UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO SEMIÁRIDO
UNIDADE ACADÊMICA DE TECNOLOGIA DO DESENVOLVIMENTO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO E REGULAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

JORISMAR DE OLIVEIRA SENA

INFLUÊNCIA DE EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SOBRE A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA REGIÃO DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA

SUMÉ - PB
2025

JORISMAR DE OLIVEIRA SENA

INFLUÊNCIA DE EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SOBRE A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA REGIÃO DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

Área de Concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos

Linha de Pesquisa: Segurança Hídrica e usos Múltiplos da Água

Orientador: Professor Dr. Hugo Morais de Alcântara

Coorientadora: Professora Daisy Beserra Lucena

SUMÉ - PB

2025



S474i Sena, Jorismar de Oliveira.
Influência de eventos de precipitação pluviométrica sobre a gestão de recursos hídricos na Região do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. / Jorismar de Oliveira Sena. - 2025.

84 f. : il. Collor.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Morais de Alcântara; coorientadora: Profa. Dra. Daisy Beserra Lucena.
Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido; Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - PROFÁGUA.

1. Eventos extremos. 2. Gestão de recursos hídricos. 3. Rio Paraíba – alto curso. 4. Precipitação pluviométrica. 5. Bacia hidrográfica do Rio Paraíba – alto curso. 6. Meteorologia. 7. Semiárido brasileiro – distribuição e água. 8. Outorga de água. 9. Transposição do Rio São Francisco. I. Alcântara, Hugo Morais de. II. Lucena, Daisy Beserra. III. Título.

CDU: 556.18(043.2)

JORISMAR DE OLIVEIRA SENA

INFLUÊNCIA DE EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SOBRE A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA REGIÃO DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, no Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos.

BANCA EXAMINADORA:

Professor Dr. Hugo Morais de Alcântara **Orientador – UATEC/CDSA/UFCG**	**Professora Daisy Beserra Lucena** **Coorientadora – UFPB**
Prof. Dr. Paulo da Costa Medeiros **Examinador Interno – UATEC/CDSA/UFCG**	**Professor Dr. Laercio Leal dos Santos** **Examinador Externo – UEPB**

Trabalho aprovado em: 26 de março de 2025.

SUMÉ - PB

A Deus, expressão maior de amor, força, fé e sabedoria, que me permitiu chegar até aqui, por ter me concedido a oportunidade de transformar em realidade um dos meus sonhos. Aos meus pais, Jadismar Ferreira de Sena e Maria do Socorro de Oliveira Sena, meus irmãos e todos os familiares.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A conquista de um sonho é sempre fruto de esforço, dedicação e, acima de tudo, do apoio de pessoas especiais que caminharam ao nosso lado.

Com o coração transbordando de gratidão, agradeço primeiramente a Deus, que me sustentou em cada desafio e me fortaleceu nos momentos de incerteza.

Aos meus pais, Jadismar Sena e Maria do Socorro Sena, que me ensinaram o valor do conhecimento e sempre acreditaram no meu potencial. Aos meus irmãos Jaricelia Sena, Josias Sena e Jonas Sena, pelo incentivo e apoio incondicional, e ao meu sobrinho Levi Sena, que com sua alegria renovou minhas forças nos dias mais cansativos.

Aos meus colegas da turma do mestrado, em especial Andrêza Leite, Érica Oliveira e Dalvana Genai, por cada troca de conhecimento, pelo apoio mútuo e pela amizade que tornou essa jornada mais leve e enriquecedora.

Ao meu orientador, Dr. Hugo Morais de Alcântara, e à minha coorientadora, Daisy Beserra Lucena, por toda a paciência, ensinamentos e direcionamento ao longo dessa caminhada acadêmica.

A todo o corpo administrativo do PROFÁGUA, que contribuiu para que esse percurso fosse possível, garantindo o suporte necessário para que cada etapa fosse superada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, agradeço também ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Projeto CAPES/ANA AUXPE Nº. 2717/2015, pelo apoio técnico científico aportado.

SENA, Jorismar de Oliveira. **Influência de eventos de precipitação pluviométrica sobre a gestão de recursos hídricos na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba.** Dissertação de Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Sumé, Paraíba, 2026.

RESUMO

Os recursos hídricos são indispensáveis à sobrevivência humana e ao desenvolvimento socioeconômico. A ocorrência de chuvas intensas e secas prolongadas impacta a disponibilidade e distribuição da água, afetando os sistemas de armazenamento e abastecimento de água. Objetivou-se com este trabalho investigar a influência dos eventos extremos de precipitação pluviométrica sobre a gestão de recursos hídricos na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba, localizada no semiárido brasileiro. A metodologia utilizada baseou-se na análise de séries históricas de precipitação pluviométrica e do volume armazenado no reservatório Epitácio Pessoa, no período de 1985 a 2023, utilizando dados disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) e o *Climate Prediction Center* (CPC). Foram aplicadas técnicas estatísticas e obtenção do índice de anomalia de chuvas (IAC), para categorizar os anos em secos, normais e úmidos. Foi possível identificar elevada variabilidade interanual das precipitações pluviométricas na região, com a ocorrência frequente dos eventos de seca severa. Os períodos de seca severa comprometeram os níveis de armazenamento dos principais reservatórios da região, incluindo o açude Epitácio Pessoa, que atingiu 5% de sua capacidade volumétrica total, no mês de dezembro de 2016, alcançando o volume morto ou reserva técnica (52.613.507m³). Os anos considerados chuvosos ou úmidos resultaram em escoamento elevado, erosão do solo e recarga total ou parcial dos aquíferos superficiais e subterrâneos. A aplicação do IAC demonstrou que 30% dos anos analisados apresentaram condições extremas, com impacto direto sobre a gestão de recursos hídricos e a segurança hídrica da população abastecida pelo reservatório Epitácio Pessoa. Há necessidade de ampliação do monitoramento climático e da modelagem preditiva para antecipação de cenários extremos futuros que auxiliem ao desenvolvimento de soluções sustentáveis. Há necessidade de fortalecer os mecanismos de governança e da gestão adaptativa frente às mudanças climáticas, por meio da integração dos sistemas de previsão climática com medidas estruturais, com uso de técnicas de conservação da água e solo, que podem reduzir os impactos da variabilidade pluviométrica, a garantia da continuidade do monitoramento hidroclimatológico, a captação de água de chuva, adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como o uso de sistemas de irrigação eficientes, além do reuso de água do esgoto tratado e não tratado com acompanhamento técnico especializado. Espera-se que os resultados apresentados possam subsidiar decisões estratégicas voltadas para o fortalecimento da governança e da gestão adaptativa dos recursos hídricos na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba. A adoção de medidas preventivas e de adaptação é imprescindível para minimizar os impactos das variações climáticas e garantir segurança hídrica para a população abastecida por aquíferos e mananciais.

Palavras-chave: Eventos extremos, Gestão de recursos hídricos, Segurança hídrica.

SENA, Jorismar de Oliveira. **Influence of rainfall events on water resources management in the upper course region of the Paraíba River basin**. Master's thesis in Water Resources Management and Regulation, Federal University of Campina Grande, Center for Sustainable Development of the Semi-Arid Region, Sumé, Paraíba, 2026.

ABSTRACT

Water resources are essential for human survival and socioeconomic development. The occurrence of intense rainfall and prolonged droughts impacts the availability and distribution of water, affecting water storage and supply systems. This study aimed to investigate the influence of extreme rainfall events on water resource management in the upper zone of the Paraíba River basin, located in the Brazilian semi-arid region. The methodology used was based on the analysis of historical rainfall series and the volume stored in the Epitácio Pessoa reservoir, from 1985 to 2023, using data provided by the Executive Agency for Water Management of the State of Paraíba (AESA) and the Climate Prediction Center (CPC). Statistical techniques and the calculation of the rainfall anomaly index (RAI) were applied to categorize the years as dry, normal, and wet. It was possible to identify high interannual variability in rainfall in the region, with frequent occurrences of severe drought events. Periods of severe drought compromised the storage levels of the region's main reservoirs, including the Epitácio Pessoa dam, which reached 5% of its total volumetric capacity in December 2016, reaching the dead volume or technical reserve (52,613,507m³). Years considered rainy or humid resulted in high runoff, soil erosion, and total or partial recharge of surface and groundwater aquifers. The application of the IAC (Integrated Climate Assessment) demonstrated that 30% of the years analyzed presented extreme conditions, with a direct impact on water resource management and the water security of the population supplied by the Epitácio Pessoa reservoir. There is a need to expand climate monitoring and predictive modeling to anticipate future extreme scenarios that aid in the development of sustainable solutions. There is a need to strengthen governance mechanisms and adaptive management in the face of climate change, through the integration of climate forecasting systems with structural measures, using water and soil conservation techniques that can reduce the impacts of rainfall variability, ensuring the continuity of hydroclimatological monitoring, rainwater harvesting, adoption of sustainable agricultural practices such as the use of efficient irrigation systems, and the reuse of treated and untreated wastewater with specialized technical support. It is expected that the results presented will support strategic decisions aimed at strengthening governance and adaptive management of water resources in the upper reaches of the Paraíba River basin. The adoption of preventive and adaptive measures is essential to minimize the impacts of climate variations and ensure water security for the population supplied by aquifers and water sources.

Keywords: Extreme events, Water resources, Water security

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Índice de Segurança Hídrica (ISH) no Brasil
Figura 2 – Dimensões da Segurança Hídrica
Figura 3 – Metas vinculadas ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6
Figura 4 – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável relacionados ao trabalho de pesquisa
Figura 5 – Delimitação do Semiárido brasileiro
Figura 6 – Retirada de água por região (m³/s)
Figura 7 – Localização da região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba
Figura 8 – Etapas metodológicas
Figura 9 – Esquema de interpretação da técnica do box plot a ser utilizado para análise exploratória dos dados
Figura 10 - Distribuição interanual da precipitação e a média histórica na área da bacia hidrográfica do Alto Paraíba (1985 a 2023)
Figura 11 - Variabilidade da pluviometria na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba
Figura 12 - Padrões climáticos de frequência dos anos secos, habitual e úmidos
Figura 13 - Distribuição do IAC na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba (1985-2023)
Figura 14 - Volume do açude Epitácio Pessoa para os períodos de 1985 - 1995 (A), 1996 - 2006 (B) e 2007 - 2023 (C)

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas da Paraíba

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CBH- PB - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba

CBHs - Comitês da Bacia Hidrográfica

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

IAC - Índice de Anomalia de Chuvas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ISH - Índice de Segurança Hídrica

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis

PISF - Projeto de Integração do Rio São Francisco

PISF - Projeto de Integração do Rio São Francisco

RIMA - Relatório de Impacto Ambiental

RSB – Região do Semiárido Brasileiro

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Municípios que fazem parte da região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba para o período de 1985 a 2023.
Tabela 2 – Classes de intensidade do Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13

2. OBJETIVOS 15

2.1 OBJETIVO GERAL 15

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15

3. REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA 16

3.1 DISTRIBUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS 16

3.2 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO 21

3.3 A IMPORTÂNCIA DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O SEMIÁRIDO 26

3.4 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA PARAÍBA 28

3.5 RECURSOS HÍDRICOS NO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA 30

3.6 OUTORGA DE ÁGUA NA REGIÃO DO ALTO CURSO DO RIO PARAÍBA 32

4. MATERIAL E MÉTODOS 36

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 36

4.2 DADOS 38

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES 41

5.1 CORRELAÇÃO ENTRE PERÍODOS DE CHUVAS INTENSAS E A CAPACIDADE HÍDRICA DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA 48

5.2 VARIAÇÃO DO VOLUME DO AÇUDE EPITÁCIO PESSOA E SUA RELAÇÃO COM O ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVAS (IAC) 52

5.1 SUGESTÕES PARA ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS DOS EVENTOS EXTREMOS 54

6. CONSIREDAÇÕES FINAIS 56

REFERÊNCIAS 57

APÊNDICE A ..... **Erro! Indicador não definido.**

1 INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são indispensáveis à sobrevivência humana e ao desenvolvimento socioeconômico de todo o planeta. Vale ressaltar que, apesar de dois terços da superfície terrestre serem cobertos por água, aproximadamente 97,5% da água do planeta é salobra, e apenas uma pequena fração, 2,5%, é de água doce. Dessa fração de água doce, 69% são de difícil acesso, 30% estão localizados no subsolo em aquíferos e 1% está presente nos rios. A distribuição espacial da água sobre a superfície terrestre é desigual, onde algumas áreas enfrentam a escassez e, em outras, há abundância (ANA, 2022).

O território brasileiro dispõe de cerca de 12% do volume de água doce disponível no mundo, segundo dados da OECD (2015). No entanto, o cenário de mudanças climáticas tem motivado discussões e reflexões relacionadas à gestão dos corpos hídricos. Portanto, os recursos hídricos apresentam-se como um setor estratégico para o desenvolvimento de um país ou região. Assim, o gerenciamento necessariamente deve acontecer de maneira responsável, buscando atender à demanda crescente, sobretudo em territórios onde esse recurso é escasso.

A região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba está localizada na região mais seca do Cariri, Semiárido Paraibano. Possui área territorial de 12.389,14km², com elevada irregularidade espacial e temporal da precipitação. As precipitações médias anuais são frequentemente inferiores a 400mm, tendo uma área de captação de aproximadamente 6.727,69km², o que representa uma fração significativa dentro do contexto do semiárido paraibano (Aragão *et al*., 2023).

No entanto, a região apresenta altos índices de radiação solar, altas temperaturas, contribuindo para elevada evapotranspiração. Diante dessas circunstâncias, uma característica da região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba é possuir rios efêmeros e intermitentes. Portanto, pesquisas que colaborem para o planejamento, desenvolvimento e conservação dos recursos hídricos são fundamentais para uma gestão eficiente que minimize os efeitos da escassez hídrica.

Assim sendo, compreender os aspectos climáticos e hidrológicos dessa região são essenciais para o gerenciamento eficaz dos recursos hídricos, possibilitando o atendimento adequado das diversas demandas, estando, assim, em consonância com as diretrizes estabelecidas pela Lei N° 9.433/1997, que instituiu a

Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997). A lei estabelece as prioridades em relação à gestão desses recursos no âmbito da bacia hidrográfica, determinando, por conseguinte, a atribuição da água enquanto recurso natural, para que venha a alcançar sua finalidade de atender à sociedade de maneira igualitária.

O Índice de Anomalia de Chuvas (IAC), que é utilizado para classificar as anomalias de precipitação pluviométrica, quantifica o desvio em relação às condições normais, facilita a compreensão da variabilidade climática e seus impactos, possibilitando o desenvolvimento de estratégias de adaptação para enfrentar os desafios impostos às regiões geográficas atingidas por eventualidades extremas.

Ante o exposto, alguns questionamentos surgem: uma gestão eficiente pode cooperar para a prevenção das adversidades hídricas e garantir a disponibilidade de água para consumo humano, agricultura, indústria e outros usos? O estudo do IAC pode auxiliar na tomada de decisões e planejamento adequado de uso da água disponível nos reservatórios e no estabelecimento de estratégias de adaptação em períodos de estiagem? De que maneira eventos climáticos podem impactar os corpos hídricos e quais medidas podem ser adotadas para lidar com essas mudanças?

Este estudo analisou a ocorrência de eventos extremos de precipitação na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba, com o objetivo de entender como esses episódios impactam a gestão dos recursos hídricos. Para isso, utilizou-se uma série histórica de trinta e oito anos de dados de precipitação pluviométrica, abrangendo um marco temporal considerável entre os anos de 1985 e 2023, para compreender a variabilidade e as tendências de longo prazo do regime de precipitação na área de estudo.

Dessa forma, ao adotar esses parâmetros metodológicos, garantimos a validade e a solidez das conclusões que foram obtidas a partir da avaliação dos índices de anomalia de chuvas, contribuindo, portanto, para o avanço do conhecimento científico dos padrões climáticos e fornecendo informações valiosas para viabilizar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, e das atividades correlatas desenvolvidas na região em estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os eventos extremos de precipitação e a influência na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba, segundo índices de anomalia de chuva.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Analisar a variabilidade interanual da precipitação na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba (1985-2023) considerando os padrões de oscilação pluviométrica ao longo das décadas;
- ✓ Identificar e caracterizar os eventos extremos de precipitação utilizando dados históricos de séries temporais de pluviometria;
- ✓ Classificar os anos em secos, normais e úmidos com base no Índice de anomalia de chuva (IAC), na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba;
- ✓ Identificar as consequências das anomalias de precipitação sobre o volume armazenado nos maiores reservatórios da região;
- ✓ Sugerir estratégias de adaptação para amenizar os impactos causados pelos eventos extremos de precipitação na área de estudo.

3 REVISÃO DE BIBLIOGRÁFICA

3.1 DISTRIBUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

No Brasil, o modelo de gestão de recursos hídricos estabelecido pela Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Essa legislação determinou que a água é um bem de domínio público e que sua gestão deve ser descentralizada, contando com a participação ativa do poder público e da sociedade civil. Além disso, deve assegurar a prioridade dos usos múltiplos da água sempre que houver disponibilidade em quantidade e qualidade adequadas para atender às necessidades humanas, impulsionar atividades econômicas e preservar ecossistemas aquáticos, minimizando riscos associados a secas e cheias (ANA, 2019).

De acordo com Cunha *et al*. (2023), as mudanças climáticas impactam diretamente os padrões de precipitação e a disponibilidade hídrica, comprometendo a segurança no abastecimento. Diante desse cenário, é fundamental garantir o acesso contínuo e confiável à água, essencial para o consumo diário, a saúde e a higiene da população, e com maior ênfase em regiões semiáridas, onde a escassez hídrica exige soluções realistas e de fácil implementação para mitigar seus impactos.

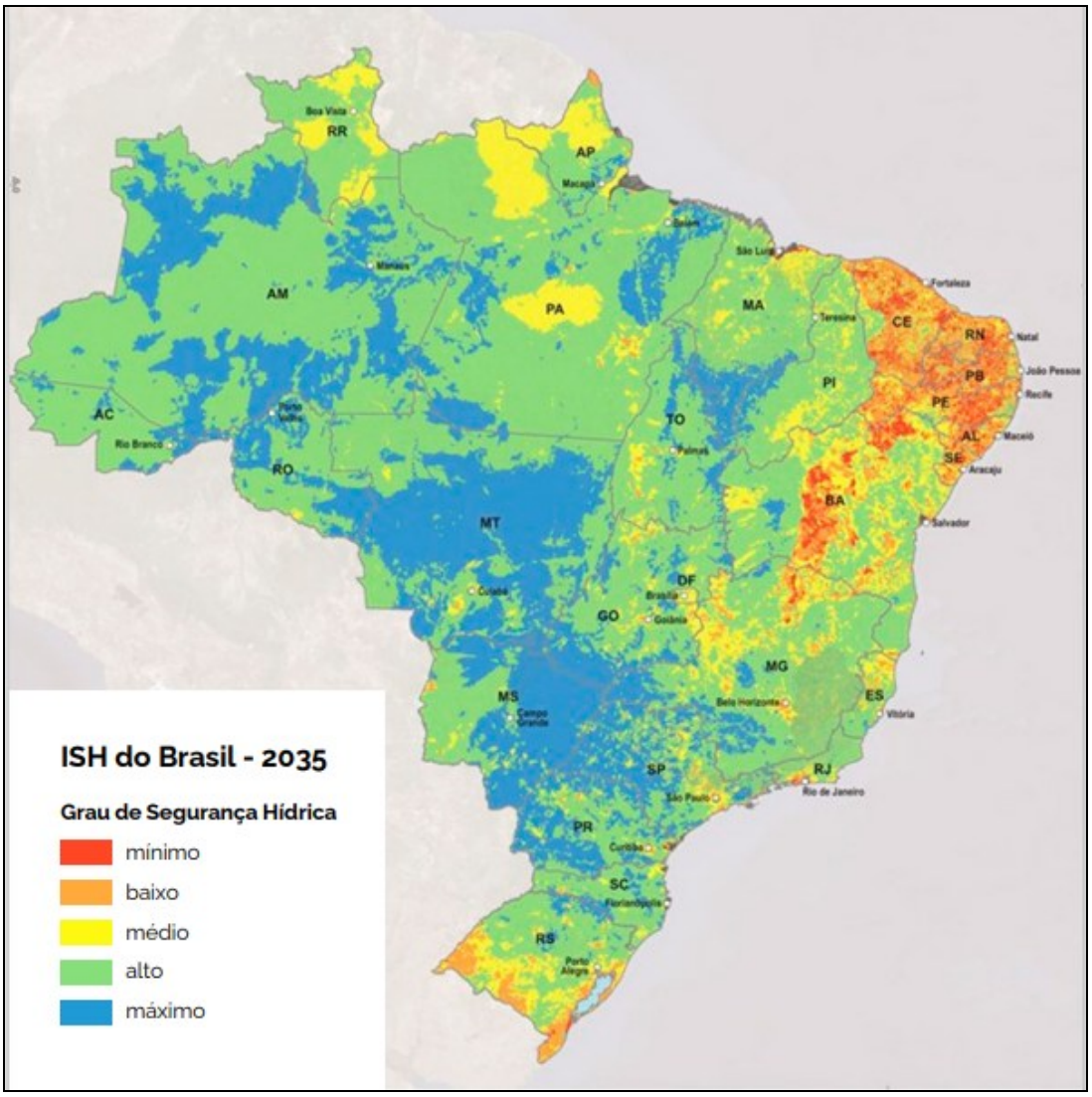
A importância dos recursos hídricos vai além da sobrevivência humana, abrangendo também a preservação dos ecossistemas (Santos e Silva, 2021), entretanto, as alterações climáticas impõem desafios cada vez mais complexos para a segurança hídrica, uma vez que intensificam variações no ciclo hidrológico e aumentam a frequência de eventos extremos, como secas prolongadas e inundações severas (Aghakouchak *et al*., 2020).

O agravamento dessas dificuldades está diretamente relacionado à falta de participação da sociedade no processo de tomada de decisão sobre a gestão da água (Soares, 2022). Além disso, fatores como o aquecimento global e a crescente demanda por recursos hídricos aceleram a escassez de água, gerando consequências severas para comunidades ecológicas e comprometendo o desenvolvimento sustentável e equitativo (He *et al*., 2021; Van Vliet *et al*., 2021).

O Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) aborda quatro dimensões fundamentais: econômica, humana, ecossistêmica e de resiliência. A partir dessas

diretrizes, busca-se assegurar um acesso igualitário à água, promovendo a sustentabilidade, a conservação dos recursos naturais e a redução dos impactos decorrentes de eventos climáticos extremos. Na Figura 1, é possível observar os resultados projetados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) para o Índice de Segurança Hídrica (ISH) no Brasil.

