



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)
ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA**

**GESTÃO HÍDRICA: IMPORTÂNCIA DAS TENDÊNCIAS HIDROLÓGICAS DA
BACIA DO RIO IPANEMA-PE**

ERIK SOUTO DE MORAES

**Foz do Iguaçu
2021**



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE
TECNOLOGIA, INFRAESTRUTURA E
TERRITÓRIO (ILATIT)
ENGENHARIA CIVIL DE INFRAESTRUTURA**

**GESTÃO HÍDRICA: IMPORTÂNCIA DAS TENDÊNCIAS HIDROLÓGICAS DA
BACIA DO RIO IPANEMA-PE**

ERIK SOUTO DE MORAES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Ms. Mara Rubia Silva

Coorientador: Ms. Aldrei Marucci Veiga

**Foz do Iguaçu
2021**

ERIK SOUTO DE MORAES

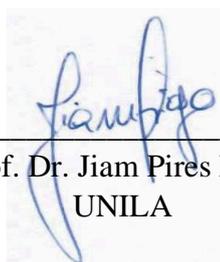
**GESTÃO HÍDRICA: IMPORTÂNCIA DAS TENDÊNCIAS HIDROLÓGICAS DA
BACIA DO RIO IPANEMA-PE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Latino-Americano de Tecnologia, Infraestrutura e Território da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

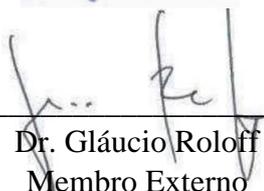
BANCA EXAMINADORA



Orientadora: Prof.^a Ms. Mara Rubia Silva
UNILA



Prof. Dr. Jiam Pires Frigo
UNILA



Dr. Gláucio Roloff
Membro Externo

Foz do Iguaçu, 08 de outubro de 2021.

TERMO DE SUBMISSÃO DE TRABALHOS ACADÊMICOS

Nome completo do autor(a): Erik Souto de Moraes

Curso: Engenharia Civil de Infraestrutura

Tipo de Documento	
<input checked="" type="checkbox"/> graduação	<input type="checkbox"/> artigo
<input type="checkbox"/> especialização	<input checked="" type="checkbox"/> trabalho de conclusão de curso
<input type="checkbox"/> mestrado	<input type="checkbox"/> monografia
<input type="checkbox"/> doutorado	<input type="checkbox"/> dissertação
	<input type="checkbox"/> tese
	<input type="checkbox"/> CD/DVD – obras audiovisuais
	<input type="checkbox"/> _____

Título do trabalho acadêmico: Análise de tendências hidrológicas em bacias hidrográficas: Estudo de caso na bacia do rio Ipanema – PE.

Nome da orientadora: Mara Rubia Silva

Nome do coorientador: Aldrei Marucci Veiga

Data da Defesa: 08/10/2021

Licença não-exclusiva de Distribuição

O referido autor(a):

a) Declara que o documento entregue é seu trabalho original, e que o detém o direito de conceder os direitos contidos nesta licença. Declara também que a entrega do documento não infringe, tanto quanto lhe é possível saber, os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade.

b) Se o documento entregue contém material do qual não detém os direitos de autor, declara que obteve autorização do detentor dos direitos de autor para conceder à UNILA – Universidade Federal da Integração Latino-Americana os direitos requeridos por esta licença, e que esse material cujos direitos são de terceiros está claramente identificado e reconhecido no texto ou conteúdo do documento entregue.

Se o documento entregue é baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não a Universidade Federal da Integração Latino-Americana, declara que cumpriu quaisquer obrigações exigidas pelo respectivo contrato ou acordo.

Na qualidade de titular dos direitos do conteúdo supracitado, o autor autoriza a Biblioteca Latino-Americana – BIUNILA a disponibilizar a obra, gratuitamente e de acordo com a licença pública *Creative Commons* **Licença 3.0 Unported**.

Foz do Iguaçu, 08 de março de 2022.

Erik Souto de Moraes

Assinatura do Responsável

In Memoriam da minha querida e amada Vó
Nena,
Que acreditando na beleza dos meus sonhos
endossou-me um horizonte.
Afirmo aqui, em registro e para permanência:
esta conquista é inteiramente dedicada a Ela.

AGRADECIMENTOS

“Mas eu não ignoro as ameaças que o futuro encerra, como também não ignoro que é o meu passado que define a minha abertura para o futuro. O meu passado é a referência que me projeta e que eu devo ultrapassar.

Portanto, ao meu passado, eu devo o meu saber e a minha ignorância, as minhas necessidades, as minhas relações, a minha cultura e o meu corpo.”

Simone de Beauvoir

A realização de uma pesquisa acadêmica é uma empreitada geralmente moldada pelas relativas afinidades profissionais e técnicas descobertas por seus realizadores ao longo de sua trajetória acadêmica. No entanto, por vezes, como neste trabalho, encontram-se presentes, temáticas das deficientes realidades sociais dos autores, inundadas de elementos extraverbais (a vida).

É importante salientar que para o autor que vos escreve, a temática tem importante papel emocional, por tratar-se da área geográfica onde cresceu. Importante também mostrar que é indubitável as dicotomias presenciadas pelo deslocamento deste em busca de sua formação técnica (e pessoal), o permitindo uma visão abrangente da sua própria realidade, que foi anterior, e agora é novamente esta (a realidade) em que vos escreve.

Longe do desejo de afirmar que esta característica seja determinante na consolidação de uma pesquisa, quer-se externar como isto criou uma firme base para uma análise profunda de uma realidade, que é e foi a sua própria realidade.

Em outras palavras, evidencia-se como o deslocamento geográfico entre estar na bacia do rio Ipanema e nas bacias dos rios Iguaçu e Paraná, sendo a primeira caracterizada hidrologicamente pela escassez e a segunda pela (quase sempre) abundância, criam um “embate dialógico entre discursos ‘antigos’ e ‘novos’, entre diferentes perspectivas teóricas e metodológicas.” (FERREIRA, 2019), além das subjetivas.

Desta maneira, acredito que a UNILA, por seu caráter integrador, pluricultural e social, possui importante papel não só na minha formação técnica, mas proporcionou-me um olhar aguçado da necessidade de pôr em prática o olhar cidadão e voltado à problemas da América-Latina, de forma a haver uma devolutiva retribuição a todos aqueles que financiaram esta empreitada, em especial, àqueles em maior vulnerabilidade socioeconômica.

É neste contexto de vivências que este estudo surgiu, como uma forma de entender as particularidades de uma região e de suas necessidades, por meio do estudo da hidrografia. É, também, diante desta convivência e experiência que cada momento me trouxe até aqui, e eu

agradeço imensamente ter chegado neste ponto, com ensejos de poder desbravar ainda mais num futuro próximo e poder voltar a escrever mais textos como este para todos vocês. Ao mesmo tempo em que me sinto feliz por poder agradecer, abate-me uma tristeza por estar findando uma etapa e de ter que ir me despedindo de uma rotina, de estar rodeado dos amigos e da família que se criou neste trajeto, mas tenho certeza que isto faz parte do equilíbrio das coisas.

Na aventura que me trouxe até aqui pude amadurecer, ser melhor e aprender com cada um dos meus erros, e com cada uma das pessoas que se fizeram presentes (e que ainda assim o fazem), mas o que eu mais aprendi, é que preciso ser grato, por todos os seres que me tocaram e expandiram meus horizontes:

- Imensamente, à minha família de pai e de mãe, a todos, sem exceção, e em especial a minha vó (a qual dediquei este trabalho), que, assim como o rio molda a paisagem geográfica por onde corre, me moldaram como ser humano.

- À minha querida mãe Gildete, que na minha empreitada de ir para foz, me apoiou deste o início, me montou um lar, dando-me confortos e cuidados maternos.

- À Escola Estadual Cel. Nicolau Siqueira, a base dos meus estudos no fundamental, e em especial ao professor de Matemática Jefferson (não me recordo o sobrenome), ele foi o primeiro a me questionar que carreira eu gostaria de seguir, lembro-me de responder “Engenharia”. É interessante notar que permaneci fiel as minhas aspirações de quando criança, sem a base desta escola eu não estaria aqui.

- À Escola de Referência em Ensino Médio de Garanhuns (EREMG), em nome da minha querida prima Sibebe Feitosa (*In Memoriam*), que numa conversa reconfortante me fez perceber a importância de correr riscos e de se entregar as oportunidades que a vida nos dá, lembro-me de sentar e chorar ao lhe externar o medo de uma cidade nova, uma escola desconhecida, e deixar a minha zona de conforto. E isto aconteceu tantas vezes deste então, e me fizeram tão mais forte, que só posso ser grato a ela.

- Aos meus tios, Maria do Socorro e Edgenalvo Feitosa, que me permitiram desfrutar uma educação de qualidade, me concedendo moradia e alimentação (física, emocional e educacional), durante o ensino médio e nos anos porvindouros, até que resolvi embarcar para a UNILA. Um lar que voltei a cada fim de ano desta jornada e que sempre tem me acolhido.

- À Monny, que pude confidenciar todas as minhas aflições desde o início e tentativa do primeiro curso superior, sofremos juntos durante os Cálculos sem imaginar que existiam infernos piores, e apoiar-nos um ao outro nos momentos mais difíceis foi a mais bela forma de nos tonarmos irmãos de coração e alma. A tia Rejane (mãe de Monny) e Vó Mariquinha (Vó

de Monny – *In Memoriam*), que sempre se preocuparam em me fazer sentir-me acolhido em sua casa; se eu estava bem alimentado; e se eu precisava de alguma ajuda. Uma família em trindade feminina, exemplos de força, superação e do que é cuidar da família nos momentos em que eles mais precisam.

- A Jorginho, das amizades que dividimos com outras grandes amizades. Agradeço por todas as vezes que tu e tua família (tia Iolanda e Manu) me acolheram (não poucas) e pela melhor hospitalidade que eu já conheci. Por poder confiar em você e saber que não medirias nenhum esforço para me ajudar em qualquer grito de “socorro!” que eu porventura desse. Eu nunca poderia imaginar que um livro de Álgebra Linear amarelo poderia trazer alguém tão especial para a minha vida.

- À Ordem DeMolay, que me fez internalizar que as Escolas e Universidades Públicas são o berço do alicerce da grandeza deste país, e que enquanto vivo defenderei este baluarte, sobre quaisquer ataques políticos.

- Por cada experiência que tive nos primeiros cursos que ousei tentar fazer, pois me proporcionaram entender o caminho que queria trilhar (ou que não queria), e das pessoas que presentes nesta vivência deixaram este trajeto mais leve e edificante.

- Ao estimado Pe. Evandro, pela amizade que construímos, as caronas semanais, os almoços despretensiosos, o apoio emocional, a preocupação, as conversas, e principalmente pelos abraços da porta da igreja.

- Por tia Nazaré e sua família, especialmente a Diogo Cabral, que, em tempos de águas turvas, me incentivaram e apoiaram em um dos momentos que mais precisei. Pela amizade, os conselhos, as estadias, os eventos familiares, por tanto, sou infinitamente grato.

- À UNILA, por seu projeto e pelas pessoas que acreditam nele. Que apesar da relação de amor e ódio, não me permite arrepende-me de ter vivido tudo que vivi nesses anos de graduação. Agradeço, em especial, aos técnicos e terceirizados.

- Aos funcionários da PRAE, seus auxílios e ao Programa do Bolsa Permanência, por terem sido a minha fonte financeira durante toda a minha trajetória acadêmica.

- À prof.^a Dr.^a Suelen Oliveira, que me fez enxergar o porquê decidi sair de tão longe para uma faculdade com visão e missão tão inovadoras, me fez enxergar o valor da América-Latina e me entender como parte dela.

- À minha querida professora, orientadora de iniciação científica, extensão, estágio supervisionado, e principalmente amiga, Prof.^a Dr.^a Katia Punhagui, que me dando uma oportunidade, quando já quase havia desistido de bater em portas, me ensinou, com suas

histórias de vida, sua dedicação à profissão, e sua humanidade, a ser melhor como pesquisador, profissional, aluno e pessoa.

- Às minhas meninas Jeff Vilela, Will Duarte, Pedrita Germano, Antônio Achitt, Fernando Santana e Michel Arguello. Que compartilharam (de forma contínua ou intermitente) o mesmo teto, a mesma viagem, os mesmos passeios, as contas a pagar, a louça a lavar, e os incontáveis momentos de descontrações e discussões hipócritas e patéticas.

- Um agradecimento especial, em único parágrafo, ao Jeff Vilela, que foi meu companheiro de apartamento durante todos estes anos e a pessoa que me apresentou a UNILA. Sem tua companhia eu nunca teria chegado tão longe, obrigado por todas as vezes que me ajudas-te quando me faltava energia ou ânimo para cuidar da casa, fazer uma comida no final do dia, nas crises financeiras e até mesmo nas brigas sobre a louça suja.

- Ao meu sobrinho felino Tituss Andromedon que, se dele dependesse, fazia do meu sono um eterno não dormir. Mas por ser o serzinho mais fofo que viveu no Apto. 205, morada de toda a minha graduação.

- À Bianca Dezen, que foi minha monitora, colega de grupo de trabalho, apenas uma veterana, colega de sala, e finalmente, e mais importante do que tudo isso, tornou-se minha melhor amiga. Nem lembro de que forma nos aproximamos tanto, mas te agradeço pelas conversas diárias, por ouvir minhas lamentações e por confiar em mim as tuas lamentações, por entendê-las, por causar comigo, pelos abraços, por todo o carinho e por todas as histórias que ainda iremos viver juntos.

- Às queridas Ana Paula Rocha, Rafaela Goulart, Deborah Nardi e Samanta Klering, meu grupo de trabalho alpha; com interstício (só para quem fez parte); e ômega. E ao Gabriel Rossetto, companheiro de estágio e de turma, pela amizade e por todas as caronas diárias.

- À Thays Car, que talvez nem saiba o quanto me ajudou, mas que me permitiu a glória em REMAT I, quando eu já estava prestes a desistir. Uma amizade não esperada, mas de extrema importância para mim nestes últimos anos, principalmente por me acolher em sua casa e me dar uma família em Foz do Iguaçu. Sou grato a você e a tia Marilene por, principalmente nos tempos sombrios de pandemia, serem um apoio emocional. Espero voltar em breve para brindarmos esta conquista com um delicioso Gin, bons vinhos e as ótimas refeições da tia Mari.

- À Gabi Pratti e a Flávia Garcia, presentes do curso de extensão “Bonjour, Foz do Iguaçu!”, que me fizeram entender não só a importância da extensão na universidade para a comunidade, como a (importância) de ter bons amigos fora dela.

- A ITAIPU BINACIONAL e aos seus funcionários, principalmente aos da ENCC.DT e da Divisão de Estágio. Agradeço aos meus supervisores Dimilson Pinto e Josiele Patias por

toda a oportunidade de aprendizagem. Aos colegas, e demais estagiários do setor, Andrey e Mohamed, que mostraram a importância de se trabalhar de forma colaborativa e de dividir conhecimentos, tornando esta experiência mais engrandecedora. Por fim, ao Rodrigo Rodrigues (trainee CEASB), por acompanhar os trabalhos que desenvolvi e me orientar para que fossem executados da melhor forma.

- À UFPE-CAA pela minha mobilidade acadêmica, que me recebeu com os braços abertos de Elyson Vinicius, Valdeildo Junior, Camilla, Erica Luzia e da Princesa linda que as vezes chamam de Izabel; ao meu primo Cadu que me aturando em sua casa tornou esta experiência possível; a tia Nadja e Marquinhos por apoiarem a ideia; aos queridos Cícero Romário, Joyce Luana e Débora Virginia por me acolherem sempre que precisei de um apoio nesta cidade, e à amizade do querido Rafael Marinho, que aturou todas as reclamações diárias de um típico universitário.

- Aos colegas de curso que por diversos motivos não o são mais.

- À Marcia Rocha, minha supervisora de estágio na Construtora Village, por ter acreditado no meu potencial de auxiliá-la nas atividades, por todas as caronas ao final dos expedientes, e por ser um exemplo de profissional a ser seguida.

- Aos professores do curso, que às vezes por (nem) tanto, contribuíram com a minha formação, em especial a minha orientadora Prof.^a Ms. Mara Rubia, que tem me aturado durante toda a empreitada da realização e conclusão deste trabalho; aceitando as permutas de escopo; os meus surtos; entendendo os meus atrasos nas entregas; acreditando na minha capacidade; e tornando ele, em cada palavra, melhor.

- Ao meu coorientador Aldrei Marucci, por ter aceitado esta proposta, sem nem ao menos me conhecer. Obrigado por questionar as minhas decisões de pesquisa, ter possibilitado encontrarmos um escopo de interesse e despendido seu tempo para fazer deste trabalho o melhor, no que foi possível.

- A quem permitiu que esta pesquisa fosse realizada, órgãos e pessoas que disponibilizaram seus dados, em nome de todos os autores citados neste trabalho.

Agradeço de todo o coração a todEs, por ser possível estar a concluir e realizar este sonho, alicerçado em um desejo pessoal, moral e profissional, e com ensejos de um futuro regado a aventuras que me permitam crescer ainda mais e poder retribuir tudo o que todEs têm me dedicado.

“Uma vez que não há cidadãos sem política ou política sem cidadãos, a Universidade, a glândula mamária que alimenta todas as cores e sabores, tem o dever de forjar o cidadão lato sensu para que os profissionais formados tenham a sapiência para escolher os caminhos que desejam trilhar, respeitando os semelhantes e os diferentes, pois **antes do conhecimento ser poder, conhecimento é liberdade em suas múltiplas dimensões**”

Francisco Resende

MORAES, Erik Souto de. Análise de tendências hidrológicas em bacias hidrográficas: estudo de caso na bacia do rio Ipanema - PE. 2021. 89 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil de Infraestrutura) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

RESUMO

Análise de tendências em séries históricas apresenta relevância no estudo da hidrografia quando se pretende estimar modificações em parâmetros do ciclo hidrológico, com o avanço do tempo. A área da bacia do rio Ipanema, localizada no semiárido do Nordeste do Brasil, região denominada “polígono das secas”, é caracterizada por apresentar intenso estresse hídrico, tornando-se uma região de interesse nos estudos de tendências hidrológicas. Desta forma, objetivou-se estudar o comportamento e tendências das séries históricas de vazões e precipitações da região hidrográfica da bacia do rio Ipanema-PE. Dividiu-se o estudo em duas partes: 1) Caracterização da bacia hidrográfica, realizando-se uma caracterização da hidrografia, morfologia e morfometria da área de estudo, com extração de parâmetros lineares e de área utilizando-se o *software* QGis (3.16.8); e 2) Avaliação de tendências de vazões e precipitações, aplicando-se análise exploratória dos dados disponíveis, preenchimento de falhas das séries históricas; e testes estatísticos paramétrico e não paramétricos: Regressão Linear Simples (RLS), Mann-Kendal (MK), Pettit (PTT), Sen’s Slope (SS). Para as séries de precipitação (SP) avaliou-se as médias mensais ($M_{édM}$), período seco (PS) e período chuvoso (PC); para as séries de vazões (SQ) as vazões médias ($Q_{Méd}$), mínimas ($Q_{Mín}$) e máximas ($Q_{Máx}$) da $M_{édM}$, do PS e PC. Os dados utilizados são provenientes de 1 estação pluviométrica e 2 fluviométricas pertencentes a Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA). Com relação a caracterização: determinou-se uma bacia de 6ª ordem, predominância de canais ramificados de 1ª e 2ª ordem, baixa suscetibilidade a ação fluvial, enchentes e erosão devido a sua geometria não circular, alto percurso superficial e área de manutenção dos canais, baixo índice de sinuosidade e planicidade, aproximadamente 90% da região entre os relevos plano e ondulado (0-20%). Para os testes estatísticos observou-se (para $\alpha=5\%$), uma tendência significativa (TS) de redução, com o avanço do tempo, para as SP das $M_{édM}$ e do PS (por MK), com magnitude de 0,5 e 0,4 (mm/ano), tendo o PTT indicado uma redução de 25,6 e 24,5% entre as médias do ponto de inflexão. Nas SQ da estação 49490000, observou-se TS na RLS para as $Q_{Máx}$ do PC, o teste de MK apresentou TS para todos os períodos (exceto as $Q_{Méd}$ do PS), com maior e menor magnitudes de 0,37 e 0,02 ($m^3/s.ano$) para as $Q_{Máx}$ e $Q_{Mín}$ do PC, respectivamente, o PTT indica ponto de inflexão em 2012 para ambos, com redução de 83,6% e 84,6% para as $Q_{Máx}$ das $M_{édM}$ e do PC, respectivamente; para a estação 49480000, TS para as $Q_{méd}$ das $M_{édM}$ e PC, $Q_{máx}$ do PS e $Q_{mín}$ do PC, com maior e menor magnitude de 0,12 e 0,002 ($m^3/s.ano$) para as $Q_{máx}$ do PS e $Q_{mín}$ do PC, respectivamente, o PTT indica ponto de inflexão em 2007 nas $Q_{méd}$ do PS, com redução de 98,0%.

Palavras-chave: Séries Hidrológicas. Análise de Tendência e Homogeneidade. Testes Estatísticos. Caracterização Morfológica e Morfométrica.

MORAES, Erik Souto de. Analysis of hydrological trends in hydrographic basins: a case study in the Ipanema River basin – PE. 2021. 89 pages. Undergraduate thesis (Undergraduate in Civil Engineering of Infrastructure) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

ABSTRACT

Analysis of trends in hydrological data series is relevant to study the hydrography to estimate changes in parameters of the hydrological cycle. The area of the Ipanema River watershed, located in the semiarid region of Northeast Brazil, known as the “polygon of droughts”, is characterized by intense water stress, making it a region of interest in studies of hydrological trends. Thus, the objective was to study the behavior and trends of the historical series of flows and precipitations in the hydrographic region of the Ipanema-PE River watershed. The study was divided into two parts: 1) Characterization of the hydrographic watershed, carrying out a hydrography characterization, morphology and morphometry of the study area, with extraction of linear and area parameters using the QGIS software (3.16.8); and 2) Evaluation of trends of flows and precipitation values, applying exploratory analysis of available data, filling in gaps in historical series; and parametric and nonparametric statistical tests: Simple Linear Regression (SLR), Mann-Kendal (MK), Pettit (PTT), Sen’s Slope (SS). For the precipitation data series analysis (SP) the monthly averages ($M_{édM}$), dry period (PS) and rainy period (PC) were evaluated; for the flow analysis series (SQ), the mean ($Q_{méd}$), minimum ($Q_{mín}$) and maximum ($Q_{máx}$) flows of $M_{édM}$, PS and PC. The data used come from 1 pluviometric and 2 fluviometric stations available in the National Hydrometeorological Network of the National Water and Sanitation Agency (ANA) and available on National Information System on Water Resource. Regarding the characterization: a 6th order basin is determined, the predominance of 1st and 2nd order branched channels, low susceptibility to river action, floods and erosion due to its non-circular geometry, high surface path and channel maintenance area, low sinuosity and flatness index, approximately 90% of the region between flat and wavy relief (slope 0-20%). For the statistical tests it was observed (for $\alpha=5\%$), a significant trend (TS) of reduction, with the advance of time, for the SP of the $M_{édM}$ and the PS (by MK), with the magnitude of 0.5 and 0.4 (mm/year), with the PTT indicating a reduction of 25.6 and 24.5% between the change point averages. In the SQ of station 49490000, TS was observed in the SLR for the $Q_{máx}$ of the PC, the MK test presented TS for all periods (except the $Q_{méd}$ of the PS), with greater and lesser magnitudes of 0.37 and 0.02 (m³/s.year) for $Q_{máx}$ and $Q_{mín}$ of PC, respectively, PTT indicates change point in 2012 for both, with a reduction of 83.6% and 84.6% for $Q_{máx}$ of $M_{édM}$ and PC, respectively; for station 49480000, TS for $Q_{méd}$ of $M_{édM}$ and PC, $Q_{máx}$ of PS and $Q_{mín}$ of PC, with a greater and lesser magnitude of 0.12 and 0.002 (m³/s.year) for $Q_{máx}$ of PS and $Q_{mín}$ of PC, respectively, the PTT indicates change point in 2007 in the $Q_{méd}$ of the PS, with a reduction of 98.0%.

Key words: Hydrological Data Series. Homogeneity and Trend Analysis. Statistics Tests. Morphology and Morphometry Characterization.

MORAES, Erik Souto de. Análisis de tendencias hidrológicas en cuencas hidrográficas: estudio de caso en la cuenca del río Ipanema – PE. 2021. 89 paginas. Trabajo de Finalización de Curso (Graduación en Ingeniería Civil de Infraestructura) – Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2021.

RESUMEN

El análisis de tendencia en series hidrológicas presenta relevancia en el estudio de la hidrografía cuando se pretende estimar cambios en parámetros del ciclo hidrológico. El área de la cuenca del río Ipanema, ubicado en la región semiárida del noreste de Brasil, nombrada “polígono de las sequías”, se caracteriza por tener un estrés hídrico intenso, por lo que se vuelve una región de interés en estudios de tendencia hidrológica. De esta manera, se tuvo como objetivo estudiar el comportamiento y tendencias de las series históricas de caudales y precipitaciones en la región hidrográfica de la cuenca del río Ipanema-PE. El trabajo fue dividido en dos partes: 1) Caracterización de la cuenca hidrográfica, lo que incluyó la hidrografía, la morfología y la morfometría del área de estudio, con extracción de parámetros lineales y de área utilizando el *software* QGis (3.16.8); y 2) Evaluación de tendencias de caudales y precipitaciones, aplicando análisis exploratorios de los datos disponibles, llenando vacíos en series históricas; y pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas Regresión Lineal Simple (RLS), Mann-Kendal (MK), Pettit (PTT), Sen’s Slope (SS). Para las series de precipitación (SP), las medias mensuales ($M_{édM}$), periodo seco (PS) y periodo húmedo (PC) fueron evaluados; y para las series de caudales (SQ), los caudales medios ($Q_{Méd}$), mínimos ($Q_{Mín}$) y máximos ($Q_{Máx}$) de las $M_{édM}$ de PS y PC. Los datos utilizados provienen de una estación pluviométrica y dos pluviométricas disponibles en el Sistema Nacional de Informaciones acerca de Recursos Hídricos (SNIRH/ANA). En cuanto a la caracterización: estaba determinado una cuenca de 6^a orden, predominio de canales ramificados de 1^o y 2^o orden, baja susceptibilidad a la acción fluvial, inundaciones y erosión debido a su geometría no circular, curso superficial y área de mantenimiento de canales largos, bajo índice de sinuosidad y planitud, aproximadamente el 90% de la región entre relieves planos y ondulados (inclinación 0-20%). Con las pruebas estadísticas se observó (para $\alpha=5\%$), una tendencia significativa (TS) de reducción, con el avance del tiempo, para las SP de las $M_{édM}$ y del PS (por MK), con magnitud de 0,5 y 0,4 (mm/año), y el PTT indicó una reducción de 25,6 y 24,5% entre los promedios del punto de inflexión. En las SQ de la estación 49490000, se observó una TS en la RLS para los $Q_{máx}$ del PC, la prueba de MK presentó TS para todos los periodos (con excepción para los $Q_{méd}$ del PS), con mayor y menor magnitudes de 0,37 y 0,02 ($m^3/s.año$) para los $Q_{Máx}$ y $Q_{Mín}$ del PC, respectivamente, el PTT indicó punto de inflexión en 2012 para ambos, con reducción de 83,6% y 84,6% para los $Q_{Máx}$ de las $M_{édM}$ y del PC, respectivamente; para la estación 49480000, TS para los $Q_{méd}$ de las $M_{édM}$ y PC, $Q_{máx}$ del PS y $Q_{mín}$ del PC, con mayor y menor magnitud de 0,12 y 0,002 ($m^3/s.año$) para los $Q_{máx}$ del PS y $Q_{mín}$ del PC, respectivamente, el PTT indicó punto de inflexión en 2007 en las $Q_{méd}$ del PS, con reducción de 98,0%.

