

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LETÍCIA CRISTINA OLIVEIRA PEREIRA

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS DE TRECHOS DO MÉDIO
PARAÍBA DO SUL DEVIDO AOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

BELO HORIZONTE

2023

LETÍCIA CRISTINA OLIVEIRA PEREIRA

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS DE TRECHOS DO MÉDIO
PARAÍBA DO SUL DEVIDO AOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil do
Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Civil.**

**Orientadora: Prof^a. Dr^a. Hersília de Andrade
e Santos**

BELO HORIZONTE

2023

P436a Pereira, Leticia Cristina Oliveira
Avaliação das alterações hidrológicas de trechos do médio Paraíba do Sul devido aos impactos das mudanças climáticas / Leticia Cristina Oliveira Pereira. – 2023.
88 f. : il., gráfs, tabs.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Civil.
Orientadora: Hersília de Andrade e Santos.
Bibliografia: f. 79-88.
Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil.

1. Hidrologia – Paraíba do Sul, Rio, Bacia – Teses. 2. Mudanças climáticas – Teses. 3. Escoamento – Teses. 4. Solo – Uso – Teses. I. Santos, Hersília de Andrade e. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Civil. III. Título.

CDD 627.1081

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LETÍCIA CRISTINA OLIVEIRA PEREIRA

**AVALIAÇÃO DAS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS DE TRECHOS DO MÉDIO
PARAÍBA DO SUL DEVIDO AOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Proposta de Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil do Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como requisito
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **HERSILIA DE ANDRADE E SANTOS**
Data: 12/12/2023 15:29:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Hersília Santos
Departamento de Engenharia Civil, CEFET-MG

Documento assinado digitalmente
 **ROGERIO CABRAL DE AZEVEDO**
Data: 13/12/2023 08:47:45-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rogério Cabral de Azevedo
Departamento de Engenharia Civil, CEFET-MG

Documento assinado digitalmente
 **LAURA MELO VIEIRA SOARES**
Data: 14/12/2023 07:03:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Laura Melo Vieira Soares
Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, UFMG

Documento assinado digitalmente
 **CARLOS DE OLIVEIRA GALVAO**
Data: 12/12/2023 20:31:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão
UFCG

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Georgete e José Geraldo, por todo amor, suporte, carinho, paciência e compreensão durante toda a minha jornada acadêmica.

Ao meu namorado João Victor, por estar ao meu lado, me apoiando e me incentivando durante a realização deste trabalho.

À professora Hersília Santos pela dedicação, paciência, ensinamentos e orientação não somente na realização desta dissertação, mas também durante toda minha caminhada acadêmica no CEFET-MG.

Aos membros da banca de qualificação Prof. Dr. Carlos Galvão, Prof. Dr. Rogério Cabral e Profa. Msc. Isabela Labarrère pelas importantes considerações.

À banca de defesa de dissertação, Prof. Dr. Carlos Galvão, Prof. Dr. Rogério Cabral e Dra. Laura Soares pela aceitação do convite de participação e dedicação.

Ao CEFET-MG e aos professores por toda contribuição científica e acadêmica.

Ao Professor Caio Mello e à aluna de iniciação científica, Clara Ventura, por toda contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro através da bolsa estudantil e do projeto “Vazão ecológico para trecho da bacia do Paraíba do Sul: uma abordagem com multivariáveis biológicas” (processo número APQ-01145-15).

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Brasil (CAPES), Código Financeiro 001, pelo financiamento parcial deste trabalho.

Por fim, aos meus amigos que estiveram ao meu lado tornando essa etapa da minha vida mais divertida.

RESUMO

Os recursos hídricos são indispensáveis para diversas atividades antrópicas. Ao longo dos últimos anos, a disponibilidade das águas superficiais tem sofrido alterações em função de mudanças no uso e solo das bacias hidrográficas. O conhecimento das alterações do regime de vazões de um curso d'água, bem como as causas que as provocaram, são importantes para manutenção dos ecossistemas aquáticos, bem como para preservação dos serviços ambientais prestados pelos corpos d'água. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a existência de relação entre as alterações climáticas, verificadas por meio da pluviosidade, e alterações hidrológicas em afluentes do Paraíba do Sul, importante bacia do Sudeste brasileiro, empregando métodos estatísticos. Esses compararam séries de dados hidrológicos de 20 anos definidas nos períodos de 1955-1975 e 2001-2021. Um aumento na pluviosidade foi identificado na bacia do Rio Preto, que também apresentou alteração no seu regime de vazões, indicado por índices de magnitude, frequência e taxa de mudanças, de diferentes formas ao longo do seu curso. O comportamento desses índices indica uma provável relação do escoamento superficial das regiões de cabeceira com efeitos das alterações climáticas enquanto que as vazões das regiões mais a jusante estão sob o efeito de alterações no uso e ocupação do solo. Dessa forma, ações futuras de gestão de recursos hídricos podem priorizar estratégias que minimizem a ou as principais fontes de alteração do regime de vazões, necessário para manutenção da integridade desse ecossistema, de forma a garantir seu uso permanente de maneira ecológica, social e economicamente viável.

Palavras-chave: Alterações hidrológicas; Mudanças climáticas; Regimes de Vazão; Uso e Ocupação do Solo.

ABSTRACT

Water resources are indispensable for many human activities. Over the last few years, the availability of surface water has changed due to changes in the use and soil of watersheds. Understanding the changes in the flow regime, as well as their causes, is important for maintaining aquatic ecosystem and the services they provide. Thus, the objective of this work was to evaluate the existence of a relation between climate changes, verified through rainfall, and hydrological changes in tributaries of Paraíba do Sul, an important basin in the Brazilian Southeast, using statistical methods. These compared 20-year hydrological data series defined in the periods 1955-1975 and 2001-2021. An increase in rainfall was identified in the Preto River sub-basin, which also showed changes in its flow regime, indicated by indices of magnitude, frequency and rate of change, in different ways along its course. The behavior of these indices indicates a probable relation between surface runoff from headwater regions and the effects of climate change, while flows from more downstream regions are under the effect of changes in land use and occupation. Thus, future water resource management actions can prioritize strategies that minimize the main sources of alteration in the flow regime, necessary for maintaining the integrity of this ecosystem, in order to guarantee its permanent use in an ecologically, socially and economically viable way.

Keywords: Hydrological alteration; Climate changes; Flow Regimes; Land Use.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico de análise das causas de alterações estudadas pelos artigos do portfólio	21
Figura 2 – Definições de eco-excedente e eco-déficit na curva de duração de vazão	30
Figura 3 – Gráfico de quantidade de estudos do portfólio bibliográfico realizados por localidade	34
Figura 4 – Fluxograma geral de atividades da pesquisa	42
Figura 5 – Hidrografia da bacia do rio Paraíba do Sul.....	43
Figura 6 – Localização das estações fluviométricas inicialmente analisadas	45
Figura 7 – Localização das estações fluviométricas e pluviométricas estudadas.	48
Figura 8 – Passos para aplicação da Metodologia IHA.....	49
Figura 9 – Recorte de tela do software IHA	51
Figura 10 – Gráfico das métricas de RVA com elevado grau de alteração para os grupos 1 e 2 da estação fluviométrica de Manuel Duarte	57
Figura 11 – Gráfico das métricas de RVA com elevado grau de alteração para o grupo 5 da estação fluviométrica de Manuel Duarte	58
Figura 12 – Gráfico das métricas de RVA com elevado grau de alteração para os grupos 1, 2 e da estação fluviométrica de Rio Preto	61
Figura 13 – Gráfico da métrica de RVA com elevado grau de alteração para os grupos 2 da estação fluviométrica de Sobraji.....	64
Figura 14 – Gráfico da métrica de RVA com elevado grau de alteração para os grupos 2 da estação fluviométrica Visconde de Mauá	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Artigos selecionados para o portfólio final	18
Tabela 2 – Métricas de IHA para a estação de Manuel Duarte (58585000).....	56
Tabela 3 – Métricas de RVA para a estação de Manuel Duarte (58585000)	58
Tabela 4 – Métricas de IHA para a estação de Rio Preto (58550001)	60
Tabela 5 – Métricas de RVA para a estação de Rio Preto (58550001).....	62
Tabela 6 – Métricas de IHA para a estação de Sobraji (58520000)	63
Tabela 7 – Métricas de RVA para a estação de Sobraji (58520000).....	65
Tabela 8 – Métricas de IHA para a estação de Visconde de Mauá (58525000)	67
Tabela 9 – Métricas de RVA para a estação de Visconde de Mauá (58525000)	68
Tabela 10 – Resumo dos resultados com alto grau de alteração hidrológica das estações estudadas	70
Tabela 11 – Teste estatístico de Mann-Kendall para estações fluviométricas (p <0,05 foi considerado estatisticamente significativo em cinza)	72
Tabela 12 – Resumo dos resultados obtidos através do teste estatístico de Mann- Kendall para estações pluviométricas (p <0,05 foi considerado estatisticamente significativo em cinza)	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Parâmetros hidrológicos para determinação dos IHA	28
Quadro 2 – Resumo das estações fluviométricas disponíveis	46
Quadro 3 – Resumo de dados das estações fluviométricas selecionadas.....	47
Quadro 4 – Resumo das estações pluviométricas disponíveis	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

FDC – Curva de Duração de Vazão

HMA – Abordagem de Correspondência de Histograma

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IHA – Indicadores de Alterações Hidrológicas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

ONU – Organização das Nações Unidas

RHN – Rede Hidrometeorológica Nacional

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. PERGUNTA DE PESQUISA.....	12
1.2. OBJETIVO GERAL	12
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
1.4. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	13
1.5. RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1. AÇÕES GLOBAIS PARA A MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS....	15
2.1.1. Acordo de Paris	15
2.1.2. IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima)	16
2.2. PROCESSO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA.....	16
2.3. CONTEXTUALIZAÇÃO: AS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS E SEUS IMPACTOS	19
2.4. CAUSAS DE ALTERAÇÕES Hidrológicas.....	20
2.4.1. Mudanças climáticas.....	20
2.4.2. Uso e ocupação do solo	25
2.5. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO E RELAÇÃO DE ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS	27
2.5.1. Principais metodologias identificadas	28
2.5.1.1. Indicadores de Alteração Hidrológica (IHA) e Abordagem de Faixa de Variabilidade (RVA).....	28
2.5.1.2. Métricas de Eco-vazão	29
2.5.1.3. Teste de Mann-Kendall.....	30
2.5.2. Estado da arte.....	32
2.6. LOCALIDADE DE REALIZAÇÃO DOS ESTUDOS	33
2.7. PARÂMETROS HIDROLÓGICOS AVALIADOS.....	35
2.8. PRINCIPAIS PARÂMETROS HIDROLÓGICOS ALTERADOS	36
2.9. ESTUDOS BRASILEIROS	39
3. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS	41
3.1. MÉTODO DE ABORDAGEM.....	41
3.2. MÉTODO DE PROCEDIMENTOS.....	41
3.2.1. Fluxograma da pesquisa.....	42
3.2.2. Área de estudo.....	43

3.2.3.	Coleta e seleção dos dados hidrológicos.....	44
3.2.3.1.	Introdução à ferramenta de obtenção dos dados	44
3.2.3.2.	Determinação e coleta dos dados necessários para a pesquisa	45
3.2.4.	Metodologia IHA (Indicadores de Alteração Hidrológica) e RVA (Abordagem de Faixa de Variabilidade)	48
3.2.4.1.	Etapas para aplicação da metodologia	48
3.2.4.2.	Indicadores de Alteração Hidrológica – O Software.....	50
3.2.5.	Teste estatístico de Mann-Kendall.....	52
3.2.6.	Relação dos resultados obtidos com a respectiva causa	54
3.2.7.	Análise dos resultados obtidos	54
4.	RESULTADOS	55
4.1.	RESULTADOS IHA	55
4.1.1.	Resultados Estação Manuel Duarte (58585000)	55
4.1.2.	Resultados Estação Rio Preto (58550001)	59
4.1.3.	Resultados Estação Sobraji (58520000).....	63
4.1.4.	Resultados Estação Visconde de Mauá (58525000)	66
4.1.5.	Índices de RVA altamente alterados.....	69
4.2.	COMPARAÇÃO POR MANN-KENDALL	71
4.2.1.	Dados fluviométricos.....	71
4.2.2.	Dados pluviométricos.....	72
5.	DISCUSSÃO	73
6.	CONCLUSÃO	77
6.1.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	77
	REFERÊNCIAS.....	79

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos se relacionam com diversas utilidades indispensáveis para os seres humanos. Dentre estes, podem-se ressaltar: a preservação da saúde pública, o desenvolvimento econômico, as atividades de lazer e a manutenção do equilíbrio ambiental. É de grande importância salientar que o equilíbrio entre o uso da água e a conservação de seus aspectos naturais possibilita o seu uso permanente nos dias atuais e no futuro (BENETTI; LANNA; COBALCHINI, 2003). Sendo assim, entender sobre a disponibilidade das águas superficiais promove um senso crítico sobre o uso correto e consciente dos recursos hídricos de forma a suprir as necessidades para fins antrópicos e manter os recursos para manutenção dos ecossistemas (PUMO *et al.*, 2016).

As mudanças nos regimes de vazão podem representar uma ameaça aos ecossistemas e espécies aquáticas destes ambientes, visto que, a vazão consiste no principal determinador do habitat físico em ecossistemas lóticos, que se tratam daqueles ecossistemas que são caracterizados pelo fluxo constante de água, tais como rios, córregos e riachos. Além disso, os organismos presentes nestes ambientes criam estratégias para sobreviver nestes locais tendo como referência o regime hidrológico natural (BUNN; ARTHINGTON, 2002; POFF *et al.*, 1997).

Desta forma, a gestão de corpos hídricos não se concentra apenas no volume total de escoamento, mas também em seu regime de vazão, que vem sendo um importante aspecto de análise para profissionais da área ecológica e também da engenharia desde a década de 1990 (YIN; YANG; PETTS, 2011).

Os estudos a respeito do regime de vazão nas bacias hidrográficas possuem grande importância principalmente no que se refere à gestão das bacias hidrográficas e ao uso contínuo e sustentável dos recursos hídricos (PUMO *et al.*, 2016). Neste sentido, as alterações nos regimes de vazão dentro do contexto de mudanças climáticas e atividades humanas são de extrema relevância do ponto de vista hidrológico (YIN; YANG; PETTS, 2011).

As mudanças climáticas e as atividades humanas podem ser consideradas como os principais fatores responsáveis pelas alterações dos regimes de vazão dos rios. As atividades antrópicas, tais como a construção de barragens e a utilização da água dos rios para atividades tais como, consumo, irrigação e indústria, alteram

diretamente os regimes de vazões (F. MARTÍNEZ-CAPEL; L. GARCÍA-LÓPEZ; M. BEYER, 2017; MA *et al.*, 2014).

Portanto, pode-se afirmar que os efeitos das mudanças climáticas e das atividades humanas estão frequentemente associados às alterações hidrológicas de bacias hidrográficas, sendo um desafio a identificação e diferenciação dos efeitos provocados por cada agente (MA *et al.*, 2014). Porém, para que seja possível realizar um entendimento completo e uma análise das alterações hidrológicas, possibilitando assim, a garantia do desenvolvimento sustentável, é de grande importância compreender as alterações provocadas devido a cada fator, seja ele devido a ações antrópicas ou devido às mudanças climáticas (CUI *et al.*, 2020).

Sabe-se que a restauração de ecossistemas representa um interesse mundial, porém, com o esperado aumento do uso do solo, é previsto que os sistemas hídricos e as questões associadas a estes recursos sofram diversas alterações ao longo do tempo (WALSH *et al.*, 2005). Diversos estudos desenvolvidos nos últimos anos vêm buscando diferenciar de forma quantitativa as contribuições referentes às mudanças climáticas e às atividades humanas, e em alguns casos a influência combinada das duas causas para as alterações de vazão (LIU *et al.*, 2017).

A análise do portfólio bibliográfico definido para este trabalho apresentou que pesquisas nesta área vêm sendo elaboradas em todo mundo, demonstrando assim, a grande relevância deste assunto para a gestão dos recursos hídricos. Porém, verificam-se maiores concentrações dos estudos em algumas localidades específicas, como China e Estados Unidos.

Desta forma, faz-se possível realizar uma gestão e um reestabelecimento dos ecossistemas impactados pelas ações humanas, conforme descrito por Kaushal, Gold e Mayer (2017), que ainda especifica de forma mais detalhada como pode ser realizado este reestabelecimento, dentre os quais se destacam: a) a avaliação da gravidade das alterações conforme o estágio em que se encontram, b) a antecipação ou a previsão do diagnóstico da quantidade ou qualidade da água ao longo do tempo, c) a busca pela melhoria constante do monitoramento dos recursos hídricos disponíveis e d) a verificação das intervenções de restauração destes recursos ao longo do tempo.

Neste sentido, realizar o acompanhamento da crise global de água colabora para o diagnóstico de uma possível síndrome global que afete a quantidade de água

disponível, assim como sua qualidade (WALSH *et al.*, 2005).

Para esta pesquisa, serão analisadas as alterações hidrológicas referentes ao Médio Paraíba do Sul. A bacia do rio Paraíba do Sul possui grande relevância hidrológica para o país, sendo importante destacar o sistema Paraíba do Sul e Guandu, que é o sistema destinado ao fornecimento de energia e água à capital do estado do Rio de Janeiro (ANA, 2022a).

No que se refere às metodologias adotadas neste trabalho, foram utilizados métodos estatísticos estruturados e reconhecidos que possibilitassem o cálculo de parâmetros hidrológicos capazes de quantificar as alterações hidrológicas sofridas pela área de estudo, assim como estatísticas capazes de verificar a alteração de tendência de dados fluviométricos e pluviométricos. Neste sentido, a metodologia proposta por Richter *et al.* (1996) e denominada de Indicadores de Alterações Hidrológicas (IHA) se apresenta como uma alternativa capaz de atender de forma satisfatória as pretensões desta pesquisa no que se refere à quantificação das alterações hidrológicas, visto que realiza o cálculo de 33 parâmetros que são classificados em cinco classes conforme diferentes aspectos dos regimes de vazão (RICHTER *et al.*, 1996). Já com relação à avaliação da variação de tendência de dados de vazão e pluviométricos utilizou-se o teste estatístico de Mann-Kendall definido por Sneyers (1975).

1.1. PERGUNTA DE PESQUISA

No presente trabalho, pretende-se responder a seguinte pergunta de pesquisa: Existe relação entre alterações climáticas, avaliadas por meio da pluviosidade, e alterações hidrológicas em afluentes do Paraíba do Sul, avaliadas por meio IHA/RVA?

1.2. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi avaliar a existência de relação entre as alterações climáticas, avaliadas por meio da pluviosidade, e alterações hidrológicas em afluentes do Paraíba do Sul, empregando métodos estatísticos que comparam séries de dados hidrológicos de 20 anos definidas nos períodos mais antigo e recentemente monitorados.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desta pesquisa estão descritos a seguir:

- Avaliar por métodos estatísticos a existência de alterações pluviométricas e alterações hidrológicas em trechos de rio do Médio Paraíba do Sul;
- Verificar a existência de relação entre as possíveis alterações pluviométricas e alterações hidrológicas em trechos de rio do Médio Paraíba do Sul.

1.4. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

As alterações nos regimes de vazão no que se refere às mudanças climáticas e as atividades humanas são de extrema importância para os estudos hidrológicos em um contexto global. Conforme já descrito previamente, para uma gestão fluvial eficiente, é necessário o estudo dos regimes de vazão e não apenas de um volume total de escoamento, sendo esta uma pauta em constante estudo para os profissionais desta área desde década de 1990 (RICHTER *et al.*, 1996).

As duas principais causas responsáveis pelas mudanças nos regimes de vazão consistem nas mudanças climáticas e atividades antrópicas, tais como construção de barragens e captação de água, conforme descrito por Ma *et al.* (2014). Assim como os impactos das ações humanas, as mudanças climáticas provocam alterações nos ciclos hidrológicos de forma a alterar o fluxo natural, provocando aumentos na temperatura que geram crescimentos diretos na evaporação e alteram as taxas de transpiração da vegetação, e reduzindo assim os escoamentos (BATES *et al.*, 2008).

Desta forma, pode-se afirmar que o regime de vazão natural de um rio consiste em uma peça determinante para definição da biodiversidade aquática, por exemplo, os eventos de secas e eventos de baixo fluxo podem influenciar de forma a reduzir a disponibilidade de habitat; alguns eventos de vazão podem levar a dispersão de organismos aquáticos e no caso de ocorrência de outros eventos pode haver o acesso a habitats que anteriormente não estavam conectados. Sendo assim, pode-se concluir que as modificações na forma do uso do solo com o passar do tempo, assim como o aumento do uso dos recursos hídricos provocam mudanças em variados aspectos do regime de vazão, podendo significar declínios na biodiversidade aquática (BUNN; ARTHINGTON, 2002).

Conforme mencionado anteriormente, a área de estudo selecionada para o desenvolvimento desta pesquisa foi o médio trecho da bacia do rio Paraíba do Sul. A bacia do rio Paraíba do Sul consiste em uma das áreas com maior demanda de água do Brasil. Esta bacia possui grande relevância no cenário brasileiro visto que recebe o aporte de bacias contribuintes de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro e é a bacia responsável pelo abastecimento de aproximadamente 90% da cidade do Rio de Janeiro, atendendo também as demandas de regiões industriais de São Paulo (CEIVAP, 2018).

Portanto, é possível afirmar que o estudo das alterações hidrológicas devido às mudanças climáticas na região do Médio Paraíba do Sul é de extrema importância visto que essas alterações influenciam diretamente no regime de vazão que está associado a manutenção da biodiversidade ambiental da região assim como à manutenção dos recursos hídricos para um uso sustentável e contínuo.

1.5. RESTRIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Dentre as restrições e limitações identificadas na pesquisa podemos destacar as seguintes:

- A disponibilidade de estações fluviométricas que fornecem os dados de vazões diárias necessários é limitada, influenciando assim, de forma direta na obtenção dos parâmetros e análise dos dados;
- Foram adotadas estações pluviométricas localizadas nas proximidades das estações fluviométricas e adotada a suposição que essas representam bem a pluviosidade da área de contribuição para a estação fluviométrica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No presente item serão apresentados os principais conceitos, estudos realizados a respeito do assunto, assim como as conclusões obtidas através do estudo desses trabalhos. Para obtenção das informações a seguir foram realizadas pesquisas em artigos científicos e documentos técnicos, assim como feita uma revisão sistemática da literatura que permitiu a avaliação do estado da arte desta pesquisa.

Inicialmente será exposta uma breve contextualização a respeito de ações globais para mitigação do avanço das mudanças climáticas. Na sequência, será demonstrada de forma simplificada, o processo de revisão sistemática de literatura utilizada, visando demonstrar os passos realizados para obtenção do portfólio final de artigos, assim como a definição dos aspectos considerados como mais relevantes e designados como focos de análise dos artigos do portfólio.

2.1. AÇÕES GLOBAIS PARA A MITIGAÇÃO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Conhecer as ações mundiais a respeito das alterações climáticas é de grande relevância para o entendimento da atuação da gestão pública nas decisões necessárias para mitigar os impactos prejudiciais à saúde ambiental e social global. Desta forma, neste item, serão apresentadas, a título de referência, ações com o objetivo de evidenciar e estabelecer as atividades necessárias para controle e/ou redução dos impactos de mudanças climáticas.

2.1.1. Acordo de Paris

O Acordo de Paris consiste em um acordo mundial destinado a estabelecer medidas de redução de emissão do Dióxido de Carbono, no intuito de assim promover a diminuição do aquecimento global. O Acordo de Paris foi instituído em dezembro de 2015, e visava à adoção de respostas ágeis e progressivas para mitigação do avanço das mudanças climáticas com o apoio científico e ação dos poderes públicos de diversos países. Dentre as ações, pode-se destacar o compromisso de manutenção da variação da temperatura média mundial inferior a 2°C (MCTIC, 2015; NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2015).

2.1.2. IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima)

O IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima) foi concebido visando prover informações a respeito das mudanças climáticas à gestão pública, de forma que esta possa estabelecer medidas atenuantes. O IPCC foi instituído pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e pela Organização Meteorológica Mundial no ano de 1988 e emite avaliações a respeito das mudanças climáticas, de forma a identificar onde se localizam as lacunas do conhecimento (MCTIC, 2021; NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2023).

