

Índices de extremos climáticos e seus impactos na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Corrente, Oeste da Bahia

Climates extremes indices and their impacts on water availability in the corrente River Basin, Western Bahia

Wellington Silva dos Santos¹ , Brenno Vilas Verde Caldas¹ ,
Emily Menezes da Silva¹ , Sandra Maria Conceição Pinheiro¹ ,
Cássia Juliana Fernandes Torres¹ 

¹Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas, BA, Brasil. E-mails: whell2018@gmail.com, brennovvc@gmail.com, emillmenezes17@gmail.com, sandramcpinheiro@ufrb.edu.br, cassia.torres@ufrb.edu.br

Como citar: Santos, W. S., Caldas, B. V. V., Silva, E. M., Pinheiro, S. M. C., & Torres, C. J. F. (2026). Índices de extremos climáticos e seus impactos na disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica do Rio Corrente, Oeste da Bahia. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 23, e19. <https://doi.org/10.21168/rega.v23e19>

RESUMO: A disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas é moldada por diversos fatores, como as características fisiográficas, o uso e a cobertura do solo e os processos hidrológicos locais. No que diz respeito aos processos hidrológicos, a variabilidade climática pode afetar a disponibilidade hídrica, especialmente pela ocorrência de eventos extremos de precipitação. Nesse contexto, regiões com elevada demanda por recursos hídricos tornam-se particularmente vulneráveis a alterações no regime hidrológico. O Oeste Baiano destaca-se por apresentar intensa utilização da água para múltiplos usos, o que reforça a necessidade de compreender as tendências associadas aos extremos climáticos. Assim, o presente estudo tem como objetivo analisar tendências através de índices de extremos de precipitação na bacia hidrográfica do rio Corrente-BA, visando avaliar possíveis implicações para a disponibilidade hídrica regional. Para tanto, foram calculados 11 índices de extremos climáticos relacionados à precipitação por meio do *software* RCLimDex, amplamente utilizado em estudos de variabilidade e mudanças climáticas, que permitem uma abordagem integrada, abrangendo aspectos de intensidade, frequência e duração, em contraste com as abordagens tradicionais. A análise de tendência foi realizada utilizando o teste não paramétrico de Mann-Kendall. Foram selecionadas nove estações pluviométricas com séries históricas de 45 anos e percentual de falhas inferior a 25%. Os resultados evidenciaram tendências estatisticamente significativas (p -valor $\leq 0,05$) para os índices CDD (Consecutive Dry Days) e CWD (Consecutive Wet Days), indicando mudanças temporais no regime de extremos de precipitação da bacia hidrográfica. O índice CDD apresentou tendência de aumento na duração dos períodos secos, enquanto o índice CWD indicou tendência de redução na duração dos períodos chuvosos. Esses resultados apontam para uma intensificação da irregularidade do regime pluviométrico e para um possível cenário de redução da disponibilidade hídrica na bacia. Diante desse contexto, os resultados reforçam a importância da incorporação de análises de extremos climáticos no planejamento e na gestão de recursos hídricos, de modo a subsidiar estratégias voltadas à segurança hídrica em regiões sujeitas à crescente variabilidade climática.

Palavras-chave: Disponibilidade Hídrica; Índices de Extremos Climáticos; Segurança Hídrica; Tendências Estatisticamente Significativas; Bacia Hidrográfica do Rio Corrente.

ABSTRACT: Water availability in river basins is influenced by several factors, including physiographic characteristics, land use and land cover, and local hydrological processes. Regarding hydrological processes, climate variability can affect water availability, especially through the occurrence of extreme precipitation events. In this context, regions with high demand for water resources become particularly vulnerable to changes in the hydrological regime. The Western Bahia region stands out for its intense water use for multiple purposes, which reinforces the need to understand trends associated with climate extremes. Thus, this study aims to analyze trends through precipitation extreme indices in the Corrente river basin, Bahia, to evaluate potential implications for regional water availability. For this purpose, 11 climate extreme indices related to precipitation were calculated using the RCLimDex software, which is widely used in climate variability and change studies. These indices allow an integrated approach covering aspects of intensity, frequency, and duration, contrasting with traditional approaches. The trend analysis was performed using the non-parametric Mann-Kendall test. Nine rainfall stations with 45-year historical series and a missing data percentage below 25% were selected. The results showed statistically significant trends (p value ≤ 0.05) for the CDD (Consecutive Dry Days) and CWD (Consecutive Wet Days) indices, indicating temporal changes in the precipitation extremes regime of the river basin. The CDD index showed an increasing trend in the duration of dry periods, while the CWD index indicated a decreasing trend in the duration of wet periods. These findings point to an intensification of rainfall regime irregularity and a possible scenario of reduced water availability in the basin. In this context, the results reinforce the importance of incorporating climate extremes analyses into water resources planning and management, in order to support strategies aimed at water security in regions subject to growing climate variability.

Keywords: Water Availability; Climate Extreme Indices; Water Security; Statistically Significant Trends; Corrente River Basin.

Recebido: Março 07, 2026. Revisado: Julho 13, 2026. Aceito: Setembro 28, 2026.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas representam alterações no comportamento de eventos naturais, como as precipitações e as temperaturas de uma localidade, afetando diretamente a disponibilidade e a variabilidade dos recursos hídricos. Tais modificações refletem em novas condições ambientais e hidrológicas, impondo aos ecossistemas e às atividades humanas a necessidade de adaptação à nova realidade. Nesse contexto, as mudanças climáticas configuram-se, provavelmente, como um dos desafios mais complexos que as gerações atuais e futuras precisarão enfrentar, uma vez que não são ocasionadas por um único fator, tampouco serão solucionadas por esforços individuais.

Entre as principais consequências das mudanças climáticas destacam-se os eventos climáticos extremos, caracterizados por variações significativas na frequência, intensidade e duração de fenômenos meteorológicos em relação aos padrões históricos de uma determinada localidade, como secas prolongadas e períodos de precipitação excessiva. Esses eventos alteram substancialmente o regime hidrológico das bacias hidrográficas, comprometendo a regularidade do ciclo da água, podendo afetar a disponibilidade hídrica, a qualidade da água e o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Essas alterações exercem influência direta sobre os diversos usos da água, intensificando os desafios relacionados à gestão e à garantia da segurança hídrica. Neste cenário de escassez a Lei 9.433/1997 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e determina que o uso prioritário da água deve ser utilizado para o abastecimento humano e a dessedentação animal (Brasil, 1997).

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) informa em seu relatório que o aumento de eventos climáticos extremos, os quais podem ter se intensificado devido à atividade antrópica, coloca em risco a segurança alimentar e hídrica de inúmeras populações, sobretudo em regiões mais vulneráveis (Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima, 2023). Por sua vez, diversos autores definem, diretamente ou indiretamente, o conceito de segurança hídrica (WaterAid, 2012; Kundzewicz e Matczak 2015; Melo & Johnsson, 2017; Formiga-Johnsson & Britto, 2020; Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima, 2023; Agência Nacional de Águas, 2024), o qual pode ser entendido como sendo a capacidade de uma população possuir água em quantidade e qualidade capazes de atender às suas necessidades, possibilitando o seu desenvolvimento socioeconômico, ao mesmo tempo que atende as necessidades dos ecossistemas e resiste aos eventos climáticos.

Diante desse cenário, compreender as alterações no regime climático de uma bacia hidrográfica é fundamental para a avaliação da disponibilidade hídrica. No entanto, a identificação de eventos extremos e a sua frequência de ocorrência fornecem uma visão simplificada e pontual, não sendo capaz de identificar comportamentos de longo prazo que sirvam de alerta e de preparação de uma sociedade para cenários futuros. Dessa forma, entre as abordagens mais utilizadas, destaca-se o estudo de eventos extremos por meio de indicadores climáticos, que tem se mostrado uma ferramenta eficaz na identificação de tendências e padrões de variabilidade. Dentre esses métodos, sobressaem-se os índices de extremos climáticos do RCLimDex (Reis, 2020; Costa et al., 2020; Assis et al., 2021; Siqueira et al., 2024; Abdissa & Gameda, 2025; Jubase & New, 2025; Bogale et al., 2025), amplamente empregados em pesquisas voltadas à análise dos impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos.

O RCLimDex é um *software* livre e de fácil utilização, baseado no pacote estatístico R (também gratuito) que consegue calcular ao total 27 índices, sendo 11 relacionados a precipitação e 16 a temperatura (Zhang et al., 2023). Esses índices são recomendados pelos especialistas do *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI), uma vez que conseguem representar a existência e a magnitude de eventos climáticos extremos, sendo então utilizados em estudos que detectam e monitoram mudanças climáticas. Segundo Persson et al. (2007), o clima é comumente representado por variáveis básicas, como valores médios e variações sazonais da precipitação e da temperatura. No entanto, apenas esses valores não representam o clima de uma região, uma vez que eventos extremos, mesmo que raros, também são parte integrante.

Considerando o exposto, evidencia-se a necessidade de aprofundar os estudos sobre a ocorrência e a variabilidade dos eventos climáticos extremos associados às mudanças climáticas, avaliando seus possíveis impactos sobre a quantidade e a qualidade da água disponível nas bacias hidrográficas. Apesar dos avanços observados nas últimas décadas, ainda existem lacunas significativas na literatura científica quanto à caracterização espacial e temporal desses eventos em diferentes contextos hidroclimáticos, especialmente em regiões onde o monitoramento hidrometeorológico é limitado. Assim, a aplicação de um conjunto abrangente de índices de extremos climáticos constitui uma ferramenta fundamental para subsidiar o diagnóstico e a previsão de cenários futuros, uma vez que grande parte das abordagens tradicionais se restringe a analisar apenas a magnitude total ou a frequência isolada das chuvas. Essa metodologia possibilita uma avaliação detalhada em múltiplas dimensões dos extremos de precipitação (como alterações nos períodos secos e chuvosos ou na

identificação de precipitações com potencial de causar enchentes e inundações), fornecendo suporte técnico ao planejamento e à gestão de recursos hídricos locais e regionais. Tais análises contribuem, portanto, para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e adaptação frente aos impactos das mudanças climáticas em escala de bacia hidrográfica.