Palabras clave: Series Hidrológicas. Análisis de Tendencia y Homogeneidad. Pruebas Estadísticas. Caracterización Morfológica y Morfométrica.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Fluxograma do método da pesquisa
- Figura 2** - Representação da localização geográfica da área de estudo
- Figura 3** - Localização das estações na área da bacia do rio Ipanema
- Figura 4** - Rio principal e principais contribuintes da bacia do rio Ipanema-PE
- Figura 5** - Hierarquização Strahler dos canais de drenagens da bacia do rio Ipanema-PE
- Figura 6** - Mapa e parâmetros hipsométricos
- Figura 7** - Mapa de declividades da bacia do rio Ipanema
- Figura 8** - Localização das estações selecionadas na área de estudo
- Figura 9** - Precipitações médias mensais da série histórica e temperaturas
- Figura 10** - Gráficos do teste PTT para SP das $M_{édM}$ da estação 00937031
- Figura 11** - Gráficos do teste PTT para SP do PC da estação 00937031
- Figura 12** - Gráficos do teste PTT para $Q_{Máx}$ do PC da estação 49490000
- Figura 13** - Gráficos do teste PTT para as $Q_{Máx}$ das $M_{édM}$ da estação 49490000
- Figura 14** - Gráficos do teste PTT para as $Q_{Máx}$ do PC da estação 49480000
- Figura 15** - Hidrograma de vazão das estações 49480000 e 49490000

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características geomorfométricas aplicadas ao estudo de bacias hidrográficas

Tabela 2 - Unidades administrativas na área da bacia

Tabela 3 - Estações fluviométricas na bacia do rio Ipanema

Tabela 4 - Estações pluviométricas na bacia do rio Ipanema

Tabela 5 - Hierarquização da bacia do rio Ipanema

Tabela 6 – Resultados dos parâmetros morfométricos da bacia do rio Ipanema

Tabela 7 - Quantidades de falhas mensais nas séries históricas das estações

Tabela 8 - Equações da RLS para preenchimento de falhas de vazões

Tabela 9 - Resultados das tendências de precipitação da estação 00937031

Tabela 10 - Resultados das análises de tendência de vazões da estação 49490000

Tabela 11 - Dados das análises de tendência de vazões da estação 49480000

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
IAC	Índice de Anomalia de Chuva
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MDE	Modelo Digital de Elevação
$M_{édM}$	Médias Mensais
MK	Teste de Mann-Kendall
PC	Período Chuvoso
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PS	Período Seco
PTT	Teste de homogeneidade de Pettitt
$Q_{máx}$	Vazões Máximas
$Q_{méd}$	Vazões Médias
$Q_{mín}$	Vazões Mínimas
RSL	Regressão Linear Simples
SEMARH	Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SNIRH	Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos
SP	Séries de Precipitação
SQ	Séries de Vazões
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SS	Curvatura de Sen (Sen's Slope)

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área da Bacia
B	Largura Média da Bacia
Cm	Coefficiente de Manutenção
Dd	Densidade de Drenagem
Dh	Densidade Hidrográfica
Eps	Extensão do Percurso Superficial
FF	Fator de Forma
IC	Índice de Circularidade
K	Estatística K do Teste de Homogeneidade de Pettitt
Kc	Índice de Compacidade
L	Comprimento do Curso d'Água Principal
Lt	Comprimento Total dos Canais
r ²	Coefficiente de Determinação
Rb	Relação de Bifurcação
Rpb	Relação Ponderada de Bifurcação
Z	Estatística Z do Teste de Mann-Kendall
α	Nível de Significância

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
1.1 OBJETIVOS	22
1.1.1 Geral	22
1.1.2 Específicos	22
2 REFERENCIAL TEÓRICO	23
2.1 A QUESTÃO DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	23
2.2 A CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	24
2.3 O ESTUDO DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS	26
2.4 SÉRIES HISTÓRICAS	27
2.5 ESTATÍSTICAS PARAMÉTRICAS E NÃO-PARAMÉTRICAS NA ANÁLISE DE TENDÊNCIAS EM SÉRIAS HISTÓRICAS	28
2.6 ESTUDOS DE TENDÊNCIAS HIDROLÓGICAS EM BACIAS DO SEMIÁRIDO NORDESTINO	29
3 MATERIAIS E MÉTODOS	30
3.1 AQUISIÇÃO DE DADOS	32
3.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	32
3.3 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOMÉTRICA DA BACIA	33
3.3.1 Relevo	33
3.3.2 Morfometria	34
3.4 SÉRIES HISTÓRICAS DE VAZÃO E PRECIPITAÇÃO	36
3.4.1 Séries de Vazão	38
3.4.2 Séries de Precipitação	38
3.5 MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE TENDÊNCIAS	39
3.5.1 Regressão Linear Simples (RSL)	40
3.5.2 Teste de Mann-Kendall (MK)	40
3.5.3 Curvatura de Sen (<i>Sen's Slope</i>) (SS)	41
3.5.4 Teste de Homogeneidade de Pettitt (PTT)	42

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA	43
4.1.1 Hidrografia	43
4.1.2 Hierarquização dos Canais de Drenagem	44
4.1.3 Morfometria	45
4.1.4 Relevo	47
4.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS	48
4.2.1 Caracterização do regime de chuvas	49
4.2.2 Falhas nas séries históricas.	51
4.2.3 Preenchimento de Falhas nas Séries de Vazões	52
4.3 TENDÊNCIA NA SÉRIE DE PRECIPITAÇÃO	53
4.3.1 Discussão das Tendências nas Séries de Precipitação	54
4.4 TENDÊNCIA NAS SÉRIES DE VAZÕES	55
4.4.1 Discussão das Tendências nas Séries de Vazões	59
4.5 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS <i>VERSUS</i> ANÁLISES DE TENDÊNCIAS	61
5 CONCLUSÕES	61
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
APÊNDICE A – Séries Históricas de vazões	71
APÊNDICE B – Série histórica de precipitação	77
APÊNDICE C – RLS para preenchimento de falhas das vazões médias	78
APÊNDICE D – RLS para preenchimento de falhas das vazões mínimas	80
APÊNDICE E – RLS para preenchimento de falhas das vazões máximas	81
APÊNDICE F – Séries históricas de vazões preenchidas	83

1 INTRODUÇÃO

As respostas às alterações da dinâmica da terra e a falta de melhoramento no gerenciamento diante do crescimento da demanda de água doce, tem sobrecarregado e desregulado os sistemas hidrológicos naturais (OLIVEIRA, 2018). É notável o aumento da frequência de eventos extremos, tais como chuvas intensas, estiagens prolongadas, aumento da temperatura, enchentes, dentre outros.

Os impactos estão relacionados com a alteração da dinâmica climática, destruição de habitats e com as pressões exercidas sobre a perspectiva de novos usos da água devido, principalmente, ao aumento generalizado de consumo do recurso pela população humana (aumento da pegada hídrica) (MAIA *et al.*, 2012). Esta demanda elevada cria um cenário denominado por Pinto-Coelho e Havens (2016) como “crise das águas”, que deve ser monitorada por uma governança eficaz das fontes do recurso, em cheque.

A região do semiárido nordestino, reconhecida por suas particularidades espaço-temporais, tais como a presença de rios intermitentes, seja pela ocorrência de chuvas acumuladas em poucos meses do ano, tem uma população que sofre intensamente com este fato ambiental, que agrava a dinâmica do comportamento humano, nas esferas social – inerente ao controle do saneamento básico (saúde), indispensável ao lazer, conforto e segurança alimentar (REBOUÇAS, 1997); Econômica – perda de produtividade (TAVARES *et al.*, 2018); e ambiental – garantia da continuidade dos serviços do ecossistema e de suas partes integrantes (PINTO-COELHO; HAVENS, 2016; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011).

A bacia do rio Ipanema, localizada no semiárido pernambucano, numa região denominada “polígono das secas” (DE-CARVALHO; HENRY-SILVA, 2020), afluente do rio São Francisco, possui 32 municípios integrados a sua área. Uma região com histórico de períodos longos de falta de abastecimento, redução da qualidade de vida da população, perda da capacidade de produção agrícola e atenuação econômica (MONTE-MOR, 2012). Para tanto, tornando-se um local de interesse quando da perspectiva da governança das águas.

A governança é um sistema de planejamento que tem definido como o gerenciamento dos recursos e implementação de políticas públicas podem e devem ser efetivos para garantir o acesso a água, principalmente nos locais onde a escassez é um fato recorrente. Ela é definida por Pinto-Coelho e Havens (2016) sobre dimensões baseadas na publicação da *United Nations Educational Scientific and Culture Organization* (UNESCO) intitulada “*Water: a shared responsibility*”, sendo elas: 1) Equitabilidade dos usos (Dimensão Social); 2) Capacidade de

suporte (Dimensão Ambiental); 3) Universalização do acesso (Dimensão Política); e 4) Eficiência (Dimensão Econômica).

Nestas perspectivas, o monitoramento, tomada de decisão e implementação de políticas de gestão, podem e devem ser realizadas, com base em estudos do comportamento dos recursos hídricos e sua disponibilidade, como a análise de tendências nas séries de vazões, precipitações, evapotranspiração e demais parâmetros integrantes do ciclo hidrológico. É nesta perspectiva que se constrói o entendimento do objeto desta pesquisa, sendo avaliação do comportamento de vazões e de precipitações para a Bacia do Rio Ipanema-PE por métodos de tendências estatísticas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Avaliar o comportamento de vazões e precipitações da bacia hidrográfica do rio Ipanema-PE por métodos estatísticos paramétricos e não paramétricos de tendências hidrológicas.

1.1.2 Específicos

- Determinar os coeficientes geomorfológicos e morfométricos da bacia hidrográfica do rio Ipanema-PE;
- Avaliar de forma exploratória os dados hidrológicos disponíveis para estabelecer os procedimentos de análise;
- Realizar procedimento de preenchimento de falhas de séries históricas para melhorar a homogeneidade da análise
- Analisar o comportamento de vazões e precipitações do rio Ipanema ao longo das últimas décadas por métodos não paramétricos e paramétricos;
- Apontar tendências e magnitudes no comportamento das vazões e precipitações para as séries históricas;
- Determinar, quando houver, o ano do ponto de mudança hidrológica significativa nas séries históricas;
- Contribuir com informações para a melhoria na gestão de recursos hídricos e planejamento da bacia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A QUESTÃO DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Efetivamente, a escassez de água em algumas regiões não são fatos decorridos unicamente da carência do recurso, mas da falta de gestão e planejamento dos recursos hídricos que garantam seu uso múltiplo e otimizado (BRASIL, 1997; TSUTIYA, 2006).

Observa-se que, apesar de todas as tecnologias, casos de sucesso e inovações constantemente implantadas em outras regiões do planeta como em Israel (REBOUÇAS, 1997; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011), Egito, Espanha e Itália (PINTO-COELHO; HAVENS, 2016), ainda se percebe um distanciamento da governança das águas na maioria das regiões do planeta, inclusive e em particular, na região do semiárido nordestino do Brasil (TUCCI; HESPANHOL; CORDEIRO NETTO, 2001).

Segundo Tundisi e Matsumura-Tundisi (2011) a gestão da água deve ser preditiva, integrada e adaptativa. A primeira diz respeito ao acompanhamento e geração de dados passíveis de investigações contínuas das bacias hidrográficas, mananciais e sistemas de armazenamento (CORDÃO; RUFINO; ARAÚJO, 2013; ZEILHOFER *et al.*, 2003); a segunda ao cruzamento de dados e aplicação de políticas públicas entre as diversas fronteiras sociais, geográficas e ambientais (PINTO-COELHO; HAVENS, 2016) e a última sobre a incorporação de técnicas, tecnologias e sistemas de gestão que estabeleçam uma otimização da outorga dos recursos hídricos (MATOS, 2018; PEREIRA, 2017).

A carência de planejamento e gerenciamento causa impactos sociais (culturais), econômicos, e ambientais (TUNDISI, 2008; TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2011), se tornando assunto central nas discussões acerca da gestão dos recursos hídricos. Em 2019, o coordenador de projetos internacionais da companhia nacional de água de Israel, país localizado na maior zona semiárida do mundo, declarou ao Brasil que

“Com gestão, acredito que vocês vão perceber que não precisam da última tecnologia. [...]. A tecnologia ajuda, mas, se você não tem gestão forte, você não pode fazer nada. [...] Você tem de ter aqui redução das perdas, utilizar bem as coisas, educar as pessoas. Vocês têm de resolver isso enquanto tem o recurso” (MADEIRO, 2019).

A alegação traz a luz da discursão sobre como mecanismos de gerenciamento e legislações exercem importante papel sobre as outorgas da água, sua disponibilidade e a constante necessidade de controle das perdas e dos eventos (enchentes e estiagens), podendo

destacar seis grandes alterações apresentadas por Tundisi e Matsumura-Tundisi (2011): 1) água em padrões de potabilidade para todos; 2) aumento do suprimento e alternativas; 3) crescimento populacional e usos da água na agropecuária; 4) controle das enchentes e secas; 5) mudanças climáticas e seus efeitos; e 6) impactos sociais e econômicos.

Medidas de estimativas sobre a qualidade e disponibilidade das águas e sua função no desenvolvimento revelam a necessidade de mudanças acentuadas na condução de um planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos (PINTO-COELHO; HAVENS, 2016).

2.2 A CARACTERIZAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

O estudo e entendimento do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas são geralmente baseados inicialmente em suas características morfológicas e morfométricas (ASFAW; WORKINEH, 2019; SANTOS *et al.*, 2012). A área da bacia, sua forma, topografia, geologia, solo, rede de drenagem, cobertura vegetal e demais determinantes são fatores importantes para o entendimento das inter-relações que existem no contexto do seu processo de formação e comportamento, tornando-se necessário a quantificação dos mesmos ao longo dos estudos desta unidade de gestão (LIMA, 2008).

A determinação destas variáveis permite uma análise dos processos do ciclo hidrológico. A infiltração dos solos, a quantidade de água produzida (deflúvio, evapotranspiração, escoamentos superficiais e subsuperficiais) dependem estritamente das relações entre os valores destes fatores (TEODORO *et al.*, 2007). Além disso, as ações antrópicas afetam diretamente no comportamento hidrológico das bacias, uma vez que, por intervenção no meio natural (uso do solo) e pela demanda dos recursos para as suas atividades, modificam a estrutura da paisagem (KARNAUKHOVA, 2000), os processos do ciclo hidrológico (LIMA, 2008) e a disponibilidade hídrica (TUCCI; HESPANHOL; CORDEIRO NETTO, 2001).

Segundo Tonello (2005) e Asfaw e Workineh (2019) os estudos clássicos desenvolvidos por Horton (1932 e 1945), Strahler (1952, 1957 e 1964), França (1968), Christofletti (1978), Schumm (1956), Gravelius (1914), Melton (1958), Patton e Baker (1976), entre outros, determinam diferenças essenciais entre distintas paisagens, podendo estas características serem subdivididas em três categorias, para o primeiro autor em características geométricas, do relevo e da rede de drenagem e para o segundo autor em parâmetros lineares, de área e do relevo (Tabela 1).

Tabela 1 - Características geomorfométricas aplicadas ao estudo de bacias hidrográficas

Tonello (2005)	Asfaw (2019)
Características geométricas/Parâmetros de área	
Área total	Área total
Perímetro total	Perímetro total
Coefficiente de compacidade	Coefficiente de compacidade
Fator de forma	Fator de forma
Índice de circularidade	Padrão de drenagem
Padrão de drenagem	Padrão de drenagem
-	Índice de alongamento
-	Frequência de fluxo
-	Densidade de drenagem ¹
Características do relevo/Parâmetros do relevo	
Orientação	-
Declividades (máxima, mínima e média)	Declividades (máxima, mínima e média)
Altitudes (máxima, mínima e média)	Altitudes (máxima, mínima e média)
Declividade média do rio principal	-
-	Relação de alívio
-	Relação relativa de alívio
-	Hipsometria
-	Número de robustez
Características da rede de drenagem/Parâmetros lineares	
Comprimento do rio principal	Comprimento do rio principal
Comprimento total dos cursos d'água	Comprimento total dos cursos d'água
Densidade de drenagem ¹	-
Ordem dos cursos d'água	Ordem dos cursos d'água
-	número do curso d'água
-	Comprimento médio do curso d'água
-	Proporção do comprimento do curso d'água
-	Razão de bifurcação
-	Razão de bifurcação média

¹ Asfaw e Workineh (2019) consideram a densidade de drenagem um parâmetro de área da bacia, enquanto Tonello (2005) uma característica da rede de drenagem.

Fonte: Adaptado de Tonello (2005) e Asfaw e Workineh (2019)

Nesta perspectiva, os levantamentos aplicados a caracterização e estudo do comportamento de bacias hidrográficas, podem ser realizados com apoio de ferramentas de gerenciamento e tratamento de dados, tais como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que veem sendo aplicados em análise morfométrica de drenagem (FAUSTINO; SILVA, 2015; KANNAN *et al.*, 2018; LOPES; LEAL; RAMOS, 2018), modelagem de eventos críticos de vazão em microbacia urbana (FELIZARDO, 2016), estudos de recursos hídricos (ESPINOZA; ABRAHAM, 2005; PIRES; ROTUNNO FILHO, 2017; TSIHRINTZIS; HAMID; FUENTES, 1996), gestão de recursos naturais de bacias (FLAUZINO; MELLONI; PONS, 2016; HOFF; VACCARO; KROB, 2008), planejamento de abastecimento e qualidade de águas urbanas (CORDÃO; RUFINO; ARAÚJO, 2013; KUREPINA; RYBKINA, 2018; NASCIMENTO; 2009; NASCIMENTO; RIBEIRO, 2017; ZEILHOFER *et al.*, 2003) e estudos da interação entre

recursos hídricos e urbanização (LATUF, 2007; PINHO; GARCIA; GARCIA, 2020), tornando-se importante ferramenta para a tomada de decisão, monitoramento e implementação de planos de gestão de bacias.

A ordem da bacia pode ser determinada pela hierarquização de Strahler dos canais de uma bacia hidrográfica. Sendo os menores canais da bacia, sem afluentes, considerados de primeira ordem; quando dois canais de primeira ordem se interceptam, dão origem a um canal de segunda ordem recebendo afluentes de primeira ordem; da confluência de dois canais de segunda ordem, surge um canal de terceira ordem recebendo afluentes de primeira e/ou de segunda ordem; os canais de quarta ordem surgem da confluência de canais de terceira ordem com afluentes de qualquer ordem inferior e assim por diante, sendo a bacia classificada pela maior ordem de seus canais e podendo ser definido a porcentagem de ocorrência de cada uma das ordens, o comprimento médio e a relação de bifurcação dos canais (SANTOS *et al.* 2007).

2.3 O ESTUDO DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Conhecer a disponibilidade de água doce em uma região hidrográfica é um dos principais instrumentos para a gestão de recursos hídricos. É a partir dele que se pode determinar a outorga deste bem, considerando os múltiplos fins de uso (energético, irrigação, abastecimento, navegação e outros) (MELO; VILLAS BOAS, 2017).

Segundo Pereira *et al.* (2007), o conhecimento do comportamento hidrológico permite conhecer a disponibilidade deste recurso, possibilitando identificar as áreas em que ele é ou poderá ser escasso. Sendo útil para a adoção de políticas públicas, quanto por externar a necessidade de melhoria das redes de medição e investigação hidrometeorológicas, indicando realocação de estações ou aumento da rede existente (MELO; VILLAS BOAS, 2017).

Amorim, Netto e Mendiondo (2005), apontam que devido ao elevado custo de implantação e manutenção de redes de monitoramento de vazões, principalmente em um país com dimensões continentais, tal qual Brasil, faz-se necessário a otimização de informações de vazões disponíveis, sendo estas informações geralmente dispostas nos cursos de água dos rios principais das bacias hidrográficas.

Neste contexto, a adoção de métodos de estudos do comportamento hidrológico apresenta-se como importantes ferramenta, sendo a aplicação de testes estatísticos um dos métodos largamente utilizado para compreender as modificações em séries históricas de bacias hidrográficas. Santos e Silva (2016) apresentam um estudo de tendências temporais dos

recursos hídricos na sub-bacia hidrográfica do médio Jaguaribe; Penereiro e Orlando (2013) uma análise de tendência em séries temporais anuais de dados climáticos e hidrológicos na bacia do rio Parnaíba; Gomes *et al.* (2015) uma análise estatística das tendências de elevação nas séries de temperaturas na Amazônia Central; Almeida *et al.* (2019) com uma análise de tendências fluviométricas na região hidrográfica da Calha Norte-PA; dentre outros. E também, o estudo do comportamento de vazões podem favorecer diagnósticos da qualidade dos dados, atuando como subsídio quando da apreciação de consistência dos dados, dos usos múltiplos outorgáveis e da geodiversidade¹ (MELO; VILLAS BOAS, 2017).

2.4 SÉRIES HISTÓRICAS

Séries de dados temporais ou históricas consistem em um conjunto de dados levantados em intervalos de tempo regulares, num espaço de tempo específico (LATORRE; CARDOSO, 2001). No contexto de séries hidrológicas têm-se como exemplo a medição de vazões diárias de um determinado rio, a aferição da precipitação, da temperatura, e de outros parâmetros ou eventos de interesse (SANTOS, 2016).

No estudo de séries hidrológicas, a consistência de dados é um fator de suma importância para garantir maior confiabilidade as análises empreendidas. Isto posto, ao iniciar um estudo de comportamento hidrológico, com base em dados de séries temporais, deve-se modelar o fenômeno, descrever o comportamento da série, estimar os dados e por fim, avaliar quais fatores que influenciam o seu comportamento, de forma a avaliar as relações entre duas ou mais séries da região de estudo (SANTOS, 2016).

Desta forma, a utilização de séries temporais nos estudos hidrológicos de bacias hidrográficas torna-se uma estratégia indispensável na avaliação do comportamento de vazões de um corpo d'água e de seus afluentes (TUCCI, 1997), em especial em estudos que utilizam métodos de análise de tendências hidrográficas.

Segundo Tucci, Hespanol e Cordeiro Netto (2001), os estudos de comportamento de disponibilidade hídrica geralmente desprezam a variabilidade espacial e temporal. Isto ocorre

¹ “Geodiversidade é o estudo do meio físico constituído por ambientes diversos e rochas variadas que, submetidos a fenômenos naturais e processos geológicos, dão origem às paisagens, ao relevo, outras rochas e minerais, águas, fósseis, solos, clima e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico, parâmetros necessários à preservação responsável e ao desenvolvimento sustentável.” (MELO; VILLAS BOAS, 2017).

devido a insuficiência de dados para a análise, mas as estimativas baseadas neles, vazões médias e mínimas, representam valores de interesses. A primeira, como a capacidade máxima de um sistema (considerando regularização); e a segunda, ao considerar um período de retorno, possibilita analisar a disponibilidade das condições naturais.

2.5 ESTATÍSTICAS PARAMÉTRICAS E NÃO-PARAMÉTRICAS NA ANÁLISE DE TENDÊNCIAS EM SÉRIAS HISTÓRICAS

Os testes estatísticos paramétricos e não paramétricos são testes de hipóteses usuais da inferência estatística, úteis para entender e prever tendências e amplitudes de processos em séries de dados (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Segundo Santos (2016), no estudo de tendências, assumir uma hipótese nula, significa admitir que não existe tendência na série de dados, rejeitando-se a hipótese quando os resultados são contrários a hipótese aplicada. Estas tendências são baseadas no comportamento de séries históricas em que só se pode realizar inferências sobre os dados apresentados até o momento sobre um nível de significância estabelecido.

Os testes paramétricos requerem uma especificação da maioria dos parâmetros, sendo aplicados em situações que se tem conhecimento sobre os momentos amostrais das séries (médias e variâncias), supondo que a amostra possui uma distribuição normal (SOUZA, 2019).

Já nos testes não-paramétricos não se supõem sobre as distribuições dos dados a serem analisados, por isso sendo chamados também de testes livres de distribuição. São teste mais simples para identificar tendências independentemente dos momentos estatísticos das séries pois tratam os valores das séries como sendo de populações diferentes e encontrando o ponto de ruptura entre os dados, onde ocorre a anormalidade (tendência).

Entre alguns testes estatísticos encontrados na literatura e usados na análise de tendências hidrológicas, pode-se citar as regressões lineares, teste de Mann-Kendall, a curvatura de Sen, o teste de Pettitt, Mann-Whitney, Cox-Stuart, Run, coeficiente de correlação de Spearman, Distribuição F de Fisher-Snedecor, *t-Student*, dentre outros (SOUZA, 2019). Sendo os 4 primeiros, mais recorrentes nos estudos encontrados nas análises de tendências em precipitações, vazões, cotas e demais variáveis do ciclo hidrológico.

Dos estudos nacionais encontrados, Penereiro e Orlando (2013) utilizou regressão linear, Mann-Kendall e Pettitt para análise de tendências de precipitações, temperatura e vazões no rio Parnaíba. Santos e Silva (2016) aplicou Mann-Kendall e o teste de significância de T-Student para verificar tendências temporais das precipitações, cotas e vazões na sub-bacia do

médio Jaguaribe. Ferreira, Penereiro e Fontolan (2015) estimaram tendências nas séries hidroclimáticas e de ações antrópicas nas sub-bacias do rio Tietê através de regressão linear, Run, Mann-Kendall e Pettitt. Santos (2016) identificou e analisou tendências das variáveis hidrológicas e da mudança do uso e ocupação das terras do alto curso da bacia do rio Uberaba-MG, aplicando regressão linear, Mann-Kendall, Mann-Kendal Sazonal, Curvatura de Sen e teste de Pettitt.

No âmbito internacional pode-se citar os estudos de Kundu *et al.* (2015) que realizaram uma análise da variação espacial e temporal na tendência da precipitação de Madhya Pradesh, com aplicação de Mann-Kendall, curvatura de Sen e Mann-Whitney-Pettitt e de Das e Banerjee (2021) que investigaram mudanças no fluxo sazonal e carga de sedimentos nas bacias de Subarnarekha-Burhabalang com os testes de Mann-Kendall e Pettitt, ambos na Índia; e o trabalho de Partal (2017) que consistiu em uma análise de tendências plurianuais das temperaturas e precipitações na Anatólia Ocidental, Turquia, utilizando os teste de Mann-Kendall e Pettitt.

A utilização e escolha dos métodos está relacionada a complementariedades entre si. Tendo os testes de Regressão linear Simples (RLS) e Mann-Kendall importância na determinação da significância estatística, o *Sen Slope* a função de determinar a magnitude da mudança, e o teste de Pettitt de mostrar o ano onde estas mudanças foram mais acentuadas (SANTOS, 2016). Desta forma, é imperativo que se encontrem significâncias nos diversos testes aplicados para se tomar uma conclusão adequada de um fenômeno estudado, não ocorrendo esta condição, deduções simplificadas são tomadas como indicativos de possíveis modificações nos parâmetros analisados.

2.6 ESTUDOS DE TENDÊNCIAS HIDROLÓGICAS EM BACIAS DO SEMIÁRIDO NORDESTINO

As regiões do semiárido nordestino, apresentam particularidades quando se trata do ciclo hidrológico. Caracterizadas por rios intermitentes, escassez hídrica, chuvas concentradas em poucos meses do ano (DE-CARVALHO; HENRY-SILVA, 2020), apresenta uma variabilidade espaço-temporal (MONTE-MOR, 2012) tornando-se objeto de pesquisa de diversos estudos, além de demandarem a criação de políticas públicas de gestão específicas, voltadas à suas realidades.

Pereira *et al.* (2017) explica que mesmo dentro desta grande região, é possível perceber variações locais, o que dificulta tanto o entendimento, por não possibilitar uma generalidade,

quanto a necessidade de estudos particulares para promover estratégias de minimização dos impactos causados por esta realidade.

O estudo de Santos e Silva (2016) sobre a bacia do médio Jaguaribe, localizada na fração leste do Ceará chegaram à conclusão que para a maioria dos municípios analisados houveram tendências de diminuição na precipitação, cota do rio e vazão ao longo dos anos (série de 26 anos para precipitação, 22 para cota e 33 para as vazões), principalmente relacionados a ações antrópicas de uso da água para abastecimento e agricultura.

Penereiro e Orlando (2013) em estudo na bacia do rio Parnaíba, entre os estados do Maranhão e Piauí, identificaram tendências de aumento para as temperaturas mínimas, médias e máximas. Para o estudo, as séries de precipitação não apresentaram tendências significativas. Para os índices de vazão, das 18 estações analisadas, 3 registraram tendência negativa. Os autores chamam atenção para o cuidado que se deve ter ao apontar as causas dos resultados encontrados nas séries, uma vez que há alta complexidade ao associar as alterações as modificações do homem e variações naturais do clima, apresentando diversas incertezas associadas.

Pereira *et al.* (2017) classificou padrões climáticos na região central do Agreste de Pernambuco através de Índice de Anomalia de Chuva, em que analisou 14 estações pluviométricas no período de 1963 a 2013. Os resultados apontaram uma mudança no padrão das chuvas, até a década de 1980 havia uma frequência maior de períodos úmidos, e a partir de 1990 ocorreu uma diminuição significativa, com predominância de períodos secos. Os autores apontam grandes impactos sociais e grandes prejuízos à agricultura e pecuária, bem como ao abastecimento humano.