Desta forma, o IPCC emite relatórios técnicos que oferecem informações a respeito dos impactos causados pela mudança global do clima. O Relatório Síntese sobre Mudança Climática 2023 reportou que os desastres naturais associados às mudanças climáticas estão afetando classes sociais mais baixas. Além disso, o relatório destaca que a temperatura média aumentou aproximadamente 1°C, o que pode refletir na ocorrência dos eventos climáticos (MCTIC, 2021; NAÇÕES UNIDAS BRASIL, 2023).

2.2. PROCESSO DE REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

No presente trabalho, visando evitar uma percepção subjetiva a respeito do tema, optou-se pela realização de uma revisão sistemática, conforme realizado por diversos autores (AFONSO *et al.*, 2012; DUTRA *et al.*, 2015; ENSSLIN *et al.*, 2015). De acordo com Afonso *et al.* (2012) o processo de revisão sistemática utilizada é dividido em quatro etapas: a seleção do portfólio bibliográfico que constituirá a revisão de literatura; a análise bibliométrica deste portfólio; a análise sistêmica do portfólio e a elaboração dos objetivos de pesquisa. Desta forma, com a escolha deste método pretendeu-se obter resultados consistentes e replicáveis, que compreendam estudos publicados relevantes para pesquisa e que representem o estado da arte de forma a evitar determinadas tendências de linhas de pesquisas.

Iniciou-se o processo de revisão sistemática através da etapa de seleção do portfólio bibliográfico, partindo da definição dos eixos de pesquisa e das palavras-chave. As palavras-chave finais definidas após a verificação da aderência destas palavras com o tema foram: hydrologic alteration; hydrologic modification; flow alteration; land use e climate change. No que se refere às bases de dados, foram

escolhidas aquelas que possuíam significativo reconhecimento e melhores resultados de artigos no aspecto da quantidade, sendo elas: ScienceDirect; Scopus (Elsevier); ACS Journals.

Com relação ao marco temporal, para a seleção dos artigos foi determinada a delimitação temporal de 25 anos. O software Mendeley foi usado para a realização do gerenciamento e análise das referências. Utilizando-se o Mendeley, foi feita ainda a avaliação para eliminação de redundâncias provocadas pela existência de artigos duplicados. Na sequência, conforme proposto pelo método de revisão sistemática, foi feita a avaliação dos artigos conforme alinhamento do título com o tema de pesquisa.

A próxima etapa proposta pelo método consiste na avaliação dos artigos por meio do reconhecimento científico, porém, de forma a adotar uma posição mais conservadora, optou-se por seguir para a próxima etapa referente à análise do alinhamento do resumo com o tema de pesquisa.

Após a avaliação do alinhamento do resumo de cada artigo com o tema foram selecionados 81 artigos. Desta forma, optou-se por realizar a etapa de avaliação dos artigos por meio do reconhecimento científico, que havia sido desconsiderada anteriormente. Sendo assim, ao invés de realizada esta etapa sob a amostra de artigos alinhados com base no título, foi aplicada sob a amostra de artigos alinhados com base no resumo.

Para a avaliação do reconhecimento científico dos artigos com resumos alinhados foi utilizado o percentual de corte de 85%. Tendo sido identificado que o artigo com mais citações apresentava número muito destoante dos demais (2716 citações, correspondendo a seis vezes o número de citações do segundo artigo mais citado), este foi excluído da análise, não sendo considerado o seu número de citações no somatório. Desta forma, o somatório de citações foi de 3470 citações, sendo o limite inferior de corte de quantidade de citações do artigo correspondente a 25 citações.

Sendo assim, após a análise do reconhecimento científico realizada na amostra de artigos com resumo alinhado ao tema, foram selecionados 34 artigos. Para realização da validação final e obtenção do portfólio final, conforme o método de revisão sistemática adotado é necessário ler de forma integral os textos dos artigos científicos. Após esta etapa, os 34 artigos foram mantidos. Por fim, foram

adicionados outros quatro artigos considerados relevantes para a pesquisa que não foram contemplados através da pesquisa inicial. A Tabela 1 a seguir apresenta um resumo do processo de seleção dos artigos para o portfólio bibliográfico.

Tabela 1 - Artigos selecionados para o portfólio final

Artigos	Etapas do processo
3569	Extração dos artigos das bases de dados
1920	Eliminação de redundâncias (artigos duplicados)
294	Artigos com o título alinhado com o tema de pesquisa
81	Artigos com resumo alinhado com o tema de pesquisa
34	Artigos com reconhecimento científico (85%)
38	Artigos constituintes do portfólio final

Fonte: Elaborado pela autora.

Para realização da revisão sistemática, foram definidos alguns aspectos principais a serem avaliados nos trabalhos, de forma a identificar as informações mais relevantes que irão auxiliar e servir de embasamento teórico para o desenvolvimento futuro da presente pesquisa.

Desta forma, os principais aspectos verificados no portfólio consistiram em:

- a) identificar as causas das alterações hidrológicas;
- b) identificar as metodologias utilizadas tanto para a análise das alterações hidrológicas quanto para diferenciação dos impactos gerados por cada um dos agentes;
- c) identificar o país de realização de cada um dos estudos realizados;
- d) identificar e avaliar os parâmetros hidrológicos analisados em cada um dos trabalhos;
- e) identificar qual o parâmetro hidrológico foi mais influenciado pelas mudanças climáticas e ações humanas e qual a causa que promoveu essa alteração.

Estes aspectos destacados no parágrafo anterior serão apresentados nos tópicos a seguir de forma detalhada, porém, anteriormente, será realizada uma contextualização geral a respeito do tema de forma a apresentar conceitos relevantes para a pesquisa.

2.3. CONTEXTUALIZAÇÃO: AS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS E SEUS IMPACTOS

Conforme mencionado anteriormente, o regime de vazão natural de um rio é indispensável para definição da biodiversidade aquática. Desta forma, as modificações na forma do uso do solo com o passar do tempo assim como o aumento do uso dos recursos hídricos provocam mudanças em variados aspectos do regime de vazão, podendo significar em declínios na biodiversidade aquática (BUNN; ARTHINGTON, 2002).

Para que seja realizada uma gestão eficiente dos ecossistemas aquáticos é necessária uma caracterização dos regimes hidrológicos através de parâmetros hidrológicos que sejam biologicamente significativos. Além disso, os esforços relacionados à gestão do ecossistema devem ser entendidos como experimentos para avaliação da necessidade de manter ou recuperar as características naturais do regime hidrológico para manutenção da integridade do ecossistema (RICHTER *et al.*, 1996).

As vazões naturais são consideradas referências úteis, pois nestas vazões são criadas condições de habitat que possibilitam a manutenção da fauna nativa assim como à restauração de ecossistemas existentes anteriormente ao evento de alteração do sistema (BUNN; ARTHINGTON, 2002; POFF *et al.*, 1997; WALSH *et al.*, 2005). De acordo com Poff *et al.* (1997), um regime de vazão natural, do ponto de vista da ecohidrologia, consiste em uma continuidade de vazões que obedecem a algumas características do ecossistema no que se refere à: a) padrão sazonal de vazões; b) data Juliana ou tempo de eventos extremos; c) frequência e duração de inundações e secas; d) variabilidade de vazão sazonal e anual e e) taxas previstas de alteração nas vazões.

Tendo em vista o exposto anteriormente, as alterações hidrológicas e consequentemente os impactos nos ecossistemas envolvidos, é uma questão importante no que se refere à obtenção de um desenvolvimento sustentável. Neste sentido, é de extrema importância o estudo dessas modificações dos regimes de vazões e, então, o estabelecimento de indicadores adequados para a correta avaliação dos impactos (YANG *et al.*, 2017).

No item 2.3 será discutida a causa alvo de estudo deste trabalho, de forma a compreender como esta se relaciona com as alterações e o que estudos recentes demonstram a respeito dos impactos nas bacias hidrográficas em diversos pontos do mundo.

2.4. CAUSAS DE ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS

A causa de alteração hidrológica estudada no presente trabalho refere-se às mudanças climáticas. Importante ressaltar que não se pretende neste trabalho avaliar as alterações hidrológicas promovidas devido à existência de barragens. Desta forma, trechos que possuírem determinada influência do efeito de barragens não serão analisados.

Nos próximos itens serão apresentados conceitos importantes a respeito da causa alvo e também referente ao uso e ocupação do solo, assim como os aspectos mais relevantes dos trabalhos presentes no portfólio.

2.4.1. Mudanças climáticas

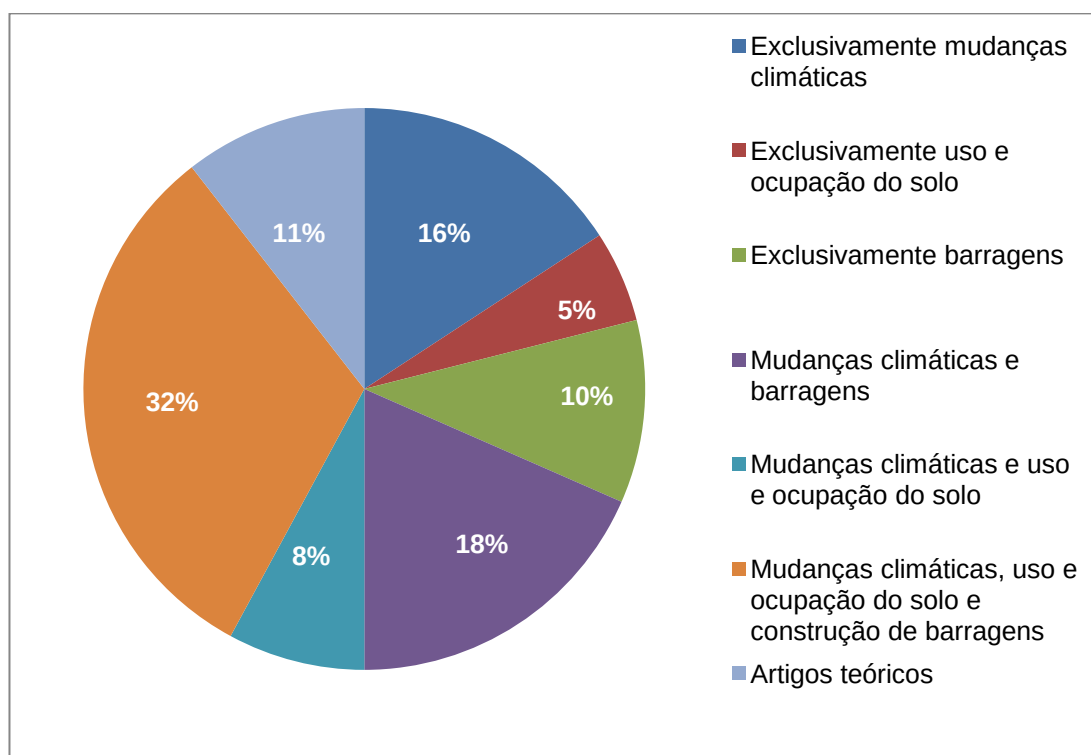
De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU, 2022), as mudanças climáticas são as mudanças nas temperaturas e padrões climáticos quando estas são verificadas em longo prazo. Estas mudanças podem ser naturais devido às alterações no ciclo solar ou causadas por atividades antrópicas como notado desde os anos de 1800, sendo esta última a principal causa e provocada principalmente devido à queima de combustíveis fósseis que gera as emissões de gases de efeito estufa.

Conforme descrito por Pumo *et al.* (2016), as mudanças climáticas provocam alterações nos regimes de vazão em escala mundial e este impacto vem sendo tema frequente de estudo por diversos pesquisadores, visto que, este impacto tende a provocar modificações na disponibilidade hídrica e ecossistemas ribeirinhos. Além disso, as condições climáticas e os parâmetros hidrológicos estão envolvidos em processos concorrentes, como na circunstância de concentrações elevadas de CO₂ atmosférico que gera impactos diretos na transpiração de plantas, provocando alterações da magnitude e sazonalidade das vazões nas bacias hidrográficas (LUO *et al.*, 2013).

Desta forma, sabendo-se da influência das mudanças climáticas nos regimes de vazão e sendo esta a causa alvo de análise do presente trabalho, o portfólio bibliográfico foi estudado de forma a identificar e avaliar os estudos recentes que analisaram os efeitos das mudanças climáticas nos processos hidrológicos de bacias hidrográficas em todo o mundo.

Como referência geral a respeito da avaliação do estado da arte realizada, dos 38 artigos componentes do portfólio final, conforme exposto na Figura 1 a seguir, 16% estudaram as alterações hidrológicas devido exclusivamente às mudanças climáticas; 5% estudaram exclusivamente as alterações hidrológicas devido ao uso e ocupação do solo e 10% dos artigos avaliaram apenas às ações provocadas por barragens. Além disso, 18% realizaram considerações devido às ações de mudanças climáticas e barragens, enquanto que 8% avaliaram devido à ação das mudanças climáticas e devido ao uso e ocupação do solo. Por fim, a grande maioria dos artigos realizaram análises considerando as três causas mencionadas (mudanças climáticas, uso e ocupação do solo e construção de barragens) e 11% dos artigos possuíam caráter teórico.

Figura 1 – Gráfico de análise das causas de alterações estudadas pelos artigos do portfólio



Fonte: Elaborado pela autora

Na sequência serão apresentados os principais apontamentos referentes ao estado da arte no que se refere aos estudos que avaliaram as alterações devido às mudanças climáticas, exclusivamente ou não. Conforme descrito anteriormente, estudos a respeito da influência das mudanças climáticas nas alterações hidrológicas foram realizados em várias regiões do mundo. Luo *et al.* (2013) realizou seu estudo nas cordilheiras costeiras do norte e oeste de Sierra Nevada, Califórnia, – que são importantes áreas de fontes de recursos hídricos –, de forma a quantificar os impactos das mudanças climáticas através de previsões de alterações futuras indicadas para o século 21. Na realização da pesquisa, Luo *et al.* (2013) verificou previsões de aumentos na precipitação e nas vazões durante os meses de inverno e uma redução durante os meses do verão, sendo que de uma forma geral, observou-se uma grande sensibilidade do ciclo hidrológico às mudanças de climas projetadas.

Outro estudo realizado nos Estados Unidos também avaliou as previsões futuras de precipitação e temperatura devido às ações das mudanças climáticas em uma bacia hidrográfica com grande importância para o abastecimento de água da cidade de Nova Iorque. Através da análise dos indicadores de alterações hidrológicas, identificou-se que o derretimento prematuro de neve provocou um aumento da magnitude da descarga no período do inverno e início da primavera, e também uma diminuição considerável da vazão mensal no mês de abril. Por fim, concluiu-se que as alterações verificadas nas vazões de pico, nos regimes de vazão sazonais e nas magnitudes de baixas vazões, podem influenciar os organismos aquáticos e impactar a ecologia dos riachos (PRADHANANG *et al.*, 2013).

As mudanças climáticas também foram avaliadas (por meio de previsões e dados reais) em pequenas bacias hidrográficas de regiões mediterrâneas no estudo realizado por Pumo *et al.* (2016) para verificação de forma quantitativa, das possíveis alterações nas curvas de duração de vazão. Os resultados obtidos mostraram que as alterações climáticas projetadas apresentaram diferentes resultados na hidrologia das bacias selecionadas da região de estudo, demonstrando, porém, de forma geral, uma diminuição considerável da vazão média anual e alteração na sazonalidade da vazão. Sendo assim, Pumo *et al.* (2016), concluiu que as modificações projetadas no regime hidrológico dos rios efêmeros podem significar questões consideráveis a serem avaliadas para a gestão dos

recursos hídricos e consequentemente para a sustentabilidade de ecossistemas ribeirinhos da região mediterrânea.

Já um estudo desenvolvido em Quebec, no Canadá, também indicou que as mudanças climáticas projetadas para os próximos anos impactarão os regimes hidrológicos nos afluentes de St. Lawrence, principalmente no que se refere à transformação dos regimes de neves para os regimes de chuva. Destaca-se neste trabalho, porém, uma necessidade de quantificar de forma mais assertiva as incertezas associadas ao modelo de projeção das variações climáticas, assim como analisar de forma mais cuidadosa os impactos hidrológicos provocados (BOYER *et al.*, 2010).

Avaliar as modificações futuras na vazão de toda a bacia do rio Danúbio por meio dos indicadores de vazão foi o objetivo do estudo de Stagl e Hattermann (2016). Neste sentido, além de realizar essa análise, com o resultado era pretendido identificar as regiões que teriam tendências a ter maiores alterações dentro de toda a bacia. Na realização deste estudo, foram simulados três cenários de aquecimento global futuros, em que foram analisados oito indicadores ecohidrológicos para avaliação intra-anual no regime de vazão.

Os resultados obtidos apontaram que as mudanças climáticas modificariam a vazão de forma variável conforme a região do rio avaliada, destacando os impactos sofridos pela região do Médio e Baixo da bacia do rio Danúbio. Os resultados obtidos também permitiram afirmar, que para dois dos três cenários de aquecimentos avaliados, o regime de vazão ecológico atual pode ser consideravelmente alterado, ocasionando impactos significativos aos ecossistemas regionais (STAGL; HATTERMANN, 2016)

Além das alterações identificadas nas diversas regiões mundiais, o estudo desenvolvido na Namíbia indicou que os cenários futuros de aquecimento global projetados resultariam nas reduções das vazões máximas na pior das hipóteses, o que implicaria, por exemplo, na diminuição dos habitats de desova de determinadas espécies (F. MARTÍNEZ-CAPEL; L. GARCÍA-LÓPEZ; M. BEYER, 2017).

Desta forma, ao analisar os trabalhos do portfólio que avaliaram apenas as alterações hidrológicas devido exclusivamente às mudanças climáticas faz-se possível afirmar que apesar de variável o tipo de alteração, sua ocorrência foi identificada em todas as situações apresentadas acima.

Porém, no caso de estudos que avaliaram as alterações hidrológicas provocadas por mais de um fator, é importante diferenciar os impactos gerados por cada causa, de forma a entender corretamente as informações para o gerenciamento correto dos recursos. Nestes casos, um dos desafios consiste na diferenciação dos impactos e correlação com sua correta causa.

Em seu estudo desenvolvido na bacia do rio Mekong, Li *et al.* (2017) utilizou de diversas metodologias para diferenciar e relacionar os impactos provocados no regime hidrológico gerados pelas mudanças climáticas já verificadas e a construção de barragens realizadas nos trechos de estudo. As metodologias utilizadas serão destacadas nos próximos itens, mas destacam-se inicialmente o uso do IHA (Indicadores de Alterações Hidrológicas), descrito por Richter *et al.* (1996) e também as Métricas de Eco-vazão introduzidas por Vogel *et al.* (2007).

Por meio de todos os métodos aplicados e dos dados obtidos, concluiu-se que: a) a construção e operação das barragens provoca decréscimos na magnitude da vazão nas estações chuvosas, porém aumenta a vazão durante o período de seca; b) as barragens provocaram impactos consideráveis na duração dos baixos pulsos; c) tendo em vista a avaliação com base em um período pré-impacto e um período pós-impacto, conforme previsto pela metodologia aplicada; durante o período de transição (1992-2009), as mudanças climáticas contribuíram com aproximadamente 82% das alterações de vazões, enquanto que as atividades antrópicas contribuíram com 62% das alterações totais no período pós-impacto (2010-2015) (LI *et al.*, 2017a).

Para analisar a alteração hidrológica no rio Kangsabati na Índia, devido à construção de barragens e também projetando as mudanças climáticas futuras, utilizou-se também a metodologia IHA (RICHTER *et al.*, 1996) para quantificação dos indicadores hidrológicos, assim como na pesquisa de Li *et al.* (2017) (MITTAL *et al.*, 2014).

Os resultados da pesquisa de Mittal *et al.* (2014) indicaram que após a construção da barragem houve um crescimento significativo em 127% das vazões mínimas de 30 dias, e também um crescimento das vazões mínimas de 90 dias. Com relação às vazões máximas de 1 e 90 dias, verificou-se uma redução nestes casos, devido ao armazenamento de grandes volume de água nas barragens existentes.

Já com relação aos impactos gerados pelas mudanças climáticas, estes foram avaliados de forma isolada (ou seja, sem a influência de barragens) considerando as simulações de projeções climáticas. Os principais resultados indicaram um aumento na vazão média mensal nos meses de inverno quando comparado ao período de controle e, além disso, indicaram que as máximas vazões são intensificadas nos meses de maio e agosto, podendo estar relacionada com o aumento de extremos de precipitação (MITTAL *et al.*, 2014).

Desta forma, os resultados indicam que as projeções previstas podem promover impactos no habitat aquático do rio Kangsabati, afetando assim a biota aquática. Além disso, Mittal *et al.* (2014) destaca também que os efeitos combinados das alterações de cada causa avaliada provocará uma redução da variabilidade das vazões, afetando assim, o ecossistema.

Sendo assim, tendo em vista as análises expostas, nota-se que o estudo das mudanças climáticas é indispensável para a compreensão da alteração dos fenômenos hidrológicos visto que os parâmetros são comumente modificados devido às ações provocadas por esta causa.

2.4.2. Uso e ocupação do solo

As alterações de superfícies assim como o estabelecimento de sistemas de drenagem de águas pluviais, provocam alterações na infiltração da precipitação que refletem no aumento da frequência, amplitude e gravidade das inundações, gerando, desta forma, impactos na hidrologia de corpos hídricos naturais (CORBETT *et al.*, 1997).

Neste sentido, Murdock *et al.* (2004) destaca a importância de se ter um grupo variado de profissionais de diversas áreas, como planejadores, engenheiros, biólogos e a própria comunidade para que sejam identificados os impactos da urbanização nos componentes físicos, químicos e biológicos de um corpo hídrico, assim como estabelecer diretrizes para uma gestão eficaz.

Conforme descrito por Archer (2007), as consequências das modificações do uso e ocupação do solo nas vazões de cheia dos rios já consistia em um objeto de interesse de pesquisas há alguns anos atrás. Porém, mesmo havendo indícios de que a forma com que o solo é utilizado influencia no escoamento, seus efeitos causados são difíceis de serem verificados principalmente devido à influência das

mudanças climáticas, conforme já foi mencionado anteriormente no presente trabalho.

Esta condição descrita no parágrafo anterior é verificada ao se realizar a análise do portfólio bibliográfico obtido. Identificou-se que apenas 5% dos artigos selecionados tratavam exclusivamente das alterações hidrológicas provocadas pelo uso e ocupação do solo; 8% tratavam dessas alterações devido ao uso e ocupação do solo e mudanças climáticas e 32% realizava uma avaliação dessas duas causas acrescentando também a análise devido à construção e/ou operação de barragens.

Mango *et al.* (2011) realizaram um estudo de avaliação conjunta das alterações hidrológicas provocadas pelo uso da terra e devido às mudanças climáticas. O trabalho foi realizado no alto rio Mara, no Quênia, através da determinação de cenários de ocupação do solo e previsões de mudanças de temperatura através do Relatório de Avaliação do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) de 2007. Para desenvolvimento foi estabelecido um modelo SWAT utilizado para analisar os impactos dos desmatamentos nos aspectos do balanço hídrico na sub-bacia Nyangores, sendo que uma parte considerável da floresta original de determinada Bacia já havia sido transformada em terras agrícolas. O estudo concluiu que qualquer tipo de transformação florestal adicional, independentemente de seu fim, era capaz de reduzir as vazões nas estações de seca e aumentar as vazões de pico, o que poderia provocar problemas sérios relacionados à escassez em períodos de seca e erosões em períodos molhados (MANGO *et al.*, 2011).

Já o estudo de Archer (2007) realizou uma análise da variabilidade da vazão considerando apenas a ação do uso do solo. Archer afirmou em seu estudo que este método se mostrou viável para detectar a influência das alterações de uso do solo em bacias hidrográficas de até 330 km², visto que possibilita a inspeção de alterações de vazão em um nível sub-diário através de uma faixa de limites de vazão, podendo dessa forma, refletir mudanças mais sutis. As conclusões do estudo evidenciaram uma maior variabilidade da vazão, especialmente no verão, e uma menor duração do hidrograma, principalmente no inverno.