No âmbito dessa discussão, a bacia hidrográfica do rio Corrente se destaca, uma vez que a alta demanda por água para atender aos seus diversos usuários deve ser impactada pela ocorrência de eventos climáticos extremos. Situada no Oeste do Estado da Bahia e caracterizada por um clima seco e com baixa pluviosidade ao longo do ano, a bacia do rio Corrente faz parte de uma região que se destaca na economia nacional pela alta produção agropecuária, denominada de MATOPIBA (Siqueira et al., 2024), esse nome surgiu por meio das iniciais de cada um dos estados que a compõem, sendo esses Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Todavia, além da demanda proveniente das atividades agropecuárias, a bacia hidrográfica deve garantir disponibilidade de água em quantidade e qualidade adequadas para suprir os demais usos, o que em cenários marcados por eventos climáticos extremos, pode intensificar potenciais conflitos entre os diferentes setores usuários devido à crescente pressão sobre os recursos hídricos locais.

Desta forma, estudar os eventos de extremos climáticos na bacia do rio Corrente é uma maneira de se compreender quais as tendências climáticas que a bacia está sujeita, servindo assim, como ferramenta de auxílio para a redução de possíveis impactos na disponibilidade hídrica local, uma vez que, ao identificar alterações no cenário, possibilitam uma melhor gestão dos recursos hídricos e, principalmente, o atendimento aos seus diversos usuários. Logo, o objetivo do presente trabalho é analisar a tendência de índices de extremos climáticos na disponibilidade hídrica de bacias hidrográficas visando atendimento aos múltiplos usos da água, tendo como estudo de caso a bacia do rio corrente, oeste do estado da Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

A análise da dinâmica dos extremos climáticos exige uma abordagem rigorosa, capaz de garantir a qualidade dos dados históricos e a robustez das conclusões estatísticas. Diante disso, a metodologia do presente estudo foi estruturada em cinco etapas interligadas (Figura 1): (I) Caracterização da área de estudo; (II) levantamento de dados hidrológicos e climatológicos; (III) estatística descritiva e inferencial das séries históricas de chuva; (IV) espacialização da precipitação na bacia hidrográfica; e (V) Análise dos índices de extremos climáticos. Para tanto, foram utilizados como ferramentas de auxílio para desenvolvimento do trabalho, o *software* de geoprocessamento QGIS (3.30.3), a plataforma estatística RStudio (2024.12.1), o *software* RClimDex (4.4.3) e o *software* Hidro (versão 1.4).

Etapa I - Caracterização da área de estudo

Esta etapa visa caracterizar a bacia hidrográfica do rio Corrente por meio de diferentes bases de dados geoespaciais e trabalhos científicos. Para definição da rede hidrográfica e demais características físicas da bacia, foram utilizados dados georreferenciados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias), e do Grupo de Pesquisa de Hidrologia de Grande Escala (HGE). Todas as bases de dados geoespaciais foram tratadas no Sistema de Informação Geográfica (SIG) "Qgis (Quantum GIS) versão 3.30.3" da *Open Source Geospatial Foundation*.

A bacia hidrográfica do rio Corrente localiza-se na porção oeste do Estado da Bahia (Figura 2), entre as coordenadas geográficas de 12°45' a 14°50' de latitude sul e 43°20' a 46°15' de longitude oeste (Lage et al., 2008). Trata-se de um importante afluente do rio São Francisco, abrangendo a Região de Planejamento e Gestão das Águas (RPGA) XXIII, juntamente com Riachos do Ramalho, Serra Dourada e Brejo Velho. Seu território é composto por diversos cursos d'água, destacando-se os rios Corrente, Correntina, Formoso, do Meio e Arrojado (Secretaria do Meio Ambiente, 2014). O rio Corrente tem sua nascente no município de Santa Maria da Vitória, formada pela confluência dos rios Formoso e Correntina, e sua foz situa-se entre os municípios de Bom Jesus da Lapa e Sítio do Mato (Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2022). A bacia encontra-se predominantemente sobre o Aquífero Urucuia, que se estende por grande parte do oeste baiano. Trata-se de um aquífero poroso, cuja elevada capacidade de armazenamento e infiltração contribui significativamente para a disponibilidade hídrica superficial e subterrânea da região, desempenhando papel essencial na manutenção das vazões do rio São Francisco e seus afluentes que compreendem essa região (Serviço Geológico do Brasil, 2021).

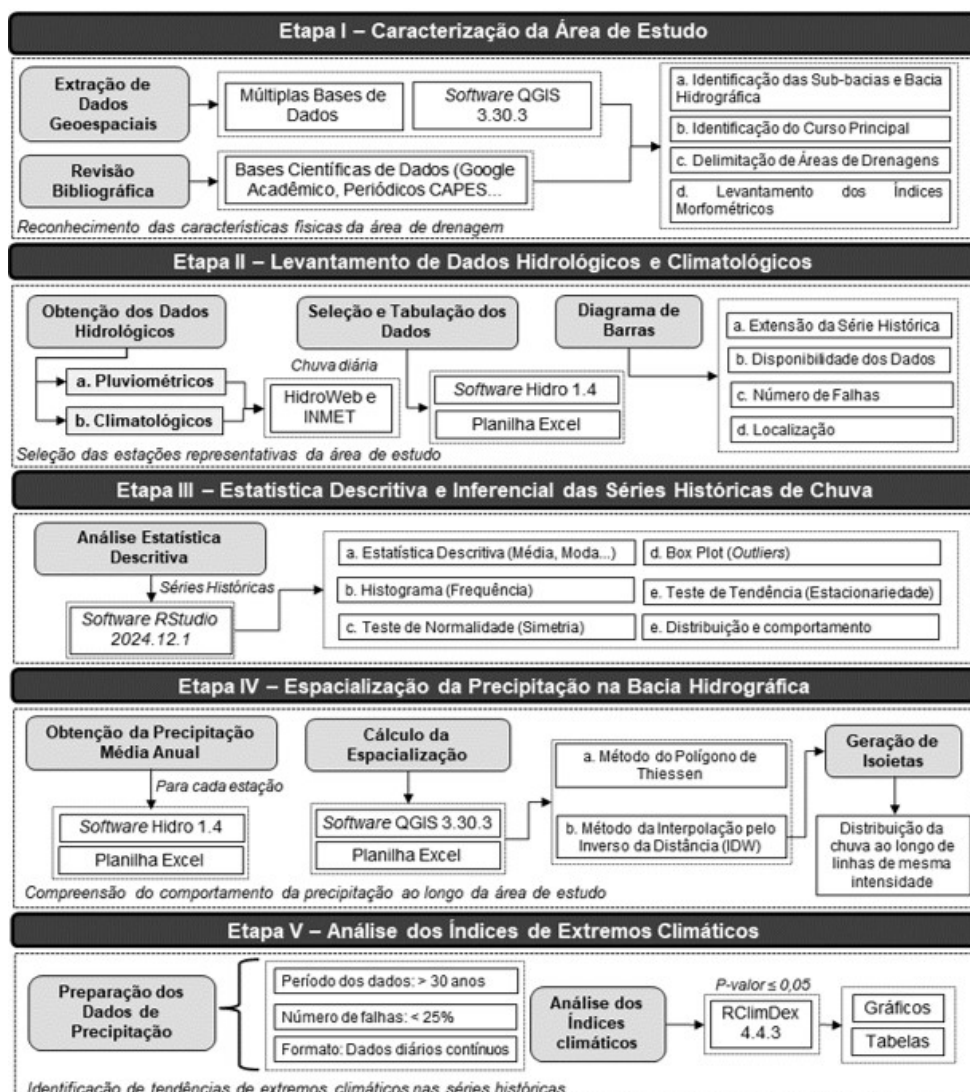


Figura 1: Fluxograma das etapas metodológicas.

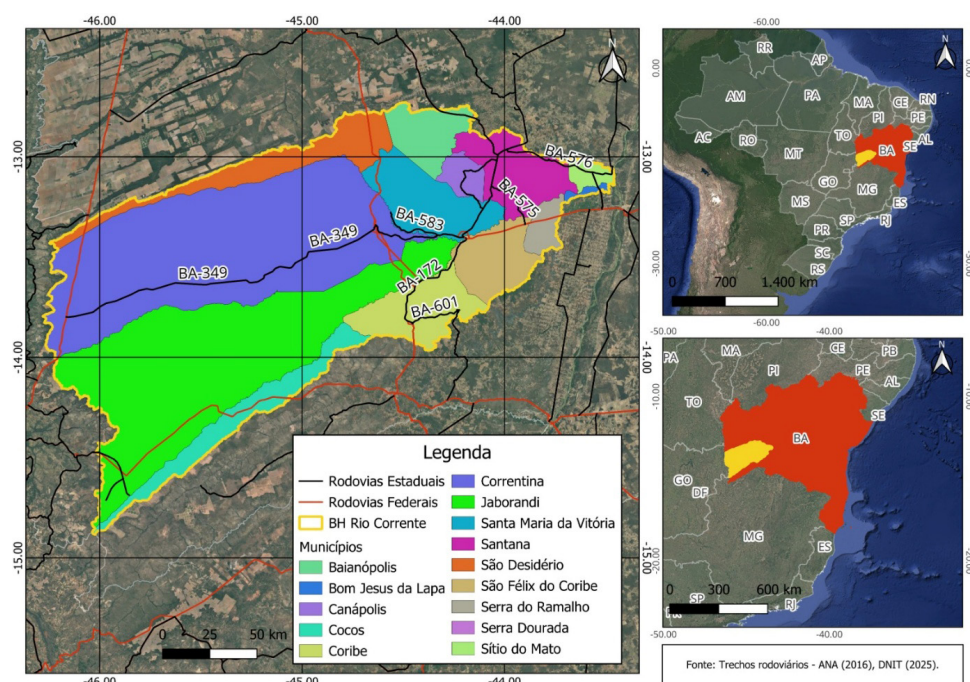


Figura 2: Localização da Bacia Hidrográfica (BH) do rio Corrente - BA.

A bacia abrange 14 municípios, totalizando 34.532,62km² de extensão e perímetro de 1.320,43km (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021), Tabela 1. Grande parte do território está inserida no Planalto do Chapadão Ocidental do São Francisco, onde predomina o bioma Cerrado. Já a porção inferior, correspondente à Depressão Sanfranciscana, apresenta remanescentes de floresta estacional, refletindo a transição entre diferentes formações vegetais e geomorfológicas (Secretaria do Meio Ambiente, 2014).

Tabela 1: Características físicas da rede hidrográfica de abrangência da área de estudo.