Figura 1 - Índice de Segurança Hídrica (ISH) no Brasil



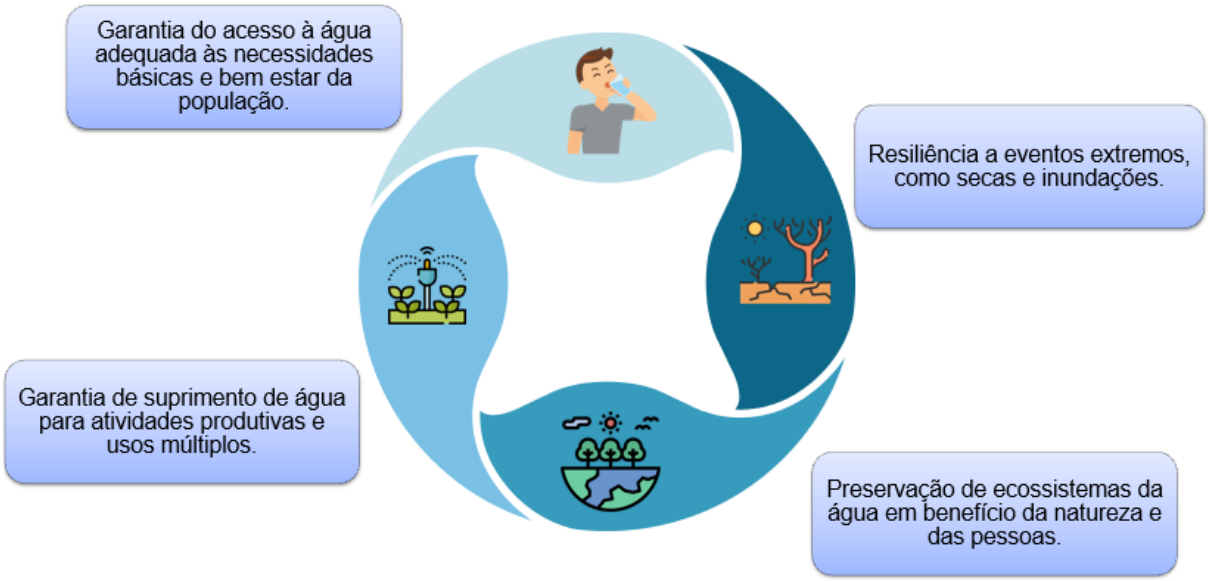
Fonte: (ANA, 2019)

A demanda por água tem sido ampliada, onde inúmeros fatores têm contribuído para essa expansão, tais como, o crescimento populacional, a instalação de indústrias, a utilização do solo para agricultura e a poluição dos mananciais. A ANA vem aprimorando suas pesquisas, por meio de diagnósticos e planejamento eficientes contribuindo para a segurança hídrica no Brasil. A eficiência do setor

hídrico é importante para garantir a manutenção das atividades econômicas, especialmente em bacias hidrográficas com potencialidade de *stress* hídrico, assim, o PNSH é imprescindível para a garantia desse recurso (ANA, 2019).

Na Figura 2, pode-se observar as dimensões da segurança hídrica.

Figura 2 - Dimensões da Segurança Hídrica



Fonte: adaptado de ANA (2019)

Segundo Nery *et al.* (2022) a água é um recurso indispensável ao desenvolvimento das comunidades humanas, intimamente relacionada aos direitos à vida, subsistência e moradia, entretanto, ofertar água potável ainda é um grande desafio no Brasil, devido a sua distribuição irregular em todo o planeta.

No Brasil a primeira legislação direcionada a gestão hídrica foi o Código das Águas de 1934, estabelecendo normas para os múltiplos fins, como abastecimento, irrigação, navegação, geração de energia, além de definir aspectos referentes ao domínio das águas, concessão e outorga e regulação e conflitos (Brasil, 1934; CEBESB, 2023).

A Lei nº 9.433/1997, denominada “Lei das Águas” foi primordial para o gerenciamento dos recursos hídricos, fomentando uma abordagem integrada e participativa, considerada um marco, pois criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), estabelecendo instrumentos de gestão, outorga e cobrança, buscando conciliar o uso sustentável e equilibrado dos recursos hídricos.

A Lei Federal nº 14.026/2020, atualizou o marco legal do saneamento básico e alterou a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, a competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, estabelecendo quatro esferas: “abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de forma adequada à saúde pública, à conservação dos recursos naturais e à proteção do meio ambiente” (Caiçara *et al.*, 2022). Para Ribas *et al.* (2022) a ampliação do acesso aos serviços de saneamento básico é um fator decisivo para promover a redução das desigualdades regionais, assim, impulsionar o desenvolvimento sustentável em consonância com a Agenda 2030, da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015).

De acordo com o Atlas Águas - Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano, a gestão ainda continua sendo ineficiente quando se trata de distribuição de água e monitoramento de perdas. Conforme o relatório 44% das cidades brasileiras apresentam vulnerabilidade dos mananciais hídricos, com problemas de oferta de água, quantidade e qualidade, o que compromete o acesso da água, apesar de que aproximadamente 70% dos habitantes residentes nas cidades brasileiras dispõem de segurança hídrica, no entanto, ainda é necessário investimentos em infraestrutura e gestão eficiente dos recursos hídricos (ANA, 2021).

O surgimento da Agenda 2030 foi resultado de uma concordância dos países membros da Organização das Nações Unidas (ONU), sociedade civil e outros componentes, visando impulsionar ações de enfretamento a desigualdade social e possibilitar uma prosperidade sustentável aos indivíduos.

O documento foi ratificado em 2015, no decorrer da Assembleia Geral das Nações Unidas, contém 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) tendo 169 metas que estão alocadas entre as finalidades proporcionando uma abordagem integrada da Agenda (ONU, 2015).

Este trabalho está em consonância com Agenda 2030 e com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS, tendo como finalidade o equilíbrio das dimensões econômica, social e ambiental. No âmbito da gestão dos recursos hídricos destaca-se a relevância de medidas urgentes relacionadas as mudanças climáticas que estão sendo observados em todo planeta, minimizando os seus efeitos e que possam garantir a disponibilidade e gestão sustentável dos recursos hídricos (ANA, 2022).

Na Figura 3, pode-se observar as metas vinculadas ao ODS 6.

Figura 3 - Metas vinculadas ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6



Fonte: ANA (2022)

No ODS 12, pode-se destacar alguns pontos que visam combater a produção desenfreada de bens de consumo, por exercer uma grande demanda de recursos naturais, incluindo a água, um recuso essencial a sobrevivência, portanto, é relevante assegurar padrões eficiente de fabricação.

O ODS 13 recomenta o uso de “medidas urgentes para combater a mudança do clima e os seus impactos”, como a redução das emissões de gases do efeito estufa, proteção das florestas e de fontes de água, promover ações que possam minimizar as consequências das secas e inundações.

O ODS 14 “Vida na Água” está correlacionado a conservação dos oceanos e mares, pois, os mesmos são vitais para o ciclo hidrológico e regulação do clima,

portanto, é essencial a proteção dos ecossistemas marinhos para garantir a sobrevivência da biodiversidade e sustentabilidades dos recursos hídricos.

O ODS 15 “Vida Terrestre”, visa garantir um gerenciamento sustentável no território, através do combate ao desmatamento, desertificação, avanço da fronteira agrícola, preservação das matas ciliares, que possam assegurar recargas dos mananciais.

O ODS 17 “Parcerias e Meios de Implementação” ressalta a relevância das parcerias globais, por intermédio do compartilhamento de conhecimento e tecnologias, contribuindo para uma gestão eficiente, com a colaboração de governos, setor privado, sociedade civil e instituições acadêmicas, através de alternativas inovadoras para o enfretamento dos desafios correlacionados aos recursos hídricos.

Na Figura 4, pode-se observar as dimensões dos ODS contemplados neste Projeto de Pesquisa.

Figura 4 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) relacionados ao trabalho de pesquisa



Fonte: ONU (2015)

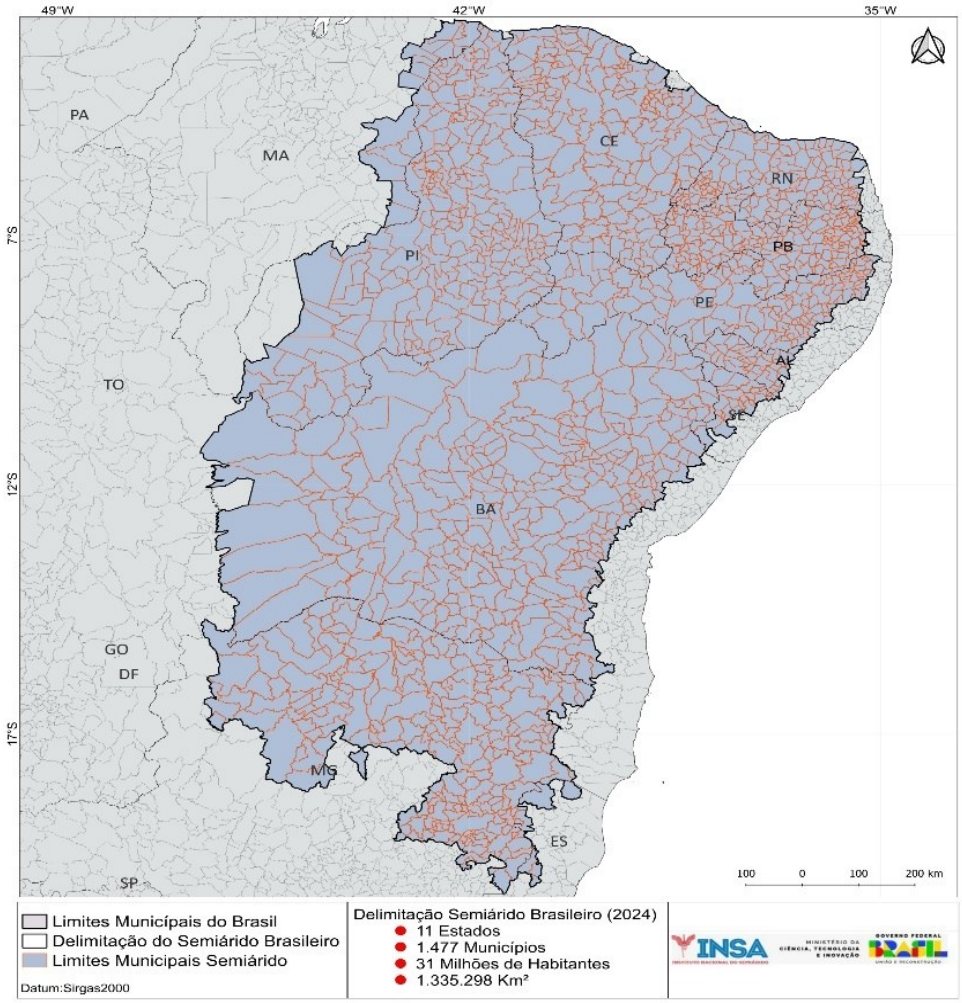
3.2 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

A disponibilidade de água é um dos principais desafios enfrentados na Região do Semiárido Brasileiro (RSB). Segundo dados do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), a região abrange nove estados do Nordeste e parte do Norte de Minas Gerais, ocupando 12% do território nacional e abrigando aproximadamente 28

milhões de pessoas, portanto, desses habitantes, 62% vivem em áreas urbanas e 38% em áreas rurais, caracterizando-se como uma das regiões semiáridas mais densamente povoadas (INSA, 2024).

Historicamente, essa área tem sido marcada por extensos períodos de seca, onde as chuvas são escassas e irregulares, o que compromete a recarga dos mananciais e a disponibilidade de água para o abastecimento humano, a irrigação de áreas agrícolas e a criação de animais. Portanto, é fundamental desenvolver estratégias de gestão que venham permitir a otimização dos recursos hídricos disponíveis nos estados que compõem o Semiárido brasileiro (Figura 5).

Figura 5 - Delimitação do Semiárido brasileiro



Fonte: Instituto Nacional do Semiárido, INSA (2024)

Os períodos de estiagem prolongada são eventos naturais e habituais, que ocorrem devido a déficits na precipitação e afetam tanto áreas de alta, quanto de baixa pluviosidade. Os efeitos desencadeados impactam diversos segmentos da sociedade, ocasionando prejuízos substanciais, materiais e humanos, além de

causar perdas socioeconômicas e ambientais (Gomes, 2023). Por esta razão, mitigar os prejuízos causados por esses eventos demanda a implementação de estratégias que devem ser apoiadas por políticas públicas setoriais nas áreas de recursos hídricos, do clima e de solo.

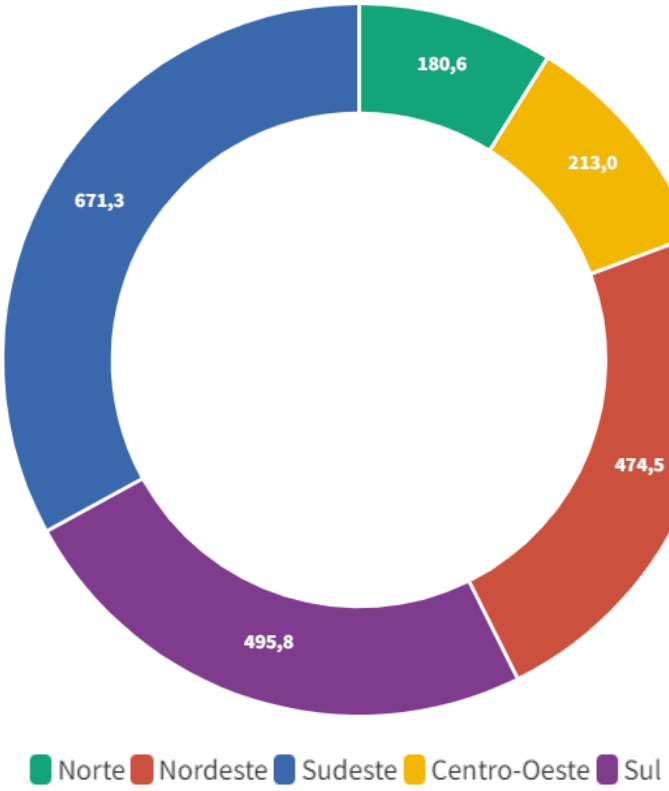
A percepção de um país abundantemente provido de água oculta os problemas reais enfrentados pelas regiões semiáridas do Nordeste. Segundo a OECD (2015), a distribuição de água doce no Brasil é bastante desequilibrada: a bacia amazônica detém cerca de 70% dos recursos hídricos do país, enquanto áreas densamente povoadas e economicamente avançadas enfrentam problemas de escassez. Dessa forma, a disponibilidade de água per capita varia significativamente. De acordo com Pasqualetto *et al*. (2022), a disponibilidade média de água no Nordeste é inferior a 500 m³ por habitante por ano, um nível considerado crítico, enquanto na Amazônia esse valor ultrapassa os 70.000 m³ por habitante, evidenciando a disparidade no acesso aos recursos hídricos.

O território brasileiro está incluído entre os países com maior reserva de água doce, onde a seguridade hídrica é imprescindível para o progresso social e econômico, principalmente nas regiões que são atingidas pelos eventos hidrológicos extremos, segundo o PNSH a RSB do Brasil apresenta uma redução hídrica, ocasionado por longos períodos de estiagem (ANA, 2019). Enquanto algumas áreas do território nacional estão suscetíveis a inundação devido a ocorrência de chuvas intensas e prolongadas outras demonstram dificuldade para garantir o abastecimento da população.

Segundo a ANA (2024) no ano de 2022, o Sudeste liderou o consumo de água entre as demais regiões brasileiras, seguido pelo Sul, Nordeste, Centro-Oeste e Norte. A demanda por água nesses estados está relacionada a irrigação e ao abastecimento urbano (Figura 6).

Diante desse cenário um dos obstáculos ao desenvolvimento da Região Semiárida Brasileira é a acessibilidade aos recursos hídricos. Existem inúmeros fatores que influenciam esse processo, sendo um dos mais relevantes a baixa precipitação, que ocorre de forma irregular. Além disso, a evapotranspiração, processo que envolve a transferência de água do solo e da vegetação para a atmosfera, acontece de forma intensa em razão das altas temperaturas e da baixa umidade do ar, resultando na rápida evaporação da água do solo, rios e lagos, e por meio da transpiração das plantas, o que restringe a disponibilidade de água.

Figura 6 - Retirada de Água por Região no Brasil (m³/s).



Fonte: ANA (2023)

As alterações climáticas, associadas ao aumento da temperatura e mudanças no padrão de chuvas, têm agravado a situação na RBS, portanto, o desafio é complexo e envolve múltiplos fatores interligados, exigindo a implementação de políticas públicas que considerem essas variáveis, para assegurar a sustentabilidade hídrica da região. Devido as elevadas variações anuais de precipitação são construídas infraestruturas hídricas, com ênfase nos reservatórios artificiais, que tem como objetivo assegurar a estabilidade hídrica nas Bacias Hidrográficas, pois ampliam a disponibilidade de água na superfície, acumulam excedentes durante os períodos chuvosos e garantem o abastecimento ao longo do tempo, especialmente nos períodos de estiagem, com objetivo de minimizar os impactos dessas oscilações sobre os recursos hídricos (ANA, 2022).

Uma das principais características do Nordeste brasileiro é a intermitência de seus rios, cujos escoamentos cessam por períodos variáveis ao longo dos anos. Segundo Teixeira (2023), a maior parte dos rios intermitentes do Brasil está concentrada no Semiárido, abrangendo cerca de 18% do total das bacias hídricas do país. Portanto, é necessário compreender as alterações climáticas, incluindo o

aumento da temperatura e mudanças no padrão de chuvas, fatores que agravam ainda mais a situação na região semiárida.

O uso de mecanismos de governança e de gestão de recursos hídricos é essencial para garantir o uso eficiente da água por múltiplos usuários durante o maior tempo possível, onde devem ser estabelecidas estratégias adequadas que minimizem o desperdício e os conflitos relacionados ao uso da água, sendo necessário o uso eficaz e sensato, buscando equilíbrio entre as necessidades da sociedade e a oferta dos recursos hídricos, estabelecendo estratégias que venham maximizar a eficiência dos corpos hídricos, enfatizando os níveis ideais de sustentabilidade da água e diminuição da vulnerabilidade durante os períodos de seca (Ferrarini; Ferreira Filho, 2020).

Durante um longo período, a ênfase das políticas governamentais era melhorar a infraestrutura relacionada aos recursos hídricos, a qual tem sido um foco desde o começo da colonização deste território, principalmente no início do século XX, a partir da construção de reservatórios e de barragens para o fornecimento de água para as pessoas e suprimento das necessidades da econômicas da região. No entanto, com o decorrer do tempo, o semiárido tem experimentado mudanças sociais e econômicas que influenciam no seu desenvolvimento.

Além disso, a gestão eficiente dos recursos hídricos implica na promoção e sensibilização a partir da educação ambiental nas comunidades locais, buscando a implementação de programas de capacitação e de treinamento da população, visando o uso racional da água e a conservação dos recursos hídricos. Sendo assim, é de extrema importância, que a educação ambiental seja utilizada como uma ferramenta eficaz para promover mudanças de comportamento e garantir a sustentabilidade dos recursos naturais.

Um aspecto relevante da RSB é a necessidade de uma gestão integrada dos recursos hídricos, uma vez que esse território não é apenas caracterizado pela escassez de água, mas também apresenta particularidades socioambientais especificas, tais como o compartilhamento de Bacias Hidrográficas por diversos municípios e estados, o que exige um trabalho conjunto e coordenado entre os órgãos responsáveis pela gestão desses recursos, considerando os marcos legais do Brasil e das unidades federativas. Uma da alternativa viável para aprimorar essa governança é o fortalecimento e a autonomia dos comitês de Bacias Hidrográficas, que reúnem representantes do governo, da sociedade civil e do setor produtivo,

esses comitês desempenham um papel fundamental na promoção de decisões participativas democráticas, garantindo um gerenciamento eficiente e equitativo das reservas hídricas.

A implementação de uma gestão eficiente exige a adoção de medidas e técnicas sustentáveis que contribuam para a redução do consumo de água nas diversas atividades econômicas. Além disso, é indispensável investir em pesquisa e no desenvolvimento de tecnologias que aumentem a eficiência do uso da água, garantindo a segurança hídrica. Mendes *et al*. (2018) destacam a importância de implementar políticas e programas de gestão dos recursos hídricos no semiárido, promovendo a sustentabilidade e a adaptação às mudanças climáticas.

3.3 A IMPORTÂNCIA DA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO PARA O SEMIÁRIDO

A transposição das águas do Rio São Francisco tem sido amplamente estudada sob diferentes perspectivas, incluindo seus impactos socioeconômicos, ambientais e políticos no semiárido nordestino. Segundo Medeiros *et al*. (2023), o projeto de integração das águas do São Francisco busca mitigar a escassez hídrica da região, assegurando a oferta de água para mais de 12 milhões de habitantes.

De acordo com Mielke *et al*. (2020), o rio São Francisco é o maior curso d'água inteiramente brasileiro, e desempenha uma função importante relacionada ao abastecimento de água de inúmeras cidades, como também contribui para a manutenção de extensas áreas agrícolas. Essa análise ressalta que, apesar da importância do projeto para a segurança hídrica, ele tem gerado impactos socioeconômicos diferenciados, favorecendo os setores produtivos ligados à agroindústria e ao agronegócio, enquanto comunidades tradicionais encontram dificuldades de acesso aos recursos hídricos (Medeiros *et al*., 2023).

Segundo Oliveira (2023), a transposição tem impulsionado avanços na agricultura irrigada no semiárido, especialmente na Paraíba, onde a gestão adequada da água permitiu a expansão de produções agrícolas e o fortalecimento da agricultura familiar. No entanto, persistem desafios relacionados ao gerenciamento e distribuição da água, pois há desigualdades no acesso aos recursos hídricos. A população local muitas vezes não tem acesso direto à água

transposta, que é canalizada para grandes centros urbanos e setores específicos da economia (Santos, 2024).

A transposição impactou positivamente o mercado de trabalho na região, especialmente no setor rural, onde a geração de empregos foi impulsionada pela expansão da agricultura irrigada, entretanto, ocorre a distribuição desigual da água favorecendo grandes produtores em detrimento de pequenos agricultores, gerando tensões sociais e políticas (Pamplona *et al*., 2022).

Diante dessa realidade, é fundamental conhecer a vazão real disponível no rio São Francisco para implementar medidas de gestão eficazes, pois, o monitoramento contínuo e o armazenamento de dados sobre a vazão são essenciais para subsidiar a tomada de decisões dos gestores de recursos hídricos, garantindo a conformidade com os instrumentos de gestão previstos na legislação federal e estadual (Martins *et al*., 2021).

Outro aspecto relevante é o impacto ambiental do projeto, que tem alterado os ecossistemas hídricos, contribuindo para a eutrofização de reservatórios e comprometendo a biodiversidade aquática. Além disso, a remoção de populações ribeirinhas e a destruição de ecossistemas locais têm sido denunciadas como efeitos colaterais negligenciados do projeto (Neto, 2022).

Por conseguinte, Maia *et al*. (2024) analisam os impactos socioeconômicos não previstos no Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), destacando que, além dos impactos ambientais previamente documentados, a desapropriação de moradores levou à perda de terras agricultáveis e à especulação imobiliária nas áreas beneficiadas, afetando a segurança econômica de famílias vulneráveis.

Ademais, Alencar dos Santos (2024) ressalta que, embora exista infraestrutura para o tratamento de esgoto, a população ainda enfrenta dificuldades no abastecimento de água para consumo humano, sendo forçada a buscar alternativas para garantir sua segurança hídrica. Enquanto, no contexto agrícola Oliveira (2023) identifica melhorias na produtividade, mas apontando que a falta de políticas de incentivo ainda limita os pequenos agricultores. Assim é necessário avaliar os impactos da transposição na bacia do rio Paraíba, demonstrando alterações na qualidade da água e aumento da concentração de nutrientes em reservatórios, indicando a necessidade de um controle ambiental mais rigoroso (Gurjão de Oliveira 2018).