O trabalho desenvolvido na bacia do Lago Urmia, no Irã, avaliou as alterações nos regimes de vazão devido às três causas prescritas anteriormente, ou seja, mudanças climáticas, uso e ocupação de solo e, presença e construção de

barragens. Os regimes de vazão foram avaliados nas estações a montante e a jusante em período anterior e posterior à construção de barragens e estabelecimento de sistemas de irrigação (FAZEL; TORABI HAGHIGHI; KLØVE, 2017). O estudo demonstrou que a irrigação foi a principal causa responsável pelas mudanças no regime de vazão dos rios na Bacia do lago. As estações próximas ao lago e as localizadas nas planícies adjacentes demonstraram maiores impactos devido à alteração do uso do solo do que as estações das cabeceiras, visto que essas não seriam muito influenciadas pela agricultura (FAZEL; TORABI HAGHIGHI; KLØVE, 2017).

Desta forma, verificamos que assim como as mudanças climáticas, em diversas situações, o uso e ocupação do solo também pode se apresentar como o principal agente de alterações dos regimes de vazões, ou seja, das alterações hidrológicas. Apesar de indicada a dificuldade de relação de cada alteração a sua respectiva causa, os artigos demonstraram a partir de diferentes métodos que existe a possibilidade de realizar essa relação. Os métodos considerados como os mais importantes identificados e utilizados nos artigos portfólio serão descritos no item a seguir.

2.5. METODOLOGIAS DE AVALIAÇÃO E RELAÇÃO DE ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS

Ao analisar os artigos, outro aspecto considerado como relevante a ser avaliado consistiu na identificação das metodologias aplicadas em duas situações: a) metodologias utilizadas para verificação e quantificação das alterações hidrológicas; b) metodologias para relacionar as alterações hidrológicas com suas respectivas causas, sendo as possibilidades de causa, as mudanças climáticas e/ou o uso e ocupação do solo, conforme descrito anteriormente.

Diversas foram as metodologias identificadas nos trinta e oito artigos componentes do portfólio final. Devido à relevância e predominância nos artigos estudados, podemos destacar as seguintes metodologias: Indicadores de Alteração Hidrológica (IHA) e Abordagem de Faixa de Variabilidade (RVA); Métricas de Eco-vazão e Teste de Mann-Kendall.

2.5.1. Principais metodologias identificadas

As principais metodologias destacadas no item anterior serão apresentadas a seguir de forma sucinta que permita entender suas características mais importantes.

2.5.1.1. Indicadores de Alteração Hidrológica (IHA) e Abordagem de Faixa de Variabilidade (RVA)

Os Indicadores de Alterações Hidrológicas (IHA) são uma metodologia hidrológica desenvolvida por Richter *et al.* (1996) e são compostos por indicadores utilizados para quantificação das alterações nos regimes de vazão que se baseiam em séries históricas de vazões médias diárias.

O IHA contém 33 parâmetros que são classificados nas cinco classes conforme a seguir: 1) Classe 1: magnitude das vazões mensais; 2) Classe 2: magnitude e duração dos eventos extremos anuais; 3) Classe 3: eventos anuais extremos; 4) Classe 4: frequência e duração de altos e baixos pulsos; 5) Classe 5: taxa de mudança/frequência das condições de alteração da vazão (RICHTER *et al.*, 1996). As classes e seus parâmetros relacionados estão apresentados no Quadro 1 a seguir:

Quadro 1 - Parâmetros hidrológicos para determinação dos IHA

GRUPOS	Características do Regime	Parâmetros hidrológicos
GRUPO 1 - Magnitude das Condições Mensais (12 parâmetros)	Magnitude	Vazão Média de Cada um dos Meses do Ano
GRUPO 2 - Duração e Magnitude dos Eventos Extremos Anuais (12 parâmetros)	Duração da magnitude	Vazão Mínima Anual de 1, 3, 7, 30 e 90 Dias
		Vazão Máxima Anual de 1, 3, 7, 30 e 90 Dias
		Número de Dias com Fluxo Zero
		Taxa de Fluxo de Base
GRUPO 3 - Eventos Extremos Anuais (Periodicidade) (2 parâmetros)	Tempo	Data Juliana do Valor Mínimo de Cada Ano
		Data Juliana do Valor Máximo de Cada Ano
GRUPO 4 - Frequência e Duração de Altos e Baixos Pulsos (4 parâmetros)	Duração da frequência e da magnitude	Número de Baixos Pulsos no Ano
		Duração Média (em dias) dos Baixos Pulsos
		Número de Altos Pulsos no Ano
		Duração Média (em dias) dos Altos Pulsos
GRUPO 5 - Taxa de Mudança/Frequência das Condições de Alteração da Vazão (3 parâmetros)	Taxa de mudança/frequência	Média das Diferenças Positivas entre Dias Consecutivos
		Média das Diferenças Negativas entre Dias Consecutivos
		Número de Reversões

Fonte: Adaptado de Richter *et al.* (1996)

A metodologia IHA referencia-se pela análise comparativa de parâmetros e dados entre dois períodos de tempo. Desta forma, faz-se possível descrever estatisticamente como os padrões hidrológicos foram modificados para um determinado corpo hídrico, quanto a impactos antrópicos, como a construção de barragens, ou a mudanças de uso de solo e água (RICHTER *et al.*, 1996).

Já a Abordagem de Faixa de Variabilidade (RVA) também foi descrita por Richter *et al.* (1997) e utiliza o Método IHA em seus procedimentos. Para cada parâmetro RVA é estabelecido um cenário definido como referência e caso o parâmetro RVA consista no cenário de referência, considera-se que a alteração hidrológica é zero. O método RVA define ainda graus para quantificação da alteração hidrológica de cada indicador, sendo eles: 0-33% representa pouca ou nenhuma alteração (BAIXA); 34-67% representa alteração moderada (MÉDIA); e 68-100% representa um elevado grau de alteração (ALTA).

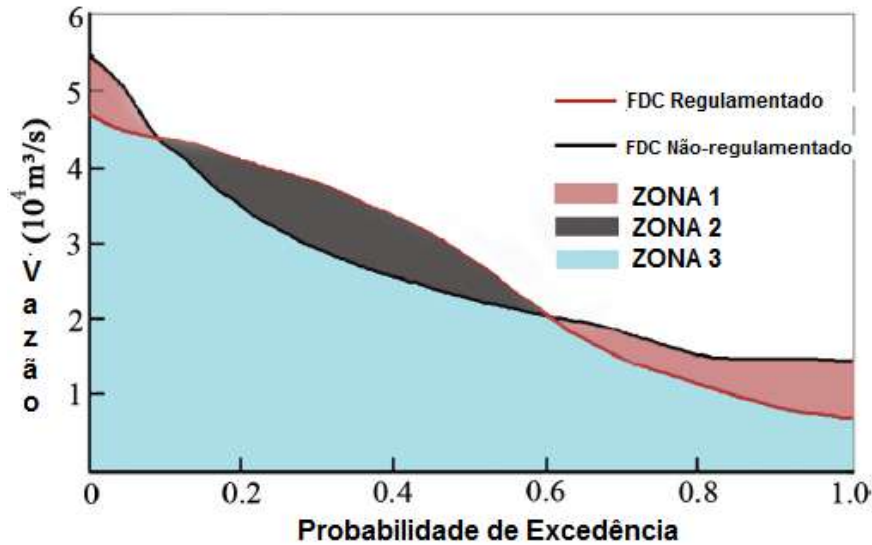
2.5.1.2. Métricas de Eco-vazão

Vogel *et al.* (2007) propuseram uma metodologia de avaliação dos regimes ecológicos de vazão a jusante de uma bacia hidrográfica através da definição de dois indicadores não dimensionais de eco-vazão: o eco-excedente e o eco-déficit. O método conhecido como Métricas de Eco-vazão realiza uma análise desses indicadores com base na Curva de Duração da Vazão (FDC).

A FDC se referencia em dados de séries de vazões diárias e pode refletir informações anuais ou sazonais. Esta curva define uma vazão (Q_i) em função de sua probabilidade de excedência equivalente a $p_i = i/(n + 1)$, em que i é a classificação e n é o número total de dias (LI *et al.*, 2017a; VOGEL *et al.*, 2007; ZHANG *et al.*, 2018).

Os indicadores, eco-excedente e eco-déficit, representam a perda ou ganho geral, no que se refere a um “cenário de referência” ou a um “pós-cenário” para qualquer período, conforme descrito anteriormente. A Figura 2 a seguir, apresenta o gráfico de FDC em que a linha preta indica o FDC não regulamentado referente ao “cenário de referência” e enquanto a linha vermelha representa o FDC regulamentado referente ao cenário pós-impacto (LI *et al.*, 2017a; VOGEL *et al.*, 2007).

Figura 2 – Definições de eco-excedente e eco-déficit na curva de duração de vazão



Fonte: Adaptado de Li *et al.* (2017)

A área abaixo do FDC não regulamentado e acima do FDC regulamentado (Zona 1) representa a quantidade de deficiência hídrica no ecossistema do corpo hídrico. Já a área abaixo do FDC regulamentado e acima do FDC não regulamentado (Zona 2) representa o quantidade de água excedente para os ecossistemas ribeirinhos (LI *et al.*, 2017a; VOGEL *et al.*, 2007).

A razão entre a área da Zona 1 e a área total sob o FDC não regulamentado (Zona 1 + Zona 3) é definido como o eco-déficit, conforme apresentado na Equação 1 a seguir, sendo que essa relação representa uma parte da vazão que não encontra-se mais disponível para o corpo hídrico em um determinado período. Por fim, pode-se afirmar que a razão entre a área da Zona 2 e as áreas das Zonas 1 e 3 é definido como o eco-excedente conforme apresentado na Equação 2 a seguir (LI *et al.*, 2017a; VOGEL *et al.*, 2007).

$$\text{Ecodéfict} = \frac{\text{Zona 1}}{\text{Zona 1} + \text{Zona 3}} \quad (1)$$

$$\text{Ecoexcedente} = \frac{\text{Zona 2}}{\text{Zona 1} + \text{Zona 3}} \quad (2)$$

2.5.1.3. Teste de Mann-Kendall

De uma forma geral, os períodos pré e pós-impacto são definidos de acordo com a separação de períodos de determinados anos, sendo que o ano de referência para

a divisão é obtido através do conhecimento de criação de uma perturbação do regime de vazão do rio (RICHTER *et al.*, 1996).

Porém, conforme já mencionado no decorrer deste texto, a avaliação combinada de atividades antrópicas e mudanças climática, promovem uma dificuldade na definição exata do ano de impacto, fazendo com que o ano de separação dos períodos não seja identificado de forma tão evidente. (YANG *et al.*, 2008). Neste sentido, o Teste de Mann-Kendall, que consiste em um método proposto por Sneyers (1975) para verificara existência de tendência em uma determinada série de dados, assim como identificar um ponto de interrupção em séries temporais longas, poderia auxiliar na identificação do ponto abrupto para separação dos períodos em pré e pós-impacto. (MORAES *et al.*, 1998).

A partir de uma série temporal x_i com N termos ($1 \leq i \leq N$), este teste consiste na soma t_n do número m_i , relacionado ao termo x_i , em que os termos precedentes ($j < i$) são menores que ($x_j < x_i$), conforme descrito pela Equação 3 a seguir. (LI *et al.*, 2017a; MORAES *et al.*, 1998).

$$t_n = \sum_{i=1}^N m_i \quad (3)$$

Considerando que a sequência original é aleatória e independente, tem-se:

$$E(t_n) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (4)$$

$$var(t_n) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (5)$$

$$U(F_n) = \frac{t_n - E(t_n)}{\sqrt{var(t_n)}} \quad (6)$$

Sabendo-se que UF_n e UB_n são dois parâmetros estatísticos chave e dados conforme apresentado acima (para obter UB_n é necessário inverter a série temporal e repetir o processo acima), e que α é calculado a partir de tabelas de variável normal reduzida, quando o nível significativo for $\alpha = 0,05$ e $UF_n > 1,96$, uma tendência significativa é verificada. Já quando $\alpha = 0,05$ e $UF_n < -1,96$, significa que uma tendência de descida significativa pode ser verificada. Por fim, quando ocorre o cruzamento de UF_n e UB_n na região do intervalo de confiança, a interseção identificada consiste em uma potencial interseção do ponto de ruptura (LI *et al.*, 2017a; MORAES *et al.*, 1998).

2.5.2. Estado da arte

Além das metodologias destacadas no item anterior, foram identificados diversos outros métodos considerados como menos relevantes para o desenvolvimento deste trabalho no portfólio bibliográfico.

A análise do portfólio permitiu identificar que aproximadamente 40% dos artigos realizaram a avaliação e quantificação das alterações hidrológicas através da metodologia IHA, apresentada anteriormente. Reafirmando, desta forma, a relevância desta metodologia para a avaliação dos regimes de vazão.

Faz-se de grande importância ressaltar que diversos destes trabalhos fizeram uso da metodologia IHA associada a alguma outra metodologia que permitisse a correlação de efeito e causa ou em alguns casos, associada a outras metodologias de análise de alterações hidrológicas, como é o caso dos estudos desenvolvidos por Däll e Zhang (2010); Eum, Dibike e Prowse (2016); Li *et al.* (2017); Lin *et al.* (2017); Mittal *et al.* (2014, 2016); Sun e Feng (2013); Talukdar e Pal (2019); Timpe e Kaplan, (2017); Yang *et al.* (2008, 2020) e Zhang *et al.* (2018).

Li *et al.* (2017), conforme destacado anteriormente, utilizou variadas metodologias para quantificar e avaliar as alterações hidrológicas e também para diferenciar e relacionar os impactos gerados no regime hidrológico gerados pelas mudanças climáticas e ações humanas realizadas nos trechos de estudo. Dentre as metodologias utilizadas neste estudo tem-se: os Indicadores de Alterações Hidrológicas (IHA); Métricas de Eco-vazão; e o Teste de Mann-Kendall e a ferramenta de Budyko.

Enquanto os métodos de Indicadores de Alterações Hidrológicas e de Métricas de Eco-vazão permitiram a quantificação e definição dos parâmetros hidrológicos, o Teste de Mann-Kendall e a ferramenta de Budyko possibilitaram que os resultados obtidos pelas metodologias descritas acima fossem correlacionados corretamente com suas respectivas causas (LI *et al.*, 2017a).

O estudo desenvolvido por Zhang *et al.* (2018) na bacia do rio Amarelo, localizado na China, fez uso do método dos Indicadores de Alterações Hidrológicas e também das Métricas de Eco-vazão para verificação dessas alterações devido às modificações climáticas e antrópicas. As metodologias utilizadas permitiram a conclusão de que, a utilização dos reservatórios de água produzidos devido ao

barramento provocou redução nas taxas de ocorrência e magnitudes de regimes de alta vazão e também nas magnitudes de eventos de baixa vazão. Já as atividades antrópicas provocam aumento na variabilidade da vazão a jusante.

Um aspecto importante a ser destacado no estudo de Zhang *et al.* (2018) consiste na conclusão evidenciada de que as métricas de eco-vazão e o método IHA apresentaram resultados que indicam fortes relações entre eles, reafirmando, dessa forma, que os indicadores de eco-déficit e eco-excedente são indicadores ecológicos válidos e que podem ser utilizados como referência para a gestão dos recursos hídricos na bacia do rio Amarelo.

Yang, Yan e Liu (2012) também realizaram um estudo na mesma bacia que Zhang *et al.* (2018), para análise das mudanças nos regimes de vazão. Para identificação do ano referência para divisão dos períodos em pré e pós-impacto, foi utilizado o Teste de Mann-Kendall exposto anteriormente. Já para avaliação das alterações do regime foram utilizados os Indicadores de Alteração Hidrológica (IHA) e a Abordagem de Correspondência de Histograma (HMA). De uma forma generalista, as conclusões obtidas afirmam que a magnitude da vazão do rio Amarelo possui tendência em reduzir ao longo dos anos.

Conforme mencionado, outros estudos fizeram uso de metodologias diversas para a avaliação e correlação das alterações, sendo o caso dos trabalhos desenvolvidos por Fazel *et al.* (2017), Han *et al.* (2019), Mango *et al.* (2011), Fernandes *et al.* (2016), Hoang *et al.* (2019), Pal e Sarda (2021). Além dos mencionados, três artigos propuseram uma adaptação do método desenvolvido por Richter *et al.* (1996), sendo os desenvolvidos por Yang *et al.* (2017), Stagl e Hattermann (2016) e Rheinheimer e Viers (2015).

2.6. LOCALIDADE DE REALIZAÇÃO DOS ESTUDOS

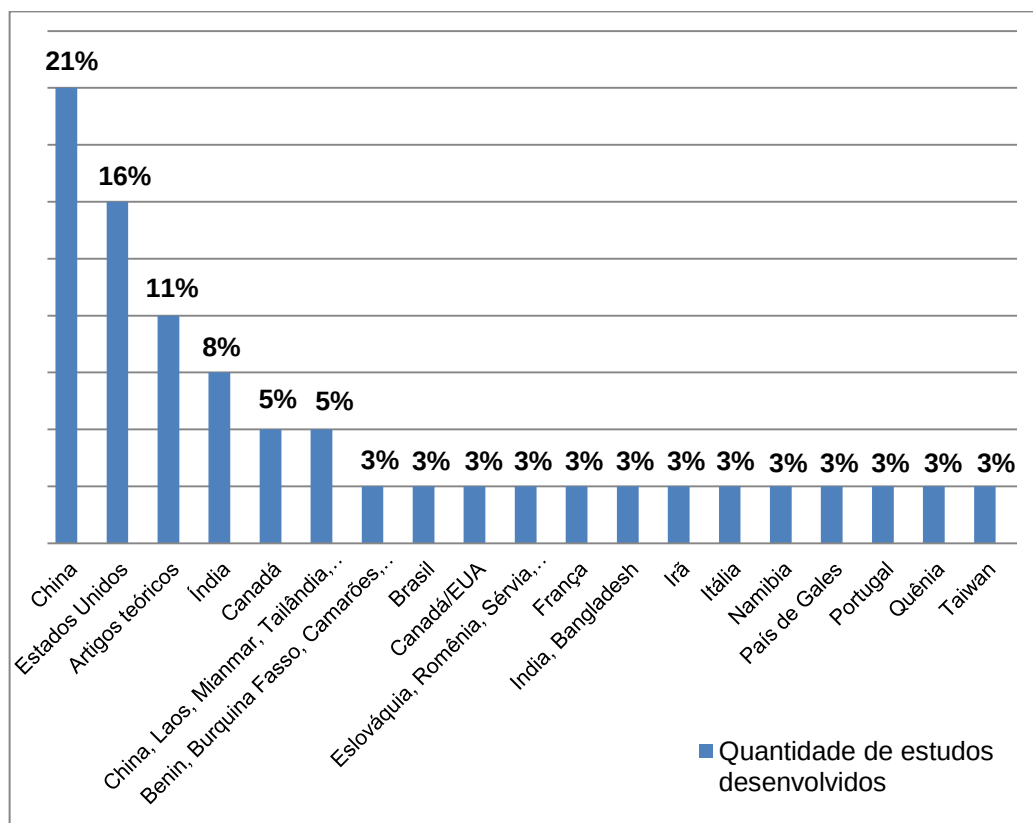
Avaliar o local onde os estudos foram realizados permite identificar se os trabalhos selecionados para o portfólio compreendem características variáveis que poderiam ser alteradas de acordo com a localidade da bacia, tais como clima, condições de uso do solo, destinação dos recursos hídricos, dentre outras. Além disso, permite verificar também a relevância do assunto, de forma a avaliar se este tema está sendo pauta para estudos em diversas localidades do mundo.

Conforme descrito por Davies *et al.* (2014), o impacto das alterações hidrológicas no que se refere aos papéis ecológicos pode variar entre as bacias hidrográficas, independentemente se estão incluídas na mesma região climática. Além disso, no caso de diferentes regiões climáticas, Hoeinghaus *et al.* (2009) sugerem que as alterações provocadas por barragens em bacias tropicais são mais prejudiciais do que os impactos gerados em bacias de clima temperado.

Sendo assim, o portfólio final foi avaliado de forma a identificar o país em que se localizavam as bacias hidrográficas objetos de estudos. Em alguns casos, devido à grande extensão dos corpos hídricos analisados, estes pertenciam a mais de um país. A avaliação do portfólio permite afirmar que os países que apresentaram maior representatividade de ocorrência de estudos elaborados foram a China, representando 21% dos artigos estudados, e os Estados Unidos que correspondem a 16% dos artigos analisados.

A Figura 3 a seguir apresenta um gráfico indicativo dos países em que foram realizados estudos nos artigos constituintes do portfólio, demonstrando também a frequência de realização identificada.

Figura 3 – Gráfico de quantidade de estudos do portfólio bibliográfico realizados por localidade



Fonte: Elaborado pela autora

2.7. PARÂMETROS HIDROLÓGICOS AVALIADOS

Avaliar quais os parâmetros hidrológicos foram estudados pelos trabalhos do portfólio permite a verificação de quais aspectos passíveis de alteração devido as causas alvo do presente trabalho estão sendo considerados nos estudos. Conforme apresentado no item 2.5, uma considerável parte dos artigos presentes no portfólio utilizou a metodologia IHA, descrita por Richter *et al.* (1996). Desta forma, já se é esperado que os parâmetros analisados pela grande parte dos artigos sejam aqueles definidos pelo método e apresentados anteriormente no Quadro 1 do presente texto e destacados novamente a seguir.

De acordo com o descrito por Richter *et al.* (1996), os parâmetros hidrológicos são estabelecidos conforme cinco características do regime, sendo estas: magnitude; duração da magnitude; tempo; duração da frequência e da magnitude e taxa de mudança/frequência. Já os parâmetros hidrológicos apresentados consistem em: vazão média de cada um dos meses do ano; vazão mínima anual de 1, 3, 7, 30 e 90 dias; vazão máxima anual de 1, 3, 7, 30 e 90 dias; número de dias com fluxo zero; taxa de fluxo de base; data Juliana do valor mínimo de cada ano; data Juliana do valor máximo de cada ano; número de baixos pulsos no ano; duração média (em dias) dos baixos pulsos; número de altos pulsos no ano; duração média (em dias) dos altos pulsos; média das diferenças positivas entre dias consecutivos; média das diferenças negativas entre dias consecutivos e número de reversões.

Dentre os artigos estudados no portfólio, verificou-se que aproximadamente 40% calcularam e apresentaram os parâmetros definidos por Richter *et al.* (1996). Além disso, aproximadamente 11% dos artigos não apresentaram a totalidade de parâmetros descritos por Richter *et al.* (1996), mas apresentaram alguns de seus parâmetros definidos como relevante.

A pesquisa de Timpe e Kaplan (2017) é um dos estudos que realiza a avaliação da alteração dos regimes de vazão na Amazônia brasileira devido à construção e operação de barragens através da apresentação dos parâmetros previstos pela metodologia IHA. Singh e Jain (2021) estudaram as alterações hidrológicas utilizando todos os Indicadores de Alterações Hidrológicas de Richter *et al.* (1996) no rio Roanoke, provocadas pelas alterações climáticas e antrópicas; considerando três cenários cujos períodos pós-impactos foram alterados de forma a avaliar as

alterações conforme a variação destes períodos. Já Mittal *et al.* (2014) utilizou a metodologia IHA para quantificar as alterações hidrológicas provocadas tanto pela construção de barragens quanto pelas mudanças climáticas de forma isolada, ou seja, sem considerar a existência de barragens.

Além dos parâmetros estudados pela metodologia IHA de Richter *et al.* (1996), alguns artigos apresentam também os parâmetros indicados de acordo com a metodologia de métricas de Eco-vazão descritas por Vogel *et al.* (2007) Conforme descrito anteriormente, esta metodologia de avaliação dos regimes ecológicos de vazão é realizada através da definição de dois indicadores não dimensionais de eco-vazão: o eco-excedente e o eco-déficit.

Zhang *et al.* (2018) utilizaram as métricas de Eco-vazão, os denominados eco-excedente e eco-déficit. Porém, para realizar uma validação e confirmação das conclusões e resultados obtidos, foram utilizados também os indicadores da metodologia IHA; sendo possível garantir relações sólidas entre os parâmetros de cada metodologia. Desta forma, os indicadores das métricas de Eco-vazão podem ser considerados indicadores ecológicos capazes de refletirem as alterações provocadas no corpo hídrico estudado.

