís, Santo Ângelo, Pejuçara, Panambi, Palmeira das Missões, Santa Bárbara do Sul, Condor | 7 |
| Jun./1992 | Inundações | Entre-Ijuís, Ijuí, Santo Ângelo, Catuípe, Pejuçara, Panambi, Ajuricaba, Santa Bárbara do Sul, Condor | 9 |
| Set./1993 | Inundações | Palmeira das Missões | 1 |
| Dez. – fev./ (1995/1996) | Estiagem | Entre-Ijuís, Santo Ângelo, Catuípe, Panambi, Ajuricaba, Palmeira das Missões, Santa Bárbara do Sul, Cruz Alta | 8 |
| Mar. – maio /1999 | Estiagem | Palmeira das Missões, Ijuí | 2 |
| Dez. – jan./ (1999/2000) | Estiagem | Entre-Ijuís, Ijuí, Santo Ângelo, Coronel Barros, Augusto Pestana, Pejuçara, Panambi, Ajuricaba, Nova Ramada, Condor, Cruz Alta | 11 |
| Nov. – jan./ (2001/2002) | Estiagem | Entre-Ijuís, Santo Ângelo, Augusto Pestana, Boa Vista do Cadeado, Pejuçara, Bozano, Panambi, Ajuricaba, Palmeira das Missões, Santa Bárbara do Sul | 10 |
| Nov./2002 | Inundações | Entre-Ijuís | 1 |
| Set./2002 | Estiagem | Entre-Ijuís, Santo Ângelo, Augusto Pestana, Boa Vista do Cadeado, Pejuçara, Bozano, Panambi, Ajuricaba, Palmeira das Missões, Santa Bárbara do Sul, Condor | 11 |
| Dez./2003 | Inundações | Entre-Ijuís | 1 |
| Jun./2004 | Estiagem | Entre-Ijuís, Ijuí, Santo Ângelo, Coronel Barros, Augusto Pestana, Pejuçara, Panambi, Ajuricaba, Nova Ramada, Palmeira das Missões, Santa Bárbara do Sul, Condor, Cruz Alta | 13 |
| Jan. – mar./2005 | Estiagem | Entre-Ijuís, Ijuí, Santo Ângelo, Coronel Barros, Augusto Pestana, Boa Vista do Cadeado, Pejuçara, Bozano, Panambi, Ajuricaba, Nova Ramada, Palmeira das Missões, Santa Bárbara do Sul, Condor, Cruz Alta | 15 |
| Abr. – jun./2009 | Estiagem | Entre-Ijuís, Ijuí, Santo Ângelo, Coronel Barros, Catuípe, Augusto Pestana, Boa Vista do Cadeado, Pejuçara, Bozano, Panambi, Ajuricaba, Nova Ramada, Palmeira das Missões, Santa Bárbara do Sul, Condor | 15 |
| Dez.- jan./ (2009-2010) | Estiagem | Entre-Ijuís, Ijuí, Coronel Barros, Catuípe, Pejuçara, Nova Ramada, Condor | 7 |
| Jan./2012 | Estiagem | Entre-Ijuís, Ijuí, Santo Ângelo, Coronel Barros, Catuípe, Augusto Pestana, Bozano, Panambi, Ajuricaba, Nova Ramada, Palmeira das Missões, Santa Bárbara do Sul, Condor, Cruz Alta | 14 |

Fonte: SEDEC. Adaptado do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2iD (2020).

Na Figura 13 pode-se observar, de forma espacial, o número de registros de estiagens registradas por município inserido na área de estudo.

Figura 13 - Mapa número de estiagens registradas por município, no S2iD, entre 1986 e 2019.