Características **	Bacia Hidrográfica Rio Corrente	Características **	Bacia Hidrográfica Rio Corrente
Área (Km ²)	34.532,62	Município da Nascente do rio principal	Correntina
Perímetro (Km)	1.320,43	Município da Foz do rio principal	Sítio do Mato
Comprimento rio principal (Km)	350,09	Principais afluentes	Rio Formoso, rio Arrojado, rio Correntina e rio do Meio
Comprimento total dos rios (Km)	11.238,93	Densidade de drenagem (km/km ²)	0,08
Altitude Mínima da bacia (m) *	418,50	Coeficiente de compacidade	1,99
Altitude Máxima da bacia (m) *	1.010,64	Tipo de solo predominante	Latossolo
Amplitude altimétrica da bacia (m)	592,14	Classificação climática por Köppen	Aw (tropical com inverno seco)

Fonte dos dados: Arquivos de dados geoespaciais. *As cotas foram retiradas da base de imagens de satélite ANADEM (Resolução 30 m). **Todas as áreas e as extensões hídricas apresentadas neste relatório foram calculadas a partir da Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas da ANA.

O clima da região enquadra-se predominantemente no tipo Aw (tropical com inverno seco), conforme a classificação de Köppen, apresentando precipitação anual variando entre 800mm e 1.400mm (Alvares et al., 2013), com variação altimétrica entre 418,5m e 1.010,64m, evidenciando um gradiente topográfico que influencia os processos hidrológicos e o uso da terra. Com base no banco de dados do IBGE para bacias hidrográficas em escala 1:250.000, observa-se que a área de estudo apresenta formato alongado, o que é confirmado pelo coeficiente de compacidade ($K_c = 1,99$). Esse valor indica baixa tendência à concentração rápida do escoamento superficial, reduzindo, portanto, a suscetibilidade a eventos de inundação. A densidade de drenagem ($D_d = 0,08\text{km/km}^2$) também se apresenta baixa, sugerindo um sistema de drenagem pouco desenvolvido e menor eficiência na coleta das águas superficiais. Apesar disso, o canal principal recebe contribuições de diversas sub-bacias (Figura 3), entre as quais se destacam as sub-bacias dos rios Formoso, Arrojado, Correntina e do Meio.

No que se refere às características pedológicas, observa-se que a bacia é predominantemente composta por Latossolos, que se estendem desde as porções mais elevadas até as áreas mais baixas. Argissolos ocorrem de forma considerável na região central da bacia, prolongando-se em direção às zonas de maior altitude, enquanto nas áreas de menor cota altimétrica são registrados afloramentos rochosos e outras classes de solos, como os Vertissolos (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018). Entre os usos antrópicos, destacam-se a agricultura e a pecuária extensiva, atividades que demandam volumes expressivos de água e influenciam diretamente o regime hidrológico, além de contribuírem para a pressão sobre os recursos naturais.

Além dessas atividades produtivas, a bacia do rio Corrente também abastece pequenos usuários, como domicílios, propriedades rurais de base familiar, assentamentos, territórios indígenas e comunidades quilombolas. A coexistência de múltiplos setores usuários, associados a diferentes necessidades e interesses, torna o território suscetível à ocorrência de conflitos pelo uso da água. Nesse contexto, a Secretaria de Planejamento (SEPLAN) realizou, em 2017, a classificação da vulnerabilidade social da bacia, considerando variáveis como conflitos fundiários e pelo uso da água, degradação ambiental e incidência de trabalho análogo à escravidão. Os resultados indicam que a maior parte da área da bacia enquadra-se na categoria de muito alta vulnerabilidade social, enquanto porções menores apresentam alta ou média vulnerabilidade (Secretaria de Planejamento, 2016).

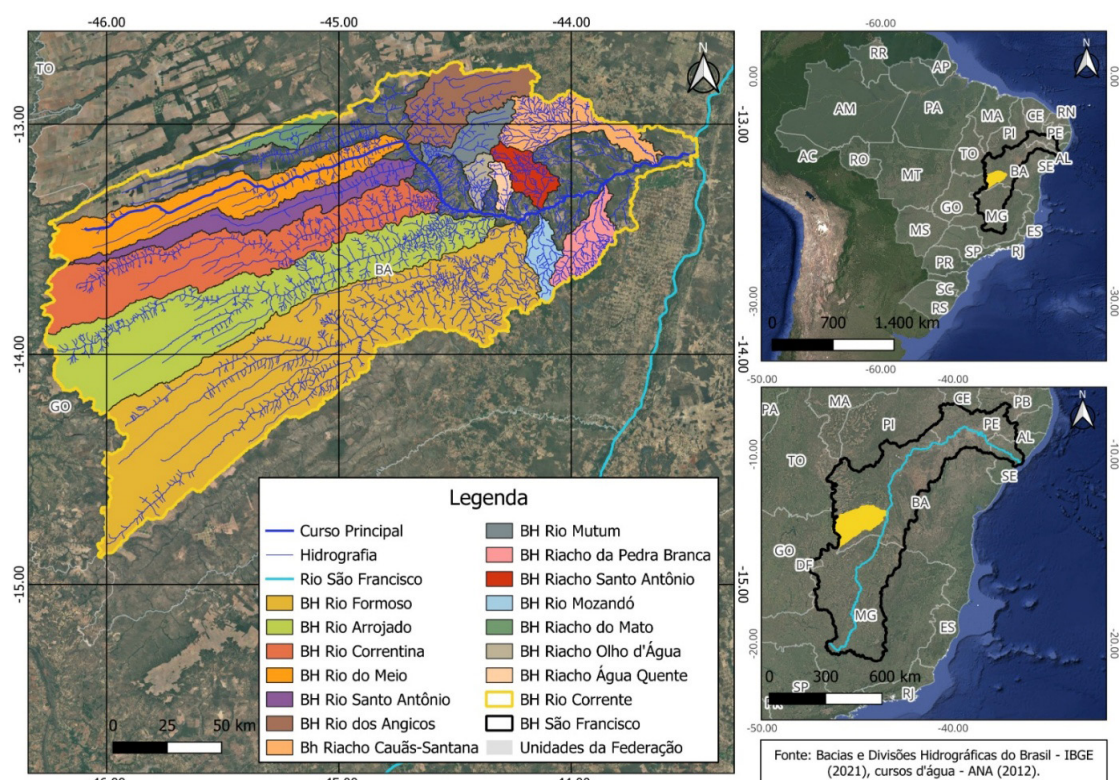


Figura 3: Sub-bacias do rio Corrente e Bacia Hidrográfica (BH) do rio São Francisco.

Etapa II - Levantamento de dados hidrológicos e climatológicos

As bases de dados utilizadas neste estudo são provenientes das estações pluviométricas e climatológicas que representam o comportamento hídrico e climático da área de estudo. O levantamento dos dados pluviométricos e meteorológicos foi conduzido através de dois bancos de dados: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), disponibilizado na plataforma da *Hidroweb* e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Salienta-se que foram verificados também a disponibilidade de dados nas bases de dados do Estado da Bahia. Os dados pluviométricos foram pré-processados e analisados com auxílio dos *softwares* "Hidro versão 1.4" da ANA e ferramenta de SIG, "Qgis (Quantum GIS)" versão 3.30.3" da *Open Source Geospatial Foundation*.

Destaca-se que a seleção e tabulação dos dados das estações pluviométricas foram conduzidas separadamente para três porções da Área de Drenagem (AD), compreendendo porção alta, média e baixa bacia. Foi elaborado o Diagrama de Barras dessas estações visando analisar a extensão da série histórica e o número de falhas. Para seleção dos postos de monitoramento, foram utilizados como critérios: (I) estações com falhas inferiores a 25% dos dados (critério para análise no RCLimDex); (II) maior série histórica contemplando dados diários; e (III) localização das estações na bacia. Referente a classificação climática da bacia, foram adotadas as metodologias propostas por Edmon Nimer adotada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a tipologia climática de Köppen-Geiger (1928-1931).

O levantamento preliminar das bases de dados resultou na identificação de 81 estações pluviométricas distribuídas na área de estudo, incluindo tanto estações atualmente operacionais quanto aquelas já desativadas. Desse total, 51 estavam em funcionamento durante o período analisado. Com o objetivo de assegurar robustez estatística e consistência temporal às análises, foi elaborado um diagrama de seleção baseado em quatro critérios principais, relacionados à qualidade das séries históricas e à adequação espacial das estações (localização, extensão da série histórica, número de falhas e representatividade de dados atuais). A aplicação desses critérios resultou na seleção final de 9 estações pluviométricas utilizadas no presente estudo. A série histórica consolidada das estações selecionadas compreende um intervalo de 45 anos, abrangendo o período de 1978 a 2023. Destaca-se que a integridade e a consistência dos registros foram verificadas previamente, sendo todas as séries de dados consistidos e com falhas menores que 11%. A operação e a manutenção das estações selecionadas são de responsabilidade da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) que hoje é conhecida como Serviço Geológico do Brasil (SGB). Informações adicionais e características específicas de cada uma das estações incluídas na análise estão detalhadamente apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Estações pluviométricas ativas selecionadas para área de estudo.

Parte da AD	Código	Nome da estação	Município	Precipitação média total (mm)	Altitude (m)	Localização
Parte Baixa da AD	1343008	Porto Novo	Santana	871	442	Latitude: -13.2925
						Longitude: -43.9092
	1344017	Santa maria da Vitória	Santa Maria da Vitória	890	437	Latitude: -13.4006
						Longitude: -44.1975
Parte Média da AD	1344002	Mocambo	Santa Maria da Vitória	909	520	Latitude: -13.2778
						Longitude: -44.5589
	1344013	Gatos	Jaborandi	1049	610	Latitude: -13.7106
						Longitude: -44.6325
	1344014	Correntina	Correntina	923	566	Latitude: -13.3364
						Longitude: -44.6522
	1344015	Colônia do Formoso	Coribe	925	477	Latitude: -13.5667
						Longitude: -44.3061
	1344016	Arrojado	Correntina	959	479	Latitude: -13.4508
						Longitude: -44.5656
	1345000	Arrojolândia	Correntina	929	679	Latitude: -13.7342
						Longitude: -45.4033
Parte Alta da AD	1346006	Fazenda Planalto	Correntina	1212	947	Latitude: -13.7519
						Longitude: -46.14

A Figura 4 ilustra o arranjo espacial das estações hidrológicas dentro da bacia. Nesta representação, são visualizadas as 51 estações supracitadas, sendo destacadas as 9 estações selecionadas que constituem o corpo de dados deste estudo. A observação da distribuição espacial dessas unidades de monitoramento, em correlação com o Modelo Digital de Elevação (MDE) da área de drenagem, demonstra que as estações, particularmente as selecionadas, apresentam uma concentração predominante nas porções média e baixa da bacia.