Além disso, outros trabalhos apontaram a utilização de métodos adaptados da metodologia IHA proposta por Richter *et al.* (1996), como realizado por Yang *et al.* (2017) que afirma que os parâmetros propostos pela metodologia IHA apresentam intercorrelações capazes de subestimar ou superestimar as alterações hidrológicas. Desta forma, propôs um novo método de IHA Representativo (RIHA) em que foram removidas as repetições causadoras de autocorrelações entre os indicadores.

Desta forma, tendo em vista o exposto, pode-se verificar a relevância e confiabilidade da metodologia desenvolvida por Richter *et al.* (1996), que predomina como referência para definição de indicadores avaliados no portfólio estudado.

2.8. PRINCIPAIS PARÂMETROS HIDROLÓGICOS ALTERADOS

A identificação dos principais parâmetros hidrológicos alterados estudados permite o entendimento e a avaliação de quais aspectos foram mais influenciados pelas mudanças climáticas e por ações antrópicas. Conforme descrito por Ahiablame *et al.* (2017), o desenvolvimento desses estudos regionais e locais são importantes para ampliação da compreensão de aspectos econômicos, sociais e

ambientais no que se refere às mudanças no uso do solo e mudanças climáticas, visto que essas causas podem representar papéis diferentes nas alterações hidrológicas.

Neste sentido, realizar as avaliações dos parâmetros para cada causa de forma isolada, conforme desenvolvido por Mittal *et al.* (2014), permite identificar aqueles parâmetros mais influenciados por cada fator de forma separadamente, definindo de forma mais efetiva as ações a serem tomadas.

Conforme descrito anteriormente, o portfólio analisado apresenta pesquisas com diferentes abordagens, com a implementação de diferentes metodologias, aplicações e estudos realizados em diversos locais do planeta. Desta forma, a análise e utilização de variados indicadores para verificação das alterações hidrológicas é uma característica presente no portfólio estudado, o que possibilita uma diversidade considerável de parâmetros que apresentaram alterações mais significativas. A seguir estão apresentados variados estudos de forma a ilustrar de forma representativa alguns dos parâmetros hidrológicos mais alterados identificados no portfólio.

No estudo de avaliação dos impactos de barragens na Amazônia, Timpe e Kaplan (2017) utilizaram todos indicadores da metodologia proposta por Richter *et al.* (1996). Verificou-se que apesar de todos os parâmetros do regime de vazão terem apresentado alterações, as principais modificações estavam relacionadas com as características do regime de vazão associados com a frequência, a duração e a taxa de mudança das condições de alteração da vazão, ou seja, com os parâmetros dos grupos 4 e 5, conforme descrito pela metodologia IHA. Para facilitar a compreensão do significado do impacto dessa alteração no ambiente, destaca-se aqui que alterações nestes grupos influenciam no processo dos pulsos de inundação, responsáveis pela estruturação da geomorfologia e biodiversidade dos ambientes aquáticos. Além disso, essas modificações nos pulsos alteram o transporte de sedimentos e as trocas de nutrientes (WARD; TOCKNER; SCHIEMER, 1999).

Timpe e Kaplan (2017) afirmaram também que diferentemente dos parâmetros de duração da frequência e da magnitude (Grupo 4) e da taxa de mudança/frequência (Grupo 5); os parâmetros de magnitude (Grupo 1); duração de magnitude (grupo 2) e tempo (grupo 3) apresentaram alterações relativamente

baixas, o que significa que os rios estudados nesta pesquisa apresentaram a manutenção do seu comportamento mensal do seu regime de vazão. Destacaram, porém, que algumas barragens de grande porte provocaram alterações isoladas consideráveis em alguns parâmetros desses grupos. Por fim, afirmaram que quando existentes, os impactos de vazões mensais foram piores nas estações de seca.

Já Singh e Jain, (2021) que desenvolveram o estudo na bacia do rio Roanoke, nos Estados Unidos, destacaram que nove indicadores apontaram alterações mais relevantes, sendo estes: Do Grupo 2 (duração da magnitude), vazão máxima de 1, 3 e 7 dias; do Grupo 3 (tempo), datas Juliana máximas e mínimas; do Grupo 4 (duração da frequência e da magnitude), contagem e duração de baixos pulsos e duração dos altos pulsos; e, por fim, do Grupo 5 (taxa de mudança/frequência), número de reversões.

Mittal *et al.* (2014), que avaliaram as alterações hidrológicas no rio Kangsabati utilizando também a metodologia de Richter *et al.* (1996), realizaram a análise dos parâmetros influenciados mais significativamente de forma isolada para cada causa estudada. No que se referem às alterações provocadas pela construção da barragem, uma alteração considerável verificada no trabalho consistiu no aumento da vazão mínima anual de 30 dias e na redução das vazões máximas de 1, 3, 7, 30 e 90 dias. Já com relação às mudanças climáticas, analisado através de projeções que compreendem os anos de 2021 a 2050, verificou-se um aumento na vazão mediana mensal nos meses de inverno, porém, identificou-se uma redução geral nas vazões medianas nas estações de monções.

No estudo de avaliação do regime de vazão necessário para manutenção da integridade ecológica do baixo rio Amarelo, Yang, Yan e Liu (2012) ressaltaram que os principais indicadores alterados consistiram em: a) declínio da magnitude das vazões após o ano de 1984; b) aumento da frequência de vazões baixas em doze meses; c) redução das magnitudes de vazões máximas e mínimas para 1, 3, 7, 30 e 90 dias; e, d) número e duração de baixos pulsos crescentes no período pós-impacto, enquanto o número e a duração de altos pulsos reduziram.

Desta forma, ao expor e analisar alguns dos estudos componentes do portfólio identifica-se que os principais parâmetros alterados são imensamente variáveis, e, além disso, provavelmente não consistirão em apenas um parâmetro hidrológico.

2.9. ESTUDOS BRASILEIROS

Além do portfólio apresentado anteriormente, obtido através da aplicação da revisão sistemática de literatura, foram analisados estudos brasileiros não retornados nas bases de dados citadas através da aplicação das palavras-chave definidas inicialmente. A importância da avaliação destas pesquisas reside no entendimento das alterações hidrológicas e metodologias aplicadas para estudo das bacias hidrológicas nacionais e sua relação com as mudanças climáticas na região.

O estudo de Amorim e Chaffe (2019) procurou verificar como a relação entre modelos climáticos e modelos hidrológicos têm sido tratada no país através da realização de uma revisão sistemática de literatura. O trabalho verificou 63 artigos científicos e concluiu que a associação de modelos climáticos aos modelos hidrológicos no Brasil atualmente está sendo amplamente aplicada. Foi indicado que a área possuidora da maior parte de estudos realizados trata-se da região hidrográfica do Paraná, enquanto que a região do Atlântico Sudeste possui número de estudos insuficientes.

Ainda com relação ao estudo de Amorim e Chaffe (2019) os setores com maiores interesses no desenvolvimento de estudos consistem no setor hidrelétrico e de abastecimento de água potável. Porém, destaca-se ainda, na questão metodológica, que há grandes pontos de melhorias no que se refere à infraestrutura computacional necessária para o trabalho com modelos climáticos.

Além de variações hidrológicas devido às mudanças climáticas, estudos como o de Frederice e Brandão (2016) que avaliam a operação de grandes reservatórios também estão presentes no portfólio de pesquisas brasileiras. Frederice e Brandão (2016) avaliaram o efeito do Sistema Cantareira sobre o regime de vazões na bacia do Rio Piracicaba através da aplicação da metodologia IHA. Com o estudo, foi verificada uma redução nas vazões médias no período pós-impacto e também nas vazões mínimas e na duração das vazões altas.

Fleischmann et al. (2020) analisou o impacto de reservatórios grandes nas vazões simuladas de rios brasileiros, de forma a analisar possíveis melhorias em um modelo hidrológico através da representação ideal de reservatórios em termos de vazões substituídas. Já o estudo de Santos e Souza (2015) analisou os efeitos da cascata de reservatórios sobre a variabilidade natural de vazões no rio Paraná. Para

análise foram utilizados os métodos IHA e RVA, prescritos por (RICHTER et al., 1996;1997). Este trabalho também realizou considerações a respeito de uso e ocupação do solo e características climáticas da região. De uma forma geral, destaca-se como uma das considerações relevantes desta pesquisa, a conclusão de que a cascata de reservatórios na bacia do rio Paraná provoca alterações hidrológicas sobre o regime natural de vazões variando de moderadas, nos grupos 1,3 e 4 a elevadas, nos grupos 2 e 5.

3. MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

No presente item serão descritas as etapas que foram realizadas para o desenvolvimento da presente pesquisa, dividindo-o em Método de Abordagem e Método de Procedimentos.

3.1. MÉTODO DE ABORDAGEM

O presente trabalho consistiu na avaliação das alterações hidrológicas provocadas pela ação das mudanças climáticas nas regiões próximas ao rio Preto e ao rio Paraíba do Sul, pertencentes à Bacia do rio Paraíba do Sul. Para a realização dessa pesquisa foram utilizadas as metodologias IHA e RVA prescritas por Richter *et al.* (1996; 1997) e o Teste estatístico de Mann-Kendall (SNEYERS, 1975). Para a produção desse trabalho foram consultados e analisados documentos técnicos, tais como, artigos científicos e livros para obtenção de referências de pesquisas e conceituações fundamentais. Desta forma, no que se refere ao ponto de vista da abordagem do problema, conforme descrito por Kauark *et al.* (2010), a pesquisa em andamento pode ser caracterizada como uma pesquisa quantitativa, visto que necessita de análises estatísticas baseadas em dados numéricos disponibilizados por bases de dados que traduzem as informações com a intenção de gerar análises e avaliações.

Já com relação ao ponto de vista de procedimentos técnicos a serem produzidos nesta pesquisa, de acordo com as premissas definidas por Gil (2002), a pesquisa é definida como experimental, pois a pesquisa experimental se define como aquela em que se verificam os parâmetros capazes de alterar determinado tema de estudo, assim como os efeitos provocados nos parâmetros por estas causas, não necessitando, porém, da realização da pesquisa em laboratório.

3.2. MÉTODO DE PROCEDIMENTOS

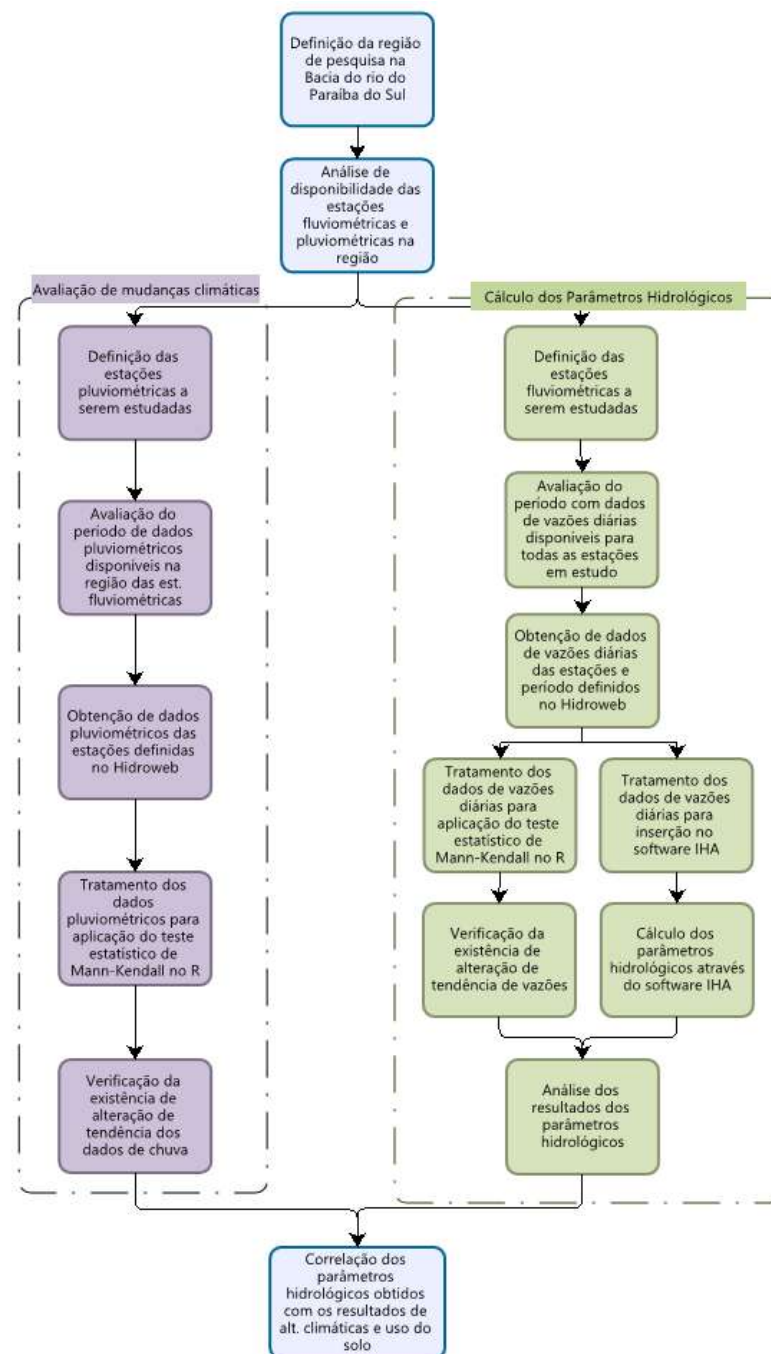
Nesta seção, serão apresentados os procedimentos necessários e realizados no trabalho. Este item será composto pela apresentação da área de estudo, definição das metodologias aplicadas, obtenção de dados iniciais e considerações relevantes para o desenvolvimento do trabalho. Para facilitar o entendimento inicial, será

apresentado a seguir, o macro fluxograma com os passos do trabalho já realizados, em andamento e a serem desenvolvidos.

3.2.1. Fluxograma da pesquisa

Conforme descrito anteriormente, na Figura 4 está apresentado de forma geral o passo a passo necessário para realização da pesquisa em questão.

Figura 4 – Fluxograma geral de atividades da pesquisa



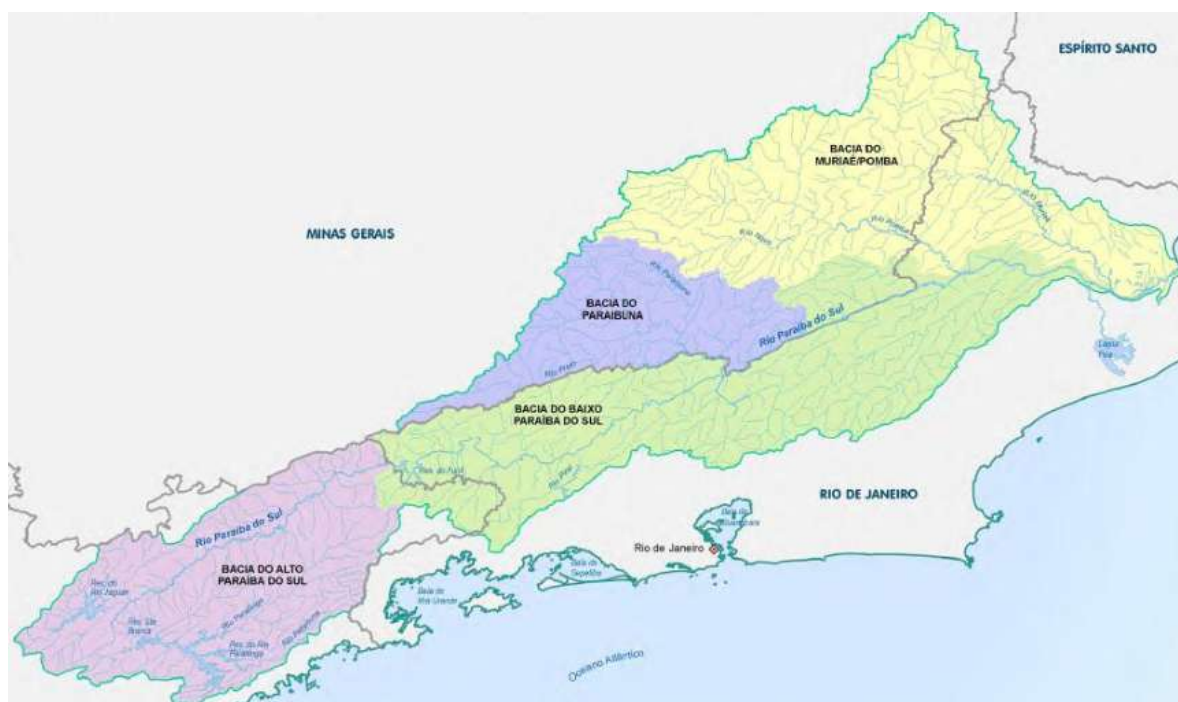
Fonte: Elaborado pela autora

No fluxograma da Figura 4 acima estão apresentadas as macro atividades executadas para o desenvolvimento da pesquisa. Na cor verde estão descritas as atividades realizadas para avaliação das alterações hidrológicas; já em roxo, estão as etapas referentes à avaliação das mudanças climáticas.

3.2.2. Área de estudo

Conforme mencionado nas seções anteriores, a área de pesquisa do presente estudo corresponde ao Médio Paraíba do Sul (Figura 5). A bacia alvo de estudo desta pesquisa é pertencente a três estados da região sudeste do país, sendo eles, Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo, contemplando ao longo de sua extensão 180 municípios e possuindo uma população urbana de aproximadamente cinco milhões de habitantes (ANA, 2022a).

Figura 5 – Hidrografia da bacia do rio Paraíba do Sul



Fonte: ANA (2022a)

A bacia do rio Paraíba do Sul que possui área de drenagem de 55.500km² corresponde a uma das regiões mais desenvolvidas do país. O comprimento total do rio Paraíba do Sul, a partir da nascente do Paraitinga é superior a 1.100 km. Além disso, é importante ressaltar que, entre as décadas de 1930 e 1960, foram construídas as principais barragens desta bacia, com ênfase para o sistema Paraíba do Sul e Guandu. Este sistema possui a função de prover abastecimento de água e

energia elétrica para a cidade do Rio do Janeiro, sendo composto por dois subsistemas: Paraíba e Lajes (ANA, 2022a). Já os principais afluentes do rio Paraíba do Sul são: Rio Jaguari; Rio Paraibuna; Rio Pomba; Rio Muriaé; Rio Piraí; Rio Piabanha e o Rio Dois Rios (ANA, 2022b).

Para a realização deste estudo, de forma a avaliar impactos provenientes das mudanças climáticas, foram selecionadas regiões e estações que não estivessem submetidas à ação da construção e operação de barragens/reservatórios. Sendo assim, estudar as possíveis alterações hidrológicas ocorrentes nesta bacia é de grande relevância para a avaliação das condições dos corpos hídricos e verificação de ações necessárias para a sua manutenção.

3.2.3. Coleta e seleção dos dados hidrológicos

Nesta seção, serão discutidos os procedimentos e ferramentas para obtenção dos dados de vazões diárias e dos dados pluviométricos para realização da pesquisa.

3.2.3.1. Introdução à ferramenta de obtenção dos dados

A realização da coleta dos dados para o presente estudo foi realizada através de bancos de dados disponibilizados através da plataforma HidroWeb, de propriedade da Agência Nacional de Águas (ANA) e integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Os dados acessados por essa ferramenta são coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) que é um importante sistema que possibilita a gestão dos recursos hídricos em diversas áreas (ANA, 2022c).

As informações encontradas na plataforma HidroWeb são provenientes da coleta de dados diários realizados por medições em campos feitas por profissionais técnicos. A RHN possui mais de 4500 pontos de monitoramento de dados como vazões, transporte de sedimentos e níveis. As estações que coletam os dados são controladas por instituições parceiras ou a serviço da ANA, dentre as quais se podem destacar o Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) (ANA, 2022c).

[illegible]

3.2.3.2. Determinação e coleta dos dados necessários para a pesquisa

Desta forma, utilizando a ferramenta apresentada no item anterior, foram identificadas inicialmente onze estações fluviométricas na região de estudo (Figura 6). Estas estações foram analisadas no que se refere à disponibilidade de dados no decorrer do tempo, a partir da inspeção dos arquivos em Excel disponibilizados com os valores de vazões. As estações inicialmente analisadas estão apresentadas no Quadro 2 a seguir.

Quadro 2 – Resumo das estações fluviométricas disponíveis

Código Estação	Nome Estação	Responsável	Série disponível		Localização (rio)
			Início	Fim	
58585000	MANUEL DUARTE	ANA	maio-48	setembro-22	RIO PRETO
58550001	RIO PRETO	ANA	março-40	setembro-22	RIO PRETO
58520000	SOBRAJI	ANA	junho-52	fevereiro-22	RIO PARAÍBUNA
58516500	FAZENDA SANTO ANTÔNIO	ANA	maio-76	fevereiro-22	RIO DO PEIXE
58380001	PARAÍBA DO SUL	ANA	outubro-72	fevereiro-22	RIO PARAÍBA DO SUL
58300000	UHE FUNIL JUSANTE 2	FURNAS	abril-40	dezembro-78	RIO PARAÍBA DO SUL
			janeiro-90	dezembro-16	RIO PARAÍBA DO SUL
58305001	VOLTA REDONDA	CPRM	novembro-40	julho-21	RIO PARAÍBA DO SUL
58315000	UEL SANTA CECÍLIA VARGEM ALEGRE	LIGHT	maio-55	fevereiro-15	RIO PARAÍBA DO SUL
58270000	GLICÉRIO	CPRM	agosto-67	dezembro-18	RIO TURVO
58250000	RESENDE	FURNAS	janeiro-30	dezembro-16	RIO PARAÍBA DO SUL
58525000	VISCONDE DE MAUÁ	ANA	fevereiro-51	setembro-22	RIO PRETO

Fonte: Elaborado pela autora

Para avaliação dos dados e estações foi necessário definir os limites de cada período conforme a disponibilidade de dados de cada estação para que fosse possível, assim, definir os períodos que seriam estudados. Desta forma, optou-se por definir os períodos pré-impacto e pós-impacto através da análise da disponibilidade de dados das estações fluviométricas disponíveis nas regiões de estudo. Sendo assim, definiu-se um intervalo de estudo de 20 anos para cada período (pré e pós-impacto) e os períodos de estudo foram estabelecidos através da disponibilidade de dados mais limitante entre as estações em estudo. Ressalta-se que, conforme descrito pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, 2018), o período recomendado para garantia de variabilidade climática é de 30 anos; porém, neste trabalho optou-se por utilizar períodos de estudo de 20 anos, de forma a não reduzir consideravelmente o período de transição. Os estudos de Kiesel et al. (2019), Yang et al. (2017) e Li et al. (2017a) são exemplos que utilizaram períodos de análises inferiores a 30 anos.

Foram realizadas avaliações à respeito da continuidade e frequência dos dados diários de vazões, de forma a garantir que no período selecionado para o estudo não

fossem considerados períodos extensos e contínuos sem valores de medições, assim como garantir a não existência de uma quantidade considerável de vazões nulas no decorrer de todo período estudado. Após essa avaliação, o período de estudo foi definido como 1955-1975 (período pré-impacto) e 2001-2021 (período pós-impacto).

Realizada esta análise foram identificadas quatro estações fluviométricas que possuíam séries de dados suficientes e completas (sem extensas sequências de dados ausentes no período de dados definido) para a avaliação das alterações hidrológicas ocorrentes nas áreas de estudos. As estações e as informações mais relevantes de cada uma estão apresentadas no Quadro 3 a seguir.