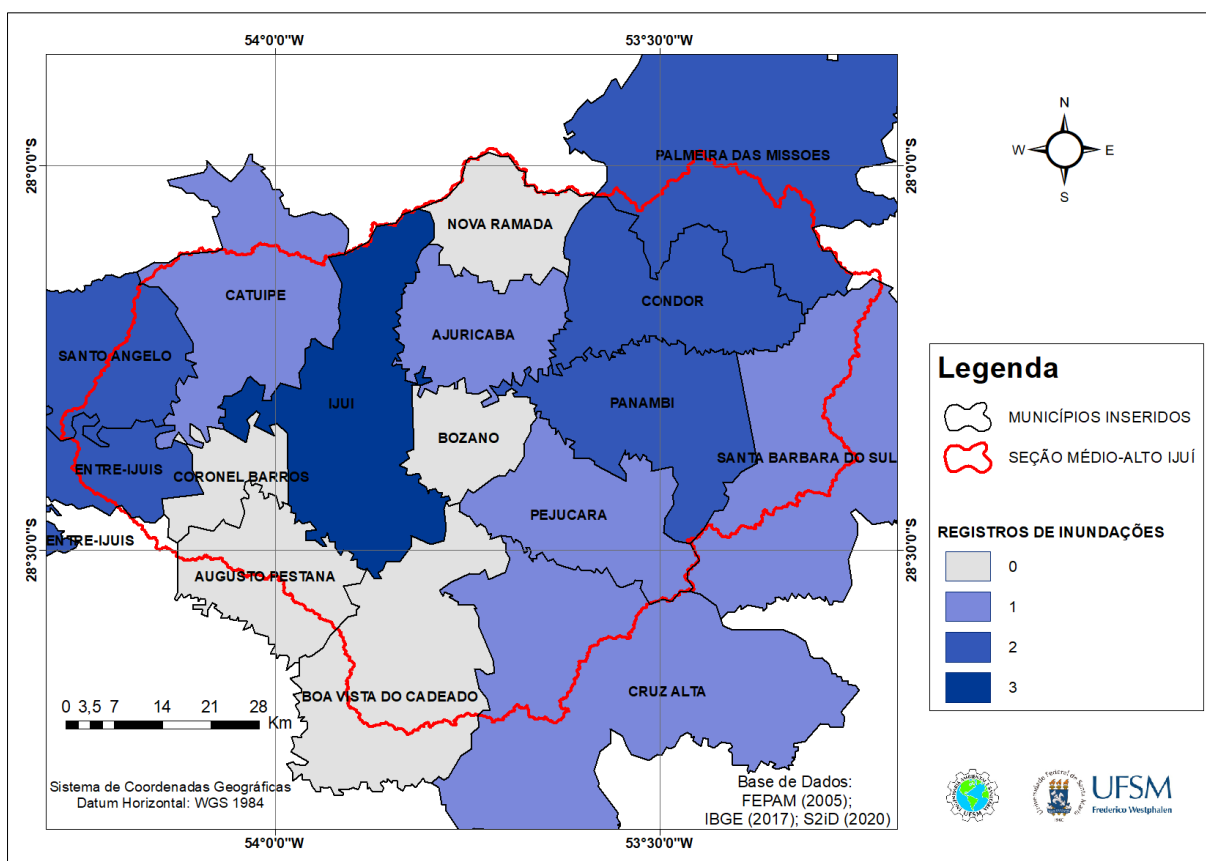


Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Interpretando a Figura 13 conclui-se que, entre os registros existentes do S2iD, Ajuricaba é o município com mais registros de estiagens, com 12 eventos, seguidos dos municípios de Entre-Ijuís, Panambi e Santa Bárbara do Sul com 11 eventos cada. Sabendo que os municípios estão inseridos na mesma bacia hidrográfica dificilmente ocorra muita discrepância entre a ocorrência de eventos hídricos extremos, principalmente entre municípios vizinhos, como no caso de Ajuricaba em relação a Nova Ramada e Bozano, e no caso de Entre-Ijuís em relação a Coronel Barros e Catuípe por exemplo, onde há um diferencial de 6 eventos entre os municípios do primeiro caso e 5 eventos para o segundo caso. Analisando de forma técnica, essa discrepância em alguns registros pode se justificar pelo fato de o evento extremo ter ocorrido no local, porém o município não o registrou no sistema de informação S2iD.

Na Figura 14 pode-se observar, de forma espacial, o número de registros de inundações registradas por município inserido na área de estudo.

Figura 14 - Mapa número de inundações registradas por município, no S2id, entre 1986 e 2019.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2020).

Interpretando a Figura 14 conclui-se que, entre os registros existentes do S2ID, Ijuí é o município com mais registros de inundações, com 3 eventos, seguidos dos municípios de Entre-Ijuís, Santo Ângelo, Panambi, Condor e Palmeira das Missões com 2 eventos cada. A menor concentração de eventos de inundações pode ser justificada pelo fato que a bacia em estudo apresentar indicadores morfométricos de baixa susceptibilidade a inundações.

Em caso de verificação de informações, realização de novos estudos, a obtenção de dados brutos das estações utilizadas nesse estudo, ou mais estações de monitoramento de interesse, podem ser facilmente obtidos pelo sistema HidroWeb (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>), onde os dados são disponibilizados de forma pública e gratuita.