Para Sousa *et al*. (2022) a transposição é abordada como uma política pública controversa, argumentando que sua implementação foi marcada por desafios políticos e administrativos, sendo essencial aprimorar a governança hídrica para tornar o projeto mais inclusivo. Embora o projeto seja essencial para a segurança hídrica e o desenvolvimento socioeconômico da Região Semiárida, há desafios críticos relacionados à distribuição equitativa da água, aos impactos ambientais e à gestão eficiente das reservas hídricas.

3.4 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DA PARAÍBA

A gestão dos recursos hídricos no Estado da Paraíba representa um grande desafio, devido às condições climáticas adversas do Semiárido Nordestino e à alta demanda por água para múltiplos usos. Portanto, o gerenciamento eficiente desse recurso se torna ainda mais urgente diante dos impactos das mudanças climáticas e do crescimento populacional, que aumentam a pressão sobre os mananciais hídricos. A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) definiu diretrizes fundamentais para a gestão da água no Brasil, incluindo a descentralização da governança, a participação social e o uso racional dos recursos hídricos. No âmbito estadual, a Paraíba regulamentou sua própria política hídrica por meio da Lei nº 6.308/1996, criando a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), que é responsável pela concessão de outorgas, monitoramento dos mananciais e fiscalização do uso da água (Gaspar, 2024).

A governança hídrica na Paraíba é pautada na gestão participativa, sendo os Comitês da Bacia Hidrográfica (CBHs) peças-chave na tomada de decisões sobre a alocação de recursos hídricos. No entanto, os estudos indicam que, na prática, ainda há limitações na articulação entre os órgãos gestores e a sociedade civil. Muitos comitês sofrem com falta de capacitação técnica e dificuldades para implementar mecanismos de governança eficiente (Medeiros e Lucena, 2023).

Outro desafio é a falta de integração entre a gestão da água e o ordenamento territorial, pois, a ausência de uma política pública unificada que contemple o uso sustentável da água, o saneamento e o planejamento urbano levaram a problemas ambientais e sociais. A gestão dos recursos hídricos precisa estar alinhada com as diretrizes do desenvolvimento sustentável, garantindo acesso equitativo à água e a preservação dos mananciais (Grangeiro *et al*., 2019).

Os conflitos pelo uso da água na Paraíba são agravados pela distribuição desigual dos recursos e pela alta demanda dos setores agrícola, industrial e urbano. Segundo Netto (2022), o setor agrícola possui grande parte das concessões de outorga, impactando diretamente na disponibilidade hídrica para outros usos essenciais, como o abastecimento humano.

Além disso, a exploração intensiva dos lençóis freáticos tem reduzindo a capacidade de recarga dos aquíferos freáticos, aumentando a vulnerabilidade hídrica. Segundo Sobral *et al*. (2023), a retirada excessiva de água sem controle adequado pode comprometer não apenas a quantidade de água potável, mas também a qualidade dos ecossistemas aquáticos.

A chegada das águas do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) modificou a dinâmica hídrica da Paraíba, criando desafios para a gestão, embora a transposição tenha ampliado a oferta de água para diversas localidades, sua distribuição ainda enfrenta dificuldades operacionais e burocráticas, além da necessidade de garantir que os benefícios alcancem as comunidades mais vulneráveis (Cunha *et al*., 2023).

A adoção do uso de tecnologia apropriada tem contribuído para uma gestão eficiente da água na Paraíba, através do uso de sensores remotos, geoprocessamento e inteligência artificial, permitido monitoramento mais preciso dos níveis de água em reservatórios e aquíferos, facilitando ações preventivas para evitar crises hídricas (Mata, 2022). A implementação de programas como a "Tarifa Verde" tem sido essencial para aumentar a regularização das outorgas, facilitar a informalidade e promover um controle mais eficiente dos mananciais. Essa política tem mostrado resultados positivos, embora muitos produtores ainda enfrentem dificuldades para obter a regularização devido à complexidade dos processos administrativos e à falta de assistência técnica adequada (Gaspar, 2024).

A educação ambiental também tem se mostrado como uma ferramenta poderosa para sensibilizar a população sobre o uso sustentável da água. Iniciativas promovidas por universidades e organizações não governamentais têm desempenhado um papel crucial na disseminação de práticas responsáveis de consumo e conservação dos recursos hídricos (Medeiros e Lucena, 2023). Conforme Silva *et al*. (2023), a redução do desperdício de água e a implementação de tecnologias mais sustentáveis são fundamentais para garantir a segurança hídrica das futuras gerações.

3.5 RECURSOS HÍDRICOS NO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA

A gestão das reservas hídricas na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba tem sido amplamente debatido, com diferentes abordagens analisando a disponibilidade, distribuição e regulação da água. A precipitação pluviométrica desempenha um papel essencial no gerenciamento hídrico da bacia hidrográfica, uma vez que sua variabilidade afeta diretamente a sustentabilidade do abastecimento e o desenvolvimento das diversas atividades produtivas. Ademais, há uma tendência de redução das chuvas ao longo das décadas, aumentando a vulnerabilidade da região a eventos de seca prolongada (Medeiros, 2020).

De acordo com Santos *et al*. (2021), a bacia hidrográfica do rio Paraíba apresenta um pequeno volume de escoamento dos rios, decorrente da variabilidade temporal das precipitações e das particularidades geológicas, com o predomínio de solos rasos ou jovens e a presença de rochas cristalinas contribuem para a formação de densas redes de rios efêmeros e intermitentes.

Portanto, compreender o regime fluvial e o comportamento do fluxo de água no decorrer do tempo, incluindo as variações sazonais e anuais, é essencial para compreender a dinâmica desses padrões, permitindo que os gestores identifiquem os períodos de maior e menor vazão, favorecendo a tomada de decisão e o planejamento adequado do uso da água. Além disso, a análise do regime fluvial possibilita avaliar tanto os impactos ambientais quanto as intervenções humanas, como a transposição das águas do rio São Francisco (Dornellas *et al*., 2024).

A perenização do rio Paraíba é uma tentativa de alocar recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco para garantir um fluxo contínuo, visando atender às necessidades de abastecimento da população e da economia local, contudo, a introdução de um fluxo perene altera o regime hidrológico natural do rio, anteriormente intermitente, o que provoca uma série de impactos ambientais. A região do alto curso do rio Paraíba tem sofrido modificações, como alterações na morfologia do canal, formação de novas ilhas e modificação das margens, isso pode resultar em erosão significativa, comprometendo a estabilidade do canal e levando à perda de solo e vegetação ribeirinha. Ademais, a introdução de novas espécies de peixes e macroinvertebrados pode impactar as espécies locais (Oliveira, 2018).

A área é enfrenta consequências como, o desmatamento e a poluição que ameaçam a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos, evidenciando a necessidade de políticas de conservação e recuperação ambiental (Ono *et al*., 2019; Sena *et al*., 2019). A gestão sustentável dos recursos naturais é essencial para garantir a disponibilidade da água, evitar conflitos quanto ao seu uso e preservar a qualidade hídrica, necessária para a saúde pública e a conservação dos ecossistemas aquáticos. Para isso, é imprescindível o comprometimento dos diversos atores sociais, incluindo representantes do governo, sociedade civil, empresas e organizações não governamentais (Pimentel, 2020).

Os contextos climáticos e socioambientais no Brasil são marcados por grande diversidade e complexidade, sobretudo na gestão dos recursos hídricos. A região do Semiárido paraibano possui balanço hídrico negativo e uma histórica luta contra as secas. Assim, a região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba constitui um campo de estudo rico e desafiador, no qual é possível analisar e propor soluções para os problemas socioambientais. A variabilidade pluviométrica dessa região é um dos principais fatores que afetam a gestão dos recursos hídricos e a segurança hídrica. A precipitação pluviométrica apresenta padrões sazonais e interanuais irregulares, com períodos de seca prolongados e chuvas concentradas em determinados meses.

A pluviometria na bacia hidrográfica do rio Paraíba segue uma distribuição sazonal, concentrando-se nos primeiros meses do ano, geralmente entre fevereiro e maio, sendo esse período considerado o mais chuvoso da região (Lucena *et al*., 2019). No entanto, essa sazonalidade é marcada por uma elevada variabilidade interanual, o que significa que há anos em que a precipitação pluviométrica é bem acima da média e outros, em que a seca predomina. Segundo Medeiros (2020), análises históricas da precipitação demonstraram uma redução nos índices pluviométricos ao longo dos anos, indicando uma tendência. Além disso, foram identificadas oscilações na precipitação pluviométrica em decorrência de influência de fenômenos climáticos globais, como El Niño e La Niña, na modulação do regime de chuvas.

Fenômenos climáticos exercem impactos. Durante a La Niña, há redução das chuvas, agravando as condições de seca, especialmente para agricultores e pecuaristas. Estudos indicam que esses períodos levam a estações secas mais longas, baixa umidade do solo e queda na produtividade agrícola (Moura *et al*.,

2014). Por outro lado, o El Niño pode aumentar as chuvas, mitigando a seca, mas também causando inundações, erosão e impactos na infraestrutura das cidades (Cavalcanti *et al*., 2018). Além disso, a urbanização desordenada e o desmatamento têm contribuído para alterações no regime hídrico da bacia. Estudos indicam que a remoção da vegetação nativa reduz a infiltração da água no solo, aumentando o escoamento superficial e diminuindo a recarga dos aquíferos, o que agrava os efeitos das secas prolongadas (Lucena *et al*., 2019).

A irregularidade das chuvas, associada à redução dos índices pluviométricos nas últimas décadas, tem impactado a oferta de água e aumentado a vulnerabilidade da população. Assim, torna-se essencial a adoção de medidas de adaptação que garantam a resiliência da população residente na bacia hidrográfica, através da integração entre monitoramento climático, planejamento hídrico e ações de conservação ambiental para minimizar os impactos das secas e assegurar o uso sustentável da água.

3.6 OUTORGA DE ÁGUA NA REGIÃO DO ALTO CURSO DO RIO PARAÍBA

A outorga de água é um dos principais instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), sendo essencial para regular o uso desse recurso e prevenir conflitos entre diferentes setores da sociedade. No Brasil, a concessão de outorga segue os princípios da Lei nº 9.433/1997, que estabelece critérios técnicos para a sua concessão, levando em conta a disponibilidade hídrica, os usos múltiplos da água e os impactos ambientais (Brasil, 1997). Na Paraíba, a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) é a responsável por conceder e monitorar as outorgas em nível estadual (AESA, 2020).

O conceito de outorga está intrinsecamente ligado à necessidade de se reconhecer a água como um bem público, cuja utilização deve ser condicionada à autorização do Estado, que atua como regulador e garantidor da função social desse recurso. A região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba, situada no Cariri Paraibano, apresenta desafios hídricos devido à irregularidade climática e à dependência de reservatórios artificiais (Morais *et al*., 2020). Além disso, a chegada das águas da transposição do rio São Francisco trouxe novas implicações para a gestão da outorga na região, visto que a Agência Nacional de Águas e Saneamento

Básico (ANA) regula a concessão dessas águas antes de sua distribuição no território estadual (Santos, 2021).

A regulamentação da outorga na Paraíba é de responsabilidade da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado (AESA), a qual tem a incumbência de conceder, monitorar e fiscalizar os usos da água no território estadual. O processo de outorga envolve uma série de etapas que incluem a análise técnica da disponibilidade hídrica, a avaliação do impacto sobre os demais usuários e a verificação do atendimento aos requisitos legais previstos na legislação vigente (Morais *et al*., 2020). Por meio de um sistema digital, os usuários podem realizar a solicitação formal, que é submetida a uma criteriosa avaliação que considera, entre outros aspectos, a vazão disponível, o potencial de recarga dos aquíferos e a necessidade de preservação dos ecossistemas associados. Embora a concessão de outorgas esteja pautada em uma base normativa robusta, a realidade da região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba revela desafios, principalmente relacionados à fiscalização e à efetiva inclusão de todos os usuários na formalização do uso da água (Santos, 2021).

A chegada das águas da transposição do rio São Francisco ao rio Paraíba intensificou a necessidade de regulamentação rigorosa, pois a ANA é responsável pela outorga dessas águas em nível federal até que sejam distribuídas dentro do território estadual (Fernandes *et al*., 2022), com isso, a gestão da outorga tornou-se mais complexa, exigindo maior articulação entre os órgãos reguladores.

As outorgas na bacia hidrográfica do rio Paraíba estão concentradas principalmente no trecho entre os municípios de Monteiro e Boqueirão, onde se localiza o açude Epitácio Pessoa (Nunes *et al*., 2019). A irrigação agrícola é o setor que mais demanda outorgas, sendo responsável por cerca de 70% das concessões (Pereira *et al*., 2021), aonde a retirada irregular de água subterrânea para irrigação é um dos principais desafios na gestão da outorga, pois, muitas captações ocorrem sem autorização formal, comprometendo a recarga dos aquíferos e reduzindo a disponibilidade hídrica para outros usos (Carvalho *et al*., 2022). Além disso, a falta de fiscalização eficaz permite que diversos usuários operem sem outorga, resultando em pressões sobre os sistemas de abastecimento e afetando diretamente comunidades ribeirinhas (Menezes e Ribeiro, 2021), portanto, o acesso desigual à água e a presença de usuários não regularizados resultam em conflitos,

especialmente durante períodos de seca prolongada, quando há restrição no fornecimento para consumo humano (Lima e Barbosa, 2020).

Para incentivar a regularização das outorgas, o governo estadual implementou a "Tarifa Verde da Energisa", que oferece descontos na conta de energia de 70% no horário estabelecido para irrigantes que possuem outorga válida (AESA, 2020), visando oferecer benefícios aos usuários que formalizam suas captações, contribuindo para a diminuição da informalidade e para a ampliação do controle estatal sobre o uso da água. Essa política, associada a campanhas de cadastramento realizadas pelo comitê da bacia hidrográfica do rio Paraíba (CBH-PB), tem promovido avanços na formalização, embora a adesão ainda seja limitada, sobretudo em áreas rurais e em comunidades com menor acesso à informação (Freitas, 2023). Esta iniciativa tem contribuído para a formalização da outorga de uso da água, mas muitos produtores ainda operam sem autorização devido à burocracia do processo de solicitação (Soares *et al*., 2019).

A concessão de outorgas na bacia hidrográfica do rio Paraíba não impacta apenas a disponibilidade hídrica, mas também afeta os ecossistemas locais e a segurança hídrica das populações vulneráveis. A captação descontrolada pode reduzir a vazão de rios intermitentes, comprometendo a fauna e a flora aquática (Alves e Ferreira, 2020). Além disso, a gestão inadequada da outorga pode agravar a desigualdade no acesso à água, prejudicando pequenos produtores e comunidades ribeirinhas que dependem de mananciais para subsistência (Dantas *et al*., 2021).

A criação de comitês de Bacia Hidrográfica é uma alternativa eficaz para promover a governança participativa da água, garantindo que a população local tenha voz na tomada de decisões (Martins *et al*., 2022). No entanto, a efetividade desses comitês ainda é limitada devido à falta de representatividade e à dificuldade de articulação com os órgãos reguladores (Costa e Lopes, 2020). Nesse sentido, iniciativas que promovam a sensibilização sobre a importância da regularização das captações são fundamentais para engajar os usuários e fortalecer a governança participativa, com o envolvimento da sociedade na fiscalização e na proposição de medidas de manejo, o que pode contribuir para a resolução de conflitos e na implementação de práticas sustentáveis que atendam aos anseios de todos os segmentos (Freitas, 2023).

A outorga na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba evidencia desafios recorrentes e estratégias de gestão que ainda necessitam de aprimoramento, pois há concentração de outorgas no setor agrícola, em detrimento de outras atividades essenciais, como o abastecimento humano e a dessedentação animal (Souza *et al*., 2019), além disso, a informalidade no uso da água ainda é uma realidade persistente, dificultando a fiscalização e o controle das captações (Fernandes *et al*., 2022).

A coordenação entre os diferentes níveis de Governo – Federal, Estadual e Municipal – é fundamental para assegurar a implementação de políticas coerentes e para evitar sobreposições de competências que possam gerar conflitos e ineficiências. Na Paraíba, a cooperação entre a ANA e a AESA tem sido apontada como um exemplo de gestão compartilhada, embora desafios persistam na definição de limites de uso e na priorização dos diferentes setores demandantes (Morais *et al*., 2020). Assim, a transparência nos processos de outorga, aliada à participação dos usuários e à divulgação de informações, é vista como uma estratégia que pode fortalecer a confiança na gestão dos recursos hídricos e reduzir os conflitos de usos da água (Freitas, 2023).

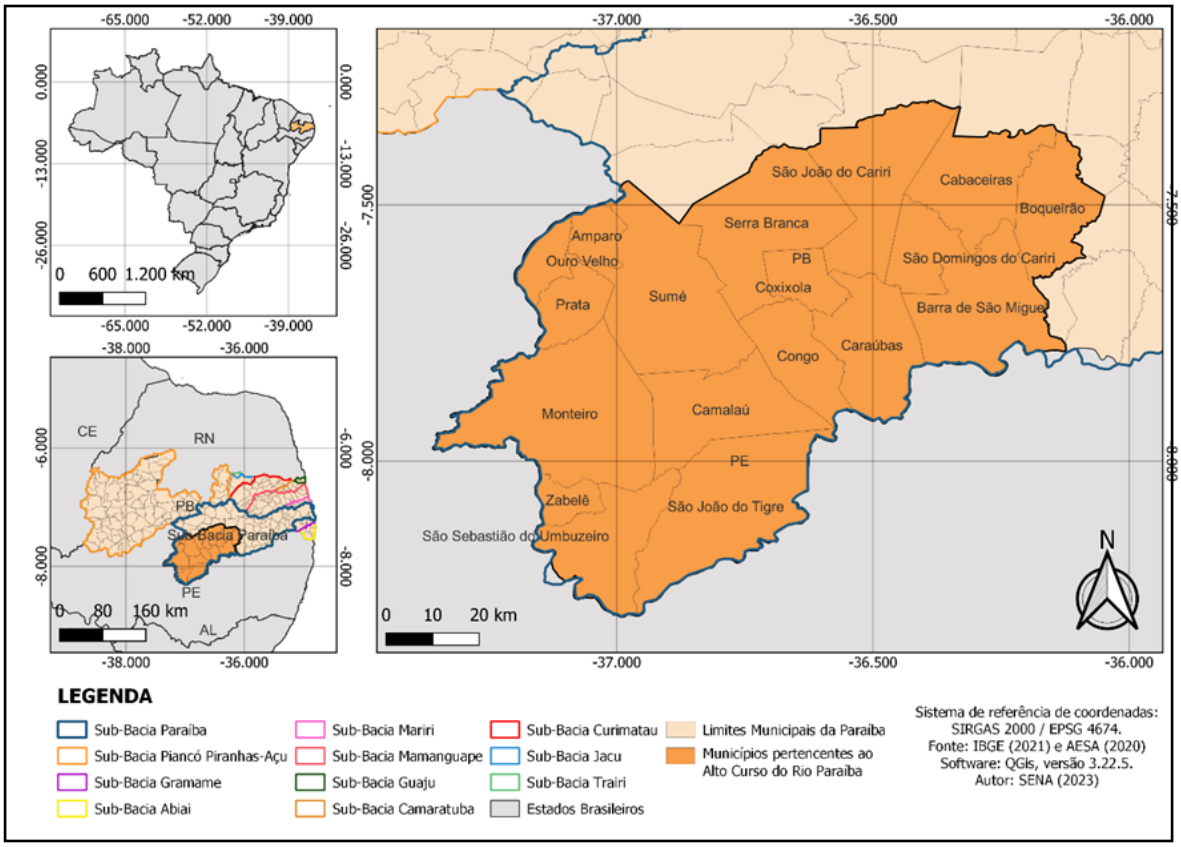
A ampliação desse diálogo entre as instituições responsáveis e a sociedade civil torna-se imperativa para a construção de uma gestão eficaz, por meio da promoção de fóruns de discussão, a realização de audiências públicas e o estímulo à participação popular em conselhos e comitês de bacia, medidas que contribuem para uma melhor compreensão dos desafios e na identificação de soluções adequadas às especificidades locais. Dessa forma, fortalecer a governança da água e ampliar a fiscalização são medidas necessárias para garantir a sustentabilidade hídrica da região e assegurar recursos hídricos para futuras gerações, minimizando os impactos da escassez na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é compreendida pela região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba (Figura 7), que representa uma porção do semiárido paraibano para compreensão e análise de diversos aspectos socioambientais, cujos municípios estão localizados, em sua maioria, na região do Cariri, Nordeste do Brasil, que possui área territorial de 12.389,14 km², com elevada irregularidade espacial e temporal da precipitação (Aragão *et al*., 2023).

Figura 7 - Localização da região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba



Fonte: Autoria própria (2023)

Em termos geográficos, a região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba é caracterizada por uma paisagem predominantemente montanhosa, com altitudes que variam de 400 a 800 m. Essa topografia acidentada é resultado da ação de processos geológicos que influencia diretamente na dinâmica dos ecossistemas presentes no território (Souza *et al*., 2023).

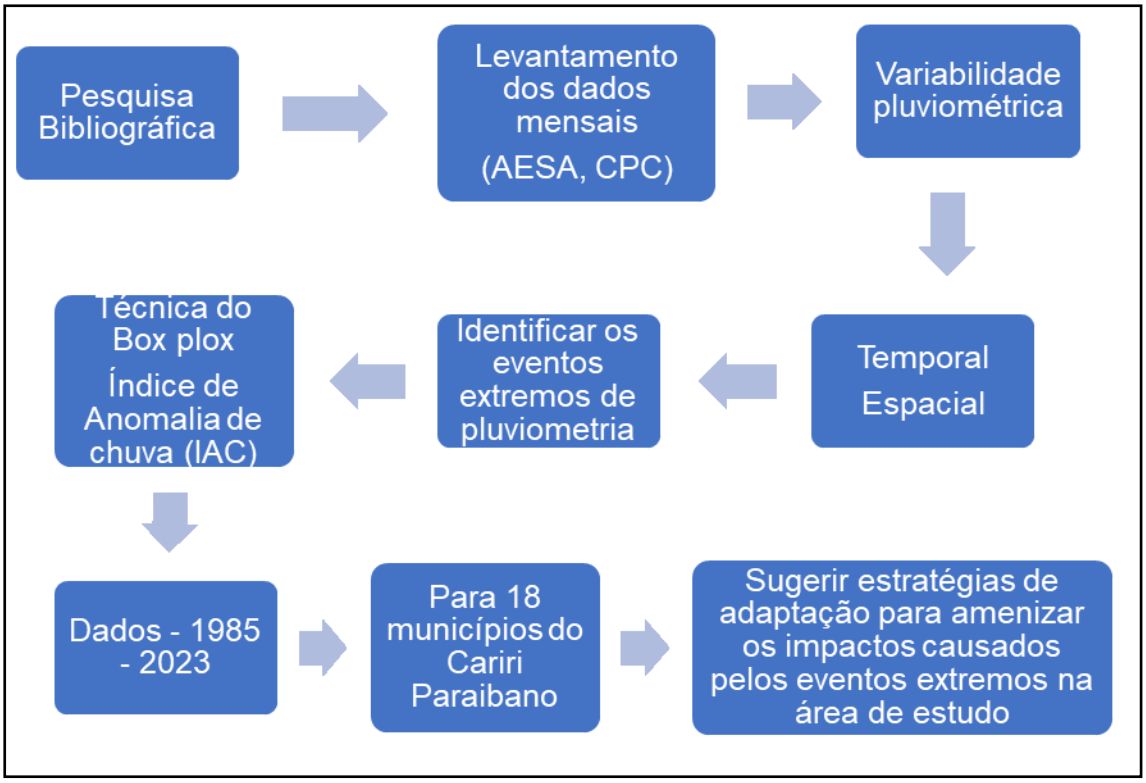
A cobertura vegetal também é variável, com localidades onde há remanescentes de mata atlântica até formações de Caatinga. As matas ciliares desempenham um papel relevante na proteção dos cursos d'água e na manutenção da qualidade dos recursos hídricos (Silva *et al*., 2020). Isso contribui para diversidade dos recursos naturais, colaborando para o desenvolvimento de inúmeras atividades produtivas como, agricultura, pecuária, indústria e comércio.