Quadro 3 – Resumo de dados das estações fluviométricas selecionadas

Código Estação	Nome Estação	Responsável	Série disponível		Localização (rio)	Dados completos?
			Início	Fim		
58585000	MANUEL DUARTE	ANA	maio-48	setembro-22	RIO PRETO	Sim
58550001	RIO PRETO	ANA	março-40	setembro-22	RIO PRETO	Até 10/2021
58520000	SOBRAJI	ANA	junho-52	fevereiro-22	RIO PARAÍBUNA	Sim
58525000	VISCONDE DE MAUÁ	ANA	fevereiro-51	setembro-22	RIO PRETO	Ausentes de 12/2015 a 05/2016

Fonte: Elaborado pela autora

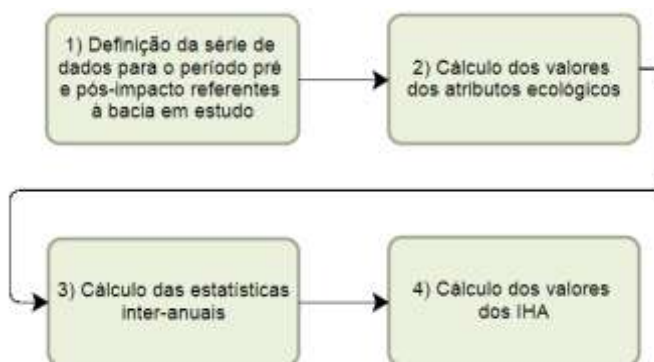
Tendo avaliado e confirmado a disponibilidade de dados suficientes para a análise proposta, para realizar a próxima etapa de cálculo dos parâmetros, faz-se necessário realizar um tratamento da planilha de forma a adequar os dados aos formatos corretos solicitados por cada software. O tratamento dos dados será descritos nos itens a seguir.

Estando definidas as estações fluviométricas em que seriam avaliadas as alterações hidrológicas ocorridas, foram verificadas as estações pluviométricas disponíveis na região das estações fluviométricas, de forma a possibilitar a avaliação da influência das mudanças climáticas nestas regiões. A verificação da existência de dados no mesmo período das estações fluviométricas também foi realizada e as estações pluviométricas selecionadas e suas informações foram apresentadas a seguir no Quadro 4.

desenvolvida por Richter *et al.* (1996) e são compostos por indicadores utilizados para quantificação das alterações nos regimes de vazão baseados em séries históricas de vazões médias diárias.

No desenvolvimento da presente pesquisa, a metodologia criada por Richter *et al.* (1996) foi utilizada para avaliar as alterações hidrológicas provocadas pelas questões da ocupação e uso de solo e pela ação das mudanças climáticas na região do Médio Paraíba do Sul. A Figura 8 a seguir apresenta os passos determinados por Richter *et al.* (1996) para aplicação da metodologia definida e que foram utilizadas para o desenvolvimento desta pesquisa.

Figura 8 – Passos para aplicação da Metodologia IHA



Fonte: Adaptado de Richter *et al.* (1996)

Conforme apresentado na Figura 8, a primeira etapa para aplicação da metodologia consiste na obtenção da série de dados do período anterior e do período posterior a eventos que possam ter provocados alterações na hidrologia da bacia estudada. Conforme ressaltado por Sun e Feng (2013), uma questão crítica reside na determinação do ponto que define qual seria o período pré-impacto e qual seria o período pós-impacto da série de dados em estudo. No caso de estudos que contemplam as alterações por construção de barragens, este ponto de separação dos períodos fica mais evidente, visto que é considerada a data de construção da barragem como referência (RICHTER *et al.*, 1998). Em alguns casos, o período pré-impacto é considerado como aquele desde o início da coleta dos dados até construção da primeira barragem construída no trecho de estudo, e o período pós-impacto aquele compreendido entre a conclusão da última barragem até os dados mais recentes disponibilizados (RICHTER *et al.*, 1998).

Tendo em vista que a causa alvo de estudo do trabalho consiste nas mudanças climáticas, o ponto de divisão dos períodos não é considerado evidente assim como

ocorrem com a construção de barragens; desta forma, a nomenclatura utilizada nos seguintes parágrafos será de período 1 (equivalente ao período pré-impacto) e período 2 (equivalente ao período pós-impacto). Desta forma, conforme já descrito no item anterior, os períodos 1 e 2 foram definidos com base na disponibilidade de dados das estações.

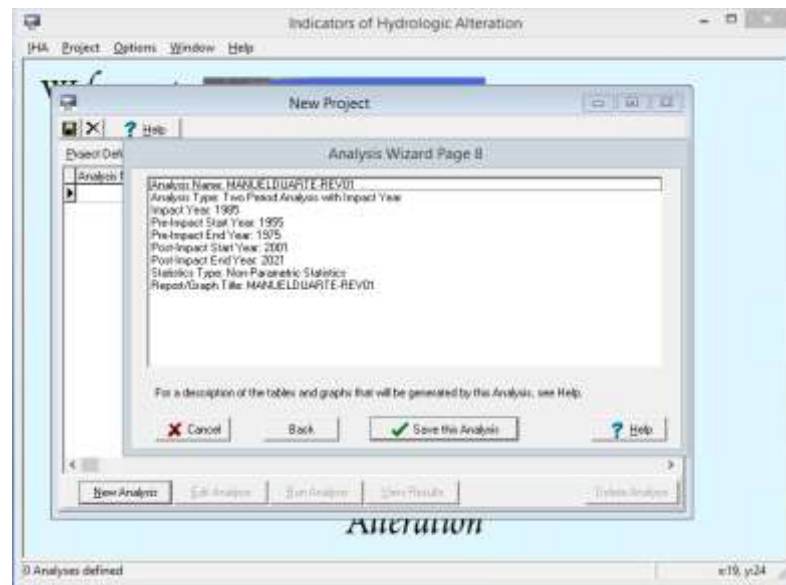
A segunda etapa do método de Richter *et al.* (1996) refere-se ao cálculo dos atributos hidrológicos, sendo necessário o cálculo dos 32 parâmetros previstos na metodologia para cada ano em cada série de dados, sendo um conjunto para cada período (pré e pós-impacto). A terceira etapa consiste na determinação das estatísticas interanuais, sendo calculadas as medidas de tendência central e dispersão para os valores obtidos na etapa anterior, resultando assim em 64 estatísticas interanuais para cada série de dados. Por fim, a última etapa consiste no cálculo dos valores do IHA; para tal, comparam-se as 64 estatísticas interanuais entre as séries dos períodos de pré e pós-impacto de forma a apresentar cada resultado como um desvio percentual comparativamente entre os períodos. Logo, é possível avaliar o estado de uma mesma bacia em períodos de tempos sob condições diferentes.

Calculadas as métricas de IHA, utilizaram-se as considerações da metodologia RVA já descritas anteriormente, para classificação das alterações conforme os graus de alteração, sendo: 0-33% representa pouca ou nenhuma alteração (BAIXA); 34-67% representa alteração moderada (MÉDIA); e 68-100% representa um elevado grau de alteração (ALTA).

3.2.4.2. Indicadores de Alteração Hidrológica – O Software

Para desenvolvimento de algumas etapas descritas, será utilizado o software de Indicadores de Alteração Hidrológica – Versão 7.1, desenvolvido pela The Nature Conservancy como ferramenta para cálculo dos parâmetros (THE NATURE CONSERVANCY, 2009). Como forma de exemplificação do software, a Figura 9 a seguir apresenta uma tela resumo do software:

Figura 9 – Recorte de tela do software IHA



Fonte: Adaptado pela autora de software IHA – Versão 7.1

Alguns dados são requisitos mínimos de entrada para que o software seja capaz de calcular os parâmetros hidrológicos, dentre os quais destacam-se: unidade de vazão utilizada; ano hidrológico definido para o projeto; consideração sobre o tipo de análise a ser realizada (por exemplo: comparação entre dois períodos); definição do período pré-impacto; definição do período pós-impacto; tipo de estatística a ser utilizada (por exemplo: estatística não paramétrica); e, por fim, questões de organização do software, sendo necessário a definição do nome da análise e do projeto em execução.

Para a realização desta pesquisa, foram atribuídos os dados conforme exigências anteriormente apresentadas. A unidade de vazão utilizada consistiu em metros cúbicos por segundo (m^3/s), visto que os dados disponibilizados nas bases de dados encontravam-se nesta unidade. O ano hidrológico foi mantido como o padrão do programa, iniciando-se em outubro e finalizando em setembro. Já o tipo de análise, realizou-se uma análise comparativa, conforme exposto anteriormente, visto que o objetivo do trabalho consiste na análise das mudanças hidrológicas de um determinado período para o outro.

Com relação aos períodos 1 e 2, estes foram inseridos conforme definição apresentada previamente no tópico anterior. Além disso, as bases de dados foram inseridas nos softwares contendo apenas os dados do início do período 1 até o final do período 2. Destaca-se que mesmo sendo inseridos os dados apenas até 2021, o

software indica o ano de 2022, e de forma a não restringir nenhuma análise, esse foi o limite indicado em software.

Todos os dados de entrada mencionados anteriormente estão apresentados no Quadro 4 a seguir.

Quadro 4 – Parâmetros de entrada no IHA

Entradas exigidas	Dados fornecidos
Unidade de vazão	Metros cúbicos por segundo (m^3/s)
Ano hidrológico do projeto (ano de 1994 utilizado como referência)	Ano hidrológico iniciando em 01/10/1993 Ano hidrológico terminando em 30/09/1994
A análise dos dados pode ser feita considerando um ou dois períodos. Qual o tipo de análise que se deseja fazer?	Comparar dois períodos
Período de pré-impacto (período 1) analisado	1955-1975
Período de pós-impacto (período 2) analisado	2001-2021
Qual o tipo de estatística a utilizar?	Estatística não paramétrica

Fonte: Elaborado pela autora

Conforme mencionado, a tabela de dados com as séries de dados de vazões diárias das estações fluviométricas são obtidas através da plataforma Hidroweb da Ana, porém, para inserção dos dados no software de Indicadores de Alteração Hidrológica – Versão 7.1, foi necessário o tratamento desses dados. O tratamento consistiu na adequação da planilha através da exclusão de todas as informações que não se tratavam de datas e dados diários de vazões e da organização dos dados em apenas duas colunas (datas, valores de vazão). Além disso, os valores inexistentes (nulos) foram excluídos.

3.2.5. Teste estatístico de Mann-Kendall

De acordo com o descrito anteriormente, o teste de Mann-Kendall, consiste em um método proposto por para verificar a existência de tendências de aumento ou diminuição em séries temporais longas. Desta forma, este teste estatístico foi utilizado no presente trabalho para duas aplicações: a) verificação de alteração de tendência nos dados hidrológicos, de forma a estabelecer uma relação comparativa com os dados obtidos pelo IHA e; b) verificação de alteração de tendência nos dados pluviométricos, visando a análise comparativa e relação entre as possíveis

tendências de aumento/diminuição com as possíveis ocorrências de alterações hidrológicas entre os períodos 1 e 2.

Ou seja, utilizamos o teste de Mann-Kendall não para a definição do ponto de impacto na série de dados analisada e sim para a verificação de tendência ao longo da série de dados. Desta forma, assim como definido nas bases de dados utilizadas no IHA, o período utilizado nas bases de dados para aplicação do teste estatístico de Mann-Kendall é de 1955 a 2021. Destaca-se que foi realizada a avaliação de alteração de tendência para dados totais anuais e dados totais mensais (dados pluviométricos) e médias anuais e médias mensais (dados fluviométricos).

A aplicação do teste estatístico do Mann-Kendall foi realizada no software Rstudio. O Rstudio é um software livre, sendo uma linguagem de programação para gráficos e cálculos estatísticos. Os comandos são efetuados no software com base nos pacotes padrões e pacotes desenvolvidos através de contribuições livres (POSIT, 2019).

Assim como no software IHA, para realização do teste de Mann-Kendall é necessário a adequação da base de dados para aplicação do teste no Rstudio. Devido ao fato de que para cada estação, foram avaliadas as séries de dados para condições mensais e anuais, foi necessária a adequação das tabelas para cada condição (anual e mensal).

Para aplicação do teste de Mann-Kendall foi necessária a instalação de dois pacotes denominados “trend” (POHLERT, 2023) e “Kendall” (MCLEOD, 2022). Os pacotes permitem a realização do teste de Mann-Kendall, respectivamente, através dos comandos “mk.test()” e “MannKendall()”. A aplicação de dois pacotes diferentes é justificada pela necessidade de se garantir que os resultados retornados pelos pacotes estivessem corretos.

O teste de Mann-Kendall funciona no software R com base na rejeição ou aceitação de hipóteses. A hipótese nula corresponde a não existência de tendência na série analisada, e para que seja rejeitada (considerando-se nível de significância $\alpha = 0,05$), o p-valor deve ser inferior a 0,05. Além disso, o valor positivo ou negativo da estatística “S” define a existência de tendência positiva ou negativa, respectivamente (POHLERT, 2023).

3.2.6. Relação dos resultados obtidos com a respectiva causa

Após o cálculo dos parâmetros conforme procedimentos descritos e com o auxílio do software, realizou-se uma imprescindível etapa do trabalho que consiste na relação das alterações hidrológicas com as mudanças climáticas. Conforme descrito por Cui *et al.* (2020), o entendimento das alterações provocadas devido a cada causa é fundamental para que se possa ter um entendimento completo e crítico das alterações hidrológicas, visando garantir um desenvolvimento sustentável.

Porém, tendo-se em vista o que já foi exposto por Archer (2007) em sua pesquisa, mesmo confirmando-se que as consequências das alterações do uso e ocupação do solo nas vazões de cheia dos rios apresentava-se como relevante para algumas pesquisas, os efeitos provocados são considerados de difícil relação devido à influência, principalmente, das mudanças climáticas. Desta forma, faz-se possível notar a grande relevância da necessidade de buscar métodos e formas para a diferenciação da influência de cada causa nas alterações hidrológicas verificadas.

3.2.7. Análise dos resultados obtidos

Para finalizar as etapas propostas de elaboração desta pesquisa, a última fase correspondeu na análise dos indicadores e resultados obtidos. Esse passo é fundamental, pois, é neste momento que os resultados são compreendidos criticamente, sendo, portanto, capazes de refletir sobre as reais condições dos corpos hídricos e possibilitar reflexões a respeito do uso consciente dos recursos, conforme destacado por Pumo *et al.* (2016).

Conforme descrito por Richter *et al.* (1996), o entendimento dos indicadores calculados permite uma importante caracterização dos regimes hidrológicos, o que possibilita assim, uma correta avaliação da necessidade de manutenção ou recuperação das características naturais dos regimes de vazão, sendo possível, desta forma, garantir a saúde do ecossistema.

4. RESULTADOS

Os resultados obtidos por meio da aplicação das metodologias descritas anteriormente serão apresentados nos itens que se seguem. Inicialmente serão descritos os resultados referentes às alterações hidrológicas verificadas pelas metodologias IHA/RVA. Na sequência serão expostos os resultados obtidos através da aplicação do teste estatístico de Mann-Kendall.

4.1. RESULTADOS IHA

Os resultados provenientes do IHA serão apresentados inicialmente de forma individual para cada uma das quatro estações fluviométricas estudadas e por fim, será apresentada uma tabela resumo com os resultados mais relevantes. Para cada estação fluviométrica serão inicialmente, apresentados os valores de desvios das medianas dos dados para cada parâmetro prescrito pela metodologia IHA de Richter (1996).

4.1.1. Resultados Estação Manuel Duarte (58585000)

A aplicação da metodologia IHA e das métricas de RVA na estação fluviométrica Manuel Duarte nos períodos 1 e 2 definidos forneceu os seguintes resultados apresentados nas Tabelas 2 e 3, respectivamente. Na Tabela 2 estão demonstrados os valores de medianas (pré-impacto [período 1] e pós-impacto [período 2]) e desvios (magnitude e porcentagem) para os indicadores de alteração hidrológica.

Para a estação Manuel Duarte verifica-se a ocorrência do desvio máximo de --30% (setembro) entre as medianas dos parâmetros do Grupo 1. Com relação aos parâmetros de vazões máximas anuais pertencentes ao Grupo 2, os desvios variam de -4% a -26%, enquanto que os desvios verificados nas vazões mínimas anuais variam de -26% a -33%.

O parâmetro do grupo 4 com maior desvio (33%) consiste no número de baixos pulsos, enquanto que no grupo 5, o parâmetro com maior desvio tratou-se da média das diferenças positivas entre dias consecutivos (-38%).

Tabela 2 – Métricas de IHA para a estação de Manuel Duarte (58585000)

Indicadores	Período 1 1955-1975	Período 2 2001-2021	Desvio	
	Medianas	Medianas	Magnitude	Porcentagem (%)
Parâmetro Grupo 1				
Outubro	43	32	-11	-26%
Novembro	59	50,5	-8,5	-14%
Dezembro	90	86,5	-3,5	-4%
Janeiro	105	118,5	13,5	13%
Fevereiro	109	112	3	3%
Março	103	104	1	1%
Abril	86	72	-14	-16%
Maio	70	59	-11	-16%
Junho	56	44	-12	-21%
Julho	46	33,5	-12,5	-27%
Agosto	40	28	-12	-30%
Setembro	35,5	26,5	-9	-25%
Parâmetro Grupo 2				
Vazão mínima anual de 1 dia	30	20	-10	-33%
Vazão mínima anual de 3 dias	30,33	20,67	-9,66	-32%
Vazão mínima anual de 7 dias	31,43	22,14	-9,29	-30%
Vazão mínima anual de 30 dias	36,13	26,72	-9,41	-26%
Vazão mínima anual de 90 dias	43,01	30,31	-12,7	-30%
Vazão máxima anual de 1 dia	418	378,5	-39,5	-9%
Vazão máxima anual de 3 dias	368	291,5	-76,5	-21%
Vazão máxima anual de 7 dias	300,4	223,4	-77	-26%
Vazão máxima anual de 30 dias	186,9	173	-13,9	-7%
Vazão máxima anual de 90 dias	142	136,4	-5,6	-4%
Número de dias com vazão zero	0	0	0	0%
Taxa de vazão de base	0,3565	0,3185	-0,038	-11%
Parâmetro Grupo 3				
Data Juliana do valor mínimo de cada ano	275	278	3	1%
Data Juliana do valor máximo de cada ano	26	28	2	8%
Parâmetro Grupo 4				
Número de baixos pulsos	6	8	2	33%
Duração média de baixos pulsos	6	5	-1	-17%
Número de altos pulsos	10	10,5	0,5	5%
Duração média de altos pulsos	3,5	2,5	-1	-29%
Parâmetro Grupo 5				
Média das diferenças positivas (subida) entre dois dias consecutivos	8	5	-3	-38%
Média das diferenças negativas (descida) entre dois dias consecutivos	-4	-4	0	0%
Número de reversões	100	132	32	32%

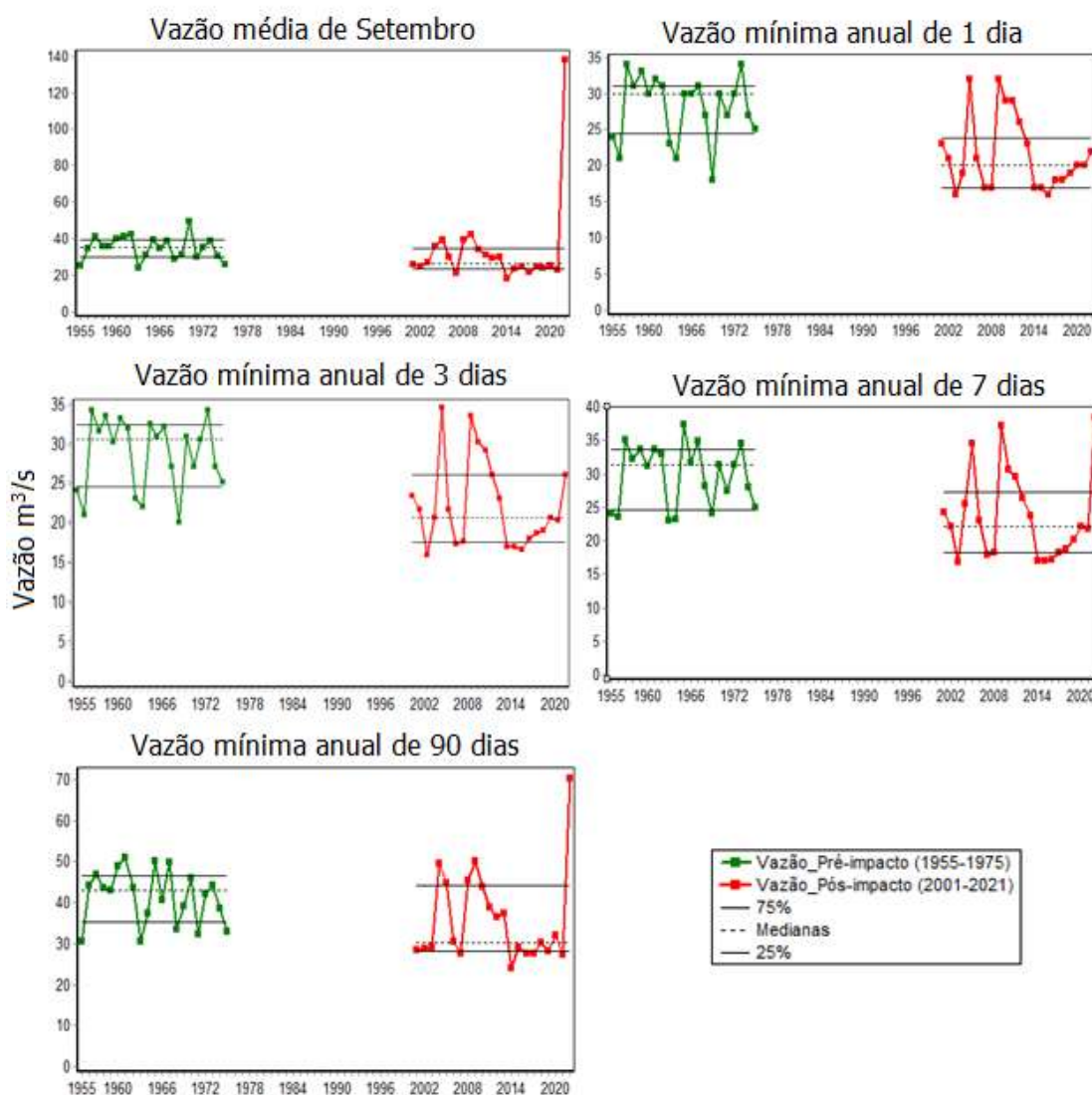
Fonte: Elaborado pela autora

Conforme já descrito, a Tabela 3 a seguir apresenta as métricas RVA para a estação fluviométrica em questão. Na coluna “Classificação” apresenta-se o grau de

alteração hidrológica conforme definido por Richter et al. (1998), estando destacados os valores classificados como elevado grau de alteração hidrológica.

Para a estação de Manuel Duarte, sete parâmetros apresentaram alta alteração hidrológica: Do Grupo 1, a vazão média de setembro (-68%); do grupo 2, as vazões mínimas anuais de 1,3,7 e 90 dias (-76%;-76%;-73%;-73%); E do Grupo 5, a média das diferenças positivas (subida) entre dois dias consecutivos (-68%) e número de reversões (-100%). A Figura 10 a seguir apresenta os gráficos dos parâmetros dos grupos 1 e 2 com elevado grau de alteração.

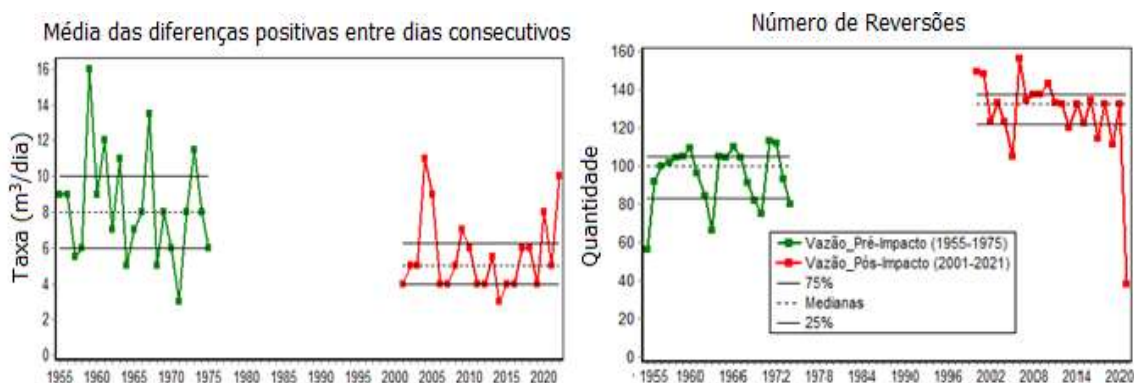
Figura 10 – Gráfico das métricas de RVA com elevado grau de alteração para os grupos 1 e 2 da estação fluviométrica de Manuel Duarte



Fonte: Adaptado de software IHA.