Etapa III - Estatística descritiva e inferencial das séries históricas de chuva

O processamento dos dados hidrológicos (séries históricas de chuva) inclui a estatística descritiva dos dados observados (média, máximo, mínimo, mediana, desvio padrão, percentis, assimetria ($S_k=Skewness$) e curtose), elaboração dos histogramas, análise de frequência, identificação de *outliers* (valores atípicos) e teste de normalidade. O coeficiente de assimetria (S_k) e curtose são medidas

estatísticas fundamentais na análise descritiva de séries históricas, pois fornecem informações sobre a forma da distribuição dos dados em relação à normalidade. O S_k indica o grau de simetria da distribuição: valores próximos de zero sugerem uma distribuição simétrica, enquanto valores positivos indicam uma assimetria mais longa para direita (positiva) e valores negativos apontam uma assimetria mais longa para esquerda (assimetria negativa) (Zar, 2010). Já o coeficiente curtose descreve a “concentração” dos dados em torno da média e a presença de assimetrias extremas. Valor de Curtose igual a três caracteriza a distribuição normal, valores superiores indicam distribuição mais alongada com assimetrias mais severas, enquanto valores inferiores sugerem distribuição achatada com assimetrias mais leves.

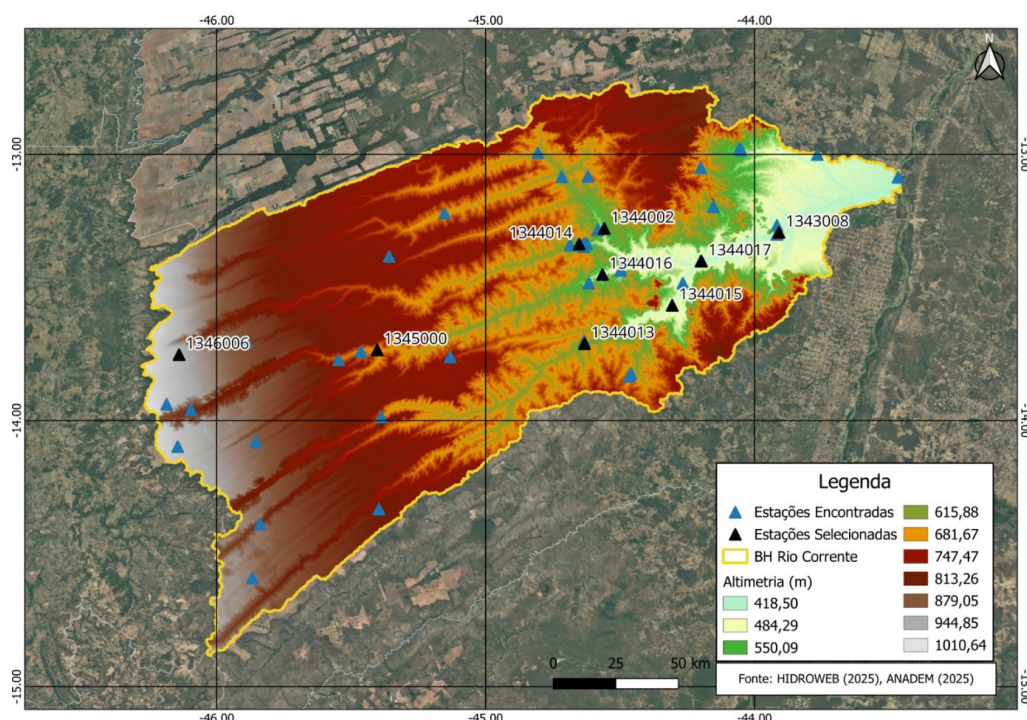


Figura 4: Distribuição e localização das estações pluviométricas na Bacia Hidrográfica (BH) do Rio Corrente-BA.

Para o teste de normalidade foi adotado o Método (Shapiro & Wilk, 1965), sendo um dos métodos estatísticos mais consagrados para verificar a hipótese de normalidade em uma amostra de dados. Neste teste (Equação 1), a hipótese nula (H_0) é de que “a distribuição testada estatisticamente segue um comportamento de distribuição normal/Gaussiana (simétrica)”. Essa verificação é fundamental porque muitas análises estatísticas, como testes paramétricos, métodos de estimação de parâmetros, construção de intervalos de confiança e modelagem de frequências de eventos extremos, assumem a normalidade dos dados como pré-requisito. Conforme destaca Hipel & McLeod (1994), a validação da normalidade permite escolher os métodos estatísticos mais adequados para o tratamento das séries temporais, evitando a aplicação incorreta de modelos que poderiam gerar resultados distorcidos ou interpretações equivocadas.

$$W = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)} \right)^2}{\sum_{i=1}^n \left(x_{(i)} - \bar{x} \right)^2} \quad (1)$$

Onde: n = tamanho da amostra (número de observações); $x_{(i)}$ = i -ésimo valor da amostra, ordenado em ordem crescente (menor para maior); $\bar{x}$ = média amostral; $a_{(i)}$ = coeficientes calculados com base na variância e covariância dos valores esperados de uma amostra normal padrão ordenada (obtidos de tabelas ou algoritmos próprios do teste).

O nível de confiança adotado neste estudo foi de 95% (nível de significância igual a 0,05). A estatística descritiva, assim como a aplicação dos referidos métodos, foi desenvolvida com auxílio do RStudio (versão 2024.12.1), sendo um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE - *Integrated Development Environment*), que oferece interface gráfica para programação em R.

Etapa IV - Espacialização da precipitação na bacia hidrográfica

A espacialização dos dados de precipitação é fundamental para compreender a variabilidade pluviométrica ao longo de toda a extensão da bacia hidrográfica. Esse processo considera a contribuição das estações pluviométricas selecionadas, localizadas tanto dentro quanto nas proximidades da área da bacia. Entretanto, a ausência de uma distribuição homogênea dessas estações pode gerar zonas de incerteza nos resultados, comprometendo a representatividade espacial das estimativas (Righi & Basso, 2016; Almeida, 2017; Rodrigues, 2020). A espacialização dos dados de chuva, portanto, possibilita uma análise mais abrangente dos padrões pluviométricos e de suas implicações para a gestão dos recursos hídricos e o planejamento territorial. Para avaliar o comportamento da variabilidade pluviométrica na Bacia do Rio Corrente, foram aplicadas duas técnicas de interpolação espacial: o Método dos Polígonos de Thiessen (ou Diagrama de Voronoi) e a Interpolação por Ponderação do Inverso da Distância (IDW).

O Método dos Polígonos de Thiessen é recomendado quando as estações pluviométricas apresentam distribuição irregular na bacia, pois atribui pesos proporcionais à área de influência de cada posto (Gomig et al., 2007; Assis et al., 2021; Siqueira et al., 2024). A precipitação média da bacia é obtida a partir de uma média ponderada, na qual o peso de cada estação corresponde à área do respectivo polígono. Por outro lado, o método IDW é uma técnica determinística que estima os valores de precipitação em locais não amostrados por meio de uma média ponderada dos valores observados nas estações vizinhas (Jakob & Young, 2006; Rocha et al., 2019; Fonseca, Augustin, Bezerra & Rocha, 2010). De acordo com El halwagy (2004), o peso atribuído a cada estação é inversamente proporcional à distância entre o ponto interpolado e a estação de referência. Essa técnica permite gerar representações espaciais contínuas e detalhadas da precipitação, evidenciando gradientes e padrões que podem não ser capturados pelo método de Thiessen. A partir da interpolação IDW, foram produzidos mapas de isoietas que representam a distribuição espacial da precipitação média anual na bacia. Dessa forma, a aplicação conjunta do Diagrama de Voronoi e do IDW permite uma caracterização mais precisa das áreas de influência das estações e dos padrões espaciais de precipitação na Bacia do Rio Corrente (Rocha et al., 2019).

Etapa V - Análise dos índices de extremos climáticos

A análise dos índices de extremos climáticos foi realizada utilizando o *software* RCLimDex (*R-based Climate Data Extremes*), desenvolvido por especialistas do *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI) em parceria com o *Climate Research Division* (CRD) (Owoicho et al., 2022). O programa permite o cálculo de 27 índices de extremos climáticos, dos quais 16 estão relacionados à temperatura e 11 à precipitação. Para a execução das análises, é imprescindível que os dados de entrada sejam organizados em formato diário (Silvestre, 2016). A principal funcionalidade do RCLimDex consiste em padronizar o processamento e a análise de séries históricas de dados diários, assegurando resultados consistentes e comparáveis em escala global (Assis et al., 2021). No presente estudo, o *software* foi empregado para o cálculo dos índices de extremos climáticos associados à precipitação, conforme descrito na Tabela 3.

A existência de uma tendência com significância estatística ao longo da série histórica para cada um dos índices calculados foi investigada utilizando o Teste de Mann-Kendall, um teste não paramétrico amplamente utilizado em análises de séries temporais (Yue & Wang, 2002). Este método é utilizado pelo RCLimDex para identificar se existe tendência estatisticamente significativa. O Método de Mann-Kendall (Equação 2) foi utilizado para a detecção de tendências monotônicas (crescentes ou decrescentes) nos dados hidrológicos, sem a necessidade de que os dados sigam uma distribuição normal. Nesse teste, a hipótese nula (H_0) afirma que “a série histórica testada não apresenta tendência (é estacionária)”, ou seja, não há tendência nem positiva nem negativa. A significância (valor-p) representa a probabilidade de observarmos um resultado tão extremo quanto o obtido, assumindo que a hipótese nula (H_0) é verdadeira. Assim, quanto menor esse valor, maior é a evidência contra H_0 e maior a indicação de que existe uma tendência na série (Salviano et al., 2016). Antes da aplicação do teste de Mann-Kendall, a independência temporal das séries foi avaliada por meio do teste de Ljung-Box, com o objetivo de verificar a existência de autocorrelação serial que pudesse comprometer os pressupostos do teste de Mann-Kendall. Para as séries que apresentaram dependência temporal significativa, foi empregada a versão modificada do teste de Mann-Kendall proposta por Yue & Wang (2004), a qual considera os efeitos da autocorrelação por meio do ajuste do tamanho efetivo da amostra. Essas análises foram realizadas através do *software* RStudio, versão 2026.05.1.

Tabela 3: Índices de Extremos Climáticos.