O crescimento econômico dessas atividades trouxe uma série de desafios ambientais e sociais, tais como, o uso indiscriminado dos recursos naturais disponíveis, como a água e o solo, o que favoreceu à degradação dos ecossistemas, além de impactar as comunidades locais (Silva *et al*., 2019).

A análise e compressão da variabilidade climática e dos eventos extremos de precipitação, são relevantes para as tomadas de decisões políticas e estabelecimento de ações estratégicas, uma vez que esses fenômenos acarretam impactos e consequências para a sociedade e sobre o ecossistema, portanto, a identificação e avaliação dos extremos de precipitação são importantes para adoção de medidas adequadas de mitigação dos efeitos adversos.

Na Figura 8 pode-se observar o fluxograma da metodologia utilizada.

Figura 8 - Etapas metodológicas.



Fonte: Autoria própria (2023).

4.2 DADOS

Os dados pluviométricos mensais utilizados neste estudo foram obtidos da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) para o período de 1985 a 2023. No entanto, devido à presença de falhas nos registros da AESA, recorreu-se aos dados do *Climate Prediction Center* (CPC), vinculado ao *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), para suprir as lacunas. O estudo de Sena *et al*. (2012), que analisou 29 cidades na região do Cariri Paraibano, demonstrou que os dados do CPC reproduzem de forma satisfatória a precipitação anual da região. Os dados referem-se aos municípios da região em estudo (Tabela 1).

Tabela 1 - Municípios que fazem parte da região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba para o período de 1985 a 2023.

Municípios Período (1985 – 2013)	
Amparo	Ouro velho
Barra de São Miguel	São João do Cariri
Boqueirão	São João do Tigre
Cabaceiras	São Sebastião do Umbuzeiro
Caraúbas	Serra Branca
Camalaú	São Domingos do Cariri
Coxixola	Prata
Congo	Sumé
Monteiro	Zabelé

Fonte: Autoria própria (2023).

O software QGIS foi utilizado para a espacialização dos resultados, cujo código fonte é aberto e disponibilizado gratuitamente, possui interface simples, muito utilizado na produção de arquivos para Sistema de Informação Geográfica (SIG) (Oliveira Júnior; Araújo, 2022).

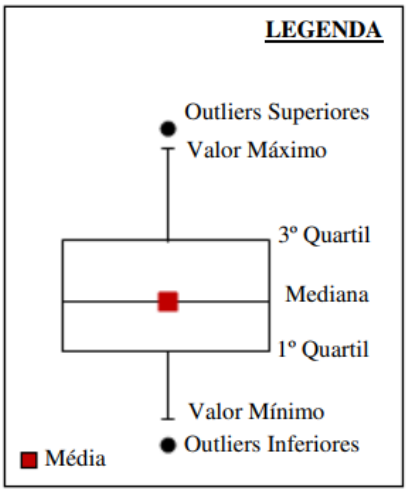
As análises estatísticas foram organizadas na planilha eletrônica Excel e no RStudio, um software livre, gratuito, muito usado para o tratamento de informações, pois possui fácil manipulação e possibilita diferentes análises de um mesmo objeto.

Para identificar eventos extremos, utilizou-se o método do box plot, uma ferramenta estatística eficaz na detecção de valores discrepantes (outliers). Esse método leva em consideração a assimetria e a variabilidade de um conjunto de dados. No presente estudo, o box plot foi construído com uma faixa de percentuais

de 5% a 95%, de modo que todas as observações desse intervalo foram definidas como pontos atípicos ou fora do padrão (outliers).

A técnica do box plot, ou diagrama de caixas, é uma ferramenta gráfica de análise exploratória que permite a avaliação estatística temporal de dados pluviométricos mensais em uma série contínua. Esse método apresenta diversos aspectos essenciais de um conjunto de dados, como dispersão, amplitude e possíveis desvios em relação à simetria, além de facilitar a identificação de valores discrepantes (outliers) (Oliveira *et al*., 2020). Para sua construção, é necessário calcular o 1º e o 3º quartis, que representam respectivamente, aos valores referentes a 25% e 75% da amostra, e a mediana, correspondente a 50% da amostra (Figura 9).

Figura 9 - Esquema de interpretação da técnica do box plot utilizado para análise exploratória dos dados.



Fonte: Adaptado de TRIOLA (2005).

A construção do box plot é feita mediante a colocação dos valores máximos e mínimos ligados por uma caixa construída de valores referentes aos quartis (1º, 3º e mediana). O valor máximo (V.máx) se destaca em virtude do seu alto valor de magnitude, e o valor mínimo (V.mín) é o menor valor encontrado na série. A mediana é a posição central dos dados (podem estar distribuídos de forma crescente ou decrescente), está localizada no centro, e é definida do seguinte modo: quando os elementos da amostra são ordenados, a mediana é o valor, que divide ao meio, isto é, 50% dos elementos da amostra são menores ou iguais à mediana, e os outros 50% são maiores ou iguais à mediana (Silva *et al*., 2022). Destaca-se que os

outliers ou pontos discrepantes, valores que se distanciam de quase todos os outros pontos da distribuição (Figura 9) (Triola, 2005).

O Índice de Anomalia de Chuva (*Rainfall Anomaly Index*) analisa a frequência em que ocorrem anos secos e anos chuvosos e a intensidade do evento. Foi desenvolvido por Rooy (1965) que, incorporou um procedimento de classificação para ordenar magnitudes de anomalias de precipitações positivas e negativas. A metodologia de Rooy (1965) foi adaptada para o Nordeste do Brasil por Freitas (2004), no qual se analisa há variabilidade climática através da elaboração dos índices climáticos espacializados, tanto no tempo como no espaço, identificando períodos considerados extremamente úmidos ou secos.

O IAC é calculado na escala de tempo semanal, mensal ou anual. A escolha da escala de tempo é feita com base na distribuição da precipitação pluviométrica. Em áreas com longos períodos de seca devem ser usada uma escala de tempo maior, do que em áreas com curtos períodos de seca.

O Índice propõe tornar o desvio da precipitação em relação à condição normal de diversas regiões passíveis de comparação (Rooy, 1965). O procedimento para o cálculo do IAC é descrito a partir das equações 1 e 2. Se o valor de N - $\overline{N}$ for maior que zero, utiliza-se a equação 1, se o resultado for negativo a equação 2.

$$IAC = 3.\left[\frac{(N - \overline{N})}{[(\overline{M} - \overline{N})]}\right] \qquad (1)$$

$$IAC = -3.\left[\frac{(N - \overline{N})}{[(\overline{X} - \overline{N})]}\right] \qquad (2)$$

Em que: N - Precipitação mensal ou anual atual (mm/mês); $\overline{N}$ - Precipitação média mensal ou anual da série histórica (mm/mês); $\overline{M}$ - Média das dez maiores precipitações mensais ou anuais da série histórica (mm/mês); $\overline{X}$- Média das dez menores precipitações mensais ou anuais da série histórica (mm/mês).

As anomalias positivas representam valores acima da média histórica e anomalias negativas, valores abaixo da média histórica. Os valores do índice são ordenados em um esquema de classificação em categorias como mostrado na Tabela 2, variando de extremamente úmido a extremamente seco.

Os resultados obtidos com o IAC foram analisados e comparados entre os municípios que compõe a região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba. Assim, as espacializações do IAC foram executadas através do software QGIS.

Tabela 2 – Classes de intensidade do Índice de Anomalia de Chuva (IAC)

	Faixa do IAC	Classe de Intensidade
Índice de Anomalia de Chuva (IAC)	De 4 acima	Extremamente Úmido
	2 a 4	Muito Úmido
	0,5 a 1,99	Úmido
	-0,49 a 0,49	Habitual
	-0,5 a -1,99	Seco
	-2 a -4	Muito Seco
	De -4 abaixo	Extremamente Seco

Fonte: Adaptado de Araújo; Moraes Neto; Souza (2009)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

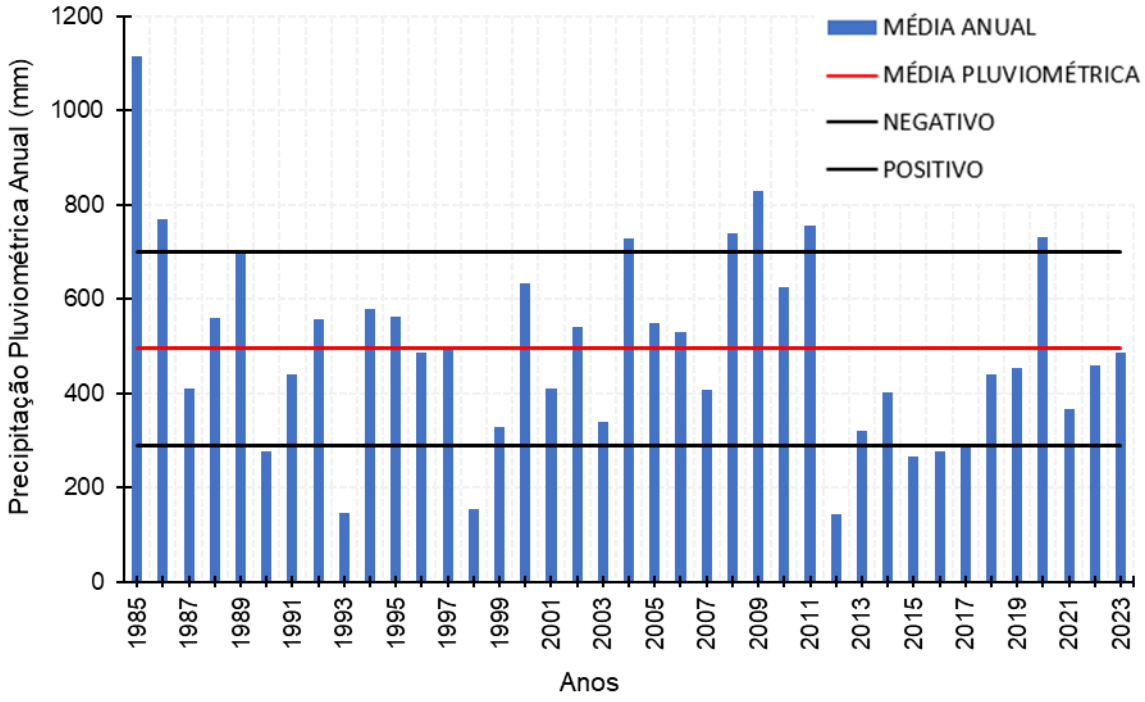
A análise da precipitação interanual registrada ao longo dos anos revelou uma considerável variabilidade, característica comum em regiões onde os índices pluviométricos sofrem influência de fatores climáticos diversos, essa instabilidade pode ser atribuída a fenômenos naturais como El Niño e La Niña, que influenciam os padrões de precipitação em várias regiões do mundo, além disso, a atividade humana, como o desmatamento e a urbanização, também pode alterar o ciclo hidrológico, intensificando ou diminuindo os índices pluviométricos.

Na Figura 10 pode-se observar a distribuição interanual da precipitação pluviométrica, evidenciando oscilações entre períodos de maior e menor volume de chuvas na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba, para o recorte temporal de 1985 a 2023. A média pluviométrica registrada ao longo dos anos analisados foi de 495,23mm (representada pela linha de cor vermelha), com um desvio padrão de 205,55mm (representada pelas linhas de cor preta), o que indica uma dispersão considerável dos dados em relação à média e sugere um limite que, estatisticamente, contém grande parte das observações, portanto, anos com precipitação acima do desvio padrão positivo pode ser considerado como eventos atípicos de alta precipitação.

Foi possível verificar que a pluviometria anual de alguns anos ultrapassou o limite do desvio padrão positivo (linha de cor preta), nos anos de: 1985 (1.114,5mm), 1986 (769,4mm), 2004 (728,7mm), 2008 (740,3mm), 2009 (823,0mm), 2011(755,7mm) e 2020 (732,7mm), destacando-se os anos de 1985 e 2009 com

precipitação bem acima da média, correspondendo a 125% e 67% acima da média, respectivamente. A pluviosidade acima da média nesses anos foi resultado da atuação do fenômeno La Niña que contribuiu para o aumento das precipitações (Sousa 2023, Araújo *et al*., 2009; Lucena *et al*., 2019; Sena *et al*., 2014).

Figura 10 - Distribuição interanual da precipitação e a média histórica na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba (Período: 1985 a 2023)



Fonte: Autoria própria (2025)

Quantos aos valores abaixo do desvio padrão negativo (representada pela linha inferior de cor preta), ocorreram em anos distintos, sendo eles: 1990 (276,0mm), 1993 (146,3mm), 1998 (155,6mm), 2012 (144,6mm), 2015 (265,9mm) e 2016 (277,5mm). Destacam-se os anos de 1993, 1998 e 2012, nos quais os valores registrados ficaram abaixo do limite médio, evidenciando períodos de seca. A redução de aproximadamente 70% no volume esperado impactou na região, que já enfrenta desafios relacionados à escassez hídrica.

Segundo Sousa (2023), os baixos índices pluviométricos indicam a influência de padrões climáticos adversos, como El Niño, que tendem a reduzir a ocorrência de chuvas no Semiárido brasileiro, por conseguinte, os anos em que ocorre esse fenômeno, há uma diminuição na ocorrência de chuvas intensas e extremas, podendo reduzir e não existir o volume escoado em rios intermitentes.

Os períodos secos na região do semiárido brasileiro foram classificados como anos de secas severa para os anos de 1990, 1993, 1998, e o ano de 2012 foi classificado como ano de seca extrema, influenciado por padrões anômalos das temperaturas da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico (Buriti e Barbosa, 2018). Essas condições também foram identificadas por Brito *et al*. (2020), que destacaram a intensidade da seca em 2012, associada ao aquecimento anômalo do oceano Atlântico Norte.

De acordo com Nascimento *et al*. (2021), o monitoramento da pluviosidade é essencial para o planejamento e uso sustentável dos recursos hídricos em áreas que enfrentam escassez hídrica, pois a pluviometria impacta diretamente as atividades econômicas na região do semiárido paraibano. Assim, a análise da pluviosidade ajuda na previsão de eventos extremos, como secas ou inundações, sendo vital para implementação de medidas de mitigação e garantia da segurança das comunidades e suas fontes de manutenção e permanência em seus locais de origem.

O impacto desses fenômenos sobre a precipitação pluviométrica demonstra a relevância de monitoramento para prever eventos e condições climáticas extremas, buscando implementar estratégias de mitigação e adaptação em regiões vulneráveis.

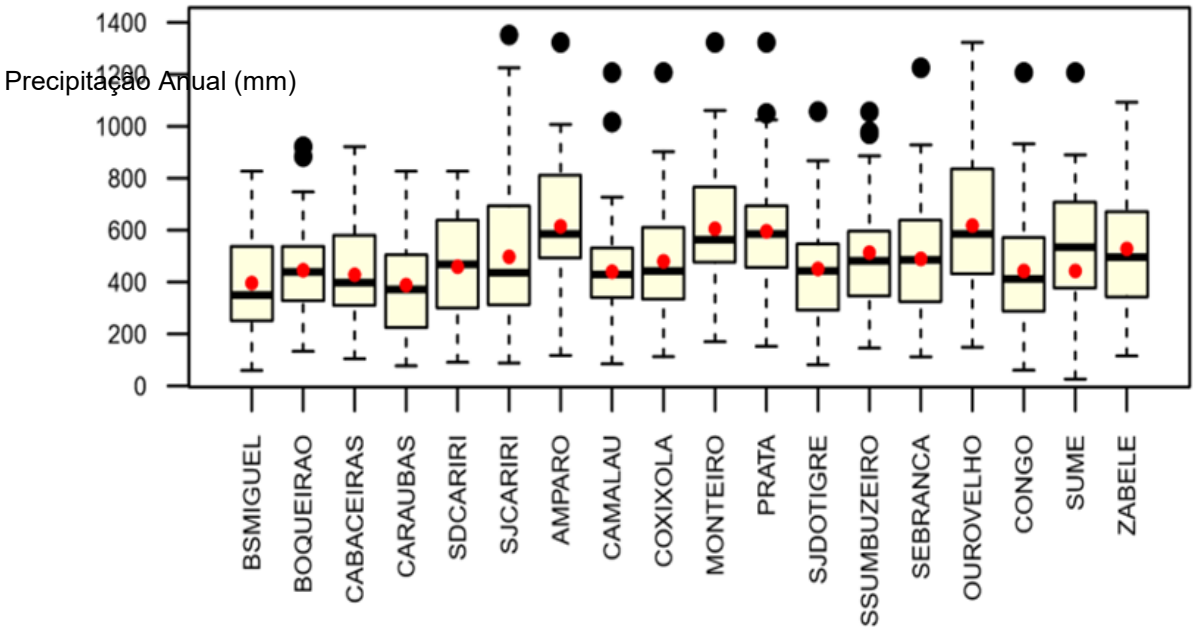
Conforme Silva (2022), a distribuição da precipitação no Semiárido brasileiro é irregular e varia ao longo do tempo e do espaço, sendo concentrada em períodos específicos, principalmente entre fevereiro e maio, assim, essa sazonalidade significa que em certos meses, grandes volumes de chuva podem ocorrer, enquanto em outros meses pode haver longos períodos de seca, o que afetam a disponibilidade de água e a segurança hídrica da população residente nesta área.

Ao identificar o comportamento da pluviosidade nos municípios analisados por meio da técnica do box plot, é possível identificar aspectos como distribuição, variabilidade, assimetria e a ocorrência de valores atípicos, proporcionando uma compreensão mais detalhada dos padrões pluviométricos.

Na Figura 11 pode-se observar a variabilidade pluviométrica nos municípios da região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba, com diferenças nos padrões de distribuição da precipitação anual, onde foi possível verificar que algumas cidades como Amparo, Boqueirão, Camalaú, Congo, Coxixola, Monteiro, Prata, São João do Cariri, São Sebastião do Umbuzeiro, Serra Branca e Sumé

apresentam maior amplitude na dispersão dos dados, evidenciando anos que possuem volumes precipitados superando a média histórica, enquanto, outras localidades possuem distribuições pluviométricas homogêneas, com menor variabilidade interanual, indicando maior estabilidade no regime de precipitação pluviométrica.

Figura 11 - Variabilidade da pluviometria na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba



Fonte: Autoria própria (2025)

No município de São João do Cariri, foram identificados valores discrepantes (outliers) de precipitação pluviométrica, como observado no ano de 2011, quando o índice pluviométrico atingiu 1.351,7mm, enquanto em 1993 registrou-se apenas 115,23mm, já o ano de 2017 destacou-se como o período com a menor precipitação, igual a 88,6mm. Além disso, a distribuição dos dados apresenta assimetria positiva, uma vez que a média dos valores registrados supera a mediana.

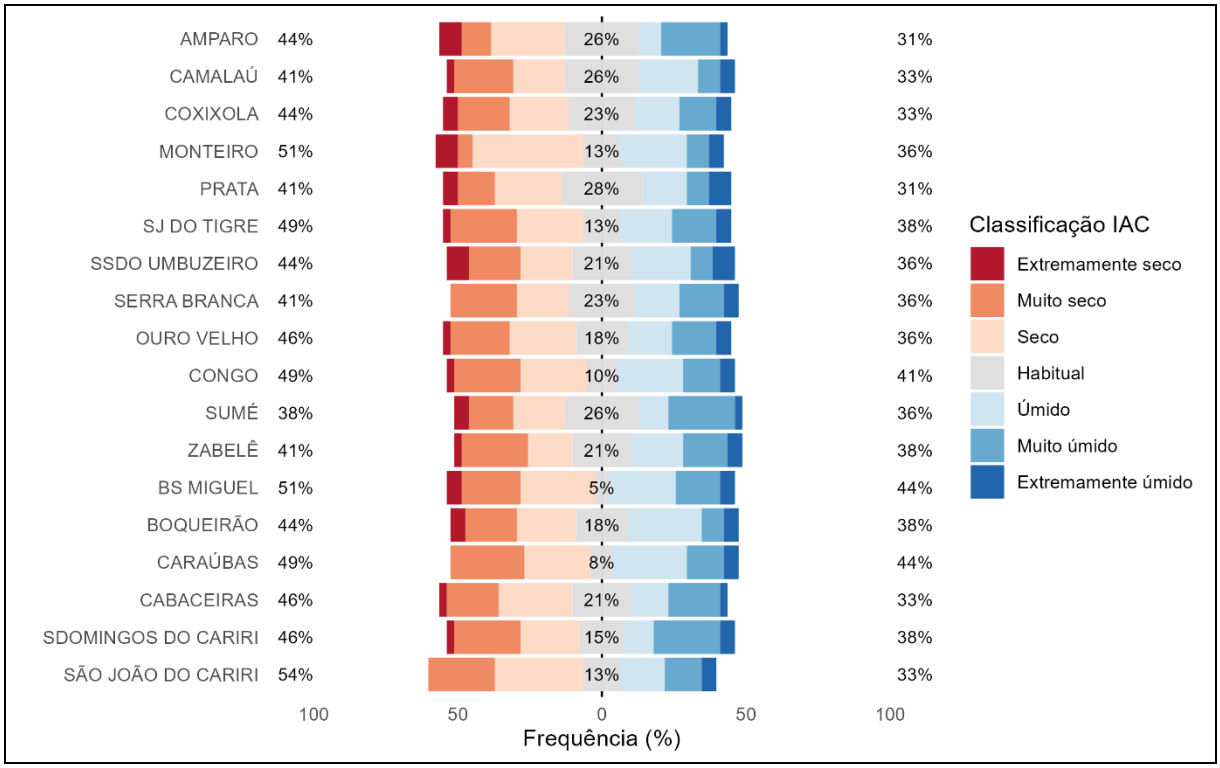
Em contrapartida o município de Sumé registra valores atípicos (outliers), no ano de 1985 com precipitação de 1.206,90mm, enquanto o ano de 2012 registrou a menor pluviometria de 27,0mm. Observa-se no box plot uma assimetria negativa, portanto, a média pluviométrica está abaixo da mediana, demostrando que maior parte dos anos apresenta valores superiores à média (Figura 11).