Neste constructo, as análises de tendências hidrológicas apresentam-se como ferramentas aplicáveis para o entendimento do comportamento hídrico, e também para fornecer informações capazes de criar instrumentos de gestão e planejamento que minimizem os impactos ambientais e sociais que ocorrem neste contexto.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

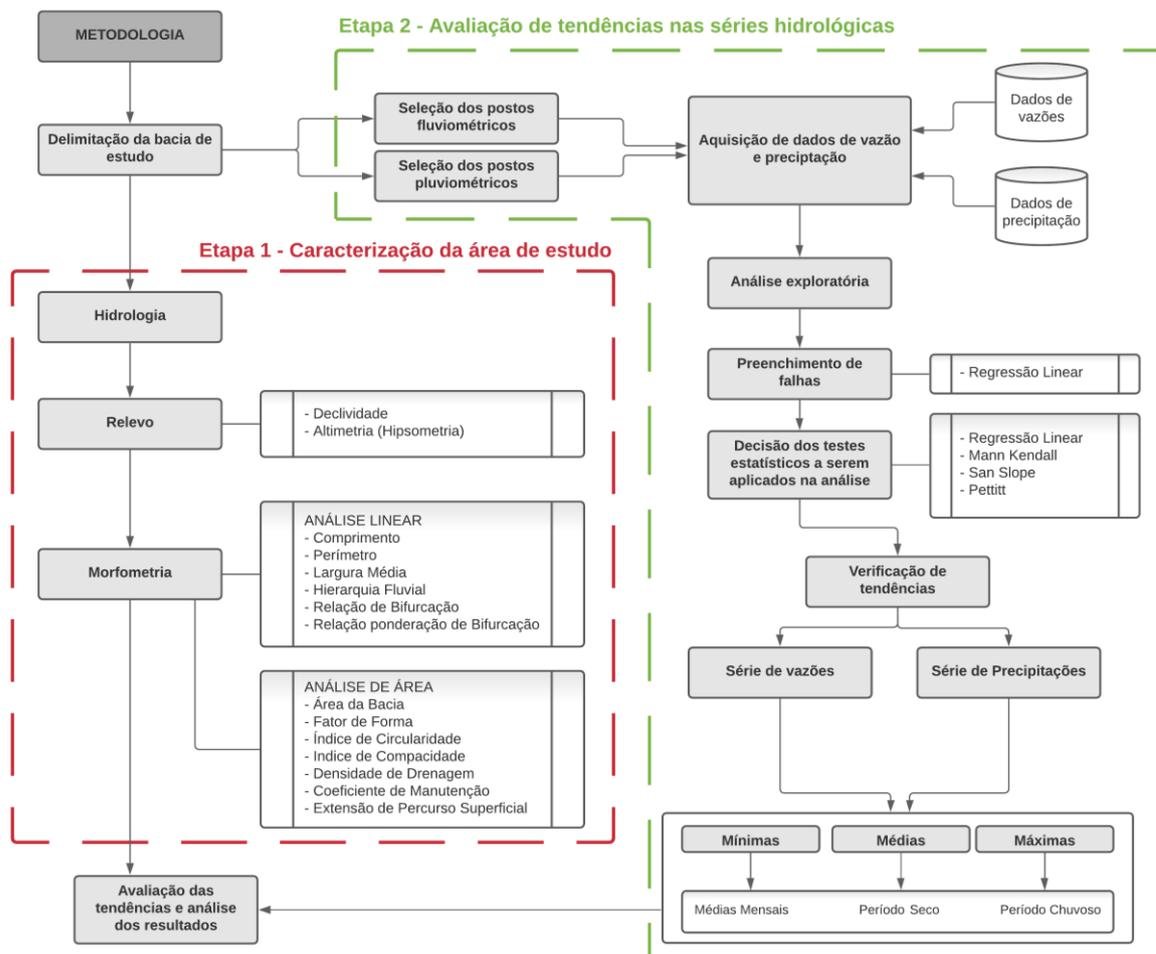
O método da pesquisa foi dividida em duas partes: 1) Caracterização da bacia hidrográfica do rio Ipanema, empreendendo-se um estudo da morfologia, morfometria e hidrologia da área de estudo; e 2) Avaliação de tendências de vazões e precipitações, realizando-se uma análise exploratória dos dados hidrológicos da área de estudo, sendo para tanto necessários os procedimentos de preenchimento de falhas de séries históricas de vazões e

precipitações, aplicação de testes estatísticos, verificação e avaliação dos resultados. O fluxograma da pesquisa é apresentado na Figura 1.

Iniciou-se o estudo pela determinação da bacia de estudo, aquisição de dados que pudessem servir como base e promover, inicialmente, um entendimento do objeto de pesquisa. Para a caracterização, determinou-se os parâmetros da hidrografia, do relevo e morfométricos a serem calculados (declividade, altimetria, análise linear e de área).

Sobre a análise de tendência, selecionou-se as estações a serem utilizadas no estudo, empregou-se uma análise exploratória dos dados para determinar a necessidade do preenchimento de falhas, tomou-se a decisão de quais métodos estatísticos seriam empregados nas análises de tendência (Regressão Linear Simples, Mann-Kendall, *Sen Slope* e Pettitt). Aplicou-se os métodos estatísticos nas séries de dados em períodos de análise estabelecidos e avaliou-se os resultados de forma crítica.

Figura 1 - Fluxograma do método da pesquisa



Fonte: Autor (2021).

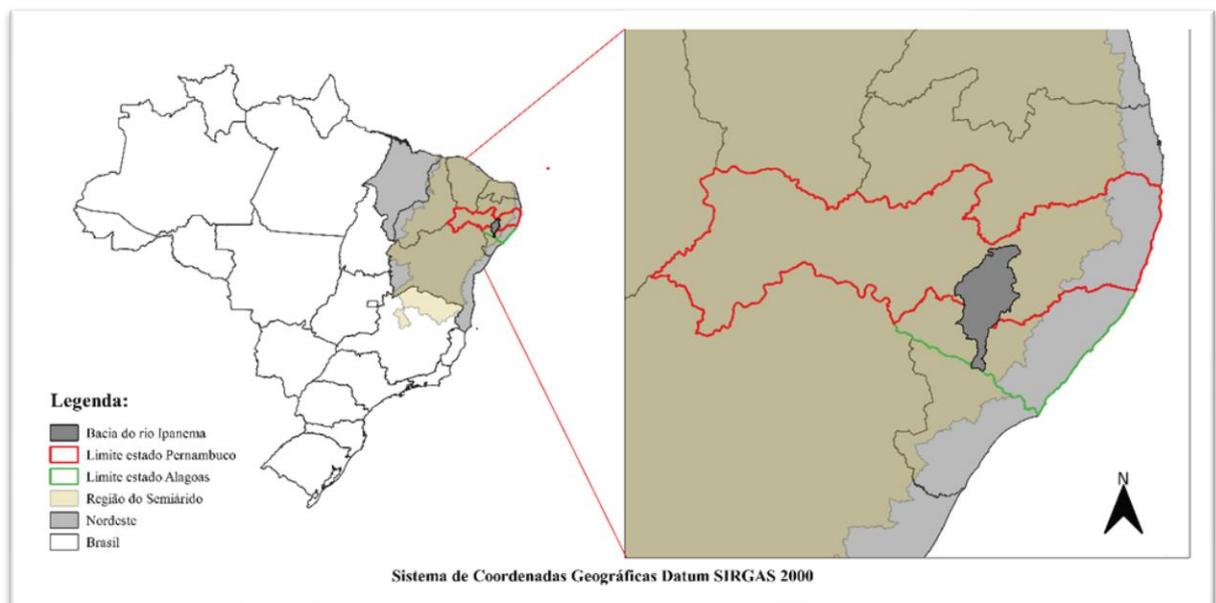
3.1 AQUISIÇÃO DE DADOS

O banco de dados suporte para a extração e análise de valores utilizado nesta pesquisa foi constituído de Modelos Digitais do Terreno (MDE) da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM); dados primários da Agência Nacional de Águas (ANA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), dados geoespaciais em formato *shapefile* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Secretaria do Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos de Alagoas (SEMARH-AL); e secundários, através de levantamento bibliográfico em bases de dados de publicações científicas.

3.2 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de escopo, abordada neste estudo, é definida pela bacia do Rio Ipanema, situada entre partes de dois estados do Nordeste do Brasil. O alto e médio curso da bacia hidrográfica encontra-se no estado de Pernambuco (PE), enquanto o baixo curso situa-se em Alagoas (AL), estendendo-se até o Rio São Francisco (Figura 2).

Figura 2 - Representação da localização geográfica da área de estudo



Fonte: Autor (2021).

Com nascente localizada no município de Pesqueira e classificado como rio de regime fluvial intermitente, a bacia do Rio Ipanema possui em 4 (quatro) municípios totalmente inseridos na sua área, 13 (treze) com território parcialmente inseridos (incluindo suas sedes) e

15 (quinze) com apenas território parcialmente inserido (APAC, 2021), que totalizam uma população de 414.110 habitantes (IBGE, 2010), se considerados apenas os municípios com sede na bacia. Situa-se entre as coordenadas geográficas 08°17'20" e 09°54'00" de Latitude Sul; 36°27'20" e 37°36'00" de Longitude Oeste, tendo como Datum de referência o WGS 84 (*World Geographic System*) (SANTOS, 2011, APAC, 2021).

3.3 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOMÉTRICA DA BACIA

A caracterização geomorfométrica da bacia foi dividida em duas análises: 1) Análise do relevo, fez-se a classificação da altimetria, da declividade e determinou-se alguns parâmetros, tais como, amplitude altimétrica, gradiente do canal principal, relação de relevo, índice de rugosidade e de sinuosidade; e 2) Morfometria, determinou-se os parâmetros lineares e de área.

Ambas as análises foram realizadas com auxílio do *software* livre de geoprocessamento de dados QGis. A utilização de suas ferramentas permitiu extrair e determinar distâncias (largura e comprimento), áreas, perímetros, bem como auxiliaram na análise de hierarquização dos rios e computo do número de canais.

Para isto, trabalhou-se com MDEs para composição da área de estudo, utilização do complemento GRASS para geração do mapa hipsométrico, SAGA GIS para o preenchimento de possíveis falhas do MDE e para a geração da hierarquização dos canais de drenagem.

3.3.1 Relevo

O mapa de elevações foi realizado a partir do processamento das imagens (mosaico da região de estudo) da SRTM disponibilizados em MDE pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O SRTM é um MDE decorrente da coleta de dados realizada pela *National Imagery and Mapping Agency (NIMA)* e a *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, coletados em fevereiro de 2000 a bordo da nave Endeavour. Seus dados foram produzidos entre as latitudes (paralelos) 56° S e 60° N cobrindo mais de 80% da superfície terrestre (USGS, 2017).

Os dados do SRTM são administrados pela *United States Geological Survey (USGS)*, possuindo resolução radiométrica de 16 bits e tendo os MDEs com resolução vertical de 30m (1 arco-segundo) para os Estados Unidos e de 90m (3 arco-segundos) para as demais localidades (EMBRAPA, 2021).

Os dados do TOPODATA estão estruturados em quadrículas compatíveis com a articulação 1:250.000 e são disponibilizados em formato *raster* após passarem por um processo de preenchimento de falhas, refinamento, derivação e pós-processamento dos dados originais do SRTM. Estes dados foram convertidos de uma resolução vertical de 3 arco-segundos para 1 arco-segundo através de uma interpolação das grades de altitude e são disponibilizados em MDE refinado e suas derivações geomorfométricas locais (altitude, declividade, relevo sombreado, etc.) (INPE, 2021).

O pré-processamento e processamento dos MDEs foi realizado com auxílio do *software* livre QGIS (versão 3.16.8) através de composição de mosaico de imagens das quadrículas “09S375ZN” e “08S375ZN”, reprojeção para o Datum SIRGAS 2000 UTM zona 24S (do original WGS 84). A extração dos limites da bacia foi realizada através de recorte de *raster* por camada vetorial, utilizando a camada da bacia do rio Ipanema disponível na SEMARH-AL. Para a geração do mapa hipsométrico e de relevo transformou-se a representação contínua do MDE em discreta pelo processo de reclassificação (ferramenta *r.recode* do GRASS 7.8.5) em 11 classes com intervalos de 100 metros e 6 classes em porcentagens segundo especificado pela EMBRAPA (1979), respectivamente.

3.3.2 Morfometria

a) Análise linear

Segundo De-Carvalho e Henry-Silva (2020) a análise linear é composta pelos parâmetros lineares que quantificam a rede de drenagem da bacia, tais como comprimento e hierarquia, e suas relações. Neste estudo foram selecionados parâmetros estratégicos do escopo da pesquisa, a saber: Comprimento, Perímetro, Largura Média, Hierarquia Fluvial e a Relação de Bifurcação.

O Comprimento (L) é determinado pelo curso d’água mais longo (principal), desde a desembocadura até a cabeceira mais distante da bacia, o Perímetro (P) pelos limites da área de drenagem e a Largura Média (B) é a média do somatório das larguras ao longo do comprimento da bacia (TONELLO, 2005).

Foi realizada a hierarquização de Strahler (ferramenta *Strahler Order* do SAGA GIS 2.3.2) no QGIS (versão 3.16.8), atribuindo-se uma ordenação aos canais de contribuição, de forma crescente, da nascente ao exutório. Um canal de drenagem somente é promovido à ordem superior ao receber contribuição de, pelo menos, dois canais de ordem anterior. A ordem da

bacia é definida pela maior ordem de seus canais, correspondendo a do canal principal (ASFAW; WORKINEH, 2019; SILVA NETO *et al.*, 2019).

Com a hierarquização dos canais foi realizar o cálculo da relação de bifurcação (R_b – Equação 1) e a relação de ponderação de bifurcação (R_{bp} – Equação 2), com o objetivo de calcular um valor que represente a bacia como um todo (ASFAW; WORKINEH, 2019).

$$R_b = \frac{N_x}{N_{x+1}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$R_{bp} = \frac{\sum_1^n Rb_n(C_n + C_{n+1})}{\sum C} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde, “ N_x ” corresponde ao número de seguimentos de uma ordem, “ N_{x+1} ” o número de seguimentos de uma ordem imediatamente superior, “ c_n ” o número de canais de uma ordem, “ c_{n+1} ” o número de canais de uma ordem imediatamente superior e “ C ” é número de canais totais.

b) Análise de área

Na análise de área foram calculadas a Área da bacia, Fator de Forma, Índice de Circularidade, Índice de Compacidade, Densidade de Drenagem, Densidade Hidrográfica, Coeficiente de Manutenção e a Extensão do Percurso Superficial.

Segundo Pereira (2018), a forma da bacia é uma das características mais difíceis de serem expressas em termos quantitativos. Tendo efeito sobre o comportamento hidrológico da bacia, como por exemplo, no tempo de concentração. Este parâmetro pode ser calculado pela Fator de Forma (FF-Equação 3).

$$FF = \frac{B}{L} \quad (\text{Equação 3})$$

O Índice de Circularidade (IC – Equação 4) é um parâmetro determinado por Strahler (1964) que relaciona a área da bacia com o seu perímetro avaliando quão próximo de um círculo ela está. Sendo menor ou igual 1, onde A é a área da bacia, e P o perímetro (ASFAW; WORKINEH, 2019). Este índice indica o favorecimento ao escoamento ou sua redução e a transmissividade do escoamento (tempo de concentração).

$$IC = \frac{12,57 \cdot A}{P^2} \quad (\text{Equação 4})$$

Ao relacionar o perímetro da bacia (P) com a circunferência de um círculo igual a sua área obtém-se o Coeficiente de Compacidade (Kc – Equação 5) que avalia a suscetibilidade a enchentes acentuadas (TONELLO, 2005).

$$K_c = \frac{0,28 \cdot P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Equação 5})$$

A Densidade de Drenagem (Dd – Equação 6) foi definida por Horton como sendo a relação entre o comprimento total dos canais (Lt) e área (TONELLO, 2005). O Coeficiente de Manutenção (Cm – Equação 7) foi definido por Schumn como o menor valor de área (em km²) que possibilita a manutenção de um quilômetro de canal (DE-CARVALHO; HENRY-SILVA, 2020). A Densidade Hidrográfica (Dh – Equação 8) foi definida no estudo de Christofolletti e representa a grandeza da rede hidrográfica (potencial hídrico por km²) e a capacidade de gerar novos cursos d'água (LOPES; LEAL; RAMOS, 2018). E a Extensão do Percorso Superficial (Eps – Equação 9) também proposta por Christofolletti que é utilizada para indicar a distância média que uma enxurrada percorre do interflúvio ao canal permanente (FEITOSA; SANTOS; ARAÚJO, 2011).

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (\text{Equação 6})$$

$$Cm = \frac{1}{Dd} \quad (\text{Equação 7})$$

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (\text{Equação 8})$$

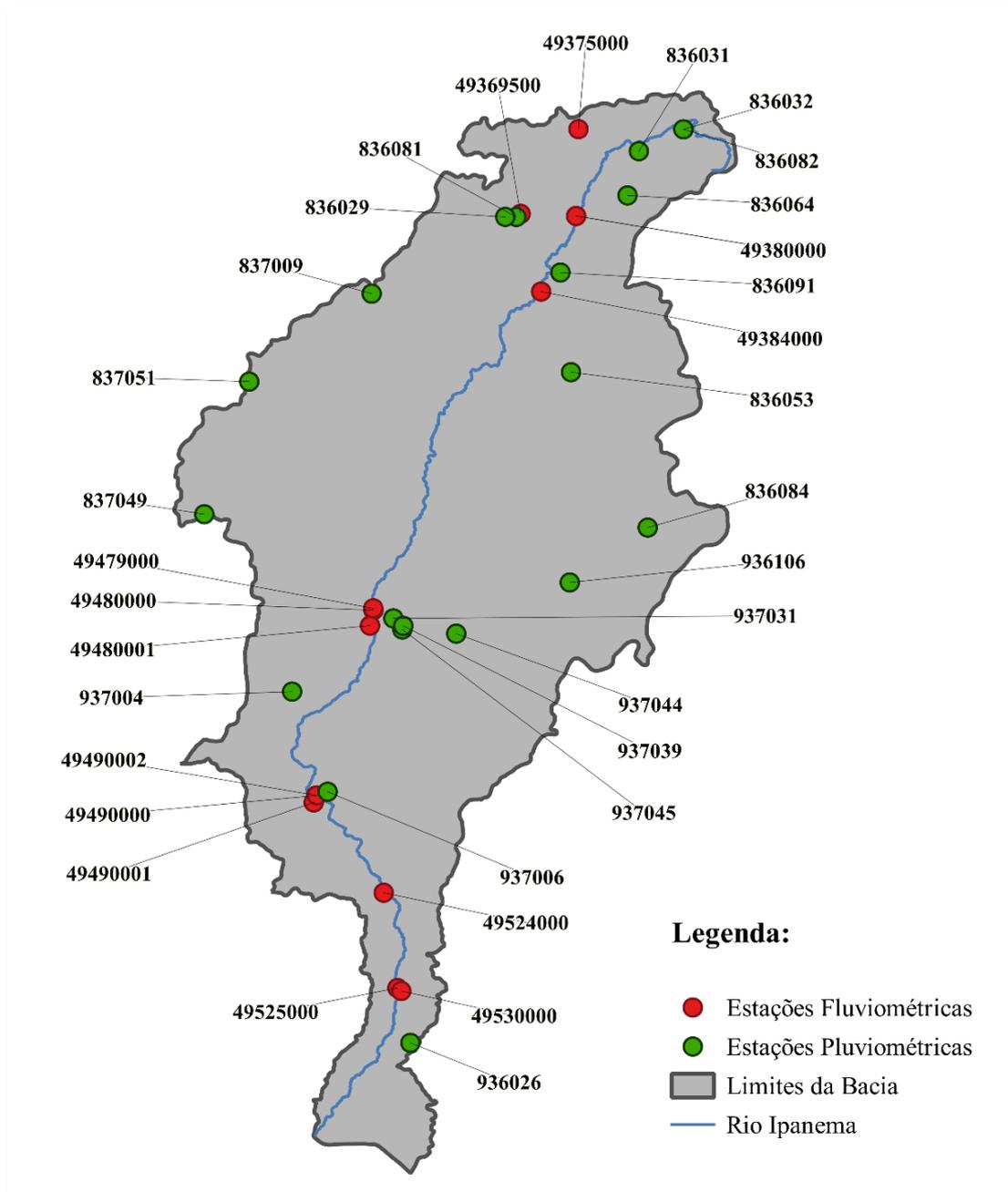
$$Eps = \frac{1}{2 \cdot Dd} \quad (\text{Equação 9})$$

3.4 SÉRIES HISTÓRICAS DE VAZÃO E PRECIPITAÇÃO

Os dados das séries históricas das estações fluviométricas e pluviométricas localizadas na área da bacia do rio Ipanema pertencem a Rede Hidrometeorológica Nacional da Agência

Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e foram adquiridos no Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos (SNIRH), sendo o SNIRH um instrumento de gestão que está previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). As estações fluviométricas e pluviométricas têm a localização na bacia conforme Figura 3.

Figura 3 - Localização das estações na área da bacia do rio Ipanema



Fonte: Autor (2021)

3.4.1 Séries de Vazão

Foram identificadas quinze estações fluviométricas instaladas na área da bacia, destas, apenas duas foram selecionadas por apresentarem séries históricas com maior número de informações (mais de 30 anos), estarem ativas e possuírem medição de vazão. Tendo as treze demais apresentado séries curtas de medição, estarem instaladas em açudes, apenas medirem a qualidade da água, não haver dados ou terem sido extintas (Tabela 2).

Tabela 2 - Estações fluviométricas na bacia do rio Ipanema

Estação	Localização	Município	Intervalo de Medição	Parecer	Motivo do Descarte
49490000	Rio Ipanema	Santana do Ipanema	1977-2021	S	-
49380000	Rio Ipanema	Pedra	2005-2021	D	Série Curta
49384000	Açude Ingazeira	Venturosa	-	D	Açude
49375000	Açude Ipaneminha	Pesqueira	-	D	Açude
49525000	Rio Ipanema	Batalha	2015-2021	D	Série Curta
49480000	Rio Ipanema	Águas Belas	1977-2021	S	-
49530000	-	Batalha	-	D	Extinta
49480001	-	Águas Belas	-	D	Extinta
49490001	-	Santana do Ipanema	-	D	Extinta
49380000	Rio Ipanema	Pedra – Horizonte Alegre	2004-2021	D	Série Curta
49369500	Açude Mororó	Pedra	-	D	Açude
49479000	Rio Ipanema	Águas Belas	-	D	Qualidade
49480050	Rio Ipanema	Águas Belas	-	D	Sem Dados
49490002	Rio Ipanema	Santana do Ipanema	-	D	Qualidade
49524000	Rio Ipanema	Oliveira	-	D	Qualidade

Legenda: **S:** Selecionada; **D:** Descartada

Fonte: Autor (2021).

As estações de série curtas foram descartadas pois, se agregadas às análises, poderiam aumentar o nível de incerteza dos resultados.

3.4.2 Séries de Precipitação

Os dados das séries históricas das estações pluviométricas localizadas na área da bacia do rio Ipanema foram baixados no banco de dados da ANA e INMET. Das vinte e uma estações identificadas, selecionou-se apenas uma por apresentar série histórica com mesmo intervalo das estações pluviométricas selecionadas anteriormente, e estarem ativas ou com dados disponíveis. Tendo nove delas apresentado séries com extinção antes de 2021 e onze sem disponibilidade de dados (Tabela 3).

Tabela 3 - Estações pluviométricas na bacia do rio Ipanema

Estação	Município	Intervalo de Medição	Parecer	Motivo do Descarte
00836032	Pesqueira	1920-1989	D	Extinta
00836082	Pesqueira	-	D	Sem Dados
00836031	Pesqueira	1975-1985	D	Extinta
00836064	Alagoinha	-	D	Sem Dados
00836081	Pedra	-	D	Sem Dados
00836029	Pedra	1920-1992	D	Extinta
00836091	Venturosa	-	D	Sem Dados
00837009	Buíque	1920-1992	D	Extinta
00836053	Pedra	1934-1994	D	Extinta
00837051	Tupanatinga	-	D	Sem Dados
00836084	Saloá	-	D	Sem Dados
00837049	Itaíba	-	D	Sem Dados
00936106	Iati	-	D	Sem Dados
00937044	Águas Belas	2013-2021	D	Sem Dados
00937031	Águas Belas	1977-2021	S	-
00937045	Águas Belas	2013-2021	D	Sem Dados
00937039	Águas Belas	-	D	Sem Dados
00937004	Poço das Trincheiras	1920-1989	D	Extinta
00937006	Santana do Ipanema	1912-2000	D	Extinta
00936026	Batalha	1912-2001	D	Extinta
00082892*	Pesqueira	1977-2015	D	Extinta

Legenda: **S:** Seleccionada; **D:** Descartada

*Estação do INMET

Fonte: Autor (2021).

3.5 MÉTODO DE IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE TENDÊNCIAS

Para o preenchimento de falhas das séries históricas adotou-se como método a regressão linear simples, conforme Equação 10. Para as estações fluviométricas, correlacionando as duas estações disponíveis e para as estações pluviométricas não foi possível realizar o procedimento por haver apenas um posto de medição disponível para o estudo. Realizou-se um preenchimento mensal (BERTONI E TUCCI, 2001). Adotou-se um coeficiente de determinação (r^2) maior que 0,70 e pelo menos 8 pares de eventos, para aceitação das equações de regressão.

Para a verificação da tendência, magnitude e ponto de mudança hidrológica das séries temporais foram utilizados, respectivamente, regressão linear simples (Equação 10) e Mann-Kendall (Equações 11 a 13), San Slope (Equação 14 e 15) e Pettitt (Equação 16 a 20), todos os métodos implementados no programa Excel®. Foram aplicados nos testes um nível de significância (α) de 5% (confiança de 95%).

3.5.1 Regressão Linear Simples (RSL)

A Regressão Linear Simples pode ser entendida como uma técnica de investigação e modelagem da relação entre variáveis. Na RLS admite-se que exista uma função que explica, em termos médios, a correlação entre as variáveis investigadas (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Neste sentido empregou-se a Equação 10 na estimativa:

$$Y = a + bX \quad (\text{Equação 10})$$

Em que, “Y” é a variável dependente, “X” a variável independente e “a” e “b” são os coeficientes do modelo, estimados através da correlação entre os dados da amostra. Para verificar a parcela de variabilidade amostral adota-se como o parâmetro o Coeficiente de Determinação (r^2), que é dado pela relação entre a soma dos quadrados devidos à regressão e a soma total dos quadrados. Sendo um valor sempre positivo entre 0 e 1 ($0 \leq r^2 \leq 1$), que quanto mais próximo a 1, mais forte a correlação entre as variáveis.

3.5.2 Teste de Mann-Kendall (MK)

Para avaliar as tendências das séries históricas aplicou-se o método estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall (MK). Segundo Almeida *et al.* (2019, pág. 92) “o método considera que [...] a sucessão de valores ocorre de forma independente e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória).”, assim, é possível analisar a tendência de cada dado com relação aos seus antecessores de forma independente.

O teste de MK gera uma estatística Z que permite avaliar a ocorrência de uma tendência crescente ($Z > 0$), decrescente ($Z < 0$) ou se não há uma tendência ($Z = 0$), uma vez estabelecido um nível de significância (α) (ALMEIDA *et al.*, 2019; PENEREIRO; ORLANDO, 2013; SANTOS, 2016).