6 CONCLUSÃO

A utilização do SIG, como ferramenta de geoprocessamento, permitiu a caracterização morfométrica da seção hidrográfica de estudo, o por meio desta, a definição de indicadores morfométricos que auxiliam na tomada de decisões quanto ao adequada gestão e gerenciamentos dos recursos hídricos em bacias hidrográficas. Os indicadores apontaram que área de estudo apresenta baixa susceptibilidade a ocorrência de inundações.

O estudo da série histórica dos dados hidrométricos de chuva e vazão, aliados ao comportamento da variação da cota de nível do rio principal, da área em estudo, possibilitou compreender melhor como estes fatores se relacionam dentro de uma bacia hidrográfica, bem como permitiu estabelecer e classificar indicadores de ocorrência de situações hídricas extremas (estiagens e inundações), primordiais para uma eficiente gestão do uso das águas e para a manutenção da segurança hídrica.

O estudo do comportamento hidrométrico aliado ao da série histórica do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID), contribuiu para relacionar os indicadores estabelecidos no estudo, com as notificações de eventos hídricos de estiagens e inundações decretados, no sistema, pelos municípios inseridos dentro do objeto de estudo.

A seção hidrográfica em estudo apresentou baixa susceptibilidade a ocorrência de inundações, mas, por outro lado, observou-se que eventos de estiagens são mais recorrentes e afetam com maior intensidade a região. Os resultados obtidos através da definição de indicadores de vazões mínimas, bem como de cotas de nível do rio, indicativas de situações de atenção, alerta e emergência a estiagens e de atenção, alerta e emergência a ocorrência de inundações, poderão ser utilizados como ferramentas auxiliaadoras na tomada de decisão dentro do planejamento da Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí e conseqüentemente contribuirá para a criação de novas estratégias e ações no âmbito da gestão e hídrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASIKOGLU, O. L. Outlier Detection in Extreme Value Series. **Journal Of Multidisciplinary Engineering Science And Technology**, Turkey, v. 4, p.314-318, 2017.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Rede Hidrometeorológica Nacional**. 2018. Disponível em: <<https://hidroweb.ana.gov.br>>. Acesso em: 20 de junho de 2018.
- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**: informe anual / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2019.100p.
- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos** / Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2019.76p.
- BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. **Precipitação**. In: TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre: UFRGS, 2007, p.177-241.
- BEZERRA, R.R. *et al.* Determinação da Q7, 10, Q90 e Q95 como ferramenta para gestão dos recursos hídricos: estudo de caso do Rio Jamari. **Bahia Análise & Dados**, v. 23, n. 2, p.425-435, abr./jun. 2013.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Lei nº 9.433: **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.
- CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo-RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, 2006.
- CHEVALLIER, P.; DHEIN, R.A. As chuvas excepcionais de 26 e 27 de maio de 1992 na região de Ijuí/RS. **Revista Brasileira de Engenharia**: Caderno de recursos hídricos, Ijuí, v. 11, n. 1, p.1-9, 1993.
- COHN, T. A; ENGLAND, J. F; BERENBROCK C. E; MASON R. R; STEDINGER J. R; LAMONTAGNE J. R. A generalized Grubbs-Beck test statistic for detecting multiple potentially influential low outliers in flood series, **Water Resources Research**, United States, 49, pp. 5047–5058, 2013.
- CORREIO DO POVO. **Ijuí: estiagem reduz a geração de energia**. Porto Alegre, 12 jan. 2012. Disponível em: <<http://www.correiodopovo.com.br/Impresso/?Ano=117&Numero=104&Caderno=0&Noticia=380405>>. Acesso em: 29 ago. 2018.
- CUNHA E SILVA, D. C., *et al.* Uso de indicadores morfométricos como ferramentas para avaliação de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v.09, n.02. (2016) 627-642.
- DECOL, J.; SILVA, L. R; DA SILVA, P. R. B. Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí: Comportamento Hidrométrico da seção Médio-Alto Ijuí. In: XVI SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-

GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA ENGENHARIA AMBIENTAL. EESC, São Carlos-SP, 2018. **Anais**, 11 p. Disponível em: <<http://soac.eesc.usp.br/index.php/PPGSEA/ppgsea2018/paper/view/1422/861>>

EPAGRI/CIRAM. **Monitoramento hidrológico: rios-online**. 2020. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=2224&Itemid=250>

EZEH, C. U.; MOZIE, A. T. Morphometric analysis of the Idemili Basin using geospatial techniques. **Arabian Journal Of Geosciences**, [s.l.], v. 12, n. 6, p.1-8, mar. 2019.

FAUSTINO, A. B.; RAMOS, F. F.; SILVA, S. M. P. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em sensoriamento remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. **Sociedade e Território** 26, 18- 30. 2014.