A variabilidade anual do IAC na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba ao longo das décadas, permitiu identificar padrões climáticos recorrentes e compreender a alternância entre períodos úmidos e secos.

Na Figura 12 pode-se observar a escala de cores utilizadas para indicar a intensidade das anomalias pluviométricas, com uso da cor azul representando anos com precipitação acima da média histórica e uso da cor vermelha indicando períodos de déficit hídrico.

A análise da classificação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para os municípios da região revela padrões distintos de variabilidade pluviométrica, indicando a predominância de diferentes condições hídricas ao longo do período estudado, portanto, a distribuição percentual das categorias de precipitação evidencia a ocorrência de anos secos e úmidos, permitindo uma avaliação detalhada da dinâmica climática local para 18 municípios, destacando a frequência percentual do anos analisados.

Figura 12 - Padrões climáticos de frequência dos anos secos, habitual e úmidos



Fonte: Autoria própria (2025)

Pode-se observar que os dados fornecem uma visão detalhada da variabilidade pluviométrica, auxiliando na avaliação dos impactos das variações

climáticas que podem auxiliar na formulação de estratégias para a gestão eficiente dos recursos hídricos. Dessa maneira, os dados indicam que municípios como São João do Cariri (54%), Monteiro (51%) e Barra de São Miguel (51%) apresentam uma maior frequência de anos classificados como secos ou muito secos, refletindo uma maior susceptibilidade à variabilidade climática e à ocorrência de períodos de estiagem, em contrapartida, municípios como Caraúbas (49%) e Congo (49%) exibem uma proporção mais equilibrada entre anos secos e úmidos, com maior regularidade no regime pluviométrico (Figura 12).

A distribuição dos eventos classificados como extremamente secos é notável em alguns municípios, como Amparo, Barra de São Miguel, Boqueirão, Monteiro e São Sebastião do Umbuzeiro, onde a incidência desse padrão climático é mais expressivo, mas os períodos classificados como extremamente úmidos ocorrem em menor frequência, sendo evidentes em localidades como Barra de São Miguel e Caraúbas, indicando que esses municípios estão sujeitos a eventos extremos de precipitação (Figura 12).

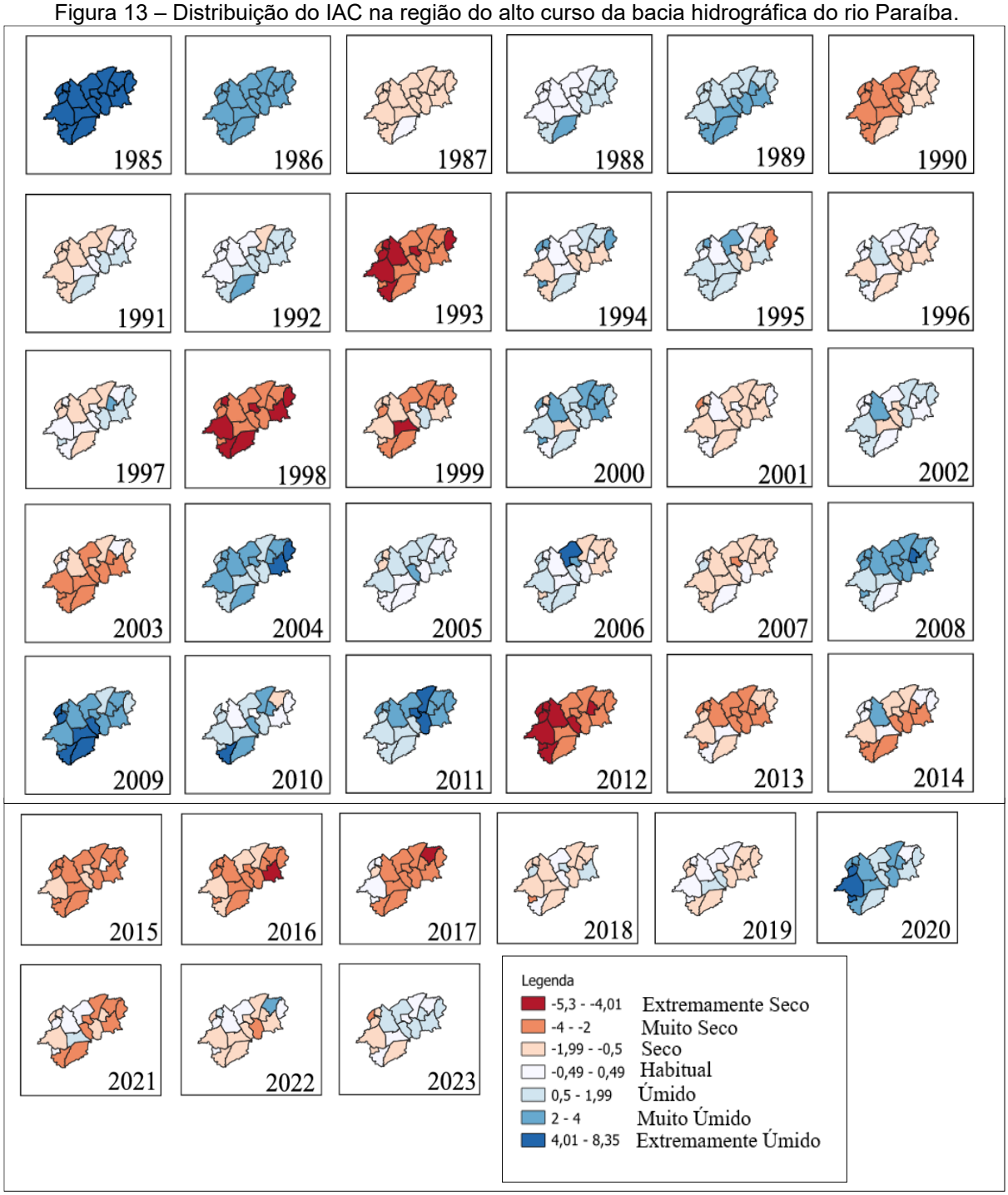
A análise da distribuição das anomalias de chuva confirmou a necessidade de monitoramento contínuo das condições pluviométricas, principalmente nos municípios com alta frequência de períodos secos, que são vulneráveis à escassez hídrica e seus impactos socioeconômicos, portanto, a identificação desses padrões é essencial para o planejamento de estratégias de mitigação dos efeitos da variabilidade climática, permitindo maior eficiência na gestão dos recursos hídricos e o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à adaptação às mudanças climáticas.

Segundo Silva (2004), a variabilidade pluviométrica exerce uma grande influência nas atividades socioeconômicas, assim, a análise de tendências em séries históricas de precipitações é importante para verificar a variabilidade climática interanual, devendo-se identificar como as mudanças climáticas podem modular os padrões temporais de variabilidade.

Segundo Medeiros *et al*. (2021), as anomalias pluviométricas referem-se a desvios dos níveis normais de precipitação em uma região, comparando a pluviosidade observada em um determinado período com uma média histórica estabelecida, essas anomalias podem ser classificadas como positivas (quando a precipitação está acima da média) ou negativas (quando está abaixo da média).

A distribuição espacial do IAC evidenciou a ocorrência de anos predominantemente úmidos, secos e próximos da normalidade climatológica, com variações espaciais nos municípios, no período de 1985 a 2023 (Figura 13).

Figura 13 – Distribuição do IAC na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba.



Fonte: Autoria própria (2025)

Assim sendo, observa-se a alternância entre anos de maior e menor pluviosidade, refletindo a influência de padrões climáticos. Destacam-se, nesse

contexto, os anos de 1985, 2004, 2009 e 2010, nos quais houve forte predominância de anomalias positivas (chuvas acima da média), resultando em precipitações elevadas em grande parte da região.

De acordo com Rodrigues e Lima (2024), no período de 2000 a 2011, houve predomínio de anos com IAC chuvoso a extremamente chuvoso, por outro lado, anos de forte anomalia negativa (períodos de estiagem severa) são evidentes em 1993, 1998 e 2012, indicando chuvas abaixo do esperado.

Ainda Segundo Rodrigues e Lima (2024) enquanto de 2012 a 2019, a região enfrentou um predomínio de IAC seco a extremamente seco, indicando uma variação acentuada na pluviometria, com longo período de estiagem, comum no semiárido nordestino. As consequências desse cenário são perceptíveis na sociedade comprometendo a produção agropecuária e gerando impactos socioeconômicos alimentar e sobre a segurança hídrica.

De acordo com Menezes *et al*. (2020), a variabilidade das chuvas no estado da Paraíba está relacionada aos fenômenos de El Niño e La Niña, mas assegura que outros fatores como a geografia local, sistemas de massas de ar e a dinâmica atmosférica tem um papel considerável na variabilidade das chuvas. Portanto, a alternância entre anos secos e úmidos indica a presença de padrões cíclicos na variabilidade pluviométrica.

Nos anos marcados pelo El Niño, houve redução das precipitações em diversas regiões do Nordeste brasileiro, o que explica os períodos de seca observados em 1993, 1998 e 2012, por outro lado, os anos de La Niña, como 1985, 1986, 2009 e 2011 favoreceram a intensificação das chuvas, estando correlacionados aos períodos de anomalia positiva.

5.1 CORRELAÇÃO ENTRE PERÍODOS DE CHUVAS INTENSAS E A CAPACIDADE HÍDRICA DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA

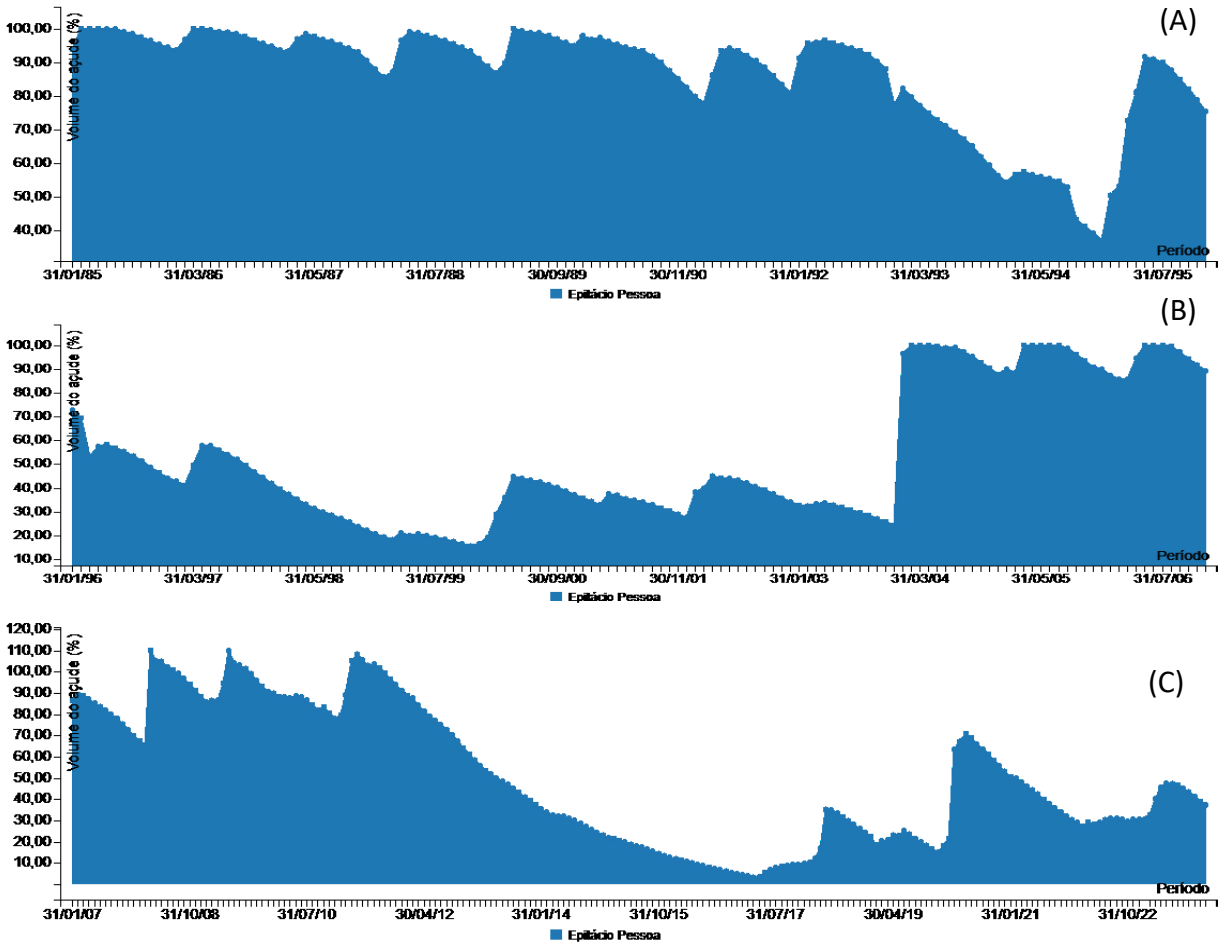
Observando a Figura 14 (A), (B) e (C), verifica-se que o volume do açude Epitácio Pessoa tende a atingir seus maiores valores nos primeiros meses do ano, seguido de um declínio nos últimos meses.

A crise hídrica enfrentada pelo Açude Epitácio Pessoa (Boqueirão) evidenciou a fragilidade de gestão de recursos hídricos baseada em políticas reativas, sem planejamento antecipado para lidar com estiagens (Rêgo *et al*., 2017).

Ao analisar o volume armazenado do açude durante a década de 1985 a 1995, Figura 14 (A), percebeu-se que apesar da variabilidade inerente ao volume, em termos percentuais o açude manteve-se na maior parte do tempo acima de 84% da capacidade total, ocorreram oscilações sazonais evidentes, com aumentos seguidos de quedas, mas sem comprometer o abastecimento de água.

De 1985 a 1989, pode-se observar os elevados níveis de água no reservatório Epitácio Pessoa, poderiam ter sido aproveitados para a realização de planejamento hídrico sustentável. No entanto, a ausência de restrições no consumo e a falta de estratégias eficazes de conservação dos recursos hídricos resultaram em uma redução progressiva do volume disponível ao longo dos anos (CEMADEN/MCTI, 2024).

Figura 14 - Volume do açude Epitácio Pessoa para os períodos de 1985-1995 (A), 1996 - 2006 (B) e 2007 - 2023 (C).



Fonte: AESA (2025)

Em contraste na Figura 14 (B), o período entre 1996 e 2003 pode ser considerado crítico em relação ao aporte hídrico, uma vez que se observa um decréscimo contínuo no volume disponível no reservatório Epitácio Pessoa.

Esses dados foram correlacionados ao Índice de Anomalia de Chuvas (IAC), conforme ilustrado na Figura 13, que apresenta a distribuição do índice na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba. Outro exemplo marcante desse cenário é o ano 1999, quando os níveis do reservatório ficaram abaixo da cota de alerta (100.000.000m³), coincidindo com a intensa seca registrada nesse período, identificado no estudo de Sena (2017).

De acordo com os valores obtidos do Índice de Anomalia de Chuvas (Figura 13) e do volume do reservatório Epitácio Pessoa, Figura 14 (B) e (C), foi possível identificar que a região experimentou um regime pluviométrico favorável, sem episódios de escassez de chuva, entre 2004 e 2011, cuja capacidade volumétrica atingiu 411.686.000 m³. Durante seis anos consecutivos, o açude atingiu sua capacidade máxima e verteu, com exceção dos anos de 2007 e 2010. Tendo destaque o ano de 2004, que registrou chuvas intensas no mês de janeiro, tornando-se o mais chuvoso de todas as séries de observações até então no Nordeste do Brasil. A precipitação extrema resultou em inundações em diversas cidades e áreas rurais, ocasionando o rompimento de barragens e a elevação da cota máxima de vários reservatórios da região (Alves, 2004).

Após o vertimento do reservatório em 2011, foi liberado um grande volume de água, e no ano seguinte, 2012, a seca retornou com intensidade, desencadeando um novo ciclo de estiagem. De acordo com Rêgo *et al*. (2017), a demora na adoção de medidas de controle da vazão liberada no reservatório Epitácio Pessoa, revelou a ausência do uso de indicadores climáticos, como o (IAC), para previsão e mitigação de crises hídricas. Além disso, mesmo diante de um cenário de estiagem extrema, a gestão do reservatório não realizou ajustes preventivos nas outorgas de uso da água. Como consequência, manteve os volumes de retirada em patamares que intensificaram o esvaziamento do açude (Rêgo *et al*., 2015).

As precipitações permaneceram abaixo da média nas sub-bacias hidrográficas do alto curso dos rios Paraíba e Taperoá, entre 2012 e 2016, intensificando a redução progressiva do volume dos açudes da região, com intensificação da escassez de chuvas devido ao El Niño, que reduziu a ocorrência de precipitações no semiárido brasileiro (Sousa, 2023). Diante dessa realidade em

dezembro de 2016, o reservatório atingiu 5% de sua capacidade total (AESA, 2017), alcançando o volume morto, estimado em 52.613.507 m³, com drástica redução do nível da água, onde o risco de colapso no abastecimento público tornou-se iminente para toda a região do compartimento da Borborema, composto por 20 municípios, o que exigiu a adoção de emergenciais.

A acentuada queda no nível de água no reservatório forçou a instalação de bombas flutuantes, enquanto estratégias de redução do uso da água foram implementadas. As ações que se destacaram foram a suspensão da descarga de perenização do rio Paraíba pela descarga de fundo, o racionamento do fornecimento urbano e a proibição da irrigação. Essas restrições permaneceram em vigor até 2016, refletindo a gravidade da crise hídrica. Apesar dos sinais de escassez, a administração do reservatório manteve as retiradas em níveis elevados, sem promover ajustes proporcionais à redução da oferta hídrica. Portanto, a ausência de uma gestão adaptativa contribuiu para o agravamento da situação, ressaltando a necessidade de políticas hídricas mais eficazes para minimizar os impactos da seca e garantir a segurança hídrica da população.

A transposição das águas do Rio São Francisco tornou-se possível em abril de 2017, quando as águas alcançaram o reservatório, resultado da conclusão da obra e de diversas ações conduzidas por instituições, como o Ministério Público da Paraíba (MPPB), a Agência Nacional de Águas (ANA), a Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA), o Ministério da Integração Nacional (MI) e representantes do setor comercial (Brito, 2017). A partir desse momento, observou-se uma leve recuperação do volume do açude, diretamente associada à chegada das águas da transposição do PISF, tratada como uma solução emergencial diante da ausência de novas recargas hídricas. No entanto, a falta de uma reestruturação eficaz da política de recursos hídricos para prevenir novas crises, demostrou a dependência da transferência de água entre bacias hidrográficas, reforçando a necessidade de fortalecimento da governança e regulação adequada para a gestão eficaz dos recursos hídricos, baseada em planejamento preventivo e no uso de ferramentas de previsão climática (Marengo *et al*., 2021).

A adoção de planejamento hídrico sustentável, que integre dados climáticos, indicadores de seca e estratégias de conservação da água, é essencial para garantir a segurança hídrica da população e minimizar os impactos de futuras estiagens

prolongadas. Nesse contexto, o uso de índices climáticos preditivos, como o Índice de Anomalia de Chuva (IAC), pode antecipar períodos de seca, permitindo ajustes graduais nos termos de alocação de água e minimizar a necessidade de medidas emergenciais (Vicente-Serrano *et al*., 2010; Sena e Alcântara, 2023).

Além disso, a integração do IAC com modelos climáticos e indicadores hidrológicos favorecerá a elaboração de planos de contingência eficazes, promovendo uma gestão mais transparente e participativa dos recursos hídricos. O IAC também pode desempenhar um papel estratégico na gestão e alocação dos recursos hídricos do reservatório Epitácio Pessoa, fornecendo informações essenciais para embasar decisões das comissões de alocação de água.

Essas comissões, compostas por representantes do governo, usuários e especialistas são responsáveis por definir critérios para distribuição negociada da água entre os diferentes setores, garantindo o uso racional e sustentável dos recursos. Dessa forma, o uso do IAC pode auxiliar no controle da demanda hídrica nas regiões abastecidas pela transposição de água do rio São Francisco, assegurando uma distribuição equilibrada e sustentável nas bacias receptoras.

5.2 VARIAÇÃO DO VOLUME DO AÇUDE EPITÁCIO PESSOA E SUA RELAÇÃO COM O ÍNDICE DE ANOMALIA DE CHUVAS (IAC)

A relação entre a precipitação e o volume do Açude Epitácio Pessoa é um fator determinante na gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Paraíba, uma vez que a precipitação pluviométrica que gera o escoamento superficial representa a principal fonte de aporte hídrico. No entanto, essa relação não ocorre de maneira imediata e linear, pois depende de condições preexistentes, como o nível do reservatório antes do período chuvoso, a infiltração no solo e o impacto das retiradas de água para diferentes usos. Diante dessa complexidade, o Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) se torna uma ferramenta essencial para avaliar padrões de variabilidade pluviométrica e auxiliar a tomada de decisões sobre a gestão da alocação de água em períodos de escassez e abundância hídrica.

Ao longo das últimas décadas, a região registrou períodos alternados de estiagem severa e chuvas intensas, refletindo diretamente nos níveis do açude Epitácio Pessoa. Os anos de 1987, 1990, 1993, 1998-1999, 2001, 2003 e 2012-2017 foram marcados por secas extremas, resultando em uma redução expressiva do

volume do reservatório superficial. Durante o período de 1997 a 1999, essa diminuição foi particularmente acentuada, levando o reservatório a atingir níveis críticos, mesmo após anos anteriores com chuvas dentro da média histórica. Essa situação demonstra que, mesmo em anos de precipitação normal ou elevada, a recuperação do volume armazenado no reservatório não ocorre rapidamente, devido a necessidade de recarga de reservatórios a montante, o que reforça a necessidade de um monitoramento contínuo baseado no IAC. O índice permite identificar tendências de déficit hídrico antecipadamente, permitindo a adoção de medidas preventivas, como restrição no uso da água, revisão de outorgas e campanhas de sensibilização para o consumo racional de água.

Por outro lado, períodos de chuvas intensas, como os registrados em 1985-1986, 1988-1989, 2004, 2009, 2011 e 2020, permitiram a recuperação parcial do volume do açude, trazendo alívio para as crises hídricas anteriores. O ciclo iniciado em 2004 contribuiu para a recomposição dos níveis do reservatório, amenizando os impactos da seca ocorrida na década de 1990. No entanto, a partir de 2012, uma nova sequência de anos secos levou a uma crise ainda mais severa, realçando a necessidade da implementação de mecanismos de governança e de gestão dos recursos hídricos, baseada em indicadores climáticos confiáveis.

O IAC pode ser usado para prever períodos de chuvas acima da média e, com isso, otimizar a identificação de possíveis períodos de recarga dos reservatórios, direcionando estratégias para a maximização da captação e conservação da água, liberação por meio das descargas de fundo para o controle de cheias e inundações em áreas de baixios, que podem ocorrer nas regiões do médio e baixo curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba.

A crise hídrica entre 2012 e 2017 foi um dos períodos mais severos já registrados na região do semiárido e Nordeste do Brasil, impactando não apenas o volume do açude, mas também o abastecimento da população e as atividades agropecuárias. Nesse contexto, o IAC poderia ter sido usado como uma importante ferramenta para antecipar medidas de convivência adequadas com a severidade da estiagem, evitando medidas tardias e emergenciais, como o uso do volume morto do reservatório, ocorrido no ano de 2016. De acordo com Nascimento *et al*. (2024), o uso do IAC em anos de seca possibilita a definição de planos de contingência, garantindo um equilíbrio mais sustentável na distribuição da água.