Já a Figura 11 a seguir demonstra os gráficos dos parâmetros do Grupo 5 destacados por apresentarem alto grau de alteração hidrológica.

Figura 11 – Gráfico das métricas de RVA com elevado grau de alteração para o grupo 5 da estação fluviométrica de Manuel Duarte



Fonte: Adaptado de software IHA.

Além disso, onze parâmetros apresentaram alteração hidrológica moderada. Os valores e respectivas classificações podem ser verificados na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Métricas de RVA para a estação de Manuel Duarte (58585000)

Indicadores	Limites RVA		Valores		Desvio	Classificação
	Baixo	Alto	Esperado	Observado		
Parâmetro Grupo 1						
Outubro	34,78	48	9,429	6	-36%	Média
Novembro	53,78	68,07	7,333	6	-18%	Baixa
Dezembro	79,12	103	7,333	5	-32%	Baixa
Janeiro	97,78	136,4	7,333	6	-18%	Baixa
Fevereiro	97,76	138	7,333	6	-18%	Baixa
Março	93,52	136,9	7,333	7	-5%	Baixa
Abril	75,5	110	9,429	6	-36%	Média
Maio	64	78	9,429	4	-58%	Média
Junho	49,65	60,48	7,333	4	-45%	Média
Julho	44,26	49,74	7,333	3	-59%	Média
Agosto	36,52	42,74	7,333	3	-59%	Média
Setembro	31	39	9,429	3	-68%	Alta
Parâmetro Grupo 2						
Vazão mínima anual de 1 dia	27	30,74	8,381	2	-76%	Alta
Vazão mínima anual de 3 dias	27	31,58	8,381	2	-76%	Alta
Vazão mínima anual de 7 dias	27,58	32,81	7,333	2	-73%	Alta
Vazão mínima anual de 30 dias	31,43	38,03	7,333	4	-45%	Média
Vazão mínima anual de 90 dias	38,65	44,28	7,333	2	-73%	Alta
Vazão máxima anual de 1 dia	303,4	459,2	7,333	8	9%	Baixa
Vazão máxima anual de 3 dias	286,5	390,2	7,333	5	-32%	Média
Vazão máxima anual de 7 dias	227,4	338	7,333	8	9%	Baixa
Vazão máxima anual de 30 dias	162,1	219,3	7,333	8	9%	Baixa
Vazão máxima anual de 90 dias	121,5	166,4	7,333	7	-5%	Baixa

Tabela 4 – Métricas de RVA para a estação de Manuel Duarte (58585000)

Indicadores	Limites RVA		Valores		Desvio	Classificação
	Baixo	Alto	Esperado	Observado		
Número de dias com vazão zero	0	0	22	22	0%	Baixa
Taxa de vazão de base	0,3481	0,3726	7,333	4	-45%	Média
Parâmetro Grupo 3						
Data Juliana do valor mínimo de cada ano	268	281,5	7,333	6	-18%	Baixa
Data Juliana do valor máximo de cada ano	38	78,18	8,381	6	-28%	Baixa
Parâmetro Grupo 4						
Número de baixos pulsos	6	7	9,429	4	-58%	Média
Duração média de baixos pulsos	4,63	7,11	7,333	11	50%	Média
Número de altos pulsos	8	14	11,52	14	21%	Baixa
Duração média de altos pulsos	2,5	4	9,429	9	-5%	Baixa
Parâmetro Grupo 5						
Média das diferenças positivas (subida) entre dois dias consecutivos	6,26	9	9,429	3	-68%	Alta
Média das diferenças negativas (descida) entre dois dias consecutivos	-4	-3	13,62	15	10%	Baixa
Número de reversões	91,26	104	8,381	0	-100%	Alta

Fonte: Elaborado pela autora

4.1.2. Resultados Estação Rio Preto (58550001)

Para a estação fluviométrica Rio Preto os períodos 1 e 2 estabelecidos forneceram os seguintes resultados apresentados nas Tabelas 4 e 5. De uma forma geral, os desvios nos parâmetros IHA ficaram entre os valores de 0% a 57%, sendo os valores máximos verificados nos parâmetros de duração média de baixos pulsos, Grupo 4, (55%) e data Juliana do valor máximo de cada ano, do grupo 3 (-57%). Verifica-se, porém, que em regra, os desvios nas medianas dos parâmetros desta estação estão entre 15% e 20%.

Tabela 5 – Métricas de IHA para a estação de Rio Preto (58550001)

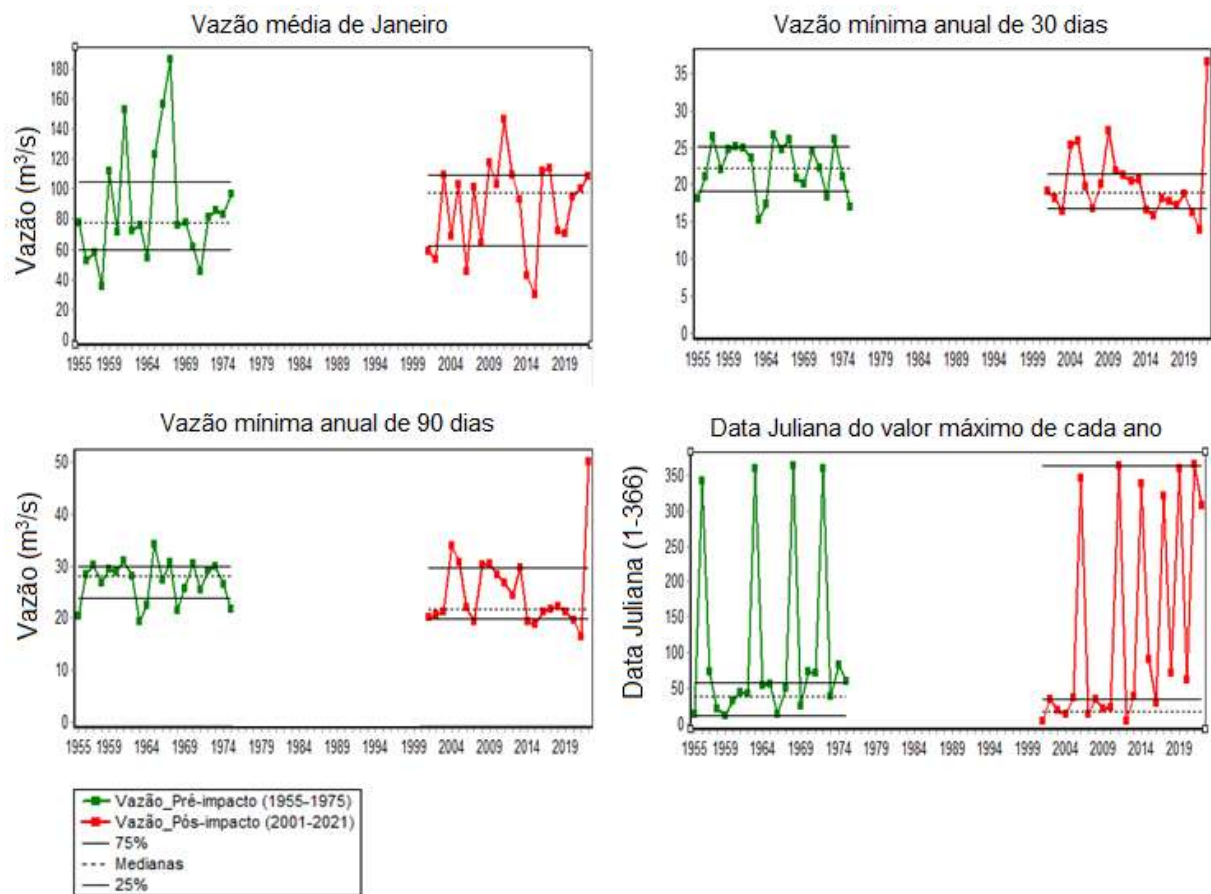
Indicadores	Período 1 1955-1975	Período 2 2001-2021	Desvio	
	Medianas	Medianas	Magnitude	Porcentagem (%)
Parâmetro Grupo 1				
Outubro	27	22	-5	-19%
Novembro	37	38,25	1,25	3%
Dezembro	57	61	4	7%
Janeiro	78	97,5	19,5	25%
Fevereiro	75	72,25	-2,75	-4%
Março	74	72,5	-1,5	-2%
Abril	58,5	55,75	-2,75	-5%
Maio	47	40,5	-6,5	-14%
Junho	37	34	-3	-8%
Julho	31	25	-6	-19%
Agosto	25	20,5	-4,5	-18%
Setembro	24	19,5	-4,5	-19%
Parâmetro Grupo 2				
Vazão mínima anual de 1 dia	19	16	-3	-16%
Vazão mínima anual de 3 dias	19,33	16,33	-3	-16%
Vazão mínima anual de 7 dias	19,86	16,64	-3,22	-16%
Vazão mínima anual de 30 dias	22,27	18,87	-3,4	-15%
Vazão mínima anual de 90 dias	28,11	21,73	-6,38	-23%
Vazão máxima anual de 1 dia	280	281	1	0%
Vazão máxima anual de 3 dias	234,3	197,3	-37	-16%
Vazão máxima anual de 7 dias	192,4	153,3	-39,1	-20%
Vazão máxima anual de 30 dias	126,2	122,1	-4,1	-3%
Vazão máxima anual de 90 dias	95,8	93,02	-2,78	-3%
Número de dias com vazão zero	0	0	0	0%
Taxa de vazão de base	0,3521	0,3389	-0,0132	-4%
Parâmetro Grupo 3				
Data Juliana do valor mínimo de cada ano	275	275	0	0%
Data Juliana do valor máximo de cada ano	38	16,5	-21,5	-57%
Parâmetro Grupo 4				
Número de baixos pulsos	6	6	0	0%
Duração média de baixos pulsos	5,5	8,5	3	55%
Número de altos pulsos	10	10	0	0%
Duração média de altos pulsos	2	2,25	0,25	13%
Parâmetro Grupo 5				
Média das diferenças positivas (subida) entre dois dias consecutivos	7	6,5	-0,5	-7%
Média das diferenças negativas (descida) entre dois dias consecutivos	-3	-2,75	0,25	-8%
Número de reversões	99	91	-8	-8%

Fonte: Elaborado pela autora

No que se refere à classificação de acordo com as métricas RVA definidas por Richter (1998), quatro parâmetros indicaram elevada alteração hidrológica, enquanto treze parâmetros indicaram alterações moderadas. Os parâmetros que indicaram

alta alteração hidrológica foram: Do Grupo 1, a vazão média de janeiro (-86%); Do grupo 2, as vazões mínimas anuais de 30 e 90 dias (-73%;-73%); E do Grupo 3, a data Juliana do valor máximo de cada ano (-73%). Os gráficos destes parâmetros podem ser verificados na Figura 12.

Figura 12 – Gráfico das métricas de RVA com elevado grau de alteração para os grupos 1, 2 e da estação fluviométrica de Rio Preto



Fonte: Adaptado de software IHA.

O grau de alteração hidrológica de cada parâmetro pode ser verificado na Tabela 5 indica na sequência.

Tabela 6 – Métricas de RVA para a estação de Rio Preto (58550001)

Indicadores	Limites RVA		Valores		Desvio	Classificação
	Baixo	Alto	Esperado	Observado		
Parâmetro Grupo 1						
Outubro	24	30,74	8,381	4	-52%	Média
Novembro	33,54	46,07	7,333	6	-18%	Baixa
Dezembro	49	60,22	8,381	5	-40%	Média
Janeiro	71,26	85,22	7,333	1	-86%	Alta
Fevereiro	66,8	100,2	7,333	8	9%	Baixa
Março	67,26	87,22	7,333	3	-59%	Média
Abril	52,39	76,85	7,333	7	-5%	Baixa
Maio	39	55,48	9,429	9	-5%	Baixa
Junho	32,65	41,37	7,333	8	9%	Baixa
Julho	28,52	34	9,429	5	-47%	Média
Agosto	22,26	27	8,381	5	-40%	Média
Setembro	21	24	9,429	5	-47%	Média
Parâmetro Grupo 2						
Vazão mínima anual de 1 dia	17	20	9,429	8	-15%	Baixa
Vazão mínima anual de 3 dias	17,09	21	10,48	7	-33%	Média
Vazão mínima anual de 7 dias	17,65	21,53	7,333	7	-5%	Baixa
Vazão mínima anual de 30 dias	20,92	24,76	7,333	2	-73%	Alta
Vazão mínima anual de 90 dias	25,89	29,39	7,333	2	-73%	Alta
Vazão máxima anual de 1 dia	228	323,1	8,381	10	19%	Baixa
Vazão máxima anual de 3 dias	184,4	263,9	7,333	11	50%	Média
Vazão máxima anual de 7 dias	137,4	212,7	8,381	13	55%	Média
Vazão máxima anual de 30 dias	105,8	143,6	7,333	11	50%	Média
Vazão máxima anual de 90 dias	84,54	117,7	7,333	10	36%	Média
Número de dias com vazão zero	0	0	22	22	0%	Baixa
Taxa de vazão de base	0,3375	0,3868	7,333	6	-18%	Baixa
Parâmetro Grupo 3						
Data Juliana do valor mínimo de cada ano	270,5	277,2	7,333	4	-45%	Média
Data Juliana do valor máximo de cada ano	39,3	72,48	7,333	2	-73%	Alta
Parâmetro Grupo 4						
Número de baixos pulsos	5	8	9,429	9	-5%	Baixa
Duração média de baixos pulsos	4,13	8,48	7,333	9	23%	Baixa
Número de altos pulsos	8,26	14	9,429	11	17%	Baixa
Duração média de altos pulsos	2	3	12,57	14	11%	Baixa
Parâmetro Grupo 5						
Média das diferenças positivas (subida) entre dois dias consecutivos	7	8,74	8,381	7	-16%	Baixa
Média das diferenças negativas (descida) entre dois dias consecutivos	-4	-3	13,62	11	-19%	Baixa
Número de reversões	97,26	105	8,381	4	-52%	Média

Fonte: Elaborado pela autora

4.1.3. Resultados Estação Sobraji (58520000)

Com relação aos indicadores calculados para a estação fluviométrica “Sobraji”, verificam-se os seguintes valores máximos de desvios para cada grupo: a) Grupo 1, vazão média de fevereiro (-17%); b) Grupo 2, vazão mínima anual de 1 dia (10%) e vazão máxima anual de 3 dias (-10%); c) Grupo 3, data Juliana do valor máximo de cada ano (30%); d) Grupo 4, duração média de baixos pulsos (50%); e) Grupo 5, média das diferenças negativas entre dias consecutivos (20%)

Diversos valores de desvios próximos a zero foram verificados nos cinco grupos do IHA. A Tabela 6 a seguir apresenta todos os desvios calculados para os indicadores da estação Sobraji.

Tabela 7 – Métricas de IHA para a estação de Sobraji (58520000)

Indicadores	Período 1 1955-1975	Período 2 2001-2021	Desvio	
	Medianas	Medianas	Magnitude	Porcentagem (%)
Parâmetro Grupo 1				
Outubro	44	38,5	-5,5	-13%
Novembro	59	56,5	-2,5	-4%
Dezembro	80	79,5	-0,5	-1%
Janeiro	99	92	-7	-7%
Fevereiro	100	83	-17	-17%
Março	86	81	-5	-6%
Abril	61,5	62	0,5	1%
Maio	52	50	-2	-4%
Junho	42,5	46,25	3,75	9%
Julho	44	41	-3	-7%
Agosto	39	38,5	-0,5	-1%
Setembro	38,5	36,5	-2	-5%
Parâmetro Grupo 2				
Vazão mínima anual de 1 dia	24	26,5	2,5	10%
Vazão mínima anual de 3 dias	27	27,83	0,83	3%
Vazão mínima anual de 7 dias	28,43	29	0,57	2%
Vazão mínima anual de 30 dias	32	32,88	0,88	3%
Vazão mínima anual de 90 dias	38,03	38,92	0,89	2%
Vazão máxima anual de 1 dia	299	306,5	7,5	3%
Vazão máxima anual de 3 dias	279,3	252,2	-27,1	-10%
Vazão máxima anual de 7 dias	217,1	206,4	-10,7	-5%
Vazão máxima anual de 30 dias	153,8	146,2	-7,6	-5%
Vazão máxima anual de 90 dias	118,5	111,2	-7,3	-6%
Número de dias com vazão zero	0	0	0	0%
Taxa de vazão de base	0,4315	0,4359	0,0044	1%
Parâmetro Grupo 3				
Data Juliana do valor mínimo de cada ano	275	281	6	2%

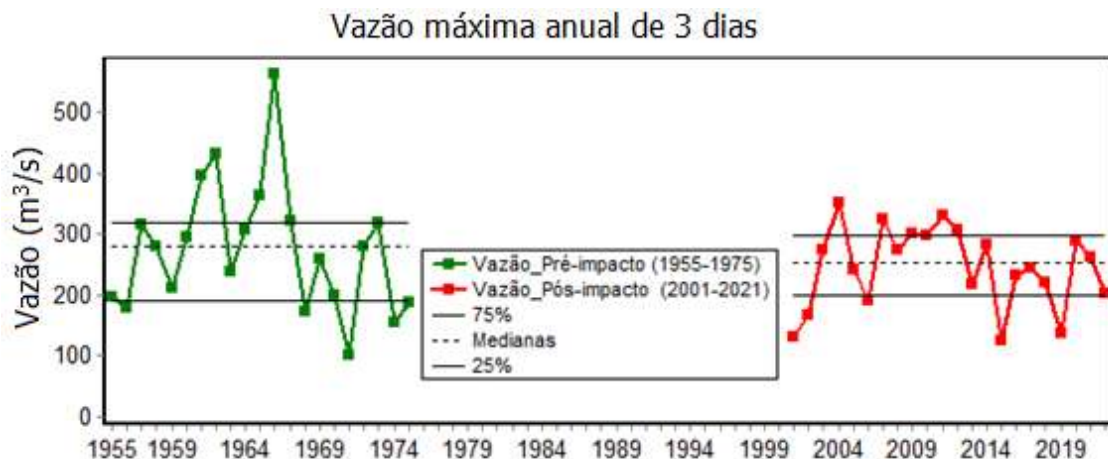
Tabela 8 – Métricas de IHA para a estação de Sobraji (58520000)

Indicadores	Período 1 1955-1975	Período 2 2001-2021	Desvio	
	Medianas	Medianas	Magnitude	Porcentagem (%)
Data Juliana do valor máximo de cada ano	10	13	3	30%
Parâmetro Grupo 4				
Número de baixos pulsos	11	10,5	-0,5	-5%
Duração média de baixos pulsos	2	3	1	50%
Número de altos pulsos	8	11	3	38%
Duração média de altos pulsos	2,5	3	0,5	20%
Parâmetro Grupo 5				
Média das diferenças positivas (subida) entre dois dias consecutivos	4,5	4	-0,5	-11%
Média das diferenças negativas (descida) entre dois dias consecutivos	-5	-4	1	-20%
Número de reversões	157	163	6	4%

Fonte: Elaborado pela autora

Na estação de Sobraji, apenas a métrica RVA de vazão máxima anual de 3 dias (Grupo 2) apresentou grau de alteração elevado, correspondendo a 91%. A Figura 13 apresenta os valores referentes à esta métrica.

Figura 13 – Gráfico da métrica de RVA com elevado grau de alteração para os grupos 2 da estação fluviométrica de Sobraji



Fonte: Adaptado de software IHA.

Os demais parâmetros, em sua grande maioria foram classificados como baixo grau de alteração, totalizando um total de 22 indicadores nesta faixa de alteração.

Destacam-se, porém, que três parâmetros (dos grupos 1 e 2) com grau de alteração hidrológica moderada, apresentaram valores próximos ao limite de serem

classificados como alta alteração hidrológica, sendo eles: a vazão média do mês de março (64%) e as vazões máximas anuais de 30 (64%) e 90 dias (64%). Os valores e respectivas classificações referentes à estação fluviométrica de Sobraji podem ser verificados na Tabela 7 a seguir.

Tabela 9 – Métricas de RVA para a estação de Sobraji (58520000)

Indicadores	Limites RVA		Valores		Desvio	Classificação
	Baixo	Alto	Esperado	Observado		
Parâmetro Grupo 1						
Outubro	36,26	46,74	7,333	8	9%	Baixa
Novembro	52,89	69,83	7,333	8	9%	Baixa
Dezembro	72,52	91,96	7,333	8	9%	Baixa
Janeiro	75,52	118,4	7,333	8	9%	Baixa
Fevereiro	68,5	130	8,381	11	31%	Baixa
Março	67,78	116,7	7,333	12	64%	Média
Abril	56,13	90,92	7,333	10	36%	Média
Maio	46	69,44	8,381	10	19%	Baixa
Junho	41	55,98	8,381	6	-28%	Baixa
Julho	36,78	48,74	7,333	6	-18%	Baixa
Agosto	34,26	44,48	7,333	8	9%	Baixa
Setembro	31,13	42,11	7,333	10	36%	Média
Parâmetro Grupo 2						
Vazão mínima anual de 1 dia	23,26	29,48	7,333	5	-32%	Baixa
Vazão mínima anual de 3 dias	24,51	31,71	7,333	5	-32%	Baixa
Vazão mínima anual de 7 dias	26,12	33,65	7,333	6	-18%	Baixa
Vazão mínima anual de 30 dias	29,53	37,17	7,333	4	-45%	Média
Vazão mínima anual de 90 dias	34,32	45,31	7,333	7	-5%	Baixa
Vazão máxima anual de 1 dia	221	353	8,381	12	43%	Média
Vazão máxima anual de 3 dias	203	312,6	7,333	14	91%	Alta
Vazão máxima anual de 7 dias	195,1	261,3	7,333	10	36%	Média
Vazão máxima anual de 30 dias	124,6	192,9	7,333	12	64%	Média
Vazão máxima anual de 90 dias	98,1	144,6	7,333	12	64%	Média
Número de dias com vazão zero	0	0	22	22	0%	Baixa
Taxa de vazão de base	0,395	0,46	7,333	7	-5%	Baixa
Parâmetro Grupo 3						
Data Juliana do valor mínimo de cada ano	262,6	277,7	7,333	4	-45%	Média
Data Juliana do valor máximo de cada ano	17,08	272	7,333	9	23%	Baixa
Parâmetro Grupo 4						
Número de baixos pulsos	8	12,74	8,381	7	-16%	Baixa
Duração média de baixos pulsos	1,63	2	8,381	4	-52%	Média

Tabela 10 – Métricas de RVA para a estação de Sobraji (58520000)

Indicadores	Limites RVA		Valores		Desvio	Classificação
	Baixo	Alto	Esperado	Observado		
Número de altos pulsos	8	11	10,48	12	15%	Baixa
Duração média de altos pulsos	2	3	13,62	14	3%	Baixa
Parâmetro Grupo 5						
Média das diferenças positivas (subida) entre dois dias consecutivos	4	5	15,71	14	-11%	Baixa
Média das diferenças negativas (descida) entre dois dias consecutivos	-5	-4	13,62	16	17%	Baixa
Número de reversões	151,5	161,7	7,333	6	-18%	Baixa

Fonte: Elaborado pela autora

4.1.4. Resultados Estação Visconde de Mauá (58525000)

Os resultados obtidos para a estação de Visconde de Mauá apresentaram desvios nulos para diversos indicadores do Grupo 1: vazão média dos meses de Outubro, Abril, Maio, Junho, Julho, Agosto e Setembro. Em contraposição, o maior desvio foi verificado na vazão média do mês de novembro, correspondendo ao valor de -25%. Já para o Grupo 2, observam-se valores nulos para os parâmetros de vazões mínimas de 1,3 e 7 dias e número de dias com vazão zero; os demais parâmetros desse grupo tiveram, em sua maioria, desvios próximos a 20%.

Para os parâmetros do grupo 3, tem-se um desvio considerável de -59% para a Data Juliana do valor máximo de cada ano e nulo para a Data Juliana do valor mínimo de cada ano. Com relação ao Grupo 4, destaca-se o desvio de 150% no parâmetro de número de baixos pulsos. Já para o Grupo 5, enquanto o desvio da média das diferenças positivas entre dias consecutivos é de -33%, o desvio da média das diferenças negativas entre dias consecutivos é nulo.

Os dados completos referentes à estação fluviométrica de Visconde de Mauá estão demonstrados na Tabela 8 a seguir.