Índice		Unidade	Descrição
Sigla	Definição		
Rx1day	Máxima precipitação anual em 1 dia.	mm	O índice calcula a intensidade de chuva que pode causar inundações bruscas, trazendo precipitação mais intensa do ano.
Rx5day	Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos.	mm	É a máxima precipitação acumulada em 5 dias consecutivos durante o ano serve como um indicador para possibilidade de deslizamento.
SDII	Índice de intensidade de precipitação simples.	mm	Precipitação Anual dividida pelo número de dias com chuva (mm). Indica a intensidade média da precipitação durante o ano.
R10mm	Número de dias no ano com RR >= 10mm.	dias	Este índice calcula a quantidade de dias com precipitação acima de 10mm.
R20mm	Número de dias no ano com RR >= 20mm.	dias	Este índice calcula a quantidade de dias com precipitação acima de 20mm.
Rnnmm (R25mm)	Número de dias no ano com RR >= nn/25mm.	dias	Este índice calcula a quantidade de dias com precipitação acima de 25mm ou varia para cada região por exemplo pode ser também para dias com chuva acima de 50mm.
CDD	Número máximo de dias consecutivos sem chuva no ano.	dias	Este índice reflete a duração de períodos de estiagem.
CWD	Número máximo de dias consecutivos com chuva no ano.	dias	Este índice reflete a duração de períodos chuvosos.
R95pTOT	Precipitação anual total dos dias em que RR > percentil 95.	mm	É o número de dias de chuva maiores que o valor de chuva do 95º percentil para um determinado período.
R99pTOT	Precipitação anual total dos dias em que RR > percentil 99.	mm	É o número de dias chuvosos por ano maior que o valor da precipitação no percentil 99 para um determinado período.
PRCPTOT	Precipitação anual total dos dias úmidos.	mm	Calcula a precipitação total do ano.

Fonte dos dados: Baseado em ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices, 2009).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

$$Z = \{S - 1VarS, \text{ se } S > 00, \quad \text{ se } S = 0S + 1VarS, \text{ se } S < 0$$

Onde: n = número de observações na série temporal; x_j, x_k = valores da série nas posições J e k; para $n > 10$, a estatística S pode ser aproximada por uma distribuição normal com média zero e variância Var(S), permitindo o cálculo do valor de z, estatística padronizada.

A adoção do p-valor varia de acordo com o rigor que é dado à análise dos dados, sendo que, normalmente podem ser utilizados p-valor $\leq 0,10$ (Salviano et al., 2016; Silva, 2013; Assis et al., 2021; Costa et al., 2020; Reis, 2020), p-valor $\leq 0,05$ (Salviano, Groppo & Pellegrino, 2016; Silva, 2013; Moreira et al., 2021; Siqueira et al., 2024; Assis et al., 2021; Costa et al., 2020; Reis, 2020;) e/ou p-valor $\leq 0,01$ (Salviano et al., 2016; Costa et al., 2020; Reis, 2020). Desta forma, para o presente trabalho adotou-se uma confiança estatística de 95% (p-valor $\leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio das diferentes etapas metodológicas propostas, foi possível a obtenção dos resultados deste trabalho, os quais são apresentados nesta seção a partir dos seguintes itens: (I) Análise descritiva e inferencial dos dados; (II) espacialização da precipitação; e (III) aplicação dos índices de extremos climáticos.

I - Análise descritiva e inferencial dos dados

Concluída a etapa de identificação e seleção das estações, procedeu-se à análise estatística descritiva das séries históricas, etapa essencial para a caracterização do regime pluviométrico, a quantificação da variabilidade interanual e a avaliação do comportamento probabilístico das Chuvas Máximas Anuais (CMA) nas estações analisadas (Radomsky et al., 2015; Silva et al., 2010). As principais métricas de posição, dispersão, robustez e forma foram sintetizadas na Tabela 4, incluindo medidas de tendência central (Média e Quartis), extremos anuais (mínimo e máximo), índices de forma da distribuição (assimetria/*skewness* e curtose), métricas de robustez (Média Aparada e MAD), além de indicadores de confiabilidade da série (*n*) e do erro padrão (SE).

As médias das Chuvas Máximas Anuais (CMA) das nove estações selecionadas situam-se, predominantemente, entre 73,09mm e 83,80mm. No entanto, a média aritmética é uma estatística sensível à presença de valores extremos (*outliers*), podendo distorcer a representação do comportamento central da série (Wilcox, 2012). Para avaliar essa distorção, compararam-se a média, a mediana e a média aparada (média aparada), ambas reconhecidas como métricas robustas de tendência central. A estação 1344014 apresenta o caso mais evidente de influência de valores extremos, com média igual a 82,47mm, superior à mediana (75,10mm) e à média aparada (76,45mm). Essa discrepância indica que poucos eventos de precipitação excepcionalmente elevada deslocam o valor médio para cima, reduzindo sua representatividade estatística. A mesma condição se reflete nas medidas de dispersão: o desvio padrão (*sd* = 40,43mm) é aproximadamente o dobro do Desvio Absoluto Mediano (MAD = 20,31mm), indicando que a variabilidade da série é fortemente influenciada por eventos extremos (Mendehall & Sincich, 2012). Em contraste, a estação 1346006 apresenta comportamento mais homogêneo, com valores próximos para média (73,09mm), mediana (74,50mm) e média aparada (73,08mm), além da menor amplitude observada entre as nove estações (AT = 56,00mm).

A análise dos índices de forma é fundamental para subsidiar a seleção adequada dos modelos probabilísticos de frequência (Wilks, 2006). O coeficiente de assimetria (S_k) quantifica o grau de simetria da distribuição, sendo $S_k = 0$ característico de uma distribuição normal. Conforme a Tabela 4, sete das nove estações apresentaram assimetria positiva ($S_k > 0$), configuração típica de séries de precipitação, nas quais ocorre uma cauda alongada à direita (Chow et al., 1988). Isso implica que, embora a maior parte dos anos apresente valores próximos ao centro da distribuição, eventos de magnitude excepcional ocorrem com baixa frequência. As estações 1344014 ($S_k = 3,67$) e 1344016 ($S_k = 1,86$) destacam-se pela forte assimetria positiva, reforçando a presença de episódios intensos e esporádicos de chuva.

O coeficiente de curtose, por sua vez, avalia o grau de achatamento da distribuição e o peso relativo das caudas. Valores positivos (curtose > 0), característicos de distribuições leptocúrticas, quando a curva é mais alongada indicando maior probabilidade de ocorrência de eventos extremos do que seria previsto por uma distribuição normal (Wilks, 2006; Nascimento, 2021; Gabriel, 2024). A estação 1344014 apresenta novamente um comportamento singular, com curtose igual a 16,27, sugerindo uma distribuição concentrada e com caudas extremamente pesadas, o que implica um risco significativo de eventos pluviométricos excepcionais. Em oposição, a estação 1346006 ($S_k = -0,06$; curtose = -0,99) apresenta uma distribuição próxima à simetria e com caudas mais leves, característica de distribuições platicúrticas, indicando menor ocorrência de extremos.

Tabela 4: Resultado da estatística descritiva das estações selecionadas.

Estação	Min (mm)	Q1 (mm)	Mediana (mm)	Média (mm)	Q3 (mm)	Máx (mm)	DP (mm)	n	Média Aparada (mm)	MAD (mm)	AT (mm)	S_k	Curtose	SE (mm)
1344002	40,80	57,50	73,60	73,19	79,80	134,20	23,13	39	71,18	19,27	93,42	0,76	0,27	3,70
1344014	47,00	64,30	75,10	82,47	89,00	291,00	40,43	37	76,45	20,31	244,00	3,67	16,27	6,65
1344016	42,30	56,08	67,95	74,13	77,80	171,30	23,13	39	71,85	15,12	129,00	1,86	5,68	3,70
1343008	8,60	56,08	67,95	73,26	77,80	177,70	30,93	42	69,83	17,20	169,10	1,50	3,48	4,77
1344013	42,10	70,50	81,80	83,80	97,30	146,80	22,16	43	82,50	18,68	104,70	0,78	0,97	3,38
1344015	37,40	62,20	81,00	80,40	96,00	163,40	24,93	37	79,16	27,43	126,00	0,85	1,34	4,10
1344017	40,40	64,40	73,90	78,45	92,00	163,20	24,14	42	76,10	16,23	122,80	1,25	2,14	3,73
1345000	12,40	62,55	76,20	75,27	95,65	152,20	27,84	35	76,97	23,43	139,80	-0,21	0,87	4,71
1346006	44,20	62,00	74,50	73,09	83,00	100,20	15,59	25	73,08	15,42	56,00	-0,06	-0,99	3,12

Fonte dos dados: A partir do Software RStudio. Min: Mínimo; Q1: Primeiro quartil; Q3: Terceiro quartil; Máx: Máximo; DP: Desvio Padrão; n: Número de observações; MAD: Desvio Absoluto Mediano; AT: Amplitude Total; S_k : *skewness* (assimetria); Curtose (medida de achatamento ou pico da distribuição); SE: Erro Padrão da média.

O número de observações (n) de CMA das séries históricas variou de 25 anos (estação 1346006) a 43 anos (estação 1344013). Séries mais curtas tendem a introduzir maior incerteza na estimativa de parâmetros hidrológicos, especialmente aqueles associados a tempos de retorno elevados, o que deve ser considerado nas etapas subsequentes de modelagem e análise de frequência. Complementarmente, a Figura 5 apresenta as séries temporais das CMA para as nove estações, permitindo visualizar tendências, flutuações interanuais e possíveis sinais de não estacionariedade ao longo do período de observação. No conjunto, os resultados demonstram que a bacia apresenta um regime de extremos pluviométricos heterogêneo, com algumas estações fortemente influenciadas por eventos de alta magnitude, enquanto outras exibem comportamento mais estável e distribuído. Essa heterogeneidade deve ser considerada nas etapas subsequentes de modelagem de frequência, seleção de distribuições probabilísticas e dimensionamento hidrológico.