A importância do IAC também se destaca na quantificação e qualificação da relação entre precipitação e volume do açude. Embora a correlação entre os períodos chuvosos e a recuperação do reservatório seja notória, sua compreensão requer uma análise mais detalhada, considerando aspectos como evaporação, transpiração, evapotranspiração, infiltração, consumo humano e demandas agropecuárias e industriais. O uso do IAC integrado a modelos hidrológicos e climáticos permite uma previsão mais precisa dos impactos da variação pluviométrica sobre os aquíferos, auxiliando gestores na alocação eficiente da água e na formulação de políticas públicas sustentáveis.

Dessa forma, o Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) deve ser considerado como um instrumento indispensável para a gestão dos recursos hídricos de regiões hidrográficas do estado da Paraíba, permitindo assim, uma resposta mais eficaz e baseada em dados científicos tanto em anos de escassez quanto em anos de abundância de precipitações pluviométricas. A sua utilização possibilitará uma gestão mais equilibrada, favorecerá a segurança hídrica, a sustentabilidade dos usos da água e menor vulnerabilidade da população aos impactos da variabilidade climática.

5.1 SUGESTÕES PARA ADAPTAÇÃO E MITIGAÇÃO DOS IMPACTOS DOS EVENTOS EXTREMOS

A literatura sugere diversas abordagens para minimizar os impactos dos eventos extremos na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba. Entre as estratégias mais promissoras, destacam-se:

- ✓ **Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH)**: Implementação de políticas que conciliem a conservação da água com o desenvolvimento econômico, promovendo a distribuição equitativa dos recursos hídricos (Morais, 2022).
- ✓ **Infraestrutura Hídrica Resiliente**: investimentos em segurança de barragens, para que os reservatórios e sistemas de captação de águas pluviais possam manter e garantir reservas hídricas em períodos de estiagem (Medeiros, 2020).

- ✓ **Monitoramento Climático e Hidrológico**: ampliação do monitoramento climático e hidrológico que auxiliem os sistemas de previsão climática e de alertas sobre secas e enchentes, com respostas rápidas e eficazes que possam minimizar os efeitos de desastres naturais (Sena e Alcântara, 2023).
- ✓ **Educação Ambiental e Sensibilização**: promoção de campanhas educativas para incentivar o uso racional da água e a adoção de práticas sustentáveis pela população, produtores rurais, comércio e indústrias (Santos, 2021).
- ✓ **Reflorestamento e Recuperação de Nascentes**: proteção das matas ciliares e incentivo à revitalização das nascentes para favorecer a infiltração da água, reduzir os processos erosivos e garantir a recarga dos lençóis freáticos (Morais, 2022).
- ✓ **Tecnologias Sustentáveis**: Implementação de sistemas de irrigação eficiente, como o de gotejamento e o reuso de águas residuais tratadas e não tratadas, com a devida classificação de uso para fins agrícolas (Sena e Alcântara, 2023).

Para consolidar essas estratégias e garantir sua efetividade, é fundamental que haja compromisso contínuo entre os diferentes setores da sociedade, incluindo governos, comunidades locais, instituições de ensino e o setor privado. A implementação de políticas públicas baseadas em dados científicos, aliada ao engajamento social e ao uso de tecnologias inovadoras, pode fortalecer a resiliência da região diante dos desafios climáticos e hidrológicos.

O acompanhamento contínuo dos resultados das ações adotadas permitirá a realização do devidos ajustes que fortaleçam os mecanismos de governança e da gestão de recursos hídricos sustentáveis e eficientes.

Ao adotar uma abordagem integrada e preventiva, será possível reduzir os impactos dos eventos climáticos extremos e promover um futuro mais seguro e equilibrado para a região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba.

6 CONSIREDAÇÕES FINAIS

A análise da variabilidade pluviométrica na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba evidencia a forte influência de fenômenos climáticos, como El Niño e La Niña, na distribuição e intensidade das chuvas, com oscilações que impactaram na disponibilidade dos recursos hídricos e no desenvolvimento de atividades socioeconômicas, nos períodos secos e úmidos.

Os dados analisados revelam padrões cíclicos bem definidos, com anos de pluviosidade acima da média e outros de déficit hídrico, reforçando a importância do monitoramento contínuo das condições climáticas, além dos fatores naturais como as intervenções humanas, o desmatamento e a urbanização acelerada, que podem modificar os padrões pluviométricos, aumentando a necessidade de políticas eficazes de adaptação e mitigação sobre os processos do ciclo hidrológico.

A classificação dos municípios conforme a frequência de anos secos e úmidos destacou a heterogeneidade espacial da pluviosidade, apontando regiões particularmente vulneráveis à escassez hídrica.

O Índice de Anomalia de Chuva (IAC) e box plot, proporcionaram uma compreensão detalhada da distribuição das chuvas, identificando tendências e eventos climáticos extremos. O monitoramento dessas variações é essencial para prever impactos ambientais futuros, permitindo que gestores e tomadores de decisão implementem estratégias eficazes para garantir a segurança hídrica e minimizar os efeitos das estiagens prolongadas.

Há necessidade de fortalecer mecanismos de governança e da gestão adaptativa frente às mudanças climáticas, por meio da integração dos sistemas de previsão climática com medidas estruturais, como a garantia do monitoramento e segurança de barragens, o uso de técnicas de conservação da água e solo, que pode reduzir impactos da variabilidade pluviométrica, fomentar investimentos em educação ambiental, captação de água de chuva e adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como o uso de sistemas de irrigação eficientes, além do reuso de água do esgoto.

A adoção de medidas preventivas e de adaptação é imprescindível para minimizar os impactos das variações climáticas e garantir segurança hídrica para a população residente na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DA PARAÍBA – AESA. DZS 205 - Enquadramento dos corpos d'água da bacia hidrográfica do Rio Paraíba. ***Revista Brasileira de Recursos Hídricos***, v. 10, n. 1, 2023. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2016/11/DZS_03.pdf. Acesso em: 24 fev. 2023.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DA PARAÍBA – AESA. Gestão de Recursos Hídricos no Estado da Paraíba. ***Revista Brasileira de Recursos Hídricos***, v. 11, n. 2, 2023. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/documentos/gestao-das-aguas/. Acesso em: 15 fev. 2023.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (AESA). Relatório anual de gestão hídrica. João Pessoa, PB, 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. Comitês de Bacia Hidrográfica. ***Revista Nacional de Gestão Hídrica***, v. 8, n. 3, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/fortalecimento-dos-entes-do-singreh/comites-de-bacia-hidrografica. Acesso em: 8 mar. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. Enquadramento dos corpos de água em classes. ***Revista Nacional de Recursos Hídricos***, v. 9, n. 1, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos/enquadramento-dos-corpos-de-agua-em-classes. Acesso em: 5 fev. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. Plano de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água. Brasília: ANA, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. Planos de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO – ANA. Política Nacional de Recursos Hídricos. ***Revista Brasileira de Política Ambiental***, v. 15, n. 4, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos. Acesso em: 1 mar. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA**.** Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: relatório pleno. Brasília: ANA, 2022.

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA (AESA). Monitoramento de volume de açudes. ***Revista Brasileira de Monitoramento Hídrico***, v. 7, n. 2, 2025. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/volume-acude/?id_acude=531. Acesso em: 12 mar. 2025.

AGHAKOUCHAK, Amir; CHENG, Linyin; SCHUMACHER, Johannes; COUSIN, Robert; KATZ, Mark. **Climate Extremes and Compound Hazards in a Warming World**. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, v. 48, p. 519-548, 2020.

ALENCAR DOS SANTOS, Thiago Soares. Percepção dos moradores da Vila Produtiva Bartolomeu, referente às ações de saneamento básico com a transposição do Rio São Francisco. *Instituto Federal da Paraíba*, 2024.

ALENCAR DOS SANTOS, Thiago Soares. Percepção dos moradores da Vila Produtiva Bartolomeu, referente às ações de saneamento básico com a transposição do Rio São Francisco. *Instituto Federal da Paraíba*, 2024.

ALMEIDA, Karla Estéfanny de Lacerda; MENDES, Jéssica Ruana Lima; ABRANTES, Magjane Moreira Gonçalves de; ANTUNES, Naiara Ferreira; MELO, João Mendes de. Percepção ambiental na conjuntura da gestão integrada e participativa dos recursos hídricos no Estado da Paraíba. ***RIMA - Revista Interdisciplinar e do Meio Ambiente***, v. 3, n. 1, 2021. DOI: 10.52664/rima.v3.n1.2021.e122.

ALVALÁ, Regina Célia Sena; CUNHA, Ana Paula Machado de; LACERDA, Marcelo; ANDRADE, Roberto Galante de; NOBRE, Carlos Afonso; ARAUJO, Sergio de Lima. Drought monitoring in the Brazilian Semiarid region. ***Anais da Academia Brasileira de Ciências***, v. 89, p. 1-15, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Plano Nacional de Segurança Hídrica. *Brasília, DF: ANA*, 2019.

ASSIS, Eronildes Soares; COSTA, Ronan Moraes; FELIZARI, Lucas Cordeiro;

GAGLIANO, Ana Luísa. Avaliação do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica do rio São Francisco. ***Revista Brasileira de Meteorologia***, 2016.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 5 out. 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 10 jun. 2023.

BRASIL. Decreto nº 24.645, de 10 de julho de 1934. *Código de Águas. Diário Oficial da União*, Brasília, 10 jul. 1934.

BRASIL. Lei nº 9.344, de 8 de dezembro de 1997. Estabelece diretrizes para o uso prioritário da água em situações de escassez. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 9 dez. 1997.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 4 mar. 2023.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Projeto de integração do rio São Francisco: com Bacias Hidrográficas no nordeste setentrional (Relatório de impacto ambiental – RIMA). Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2021.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Orçamento. Projeto Áridas: memória e acervo. Brasília: MPO, 1995. Disponível em: https://bibliotecadigital.economia.gov.br/bitstream/123456789/678/1/Projeto_%C3%81ridas_-*Mem%C3%B3ria_e_Acervo*-_Livreto_CD.pdf. Acesso em: 06 abr. 2024.

BRITO, Lúcio Mendes. Gestão dos recursos hídricos na Paraíba: desafios e perspectivas. João Pessoa: Editora Universitária, 2008.

BRITO, Paulo Vinícius Silva; SANTOS, Thales Oliveira; MORAIS, Yasmin Cristina Bezerra. Análise da sazonalidade da vegetação de caatinga do município de Petrolina (Pernambuco) a partir de imagens do satélite Landsat 8 – OLI. ***Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto***, v. 1, n. 1, 2020.

BURITI, Cláudio Oliveira; BARBOSA, Humberto Alves**.** Um século de secas: Por que as políticas hídricas não transformaram o Semiárido brasileiro? *Chiado Editora*, 1ª ed., 2018.

CAIÇARA, Thamires Macêdo de Souza Albuquerque; FERNANDES, José Vieira de Freitas; COSTA, Douglas Pereira da; BEZERRA, Leonardo Fernandes. Panorama do abastecimento de água no semiárido brasileiro. ***Exatas & Engenharias***, v. 12, n. 35, p. 22-40, 2022. DOI: 10.25242/885x123520222519. Acesso em: 8 abr. 2022.

CAVALCANTI, Bruno Azevedo; SOUZA, Edson Batista; BARBOSA, Carlos César; NOVO, Evlyn Márcia; RODRIGUES, Daniel Batista. Rendimento de sedimentos e resposta do escoamento superficial a chuvas e mudanças no uso da terra durante eventos de El Niño na região semiárida do Brasil. ***Catena***, v. 171, p. 57-66, 2018.

CAVALCANTI, Edmilson Pereira Rodrigues; SANTOS, Maria José Ribeiro; SILVA, João Marcos da. **Variabilidade climática, mudanças e eventos extremos na Paraíba**. 2018.

CEMADEN/MCTI. **Monitoramento e impactos da crise hídrica no Brasil. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais**, Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2024.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Histórico da legislação hídrica no Brasil**. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/historico-da-legislacao-hidrica-no-brasil/. Acesso em: 24 fev. 2023.

COSTA, Mateus Silva; LIMA, Karla Cristina; ANDRADE, Marcela Moreira; GONÇALVES, William Azevedo. Tendências observadas em extremos de precipitação sobre a região semiárida do Nordeste do Brasil (*Trends observed in precipitation extremes over the semiarid region of Northeast Brazil*). ***Revista Brasileira de Geografia Física***, v. 8, n. 5, p. 1321-1334, 2015.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/Serviço Geológico do Brasil. SUMÉ – FOLHA SB.24-Z-D-V. Brasília: CPRM, 2000.

CRISPIM, Daniel Lima; RODRIGUES, Selma da Silva Sousa; VIEIRA, Adriana Soares Andrade; SILVEIRA, Rafael Neves Pereira Oliveira; FERNANDES, Luciano Luís. Espacialização da cobertura do serviço de saneamento básico e do índice de desenvolvimento humano dos municípios do Marajó, Pará. ***Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável***, v. 11, n. 4, p. 112-122, 2016. DOI: 10.18378/rvads.v11i4.4507.

CUNHA, Carlos Roberto Magalhães; SOBRAL, Maria Cecília Moreira; MELO, Maria Gabriela Soares**.** Avanços e desafios do gerenciamento integrado dos recursos hídricos no modelo de gestão do eixo leste do Projeto de Integração do Rio São Francisco. ***Revista Foco***, v. 16, n. 2, e1118, 2023.

DA SILVA SANTOS, Edilma; DA SILVA, Janaína Barbosa. Os recursos hídricos no alto curso do rio Paraíba: demografia, acesso à água das populações urbanas e rurais. ***Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais***, v. 12, n. 10, p. 514-526, 2021.

DANTAS, Iasmine Louise de Almeida; FACCIOLI, Gregorio Guirado; GOMES FILHO, Raimundo Rodrigues; SANTOS, Alane Regina Rodrigues dos; SANTOS, Ketylen Vieira; ARAÚJO, Vanessa Gomes de. Plano municipal de saneamento

básico de Aracaju x Novo Marco Legal de saneamento. ***Revista Caderno Pedagógico***, Curitiba: Studies Publicações e Editora Ltda., v. 20, n. 1, p. 594-617, 2023.

DIAS, Pedro Fábio; COSTA, Aluísio de Miranda; CAVALCANTE, Elizângela Barros; SILVA, Larissa Gomes. Recursos hídricos e agrícolas: perspectivas e desafios para a região do alto curso do rio Paraíba, PB. ***Revista Brasileira de Ciências Agrárias***, v. 11, n. 4, p. 396-402, 2016.

DORNELLAS, Patrícia da Conceição; SILVA, Richarde Marques da; XAVIER, Rafael Albuquerque; NETO, Inocêncio de Oliveira Borges; SOUZA, Jonas Otaviano Praça de. Análise do regime fluvial do Alto Rio Paraíba no Semiárido Paraibano. ***Revista Caminhos de Geografia***, Uberlândia. DOI: 10.14393/RCG259769898.

FERRARINI, Angel dos Santos Fachinelli; FERREIRA FILHO, Joaquim Bento de Souza. Demanda por uso de água (consumo) na agricultura irrigada nos estados do Nordeste para 2025. ***Revista Econômica do Nordeste***, Fortaleza, v. 51, n. 4, p. 67-84, out./dez. 2020.

FRANCISCO, Paulo Roberto Menezes; CHAVES, Ivan Bastos; CHAVES, Leonardo Henrique Garofalo; LIMA, Edilson Rodrigues Vieira. Detecção de mudança da vegetação de caatinga. ***Revista Brasileira de Geografia Física***, v. 5, n. 6, p. 1473-1487, 2012.

GALDINO, S.; FREITAS, D. G.; MEDEIROS, P. H. A. Impactos do El Niño e do La Niña na precipitação e temperatura no estado de Pernambuco, Brasil. ***Climate Dynamics***, v. 47, n. 5-6, p. 2045-2063, 2016.

GARCIA, Josué Rodrigues; MIYAMOTO, Bruno Cesar Bonfim; MAIA, Antônio Gonçalves. Eventos extremos de precipitação: identificação e análise da bacia hidrográfica do rio Jundiaí, São Paulo. ***Revista Franco-brasileira de Geografia***, n. 37, 2018. DOI: 10.4000/confins.15586.

GASPAR, Nathália Medeiros. Água e desenvolvimento: análise de dispositivos governamentais brasileiros para a gestão de recursos hídricos. ***Horizontes Antropológicos***, v. 30, n. 70, e700403, 2024.

GOMES, Djalma Alves. Climatologia e variabilidade de eventos extremos de chuva na Paraíba, Brasil. ***Revista Brasileira de Climatologia***, v. 32, p. 1-21, 2018.

GOMES, Fábio Vitorino. **Análise da dinâmica hidrogeomorfológica do canal do alto curso do Rio Paraíba**. João Pessoa, 2023. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Orientador: Jonas Otaviano Praça de Souza.

GRANGEIRO, Érica Lúcia Alves; RIBEIRO, Marcos Meneses Rodrigues; MIRANDA, Larissa Ivna Barbosa. Análise da governança dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Paraíba. ***Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais***, v. 10, n. 5, p. 314-330, 2019. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2019.005.0028.

GREVE, Philipp; SENEVIRATNE, Sonia I. Assessment of future changes in water availability and aridity. ***Geophysical Research Letters***, v. 42, n. 13, p. 5493–5499, 2015.

GURJÃO DE OLIVEIRA, Aline. **Impactos ambientais e sociais na bacia hidrográfica do Rio Paraíba decorrentes do uso do solo e da transposição do**

Rio São Francisco. João Pessoa, 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba.

HADDELAND, Ingjerd; HEGGERNES, Nina; BIEMANS, Hester; WADA, Yoshihide; WEEDON, Graham P.; MÜLLER-SCHMIED, Henning; DEMIREL, Mehmet C.; DÖLL, Petra; SOROOSH, Amir. Global water resources affected by human interventions and climate change. ***Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America***, v. 111, n. 9, p. 3251–3256, 2014.

HE, Chunyang; LIU, Jian; ZHOU, Yuyu; ZHU, Xiufang; ZHANG, Xiaotao; ZHAO, Xianli. **Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications***, v. 12, n. 1, p. 1-11, 2021.

HUANG, Jianguo; GATTI, Luciana Vanni; KEPPLER, Matthias. **Accelerated dryland expansion under climate change. *Nature Climate Change*,** v. 6, n. 2, p. 166-171, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE**.** Censo 2010. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em: 10 jan. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Normas climatológicas. Brasília, Distrito Federal, 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Monitoramento Ambiental da Paraíba. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. Semiárido brasileiro. Disponível em: https://www.gov.br/insa/pt-br/semiarido-brasileiro. Acesso em: 06 abr. 2024.

LIMA, Larissa Gomes. Avaliação da sustentabilidade hídrica dos reservatórios estratégicos da sub-bacia do Alto Piranhas PB. João Pessoa: [s.n.], 2019.

LIU, Junguo; KANZAWA, Eiichiro; MATSUMOTO, Haruyo; TAKAHASHI, Koji; MATSUDA, Eiji. Water scarcity assessments in the past, present, and future. ***Earth's Future***, v. 5, p. 549-559, 2017.

LUCENA, Daisy B.; OLIVEIRA, João Victor P.; ANDRADE, Amanda R.; LIMA, Paulo Ricardo C. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação nas sub-bacias do Rio Taperoá e do alto curso do Rio Paraíba. ***Revista de Geografia***, Recife, v. 36, n. 3, 2019. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia. Acesso em: 22 jan. 2023.

LUCENA, Daisy Beserra; OLIVEIRA, João Victor Pequeno de; ANDRADE, Amanda Ribeiro de; LIMA, Paulo Ricardo Cavalcante de. Análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação nas sub-bacias do Rio Taperoá e do alto curso do Rio Paraíba. ***Revista de Geografia*** *(Recife)*, v. 36, n. 3, p. 179-181, 2019. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia. Acesso em: 7 mar. 2025.

LUCENA, José Aurélio; NÓBREGA, Raquel Sousa; WANDERLEY, Lilian de Sousa Azevedo. Aspectos temporais, espaciais e rítmicos da variabilidade pluviométrica no núcleo de desertificação de Cabrobó/PE. ***Revista Brasileira de Geografia Física***, v. 10, n. 6, p. 1784-1801, 2017.

MAIA, Leonardo Lima Cavalcante; et al**.** Impactos socioeconômicos e gestão hídrica na transposição do Rio São Francisco. *Boletim de Conjuntura*, 2024.

MARENGO, José Antonio; ALVES, Lincoln Muniz; TORRES, Rita de Cássia Rodrigues. Secas e mudanças climáticas no semiárido brasileiro: impactos e

desafios para a gestão de recursos hídricos. ***Revista Brasileira de Meteorologia***, v. 36, n. 2, p. 123-140, 2021.

MARENGO, José Antonio; SOARES, Wilson Rodrigues. Caracterização do clima no Século XX e Cenários Climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos Modelos Globais de Clima do IPCC. *Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade*. Brasília: SECRETARIA DE BIODIVERSIDADE E FLORESTAS - SBF, 2007. (Relatório Técnico Ministério do Meio Ambiente).

MATA, Djair Alves da. Gestão dos recursos hídricos: desafios e possibilidades de viver no semiárido. *IV Sustentare & VII WIPIS* - ***Workshop Internacional***, Universidade Federal da Paraíba, 2022.

MEDEIROS, Elinaldo Rodrigues et al. **Projeto de transposição do Rio São Francisco: impactos socioeconômicos no semiárido nordestino**. *Universidade Federal do Paraná*, 2023.

MEDEIROS, Karina Tavares Barreto; LUCENA, Maria Márcia de Araújo. Gestão dos recursos hídricos: uma revisão sob a perspectiva dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. ***Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental***, v. 12, p. 1-14, 2023.

MEDEIROS, Raimundo Mainar de; FRANÇA, Manoel Vieira de; HOLANDA, Romildo Morant de; SABOYA, Luciano Marcelo Falle; PEREIRA, Marcia Liana Freire; ARAÚJO, Wagner Rodolfo de. Bacia hidrográfica do alto curso do rio Parnaíba - PB, Brasil e sua análise pluvial. *RECIMA21* - ***Revista Científica Multidisciplinar***, [S.l.], v. 2, n. 6, p. 1-13, jul. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.47820/recima21.v2i6.478.

MEDEIROS, Raimundo Mainar de. Bacia hidrográfica do alto curso do Rio Paraíba - PB, Brasil e sua análise pluviométrica. ***Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica***, v. 17, n. 1, p. 87-97, 2020. Disponível em: https://core.ac.uk/display/327167288. Acesso em: 7 mar. 2025.

MELO, Vitor Sérgio; SOUSA, Francisco Alves da Silva. Análise de frequência de secas utilizando técnicas de agrupamento e distribuições de probabilidade. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 1, jan./fev. 2023, p. 53-60.

MENDES, Rafael Rodrigues; SILVA, Nathália Queiroz da; MOURA, Antônio José Costa; DIAS, Sônia Nogueira; MORAES, Clarissa Melo da Silva. Gestão dos Recursos Hídricos no Semiárido Brasileiro: uma análise da realidade nordestina. ***Revista de Administração****, Contabilidade e Economia*, v. 17, n. 1, p. 197-210, 2018.