O valor da estatística “S” do teste MK foi calculado através da Equação 11:

$$S = \sum_{j=i+1}^n (R_j - R_i) \quad (\text{Equação 11})$$

Em que, “ R_j ” e “ R_i ” exprimem a ordem relativa de cada valor da série temporal, sendo atribuído um valor “0” se a diferença for nula, “1” se positiva e “-1” se negativa. A variância da série ($Var(S)$) representa a dispersão estatística e é dada pela Equação 12:

$$Var(S) = \frac{n \cdot (n - 1) \cdot (2n + 5)}{18} \quad (\text{Equação 12})$$

Onde, “ n ” é o número de amostras. A estatística Z é calculada pela Equação 13:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{Var(S)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{Var(S)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (\text{Equação 13})$$

3.5.3 Curvatura de Sen (*Sen's Slope*) (SS)

A curvatura de Sen (*Sen's Slope* - SS) trata-se também de um teste não-paramétrico, que permite determinar a magnitude da tendência de uma série temporal. Nele, calculam-se as curvaturas dos pares de valores da série histórica, não sendo sensível a *outliers* e dados ausentes (SANTOS, 2016; SILVA et al., 2015). Sendo calculado pela Equação 14:

$$S_e = \frac{X_j - X_i}{j - i}, \text{ com } j > i \quad (\text{Equação 14})$$

Em que, “ i ” e “ j ” são os pares de anos da série e “ X_i ” e “ X_j ” os valores de vazões para estes anos, respectivamente. A magnitude pode ser calculada pela mediana dos valores de curvatura de Sen (S_e) (Equação 15).

$$SS = \text{mediana} \left(\frac{X_j - X_i}{j - i} \right) \quad (\text{Equação 15})$$

3.5.4 Teste de Homogeneidade de Pettitt (PTT)

O teste de homogeneidade de Pettitt (PTT) é um teste não paramétrico que possibilita avaliar o ponto de descontinuidade (ponto de inflexão) numa série histórica de dados, ou seja, ele permite indicar em que ponto da série houve uma variação com tendência significativa nas medições ente dois intervalos de tempo. A estatística de teste $U_{t,N}$ pode ser calculada com as Equações 16 e 17.

$$U_{t,N} = U_{t-1,N} + \sum_{j=1}^N \text{sgn}(x_t - x_j), \text{ para } t = 2, 3, \dots, N \quad (\text{Equação 16})$$

Onde, “t” corresponde aos anos do período da série, “N” é o tamanho da amostra de dados e em que:

$$\text{sgn}(x_t - x_j) = \begin{cases} 1, \text{ se } x > 0 \\ 0, \text{ se } x = 0 \\ -1, \text{ se } x < 0 \end{cases} \quad (\text{Equação 17})$$

Segundo Uliana *et al.* (2015), “a estatística conta o número de vezes que o valor da primeira amostra excede o valor da segunda amostra.”, sendo o valor $k(t)$ o correspondente ao ponto de mudança t significativo no qual o valor $|U_{t,N}|$ é máximo, associado a um nível de significância (P) estabelecido, calculados pelas Equações 18 e 19.

$$k(t) = \text{máx}_{1 \leq t \leq N} |U_{t,N}| \quad (\text{Equação 18})$$

$$P = 2 \cdot e^{-\frac{6 \cdot (K_N)^2}{N^3 + N^2}} \quad (\text{Equação 19})$$

Sendo “ KN ” o valor correspondente ao ano do *ponto de inflexão*. Os valores críticos correspondentes ao nível de significância podem ser calculados pela Equação 20.

$$K_{crit.} = \pm \sqrt{\frac{-\ln\left(\frac{P}{2}\right) \cdot (N^3 + N^2)}{6}} \quad (\text{Equação 20})$$

Onde, “p” é o nível de significância (α) estabelecido.

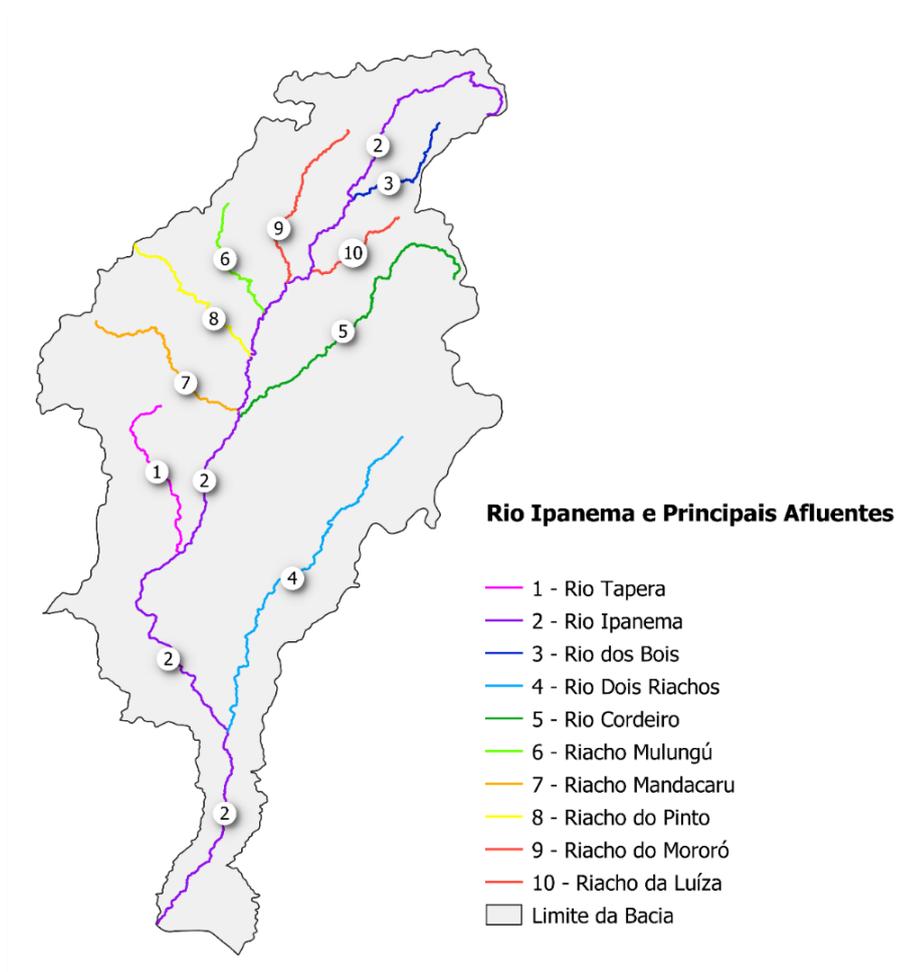
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

4.1.1 Hidrografia

Com aproximadamente 175 km de extensão da nascente à foz, na direção norte-sul dos estados de PE a AL, até o Rio São Francisco, o Rio Ipanema tem como principais afluentes o Riacho do Mororó, Riacho do Mulungú, Riacho do Pinto, Riacho Mandacaru, Rio Tapera, Rio dos Bois, Riacho da Luíza, Rio Dois Riachos e Rio Cordeiro, sendo este último o principal tributário, cuja nascente localiza-se no município de Venturosa (APAC, 2021) (Figura 4).

Figura 4 - Rio principal e principais contribuintes da bacia do rio Ipanema-PE

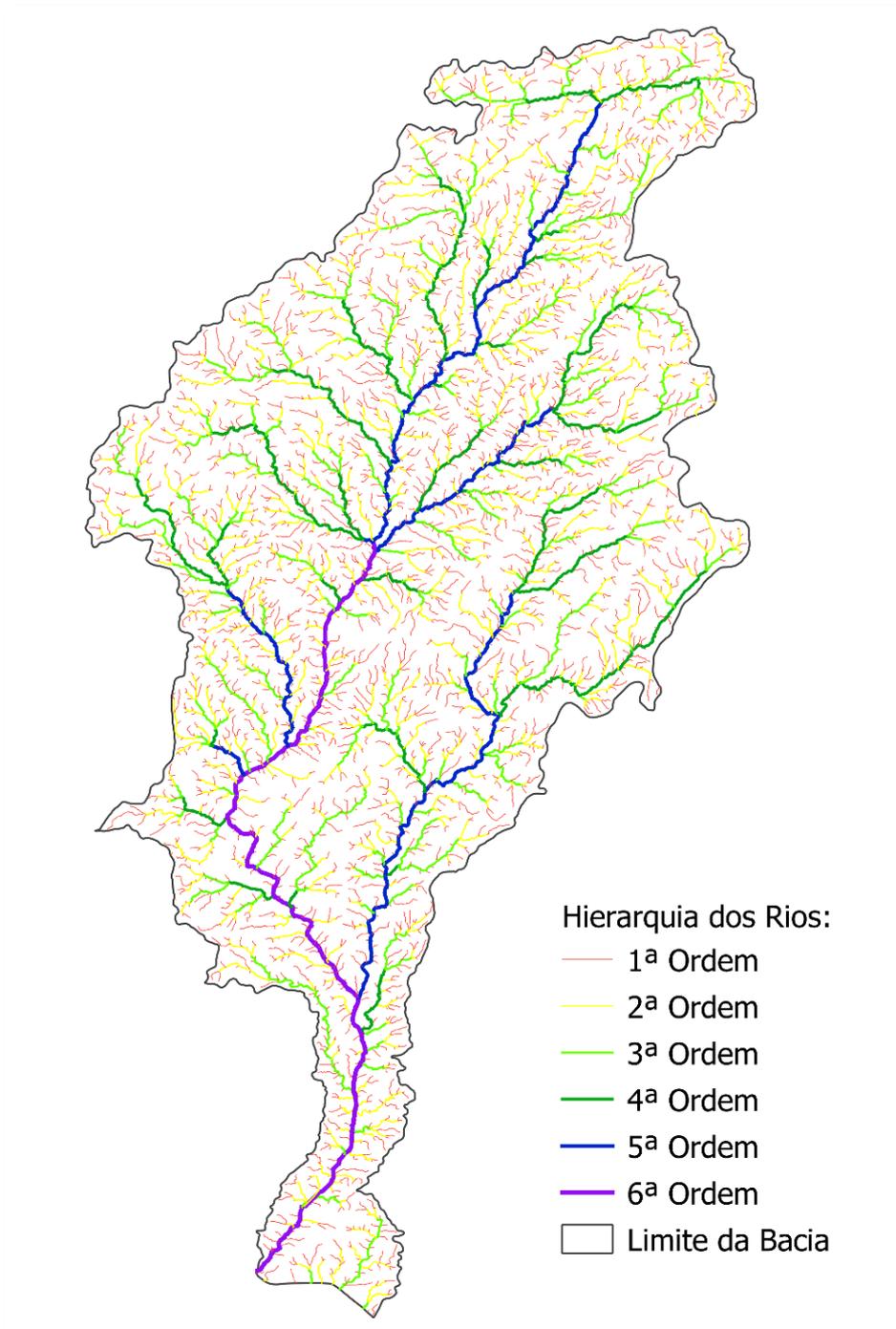


Fonte: Autor (2021).

4.1.2 Hierarquização dos Canais de Drenagem

De acordo com a hierarquização realizada pelo método de Strahler, a bacia do rio Ipanema pode ser classificada como de 6ª ordem (Figura 5).

Figura 5 - Hierarquização Strahler dos canais de drenagens da bacia do rio Ipanema-PE



Fonte: Autor (2021).

Nota-se, descritivamente, um extenso domínio dos rios de primeira e segunda ordem, ramificados. Somados, todas as ordens dos canais apresentam cerca de 7.095 km. Os comprimentos médios dos canais variam de 0,82 a 1,10 km (Tabela 4).

Tabela 4 - Hierarquização da bacia do rio Ipanema

Ordem dos Canais	Qtd. Canais	Comprimento total (km)	Comprimento Médio (km)	Relação de Bifurcação (Rb)
1 ^a	3234	3559,42	1,10	-
2 ^a	1477	1776,73	1,20	2,19
3 ^a	801	905,83	1,13	1,84
4 ^a	468	468,78	1,00	1,71
5 ^a	276	245,48	0,89	1,70
6 ^a	1	138,67	0,82	276,00

Fonte: Autor (2021).

Uma caracterização realizada por Silva Neto *et al.* (2019) para a bacia determinaram uma hierarquia fluvial de 7^a ordem (Strahler), concluindo que a bacia se mostra ramificada e com tendência a ter uma rede de drenagem elevada, dendrítica e arborescente. Em contrapartida, Silva *et al.* (2017) num estudo da geomorfologia e morfoestrutura regional da bacia, classificou a drenagem em 5^a ordem, com presença de terrenos mais permeáveis nas baixas densidades e maior suscetibilidade geomorfológica nas altas densidades de drenagem.

A divergência da ordem de hierarquia encontrada pelos autores *versus* a desta pesquisa pode ser explicada pela alteração da escala cartográfica trabalhada ou pela consideração da densidade de canais. Segundo Ribeiro (2007) quanto maior a escala, maior o nível de detalhamento e quantidade de córregos.

No entanto, a divergência da ordem não alterou as aferições das características da bacia como um todo. Pela classificação de Strahler e da densidade de drenagem é possível avaliar o grau de transporte de sedimentos e ação fluvial no relevo, uma vez que a alta densidade hidrográfica indica maior suscetibilidade a ação fluvial (RIBEIRO, 2007). Estas qualidades serão melhor discutidas na caracterização morfométrica, a seguir, onde foi possível fazer o cruzamento de mais de um parâmetro para explicar as tendências geomorfométricas da bacia.

4.1.3 Morfometria

A análise morfométrica permitiu avaliar a estrutura das bacias em função dos índices e parâmetros de sua rede de drenagem e os resultados dos parâmetros são apresentados na Tabela 5 e discutidos a sequência.

Tabela 5 – Resultados dos parâmetros morfométricos da bacia do rio Ipanema

Análise Linear		
Comprimento Total dos Canais (Lt)	7094,91	km
Ordem da Bacia	6 ^a	ordem
Número de Canais (N)	6257	unid
Largura média da bacia (B)	42,15	km
Relação ponderada de bifurcação (Rpb)	15,09	-
Comprimento do rio Principal (L)	226,69	km
Perímetro (P)	565,97	km
Análise de Área		
Área da Bacia (A)	6534,77	km ²
Fator de Forma (FF)	0,19	-
Índice de Circularidade (IC)	0,26	-
Índice de Compacidade (Kc)	1,96	-
Densidade de Drenagem (Dd)	1,09	km/km ²
Coeficiente de Manutenção (Cm)	900	m ² /m
Densidade Hidrográfica (Dh)	0,96	canais/km ²
Extensão do Percurso Superficial (Eps)	0,46	km

Fonte: Autor (2021).

Os resultados encontrados mostram que, devido seu baixo FF (0,19) e alto Kc de 1,96, a bacia do rio Ipanema não está sujeita a enchentes de grande magnitude. O baixo IC (0,26) corrobora com o aspecto visual de uma bacia com característica alongada, contribuindo com o escoamento superficial. Dos aspectos de deflúvio, apresenta uma Dd (1,09) regular e baixa Dh (0,98), que segundo De-Carvalho e Henry-Silva (2020), indica um baixo potencial de contribuição hídrica superficial.

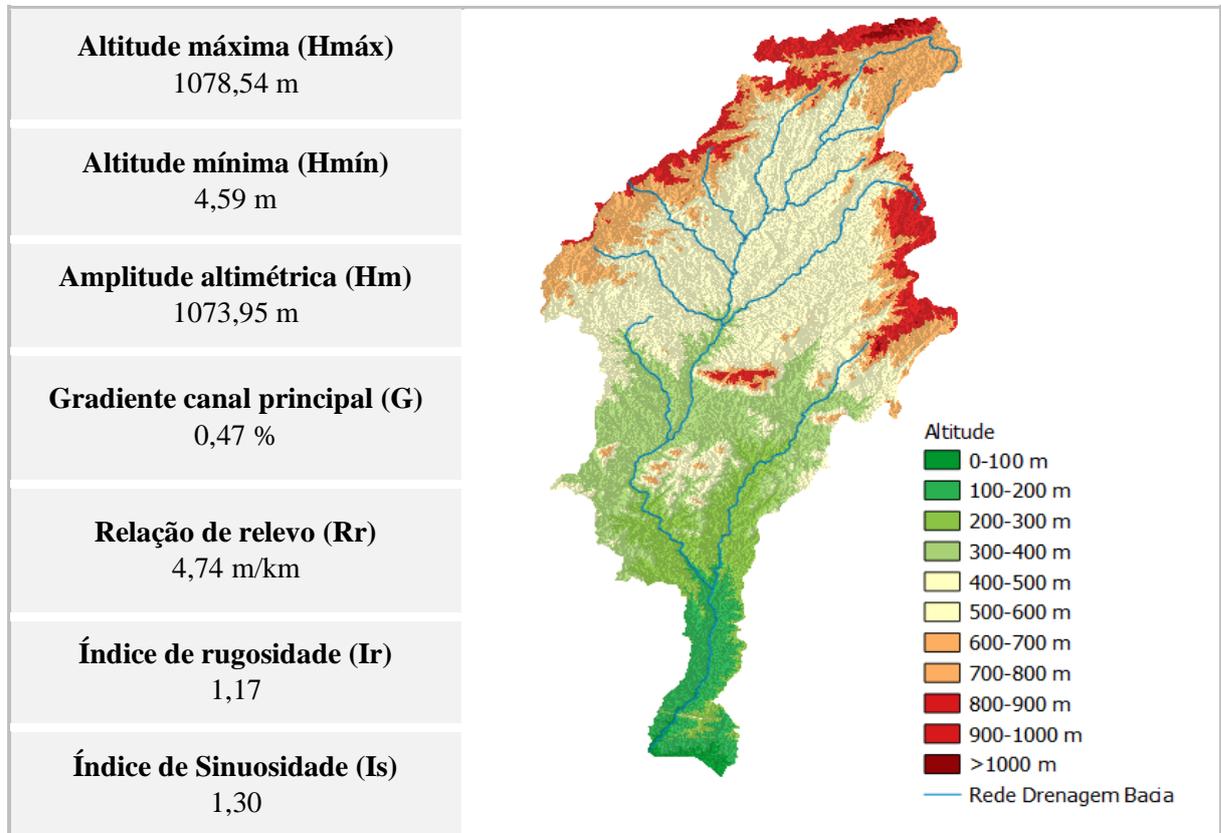
A Eps de 460 m revela que as águas precipitadas percorrem um longo trajeto até atingir o leito de um curso de água qualquer, o que dificulta o aumento do volume de água nos canais receptores (FEITOSA; SANTOS; ARAÚJO, 2011). Além de necessitar de 900 m² de superfície para a manutenção (Cm) de 1 m de leito de rio.

Silva Neto *et al.* (2019) caracterizou a bacia do rio Ipanema e concluiu que se trata de uma bacia não circular e pouco estreita, não apresentando tendência de ocorrer enchentes, com escoamento bem distribuído por todo o percurso e com alta capacidade de drenagem. Estudos sobre outras bacias do semiárido indicam também pequena tendência a enchentes, dissecação mediana e baixa densidade de drenagem e hidrográfica (DE-CARVALHO; HENRY-SILVA, 2020; LOPES; LEAL; RAMOS, 2018).

4.1.4 Relevo

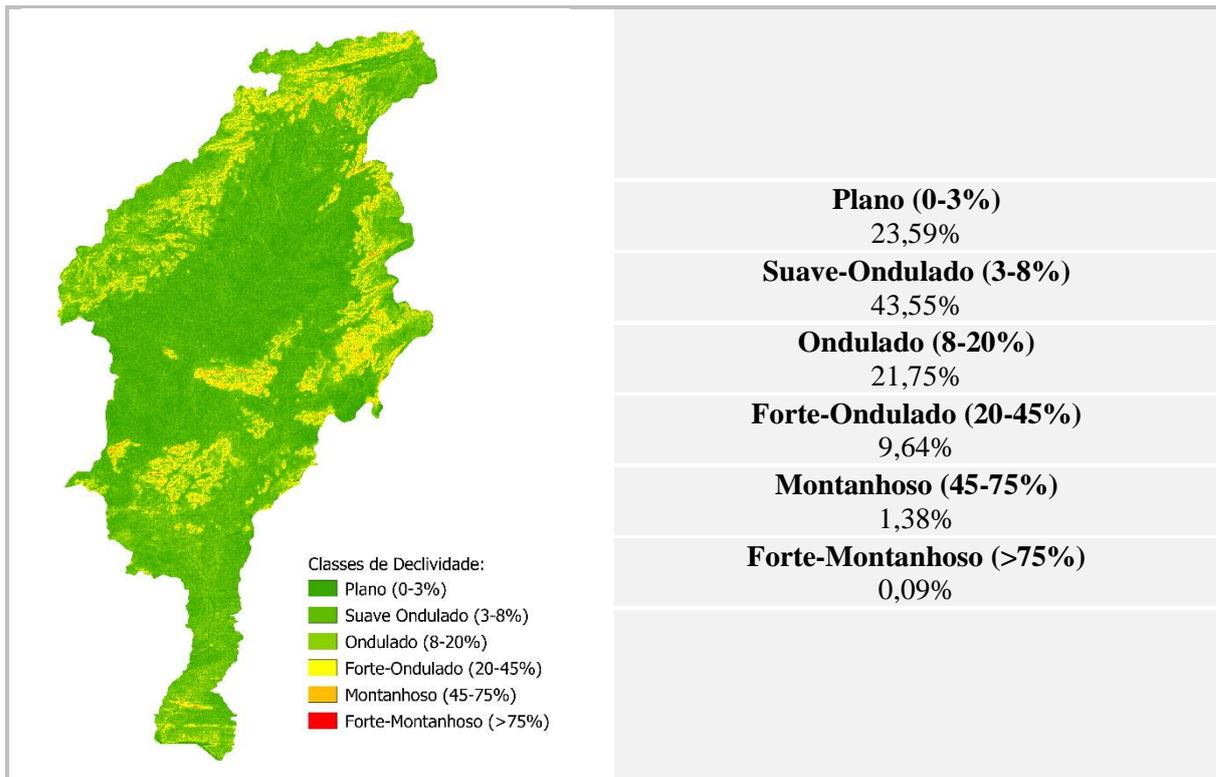
Os parâmetros hipsométricos e o mapa temático com a distribuição das classes de altimetria estabelecidas na reclassificação encontradas na bacia são apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Mapa e parâmetros hipsométricos



Fonte: Autor (2021).

A bacia do rio Ipanema apresenta elevada amplitude altimétrica (1073,95 m), tendo a área altitudes que variam de 4,59 a 1078,54 m. Porém, o gradiente do canal principal mostra um relevo plano, isto ocorre pois as altas altitudes estão concentradas em pontos específicos da bacia como no extremo norte e uma pequena porção montanhosa no centro da bacia, sendo que a maior parte abrange áreas com altitudes entre 200 e 600 m e declividade de plano (0-3%) a ondulado (8-20%), correspondendo a 88,9% de toda a área da bacia, tendo ela baixa suscetibilidade a erosão, características que podem ser melhor observadas no mapa de declividades com a porcentagem de ocorrência das declividades da região (Figura 7)

Figura 7 - Mapa de declividades da bacia do rio Ipanema

Fonte: Autor (2021).

Silva Neto *et al.* (2019) encontrou, para a bacia, relevo plano a suave ondulado (<8%), apesar de sua alta altitude, caracterizando-a como pouco suscetível a erosão por possuir altitude média variando de 250 a 550 m. Enquanto Silva *et al.*, 2017) indica duas porções distintas sobre este parâmetro, sendo para as altas altitudes uma maior vulnerabilidade a erosão com densidade de drenagem variando de 10 a 18 km/km² e as baixas altitudes com menos suscetibilidade a erosão, com densidade de drenagem variando de 0 a 6,98 km/km².

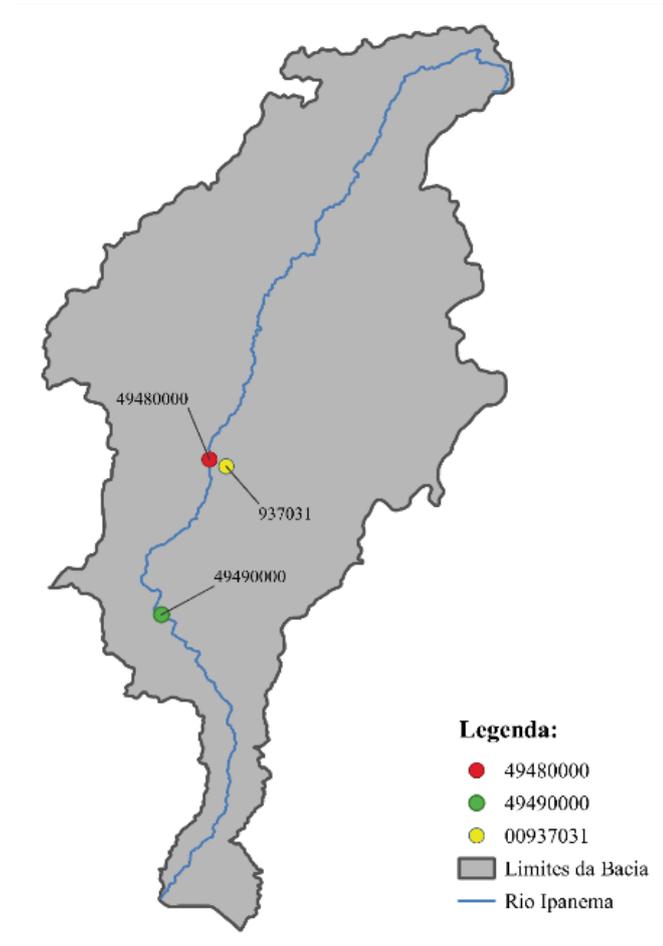
4.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DOS DADOS

A análise exploratória dos dados permitiu determinar os períodos de análise das tendências de vazões e precipitações. Por haver, na série histórica de vazões da estação 49490000, uma grande quantidade de falhas de medições, foi necessário realizar o procedimento de preenchimento de falhas por RLS.

Para as séries históricas de precipitação havia apenas uma estação disponível para análise. Por esta estação conter menor presença de falhas e não haver dados de uma estação próxima (dentro da bacia) que possibilitasse o preenchimento destas falhas, optou-se por trabalhar com os dados sem aplicar o procedimento de preenchimento.

A Figura 8 apresenta a locação, na área da bacia, das estações selecionadas para a realização do estudo.

Figura 8 - Localização das estações selecionadas na área de estudo



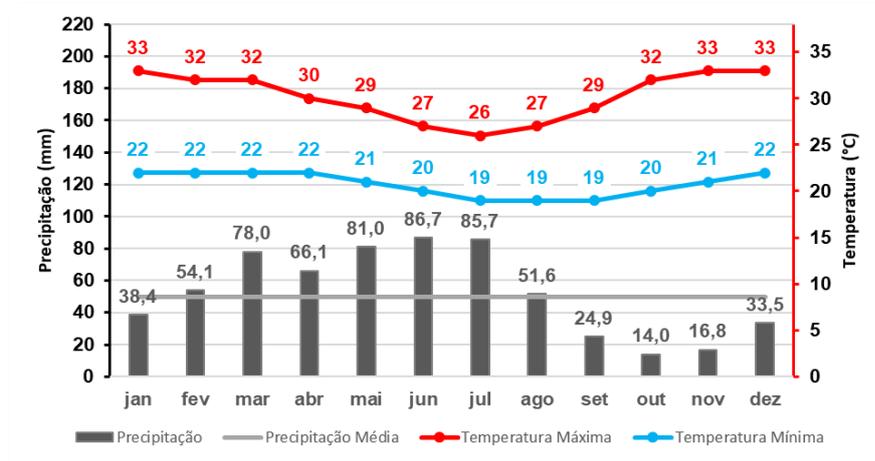
Fonte: Autor (2021)

Observou-se uma escassez de dados e na disponibilidade de estações para realização do estudo, sendo possível utilizar 6,7% de estações pluviométricas e 9,5% de estações fluviométricas. Implicando expor que não há uma rede consolidada de equipamentos de monitoramento da região, o que dificulta o entendimento dos fenômenos, a realização de estudos mais aprofundados e a homogeneidade dos dados entre as estações.

4.2.1 Caracterização do regime de chuvas

Para determinar os períodos de análise de tendência, foi avaliado a frequência de precipitações pela média mensal das séries históricas e temperaturas mínimas e máximas (Figura 9).

Figura 9 - Precipitações médias mensais da série histórica e temperaturas (1977 a 2021)



Fonte: Autor (2021).

Com relação a temperatura, tem-se a temperatura máxima ocorrendo nos meses de novembro a janeiro (33 °C) e mínimas nos meses de julho a setembro (19 °C). Para a precipitação, foi estabelecida a média mensal da série histórica (linha de precipitação média), que corresponde a um valor de 50,0 mm, a linha foi tomada como base para indicar que os meses com precipitações acima possuem característica de chuvosas e os meses abaixo características de serem secos. Assim, o período seco da série histórica considerado foi entre os meses de setembro a janeiro e os meses chuvosos de fevereiro a agosto.