Os gráficos apresentados na Figura 5 permitem algumas inferências que reforçam os resultados da Tabela 4. Primeiramente, fica evidente a alta variabilidade interanual em todas as estações, caracterizada por picos e vales acentuados, o que é típico de regimes de precipitação de eventos extremos. Em segundo lugar, os gráficos permitem uma avaliação visual da estacionariedade da série. Em nenhuma das nove estações é possível identificar uma tendência monotônica (aumento ou diminuição) clara e persistente ao longo dos anos. As séries parecem flutuar em torno de suas médias históricas, sugerindo que elas são estacionárias (que permanecem constantes) em média. Os gráficos destacam visualmente os eventos extremos (*outliers*) identificados nas estatísticas descritivas. O gráfico da estação 1344014 (Figura 5h), por exemplo, apresenta o pico extremo de 290mm, que se distancia dos demais registros, explicando a alta assimetria (3,67) e curtose (16,27) calculadas para esta série. Em contrapartida, o gráfico da estação 1346006 (Figura 5a) apresenta uma flutuação visivelmente menor e ausência de picos extremos, o que é consistente com sua baixa amplitude (56,00mm), comparada com as demais e distribuição simétrica (assimetria = -0,06). Para aprofundar a análise da distribuição de frequência, a Figura 6 apresenta os diagramas de *Boxplot* para as nove estações, o que permite a comparação direta da tendência central (mediana), da dispersão através da amplitude interquartil (*InterQuartile Range* - IQR) e *outliers*.

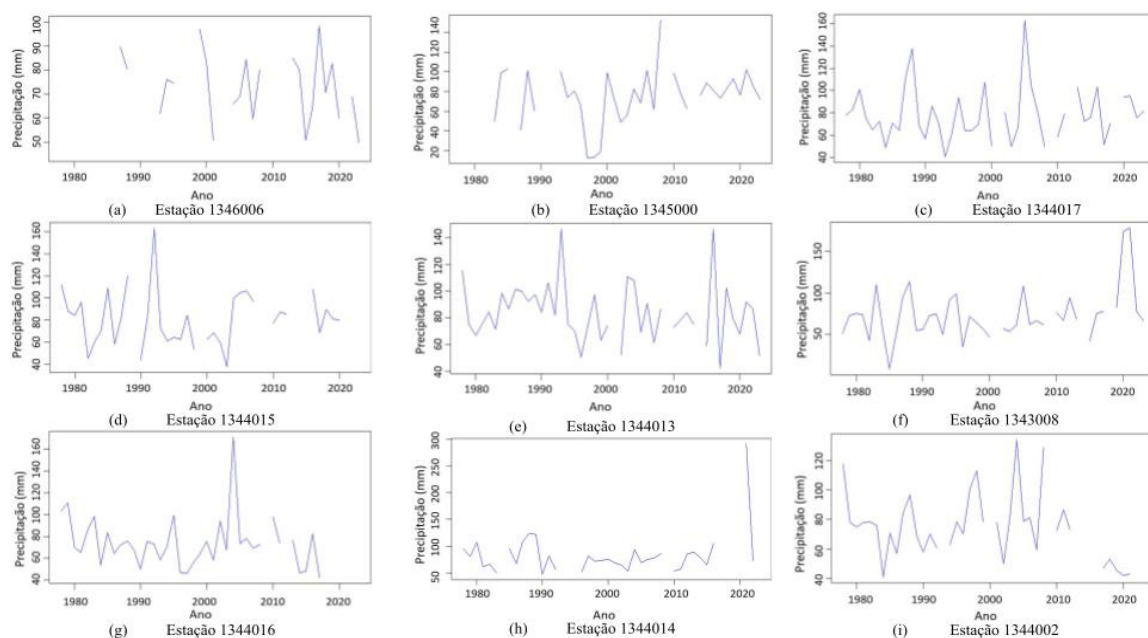


Figura 5: Séries Temporais das CMA em milímetros (mm) para as estações pluviométricas da bacia em estudo.

A análise comparativa da Figura 6 reforça as conclusões obtidas nas tabelas descritivas. As medianas (linhas centrais) localizam-se de forma relativamente consistente entre 70mm e 80mm na maioria das estações, com exceção do posto 1344013 (mediana = 81,80mm), que apresenta o corpo central da distribuição em um patamar ligeiramente superior. A principal contribuição dos *Boxplots* é a visualização da assimetria e dos extremos. Destaca-se a estação 1344014, que registrou o evento extremo de maior magnitude (291,00mm) entre todas as estações, o que confere aos dados uma

distribuição assimétrica, caracterizada por uma cauda longa à direita. Outras estações, como a 1344016, 1343008 e 1344017, também exibem *outliers* de alta magnitude, reforçando sua assimetria positiva. É notável também a presença de *outliers* inferiores nas estações 1343008 e 1345000, que representam os anos com valores de CMA com menores magnitudes (8,60mm e 12,40mm, respectivamente).

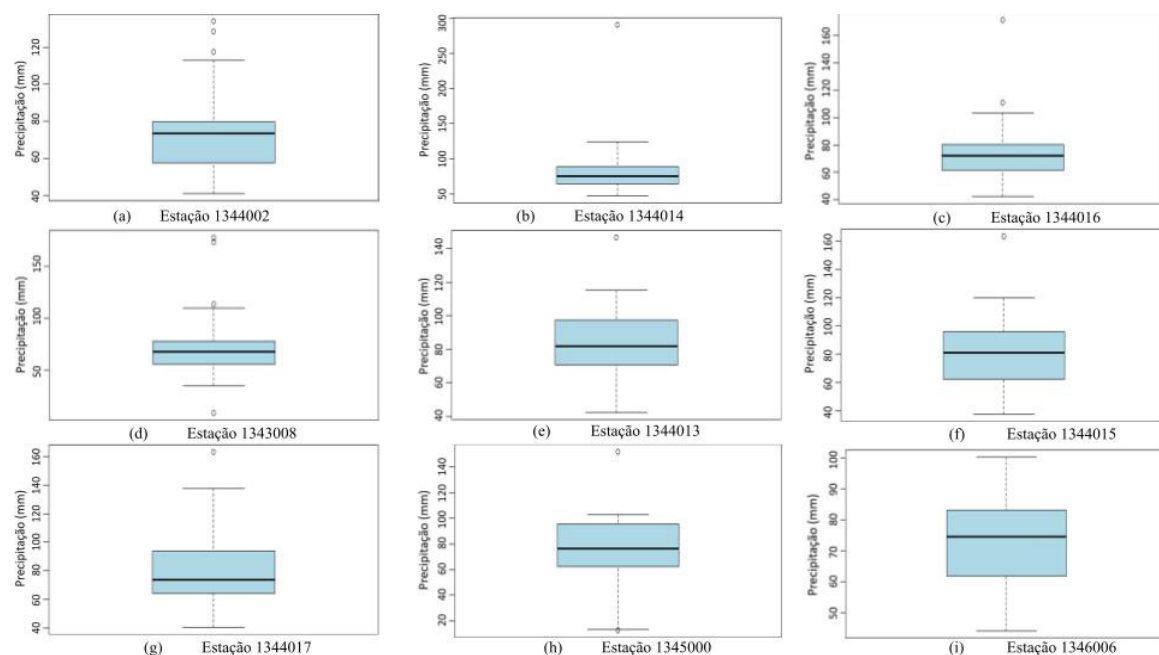


Figura 6: Boxplot comparativos para as séries de CMA (mm). A linha central espessa representa a mediana.

Ressalta-se que todos os valores identificados como *outliers* foram mantidos nas etapas de cálculo dos índices de extremos climáticos e nas análises de tendência. Essa decisão foi adotada considerando que os dados passaram previamente por procedimentos de controle de qualidade e análise de consistência, não sendo identificadas evidências de erros de medição, falhas de registro ou inconsistências que justificassem sua exclusão. Somado a isso, como o objetivo do estudo é investigar a variabilidade e as tendências associadas aos eventos extremos de precipitação, a remoção desses valores poderia resultar na subestimação da magnitude e da frequência dos fenômenos extremos, comprometendo a representatividade física da série histórica e a adequada caracterização das condições climáticas locais.

Dentre as estações em análise, o posto 1346006 serve como contraponto. O gráfico apresenta uma caixa compacta com a mediana perfeitamente centralizada e ausência total de *outliers*. Em suma, os *Boxplots* validam visualmente a natureza não-normal da maioria das séries e a importância dos *outliers*, que não são erros, mas sim o objeto de estudo da análise de frequência de extremos. Para completar a análise exploratória visual, a Figura 7 apresenta os histogramas de frequência para as nove séries de CMA. Estes gráficos ilustram a forma da distribuição dos dados, mostrando a contagem de anos (Frequência) para diferentes faixas de precipitação.

A análise visual dos histogramas atesta os índices de assimetria (S_k) e curtose apresentados na Tabela 4. A maioria das estações exibe um padrão unimodal com uma clara assimetria positiva (cauda à direita), que é o comportamento clássico esperado para variáveis hidrológicas de extremos. Padrão similar, embora menos pronunciado, é visto nas estações 1344016 e 1343008. Em contrapartida, a estação 1346006 apresenta uma distribuição notavelmente diferente, com barras de frequência distribuídas de forma mais uniforme e simétrica, sem uma cauda pronunciada.

Em suma, a análise gráfica (Figuras 7) e descritiva (Tabelas 4) é coesa e aponta que a maioria das séries de CMA é não-normal, assimetria positiva e leptocúrtica. Estes resultados excluem o uso da distribuição Normal para a modelagem de frequência e reforçam a necessidade de aplicar testes formais de pré-requisitos antes de ajustar distribuições de valores extremos (DVE).

II – Espacialização da precipitação

A espacialização de chuvas anuais de cada estação utilizando os métodos do polígono de Thiessen e interpolação IDW, são representados na Figura 8. Por meio do método do polígono de

Thiessen a precipitação média anual obtida foi de 983mm, enquanto estimou-se 971mm pelo método da interpolação IDW. Reis, (2020) ao analisar as áreas com precipitações homogêneas na região de MATOPIBA, observaram que o espaço onde a bacia do rio Corrente está inserida é compreendido por três zonas que possuem diferentes padrões pluviométricos. Em uma área que vai da alta até a baixa bacia, foi observada uma precipitação média anual de 970mm, no entanto, foram identificadas duas pequenas porções na região alta da bacia que possuem precipitações médias anuais de 1.206mm e 1.400mm (Reis, 2020). Além disso, Pruski et al. (2004) ao analisarem a bacia do rio São Francisco, observaram que a precipitação média anual na região onde está inserida a bacia do rio Corrente varia de 800mm a 1.200mm.