FERREIRA, A. L. S. **Comparação de diferentes técnicas para detecção e tratamento de outliers na determinação de fatores de medidores** / Anderson Luiz dos Santos Ferreira; orientador: Elcio Cruz de Oliveira. – 2017. 86 f.

FERREIRA, H.; CASSIOLATO, M.; GONZALEZ, R. **Uma experiência de desenvolvimento metodológico para avaliação de programas: o modelo lógico do programa segundo tempo**. Texto para discussão 1369. Brasília: IPEA, 2009.

GASQUES, A. *et al.* Regionalização de vazões mínimas: breve revisão teórica [Regionalization of minimum flows: brief theoretical review]. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 14, n. 2, 6 mar. 2018.

GRAPHPAD. **Quick Calcs Outlier Software Calculator**. Disponível em <<http://graphpad.com/quickcalcs/Grubbs1.cfm>>, acessado em 16/08/2018.

HAMMER. **Software Past (Paleontological Statistics)**, Version 3.08. Natural History Museum. University of Oslo, 2015. 243p.

HORTON, R. E. Drainage basin characteristics. **American Geophysical Union**, Washington, v.13, n.1, p.350-361, 1932.

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

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13528**: Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison. Switzerland, 2015.

MIRZAEI, S. *et al.* Determination of A Some Simple Methods for Outlier Detection in Maximum Daily Rainfall. **Bulletin Of Environment, Pharmacology And Life Sciences**, Chennai, India, v.3, p.110-117, 2014.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

NUNES, F. G.; RIBEIRO, N. C.; FIORI, A. P. Propriedades morfométricas e aspectos físicos da bacia hidrográfica do rio Atuba: Curitiba-Paraná. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. 6., 2006, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2006. p. 1-10.

OLSZEWSKI, N. *et al.* Morfologia e aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Preto, divisa dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 485-492, 2011.

PBMC. **Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 2016. 116p. ISBN: 978-85-285-0344-9.

PLANO DA BACIA HIDROGRÁFICA LITORÂNEA. **Produto 13: Indicadores de avaliação do Plano de Bacia**. Instituto das Águas do Paraná. 2018. 30p.

RIBEIRO G. F.; PEREIRA S. Y. Análise morfométrica da bacia hidrográfica Vargens de Caldas, Planalto de Poços de Caldas, MG. **Terræ**, 10(1-2), p. 15-20, 2015.

ROSA, R. **Introdução ao geoprocessamento**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia (UFU), 2013.142p.

SANTA CATARINA. **Manual de operação da sala de situação**. ANA/Epagri/Ciram. [2017?].72p.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, p. 353, 2013.

SCHUMM, S. A. Evolução de sistemas de drenagem e declives no ermo de Perth Amboy, Nova Jersey. **Boletim da Sociedade Geológica da América**, 67, 597-646.1956.

SEDEC. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2ID**: Arquivo Digital, 2020. Acesso em: 20 de janeiro de 2020. Disponível em: < <https://s2id-search.labtrans.ufsc.br/>>.

SEMA. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **U090 - Bacia hidrográfica do rio Ijuí**. 2018. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/u090-bacia-hidrografica-do-rio-ijui>>. Acesso em: 20 de agosto de 2018.

SEMA. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Processo de Planejamento dos Usos da Água na Bacia Hidrográfica do Rio Ijuí**. Ijuí: Profill Engenharia, 2012.

SILVA, M. R. *et al.* O diagrama de caixa (Box Plot) aplicado à análise da distribuição temporal das chuvas em Januária, Belo Horizonte e Sete Lagoas, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Brasil, v. 1, p. 23-40, 2017.

SONI, S. Assessment of morphometric characteristics of Chakrar watershed in Madhya Pradesh India using geospatial technique. **Applied Water Science**, [s.l.], v. 7, n. 5, p.2089-2102. 2016.

SOUZA, C.F., *et al.* Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica Do Rio Ivaí – Paraná. Jataí-GO. **Revista Eletrônica do Curso de Geografia – UFG/REF**. n 29. Jul-Dez/2017.

TEIXEIRA, M. da S. **Caracterização física e dinâmica de episódios de chuvas intensas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil**. 2010. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1997. 195 p.

TUCCI, C.E.M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: Ed. Universidade: UFRGS, 2002. 256 p.

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

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 7. Ed. Belo Horizonte, MG: Ed. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 588p.

ZAVOIANU I. **Morphometry of drainage basins (developments in water science)**. Elsevier, Amsterdam, 2011. 237p.