Há grande divergência para esta determinação na literatura, uma vez que as regiões semiáridas apresentam grande variabilidade climática espacial e temporal dos regimes de chuva. Segundo um boletim de clima de 2015 da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2015), para o agreste meridional pernambucano, têm-se compreendido os meses chuvosos como sendo janeiro, fevereiro e abril; normais sendo março e maio; e seco de junho a outubro. A Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA, 2007) indica o período dezembro-abril como chuvoso e maio-novembro como seco para o Agreste de Pernambuco. E um estudo de Pereira *et al.*, (2017) analisando a variabilidade climática no Agreste pernambucano apontam semestre chuvoso compreendido entre fevereiro a julho e seco entre agosto a janeiro, sendo estes intervalos mais próximos ao encontrado no levantamento desta pesquisa.

Devido à grande variabilidade entre os autores citados acima, porém com semelhança ao estudo de Pereira *et al.*, (2017), determinou o período indicado pela estação analisada neste estudo como sendo os períodos seco e chuvoso a serem analisados, pois apresentam uma característica típica de uma estação que pertence a área de estudo.

4.2.2 Falhas nas séries históricas.

A Tabela 6 apresenta a quantidade de falhas mensais por ano para cada uma das estações fluviométricas e pluviométricas selecionadas para o estudo.

Tabela 6 - Quantidades de falhas mensais nas séries históricas das estações

Ano	FLUVIÔMETROS						PLUVIÔMETRO
	49480000			49490000			937031
	Média das médias mensais	Média das mínimas mensais	Média das máximas mensais	Média das médias mensais	Média das mínimas mensais	Média das máximas mensais	Média dos Acumulados Mensais
1977	-	9	9	3	8	8	-
1978	-	-	-	3	-	-	-
1979	-	-	-	4	-	-	-
1980	-	-	-	6	-	-	-
1981	-	2	2	4	1	1	-
1982	-	-	-	6	-	-	1
1983	-	-	-	10	-	-	-
1984	-	-	-	6	-	-	-
1985	-	-	-	3	6	6	-
1986	6	-	-	2	3	3	-
1987	1	2	2	3	3	3	-
1988	-	1	1	3	6	6	1
1989	3	4	4	3	4	4	-
1990	2	-	-	5	4	4	-
1991	-	4	4	11	4	4	-
1992	-	4	4	5	4	4	-
1993	-	-	-	12	2	2	-
1994	-	-	-	4	2	2	-
1995	-	-	-	8	5	5	-
1996	-	-	-	5	3	3	-
1997	-	-	-	3	-	-	-
1998	-	-	-	12	7	7	-
1999	-	-	-	7	12	12	-
2000	-	-	-	-	3	3	-
2001	-	-	-	3	5	5	-
2002	-	-	-	5	8	8	-
2003	-	-	-	2	4	4	-
2004	-	-	-	2	12	12	-
2005	4	-	-	4	5	5	-
2006	4	-	-	4	11	11	2
2007	-	2	2	4	5	5	-
2008	4	3	3	4	3	3	3
2009	1	-	-	6	3	3	-
2010	2	1	1	3	3	3	1
2011	-	6	6	3	2	2	-
2012	-	-	-	6	3	3	-
2013	-	-	-	-	6	6	-
2014	-	-	-	-	10	10	-
2015	-	-	-	-	6	6	-
2016	2	-	-	1	4	4	-
2017	-	-	-	-	6	6	1
2018	-	-	-	-	4	4	-
2019	-	1	1	-	3	3	-
2020	9	4	4	8	4	4	-
Total	38	43	43	183	184	184	9

Fonte: Autor (2021).

Com base neste levantamento e na organização dos dados (Apêndice A e B) foi possível verificar a possibilidade de preenchimento de falhas, o descarte de anos que não apresentavam nenhuma medição mensal e a verificação dos pares de amostras para construção das equações da RLS utilizadas no preenchimento.

Como já citado, pela falta de estações no item anterior, torna-se difícil trabalhar com análise de série hidrológicas quando há poucos dados ou estações de monitoramento, em especial quando são necessários um preenchimento elevado de falhas, aumentando as incertezas na homogeneidade dos dados utilizados (TUCCI; HESPANHOL; CORDEIRO NETTO, 2001). Outras técnicas de preenchimento seriam possíveis, tal qual o da “Curva-Chave”, “Regressão Linear Múltipla”, “Ponderação Regional” com base em regressões lineares, desde que avaliada a melhor aproximação para a realidade de dados disponíveis na região e qual a influência da escolha de uma em detrimento de outra (MELLO, KOHLS E OLIVEIRA, 2017).

4.2.3 Preenchimento de Falhas nas Séries de Vazões

A análise por RLS para o procedimento de preenchimento de falhas resultou nas equações e coeficientes de determinação apresentados na Tabela 7. Os gráficos das RLS podem ser consultados no Apêndice C.

Tabela 7 - Equações da RLS para preenchimento de falhas de vazões

Mês	Vazão Média mensal			Vazão Mínima mensal			Vazão Máxima mensal		
	Equação	r ²	Pontos da Amostra	Equação	r ²	Pontos da Amostra	Equação	r ²	Pontos da Amostra
Jan	y=4,21x-1,60	0,99	12	-	-	-	y=8,90x-57,10	0,98	9
Fev	y=2,71x-1,99	0,99	14	-	-	3	y=7,41x-114,80	0,71	13
Mar	y=2,79x-3,69	0,97	21	y=1,81x-0,03	0,63	8	y=2,42x-4,63	0,90	21
Abr	y=2,10x+1,35	0,96	21	y=1,46x+0,74	0,96	9	y=3,02x-11,73 ³	0,74	19
Mai	y=1,52x+3,09	0,74	20	y=1,17x+1,23	0,93	8	y=0,74x+3,02	0,96	14
Jun	y=0,37x+1,53	0,76	21	y=1,50x+0,01	0,98	12	y=2,07x-0,65 ⁴	0,82	17
Jul	y=2,20x-2,25	0,92	22	y=2,00x-0,01	0,91	16	y=2,37x-11,03	0,98	22
Ago	y=0,91x-0,88 ¹	0,83	21	y=0,21x+1,10 ¹	0,70	13	y=1,10x+2,09 ⁴	0,71	22
Set	y=0,49x+0,67 ²	0,81	8	-	-	-	y=1,29x+0,64 ⁴	0,71	13
Out	-	-	3	-	-	-	-	-	5
Nov	-	-	4	-	-	-	-	-	4
Dez	-	-	5	-	-	-	-	-	6

1) Três pontos foram considerados *outliers*, excluindo-os da análise para se atingir a correlação mínima da regressão.

2) Nove pontos foram considerados *outliers*, excluindo-os da análise para se atingir a correlação mínima da regressão.

3) Um ponto foi considerado outlier, excluindo-o da análise para se atingir a correlação mínima da regressão.

4) Dois pontos foram considerados *outliers*, excluindo-os da análise para se atingir a correlação mínima da regressão.

Valores em Vermelho: Correlação abaixo do mínimo desejável ou com menos de 8 duplas de eventos possíveis para a RLS.

Fonte: Autor (2021).

Não foram utilizados valores nulos para as duplas de eventos pois estes valores condicionavam a regressão à coeficientes de determinação abaixo do mínimo estabelecido para a aceitação da equação linear. Como determinado no método proposto, apenas aceitou-se RLS

com pelo menos 8 duplas de eventos e coeficiente de determinação (r^2) maior ou igual a 0,70 (alta correlação).

Para as vazões médias mensais e máximas mensais não foi possível realizar o preenchimento de falhas para os meses de outubro, novembro e dezembro pois apresentavam menos que 8 duplas de eventos.

Nas vazões mínimas mensais somente foi realizada RLS para os meses chuvosos, pois os meses secos apresentam valor nulo em quase sua totalidade. Ainda, não foi realizado preenchimento de vazões para os meses de fevereiro e março pois o primeiro apresentava apenas 3 duplas de eventos possíveis e o segundo apresentou coeficiente de determinação menor que 0,70. As séries de dados preenchidos podem ser consultadas no Apêndice D.

4.3 TENDÊNCIA NA SÉRIE DE PRECIPITAÇÃO

Os resultados dos testes de tendência por RLS, MK, SS e PTT nas séries históricas para as precipitações (SP) acumuladas para os períodos seco (PS), chuvoso (PC) e médias mensais ($M_{\text{édM}}$) são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados das tendências de precipitação da estação 00937031

Regressão Linear						
Séries Históricas	Coefficiente Angular (α)	r^2	p-valor ¹	Variação na série (DP)		
Período Chuvoso (Méd)	-0,60	0,08	0,07	71,81		
Período Seco (Méd)	-0,36	0,07	0,09	56,15		
Precipitação Méd. ($M_{\text{édM}}$)	-0,45	0,08	0,06	56,15		
Mann-Kendall			Curvatura de Sen			
Séries Históricas	Z	p-Valor ¹	Significância Estatística	Sen's Slope (mm/ano)		
Período Chuvoso (Méd)	-1,64	>0,05	NS-	-0,59		
Período Seco (Méd)	-2,01	<0,05	S-	-0,35		
Precipitação Méd. ($M_{\text{édM}}$)	-1,98	<0,05	S-	-0,50		
Teste de Pettitt						
Séries Históricas	K	p-Valor ¹	Significância Estatística	Ano Hidrológico do Ponto de Mudança	M1	M2
Período Chuvoso (Méd)	249	0,03	S-	1997-1998	82,49	61,31
Período Seco (Méd)	150	0,42	NS	-	-	-
Precipitação Méd. ($M_{\text{édM}}$)	261	0,02	S-	1997-1998	59,77	45,11

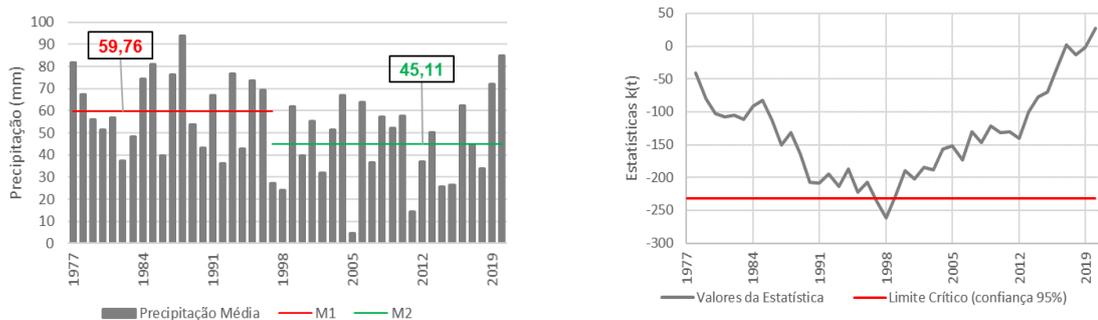
Legenda: Itens em vermelho: Séries históricas que apresentam tendência negativa com significância estatística. Intervalo de confiança: 95% ($\alpha=0,05$); S-: Tendência significativa negativa (decrecente); NS: Não apresenta significância estatística; M1: Média anterior ao ponto de mudança; M2: Média posterior ao ponto de mudança; DP: Desvio Padrão da série histórica.

¹ Para ter significância estatística os testes devem apresentar p-valor < α ;

Fonte: Autor (2021).

O teste de PTT apresentou tendência significativa para o PC ($p\text{-valor} = 0,03$) e para a SP da $M_{\text{édM}}$ ($p\text{-valor} = 0,02$), tendo ambos tendência de queda, além disso apresentaram ponto de mudança entre os anos 1997-1998 (Figura 10.a e Figura 11.a), apresentando uma redução de 25,6% (média de 82,49 mm de 1977-1997 para 61,31 mm de 1997-2021); e para a segunda de 24,5% (média de 59,77 mm de 1977-1997 para 45,11 mm de 1997-2021) (Figura 10.b e Figura 11.b).

Figura 10 - Gráficos do teste PTT para SP das $M_{\text{édM}}$ da estação 00937031



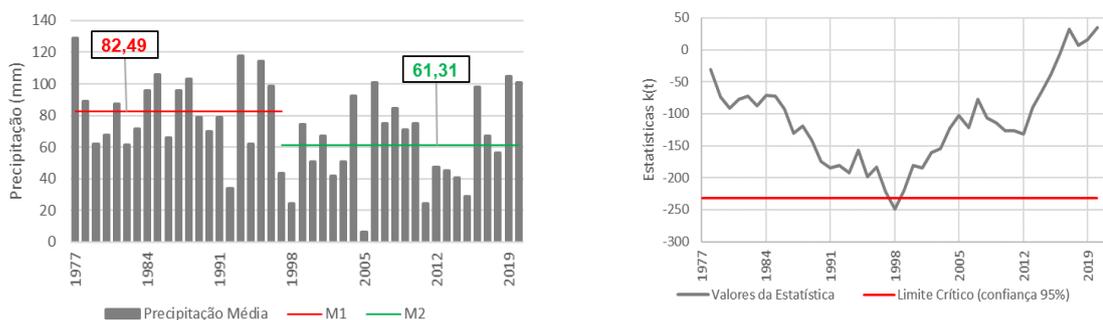
a) Série histórica com médias dos períodos dividida pelo ponto de mudança

b) Valores das estatísticas $k(t)$ do teste de Pettitt com limite crítico do intervalo de confiança

Legenda: M1: Média anterior ao ponto de mudança; M2: Média posterior ao ponto de mudança

Fonte: Autor (2021).

Figura 11 - Gráficos do teste PTT para SP do PC da estação 00937031



a) Série histórica com médias dos períodos dividida pelo ponto de mudança

b) Valores das estatísticas $k(t)$ do teste de Pettitt com limite crítico do intervalo de confiança

Legenda: M1: Média anterior ao ponto de mudança; M2: Média posterior ao ponto de mudança

Fonte: Autor (2021)

4.3.1 Discussão das Tendências nas Séries de Precipitação

Os resultados indicaram que as SP médias do PS, PC e $M_{\text{édM}}$ apresentaram tendência de redução com o avanço do tempo, com especial mudança nos anos de 1997/1998. Apesar de

algumas serem significativas somente para alguns dos testes aplicados, observa-se uma tendência na redução de chuvas para a área estudada com o avanço do tempo.

Um estudo de Pereira (2017), que classificou os padrões da variabilidade climática no Agreste de Pernambuco, indica para o ano de 1998 um Índice de Anomalia de Chuva (IAC) negativo, estando entre um dos anos mais secos do período estudado. Os autores identificaram 11 documentos oficiais decretando estado de emergência ocasionado pela estiagem e indicam a atuação do *El Niño*, com forte intensidade ocorridas no período, como principal responsável pela redução das precipitações neste ano.

Também corrobora com esta afirmação um estudo realizado por Rodrigues *et al.* (2017), que indicou, no seus estudos sobre a influência do El Niño e *La Niña* no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco, uma intensidade “muito forte” do *El Niño* para o biênio 1997/1998 com precipitação anual de apenas 219,00 mm.

O semiárido nordestino, em virtude de sua variabilidade espaço-temporal de precipitações, irregulares e concentradas em poucos meses é caracterizada com alto potencial de evaporação da água, temperaturas elevadas e da baixa umidade do ar (ASSIS; SOUZA; SOBRAL, 2015). Desta forma, influenciando na disponibilidade hídricas de rios na região, estas alterações podem ser um indício das tendências das vazões que serão analisadas a seguir.

4.4 TENDÊNCIA NAS SÉRIES DE VAZÕES

Os resultados dos testes de tendência por RLS, MK, SS e PTT nas SQ das vazões máximas ($Q_{Máx}$), vazões mínimas ($Q_{Mín}$) e vazões médias ($Q_{Méd}$) dos PS, PC e $M_{édM}$ são apresentados na Tabela 10 para a estação 49490000.

Pela a análise da reta de RLS para a estação 4949000, observou-se uma tendência significativa negativa para o período chuvoso da série histórica de vazões, o seu coeficiente de determinação ($r^2=0,0996$) indica que aproximadamente 10% das variações das $Q_{máx}$ do PC estão em redução e relacionadas com o avanço do tempo. Para os demais períodos não houveram tendências significâncias.

Para o teste de MK, com exceção das $Q_{méd}$ do PS, todos os outros períodos apresentaram tendência significativa de redução, tendo as $Q_{mín}$ do PC apresentado a maior significância ($p\text{-valor}=0,002$) e as $Q_{máx}$ do PS a menor significância ($p\text{-valor}=0,01$). O teste de SS determinou a maior magnitude de redução para as $Q_{máx}$ do PC (0,37 m³/s.ano) e a menor magnitude de redução para as $Q_{mín}$ do PC (0,02 m³/s.ano).

Tabela 9 - Resultados das análises de tendência de vazões da estação 49490000

Regressão Linear						
Séries Históricas	Coefficiente Angular (a)	r ²	p-valor ¹	Variação na série (DP)		
Período Chuvoso (Máx)	-1,98	0,10	0,04	80,58		
Período Chuvoso (Méd)	-0,29	0,07	0,07	13,77		
Período Chuvoso (Mín)	-0,06	0,07	0,09	2,82		
Período Seco (Máx)	-0,02	0,00	0,97	42,43		
Período Seco (Méd)	0,01	0,00	0,93	5,51		
Vazões Máx. (M _{édM})	-0,99	0,06	0,12	53,45		
Vazões Méd. (M _{édM})	-0,21	0,08	0,07	9,67		
Mann-Kendall			Curvatura de Sem			
Séries Históricas	Z	p-Valor ¹	Significância Estatística	Sen's Slope (m ³ /s.ano)		
Período Chuvoso (Máx)	-2,72	<0,05	S-	-0,37		
Período Chuvoso (Méd)	-2,47	<0,05	S-	-0,07		
Período Chuvoso (Mín)	-2,86	<0,05	S-	-0,02		
Período Seco (Máx)	-2,39	<0,05	S-	-0,10		
Período Seco (Méd)	-1,91	>0,05	NS	-0,01		
Vazões Máx. (M _{édM})	-2,64	<0,05	S-	-0,29		
Vazões Méd. (M _{édM})	-2,65	<0,05	S-	-0,06		
Teste de Pettitt						
Séries Históricas	K	p-Valor ¹	Significância Estatística	Ano Hidrológico do Ponto de Mudança	M1	M2
Período Chuvoso (Máx)	248	0,03	S-	2012-2013	73,71	11,35
Período Chuvoso (Méd)	224	0,06	NS	-	-	-
Período Chuvoso (Mín)	212	0,09	NS	-	-	-
Período Seco (Máx)	197	0,14	NS	-	-	-
Período Seco (Méd)	188	0,18	NS	-	-	-
Vazões Máx. (M _{édM})	246	0,03	S-	2012-2013	45,80	7,52
Vazões Méd. (M _{édM})	224	0,06	NS	-	-	-

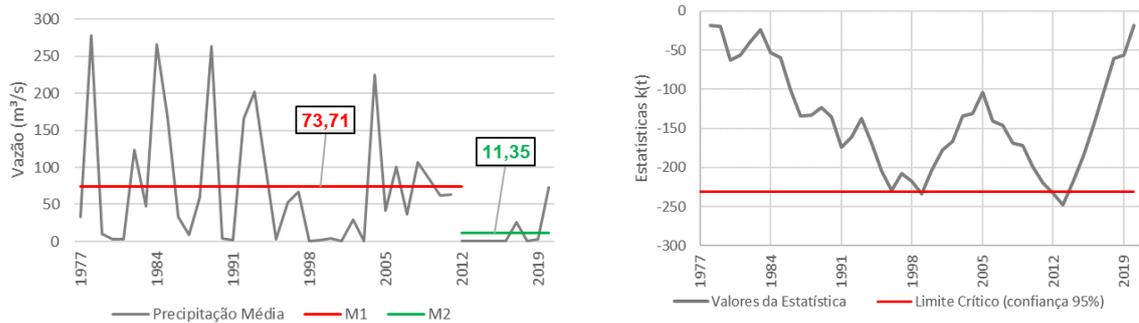
Legenda: Itens em vermelho: Séries históricas que apresentam tendência negativa com significância estatística. Intervalo de confiança: 95% ($\alpha=0,05$); **S-**: Tendência significativa negativa (decrecente); **NS**: Não apresenta significância estatística; **M1**: Média anterior ao ponto de mudança; **M2**: Média posterior ao ponto de mudança; **DP**: Desvio Padrão da série histórica.

¹ Para ter significância estatística os testes devem apresentar p-valor $<\alpha$

Fonte: Autor (2021)

O teste de PTT apresentou tendência significativa para as $Q_{máx}$ do PC ($p\text{-valor}=0,03$) e $Q_{máx}$ das $M_{édM}$ ($p\text{-valor}=0,03$), ambas apresentando tendências de redução e indicando o ponto de mudança entre os anos 2012-2013 (Figura 12.a e Figura 13.a) com um decréscimo de 84,6% (média de 73,71 mm de 1977-2012 para 11,35 mm de 2012-2021); e para a segunda de 83,6% (média de 45,80 m³/s de 1977-2012 para 7,52 m³/s de 2012-2021) (Figura 12.b e Figura 13.b).

Figura 12 - Gráficos do teste PTT para $Q_{Máx}$ do PC da estação 49490000



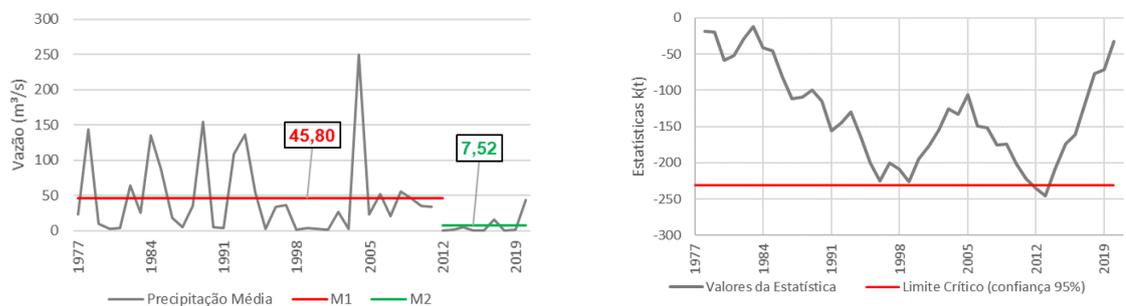
a) Série histórica de vazões dividida pelo ponto de mudança

b) Valores das estatísticas $k(t)$ do teste de Pettitt com limite crítico do intervalo de confiança

Legenda: M1: Média anterior ao ponto de mudança; M2: Média posterior ao ponto de mudança

Fonte: Autor (2021)

Figura 13 - Gráficos do teste PTT para as $Q_{Máx}$ das $M_{édM}$ da estação 49490000



a) Série histórica de vazões dividida pelo ponto de mudança

b) Valores das estatísticas $k(t)$ do teste de Pettitt com limite crítico do intervalo de confiança

Legenda: M1: Média anterior ao ponto de mudança; M2: Média posterior ao ponto de mudança

Fonte: Autor (2021)

A Tabela 10 apresenta os resultados das análises de tendências para a estação 49480000. As análises dos períodos de vazões da estação 49480000 pela reta de RLS não observou tendências significativas de vazões.

No entanto, para o teste de MK as $Q_{méd}$ das $M_{édM}$ e do PC, $Q_{máx}$ do PS e $Q_{mín}$ do PC apresentaram tendência significativa de redução, tendo as $Q_{máx}$ do PS apresentado a maior significância (p -valor=0,001) e as $Q_{méd}$ do PC a menor significância (p -valor=0,02). Com o auxílio do teste de SS determinou-se a maior magnitude de redução para as $Q_{máx}$ do PS (0,12 m^3/s .ano) e a menor magnitude de redução para as $Q_{mín}$ do PC (0,002 m^3/s .ano).

Tabela 10 - Dados das análises de tendência de vazões da estação 49480000

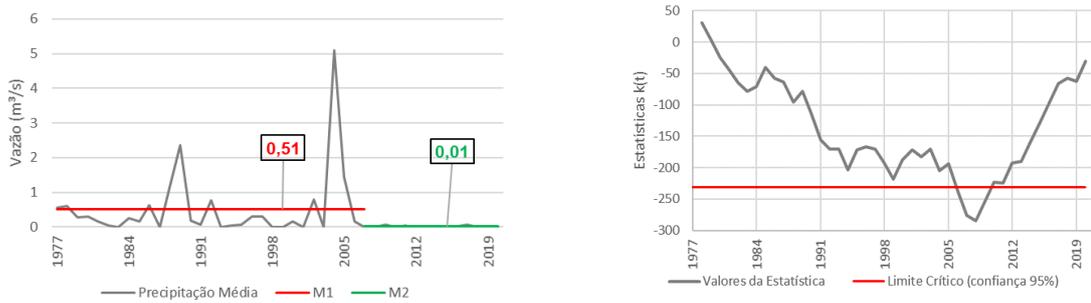
Regressão Linear						
Séries Históricas	Coefficiente Angular (a)	r ²	p-valor ¹	Variação na série (DP)		
Período Chuvoso (Máx)	-0,51	0,05	0,10	30,13		
Período Chuvoso (Méd)	-0,11	0,05	0,16	6,45		
Período Chuvoso (Mín)	-0,03	0,04	0,18	1,79		
Período Seco (Máx)	-0,21	0,02	0,35	18,62		
Período Seco (Méd)	0,01	0,00	0,93	5,51		
Vazões Máx. (M _{édM})	-0,35	0,05	0,15	20,44		
Vazões Méd. (M _{édM})	-0,07	0,05	0,17	4,28		
Mann-Kendall			Curvatura de Sen			
Séries Históricas	Z	p-Valor ¹	Significância Estatística	Sen's Slope (m ³ /s.ano)		
Período Chuvoso (Máx)	-1,67	>0,05	NS	-0,12		
Período Chuvoso (Méd)	-2,09	<0,05	S-	-0,03		
Período Chuvoso (Mín)	-2,71	<0,05	S-	-0,002		
Período Seco (Máx)	-3,18	<0,05	S-	-0,06		
Período Seco (Méd)	-1,91	>0,05	NS	-0,01		
Vazões Máx. (M _{édM})	-1,80	>0,05	NS	-0,11		
Vazões Méd. (M _{édM})	-2,22	<0,05	S-	-0,02		
Teste de Pettitt						
Séries Históricas	K	p-Valor ¹	Significância Estatística	Ano Hidrológico do Ponto de Mudança	M1	M2
Período Chuvoso (Máx)	204	0,11	NS	-	-	-
Período Chuvoso (Méd)	195	0,15	NS	-	-	-
Período Chuvoso (Mín)	202	0,12	NS	-	-	-
Período Seco (Máx)	198	0,13	NS	-	-	-
Período Seco (Méd)	285	0,01	S-	2007-2008	0,51	0,01
Vazões Máx. (M _{édM})	210	0,10	NS	-	-	-
Vazões Méd. (M _{édM})	203	0,12	NS	-	-	-

Legenda: **Itens em vermelho:** Séries históricas que apresentam tendência negativa com significância estatística. Intervalo de confiança: 95% ($\alpha=0,05$); **S-**:Tendência significativa negativa (decrecente); **NS:** Não apresenta significância estatística; **M1:** Média anterior ao ponto de mudança; **M2:** Média posterior ao ponto de mudança; **DP:** Desvio Padrão da série histórica.
¹Para ter significância estatística os testes devem apresentar p-valor < α

Fonte: Autor (2021)

O teste de PTT apresentou tendência significativa apenas para as $Q_{méd}$ do PS (p -valor=0,01), com tendência de redução. Ocorrendo o ponto de mudança entre os anos 2007-2008 (Figura 14.a), com uma redução de 98,0% (média de 0,51 m³/s de 1977-2007 para 0,01 m³/s de 2007-2021) (Figura 14.b).