Tabela 11 – Métricas de IHA para a estação de Visconde de Mauá (58525000)

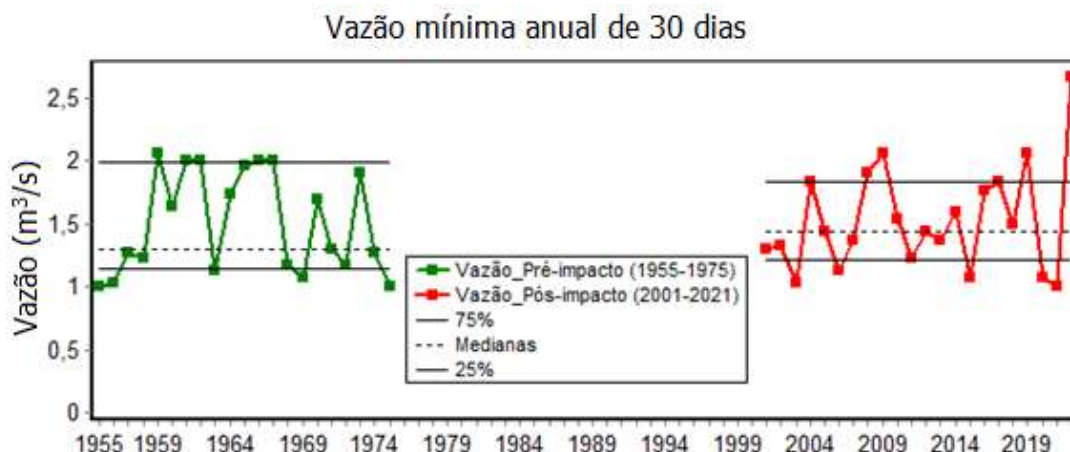
Indicadores	Período 1 1955-1975	Período 2 2001-2021	Desvio	
	Medianas	Medianas	Magnitude	Porcentagem (%)
Parâmetro Grupo 1				
Outubro	2	2	0	0%
Novembro	4	3	-1	-25%
Dezembro	6	5	-1	-17%
Janeiro	8	7	-1	-13%
Fevereiro	9	7	-2	-22%
Março	9	8	-1	-11%
Abril	6	6	0	0%
Maio	4	4	0	0%
Junho	3	3	0	0%
Julho	2	2	0	0%
Agosto	2	2	0	0%
Setembro	2	2	0	0%
Parâmetro Grupo 2				
Vazão mínima anual de 1 dia	1	1	0	0%
Vazão mínima anual de 3 dias	1	1	0	0%
Vazão mínima anual de 7 dias	1	1	0	0%
Vazão mínima anual de 30 dias	1,3	1,433	0,133	10%
Vazão mínima anual de 90 dias	2	1,961	-0,039	-2%
Vazão máxima anual de 1 dia	34	25	-9	-26%
Vazão máxima anual de 3 dias	24	18,67	-5,33	-22%
Vazão máxima anual de 7 dias	19,86	15,79	-4,07	-20%
Vazão máxima anual de 30 dias	14,5	10,83	-3,67	-25%
Vazão máxima anual de 90 dias	10,27	8,4	-1,87	-18%
Número de dias com vazão zero	0	0	0	0%
Taxa de vazão de base	0,2049	0,2343	0,0294	14%
Parâmetro Grupo 3				
Data Juliana do valor mínimo de cada ano	275	275	0	0%
Data Juliana do valor máximo de cada ano	17	7	-10	-59%
Parâmetro Grupo 4				
Número de baixos pulsos	2	5	3	150%
Duração média de baixos pulsos	6	4	-2	-33%
Número de altos pulsos	8	10	2	25%
Duração média de altos pulsos	2,5	2	-0,5	-20%
Parâmetro Grupo 5				
Média das diferenças positivas (subida) entre dois dias consecutivos	1,5	1	-0,5	-33%
Média das diferenças negativas (descida) entre dois dias consecutivos	-1	-1	0	0%
Número de reversões	59	73,5	14,5	25%

Fonte: Elaborado pela autora

Por fim, os resultados das métricas de RVA para a estação de Visconde de Mauá estão apresentados a seguir na Tabela 9. Assim como verificado na estação de Sobraji, apenas um parâmetro pertencente ao Grupo 2 apresentou elevada alteração

hidrológica. No caso da estação de Visconde de Mauá, tal alteração elevada foi verificada no parâmetro de vazão mínima anual de 30 dias (77%), conforme Figura 14.

Figura 14 – Gráfico da métrica de RVA com elevado grau de alteração para os grupos 2 da estação fluviométrica Visconde de Mauá



Fonte: Adaptado de software IHA.

Destacam-se, porém, três resultados dos Grupos 1 e 2 que apresentaram médio grau de alteração hidrológica: vazão média dos meses de novembro e dezembro (38% e 59%) e vazão mínima anual de 90 dias (36%), conforme podem ser verificados na Tabela 9.

Tabela 12 – Métricas de RVA para a estação de Visconde de Mauá (58525000)

Parâmetros	Limites RVA		Valores		Desvio	Classificação
	Baixo	Alto	Esperado	Observado		
Parâmetro Grupo 1						
Outubro	2	3	15,71	15	-5%	Baixa
Novembro	3	4,87	9,429	13	38%	Média
Dezembro	5	7	9,429	15	59%	Média
Janeiro	7	9,74	12,57	10	-20%	Baixa
Fevereiro	8	11,48	8,381	7	-16%	Baixa
Março	7	10	10,48	12	15%	Baixa
Abril	5	7	16,76	15	-11%	Baixa
Maio	3	4	15,71	17	8%	Baixa
Junho	3	3	13,62	11	-19%	Baixa
Julho	2	3	19,9	20	0%	Baixa
Agosto	2	2	15,71	14	-11%	Baixa
Setembro	1,13	2	14,67	13	-11%	Baixa
Parâmetro Grupo 2						
Vazão mínima anual de 1 dia	1	1	19,9	22	11%	Baixa
Vazão mínima anual de 3 dias	1	1	18,86	21	11%	Baixa

Tabela 13 – Métricas de RVA para a estação de Visconde de Mauá (58525000)

Parâmetros	Limites RVA		Valores		Desvio	Classificação
	Baixo	Alto	Esperado	Observado		
Vazão mínima anual de 7 dias	1	1	16,76	16	-5%	Baixa
Vazão mínima anual de 30 dias	1,184	1,857	7,333	13	77%	Alta
Vazão mínima anual de 90 dias	1,747	2,299	7,333	10	36%	Média
Vazão máxima anual de 1 dia	26,52	43,7	7,333	8	9%	Baixa
Vazão máxima anual de 3 dias	21	31,48	8,381	6	-28%	Baixa
Vazão máxima anual de 7 dias	16,94	25,32	7,333	9	23%	Baixa
Vazão máxima anual de 30 dias	11,78	16,71	7,333	5	-32%	Baixa
Vazão máxima anual de 90 dias	9,168	11,9	7,333	5	-32%	Baixa
Número de dias com vazão zero	0	0	22	22	0%	Baixa
Taxa de vazão de base	0,1921	0,2625	7,333	8	9%	Baixa
Parâmetro Grupo 3						
Data Juliana do valor mínimo de cada ano	264,6	275	9,429	11	17%	Baixa
Data Juliana do valor máximo de cada ano	21,26	75,8	7,333	8	9%	Baixa
Parâmetro Grupo 4						
Número de baixos pulsos	1	4,74	11,52	10	-13%	Baixa
Duração média de baixos pulsos	5	9,055	8,381	6	-28%	Baixa
Número de altos pulsos	6,26	11	8,381	8	-5%	Baixa
Duração média de altos pulsos	2	3	12,57	14	11%	Baixa
Parâmetro Grupo 5						
Média das diferenças positivas (subida) entre dois dias consecutivos	1	2	18,86	22	17%	Baixa
Média das diferenças negativas (descida) entre dois dias consecutivos	-1	-1	20,95	22	5%	Baixa
Número de reversões	51	71,74	8,381	8	-5%	Baixa

Fonte: Elaborado pela autora

4.1.5. Índices de RVA altamente alterados

Nesta seção, serão consolidados os parâmetros hidrológicos de todas as estações hidrológicas estudadas que apresentaram alteração hidrológica elevada. Os dados compilados estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 14 – Resumo dos resultados com alto grau de alteração hidrológica das estações estudadas

Estação Fluviométrica	Grupo	Parâmetro Hidrológico alterado	Alteração
Manuel Duarte	1	Vazão média Setembro	-68%
	2	Vazão mínima anual de 1 dia	-76%
	2	Vazão mínima anual de 3 dias	-76%
	2	Vazão mínima anual de 7 dias	-73%
	2	Vazão mínima anual de 90 dias	-73%
	5	Média das diferenças positivas (subida) entre dois dias consecutivos	-68%
	5	Número de reversões	-100%
Estação Fluviométrica	Grupo	Parâmetro Hidrológico alterado	Alteração
Rio Preto	1	Vazão média Janeiro	-86%
	2	Vazão mínima anual de 30 dias	-73%
	2	Vazão mínima anual de 90 dias	-73%
	3	Data Juliana do valor máximo de cada ano	-73%
Sobraji	2	Vazão máxima anual de 3 dias	91%
Visconde de Mauá	2	Vazão mínima anual de 30 dias	77%
		Média	77%

Fonte: Elaborado pela autora

A partir dos dados da Tabela 10 verifica-se que em sua maioria, os parâmetros que apresentam elevado grau de alteração hidrológica pertencem aos Grupos 1 e 2, porém, parâmetros do grupo 5 e 3 também são representados nesta categoria. Além disso, destaca-se que nenhuma das quatro estações resultaram em alterações hidrológicas elevadas para o grupo 4.

Parâmetros hidrológicos referentes às vazões mínimas (Grupo 2) foram os mais atingidos, estando presente em três das quatro estações analisadas. Além disso, pode-se ressaltar também que a média das alterações hidrológicas elevadas é de 77%, estando aproximadamente 11% acima do limite inferior do valor desta categoria.

O trecho localizado em Manuel Duarte apresentou a maior quantidade de parâmetros hidrológicos com alto grau de alteração hidrológica, quando comparados os demais. De acordo com o apresentado anteriormente, foram sete parâmetros com alteração alta no período de dados analisados, sendo quatro desses parâmetros pertencentes ao Grupo 2. Destaca-se que todos os cinco parâmetros hidrológicos com alta alteração hidrológica dos grupos 1 e 2 desta estação

apontaram para uma redução do volume de vazão no período 2, quando comparado ao período 1. Além disso, ressalta-se uma drástica diminuição no parâmetro de número de reversões.

O trecho de rio localizado na estação de Rio Preto teve todos seus parâmetros com elevado grau de alteração com variações negativas, indicando assim, uma redução dos valores no período 2. Uma significativa redução é verificada na vazão média do mês de janeiro (-86%), considerado um mês de cheia. Porém, reduções com moderado grau também foram identificados nos meses de seca (julho a setembro) com redução média de aproximadamente 45%. Um ponto interessante a se salientar reside na semelhança entre a alteração da métrica de vazão mínima anual de 90 dias nas estações de Rio Preto e Manuel Duarte, visto que ambos possuíram uma redução de 73%.

Seguindo as tendências dos trechos localizados a jusante no Rio Preto, o trecho de rio da estação Visconde de Mauá, que se localiza mais próxima da cabeceira, também apresentou um parâmetro de vazão mínima altamente alterado, porém com valor positivo, indicando um aumento dessa vazão para o período atual.

Em oposição ao que foi verificado nas estações de Manuel Duarte e Rio Preto, o trecho de Sobraji apresentou apenas o parâmetro de vazão máxima anual de 3 dias (Grupo 2) com alta alteração hidrológica (91%) e diferentemente das demais, o desvio foi positivo, indicando que os valores do período 2 foi superior período 1.

4.2. COMPARAÇÃO POR MANN-KENDALL

Conforme descrito no item referente aos métodos aplicados na presente pesquisa, o teste de Mann-Kendall foi calculado para o período mensal e anual para cada estação pluviométrica e fluviométrica estudada. Dessa forma, os resultados de p-valor, de forma a verificar a existência ou não de tendência na série de dados; assim como a estatística S, que indica se houve variação de tendência negativa ou positiva estão apresentados a seguir.

4.2.1. Dados fluviométricos

No que se referem aos resultados do teste de Mann-Kendall (Tabela 11), todos os trechos de rio nas estações (para períodos mensal e anual), com exceção da análise

anual de Sobraji e Rio Preto, apresentaram resultados de $p\text{-valor} < 0,05$ (para nível de significância $\alpha = 0,05$), ou seja, resultados capazes de rejeitar a hipótese nula de não existência de tendência positiva ou negativa nos dados. Além disso, todos os resultados do teste indicaram ainda, através do valor positivo da estatística “S”, existência de tendência positiva, denotando, portanto, que o volume total de água nos trechos aumentou do período anterior para o período mais recente.

Tabela 15 – Teste estatístico de Mann-Kendall para estações fluviométricas ($p < 0,05$ foi considerado estatisticamente significativo em cinza)

Tipo Estação	Nome Estação	Período	Mann-Kendall	
			P-valor	S
Fluviométrica	Manuel Duarte	Mensal	<0,01	$2,98 \times 10^4$
		Anual	0,04	$3,73 \times 10^2$
Fluviométrica	Rio Preto	Mensal	0,01	$1,93 \times 10^4$
		Anual	0,20	$2,33 \times 10^2$
Fluviométrica	Sobraji	Mensal	0,01	$1,86 \times 10^4$
		Anual	0,22	$2,29 \times 10^2$
Fluviométrica	Visconde de Mauá	Mensal	0,05	$1,50 \times 10^4$
		Anual	0,01	$4,73 \times 10^2$

Fonte: Elaborado pela autora

4.2.2. Dados pluviométricos

As informações pluviométricas tiveram diferenças de tendência entre os períodos para análises anuais em todas as estações ($p\text{-valor} < 0,05$). Apenas em Sobraji, a tendência representa diminuição do total pluviométrico no período mais recente ($S = -397$).

Tabela 16 – Resumo dos resultados obtidos através do teste estatístico de Mann-Kendall para estações pluviométricas ($p < 0,05$ foi considerado estatisticamente significativo em cinza)

Tipo Estação	Nome Estação	Período	Mann-Kendall	
			P-valor	S
Pluviométrica	Manuel Duarte	Mensal	0,22	$9,13 \times 10^3$
		Anual	< 0,01	$4,84 \times 10^2$
Pluviométrica	Taboas (prox. Rio Preto)	Mensal	0,04	$1,58 \times 10^4$
		Anual	< 0,01	$6,55 \times 10^2$
Pluviométrica	Sobraji	Mensal	0,07	$-1,35 \times 10^4$
		Anual	0,03	$-3,97 \times 10^2$
Pluviométrica	Visconde de Mauá	Mensal	0,33	$7,36 \times 10^3$
		Anual	0,04	$3,73 \times 10^2$

Fonte: Elaborado pela autora

5. DISCUSSÃO

As alterações climáticas, impulsionadas principalmente pelas atividades humanas, estão sendo relacionadas às mudanças significativas de uma série de fenômenos, tais como a alteração dos padrões de precipitação, o aumento da frequência de fenômenos meteorológicos extremos e a subida do nível do mar. Em sistemas de água doce, tais mudanças podem impactar diretamente o balanço hídrico de bacias hidrográficas e causar alterações significativas nos padrões do regime de vazões de rios. Compreender os efeitos das alterações climáticas nas águas superficiais é de extrema importância, uma vez que afetam diretamente a disponibilidade dos recursos hídricos em ecossistemas importantes.

O presente estudo, por meio de métodos estatísticos que compararam uma série de dados de vazão em trechos de rios e volume de chuva em 4 estações, chegou-se aos seguintes resultados principais: 1) houve alteração hidrológica alta de parâmetros relacionados a magnitude da vazão, indicados nos grupos 1 (magnitude em condições mensais) e grupo 2 (magnitude e duração de condições anuais extremas) em todas as 4 estações; 2) trechos de rio localizados mais distantes das cabeceiras, mas sem interferência de reservatórios, apresentaram alteração hidrológica alta de parâmetros relacionados a temporalidade das condições anuais extremas (grupo 3) e a taxa/frequência hidrológica (grupo 5); 3) os trechos de rio apresentaram maior disponibilidade hídrica mensal de acordo com o teste de Mann-Kendall; 4) no rio Preto, o trecho de rio mais próximo a cabeceira indicou aumento de magnitude vazão mínima entre os períodos, porém nos trechos localizados a jusante esse aumento da magnitude foi revertido para redução da magnitude da vazão mínima; 5) todos os índices pluviométricos apresentaram alteração de tendência nas quatro estações estudadas com análises anuais, porém a estação localizada na bacia do Rio Paraíba, apresentou decréscimo do volume pluviométrico no período atual.

Estudos que empregaram o método de RVA em trechos de rios afetados por usinas hidrelétricas e reservatório apontam alta variação hidrológica em parâmetros relacionados à magnitude das vazões, temporalidade e frequência (ELY et al., 2020; FANTIN-CRUZ et al., 2015; GAO et al., 2012; LI et al., 2017b; TIMPE; KAPLAN, 2017; YANG; YAN; LIU, 2012; ZHANG et al., 2018). Avaliações por RVA em trechos

de rios sob impactados por fontes difusas, sejam elas de origem climáticas e/ou de uso e ocupação do solo são raras, mas em geral tais fontes alteram principalmente características relacionadas à magnitude como vazão de pico e volume escoado (GAO et al., 2020; GIROLAMO et al., 2022). O presente estudo indica, porém, que em trechos localizados mais a jusante de cabeceiras (nesse caso Manoel Duarte e Rio Preto), houve alta alteração de parâmetros do regime de vazões em termos de temporalidade das condições anuais extremas (grupo 3) e a taxa/frequência hidrológica (grupo 5). Girolamo et al. (2022) e Blöschl et al. (2019) também concluíram que alterações climáticas provocam alteração em termos de taxa de mudança nos regimes de vazão na Europa.

Com relação à tendência entre o período mais antigo e o recente, o método RVA indicou diminuição das vazões mínimas e médias (nesse caso de alguns meses do período chuvoso) em trechos do médio Rio Preto (estações Rio Preto e Manuel Duarte). Porém, no mesmo rio, mas entre trecho mais a montante foi identificado o aumento da vazão mínima, resultado esse que foi encontrado em diferentes locais ao longo planeta e atribuídos a alterações climáticas. Desenvolvido nos Estados Unidos, Pradhanang et al. (2013) indicaram alterações hidrológicas provocadas pelas mudanças climáticas entre elas o aumento de vazão durante os meses de inverno. A diferença pode ser explicada devido ao avanço do degelo, causado pelo aumento da temperatura, condição esta não sendo característica desta região do nosso país.

As variações de vazão mínima obtidas pelo método do RVA ao longo do Rio Preto indicam: 1) que a região de cabeceira está mais sujeita a alterações climáticas que geram mais precipitação e essa é repassada para o regime de vazões, que apresentou vazão mínima anual alterada de 30 dias alterada; 2) que regiões do Meio e Baixo Rio Preto, analisadas pelos trechos de rio nas estações Rio Preto e Manuel Duarte possuem alterações hidrológicas no seu regime de vazões proveniente das duas fontes: alterações climáticas e uso e ocupação do solo.

Variações nas tendências pluviométricas, indicadas pelo teste de Mann-Kendall, corroboram para as possíveis causas das alterações hidrológicas apresentadas no parágrafo anterior, porque indicam aumento de entrada de água na bacia do rio Preto. Tendências positivas para média da precipitação máxima anual na região Sudeste do Brasil foram também verificadas por modelos climáticos regionais e

como consequência dessa maior entrada de água nas bacias do sudeste, modelos hidrodinâmicos projetam maiores cheias para bacias dessa região (BRÊDA et al., 2023).

Entretanto, dados pluviométricos da estação de Sobraji indicaram uma redução no total precipitado. Tal resultado deve ser futuramente melhor analisado, verificando a existência de outras estações na mesma área de drenagem que corroboram com tal observação. Possíveis estações localizadas em regiões a montante do trecho Sobraji, poderão auxiliar na compreensão do aumento da magnitude de vazões verificado tanto pelo método do RVA como pelo teste de Mann-Kendall que utilizaram os dados fluviométricos da estação de mesmo nome.

No geral, as ferramentas empregadas na presente pesquisa (IHA, RVA e teste de Mann-Kendall) foram suficientes para indicar a existência de alterações climáticas, obtidas na verificação de dados pluviométricos, e alterações hidrológicas do regime de vazões. Ressalta-se que em termos de alterações hidrológicas, houve um aumento da disponibilidade hídrica na bacia (indicada pelos testes de Mann-Kendall para vazões) e esse aumento se apresentou de forma variada no regime de vazões: em trechos ocorre o aumento da vazão máxima em outros da vazão mínima, indicados pelos métodos de RVA.

Futuras contribuições para compreensão dos efeitos antrópicos no regime de vazões de rios da região devem englobar questões de uso e ocupação do solo, para que seja possível realizar uma análise mais completa das principais fontes difusas de alteração hidrológica, e considerar a análise de outros parâmetros climáticos de forma a melhor determinar o nível de alteração climática da região. Metodologias que tentam atribuir as quantidades de alteração a cada fonte, como proposto por Soares, Santos e Pereira (2023) em alterações de regime causadas por usinas hidrelétricas e alterações climáticas, também são bem vindas em estudos de bacias sem influência de barramentos.

Finalmente, o método aplicado no presente trabalho permitiu compreender a relação de um efeito de alterações climáticas (no caso alteração de pluviometria) no regime de vazões de um importante rio brasileiro. Por meio de análises como a desenvolvida nesse trabalho, podemos subsidiar o desenvolvimento de estratégias sustentáveis de gestão da água, conceber planos de adaptação para regiões vulneráveis à escassez de água e tomar decisões para mitigar os desafios

colocados pelas alterações climáticas à disponibilidade de água. Portanto, essas análises são ferramentas indispensáveis para proteção do futuro das populações humanas e de ecossistemas do planeta.

6. CONCLUSÃO

Alterações climáticas têm intensificado processos hidrológicos de diferentes maneiras ao redor do mundo. A compreensão de como o regime de vazões de rios respondem à essas alterações bem como a de outras fontes antrópicas, como uso e ocupação de solos, permite um melhor planejamento de ações de mitigação de impactos que vão desde aspectos sociais até a preservação de ecossistemas aquáticos. Dessa forma, o presente estudo utilizou séries de vazão em trechos de rio localizados em afluentes do Médio Paraíba do Sul e série de dados pluviométricos, para compreender a relação entre aspectos climáticos e o regime de vazão. Para a pesquisa foram utilizados métodos estatísticos entre eles Indicadores de Alterações Hidrológicas (IHA), Abordagem de Faixa de Variabilidade (RVA) e o teste de Mann-Kendall.

Num período de 26 anos (entre 1975 e 2001), ocorreram alterações climáticas que provocaram um aumento da precipitação na bacia do Rio Preto e essas causaram um aumento da disponibilidade hídrica anual superficial em três trechos desse rio (localizados nas estações fluviométricas de Visconde de Mauá, Rio Preto e Manuel Duarte). Entretanto, outras fontes antrópicas tais como uso e ocupação do solo também atuam de forma significativa principalmente em regiões localizadas nos trechos mais a jusante, diminuindo a disponibilidade hídrica nos períodos de vazão mínima. Assim, nos trechos mais próximos das cabeceiras parece ocorrer um predomínio da ação climática sobre o regime de vazões.

As fontes difusas de alteração do regime de vazões (climáticas e uso e ocupação do solo) atuam principalmente na componente de magnitude das vazões, mas também podem causar alterações na componente de frequência e temporalidade do regime.

Considera-se que o presente estudo fornece um método prático para verificar a existência de relação de ações climáticas no regime de vazões de rio e que esse pode contribuir para futuras análises de gestão de recursos hídricos, no sentido de permitir a priorização de ação para mitigação de impactos em sistemas fluviais.