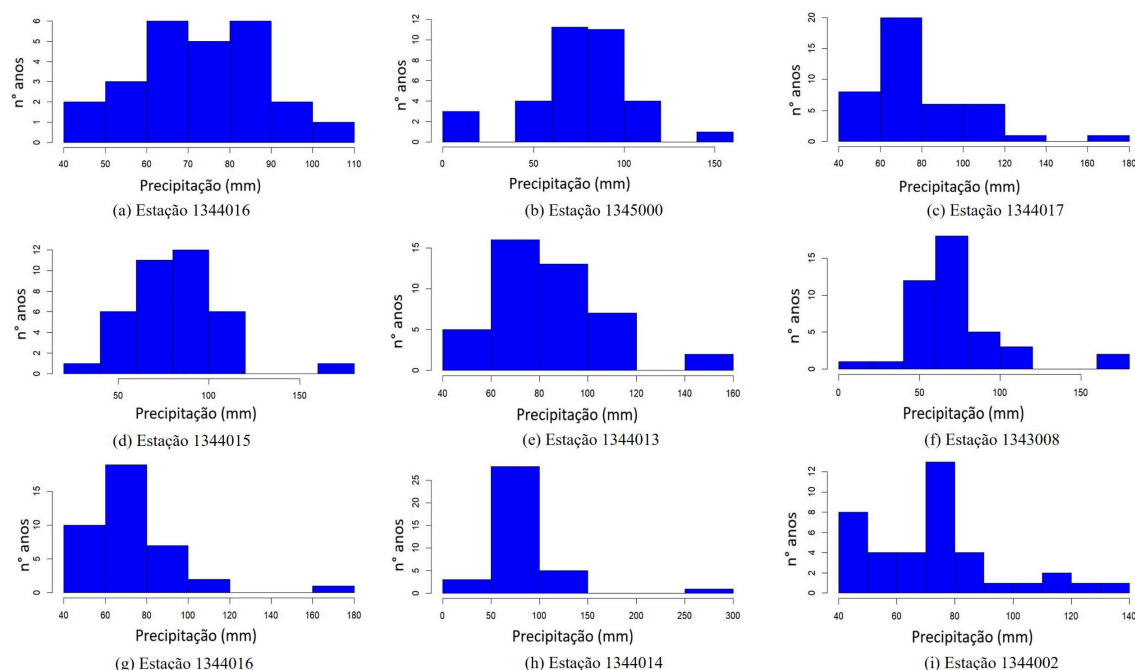


Figura 7: Histogramas de distribuição de frequência para as séries de CMA. O eixo Y representa o número de anos, e o eixo X, as classes de precipitação.

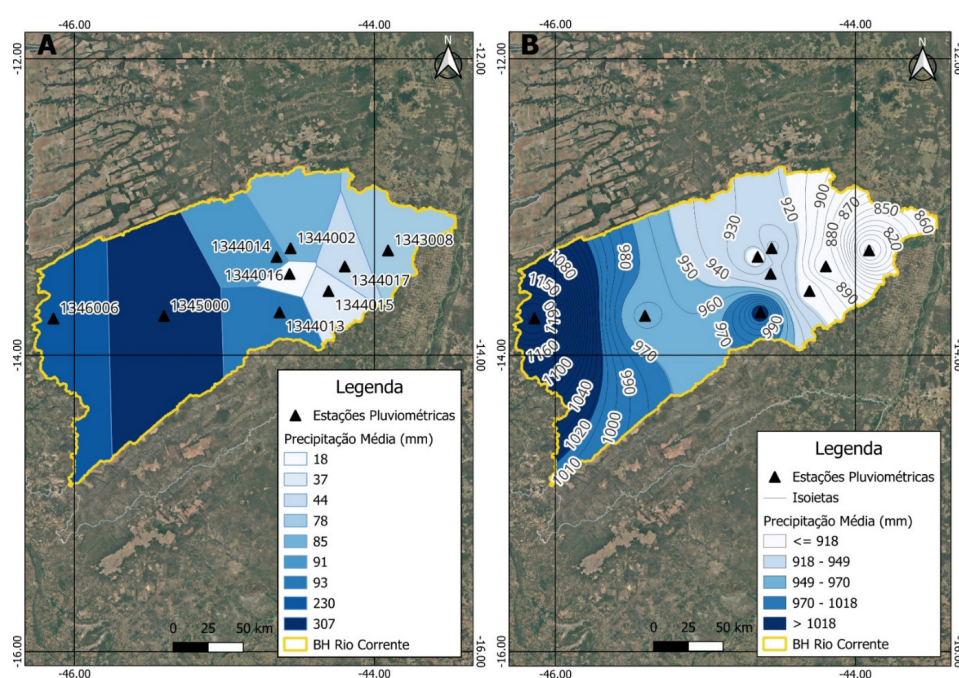


Figura 8: Resultado da aplicação dos métodos de espacialização de precipitação. BH - Bacia Hidrográfica.

Dessa forma, percebe-se que os resultados obtidos pelo método do polígono de Thiessen e pela interpolação IDW são condizentes aos encontrados em literatura, mesmo que o período de dados seja diferente. No entanto, a diferença do resultado obtido para cada método decorre das particularidades dos seus procedimentos de cálculo. Todavia, o método do polígono de Thiessen não apresenta resultados satisfatórios quando a área possui terreno acidentado (Marciano et al., 2018) justificando assim a escolha da interpolação IDW para representar a espacialização da precipitação, uma vez que a bacia do rio Corrente possui altitudes que variam 418,50 m a 1.010,64m, conforme apresentado na Figura 4.

Somado a isso, é possível observar por meio dos dois métodos que a precipitação na bacia do rio Corrente varia em função das altitudes. Sendo assim, as maiores precipitações estão concentradas na parte alta da bacia (porção oeste) e reduzem-se ao longo da média e baixa bacias (porção leste), possuindo as menores precipitações próximas à foz. Este comportamento foi identificado por Alvares et al. (2013), onde os autores apresentam que existe um gradiente de precipitação anual que varia longitudinalmente de leste a oeste na região onde está inserida a bacia do rio Corrente. No entanto, este comportamento não está associado apenas à bacia do rio Corrente, pois foi reconhecido ao longo de toda a bacia do rio São Francisco, onde as suas maiores precipitações estão localizadas na nascente e reduzem em direção à foz (Pruski et al., 2004).

A partir da interpolação IDW, foi possível identificar a distribuição da precipitação ao longo de linhas de mesma intensidade, ou seja, foram geradas as isoietas, conforme apresentado na Figura 8B. Segundo Mercuzzo et al. (2011), a interpolação IDW trata-se de um método computacional rápido e de ponderação simples, porém as isolinhas geradas normalmente não são suaves e pode ocorrer a geração de muitas ilhas de dados. No entanto, o resultado obtido é capaz de representar de maneira coerente a variação da precipitação ao longo da bacia hidrográfica. Assim, os resultados da interpolação IDW em conjunto com as isoietas que foram geradas servem de recurso para os gestores locais, uma vez que conseguem representar a variabilidade das precipitações ao longo da bacia do rio Corrente, servindo de ferramenta para identificar áreas mais propícias a maiores ou menores volumes de chuva, possibilitando assim uma resposta aos possíveis problemas decorrentes destes cenários.

III – Aplicação dos índices de extremos climáticos

A análise de tendência para os 11 índices de precipitação foi realizada por meio do teste inferencial não paramétrico de Mann-Kendall ou a versão modificada do teste de Mann-Kendall proposta por Yue & Wang (2004), com a utilização do RStudio. Os resultados revelam uma dicotomia clara: enquanto os índices relacionados à duração dos eventos (CDD e CWD) mostram padrões com maior coesão espacial, ou seja, o resultado não é um caso particular de uma das estações, os índices de intensidade (SDII, R95p, R99p, RX1day e RX5day) e frequência (R10mm, R20mm, R25mm) apresentam alta variabilidade local. A Tabela 5 apresenta os valores estimados de *Slope*, obtidos através da análise com o RCLimDex. Esses valores são apresentados para os índices que demonstraram tendência com significância estatística na série histórica, podendo essa ser positiva (aumento) ou negativa (redução) para o índice calculado.

Tabela 5: Resultado das Análises dos Índices de Extremos Climáticos do RCLimDex.

Índices	1343008	1344002	1344013	1344014	1344015	1344016	1344017	1345000	1346006
CDD	+1,35*	+0,79*	+0,89*	+1,04*	+1,19*	+0,93*			
CWD			-0,099 ^a				-0,74 ^a		-0,08*
PRCPTOT		-6,89*					-6,13 ^a		-10,19*
R10mm		-0,18 ^a			-0,16 ^a	-0,18 ^a	-0,19 ^a	+0,18*	
R20mm						-0,17*	-0,11 ^a	+0,14*	-0,17 ^a
R25mm						-0,152*		+0,11*	
R95p		-5,67*							-5,79*
R99p	+1,98*								-2,38 ^a
RX1day	+0,73*	-0,51*							-0,72*
RX5day		-0,91 ^a							-1,27*
SDII	+0,16*			+0,06*	+0,12*				

Fonte dos dados: * (significância estatística p-valor ≤ 0,05). ^a (significância estatística p-valor ≤ 0,10). + (tendência estatística positiva). - (tendência estatística negativa). Os espaços vazios representam a falta de significância estatística.

O número máximo de dias consecutivos sem chuvas (CDD) foi o índice que apresentou significância estatística com uma maior distribuição ao longo da bacia do Rio Corrente. Observou-se um aumento generalizado na duração dos períodos de estiagem, conforme a Tabela 5. Essa tendência positiva (p -valor $\leq 0,05$) foi observada em seis estações de monitoramento (1343008, 1344002, 1344013, 1344014, 1344015, 1344016). A Figura 9, ilustra esta tendência, apresentando a série temporal e a linha de tendência (*Slope*) para essas estações.