Figura 14 - Gráficos do teste PTT para as $Q_{Máx}$ do PC da estação 49480000



a) Série histórica de vazões dividida pelo ponto de mudança

b) Valores das estatísticas $k(t)$ do teste de Pettitt com limite crítico do intervalo de confiança

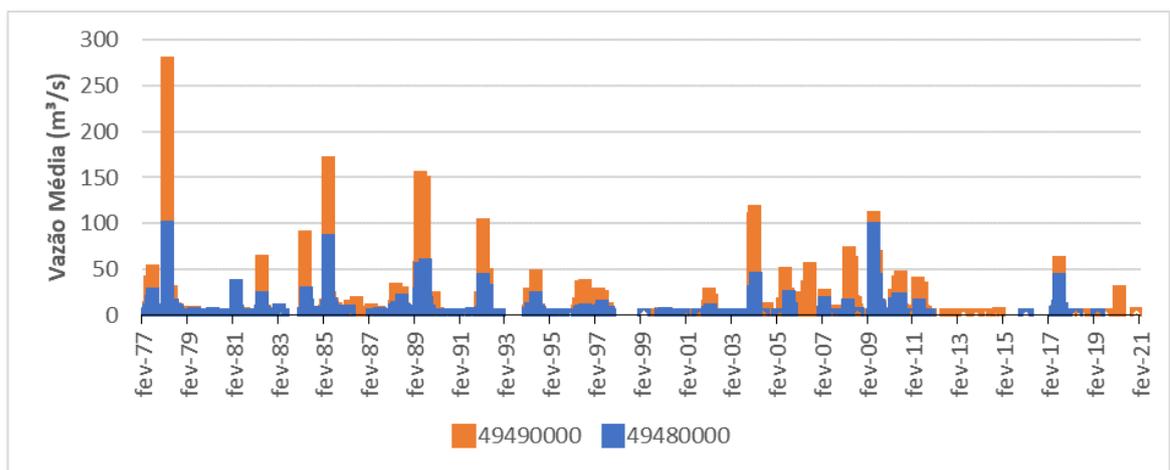
Legenda: **M1:** Média anterior ao ponto de mudança; **M2:** Média posterior ao ponto de mudança

Fonte: Autor (2021)

4.4.1 Discussão das Tendências nas Séries de Vazões

É possível notar que as SQ das estações 49480000 e 49490000 apresentam divergências nas tendências. Isto ocorre pois além de tratar-se de série de dados distintas, a estação 49490000, ao contrário da 49480000, recebe contribuição de vazões do rio Tapera com uma área de drenagem de aproximadamente 600 km², além de estarem distanciadas entre si 35 km, sofrendo influência na variação dos demais processos do ciclo hidrológico (evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial, etc.). É possível perceber que os picos de vazões para as duas estações ocorrem nos mesmos períodos, porém, com magnitudes diferentes devido a diferença da área de drenagem entre as estações (Figura 15) e pela estação 49490000 receber a vazão da 49480000, uma vez que está a jusante da segunda.

Figura 15 - Hidrograma de vazão das estações 49480000 e 49490000 (1977 a 2021)



Fonte: Autor (2021)

O destaque de tendências nas SQ ocorre para as $Q_{\text{máx}}$ do PC da estação 49490000, que apresenta tendência significativa para todos os testes aplicados e com ano hidrológico ocorrendo em 2012/2013. Para este ano, o estudo de Pereira (2017) também mostra IAC negativo, registrando 15 documentos oficiais que atestam estiagem prolongada devido à baixa ocorrência de chuvas para o Agreste pernambucano. Para a o *ponto de inflexão* da estação 49480000, de 2007/2008, Rodrigues *et al.* (2017) indica uma “forte” influência do *La Niña* e precipitação anual de 670,38 mm.

Os anos de tendências encontradas no teste de homogeneidade de PTT das SP não são explicativas para as tendências encontradas nas SQ. Mas é possível notar por MK que ambas apresentam tendência significativa de redução com o avanço do tempo, em especial para o PC das SP e $Q_{\text{máx}}$ do PC para as SQ que apresentam, para 5% de significância estatística, indício da diminuição de chuvas e escoamento das águas para o leito do rio principal.

Estudos realizados em outras bacias, também pertencentes ao semiárido nordestino, sugerem que ademais das suas características geomorfométricas, as tendências negativas nesta região podem estar associadas ao uso da água para algumas atividades humanas (SANTOS; SILVA, 2016). Marengo e Alves (2005) sobre rio Paraíba do Sul observaram que as mudanças poderiam estar relacionadas ao gerenciamento regional e Penereiro e Orlando (2013) em estudo de tendências na bacia do rio Parnaíba, aponta que é difícil analisar e concluir a interrelação das mudanças nas séries com a influência antropogênica, uma vez que a carência de redes de estações medidoras mais robustas dificulta os estudos e o entendimento dos processos climáticos, que são complexos, em particular, no semiárido.

4.5 CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS *VERSUS* ANÁLISES DE TENDÊNCIAS

As tendências e variabilidades encontradas no estudo, bem como a percepção da escassa disponibilidade de dados e estações de aferições hidrológicas, tanto no estudo das precipitações, quanto nos das vazões, demonstram uma necessidade de monitoramento contínuo e constante e a necessidade de avaliação estatística das tendências atuais e projeções para o futuro, numa perspectiva para o planejamento hídrico regional e das cidades que compõem a bacia.

Os dados apresentados mostram que pode haver uma relação concomitante entre as características da bacia, a escassez de água e a falta de gestão adequada, não dando para diferenciar entre esses qual é a causa e qual é o efeito, uma vez que a falta de água recorrente pode gerar uma conformação com a vivência ante os aspectos físicos da região; um espaço de

desinteresse na melhoria do sistema de gestão; e ainda, a falta de dados não possibilita realizar estudos mais profundos e confiáveis sobre os seus aspectos físicos.

As características morfométricas analisadas sobre a geografia da região da bacia mostram que os canais de drenagem, em especial o principal, rio Ipanema, apresenta uma baixa suscetibilidade a acumulação e detenção hídrica, o que diminui a garantia de água quando das chuvas decorrentes em sua área. Além disso, a fotografia temporal da análise de tendência, dos últimos 44 anos, soma-se a essa característica da bacia, demonstrando que ao longo do tempo houve uma redução de 77% e 21% para as vazões e precipitações, respectivamente, que são intensificadas quando da ação influente dos fenômenos climáticos do *El Niño* e da *La Niña* na região.

Ao considerar o recorrente déficit hídrico que presenciam, ações devem ser tomadas para evitar ou minimizar os impactos decorrentes tanto das mudanças climáticas, quanto das possíveis mudanças no uso do solo e ocorrência das atividades humanas que dependem do uso múltiplo deste recurso. Estudos sobre a ocupação da bacia, impactos ambientais induzidos pelo crescimento populacional da região, fatores climáticos naturais e a possibilidade de estruturas civis podem explicar melhor o fenômeno e até mesmo indicarem possibilidades de ações e decisões, tal qual formas de aumentar a detenção de água no rio principal (discussão que não pode ser aprofundada por estar fora do escopo desta pesquisa). Podendo estas medidas exercer influência significativa sobre a qualidade de vida da população, suscetibilidade a eventos extremos (estiagens e chuvas intensas), disponibilidade hídrica regional e na saúde e manutenção do meio ambiente.

5 CONCLUSÕES

Os resultados dos testes estatísticos de tendência aplicados nas SP e SQ, a um nível de significância de 5%, apontam que:

- A disponibilidade hídrica do rio Ipanema apresentou tendência de decréscimo com o avanço do tempo de 1977 a 2021;
- As SP para estação analisada, apresentam tendência significativa (TS) para as M_{edM} e PS, com magnitude de 0,5 e 0,4 (mm/ano).
- Nas SQ, observa-se TS para diversos períodos, e variações de períodos nas tendências entre as estações, não permitindo uma conclusão concreta destas ao longo da bacia. Devido, principalmente, a carência dos dados, séries de dados curtas e incertezas associadas à necessidade de preenchimento de falhas nos dados.

- Notou-se que os pontos de inflexão, pelo teste de Pettitt apontam intensa mudança para os dados analisados nos períodos de 1997/1998 para as $M_{édM}$ e PC nas precipitações com redução de 25,6 e 24,5% entre as médias do ponto de inflexão;

- Nas SQ notou-se inflexão nos anos de 2012/2013 para a estação 49490000 com redução de mais de 80%; e 2007/2008 para a estação 49480000, com redução de 98,0%. Ambas as datas, associadas à ocorrência das influências do *El Niño* e *La Niña* na região, que causam alterações climáticas na região, segundo documentos oficiais encontrados na literatura.

- Mostra-se um método eficiente, principalmente ao indicar inflexões combinados com os registros dos eventos citados acima; e apesar da carência de dados disponíveis (estações e séries), além de ser aplicado em uma região com irregularidade nos dados, tal qual pela necessidade do preenchimento de falhas para homogeneidade;

- Sobre a caracterização hidrológica, morfológica e morfométrica da bacia figura como de baixa suscetibilidade a ação fluvial, enchentes e erosão devidas, principalmente, a sua geometria não circular (alongada), alto percurso superficial e área de manutenção dos canais, baixo índice de sinuosidade e planicidade.

Observa-se que uma gestão adequada impossibilita um aprofundamento das investigações hídricas da região, a falta de estações e de dados homogêneos se colocam como fatores importantes para a efetiva análise das causas e dos efeitos que se pretendiam estudar, bem como, para investigações futuras, que podem garantir uma melhoria e mitigação dos efeitos do fato sobre a região de estudo, e em demais regiões que apresentam essas mesmas características.

Destarte, os resultados apresentados mostraram-se importantes para o entendimento do comportamento do rio e da bacia, mesmo apesar das incertezas, tanto da carência de dados, quanto por se tratar de uma análise probabilística, apontam-se a necessidade de estudos aprofundados e da ampliação na densidade de estações hidrometeorológicas na região, bem como das séries de dados, eles podem dar suporte aos instrumentos de governança da PNRH aplicados a região e suas particularidades, pois são entendidos como um alerta do contexto local, devido às tendências negativas que apontam, principalmente para o aumento da escassez do recurso e dos possíveis impactos causados por esta verificação.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Levando-se em consideração a ocorrência das tendências negativas (com $\alpha=5\%$) apontadas no resultado desta pesquisa, as evidências dos achados, as discussões realizadas, e as limitações do estudo, sugere-se para trabalhos futuros:

- A análise aprofundada dos demais fatores que compõe o ciclo hidrológico das bacias hidrográficas, tais como evapotranspiração, infiltração, escoamento superficial, etc. Para uma melhor correlação e discussão dos resultados encontrados, uma vez que a complexidade da discussão permeia o entendimento sistemático destes parâmetros;

- A análise do uso e ocupação do solo na região da bacia, sua interrelação com as modificações do espaço geográfico e influência sobre as tendências apontadas; inclusive, da existência de mudanças no uso da água do rio Ipanema para atividades de uso consuntivo ou não consuntivos nos últimos 30 anos;

- Um estudo de indicadores socioambientais aplicados a bacia do rio Ipanema para avaliar, tanto o nível de suscetibilidade e vulnerabilidade da população a eventos extremos, quanto sua capacidade de minimização dos impactos das alterações do ambiente no desenvolvimento regional;

- Estudos para o melhoramento da aquisição de dados e meios de otimizar aqueles disponíveis de forma a diminuir o custo de análise das regiões que possuem poucas estações hidrometeorológicas, de forma a garantir um maior entendimento destas regiões quanto as suas peculiaridades e necessidades no âmbito da gestão de recursos hídricos e gerenciamento de bacias hidrográficas;

- Estudo de outros métodos para o preenchimento de falhas, tais como pela utilização da Curva-Chave, regressão linear múltipla, ponderação regional com base em regressões lineares, avaliando qual apresenta melhor aproximação para a realidade de dados disponíveis na região e qual a influência da escolha de um em detrimento de outro; e

- Avaliar, através de projeções das tendências encontradas e dos dados das séries históricas disponíveis, os indicativos de escassez de água e seus impactos imediatos, de médio e longo prazo.

- Considerando a existência de falhas nas medições anuais de precipitação e vazões, poderia ser estudado dados mensais de regiões próximas, locais para explicação de alguns parâmetros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, L. R. DE et al. Analysis of fluviometric trends in the hydrographic region of Calha Norte-PA. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing** v, v. 9, n. 2, p. 88–98, 2019.

AMORIM, E. L. C. DE; NETTO, A. P. DE O.; MENDIONDO, E. M. Estudo de método para regionalização de vazão. 2005.

APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. Bacias Hidrográficas: **Bacia do rio Ipanema**. 2021. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=16>. Acesso em 03 de setembro de 2021.

ASFAW, D.; WORKINEH, G. Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implications for soil and water conservation. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 7, n. 2, p. 150–157, 2019.

ASSIS, J. M. O.; SOUZA, W. M.; SOBRAL, M. C. M. Climate analysis of the rainfall in the lower-middle stretch of the São Francisco river basin based on the rain anomaly index. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 2, p. 188–202, 2015.

BRASIL. **Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. Lex: Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. República Federativa do Brasil**, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 19 ago. 2021

CORDÃO, M. J. DE S.; RUFINO, I. A. A.; ARAÚJO, E. L. DE. Geotecnologias aplicadas ao planejamento de sistemas de abastecimento de água urbanos: uma proposta metodológica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, p. 263–274, 2013.

DAS, S.; BANERJEE, S. Investigation of changes in seasonal streamflow and sediment load in the Subarnarekha-Burhabalang basins using Mann-Kendall and Pettitt tests. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 14, n. 11, p. 1–14, 2021.

DE-CARVALHO, H. R. L.; HENRY-SILVA, G. H. G. DA S. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DAS BACIAS DE CONTRIBUIÇÃO DOS RESERVATÓRIOS UMARI E MENDUBIM, SEMIÁRIDO DO RIO GRANDE DO NORTE, BRASIL. **Revista de Geografia**, v. 37, n. 3, p. 221–238, 24 dez. 2020.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **SRTM - Shuttle Radar Topography Mission**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/srtm>>. Acesso em: 19 ago. 2021.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **Clima e água de chuva no semi-árido**. 2007. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/159649/1/OPB1515.pdf>>. Acesso em 20 de setembro de 2021.

ESPINOZA, H. F.; ABRAHAM, A. M. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para o estudo dos recursos hídricos em regiões costeiras. **Simpósio**

Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), v. 12, p. 2487–2494, 2005.

FAUSTINO, A. B.; SILVA, S. Caracterização geomorfométrica da bacia hidrográfica do rio Doce (RN), utilizando dados TOPODATA e recursos de geoprocessamento. **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto–SBSR. Anais...**, João Pessoa, PB, p. 7493–7500, 2015.

FEITOSA, A.; SANTOS, B. O.; ARAÚJO, M. DO S. B. Caracterização morfométrica e identificação de áreas susceptíveis a erosão na bacia do rio Pajeú, PE: o estudo de caso da bacia do rio Pajeú-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 4, p. 820–836, 2011.

FELIZARDO, L. M. Aplicação de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para modelagem de eventos críticos de vazão em uma microbacia urbana. 2016.

FERREIRA, D. H. L.; PENNEREIRO, J. C.; FONTOLAN, M. R. Análises estatísticas de tendências das séries hidro-climáticas e de ações antrópicas ao longo das sub-bacias do Rio Tietê. **Holos**, v. 2, p. 50–68, 2015.

FLAUZINO, B. K.; MELLONI, E. G. P.; PONS, N. A. D. Mapeamento da capacidade de uso da terra como contribuição ao planejamento de uso do solo em sub-bacia hidrográfica piloto no sul de Minas Gerais. **Geociências (São Paulo)**, v. 35, n. 2, p. 277–287, 2016.

GOMES, A. C. DOS S. et al. ANÁLISE ESTATÍSTICA DAS TENDÊNCIAS DE ELEVÇÃO NAS SÉRIES DE TEMPERATURA MÉDIA MÁXIMA NA AMAZÔNIA CENTRAL: ESTUDO DE CASO PARA A REGIÃO DO OESTE DO PARÁ. (STATISTICAL ANALYSIS OF THE TRENDS OF ELEVATION IN MAXIMUM AVERAGE TEMPERATURE IN CENTRAL AMAZONIA: CASE STUDY FOR REGION IN WEST OF PARÁ STATE). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

HOFF, R.; VACCARO, S.; KROB, A. J. D. Aplicação de geotecnologias: detecção remota e geoprocessamento: para a gestão ambiental dos recursos hídricos superficiais em Cambará do Sul, RS, Brasil. **Embrapa Uva e Vinho-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2008. IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. v. 23, 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em 02 de setembro de 2021.

INPE, INSTITUTO N. DE P. E. **TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>>. Acesso em: 19 ago. 2021.

KANNAN, R. et al. **Drainage morphometric analysis of the Nagavathi watershed, Cauvery river basin in Dharmapuri district, Tamil Nadu, India using SRTM data and GIS. Data Br 19: 2420–2426**, 2018.

KARNAUKHOVA, E. A intensidade de transformação antrópica da paisagem como um indicador para a análise e a gestão ambiental: ensaio metodológico na área da bacia hidrográfica do Rio Fiorita, Município de Siderópolis, SC). 2000.

KUNDU, S. et al. Analysis of spatial and temporal variation in rainfall trend of Madhya Pradesh, India (1901–2011). **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 12, p. 8197–8216, jun. 2015.

- KUREPINA, N.; RYBKINA, I. **GIS use in solving water supplying and water environmental problems of Urban Territories**. MATEC Web of Conferences. **Anais...EDP Sciences**, 2018.
- LATORRE, M. DO R. D. DE O.; CARDOSO, M. R. A. Análise de séries temporais em epidemiologia: uma introdução sobre os aspectos metodológicos. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 4, p. 145–152, nov. 2001.
- LATUF, M. DE O. Mudanças no uso do solo e comportamento hidrológico nas bacias do rio Preto e ribeirão Entre Ribeiros. 2007.
- LIMA, W. DE P. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. 2008.
- LOPES, I.; LEAL, B. G.; RAMOS, C. M. Morphometric characterization of the basin in the semi-arid region of Pernambuco using SRTM data in free software. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 8, n. 1, p. 31–40, 2018.
- MADEIRO, C. **Dessalinizar água no Brasil é admitir fracasso, diz chefe da área em Israel**. Disponível em: <<https://www.fundaj.gov.br/index.php/tecnologias-de-convivencia-com-as-secas/10139-dessalinizar-agua-no-brasil-e-admitir-fracasso-diz-chefe-da-area-em-israel>>. Acesso em: 19 ago. 2021.
- MAIA, H. J. L. et al. A pegada hídrica e sua relação com os hábitos domésticos, alimentares e consumistas dos indivíduos. **POLÊM! CA**, v. 11, n. 4, p. 650–660, 2012.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 215–226, 2005.
- MATOS, F. O. **GESTÃO DE REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA POR MEIO DAS GEOTECNOLOGIAS**. 2018.
- MELO, J. S.; VILLAS BOAS, M. D. **Regionalização de vazões nas bacias hidrográficas brasileiras: estudo da vazão de 95% de permanência da sub-bacia 58, Bacia do Paraíba do Sul**. [s.l.] CPRM, 2017.
- MELLO, Y. R.; KOHLS, W.; OLIVEIRA, T. M. N. Uso de diferentes métodos para o preenchimento de falhas em estações fluviométricas. *Boletim de Geografia*. Maringá, Paraná, 2017.
- MONTE-MOR, R. C. DE A. Análise de processos hidrológicos em bacias de rios intermitentes no semiárido mineiro. 2012.
- NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. DE A. **Hidrologia estatística**. [s.l.] CPRM, 2007.
- NASCIMENTO, R. B. DO. **Análise e gerenciamento de redes de distribuição de água com suporte em Sistema de Informações Geográficas (SIG)**. masterThesis. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/3049>>. Acesso em: 19 ago. 2021.
- NASCIMENTO, V. F.; RIBEIRO, A. Characterization of reservoirs for water supply in Northeast Brazil using high resolution remote sensing. **RBRH**, v. 22, 2017.

NETO, J. DE B. S. et al. CARACTERIZAÇÃO MORFORMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IPANEMA-PE/AL. **CADERNOS DE CIÊNCIAS & TECNOLOGIA**, v. 1, n. 3, p. 257–269, 2019.

OLIVEIRA, D. H. M. C. **Extremos de precipitação e vazão associados às características naturais e antrópicas das regiões hidrográficas do São Francisco e do Paraná**. Master's Thesis—[s.l.] Brasil, 2018.

PARTAL, T. Multi-annual analysis and trends of the temperatures and precipitations in West Anatolia. **Journal of Water and Climate Change**, v. 8, n. 3, p. 456–473, 20 abr. 2017.

PENEREIRO, J. C.; ORLANDO, D. V. Análises de tendências em séries temporais anuais de dados climáticos e hidrológicos na bacia do Rio Parnaíba entre os estados do Maranhão e Piauí/Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 2, p. 5–21, 2013.

PEREIRA, H. L. Elaboração e avaliação de uma ferramenta computacional para delimitação automática e caracterização morfométrica de bacias hidrográficas a partir de um MDE. 2018.

PEREIRA, L. DE S. **Abordagem multicritério para estabelecimento de prioridades gerenciais/comerciais para manutenção em sistemas de abastecimento com captação de água subterrânea**. Master's Thesis—[s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

PEREIRA, M. L. T. et al. Variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p. 394–402, 2017.

PEREIRA, S. B. et al. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 615–622, 2007.

PINHO, R. G.; GARCIA, P. H. M.; GARCIA, M. S. Diretrizes para o planejamento ambiental e análise diagnóstica das interações entre recurso hídrico e urbanização, com o uso de geoprocessamento. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 16, n. 3, 2020.

PINTO-COELHO, R. M.; HAVENS, K. **Gestão de recursos hídricos em tempos de crise**. [s.l.] Artmed Editora, 2016.

PIRES, G. D.; ROTUNNO FILHO, O. C. Proposta de Sistema de Informações Geográficas (SIG) em código livre para recursos hídricos no Brasil. 2017.

REBOUÇAS, A. DA C. Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos avançados**, v. 11, p. 127–154, 1997.

RIBEIRO, D. DE A. TRÊS NOVAS METODOLOGIAS PARA HIERARQUIZAÇÃO DE BÁCIAS HIDROGRÁFICAS. 2007.

RODRIGUES, L. DE O. et al. Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco (Influence of El Niño and La Niña events on rainfall of Agreste Pernambuco). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1995–2009,

2017.

SANTOS et al. Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 31, p. 931-940, 2007.

SANTOS, D. B. DOS et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio São José, Cascavel, PR. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 2, p. 7–18, 2012.

SANTOS, M. Â. C. M. DOS; SILVA, D. F. D. Tendências temporais dos recursos hídricos na Sub-Bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 10, p. 2354–2363, 2016.

SANTOS, V. DE O. **Identificação e análise de tendências das variáveis hidrológicas e mudanças no uso e ocupação das terras no alto curso da bacia hidrográfica do Rio Uberaba, em Minas Gerais**, 2016.

SILVA, P. E. C. et al. Aplicação de parâmetros morfométricos na bacia do rio Ipanema: contribuições à geomorfologia e morfoestrutura regional. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 6556–6560, 2017.

SILVA, W. L. et al. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, p. 181–194, 2015.

SOUZA, C. D. DA S.; RIBEIRO, C. R. CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DAS ROSAS–JUIZ DE FORA (MG). 2020.

SOUZA, M. E. R. DE. Análise de estacionariedade de séries hidrológicas na bacia afluenta à Usina Castro Alves, RS. 2019.

TAVARES, R. G. et al. Análise das perdas de água nos sistemas de abastecimento humano da Região Metropolitana do Recife. **Revista Geama**, p. 4–8, 20 dez. 2018.

TEODORO, V. L. I. et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, v. 11, n. 1, p. 137–156, 2007.

TONELLO, K. C. Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. 22 fev. 2005.

TSIHRINTZIS, V. A.; HAMID, R.; FUENTES, H. R. Use of geographic information systems (GIS) in water resources: a review. **Water resources management**, v. 10, n. 4, p. 251–277, 1996.

TSUTIYA, M. T. Abastecimento de água: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 643p. **São Paulo**, p. 42, 2006.

TUCCI, C. E. **Água no meio urbano** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, , 1997.

TUCCI, C. E.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. DE M. Gestão da água no Brasil.

2001.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos avançados**, v. 22, p. 7–16, 2008.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos hídricos no século XXI**. [s.l.] Oficina de Textos, 2011.

ULIANA, E. M. et al. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, p. 82–88, mar. 2015.

USGS, U. S. G. S. **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled** U.S. Geological Survey, , 2017. Disponível em: <<https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non>>. Acesso em: 19 ago. 2021

ZEILHOFER, P. Z. et al. Um ambiente SIG para modelagem integrada da qualidade da água utilizando Qual2e. **Caminhos de Geografia**, v. 4, n. 10, 2003.

APÊNDICES

APÊNDICE A – SÉRIES HISTÓRICAS DE VAZÕES

Figura A.1 - Série histórica de vazões médias da estação 49490000

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2020	0,00	0,01	26,58									2,63
2019	0,00	0,22	0,49	0,90	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	4,39	57,73	6,88	1,39	0,05	0,00	0,00
2016	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,30	2,33	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,58
2012							0,03	0,09	0,06	0,07	0,06	0,03
2011			5,03	35,62	20,05	30,44	4,39	4,14	1,59	0,55	0,36	
2010	0,13			22,34	1,06	36,47	42,38	5,67	2,50	1,66	0,50	
2009					106,40	64,53	11,80	9,89	2,06	0,25		
2008			0,57	68,56	57,50	15,32	14,57	5,94	1,27	0,06		
2007		2,61	22,66	0,98	1,59	0,87	3,29	4,35	1,19			
2006			19,79	0,37	2,10	31,61	51,94	2,11	0,31	0,19		
2005		0,21	0,52	1,27	12,66	45,49	23,07	6,59	0,33			
2004	106,07	113,20	6,55	0,05	0,02	0,28	1,15	7,00	0,80	0,09		
2003	0,09	0,14	0,24	0,06	0,02	0,03	0,04	0,01			0,91	0,01
2002	10,17	22,96	16,43		0,09	0,22	0,62	0,26				
2001	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,10	0,55	0,95	0,20			
2000	0,78	1,71	2,37	0,97	0,23	0,58	0,23	0,41	0,08	0,03	0,78	0,37
1999			0,24						0,04	0,06	0,35	2,24
1998												
1997	1,63	0,35	23,27	14,69	20,24	4,67	6,49	7,47	0,72			
1996				5,33	12,63	31,30	7,66	33,25	2,44		0,66	
1995				0,53	0,61	1,46					0,04	
1994		5,44	23,18	2,66	0,17	43,48	6,30	3,92	0,84			
1993												
1992	19,76	99,46	45,26	45,11	0,79		0,42	0,35				
1991			0,28									
1990	2,08	2,19	0,01			0,12	0,46	0,90	0,26			
1989				52,70	150,84	101,89	144,97	12,76	2,70	0,97	0,38	19,00
1988			9,90	28,31	2,07	0,27	25,20	7,35	1,34	0,07		3,31
1987			5,72	1,46	0,73	0,15	3,97	0,93	0,11	0,03	0,00	
1986			5,36	10,01	7,34	4,43	14,21	3,83	3,83	1,33	0,81	0,12
1985	0,03	5,02	11,77	166,52	19,77	12,51	5,39	7,01	0,94			
1984			1,08	85,36	10,66	2,32	2,69		1,23			
1983			0,83	0,37								
1982		0,13	0,28		59,32	4,66	1,80	1,43				
1981	0,21	0,26				2,23	1,73	1,57	1,52	0,32		1,25
1980	0,10	1,22	1,96	0,20							0,62	0,02
1979	2,98	0,61	2,98	1,81	3,36	1,51	1,09	0,37				
1978		2,21	275,46	24,67	25,59	7,33	8,20	6,29	1,76	0,31		
1977				1,67	8,43	36,57	49,06	6,48	3,05	0,17		0,24

	Falha na medição
	Vazão zero
	Possui vazão maior que zero
	Período sem medição de dados