6.1. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para desenvolvimento de trabalhos futuros sugerem-se:

- a) Aprofundar as pesquisas na região da estação de Sobraji, a fim de compreender o aumento da magnitude da vazão identificada neste estudo apesar da diminuição no total precipitado;
- b) Realizar análises referentes à influência humana nas alterações hidrológicas, de forma a identificar a possível contribuição das questões de uso e ocupação do solo nas modificações do regime de vazão e se obter, dessa forma, uma análise mais completa.
- c) Quantificar as alterações hidrológicas da região referentes à cada causa, possibilitando assim, ações mitigadoras mais eficientes por parte da gestão pública.
- d) Realizar outros tipos de análises climáticas, além de avaliações pluviométricas, tais como fatores de temperatura e eventos extremos, e sua possível interação com os regimes de vazão.
- e) Avaliar a mesma região utilizando modelos hidrológicos, a fim de comparar os resultados obtidos neste trabalho através de métodos estatísticos, com resultados mais completos.
- f) Avaliar a região estudada através da metodologia de Ecovazão visando principalmente, complementar os resultados que indicaram variações consideráveis nas magnitudes de vazão, podendo assim, indicar as modificações de volumes verificadas.

REFERÊNCIAS

AFONSO, Michele Hartmann Feyh; SOUZA, Juliane Vieira De; ENSSLIN, Sandra Rolim; ENSSLIN, Leonardo. Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo proknow-c na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, [S. l.], v. 5, n. 2 SE-Artigos, p. 47–62, 2012. DOI: 10.24857/rgsa.v5i2.424. Disponível em: <https://rgsa.emnuvens.com.br/rgsa/article/view/424>.

AHIABLAME, Laurent; SINHA, Tushar; PAUL, Manashi; JI, Jae-Hyung; RAJIB, Adnan. Streamflow response to potential land use and climate changes in the James River watershed, Upper Midwest United States. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, [S. l.], v. 14, p. 150–166, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2017.11.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581817303191>.

AMORIM, Pablo Borges De; CHAFFE, Pedro Luiz Borges. Integrating climate models into hydrological modelling : What ' s going on in Brazil ? [S. l.], p. 1–17, 2019.

ANA. **A Bacia do rio Paraíba do Sul - A Bacia**. 2022a. Disponível em: <http://gripbsul.ana.gov.br/ABacia.html>.

ANA. **A Bacia do Rio Paraíba do Sul - Hidrografia**. 2022b.

ANA. **Hidroweb - Apresentação**. 2022c. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>. Acesso em: 23 jul. 2022.

ARCHER, David R. The use of flow variability analysis to assess the impact of land use change on the paired Plynlimon catchments, mid-Wales. **Journal of Hydrology**, [S. l.], v. 347, n. 3, p. 487–496, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.09.036>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169407005379>.

BATES, Bryson; KUNDZEWICZ, Zbigniew W.; WU, Shaohong; PALUTIKOF, Jean. **Climate change and water**. Geneva: Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2008.

BENETTI, Antônio D.; LANNA, A. Eduardo; COBALCHINI, Maria Salete. Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. [S. l.], v. 8, p. 149–160, 2003.

BLÖSCHL, Günter et al. Changing climate both increases and decreases European river floods. **Nature**, [S. l.], 2019. DOI: 10.1038/s41586-019-1495-6. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>.

BOYER, Claudine; CHAUMONT, Diane; CHARTIER, Isabelle; ROY, André G. Impact of climate change on the hydrology of St. Lawrence tributaries. **Journal of Hydrology**, [S. l.], v. 384, n. 1, p. 65–83, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.01.011>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002216941000034X>.

BRÊDA, Joao Paulo L. F.; PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias De; SIQUEIRA, Vinicius Alencar; COLLISCHONN, Walter. Assessing climate change impact on flood discharge in South America and the influence of its main drivers. [S. l.], v. 619, n. November 2022, 2023. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2023.129284.

BUNN, S. E.; ARTHINGTON, A. H. Basic principles and ecological consequences of aBunn, S. E., & Arthington, A. H. (2002). Basic principles and ecological consequences of altered flow regimes for aquatic biodiversity. *Environmental Management*, 30(4), 492–507. <https://doi.org/10.1007/s002>. **Environmental Management**, [S. l.], v. 30, n. 4, p. 492–507, 2002. DOI: 10.1007/s00267-002-2737-0.

CORBETT, Christopher W.; WAHL, Matthew; PORTER, Dwayne E.; EDWARDS, Don; MOISE, Claudia. Nonpoint source runoff modeling A comparison of a forested watershed and an urban watershed on the South Carolina coast. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, [S. l.], v. 213, n. 1, p. 133–149, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(97\)00013-0](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(97)00013-0). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022098197000130>.

CPTEC. **Princípios de Meteorologia e Meio Ambiente**. 2018. Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml>. Acesso em: 19 set. 2023.

CUI, Tong; TIAN, Fuqiang; YANG, Tao; WEN, Jie; KHAN, Mohd Yawar Ali. Development of a comprehensive framework for assessing the impacts of climate change and dam construction on flow regimes. **Journal of Hydrology**, [S. l.], v. 590, p. 125358, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125358>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169420308180>.

DÄLL, P.; ZHANG, J. Impact of climate change on freshwater ecosystems: A global-scale analysis of ecologically relevant river flow alterations. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 14, n. 5, p. 783–799, 2010. DOI: 10.5194/hess-14-783-2010. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-77952948450&doi=10.5194%2Fhess-14-783-2010&partnerID=40&md5=b6b0a46eb10d98c5021495acf3e05c36>.

DAVIES, Peter; NAIMAN, Bob; WARFE, Danielle; PETTIT, Neil; ARTHINGTON, A. H.; BUNN, S. Flow-ecology relationships: Closing the loop on effective environmental flows. **Marine and Freshwater Research**, [S. l.], v. 65, n. 2, p. 133–141, 2014. DOI: 10.1071/MF13110.

DUTRA, Ademar; RIPOLL-FELIU, Vicente Mateo; FILLOL, Arturo Giner; ENSSLIN, Sandra Rolim; ENSSLIN, Leonardo. The construction of knowledge from the scientific literature about the theme seaport performance evaluation. **International Journal of Productivity and Performance Management**, [S. l.], v. 64, n. 2, p. 243–269, 2015. Disponível em: <https://ideas.repec.org/a/eme/ijppmp/v64y2015i2p243-269.html>.

ELY, Pedro; FANTIN-CRUZ, Ibraim; TRITICO, Hans M.; GIRARD, Pierre; KAPLAN, David. Dam-Induced Hydrologic Alterations in the Rivers Feeding the Pantanal. **Frontiers in Environmental Science**, [S. l.], v. 8, n. December, p. 1–17, 2020. DOI: 10.3389/fenvs.2020.579031.

ENSSLIN, Leonardo; DUTRA, Ademar; ENSSLIN, Sandra Rolim; CHAVES, Leonardo Correa; DEZEM, Vinicius. Research Process for Selecting a Theoretical Framework and Bibliometric Analysis of a Theme : Illustration for the Management of Customer Service in a Bank. [S. l.], n. June, p. 782–796, 2015.

EUM, Hyung-Il; DIBIKE, Yonas; PROWSE, Terry. Comparative evaluation of the effects of climate and land-cover changes on hydrologic responses of the Muskeg River, Alberta, Canada. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, [S. l.], v. 8, p. 198–221, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.10.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581816301380>.

F. MARTÍNEZ-CAPEL; L. GARCÍA-LÓPEZ; M. BEYER. Integrating hydrological modelling and ecosystem functioning for environmental flows in climate change Beyer, F. M.-C. L. G.-L. M. (2017). Integrating hydrological modelling and ecosystem functioning for environmental flows in climate change scenarios in. [S. l.], v. 275, n. July 2016, p. 258–275, 2017. DOI: 10.1002/rra.3058.

FANTIN-CRUZ, Ibraim; PEDROLLO, Olavo; GIRARD, Pierre; ZEILHOFER, Peter; HAMILTON, Stephen K. Effects of a diversion hydropower facility on the hydrological regime of the Correntes River, a tributary to the Pantanal floodplain, Brazil. **Journal of Hydrology**, [S. l.], v. 531, p. 810–820, 2015. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.10.045.

FAZEL, Nasim; TORABI HAGHIGHI, Ali; KLØVE, Bjørn. Analysis of land use and climate change impacts by comparing river flow records for headwaters and lowland reaches. **Global and Planetary Change**, [S. l.], v. 158, p. 47–56, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.09.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818117300772>.

FERNANDES, Maria Rosário; SEGURADO, Pedro; JAUCH, Eduardo; FERREIRA, Maria Teresa. Riparian responses to extreme climate and land-use change scenarios. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 569–570, p. 145–158, 2016. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.099>.

Disponível

em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716312724>.

FLEISCHMANN, Ayan Santos; PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias De; PASSAIA, Otávio Augusto; SIQUEIRA, Vinícius Alencar; BRÊDA, João Paulo Lyra Fialho. Impact of large reservoirs on simulated discharges of Brazilian rivers Model description. *[S. l.]*, n. Imd, p. 1–9, 2020.

FREDERICE, Aline; BRANDÃO, Oão Luiz Boccia. Efeito do Sistema Cantareira sobre o regime de vazões na bacia do rio Piracicaba. *[S. l.]*, p. 797–810, 2016.

GAO, Bing; YANG, Dawen; ZHAO, Tongtiengang; YANG, Hanbo. Changes in the eco-flow metrics of the Upper Yangtze River from 1961 to 2008. **Journal of Hydrology**, *[S. l.]*, v. 448–449, p. 30–38, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.03.045>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169412003642>.

GAO, Yuqin; CHEN, Jiahui; LUO, Hao; WANG, Huaizhi. Prediction of hydrological responses to land use change. **Science of the Total Environment**, *[S. l.]*, v. 708, n. 1, p. 134998, 2020. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.134998. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134998>.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4^a ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GIROLAMO, A. M. De; BARCA, E.; LEONE, M.; PORTO, A. Lo. Impact of long-term climate change on flow regime in a Mediterranean basin. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, *[S. l.]*, v. 41, n. March, p. 101061, 2022. DOI: 10.1016/j.ejrh.2022.101061. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101061>.

HAN, Zhongying; LONG, Di; FANG, Yu; HOU, Aizhong; HONG, Yang. Impacts of climate change and human activities on the flow regime of the dammed Lancang River in Southwest China. **Journal of Hydrology**, *[S. l.]*, v. 570, p. 96–105, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.048>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169419300241>.

HOANG, Long P.; VAN VLIET, Michelle T. H.; KUMMU, Matti; LAURI, Hannu; KOPONEN, Jorma; SUPIT, Iwan; LEEMANS, Rik; KABAT, Pavel; LUDWIG, Fulco. The Mekong's future flows under multiple drivers: How climate change, hydropower developments and irrigation expansions drive hydrological changes. **Science of The Total Environment**, *[S. l.]*, v. 649, p. 601–609, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.160>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718331243>.

HOEINGHAUS, David J.; AGOSTINHO, Angelo A.; GOMES, Luiz C.; LATINI, O. D.; PELICICE,

Fernando M.; OKADA, Edson K.; JO, A. Effects of River Impoundment on Ecosystem Services of Large Tropical Rivers : Embodied Energy and Market Value of Artisanal Fisheries. *[S. l.]*, v. 23, n. 5, p. 1222–1231, 2009. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01248.x.

KAUARK, Fabiana; MANHÃES, Fernanda; MEDEIROS, Carlos. **Metodologia da Pesquisa: Um guia prático**. Itabuna: Via Litterarum Editora, 2010. Disponível em: http://www.pgcl.uenf.br/arquivos/livrode Metodologia da Pesquisa 2010_011120181549.pdf.

KAUSHAL, S. S.; GOLD, A. J.; MAYER, P. M. Land use, climate, and water resources—global stages of interaction. **Crystals**, *[S. l.]*, v. 7, n. 10, 2017. DOI: 10.3390/w9100815. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85032347585&doi=10.3390%2Fw9100815&partnerID=40&md5=00013eb92aea4dc02ed429b4fdf2d1e1>.

KIESEL, Jens; GERICKE, Andreas; RATHJENS, Hendrik; WETZIG, Annett; KAKOUEI, Karan; JÄHNIG, Sonja C.; FOHRER, Nicola. Climate change impacts on ecologically relevant hydrological indicators in three catchments in three European ecoregions. **Ecological Engineering**, *[S. l.]*, v. 127, p. 404–416, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.12.019>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092585741830466X>.

LI, Dongnan; LONG, Di; ZHAO, Jianshi; LU, Hui; HONG, Yang. Observed changes in flow regimes in the Mekong River basin. **Journal of Hydrology**, *[S. l.]*, v. 551, p. 217–232, 2017. a. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.05.061.

LI, Dongnan; LONG, Di; ZHAO, Jianshi; LU, Hui; HONG, Yang. Observed changes in flow regimes in the Mekong River basin. **Journal of Hydrology**, *[S. l.]*, v. 551, p. 217–232, 2017. b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.061>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169417303906>.

LIN, Kairong; LIN, Youqin; XU, Yiming; CHEN, Xiaohong; CHEN, Lu; SINGH, Vijay P. Inter- and intra-annual environmental flow alteration and its implication in the Pearl River Delta, South China. **Journal of Hydro-Environment Research**, *[S. l.]*, v. 15, p. 27–40, 2017. DOI: 10.1016/j.jher.2017.01.002.

LIU, Jianyu; ZHANG, Qiang; SINGH, Vijay P.; SHI, Peijun. Contribution of multiple climatic variables and human activities to streamflow changes across China. **Journal of Hydrology**, *[S. l.]*, v. 545, p. 145–162, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169416308058>.

LUO, Yuzhou; FICKLIN, Darren L.; LIU, Xiaomang; ZHANG, Minghua. Assessment of climate change

impacts on hydrology and water quality with a watershed modeling approach. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 450–451, p. 72–82, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.02.004>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713001678>.

MA, Z. Z.; WANG, Z. J.; XIA, T.; GIPPEL, C. J.; SPEED, R. Hydrograph-Based Hydrologic Alteration Assessment and Its Application to the Yellow River. [S. l.], v. 23, n. 1, p. 1–13, 2014. DOI: 10.3808/jei.201400252.

MANGO, L. M.; MELESSE, A. M.; MCCLAIN, M. E.; GANN, D.; SETEGN, S. G. Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper Mara River Basin, Kenya: Results of a modeling study to support better resource management. **Hydrology and Earth System Sciences**, [S. l.], v. 15, n. 7, p. 2245–2258, 2011. DOI: 10.5194/hess-15-2245-2011. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79960512816&doi=10.5194%2Fhess-15-2245-2011&partnerID=40&md5=1ecb2b596d37b0a7e7b480ec85b2eb1d>.

MCLEOD, A. I. **Package ‘Kendall’**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/Kendall/Kendall.pdf>.

MCTIC. **Acordo de Paris**. 2015. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo_paris.pdf. Acesso em: 12 nov. 2022.

MCTIC. **Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima - IPCC**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/paginas/painel-intergovernamental-sobre-mudanca-do-clima-ipcc>. Acesso em: 21 nov. 2022.

MITTAL, N.; BHAVE, A. G.; MISHRA, A.; SINGH, R. Impact of human intervention and climate change on natural flow regime. **Water Resources Management**, [S. l.], v. 30, n. 2, p. 685–699, 2016. DOI: 10.1007/s11269-015-1185-6. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84993305583&doi=10.1007%2Fs11269-015-1185-6&partnerID=40&md5=f1e53ff1006803b0923983290540154a>.

MITTAL, Neha; MISHRA, Ashok; SINGH, Rajendra; BHAVE, Ajay Gajanan; VAN DER VALK, Michael. Flow regime alteration due to anthropogenic and climatic changes in the Kangsabati River, India. **Ecohydrology & Hydrobiology**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 182–191, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2014.06.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1642359314000512>.

MORAES, Jorge M.; PELLEGRINO, Giampaolo Q.; BALLESTER, Maria V.; MARTINELLI, Luiz A.; VICTORIA, Reynaldo L.; KRUSCHE, Alex V. **Trends in Hydrological Parameters of a Southern Brazilian Watershed and its Relation to Human Induced Changes _ Enhanced Reader.pdf**. , 1998.

MURDOCK, Justin; ROELKE, Daniel; GELWICK, Frances. Interactions between flow, periphyton, and nutrients in a heavily impacted urban stream: implications for stream restoration effectiveness. **Ecological Engineering**, [S. l.], v. 22, n. 3, p. 197–207, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.05.005>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857404000618>.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Acordo de Paris sobre o Clima**. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/88191-acordo-de-paris-sobre-o-clima>. Acesso em: 12 nov. 2022.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Ações urgentes contra mudança climática são necessárias para garantir um futuro habitável, alerta IPCC**. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/224004-ações-urgentes-contra-mudança-climática-são-necessárias-para-garantir-um-futuro-habitável>. Acesso em: 20 maio. 2023.

ONU. **What is climate change?** 2022. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-climate-change>. Acesso em: 21 jun. 2022.

PAL, Swades; SARDA, Rajesh. Measuring the degree of hydrological variability of riparian wetland using hydrological attributes integration (HAI) histogram comparison approach (HCA) and range of variability approach (RVA). **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 120, p. 106966, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106966>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X20309055>.

POFF, N. LeRoy; ALLAN, J. David; BAIN, Mark B.; KARR, James R.; PRESTEGAARD, Karen L.; RICHTER, Brian D.; SPARKS, Richard E.; STROMBERG, Julie C. The Natural Flow Regime. **Bioscience**, Oxford, v. 47, n. 11, p. 769–784, 1997.

POHLERT, Thorsten. **Package ‘trend’**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/trend/trend.pdf>.

POSIT. **RStudio Desktop**. , 2019. Disponível em: <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>.

PRADHANANG, S. M. et al. Streamflow Responses to Climate Change: Analysis of Hydrologic Indicators in a New York City Water Supply Watershed. **Journal of the American Water Resources**

Association, [S. l.], v. 49, n. 6, p. 1308–1326, 2013. DOI: 10.1111/jawr.12086. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84897103496&doi=10.1111%2Fjawr.12086&partnerID=40&md5=eab8d90561a4d31449cc39572dc4d56b>.

PUMO, Dario; CARACCILO, Domenico; VIOLA, Francesco; NOTO, Leonardo V. Climate change effects on the hydrological regime of small non-perennial river basins. **Science of The Total Environment**, [S. l.], v. 542, p. 76–92, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.10.109>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969715309256>.

RHEINHEIMER, D. E.; VIERS, J. H. Combined Effects of Reservoir Operations and Climate Warming on the Flow Regime of Hydropower Bypass Reaches of California's Sierra Nevada. **River Research and Applications**, [S. l.], v. 31, n. 3, p. 269–279, 2015. DOI: 10.1002/rra.2749. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84924339453&doi=10.1002%2Frra.2749&partnerID=40&md5=61caf3ec2a07156c242c4a5fa1b0a4df>.

RICHTER, B. D.; BAUMGARTNER, J. V.; JENNIFER, Powel; BRAUN, David P. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. **Conservation Biology**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 1163–1174, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10041163.x>.

RICHTER, B. D.; BAUMGARTNER, J. V.; BRAUN, D. P.; POWELL, J. A spatial assessment of hydrologic alteration. **Regulated Rivers: Research & Management**, [S. l.], v. 14, p. 329–340, 1998.
RICHTER, Brian D. How much water does a river need ? [S. l.], p. 231–249, 1997.

SANTOS, Cledeilson Pereira; SOUZA, Christopher Freire. Efeitos da cascata de reservatórios sobre a variabilidade natural de vazões : o caso do rio Paraná em Porto Primavera. [S. l.], v. 20, p. 698–707, 2015.

SINGH, R. K.; JAIN, M. K. Reappraisal of hydrologic alterations in the Roanoke River basin using extended data and improved RVA method. **International Journal of Environmental Science and Technology**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 417–440, 2021. DOI: 10.1007/S13762-020-02817-7.
SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des séries d'observations. Note Technique No. 143. **OMM**, [S. l.], v. No.415, p. 192, 1975.

SOARES, Laura Melo Vieira; SANTOS, Hersília Andrade; PEREIRA, Letícia Cristina Oliveira. Hydroelectric plant effects and climate change / land use impacts on flow regime in the tropical headwater watershed. [S. l.], n. July 2022, p. 1–14, 2023. DOI: 10.1002/hyp.14807.

STAGL, J. C.; HATTERMANN, F. F. Impacts of Climate Change on Riverine Ecosystems: Alterations

of Ecologically Relevant Flow Dynamics in the Danube River and Its Major Tributaries. **Water (Switzerland)**, [S. l.], v. 8, n. 12, 2016. DOI: 10.3390/w8120566. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85002830926&doi=10.3390%2Fw8120566&partnerID=40&md5=022a7f892834d3d0d4d68dc4b83d137d>.

SUN, T.; FENG, M. L. Multistage analysis of hydrologic alterations in the yellow river, China. **River Research and Applications**, [S. l.], v. 29, n. 8, p. 991–1003, 2013. DOI: 10.1002/rra.2586. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84885848850&doi=10.1002%2Frra.2586&partnerID=40&md5=0666d3f98717b69ea6e51113458a8563>.

TALUKDAR, Swapan; PAL, Swades. Effects of damming on the hydrological regime of Punarbhaba river basin wetlands. **Ecological Engineering**, [S. l.], v. 135, p. 61–74, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.05.014>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857419301739>.

THE NATURE CONSERVANCY. **Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 - User's Manual**. [s.l: s.n.].

TIMPE, Kelsie; KAPLAN, David. The changing hydrology of a dammed Amazon. **Science Advances**, [S. l.], v. 3, p. e1700611, 2017. DOI: 10.1126/sciadv.1700611.

VOGEL, Richard M.; SIEBER, Jack; ARCHFIELD, Stacey A.; SMITH, Mark P.; APSE, Colin D.; HUBER-LEE, Annette. Relations among storage , yield , and instream flow. [S. l.], v. 43, n. June 2006, p. 1–12, 2007. DOI: 10.1029/2006WR005226.

WALSH, Christopher J.; ROY, Allison H.; FEMINELLA, Jack W.; COTTINGHAM, Peter D.; GROFFMAN, Peter M.; MORGAN, Raymond P. The urban stream syndrome: current knowledge and the search for a cure. **Journal of the North American Benthological Society**, [S. l.], v. 24, n. 3, p. 706–723, 2005.

WARD, J. V.; TOCKNER, K.; SCHIEMER, F. Biodiversity of floodplain river ecosystems: Ecotones and connectivity. **Regulated Rivers: Research & Management**, [S. l.], v. 139, n. October 1997, p. 125–139, 1999.

YANG, Baiheng; DOU, Ming; XIA, Rui; KUO, Yi-Ming; LI, Guiqiu; SHEN, Lisha. Effects of hydrological alteration on fish population structure and habitat in river system: A case study in the mid-downstream of the Hanjiang River in China. **Global Ecology and Conservation**, [S. l.], v. 23, p. e01090, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01090>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989420303139>.

YANG, T.; ZHANG, Q.; CHEN, Y. D.; TAO, X.; XU, C. Y.; CHEN, X. A spatial assessment of hydrologic alteration caused by dam construction in the middle and lower Yellow River, China. **Hydrological Processes**, [S. l.], v. 22, n. 18, p. 3829–3843, 2008. DOI: 10.1002/hyp.6993. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-52149110999&doi=10.1002%2Fhyp.6993&partnerID=40&md5=5e5f20b31339c4d019cbd803d7cd6151>.

YANG, Tao; CUI, Tong; XU, Chong-Yu; CIAIS, Philippe; SHI, Pengfei. Development of a new IHA method for impact assessment of climate change on flow regime. **Global and Planetary Change**, [S. l.], v. 156, p. 68–79, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.07.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818117301261>.

YANG, Zhifeng; YAN, Yan; LIU, Qiang. Assessment of the flow regime alterations in the Lower Yellow River, China. **Ecological Informatics**, [S. l.], v. 10, p. 56–64, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2011.10.002>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S157495411100080X>.

YIN, Xin-an; YANG, Zhi-feng; PETTS, Geoffrey E. Reservoir operating rules to sustain environmental flows in regulated rivers. [S. l.], v. 47, n. June, p. 1–13, 2011. DOI: 10.1029/2010WR009991.

ZHANG, Qiang; ZHANG, Zongjiao; SHI, Peijun; SINGH, Vijay P.; GU, Xihui. Evaluation of ecological instream flow considering hydrological alterations in the Yellow River basin, China. **Global and Planetary Change**, [S. l.], v. 160, p. 61–74, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.11.012>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921818117304423>.