MENEZES, Antonio Pereira de; SOUZA, Ana Maria de; SILVA, João Ricardo da. Variabilidade da precipitação no estado da Paraíba em relação a El Niño e La Niña. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 12, p. 100233-100251, dez. 2020. ISSN 2525-8761.

MONTEIRO, João Bosco; ZANELLA, Maria Eduarda. A metodologia estatística dos eventos extremos de precipitação: uma proposta autoral para análise de episódios pluviométricos diários. ***Revista Brasileira de Climatologia***, v. 32, p. 1-21, 2023.

MORAIS, Edilaine Araújo de. **A outorga para o uso dos recursos hídricos na região do alto e médio curso Paraíba e as implicações quando do uso não autorizado**. 2022. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – *Universidade Federal de Campina Grande*, Sumé - PB, 2022.

MOURA, Andrei Dias; SANTOS, José Francisco; LEMOS FILHO, Luiz Carlos; KIPPER, David José. Impacto do El Niño Oscilação Sul e La Niña sobre a sazonalidade climática no semiárido brasileiro. 2014.

NASCIMENTO, Francisco Rodrigues; SANTOS, Maria Aparecida; LIMA, Ricardo Souza. Índices de seca e sua aplicação na gestão hídrica no semiárido brasileiro. ***Anais do Congresso Brasileiro de Recursos Hídricos***, 2024.

NASCIMENTO, Marcos Barbosa; SILVA, Tarcísio José Rodrigues Dias da; PAIVA, Wellington; SANTOS, Larissa Lima; ARAÚJO, Lucas Eduardo. Análise espaço-temporal mensal e anual da precipitação na Microrregião do Curimataú Ocidental, Estado da Paraíba. ***Revista Brasileira de Geografia Física***, v. 14, n. 1, p. 82-93, 2021.

NERY, George Keyson Medeiros; NERY, Jaqueline Fonseca; MELLO, Adriana Cristina Pires; BATISTA, Fábio Rodrigues Cardoso. Mapeamento socioambiental como ferramenta de avaliação da gestão e manejo de água no semiárido brasileiro. ***Gestão e Sustentabilidade Ambiental***, v. 11, n. 4, p. 251-268, 2022.

NETO, Antônio Tavares de Oliveira. **O direito humano à água e a gestão de recursos hídricos: como a transposição do Rio São Francisco pode regenerar a agricultura familiar na região semiárida do perímetro irrigado de São Gonçalo**. *Universidade Federal de Campina Grande*, 2022.

NETO, Joviniano Pereira da Silva. Panorama da gestão dos recursos hídricos no Brasil. ***Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental***, v. 11, n. 2, p. 241-258, 2022.

NÓBREGA, Ricardo Sousa; VILLELA, Daniel Machado; VILLELA, Vinícius Alves. Análise da influência dos eventos extremos de El Niño e La Niña na produtividade de bovinos no Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 46, n. 4, p. 277-286, 2017.

OECD – ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO. Governança dos Recursos Hídricos no Brasil. Paris: OECD Publishing, 2015. DOI: 10.1787/9789264238169-pt.

OLIVEIRA JÚNIOR, Geovan Gomes de; ARAÚJO, Fabiane Regina da Cunha Dantas. **Estatística aplicada ao índice de anomalia de chuvas para determinação dos padrões climáticos associados a eventos extremos de precipitação no estado do Rio Grande do Norte**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência e Tecnologia) – *Universidade Federal Rural do Semiárido*, Mossoró, 2022.

OLIVEIRA, Douglas Gonçalves. Análise das práticas da agricultura após a transposição do Rio São Francisco no Taboado de Baixo, Boqueirão – PB. *Instituto Federal da Paraíba*, 2023.

OLIVEIRA, Helder Cavalcante de. Impactos hidroifísicos na bacia hidrográfica do alto curso do Rio Paraíba frente à sua perenização. João Pessoa, 2018.

OLIVEIRA, Thiago Alves; TAVARES, Camila de Moraes Gomes; SANCHES, Fabio; FERREIRA, Cassia de Castro Martins. Variabilidade pluviométrica no município de Juiz de Fora-MG no período de 1910-2018: investigação a partir da técnica do box plot. ***Revista Brasileira de Climatologia***, v. 26, p. 457-477, jan./jun. 2020. ISSN 2237-8642.

ONO, Paula Andreza; DIAS, Marcos Antônio; LIMA, João Francisco; GONÇALVES, Joaquim Tomé. Avaliação do risco de escassez hídrica na região do alto curso do rio Paraíba, PB. ***Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental***, v. 23, n. 3, p. 190-196, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 06 abr. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York, 2015. Disponível em: https://sdgs.un.org/2030agenda.

PAMPLONA, Gabriel; SOUSA, Maria Helena; SILVA, Ricardo José; LIMA, Tarcísio Augusto. Impactos socioeconômicos da transposição do Rio São Francisco no estado da Paraíba. *Universidade Estadual da Paraíba*, 2022.

PARAÍBA. Governo do Estado. *Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba: relatório executivo.* João Pessoa: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2022.

PARAÍBA. Governo do Estado. *Plano Estadual de Recursos Hídricos da Paraíba: relatório final RF-03. Etapa 3: cenários quanto às disponibilidades, as demandas e a compatibilização entre elas.* João Pessoa: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2022.

PASQUALETTO, Antonio; PASQUALETTO, Alan Gabriel Natã; PASQUALETTO, Thales Luan Lucas; MENDES, Thiago Augusto. Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil. *Informe GEPEC*, Toledo, v. 26, n. 1, p. 46-61, jan./jun. 2022. DOI: 10.48075/igepec.v26i1.27755.

PAVÃO, Bianca Borges Medeiros; NASCIMENTO, Elimar Pinheiros do. Crise hídrica como unidade analítica sobre a regulação das águas brasileiras. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, v. 52, p. e65212, 2019. DOI: 10.5380/dma.v52i0.65212.

PEREIRA, Vânia Rosa; RODRIGUEZ, Daniel Andrés. Vulnerabilidades da segurança hídrica no Brasil frente às mudanças climáticas. *Derbyana*, v. 43, e777, 2022. DOI: 10.14295/derb.v43.777.

RÊGO, José Batista; LIMA, Paulo Ricardo; ALMEIDA, Vinícius Carvalho. A influência do Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) na gestão dos reservatórios do semiárido brasileiro. ***Revista de Gestão e Sustentabilidade Ambiental***, v. 15, n. 3, p. 78-92, 2016.

RÊGO, José Batista; LIMA, Paulo Ricardo; ALMEIDA, Vinícius Carvalho. Crise hídrica e políticas públicas: uma análise da gestão do Açude Epitácio Pessoa. ***Revista Brasileira de Recursos Hídricos***, v. 22, n. 1, p. 55-70, 2017.

RÊGO, José Carlos; LIMA, Felipe; OLIVEIRA, Thiago. A crise do abastecimento de Campina Grande: atuações dos gestores, usuários, poder público, imprensa e população. ***XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos***, 2015.

RÊGO, José Carlos; LIMA, Felipe; OLIVEIRA, Thiago. A gestão de recursos hídricos e a transposição de águas do Rio São Francisco para o Açude Epitácio Pessoa – Boqueirão. ***XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos***, 2017.

RÊGO, José Carlos; LIMA, Felipe; OLIVEIRA, Thiago. Atribuições e responsabilidades na gestão dos recursos hídricos – O caso do Açude Epitácio Pessoa/Boqueirão no Cariri Paraibano. ***XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos***, 2013.

RÊGO, José Carlos; LIMA, Felipe; OLIVEIRA, Thiago. Considerações sobre a gestão dos recursos hídricos do Açude Epitácio Pessoa – Boqueirão na bacia hidrográfica do Rio Paraíba em cenário de vindouros anos secos. ***XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste***, 2012.

RÊGO, José Carlos; LIMA, Felipe; OLIVEIRA, Thiago. Novas considerações sobre a gestão dos recursos hídricos do Açude Epitácio Pessoa – A seca 2012-2014. ***XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste***, 2014.

RÊGO, José Carlos; LIMA, Felipe; OLIVEIRA, Thiago. O agravamento da crise hídrica no Açude Boqueirão: riscos quali-quantitativos e de saúde pública. ***XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste***, 2016.

RIBAS, Lídia Maria; FERNANDES, João Victor; SALGADO, Ricardo Silva; FERREIRA, Sandra Maria. A Agência Nacional de Águas e a coordenação federativa no Novo Marco do Saneamento Básico. ***Revista de Direito Administrativo***, v. 281, n. 2, p. 107-137, 2022. DOI: 10.12660/rda.v281.2022.86047.

ROCHA, Silvia Soares; ALMEIDA, José Roberto Fernandes. A variabilidade da precipitação nas sub-bacias do Alto e do Médio Jaguaribe e seu efeito sob os açudes Castanhão e Orós, localizados no estado do Ceará. ***Revista Brasileira de Geografia Física***, v. 14, n. 01, p. 025-036, 2021. Disponível em: [link].

ROOY, Martinus Pieter Van. **A Rainfall Anomaly Index Independent of Time and Space.** ***Notes***, v. 14, p. 43, 1965.

SANTOS, Edilma da Silva; SILVA, Janaína Barbosa da. Vulnerabilidades para o acesso à água no alto curso da bacia do Rio Paraíba. *Nature and Conservation*, v. 14, n. 4, p. 148-160, 2021. DOI: http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2021.004.0014.

SANTOS, Edilma da Silva. **Reconfigurações, estimativas hídricas e vulnerabilidades no acesso à água no alto curso do Rio Paraíba**. 2021. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2021.

SANTOS, Edilma da Silva; SILVA, Janaína Barbosa da. Os recursos hídricos no alto curso do Rio Paraíba: demografia, acesso à água das populações urbanas e rurais. ***Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais***, v. 12, n. 10, p. 514-526, 2021.

SANTOS, José Francisco**. Infraestrutura e desigualdade no acesso à água: um estudo sobre os impactos da transposição do Rio São Francisco**. Universidade Federal de Pernambuco, 2024.

SANTOS, Paulo César; ALBUQUERQUE, Tiago Rodrigues; SOUZA, Diego Fernandes. Modelos preditivos para a alocação de água no semiárido: a importância do monitoramento climático. ***Revista Brasileira de Climatologia***, v. 18, n. 2, p. 150-168, 2023.

SENA, César Rodrigues; ARAÚJO, Marcos Henrique; BARROS, Laís Cristina. **Avaliação da percepção ambiental sobre a qualidade da água do rio Paraíba, PB**. *Ambiente & Água*, v. 14, n. 1, p. 219-230, 2019.

SENA, Jorismar de Oliveira; ALCÂNTARA, Hugo Morais de. Os eventos extremos e suas consequências sobre a gestão hídrica na região do alto curso do Rio Paraíba. ***V Seminário Nacional de Gestão e Regulação de Recursos Hídricos***, Brasília, 2023.

SILVA, Edilma Santos; SILVA, Janaína Barbosa da. Os recursos hídricos no alto curso do Rio Paraíba: demografia, acesso à água das populações urbanas e rurais. ***Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais***, v. 12, n. 10, p. 514-526, 2020.

SILVA, Fábio Augusto. **Degradação do Rio Paraíba: um estudo de caso de extração irregular de areia no seu leito no Vale do Paraíba**. 2014. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) – Universidade Estadual da Paraíba, Itabaiana, 2014.

SILVA, Joaquim Francisco; ALVES, Mariana da Silva; NOBRE, Pedro Henrique. Desafios e perspectivas para o uso múltiplo da água no semiárido brasileiro. ***Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas***, v. 14, n. 1, p. 93-105, 2020.

SILVA, Júlia Barros; SOUZA, Matheus Oliveira; MENDES, Caroline Lima. A crise hídrica global e as propostas do Banco Mundial e da ONU para seu enfrentamento. *Cronos*, v. 11, n. 2, p. 120-140, 2010.

SILVA, Leandro Félix da. **Identificação e análise integrada de espaços naturais e antrópicos com o uso de modelagem ambiental e geotecnologias em unidades de conservação no semiárido brasileiro**. 2022. 172 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022.

SILVA, Luiz Bernardo. **Qualidade da água subterrânea que abastece Juazeiro do Norte – CE: relação com cobertura de esgoto e densidade populacional**. Sumé: [s.n.], 2020.

SILVA, Marcelo Antônio Gonçalves; FREIRE, Sabrina Gonçalves; TAVARES, João Alfredo da Costa**.** Rio São Francisco: as consequências da transposição em uma bacia hidrográfica. ***Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM***, v. 13, n. 1, p. 213-233, 2018.

SILVA, Maria Auxiliadora Santos; FURTADO, Aline Rodrigues de Rezende; SOUSA, José Alves de Macedo. Potencial de uso múltiplo do solo na bacia hidrográfica do rio Taperoá, PB. ***Caderno de Geografia***, v. 28, n. 51, p. 87-104, 2018.

SILVA, Vítor Cássio; SANTOS, Lucas Guilherme; ALMEIDA, Maurício Pereira. **Análise climatológica da temperatura e precipitação no Estado da Paraíba**. Sumé: [s.n.], 2020.

SOUSA, Guilherme Pereira; ALMEIDA, Fernanda Costa; SANTOS, Rodrigo de Oliveira. **O projeto de transposição do Rio São Francisco e seus desafios políticos e administrativos**. *Universidade Estadual da Paraíba*, 2022.

SOUSA, João Francisco**.** Impactos das oscilações climáticas na distribuição da precipitação no Nordeste do Brasil. ***Anais do Simpósio Brasileiro de Climatologia Aplicada***, 2023.

SOUZA, Jonas Otaviano Praça de; SANTOS, Alisson; OLIVEIRA, Helder Cavalcante de. Capacidade de ajuste às mudanças no regime hidrológico de um rio intermitente: estilos fluviais no alto curso do rio Paraíba. ***Caminhos de Geografia***, v. 24, n. 96, p. 88–100, dez. 2023. DOI: 10.14393/RCG249668474.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. Relatório do Projeto de Revitalização do Semiárido. Disponível em: https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf.

TEIXEIRA, Francisco Keilo. **Rios intermitentes do semiárido brasileiro: o efeito do ambiente e do espaço na estrutura da metacomunidade de peixes**. 2023. 82 f. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. **Impactos socioeconômicos da transposição do Rio São Francisco na Paraíba**. Disponível em: http://www.ufpb.br/. Acesso em: 11 ago. 2023.

VAN VLIET, Michelle T. H.; FLÖRKE, Martina; WADA, Yoshihide; FENICHEL, Eli P. Global water scarcity including surface water quality and expansions of clean water technologies. ***Environmental Research Letters***, v. 16, n. 2, 2021.

VERÍSSIMO, Andreza Patrícia Cavalcante; SOUSA, Marcos Henrique de; SANTOS, João Marcos. Análise da qualidade da água do açude Epitácio Pessoa (Açude Boqueirão), PB. ***Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental***, v. 20, n. 2, p. 319-327, 2015.

VICENTE-SERRANO, Sergio Maria; BEGUERÍA, Santiago; LÓPEZ-MORENO, Juan Ignacio. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI). ***Journal of Climate***, v. 23, p. 1696-1718, 2010.

XAVIER, Rafael Albuquerque; DORNELLAS, Patrícia da Conceição; MACIEL, Jadson dos Santos; BÚ, José Cícero do. Caracterização do regime fluvial da Bacia hidrográfica do Rio Paraíba – PB. ***Revista Tamoios***, São Gonçalo (RJ), ano 08, n. 2, p. 15-28, jul./dez. 2012.

APÊNDICE A

Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido

RELATÓRIO TÉCNICO

INFLUÊNCIA DE EVENTOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA SOBRE A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA REGIÃO DO ALTO CURSO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA

CAPES ANA ProfÁgua UFCG Universidade Federal de Campina Grande

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rede de drenagem na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba

Figura 2 – Distribuição interanual da precipitação e a média histórica na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba

Figura 3 – Padrões climáticos de frequência de anos secos, habitual e úmidos

Figura 4 – Mapa anual do IAC para a área da bacia hidrográfica do Alto Paraíba (1985-2023)

Figura 5 – Volume do açude Epitácio Pessoa para os períodos de 1985-1995 (A), 1996 - 2006 (B) e 2007 - 2023 (C)

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Municípios que fazem parte da região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba, no período de 1985 a 2023.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 6

2. CARACTERIZAÇÃO 7

3. ASPECTOS GERAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO PARAÍBA.....7

4. ANÁLISE TÉCNICA 10

4.1VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA.....10

4.2 CORRELAÇÃO ENTRE PERÍODOS DE CHUVAS INTENSAS E A CAPACIDADE HÍDRICA DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA.....13

5. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES 15

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 16

REFERÊNCIAS.....17

1. INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são fundamentais para a sobrevivência humana e o desenvolvimento socioeconômico global. Apesar de a Terra ser majoritariamente coberta por água, apenas 2,5% desse volume é doce, e grande parte encontra-se inacessível. A distribuição da água é desigual, resultando em escassez em algumas regiões e abundância em outras. O Brasil detém cerca de 12% da água doce mundial, mas enfrenta desafios na gestão hídrica, especialmente diante das mudanças climáticas. A administração sustentável dos recursos hídricos é essencial para garantir o abastecimento em áreas onde esse recurso é limitado.

A Região do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, localizada no Semiárido Paraibano, destaca-se pelo clima seco e precipitações irregulares, geralmente inferiores a 400 mm anuais. A elevada evapotranspiração, causada pelas altas temperaturas e intensa radiação solar, contribui para a intermitência dos rios da região. Diante desse contexto, pesquisas voltadas à gestão eficiente dos recursos hídricos tornam-se indispensáveis para evitar crises de escassez e garantir o uso sustentável.

O Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) permite compreender a variabilidade climática e seus impactos, auxiliando na formulação de estratégias de adaptação. Assim, este estudo analisou eventos extremos de precipitação na bacia do Rio Paraíba ao longo de 38 anos (1985-2023), buscando identificar padrões e tendências que possam subsidiar uma gestão hídrica eficaz. O uso do IAC reforça a importância de uma abordagem científica no planejamento e preservação dos recursos hídricos, promovendo maior segurança hídrica para a população e setores produtivos da região.

2. CARACTERIZAÇÃO

A área de estudo é compreendida pela região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba (Figura 1), que representa uma significativa porção do Semiárido Paraibano para compreensão e análise de diversos aspectos socioambientais, cujos municípios estão localizados, em sua maioria, na região do Cariri, Nordeste do Brasil, possui área territorial de 12.389,14 km², com elevada irregularidade espacial e temporal da precipitação (Aragão et al., 2023)

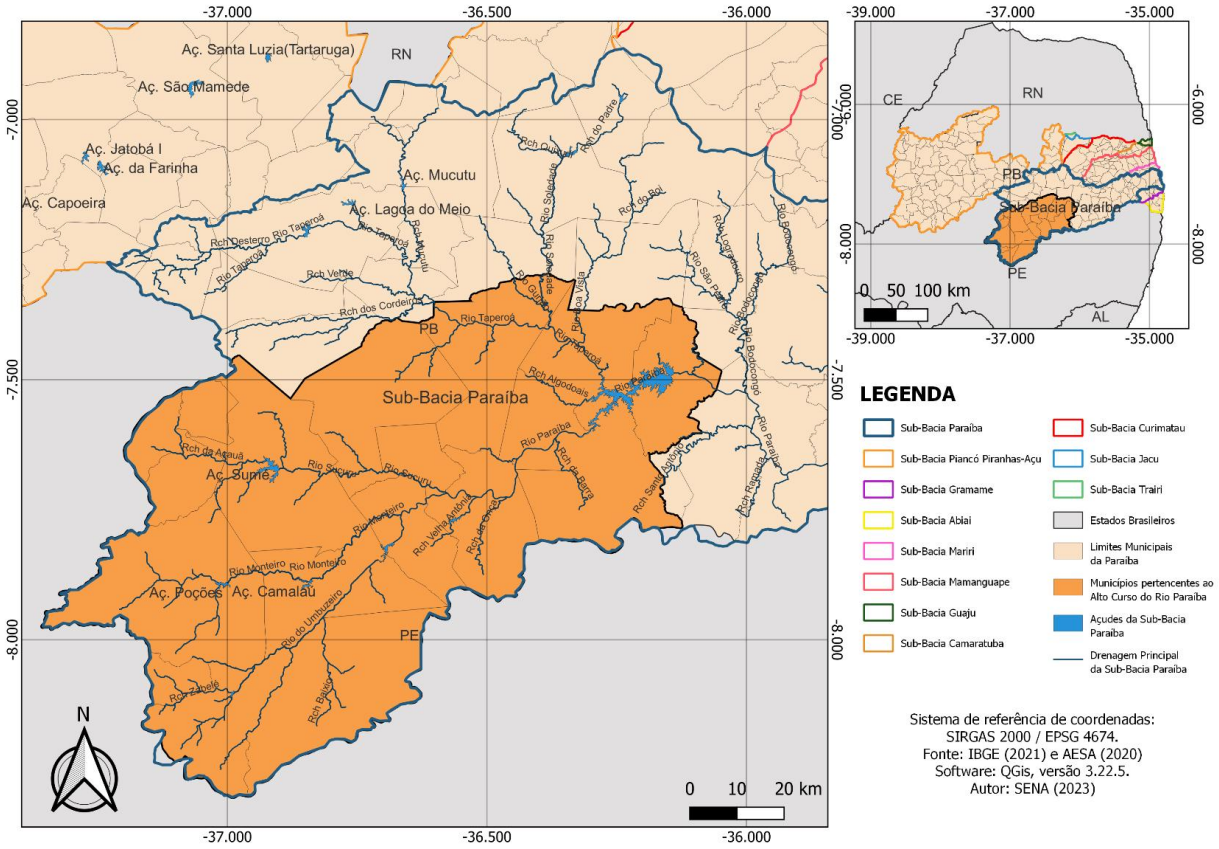
3. ASPECTOS GERAIS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO CURSO DO RIO PARAÍBA.

A região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba é caracterizada por uma paisagem predominantemente montanhosa, com altitudes que variam de 400 a 800 metros. Essa topografia acidentada é resultado da ação de processos geológicos que influencia diretamente na dinâmica dos ecossistemas presentes no território (Souza et al., 2023).

A análise e compressão da variabilidade climática e dos eventos extremos, é relevante para formulação de decisões políticas e ações estratégicas, uma vez que esses fenômenos acarretam impactos e consequências substanciais a sociedade e ecossistema, portanto, a identificação e avaliação dos extremos de precipitação são importantes para adoção de medidas adequadas de mitigação dos efeitos adversos.

Os dados pluviométricos mensais utilizados neste estudo foram obtidos da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA) para o período de 1985 a 2023. No entanto, devido à presença de falhas nos registros da AESA, recorreu-se aos dados do CPC *(Climate Prediction Center*), vinculado ao NCEP *(National Centers for Environmental Prediction*), para suprir as lacunas.