Figura A.2 – Série histórica de vazões médias da estação 49480000

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2020	0,00	0,00		0,00								
2019	0,00	0,00	1,17	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	3,64	9,68	40,02	7,30	0,34	0,00	0,00	0,00
2016	0,11	0,30	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2011	0,03	0,00	0,00	0,00	11,25	0,56	0,09	1,13	0,00	0,16	0,00	0,00
2010	0,00	0,00	0,00	12,49		18,56	18,83	1,23	0,00		0,00	0,00
2009	0,00	0,00	0,00	0,54	94,50	39,74	11,34	7,84	0,25		0,00	0,00
2008	0,00	0,00	11,03					2,68	0,00	0,00	0,00	0,00
2007	0,00	4,09	14,82	0,00	0,11	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
2006	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,00	0,00
2005	0,00	0,64		0,17				20,56	7,26	0,00	0,00	0,00
2004	25,51	41,18	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
2002	3,93	5,93	0,27	0,11	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
2001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,03	0,00	0,00	0,00
2000	0,71	2,15	0,99	0,67	0,16	0,05	0,03	0,22	0,01	0,00	0,00	0,11
1999	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
1998	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1997	1,32	0,43	4,67	6,60	10,01	2,51	3,44	3,74	0,24	0,00	0,00	0,00
1996	0,00	0,00	0,00	0,52	3,71	4,48	2,29	6,38	0,90	0,04	0,58	0,02
1995	0,00	0,00	0,00	0,30	0,41	0,27	0,25	0,03	0,00	0,00	0,30	0,02
1994	0,00	2,58	7,39	2,41	2,01	19,35	4,78	1,66	0,19	0,00	0,00	0,00
1993	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1992	3,79	38,79	22,47	27,00	1,00	0,44	0,58	0,27	0,06	0,01	0,00	0,00
1991	0,00	0,00	1,31	0,01	0,00	0,04	0,00	2,22	0,29	0,00	0,00	0,00
1990			0,20	0,00	0,17	0,04	0,56	0,56	0,01	0,00	0,00	0,04
1989	0,23	0,00	0,00	24,02	51,06	33,27	55,90	14,26	4,47			
1988	0,08	0,00	6,02	9,41	8,71	9,04	16,69	5,94	0,81	0,00	0,00	4,82
1987	0,00	0,00	0,29	0,21	0,51	0,00	2,51	0,64	0,01	0,00	0,00	
1986	0,00	0,07	5,29			0,00					0,00	0,00
1985	0,00	3,23	9,89	81,17	13,26	8,65	3,71	4,81	0,67	0,09	0,04	0,00
1984	0,00	0,00	1,98	24,65	11,49	2,61	3,53	1,36	1,30	0,01	0,00	0,00
1983	0,00	6,71	0,93	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1982	0,00	0,00	0,00	4,88	18,90	3,20	1,24	1,02	0,17	0,01	0,00	0,00
1981	0,81	0,19	33,22	4,77	1,43	0,38	0,06	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00
1980	0,01	0,62	2,55	0,26	0,02	0,03	0,24	0,03	0,04	0,04	0,84	0,57
1979	1,37	0,27	0,57	0,97	1,83	0,40	1,35	0,41	0,02	0,01	0,00	0,02
1978	0,11	4,57	96,70	11,33	12,06	5,82	6,37	4,47	1,07	0,58	0,03	1,22
1977		0,87	0,56	0,75	6,82	15,60	23,33	5,84	1,29	0,29	0,10	0,53

	Falha na medição
	Vazão zero
	Possui vazão maior que zero
	Período sem medição de dados

Figura A.3 – Série histórica de vazões mínimas da estação 49490000

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2020	0,00	0,00	0,00									2,24
2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	8,74	1,86	0,35	0,00	0,00	0,00
2016	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2012							0,00	0,00	0,04	0,06	0,06	0,00
2011			0,00	0,77	3,26	3,38	1,62	1,15	0,60	0,24	0,00	
2010	0,00			0,00	0,20	0,16	14,24	2,92	0,49	0,16	0,00	
2009					0,26	11,11	4,74	4,74	0,49	0,00		
2008			0,00	5,05	25,83	7,79	5,71	3,03	0,28	0,00		
2007		0,00	4,90	0,00	0,00	0,00	0,00	1,27	0,20			
2006			0,00	0,18	0,14	0,73	7,79	0,04	0,07	0,00		
2005		0,00	0,00	0,06	1,34	3,14	4,59	4,03	0,00			
2004	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,46	2,60	0,26	0,00		
2003	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00			0,00	0,00
2002	0,07	1,48	0,00		0,00	0,08	0,34	0,07				
2001	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,13	0,24	0,02			
2000	0,01	0,03	0,14	0,02	0,02	0,01	0,00	0,14	0,05	0,02	0,01	0,01
1999			0,00						0,00	0,01	0,00	0,00
1998												
1997	0,00	0,00	0,00	4,03	10,32	1,48	0,98	3,50	0,00			
1996				0,00	2,21	2,70	3,76	7,79	0,42		0,00	
1995				0,00	0,00	0,00					0,00	
1994		0,00	0,41	0,00	0,00	0,00	4,45	1,62	0,00			
1993												
1992	0,00	24,10	5,76	1,79	0,00		0,00	0,20				
1991			0,00									
1990	0,11	0,08	0,00			0,00	0,18	0,49	0,00			
1989				0,00	20,03	27,61	43,84	3,84	1,23	0,08	0,00	0,00
1988			0,00	6,16	0,72	0,02	0,08	1,86	0,43	0,00		0,00
1987			0,00	0,22	0,04	0,00	0,04	0,17	0,01	0,01	0,00	
1986			0,00	2,24	0,17	1,34	1,65	1,65	2,00	0,49	0,43	0,00
1985	0,00	0,00	1,29	20,03	2,75	2,51	3,54	2,51	0,00			
1984			0,00	0,00	4,65	0,85	1,11		0,00			
1983			0,29	0,00								
1982		0,00	0,00		4,25	2,87	0,79	0,68				
1981	0,00	0,00				1,76	1,50	1,41	1,33	0,00		0,00
1980	0,00	0,00	0,50	0,00							0,00	0,00
1979	0,00	0,00	0,00	0,00	2,24	0,00	0,26	0,00				
1978		0,00	24,10	5,47	4,87	2,16	3,68	2,07	0,66	0,00		
1977				0,43	0,86	7,26	24,51	0,96	0,49	0,00		0,00

	Falha na medição
	Vazão zero
	Possui vazão maior que zero
	Período sem medição de dados

Figura A.4 – Série histórica de vazões mínimas da estação 49480000

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2020	0,00	0,00		0,00								2,24
2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,51	9,70	1,36	0,01	0,00	0,00	0,00
2016	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
2011	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2010	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	5,43	0,00	0,00		0,00	
2009	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,79	1,25	1,25	0,00			
2008	0,00	0,00	0,00					0,00	0,00	0,00		
2007	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
2006	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00		
2005	0,00	0,00		0,00				16,12	0,31	0,00		
2004	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
2003	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
2002	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01		
2001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
2000	0,05	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
1999	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1998	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
1997	0,00	0,07	0,00	2,16	4,33	0,87	0,93	0,99	0,00	0,00		
1996	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,77	1,40	0,12	0,00	0,00	
1995	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,12	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	
1994	0,00	0,00	0,40	0,12	0,05	0,72	2,53	0,51	0,02	0,00		
1993	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
1992	0,00	14,66	8,34	1,83	0,47	0,26	0,28	0,08	0,00	0,00		
1991	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00		
1990			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00		
1989	0,00	0,00	0,00	0,03	16,79	17,74	21,15	10,49	0,82		0,00	0,00
1988	0,00	0,00	0,00	1,70	1,11	0,31	0,63	1,11	0,00	0,00		0,00
1987	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	
1986	0,00	0,00	0,06			0,00					0,43	0,00
1985	0,00	0,00	0,72	13,30	1,88	1,70	2,37	1,62	0,14	0,07		
1984	0,00	0,00	0,00	0,17	3,07	0,99	0,99	0,54	0,06	0,00		
1983	0,00	0,00	0,17	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
1982	0,00	0,00	0,00	0,00	2,82	1,97	0,54	0,34	0,05	0,00		
1981	0,06	0,01	0,00	0,00	0,87	0,12	0,05	0,03	0,03	0,00		0,00
1980	0,00	0,01	0,37	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,00	0,00
1979	0,01	0,00	0,01	0,01	0,12	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01		
1978	0,01	0,00	8,04	3,89		1,39	2,94	1,31	0,04	0,02		
1977		0,08	0,05				8,91	1,70	0,63	0,11		0,00

	Falha na medição
	Vazão zero
	Possui vazão maior que zero
	Período sem medição de dados

Figura A.5 – Série histórica de vazões máximas da estação 49490000

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2020	0,01	0,21	217,40									3,61
2019	0,02	1,86	5,18	9,83	0,00	0,00	0,20	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	0,45	0,01	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	11,47	16,31	127,07	26,71	3,76	0,30	0,00	0,00
2016	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	0,26	0,07	0,00	0,00	4,45	0,00	3,38	49,62	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	0,24	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	2,60	0,00	12,31
2012							0,39	0,28	0,12	0,10	0,06	0,06
2011			88,04	127,07	57,00	97,58	10,07	13,59	4,30	2,70	1,27	
2010	1,86			83,44	2,50	199,02	89,59	18,50	5,37	6,79	2,50	
2009					246,78	208,19	32,31	23,26	6,99	0,49		
2008			9,11	368,42	190,05	37,35	33,29	11,70	2,92	0,28		
2007		8,00	185,63	5,21	5,88	2,50	10,57	11,70	3,26			
2006			269,82	0,87	9,58	166,36	154,06	6,60	0,77	0,26		
2005		1,41	5,54	5,54	54,49	112,74	71,73	10,57	5,21			
2004	1616,56	1301,97	39,46	0,08	0,05	2,30	2,30	10,82	2,30	0,26		
2003	1,09	1,03	2,30	0,73	0,04	0,05	0,06	0,04			20,03	0,05
2002	128,92	125,24	53,25		0,20	0,46	1,03	0,53				
2001	0,07	0,01	0,02	0,03	0,03	0,64	1,62	3,14	0,87			
2000	2,81	5,88	12,94	4,16	1,15	2,30	0,82	1,15	0,16	0,04	7,38	1,55
1999			4,16						0,09	0,14	4,30	28,52
1998												
1997	8,88	3,03	256,90	52,03	52,03	13,59	22,43	13,59	3,14			
1996				64,84	63,50	174,80	11,08	71,73	7,79		4,30	
1995				3,63	6,06	4,90					0,73	
1994		116,25	272,44	12,31	1,72	208,19	9,82	10,57	1,48			
1993												
1992	296,53	324,42	310,33	353,46	2,40		1,18	0,72				
1991			4,82									
1990	16,31	18,50	0,20			0,29	0,98	1,46	0,62			
1989				244,28	447,50	324,42	566,43	38,40	5,76	1,79	1,13	219,92
1988			53,25	68,94	5,00	0,69	231,95	20,03	1,93	0,36		38,40
1987			31,34	6,81	2,40	0,89	16,31	2,75	0,25	0,11	0,02	
1986			40,54	55,73	46,12	9,27	47,27	7,49	7,73	3,69	2,16	0,80
1985	0,50	49,62	125,24	731,14	68,94	26,71	7,73	17,02	2,32			
1984			7,05	1544,35	28,59	6,87	6,87		3,52			
1983			3,08	2,87								
1982		1,33	0,97		429,55	9,92	3,18	2,31				
1981	3,29	2,14				3,18	1,91	1,76	1,68	1,50		11,36
1980	2,23	6,35	3,75	0,50							3,52	0,29
1979	37,35	2,70	46,12	4,72	6,46	2,16	1,58	0,79				
1978		5,01	1356,81	142,20	123,42	24,10	18,50	24,10	2,80	1,99		
1977				3,91	28,44	75,03	85,08	27,99	11,12	0,66		1,27

	Falha na medição
	Vazão zero
	Possui vazão maior que zero
	Período sem medição de dados

Figura A.6 – Série histórica de vazões máximas da estação 49480000

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2020	0,00	0,00		0,00								
2019	0,00	0,00	31,39	10,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	2,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	35,16	39,62	71,94	26,72	1,51	0,01	0,00	0,00
2016	3,44	3,44	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2011	1,01	0,00	0,00	0,00	50,32	4,59	1,51	9,32	0,00	5,00	0,00	0,00
2010	0,00	0,00	0,00	72,00		74,33	50,32	8,28	0,00		0,00	0,00
2009	0,00	0,00	0,00	8,79	336,49	105,69	37,85	25,19	3,06		0,00	0,00
2008	0,00	0,00	34,28					9,86	0,00	0,00	0,00	0,00
2007	0,00	46,34	188,23	0,00	3,42	0,00	0,13	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2006	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					0,00	0,00	0,00
2005	0,00	10,41		1,17				24,29	18,08	0,00	0,00	0,00
2004	185,19	142,10	0,00	0,00	0,00	10,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
2002	13,25	45,38	1,83	0,34	0,00	0,00	0,26	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
2001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	0,17	0,00	0,00	0,00
2000	5,27	22,87	8,47	6,09	0,77	0,26	0,12	0,67	0,05	0,00	0,00	1,68
1999	0,00	0,00	6,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54
1998	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1997	12,28	1,54	69,94	19,75	47,49	9,83	13,59	7,71	0,87	0,00	0,00	0,00
1996	0,00	0,00	0,00	6,36	16,18	19,05	4,16	16,49	4,44	0,17	11,73	0,16
1995	0,00	0,00	0,00	2,34	2,73	0,51	0,40	0,19	0,00	0,00	6,01	0,24
1994	0,00	53,52	102,08	22,25	15,58	89,37	9,23	6,36	0,47	0,01	0,00	0,00
1993	51,54	107,27	64,89	126,21	3,40	0,63	1,11	0,72	0,47	0,16	0,00	0,00
1992	0,00	0,00	22,25	0,14	0,00	0,16	0,00	15,58	0,67	0,07	0,00	0,00
1991	0,00	0,00	22,25	0,14	0,00	0,16	0,00	15,58	0,67	0,07	0,00	0,00
1990			1,51	0,00	2,06	0,26	1,17	0,93	0,17	0,00	0,00	0,21
1989	1,05	0,00	0,00	78,61	128,57	80,34	229,10	21,15	15,58			
1988	0,87	0,00	37,52	22,10	32,27	44,13	108,33	14,16	2,06	0,00	0,00	96,08
1987	0,00	0,00	0,47	0,99	1,11	0,00	11,50	1,88	0,19	0,00	0,00	
1986	0,00	0,26	16,09			0,00					0,00	0,00
1985	0,00	21,11	79,48	213,77	50,19	18,28	5,50	12,20	1,46	0,19	0,07	0,00
1984	0,00	0,00	13,68	95,10	29,82	6,20	10,48	3,20	3,74	0,05	0,00	0,00
1983	0,00	52,65	4,84	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1982	0,00	0,00	0,00	102,08	99,05	7,76	2,37	1,62	0,34	0,06	0,00	0,00
1981	0,01	4,35	6,20	1,70	0,03	0,04	0,87	0,03	0,05	0,08	8,33	3,07
1980	22,10	1,46	11,50	1,54	5,96	0,99	2,17	1,70	0,24	0,01	0,01	0,40
1979	22,10	1,46	11,50	1,54	5,96	0,99	2,17	1,70	0,24	0,01	0,01	0,40
1978	1,79	70,79	525,18	57,77		36,16	21,11	15,27	2,94	2,07	0,11	5,06
1977		4,04	4,84				51,00	20,14	2,27	0,77	0,17	1,70

	Falha na medição
	Vazão zero
	Possui vazão maior que zero
	Período sem medição de dados

APÊNDICE B – SÉRIE HISTÓRICA DE PRECIPITAÇÃO

Figura B.1 – Série histórica de precipitação médias mensais acumuladas da estação 00937031

Ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
2021	5,0	14,2	10,0	66,3	185,3	229,8						
2020	18,3	27,7	318,4	31,7	84,7	138,4	98,5	33,9	14,9	36,0	57,7	5,2
2019	8,4	60,0	83,3	30,7	14,2	44,0	100,6	63,4	0,0	0,0	0,0	0,0
2018	1,9	215,6	54,1	57,6	71,9	37,4	27,8	3,9	6,6	0,0	17,2	39,2
2017	0,3	4,4		38,8	144,0	139,6	177,1	85,8	64,2	4,6	0,0	25,2
2016	91,9	23,1	14,7	33,8	29,8	35,9	43,8	21,2	2,4	22,1	0,0	0,0
2015	3,1	9,1	24,2	52,4	0,0	60,2	116,4	21,5	0,7	6,8	0,0	15,5
2014	4,6	8,4	23,6	37,4	100,7	47,2	56,7	43,8	41,2	66,9	142,6	28,9
2013	28,4	0,0	12,7	49,6	57,6	44,9	124,9	43,7	10,7	35,0	0,0	35,7
2012	4,0	6,3	28,3	5,1	0,0	0,0	60,5	69,2	0,0	0,0	0,0	0,0
2011	62,4	22,1	99,3	76,1	141,4	37,8	114,0	34,0	57,2	24,2	24,0	0,0
2010	5,0	70,2	5,2	83,5		209,7	37,0	19,3	125,9	16,3	0,0	1,5
2009	1,0	41,6	2,7	38,9	272,0	110,4	44,3	81,5	0,0	34,3	0,0	61,4
2008	0,0	11,0	176,6				60,4	52,9	13,5	1,9	0,0	14,0
2007	0,0	179,5	81,1	47,2	78,6	90,0	107,5	120,3	61,9	0,0	1,8	0,4
2006	0,0	0,0	12,6	19,0	0,0	0,0			0,0	9,6	4,3	0,0
2005	56,5	88,3	53,7	7,0	233,7	121,2	43,7	97,6	9,7	0,0	0,0	93,6
2004	223,0	87,1	15,4	5,8	23,0	107,6	45,4	72,2	38,0	0,0	0,0	0,0
2003	49,3	108,8	36,7	16,2	68,2	24,8	31,2	4,8	19,9	6,2	15,4	3,6
2002	143,8	139,4	79,9	15,8	71,4	73,8	50,8	37,4	6,6	5,5	0,0	37,1
2001	4,3	33,1	24,3	13,1	8,0	105,5	102,4	67,7	0,0	30,2	15,0	72,5
2000	35,2	59,4	61,9	95,6	30,6	167,3	60,7	43,7	39,2	0,9	34,9	113,5
1999	0,0	21,0	18,5	2,3	51,9	34,1	29,8	14,6	13,6	34,5	58,9	10,2
1998	10,3	0,0	26,9	2,2	30,0	87,7	95,2	63,9	9,0	0,6	0,0	0,0
1997	46,1	28,6	103,7	188,4	147,9	44,0	114,7	61,4	0,0	1,6	8,0	89,2
1996	15,7	0,0	71,7	262,9	54,9	181,9	135,3	95,5	10,2	7,0	47,8	0,0
1995	4,8	16,0	43,1	42,8	142,0	80,4	95,6	15,1	10,5	0,0	61,7	0,0
1994	3,2	22,2	178,5	52,3	123,4	276,1	115,1	57,3	69,3	1,0	0,0	23,2
1993	60,0	5,2	0,0	1,0	38,3	80,8	76,1	35,0	0,0	107,8	28,9	0,0
1992	185,6	237,3	109,3	67,3	6,0	29,0	87,3	16,3	58,0	0,0	0,0	6,0
1991	3,9	11,4	73,1	57,9	90,8	72,5	43,1	141,5	14,0	0,0	11,6	0,0
1990	32,8	115,0	23,8	131,4	58,0	64,9	128,6	29,3	49,4	3,9	0,0	9,2
1989	47,6	20,0	75,3	111,7	187,3	75,5	203,4	50,2	36,8	12,4	9,0	299,0
1988		22,3	113,4	98,5	32,0	124,2	205,9	73,8	39,4	4,1	37,4	88,5
1987	6,7	25,9	104,0	54,1	24,6	99,8	89,9	62,3	2,1	5,1	0,0	1,0
1986	43,4	53,1	206,2	61,9	90,6	71,5	201,2	57,7	101,1	14,4	51,8	20,5
1985	117,2	39,6	112,4	273,7	13,2	77,3	64,0	88,9	10,7	8,5	3,2	83,2
1984	10,6	0,5	104,6	82,5	107,1	35,4	99,7	71,4	49,8	2,5	8,0	8,4
1983	15,5	173,5	42,9	38,3	24,1	69,4	21,6	58,9	0,0	1,3	0,4	2,3
1982	42,2		0,6	154,8	172,6	88,0	46,7	59,9	11,6	0,1	4,2	46,0
1981	43,1	10,0	247,5	124,1	15,6	16,0	39,5	20,5	14,3	2,1	35,0	51,4
1980	76,0	136,2	92,9	43,4	6,0	110,4	36,2	10,4	2,9	86,0	36,7	37,5
1979	141,1	21,7	179,9	89,9	142,8	72,8	93,4	21,5	15,6	5,1	7,7	17,3
1978	0,0	156,4	207,2	80,9	226,6	112,3	74,1	45,2	38,8	2,4	17,9	19,7
1977											0,0	112,3

	Falha na medição
	Vazão zero
	Possui vazão maior que zero
	Período sem medição de dados

APÊNDICE C – GRÁFICOS DAS RLS PARA PREENCHIMENTO DE FALHAS DAS VAZÕES MÉDIAS

Gráfico C.1 – RLS para vazões de janeiro

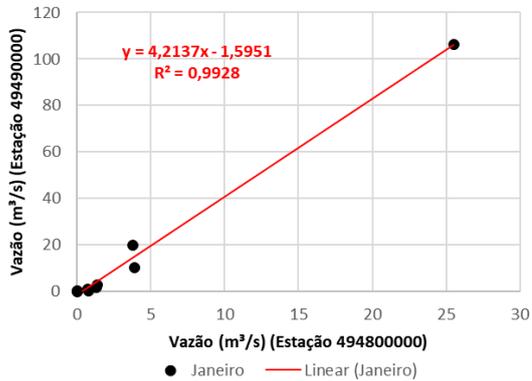


Gráfico C.2 – RLS para vazões de fevereiro

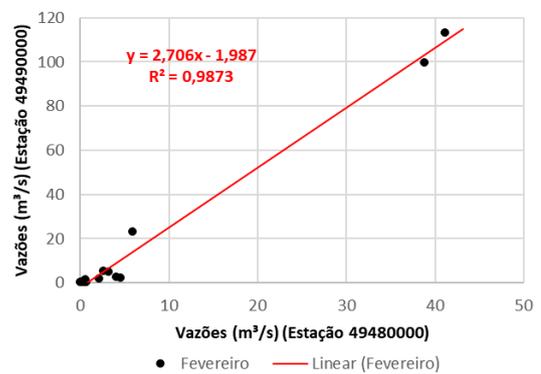


Gráfico C.3 – RLS para vazões de março

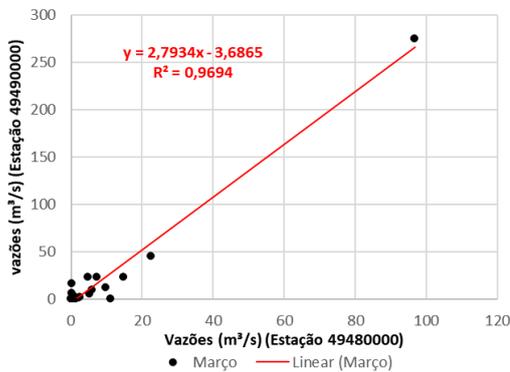


Gráfico C.4 – RLS para vazões de abril

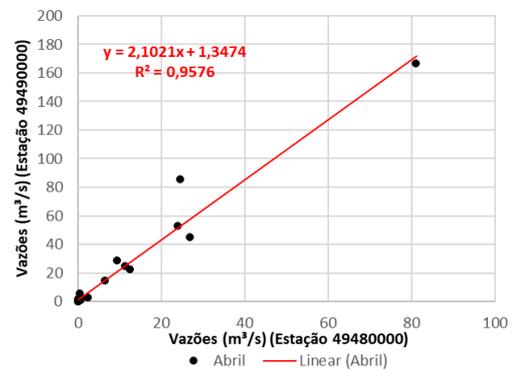


Gráfico C.5 – RLS para vazões de maio

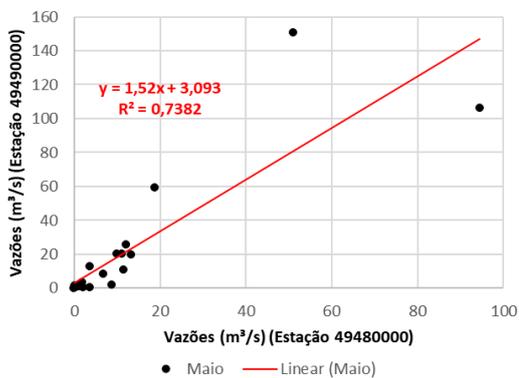


Gráfico C.6 – RLS para vazões de junho

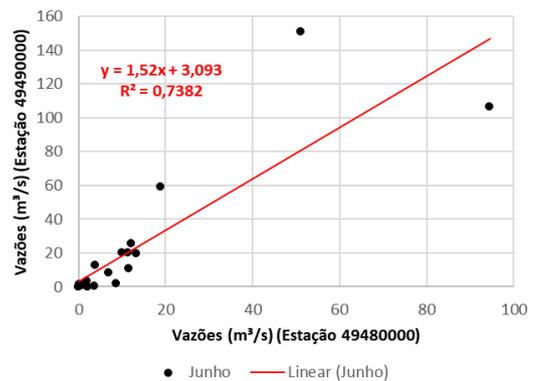


Gráfico C.7 – RLS para vazões de julho

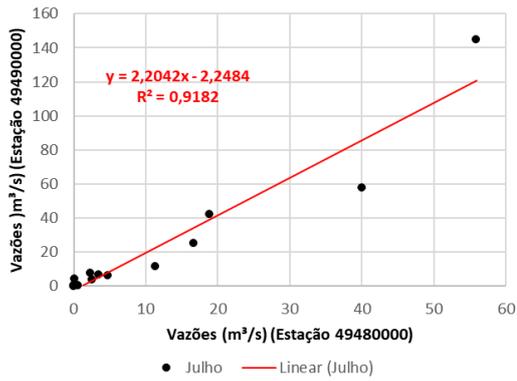


Gráfico C.8 – RLS para vazões de agosto

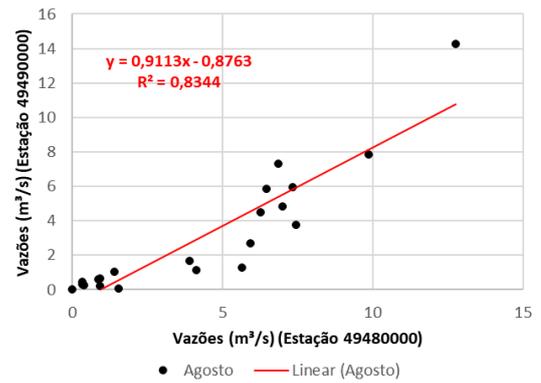
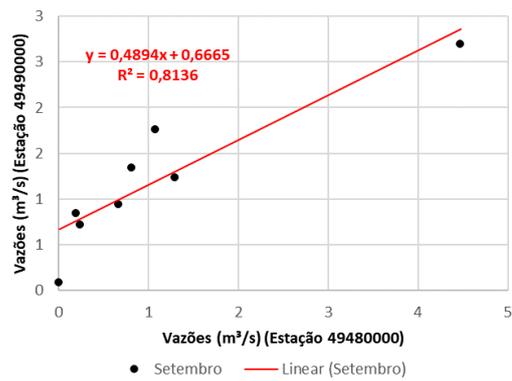


Gráfico C.9 – RLS para vazões de setembro



APÊNDICE D – GRÁFICOS DAS RLS PARA PREENCHIMENTO DE FALHAS DAS VAZÕES MÍNIMAS

Gráfico D.1 – RLS para vazões de março

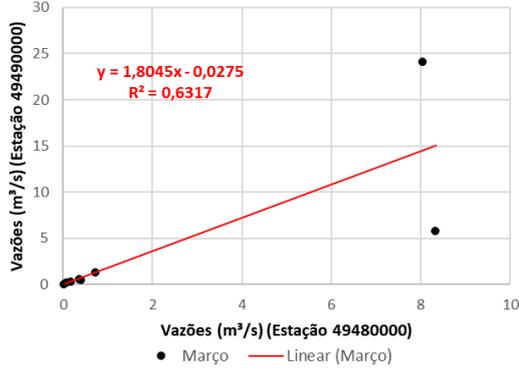


Gráfico D.2 – RLS para vazões de abril

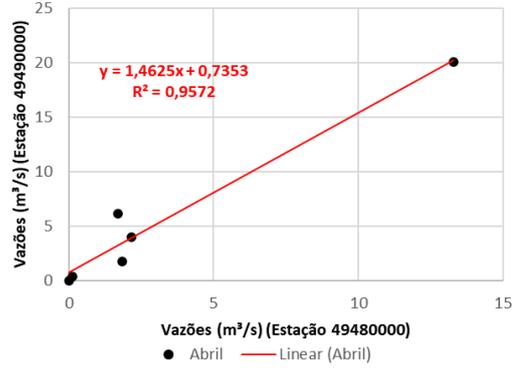


Gráfico D.3 – RLS para vazões de maio

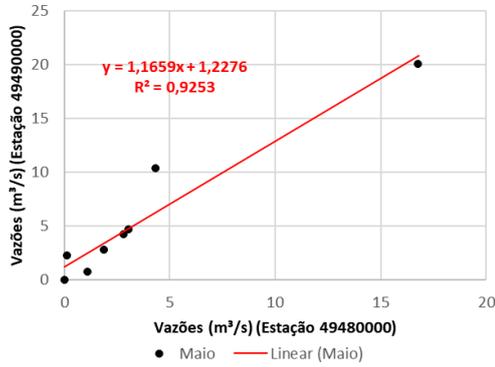


Gráfico D.4 – RLS para vazões de junho

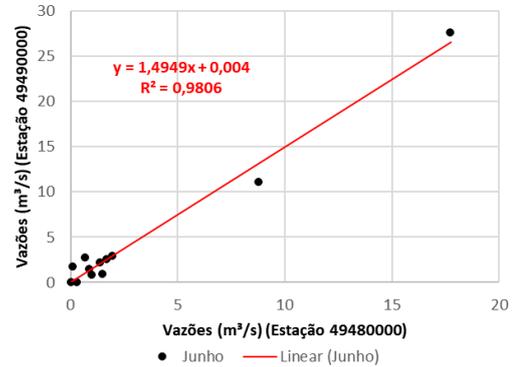
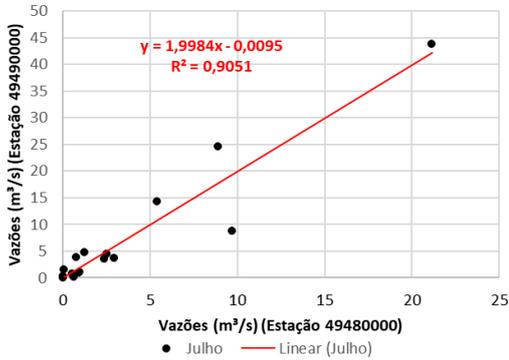