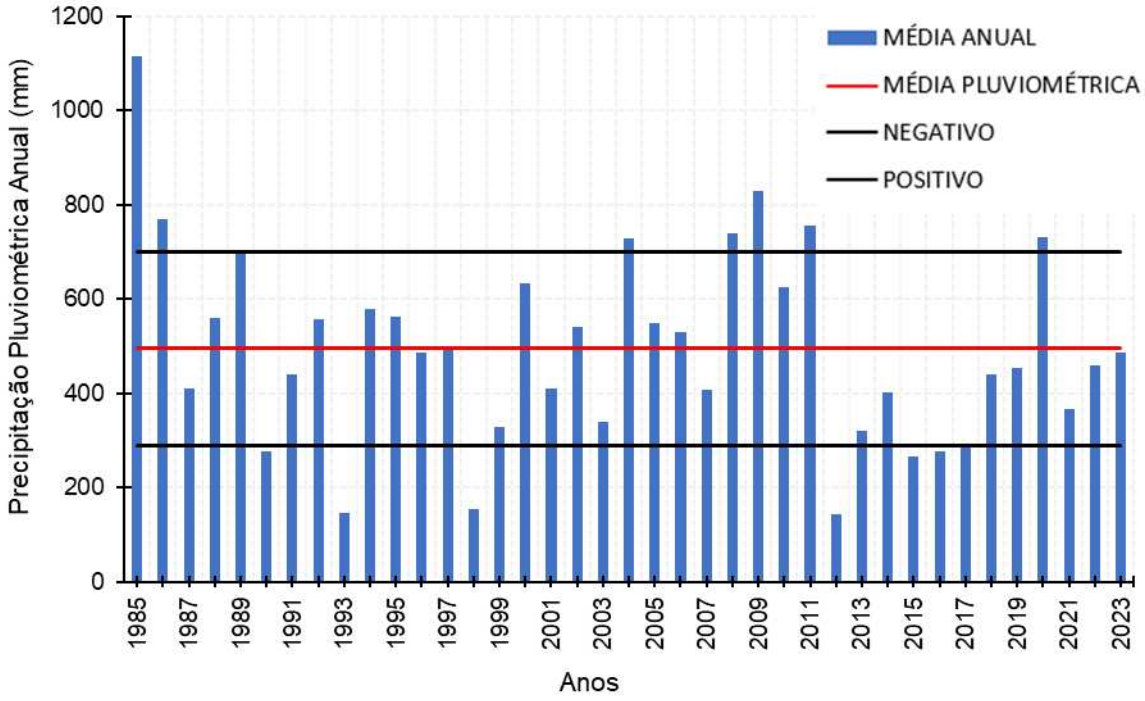
Figura 1 – Rede de drenagem na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba



Fonte: Autoria própria (2023).

A análise da precipitação interanual na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba (1985-2023) revelou grande variabilidade nos índices pluviométricos, influenciada por fenômenos climáticos como El Niño e La Niña, além de fatores antrópicos, como desmatamento e urbanização. A média anual registrada foi de 495,2mm, com um desvio padrão de 205,55mm, indicando forte dispersão dos dados (Figura 2).

Figura 2 - Distribuição interanual da precipitação e a média histórica na região do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraíba



Fonte: Autoria própria (2025)

Foram identificados anos com precipitações acima do desvio padrão positivo, como 1985 (1.114,5mm) e 2009 (823,0mm), principalmente devido à influência de La Niña. Em contrapartida, períodos de seca severa ocorreram em 1990, 1993, 1998 e 2012, este último classificado como extrema seca, associada a anomalias térmicas nos oceanos Pacífico e Atlântico.

A irregularidade da distribuição pluviométrica no Semiárido, concentrada entre fevereiro e maio, impacta diretamente a disponibilidade hídrica e a economia regional. O monitoramento das chuvas é essencial para a gestão dos recursos hídricos, permitindo prever eventos climáticos extremos e adotar estratégias de mitigação. A análise dos municípios estudados, por meio da técnica do box plot, revelou diferenças na variabilidade pluviométrica, com algumas localidades apresentando grande dispersão nos índices de chuva, enquanto outras mantêm maior estabilidade no regime pluviométrico.

4. ANÁLISE TÉCNICA

4.1 VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA

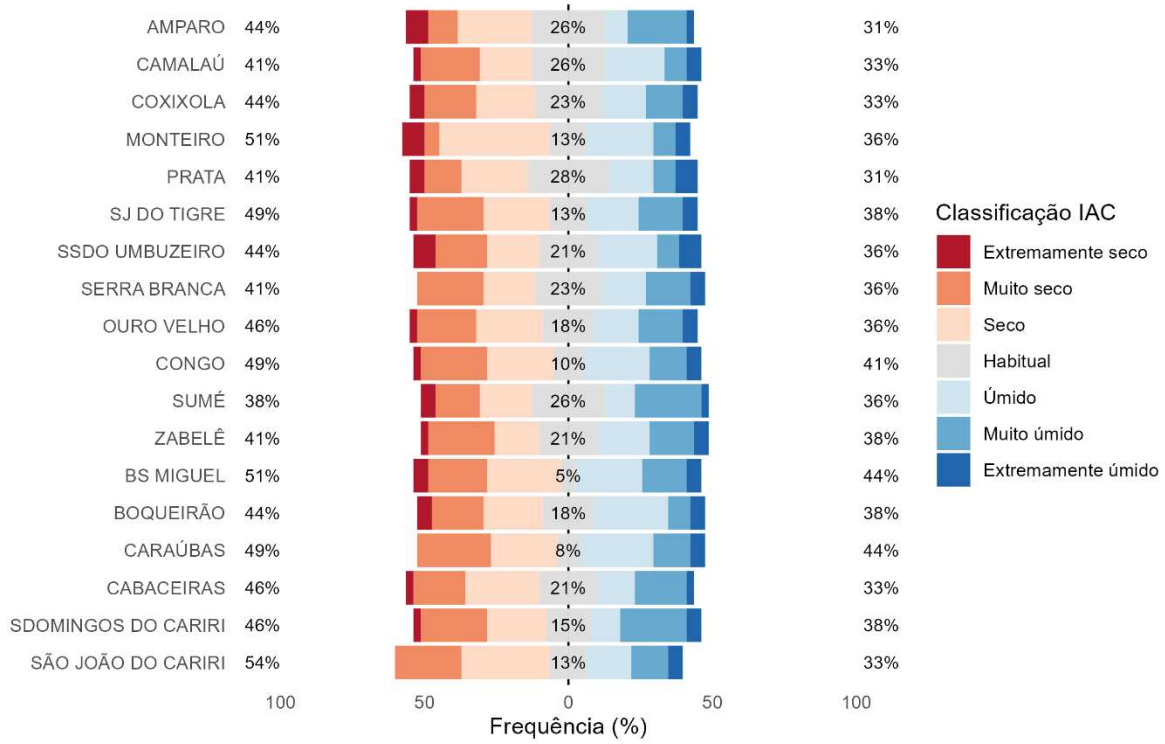
O estudo revelou uma expressiva variabilidade interanual da precipitação na região, com ciclos de secas prolongadas e períodos de chuvas intensas aproximadamente 30% dos anos analisados apresentaram condições extremas, impactando diretamente os sistemas de abastecimento e armazenamento hídricos. Entre os anos mais críticos destacam-se 1993, 1998, 2012, 2015 e 2016 como secos extremos e 1985, 2009 e 2020 como excessivamente úmidos.

Além disso, a variabilidade sazonal é um fator determinante para a segurança hídrica, uma vez que o período chuvoso se concentra entre os meses de fevereiro e maio, seguido por longos períodos de estiagem. A presença de anomalias de precipitação, identificadas pelo IAC, indica que a região é altamente suscetível a extremos climáticos, exigindo uma abordagem de gestão adaptativa para minimizar impactos adversos.

A variabilidade anual do IAC na Região do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba ao longo de três décadas, permite identificar padrões climáticos recorrentes e compreender a alternância entre períodos úmidos e secos. A escala de cores utilizada na representação gráfica indica a intensidade das anomalias pluviométricas, com tons de azul representando anos com precipitação acima da média histórica e tons avermelhados indicando períodos de déficit hídrico (Figura 3).

A análise da classificação do Índice de Anomalia de Chuva (IAC) para os 18 municípios da região (Tabela 1) revelou padrões distintos de variabilidade pluviométrica, indicando a predominância de diferentes condições hídricas ao longo do período estudado, portanto, a distribuição percentual das categorias de precipitação evidencia a ocorrência de anos secos e úmidos, permitindo uma avaliação detalhada da dinâmica climática local.

Figura 3 – Padrões climáticos de frequência de anos secos, habitual e úmidos



Fonte: Autoria própria (2025)

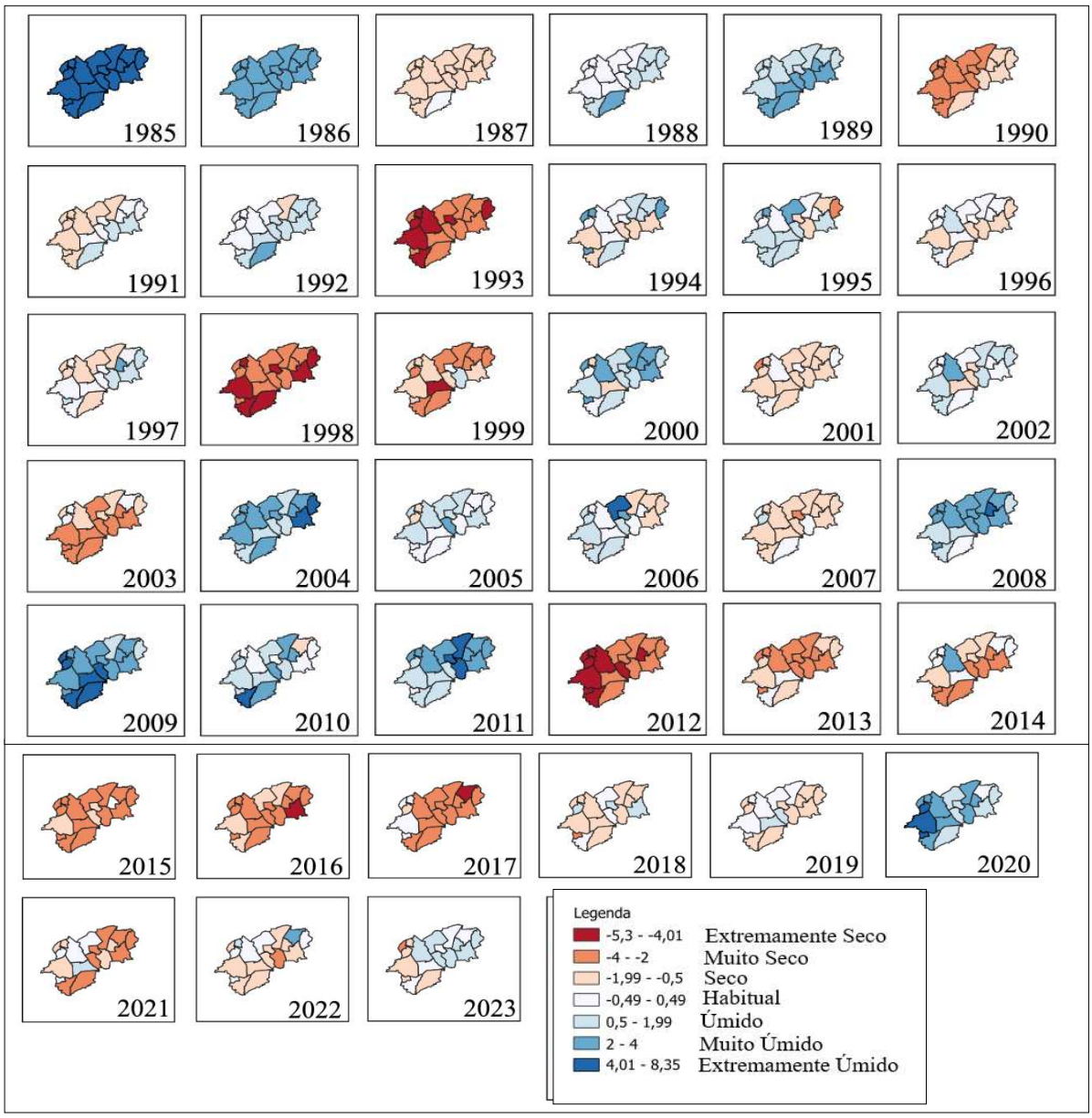
Tabela 1 – Municípios que fazem parte da região do alto curso do rio Paraíba no período de 1985 a 2023

Municípios Período (1985 – 2013)	
Amparo	Ouro Velho
Barra de São Miguel	São João do Cariri
Boqueirão	São João do Tigre
Cabaceiras	São Sebastião do Umbuzeiro
Caraúbas	Serra Branca
Camalaú	São Domingos do Cariri
Coxixola	Prata
Congo	Sumé
Monteiro	Zabelé

Fonte: Autoria própria (2023).

Segundo Medeiros et al. (2021), as anomalias pluviométricas referem-se a desvios dos níveis normais de precipitação em uma região, comparando a pluviosidade observada de determinado período com a média histórica estabelecida. Essas anomalias podem ser classificadas como positivas (quando a precipitação está acima da média) ou negativas (quando está abaixo da média) (Figura 4).

Figura 4 – Mapa anual do IAC para a área da bacia hidrográfica do Alto Paraíba (1985-2023)



Fonte: Autoria própria (2025)

A análise da Figura 4, permitiu verificar a ocorrência de anos predominantemente úmidos, secos e próximos da normalidade climatológica, com variações espaciais entre os diferentes municípios ao decorrer do tempo. Assim, evidenciando a alternância entre anos de maior e menor pluviosidade, refletindo a influência de padrões climáticos, destacando-se anos com forte predominância de anomalias positivas (chuvas acima da média), tais como 1985, 2004, 2009 e 2010, nos quais grande parte da região apresentou precipitações elevadas. De acordo com Rodrigues e Lima (2024) os resultados permitiram identificar que, no período de 2000 a 2011, houve um predomínio de anos com IAC chuvoso a extremamente chuvoso, por outro lado, anos de forte anomalia negativa (períodos de estiagem severa) são evidentes em 1993, 1998 e 2012, indicando chuvas abaixo do esperado.

Ainda Segundo Rodrigues e Lima (2024) enquanto de 2012 a 2019, a região enfrentou um predomínio de IAC seco a extremamente seco, indicando uma variação acentuada nas precipitações, representando um longo período de estiagem, sendo comuns no semiárido nordestino, as consequências desse cenário são perceptíveis na sociedade comprometendo a produção agropecuária e gerando impactos socioeconômicos alimentar e hídrica.

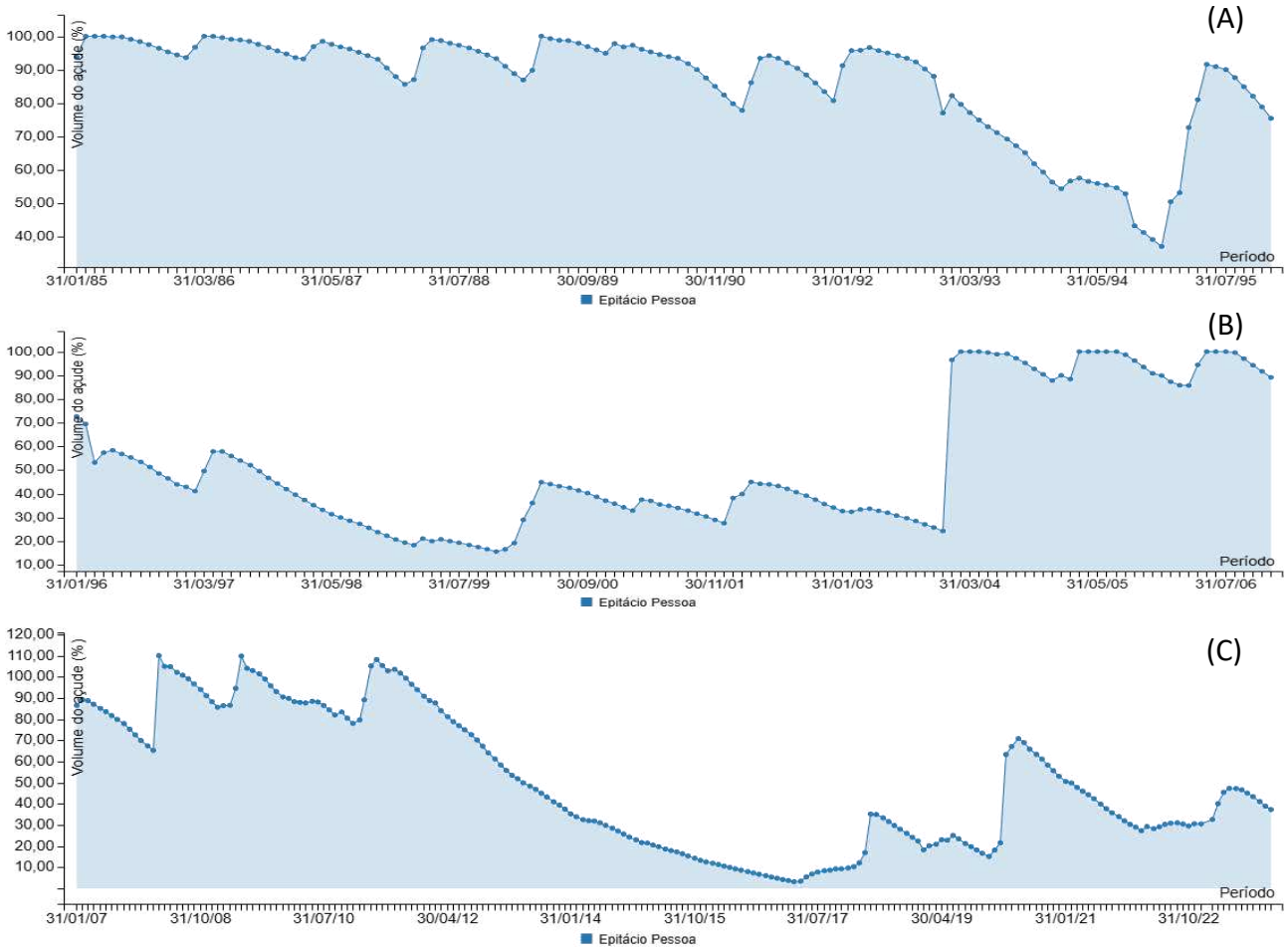
4.2 CORRELAÇÃO ENTRE PERÍODOS DE CHUVAS INTENSAS E A CAPACIDADE HÍDRICA DO RESERVATÓRIO EPITÁCIO PESSOA

O açude Epitácio Pessoa apresenta variações sazonais em seu volume, geralmente atingindo níveis mais altos no início do ano e declinando nos meses seguintes. Historicamente, a falta de planejamento e gestão eficiente resultou em crises hídricas, especialmente em períodos de seca severa, como entre 2012 e 2016, quando o reservatório atingiu seu volume morto, ameaçando o abastecimento de diversas cidades.

Medidas emergenciais foram adotadas, incluindo racionamento e a transposição do Rio São Francisco em 2017, que ajudou a recuperar parcialmente o volume do açude. No entanto, a dependência dessas soluções imediatistas reforça a necessidade de políticas preventivas para a gestão hídrica. O uso de indicadores climáticos, como o Índice de Anomalia de Chuva (IAC), e a implementação de

estratégias sustentáveis são essenciais para garantir a segurança hídrica da região e minimizar os impactos de futuras estiagens.

Figura 5 – Volume do açude Epitácio Pessoa para os períodos de 1985-1995 (A), 1996 - 2006 (B) e 2007 - 2023 (C)



Fonte: AESA (2025)

A relação entre a precipitação e o volume do Açude Epitácio Pessoa é essencial para a gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do alto curso do rio Paraíba, mas sua dinâmica depende de vários fatores, como infiltração no solo e consumo de água. O Índice de Anomalia de Chuvas (IAC) é uma ferramenta fundamental para monitorar a variabilidade climática e auxiliar na alocação eficiente da água.

Ao longo das décadas, a região enfrentou períodos de seca severa e chuvas intensas, impactando o volume do reservatório. A crise hídrica de 2012-2017 evidenciou a necessidade de planejamento preventivo para evitar medidas emergenciais tardias.

O IAC pode antecipar déficits e otimizar a captação e conservação da água, promovendo uma gestão mais sustentável e reduzindo os impactos da escassez hídrica.

O uso do IAC integrado a modelos hidrológicos e climáticos melhora a previsão de variações no volume do reservatório, auxiliando na definição de políticas públicas eficazes. Sua aplicação favorece a segurança hídrica e a sustentabilidade do uso da água, reduzindo a vulnerabilidade da população às mudanças climáticas.

5. CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante da dinâmica climática e seus impactos sobre a gestão hídrica na Região do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba, são recomendadas as seguintes medidas:

- ✓ **Monitoramento Contínuo:** Fortalecimento dos sistemas de previsão climática e da aplicação do Índice de Anomalia de Chuvas para previsão de eventos extremos.
- ✓ **Infraestrutura Hídrica:** Expansão da capacidade de armazenamento de água com a construção de barragens subterrâneas e sistemas de captação de água da chuva.
- ✓ **Reflorestamento e Conservação do Solo:** Implementação de projetos de recuperação de matas ciliares para reduzir a erosão e aumentar a infiltração da água no solo.
- ✓ **Gestão Participativa:** Reforço na atuação dos Comitês de Bacia Hidrográfica para garantir uma alocação equitativa dos recursos hídricos.
- ✓ **Educação Ambiental**: Promoção de campanhas educativas para sensibilização sobre o uso eficiente da água e a necessidade de adaptação às mudanças climáticas.
- ✓ **Aprimoramento da Governança Hídrica:** Estabelecimento de normas mais rígidas para o uso racional da água, incluindo a revisão das outorgas de captação e consumo.
- ✓ **Uso de Tecnologia para Gestão Inteligente:** Aplicação de sistemas de sensoriamento remoto e modelagem hidrológica para prever padrões de precipitação e otimizar a distribuição hídrica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão dos recursos hídricos na Região do Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba enfrenta desafios significativos devido à alta variabilidade pluviométrica e à influência de fenômenos climáticos extremos. A adoção de estratégias preventivas e de adaptação é essencial para garantir a segurança hídrica, portanto, medidas como o aprimoramento do monitoramento climático, investimentos em infraestrutura e governança participativa são fundamentais para mitigar os impactos da irregularidade das chuvas e garantir o uso sustentável dos recursos hídricos. A implementação dessas estratégias deve ser contínua e baseada em dados científicos atualizados, permitindo que gestores e formuladores de políticas públicas ajam de maneira proativa na mitigação dos impactos dos eventos climáticos extremos.

REFERÊNCIAS

Aragão, J. S., et al. (2023). Gestão Hídrica no Semiárido Brasileiro: Desafios e Soluções. Editora XYZ.

Medeiros, R. A., et al. (2021). Anomalias Pluviométricas e Seus Impactos na Agricultura do Semiárido. Revista Brasileira de Climatologia, 15(2), 123-145.

Rodrigues, F. & Lima, T. (2024). Padrões de Precipitação no Semiárido: Uma Análise Histórica. Clima e Sociedade, 18(1), 88-107.

Silva, L. C., et al. (2020). A Importância das Matas Ciliares na Conservação dos Recursos Hídricos. Estudos Ambientais, 9(3), 56-72.

Souza, P. R., et al. (2023). Geologia e Clima: Influências na Dinâmica Hídica do Nordeste Brasileiro. ***Anais da Conferência Nacional de Climatologia***, 12(1), 234-256.