Gráfico D.5 – RLS para vazões de maio



APÊNDICE E – GRÁFICOS DAS RLS PARA PREENCHIMENTO DE FALHAS DAS VAZÕES MÁXIMAS

Gráfico E.1 – RLS para vazões de janeiro

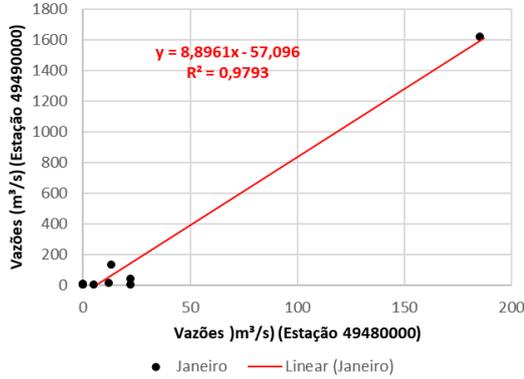


Gráfico E.2 – RLS para vazões de fevereiro

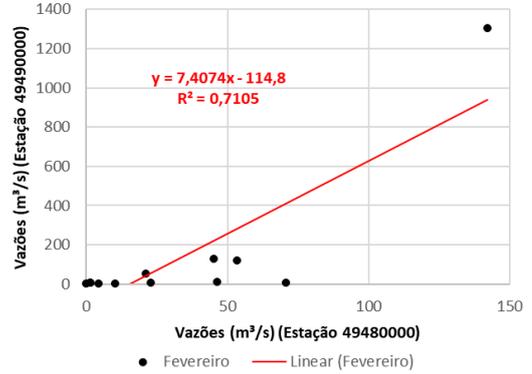


Gráfico E.3 – RLS para vazões de março

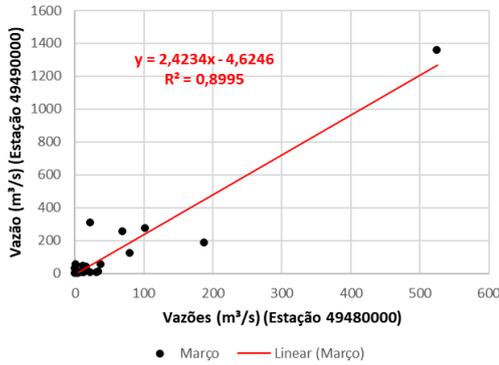


Gráfico E.4 – RLS para vazões de abril

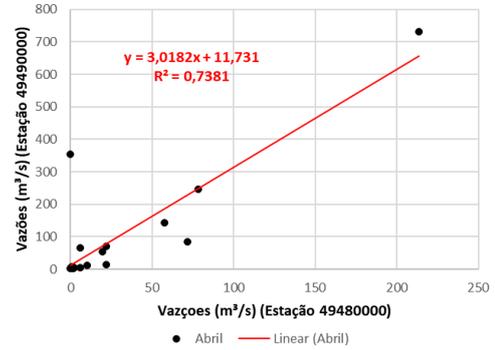


Gráfico E.5 – RLS para vazões de maio

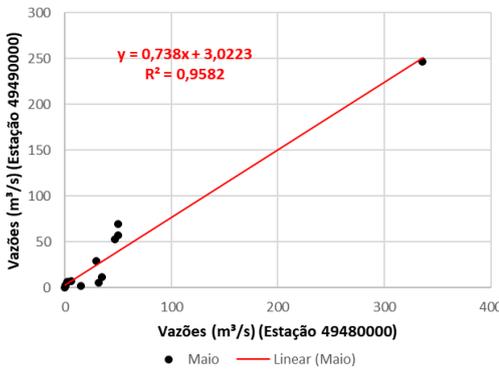


Gráfico E.6 – RLS para vazões de junho

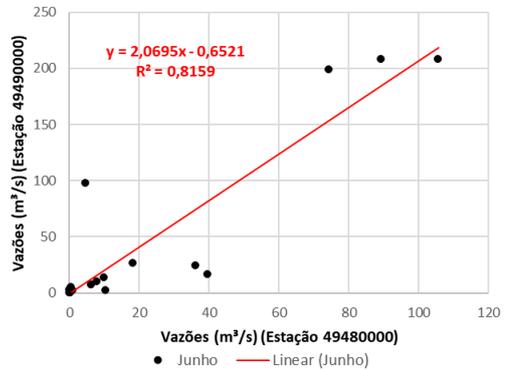


Gráfico E.7 – RLS para vazões de julho

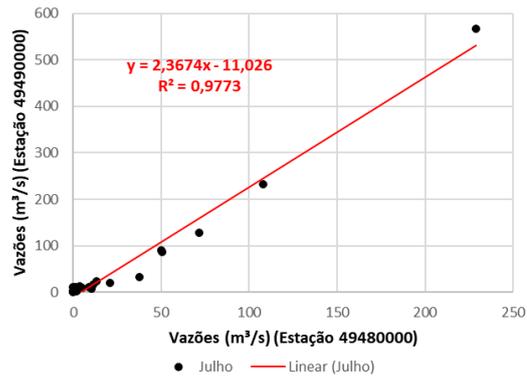


Gráfico E.8 – RLS para vazões de agosto

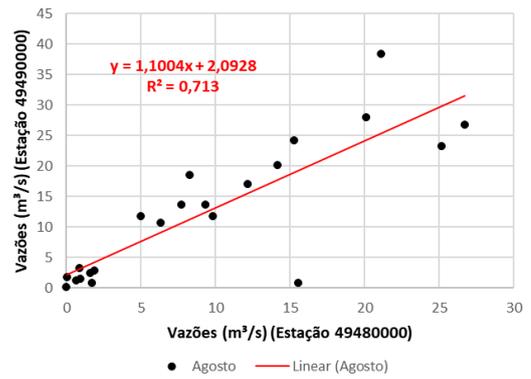
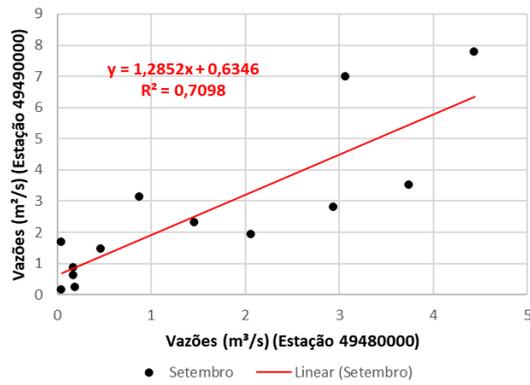


Gráfico E.9 – RLS para vazões de setembro



APÊNDICE F – SÉRIES HISTÓRICAS DE VAZÕES PREENCHIDAS

Figura F.1 - Série histórica de vazões médias da estação 49490000 após o preenchimento de falhas

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez
2020	0,00	0,01	26,58	0,00	-	-	-	-	-	-	-	2,63
2019	0,00	0,22	0,49	0,90	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	4,39	57,73	6,88	1,39	0,05	0,00	0,00
2016	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,30	2,33	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00	0,58
2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,09	0,06	0,07	0,06	0,03
2011	0,00	0,00	5,03	35,62	20,05	30,44	4,39	4,14	1,59	0,55	0,36	
2010	0,13	0,00	0,00	22,34	1,06	36,47	42,38	5,67	2,50	1,66	0,50	
2009	0,00	0,00	0,00	2,47	106,40	64,53	11,80	9,89	2,06	0,25		
2008	0,00	0,00	0,57	68,56	57,50	15,32	14,57	5,94	1,27	0,06		
2007	0,00	2,61	22,66	0,98	1,59	0,87	3,29	4,35	1,19			
2006	0,00	0,00	19,79	0,37	2,10	31,61	51,94	2,11	0,31	0,19		
2005	0,00	0,21	0,52	1,27	12,66	45,49	23,07	6,59	0,33			
2004	106,07	113,20	6,55	0,05	0,02	0,28	1,15	7,00	0,80	0,09		
2003	0,09	0,14	0,24	0,06	0,02	0,03	0,04	0,01	0,67		0,91	0,01
2002	10,17	22,96	16,43	1,58	0,09	0,22	0,62	0,26	0,00			
2001	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,10	0,55	0,95	0,20			
2000	0,78	1,71	2,37	0,97	0,23	0,58	0,23	0,41	0,08	0,03	0,78	0,37
1999	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,06	0,35	2,24
1998	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
1997	1,63	0,35	23,27	14,69	20,24	4,67	6,49	7,47	0,72			
1996	0,00	0,00	0,00	5,33	12,63	31,30	7,66	33,25	2,44	-	0,66	-
1995	0,00	0,00	0,00	0,53	0,61	1,46	0,00	0,99	0,00		0,04	-
1994	0,00	5,44	23,18	2,66	0,17	43,48	6,30	3,92	0,84			
1993	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
1992	19,76	99,46	45,26	45,11	0,79	1,69	0,42	0,35	0,00	-		
1991	0,00	0,00	0,28	1,37	0,00	1,55	0,00	3,40	0,00			
1990	2,08	2,19	0,01	0,00	3,35	0,12	0,46	0,90	0,26			-
1989	0,00	0,00	0,00	52,70	150,84	101,89	144,97	12,76	2,70	0,97	0,38	19,00
1988	0,00	0,00	9,90	28,31	2,07	0,27	25,20	7,35	1,34	0,07		3,31
1987	0,00	0,00	5,72	1,46	0,73	0,15	3,97	0,93	0,11	0,03	0,00	-
1986	0,00	0,00	5,36	10,01	7,34	4,43	14,21	3,83	3,83	1,33	0,81	0,12
1985	0,03	5,02	11,77	166,52	19,77	12,51	5,39	7,01	0,94	-	-	
1984	0,00	0,00	1,08	85,36	10,66	2,32	2,69	2,46	1,23	-		
1983	0,00	16,16	0,83	0,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
1982	0,00	0,13	0,28	11,60	59,32	4,66	1,80	1,43	0,75	-		
1981	0,21	0,26	89,10	11,37	5,27	2,23	1,73	1,57	1,52	0,32		1,25
1980	0,10	1,22	1,96	0,20	3,12	1,54	0,00	0,99	0,68	-	0,62	0,02
1979	2,98	0,61	2,98	1,81	3,36	1,51	1,09	0,37	0,00	-		-
1978	0,00	2,21	275,46	24,67	25,59	7,33	8,20	6,29	1,76	0,31	-	-
1977		0,37	0,00	1,67	8,43	36,57	49,06	6,48	3,05	0,17	-	0,24

	Falha na medição não preenchida
	Vazão zero
	Possui vazão maior que zero
	Período sem medição de dados
	Outliers excluídos para atingir a correlação aceitável
	Preenchido

Figura F.2 - Série histórica de vazões mínimas da estação 49490000 após o preenchimento de falhas

Ano	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
2020	0,00	0,00	0,74	-	-	-
2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	0,92	8,74
2016	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2012			0,74	1,23	0,00	0,00
2011		0,00	0,77	3,26	3,38	1,62
2010			0,00	0,20	0,16	14,24
2009			0,74	0,26	11,11	4,74
2008		0,00	5,05	25,83	7,79	5,71
2007	0,00	4,90	0,00	0,00	0,00	0,00
2006		0,00	0,18	0,14	0,73	7,79
2005	0,00	0,00	0,06	1,34	3,14	4,59
2004	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,46
2003	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,03
2002	1,48	0,00	0,74	0,00	0,08	0,34
2001	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,13
2000	0,03	0,14	0,02	0,02	0,01	0,00
1999		0,00	0,74	1,23	0,00	0,00
1998			0,74	1,23	0,00	0,00
1997	0,00	0,00	4,03	10,32	1,48	0,98
1996			0,00	2,21	2,70	3,76
1995			0,00	0,00	0,00	0,24
1994	0,00	0,41	0,41	0,00	0,00	4,45
1993			0,74	1,23	0,00	0,00
1992	24,10	5,76	1,79	0,00	0,39	0,00
1991		0,00	0,74	1,23	0,00	0,00
1990	0,08	0,00	0,74	1,23	0,00	0,18
1989			0,00	20,03	27,61	43,84
1988		0,00	6,16	0,72	0,02	0,08
1987		0,00	0,22	0,04	0,00	0,04
1986		0,00	2,24	0,17	1,34	1,65
1985	0,00	1,29	20,03	2,75	2,51	3,54
1984		0,00	0,00	4,65	0,85	1,11
1983		0,29	0,00	1,23	0,00	0,00
1982	0,00	0,00	0,74	4,25	2,87	0,79
1981	0,00		0,74	2,24	1,76	1,50
1980	0,00	0,50	0,00	1,25	0,03	0,04
1979	0,00	0,00	0,00	2,24	0,00	0,26
1978	0,00	24,10	5,47	4,87	2,16	3,68
1977			0,43	0,86	7,26	24,51

	Falha na medição não preenchida
	Vazão zero
	Possui vazão maior que zero
	Período sem medição de dados
	Outliers excluídos para atingir a correlação aceitável
	Preenchido

Figura F.3 - Série histórica de vazões máximas da estação 49490000 após o preenchimento de falhas

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2020	0,01	0,21	217,40	0,00	-	-	-	-	-	-	-	3,61
2019	0,02	1,86	5,18	9,83	0,00	0,00	0,20	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	0,45	0,01	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	11,47	16,31	127,07	26,71	3,76	0,30	0,00	0,00
2016	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	0,26	0,07	0,00	0,00	4,45	0,00	3,38	49,62	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	0,24	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	2,60	0,00	12,31
2012	0,00	0,00	0,00	0,00	3,02	0,00	0,39	0,28	0,12	0,10	0,06	0,06
2011	0,00	0,00	88,04	127,07	57,00	97,58	10,07	13,59	4,30	2,70	1,27	
2010	1,86	0,00	0,00	83,44	2,50	199,02	89,59	18,50	5,37	6,79	2,50	
2009	0,00	0,00	0,00	14,81	246,78	208,19	32,31	23,26	6,99	0,49		
2008	0,00	0,00	9,11	368,42	190,05	37,35	33,29	11,70	2,92	0,28		
2007	0,00	8,00	185,63	5,21	5,88	2,50	10,57	11,70	3,26			
2006	0,00	0,00	269,82	0,87	9,58	166,36	154,06	6,60	0,77	0,26		
2005	0,00	1,41	5,54	5,54	54,49	112,74	71,73	10,57	5,21			
2004	1616,56	1301,97	39,46	0,08	0,05	2,30	2,30	10,82	2,30	0,26		
2003	1,09	1,03	2,30	0,73	0,04	0,05	0,06	0,04	0,66		20,03	0,05
2002	128,92	125,24	53,25	0,00	0,20	0,46	1,03	0,53	0,65			
2001	0,07	0,01	0,02	0,03	0,03	0,64	1,62	3,14	0,87			
2000	2,81	5,88	12,94	4,16	1,15	2,30	0,82	1,15	0,16	0,04	7,38	1,55
1999	0,00	0,00	4,16	0,00	3,02	0,00	0,00	2,09	0,09	0,14	4,30	28,52
1998	0,00	0,00	0,00	0,00	3,02	0,00	0,00	2,09	0,63			
1997	8,88	3,03	256,90	52,03	52,03	13,59	22,43	13,59	3,14			
1996	0,00	0,00	0,00	64,84	63,50	174,80	11,08	71,73	7,79		4,30	
1995	0,00	0,00	0,00	3,63	6,06	4,90	0,00	2,30	0,63		0,73	
1994	0,00	116,25	272,44	12,31	1,72	208,19	9,82	10,57	1,48			
1993	401,43	679,79	152,63	369,20	5,53	0,65	0,00	2,88	1,24			
1992	296,53	324,42	310,33	353,46	2,40	0,00	1,18	0,72	1,50			
1991	0,00	0,00	4,82	0,00	3,02	0,00	0,00	19,24	1,50			
1990	16,31	18,50	0,20	0,00	4,54	0,29	0,98	1,46	0,62			
1989	0,00	0,00	0,00	244,28	447,50	324,42	566,43	38,40	5,76	1,79	1,13	219,92
1988	0,00	0,00	53,25	68,94	5,00	0,69	231,95	20,03	1,93	0,36		38,40
1987	0,00	0,00	31,34	6,81	2,40	0,89	16,31	2,75	0,25	0,11	0,02	-
1986	0,00	0,00	40,54	55,73	46,12	9,27	47,27	7,49	7,73	3,69	2,16	0,80
1985	0,50	49,62	125,24	731,14	68,94	26,71	7,73	17,02	2,32			
1984	0,00	0,00	7,05	1544,35	28,59	6,87	6,87	5,61	3,52			
1983	0,00	275,19	3,08	2,87	3,02	0,00	0,00	2,09	0,63			
1982	0,00	1,33	0,97	296,37	429,55	9,92	3,18	2,31	1,07			
1981	3,29	2,14	10,41	0,00	3,05	3,18	1,91	1,76	1,68	1,50		11,36
1980	2,23	6,35	3,75	0,50	7,42	1,39	0,00	3,97	0,94		3,52	0,29
1979	37,35	2,70	46,12	4,72	6,46	2,16	1,58	0,79	0,94			
1978	0,00	5,01	1356,81	142,20	123,42	24,10	18,50	24,10	2,80	1,99		
1977		0,00	7,11	3,91	28,44	75,03	85,08	27,99	11,12	0,66		1,27

	Falha na medição não preenchida
	Vazão zero
	Possui vazão maior que zero
	Período sem medição de dados
	Outliers excluídos para atingir a correlação aceitável
	Preenchido

Figura F.4 - Série histórica de vazões médias da estação 49480000 após o preenchimento de falhas

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2020	0,00	0,00	10,83	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	0,00	0,00	1,17	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	3,64	9,68	40,02	7,30	0,34	0,00	0,00	0,00
2016	0,11	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2011	0,03	0,00	0,00	0,00	11,25	0,56	0,09	1,13	0,00	0,16	0,00	0,00
2010	0,00	0,00	0,00	12,49	0,00	18,56	18,83	1,23	0,00	-	0,00	0,00
2009	0,00	0,00	0,00	0,54	94,50	39,74	11,34	7,84	0,25	0,00	0,00	0,00
2008	0,00	0,00	11,03	31,97	35,80	7,17	7,63	2,68	0,00	0,00	0,00	0,00
2007	0,00	4,09	14,82	0,00	0,11	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
2006	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,16	24,58	1,04	0,82	0,00	0,00	0,00
2005	0,00	0,64	1,51	0,17	6,29	18,27	11,49	20,56	7,26	0,00	0,00	0,00
2004	25,51	41,18	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00
2002	3,93	5,93	0,27	0,11	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
2001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,03	0,00	0,00	0,00
2000	0,71	2,15	0,99	0,67	0,16	0,05	0,03	0,22	0,01	0,00	0,00	0,11
1999	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
1998	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1997	1,32	0,43	4,67	6,60	10,01	2,51	3,44	3,74	0,24	0,00	0,00	0,00
1996	0,00	0,00	0,00	0,52	3,71	4,48	2,29	6,38	0,90	0,04	0,58	0,02
1995	0,00	0,00	0,00	0,30	0,41	0,27	0,25	0,03	0,00	0,00	0,30	0,02
1994	0,00	2,58	7,39	2,41	2,01	19,35	4,78	1,66	0,19	0,00	0,00	0,00
1993	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1992	3,79	38,79	22,47	27,00	1,00	0,44	0,58	0,27	0,06	0,01	0,00	0,00
1991	0,00	0,00	1,31	0,01	0,00	0,04	0,00	2,22	0,29	0,00	0,00	0,00
1990	0,87	1,54	0,20	0,00	0,17	0,04	0,56	0,56	0,01	0,00	0,00	0,04
1989	0,23	0,00	0,00	24,02	51,06	33,27	55,90	14,26	4,47	-	-	-
1988	0,08	0,00	6,02	9,41	8,71	9,04	16,69	5,94	0,81	0,00	0,00	4,82
1987	0,00	0,00	0,29	0,21	0,51	0,00	2,51	0,64	0,01	0,00	0,00	-
1986	0,00	0,07	5,29	4,12	2,79	0,00	7,46	2,62	2,54	-	0,00	0,00
1985	0,00	3,23	9,89	81,17	13,26	8,65	3,71	4,81	0,67	0,09	0,04	0,00
1984	0,00	0,00	1,98	24,65	11,49	2,61	3,53	1,36	1,30	0,01	0,00	0,00
1983	0,00	6,71	0,93	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1982	0,00	0,00	0,00	4,88	18,90	3,20	1,24	1,02	0,17	0,01	0,00	0,00
1981	0,81	0,19	33,22	4,77	1,43	0,38	0,06	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00
1980	0,01	0,62	2,55	0,26	0,02	0,03	0,24	0,03	0,04	0,04	0,84	0,57
1979	1,37	0,27	0,57	0,97	1,83	0,40	1,35	0,41	0,02	0,01	0,00	0,02
1978	0,11	4,57	96,70	11,33	12,06	5,82	6,37	4,47	1,07	0,58	0,03	1,22
1977		0,87	0,56	0,75	6,82	15,60	23,33	5,84	1,29	0,29	0,10	0,53

	Falha na medição não preenchida
	Vazão zero
	Possui vazão maior que zero
	Período sem medição de dados
	Outliers excluídos para atingir a correlação aceitável
	Preenchido

Figura F.5 - Série histórica de vazões mínima da estação 49480000 após o preenchimento de falhas

Ano	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
2020	0,00		0,00	-	-	-
2019	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	1,51	9,70
2016	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2011	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2010	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,43
2009	0,00	0,00	0,00	0,00	8,79	1,25
2008	0,00	0,00	2,95	21,10	5,21	2,86
2007	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2006	0,00	0,00	0,00	0,00	0,48	3,90
2005	0,00		0,00	0,09	2,10	2,30
2004	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
2002	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2000	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
1999	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1998	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1997	0,07	0,00	2,16	4,33	0,87	0,93
1996	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,77
1995	0,00	0,00	0,00	0,06	0,12	0,12
1994	0,00	0,40	0,12	0,05	0,72	2,53
1993	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1992	14,66	8,34	1,83	0,47	0,26	0,28
1991	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1990		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1989	0,00	0,00	0,03	16,79	17,74	21,15
1988	0,00	0,00	1,70	1,11	0,31	0,63
1987	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1986	0,00	0,06	1,03	0,00	0,00	0,83
1985	0,00	0,72	13,30	1,88	1,70	2,37
1984	0,00	0,00	0,17	3,07	0,99	0,99
1983	0,00	0,17	0,03	0,00	0,00	0,00
1982	0,00	0,00	0,00	2,82	1,97	0,54
1981	0,01	0,00	0,00	0,87	0,12	0,05
1980	0,01	0,37	0,01	0,02	0,02	0,03
1979	0,00	0,01	0,01	0,12	0,02	0,03
1978	0,00	8,04	3,89	3,12	1,39	2,94
1977	0,08	0,05	0,00	0,00	4,86	8,91

	Falha na medição não preenchida
	Vazão zero
	Possui vazão maior que zero
	Período sem medição de dados
	Outliers excluídos para atingir a correlação aceitável
	Preenchido

Figura F.6 - Série histórica de vazões máximas da estação 49480000 após o preenchimento de falhas

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2020	0,00	0,00	91,62	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-
2019	0,00	0,00	31,39	10,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2018	0,00	0,00	0,00	2,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2017	0,00	0,00	0,00	0,00	35,16	39,62	71,94	26,72	1,51	0,01	0,00	0,00
2016	3,44	3,44	0,00	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2015	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2014	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2013	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2012	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2011	1,01	0,00	0,00	0,00	50,32	4,59	1,51	9,32	0,00	5,00	0,00	0,00
2010	0,00	0,00	0,00	72,00	0,00	74,33	50,32	8,28	0,00	0,00	0,00	0,00
2009	0,00	0,00	0,00	8,79	336,49	105,69	37,85	25,19	3,06	0,00	0,00	0,00
2008	0,00	0,00	34,28	125,95	253,42	18,36	18,72	9,86	0,00	0,00	0,00	0,00
2007	0,00	46,34	188,23	0,00	3,42	0,00	0,13	5,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2006	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	80,70	69,73	4,10	0,11	0,00	0,00	0,00
2005	0,00	10,41	4,19	1,17	69,73	54,79	34,96	24,29	18,08	0,00	0,00	0,00
2004	185,19	142,10	0,00	0,00	0,00	10,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2003	0,03	0,03	0,04	0,03	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00
2002	13,25	45,38	1,83	0,34	0,00	0,00	0,26	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
2001	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	0,17	0,00	0,00	0,00
2000	5,27	22,87	8,47	6,09	0,77	0,26	0,12	0,67	0,05	0,00	0,00	1,68
1999	0,00	0,00	6,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54
1998	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1997	12,28	1,54	69,94	19,75	47,49	9,83	13,59	7,71	0,87	0,00	0,00	0,00
1996	0,00	0,00	0,00	6,36	16,18	19,05	4,16	16,49	4,44	0,17	11,73	0,16
1995	0,00	0,00	0,00	2,34	2,73	0,51	0,40	0,19	0,00	0,00	6,01	0,24
1994	0,00	53,52	102,08	22,25	15,58	89,37	9,23	6,36	0,47	0,01	0,00	0,00
1993	51,54	107,27	64,89	126,21	3,40	0,63	1,11	0,72	0,47	0,16	0,00	0,00
1992	0,00	0,00	22,25	0,14	0,00	0,16	0,00	15,58	0,67	0,07	0,00	0,00
1991	0,00	0,00	22,25	0,14	0,00	0,16	0,00	15,58	0,67	0,07	0,00	0,00
1990	8,25	17,99	1,51	0,00	2,06	0,26	1,17	0,93	0,17	0,00	0,00	0,21
1989	1,05	0,00	0,00	78,61	128,57	80,34	229,10	21,15	15,58	0,00	0,00	0,00
1988	0,87	0,00	37,52	22,10	32,27	44,13	108,33	14,16	2,06	0,00	0,00	96,08
1987	0,00	0,00	0,47	0,99	1,11	0,00	11,50	1,88	0,19	0,00	0,00	-
1986	0,00	0,26	16,09	22,35	58,39	0,00	24,63	4,91	5,52	0,00	0,00	0,00
1985	0,00	21,11	79,48	213,77	50,19	18,28	5,50	12,20	1,46	0,19	0,07	0,00
1984	0,00	0,00	13,68	95,10	29,82	6,20	10,48	3,20	3,74	0,05	0,00	0,00
1983	0,00	52,65	4,84	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1982	0,00	0,00	0,00	102,08	99,05	7,76	2,37	1,62	0,34	0,06	0,00	0,00
1981	0,01	4,35	6,20	1,70	0,03	0,04	0,87	0,03	0,05	0,08	8,33	3,07
1980	22,10	1,46	11,50	1,54	5,96	0,99	2,17	1,70	0,24	0,01	0,01	0,40
1979	22,10	1,46	11,50	1,54	5,96	0,99	2,17	1,70	0,24	0,01	0,01	0,40
1978	1,79	70,79	525,18	57,77	163,14	36,16	21,11	15,27	2,94	2,07	0,11	5,06
1977	0,00	4,04	4,84	5,18	34,44	36,57	51,00	20,14	2,27	0,77	0,17	1,70

	Falha na medição não preenchida
	Vazão zero
	Possui vazão maior que zero
	Período sem medição de dados
	Outliers excluídos para atingir a correlação aceitável
	Preenchido