A análise do CDD através da Figura 9 indica a validação para os dados quantitativos resumidos na Tabela 1. Em cada um dos gráficos, a linha contínua representa a série histórica do índice, ilustrando a variabilidade interanual da duração das estiagens. A linha tracejada representa a tendência estimada pelo método de Sen's *Slope*, que indica a direção e a magnitude da mudança ao longo do período. A reta linear exibida corresponde à representação gráfica padrão do RCLimDex e não foi utilizada para inferência estatística. A estação 1343008, por exemplo, exibe a tendência mais acentuada (*Slope* = +1,35dias/ano, p -valor = 0,002), com variabilidade e picos históricos ultrapassando 150 dias secos. Um comportamento similar é observado na estação 1344013, que apresenta um aumento robusto de +0,89dias/ano (p -valor = 0,026). Por sua vez, as outras quatro estações, embora com magnitudes de mudança ligeiramente menores, confirmam esta tendência de forma estatisticamente significativa. A estação 1344016 mostra um aumento de +0,93dias/ano (p -valor = 0,046), seguida pela estação 13441014 com +1,04dias/ano (p -valor = 0,027), a estação 1344015 com +1,19dias/ano (p -valor = 0,003), e a estação 1344002 com um crescimento de +0,79dias/ano (p -valor = 0,02). Assim, percebe-se que o número máximo de dias consecutivos sem chuva aumentou de forma estatisticamente significativa a magnitude dessa mudança, refletida na inclinação da linha de tendência, variou entre +0,79 e +1,35 dias por ano ao longo do período de estudo. Do mesmo modo, Siqueira et al (2024), ao analisarem os índices de extremos climáticos de precipitação na região do MATOPIBA com série de dados entre 1950-2004, através de agrupamentos em *clusters* pelo método Ward com base nos valores máximos do SDII, encontraram que a região onde está inserida a bacia do rio Corrente apresentou índice CDD com significância estatística (p -valor $\leq 0,05$) com um valor de +0,669dias/ano, ou seja, uma tendência de aumento do período de estiagem local.

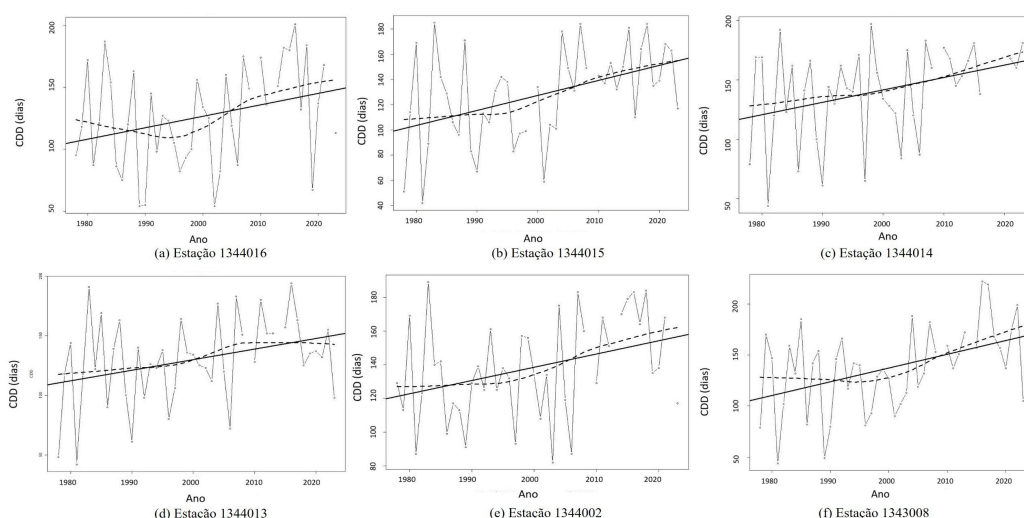


Figura 9: Índice CDD calculado. O eixo Y representa o valor do índice e o eixo X representa os anos.

Em contrapartida, o número máximo de dias consecutivos com chuva (CWD) indicou uma tendência negativa (redução) em três estações: 1344013, 1344017 e 1346006, com p -valor entre 5% e 10%. Ao aplicar o critério mais rigoroso (p -valor $\leq 0,05$), a tendência de redução na duração dos períodos chuvosos contínuos manteve-se com significância estatística apenas na estação 1346006. A Figura 10 traz de forma visual os resultados para o índice CWD.

O resultado mais robusto foi observado na estação 1346006, que apresentou uma tendência de redução significativa (p -valor = 0,028) no índice CWD. Embora a série temporal mostre alta variabilidade, com picos ocasionais acima de 20 dias, a linha de tendência confirma uma diminuição de -0,077dias/ano. As estações 1344013 e 1344017 também apresentaram tendências negativas, porém com significância estatística no nível de 10% (p -valor $< 0,1$). A estação 1344013 mostrou um *Slope* de -0,099 dias/ano (p -valor = 0,056), enquanto a estação 1344017 registrou uma diminuição de -0,074 dias/ano (p -valor = 0,096). Estes gráficos confirmam visualmente a tendência de redução na duração

dos períodos chuvosos contínuos para estas localidades. A Figura 11 ilustra a localização das estações e a distribuição das tendências significativas para CDD (representado por S+) e CWD (representado por S-) na área de estudo.

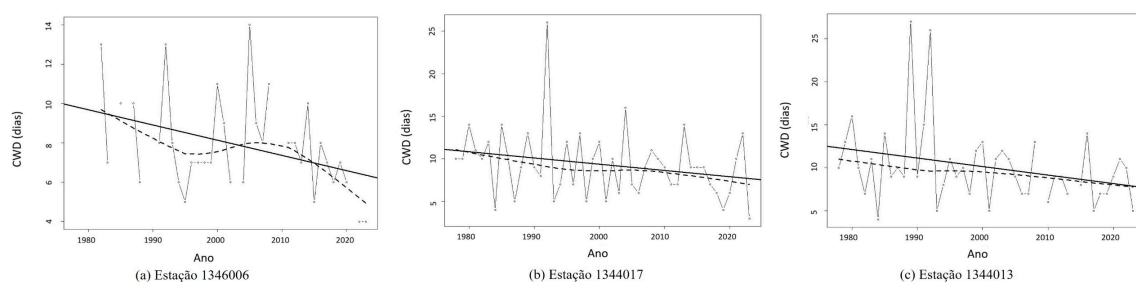


Figura 10: Gráfico dos resultados do Índice CWD.

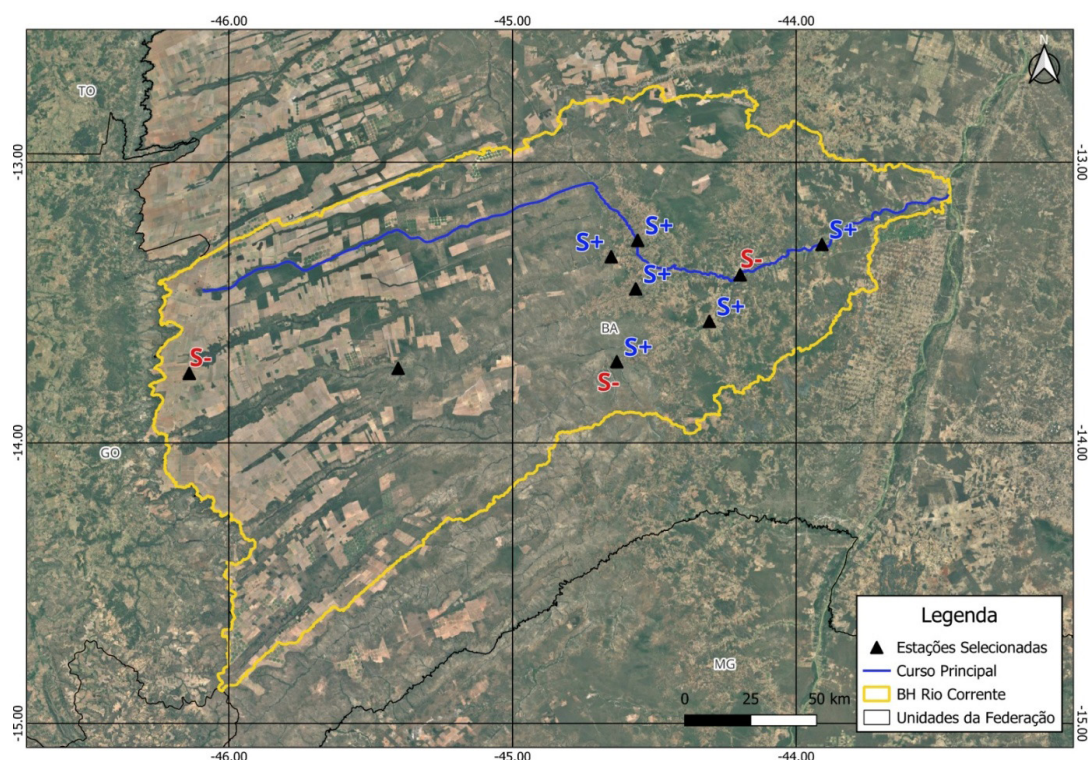


Figura 11: Distribuição espacial da Significância Estatística para CDD (Azul) e CWD (Vermelho). BH – Bacia Hidrográfica.

Do ponto de vista hidrológico, os resultados obtidos representam um importante indicativo de alterações no regime pluviométrico da bacia hidrográfica do rio Corrente. A tendência de aumento dos dias secos consecutivos (CDD), associada à redução dos dias úmidos consecutivos (CWD), sugere uma intensificação da irregularidade temporal das precipitações, caracterizada por períodos secos mais prolongados e menor persistência dos eventos chuvosos. Essas mudanças podem favorecer a ocorrência de secas meteorológicas mais frequentes ou severas, com potenciais reflexos sobre os processos de recarga hídrica, a manutenção das vazões de base e o balanço hídrico da bacia. De forma similar, foi observado por Lima (2025), por meio de agrupamentos pelo método Ward, que a região onde está inserida a bacia do rio Corrente apresentou comportamento de aumento do índice CDD e redução do índice CWD, além de ser identificada como a região mais árida, com longos períodos secos e precipitações rápidas.

Diferentemente dos índices de duração, os demais indicadores (PRCPTOT, R10mm, R20mm, R25mm, RX1day, RX5day, SDII, R95p, R99p) não apresentaram um padrão coeso, sendo os resultados considerados inconclusivos para a totalidade da área de estudo. Contudo, a análise pontual revelou focos isolados de mudanças significativas ($p\text{-valor} \leq 0,05$), muitas vezes com sinais opostos em diferentes localidades, indicando um processo de alteração heterogêneo na intensidade dos eventos, conforme

apresentado na Figura 12. A estação 1343008 destacou-se por apresentar tendências positivas para múltiplos índices de eventos extremos, como RX1day (Máxima precipitação em 1 dia), SDII (Intensidade média) e R99p (Precipitação de dias extremamente úmidos), sugerindo um aumento na severidade dos eventos de chuva nesta localidade. Em oposição, a estação 1346006 exibiu um comportamento de redução de intensidade e frequência, com tendências negativas para uma vasta gama de índices (incluindo PRCPTOT, R20mm, R95p, R99p, RX1day e RX5day). Um padrão similar de redução foi visto na estação 1344002, com diminuições em R95p, R99p, PRCPTOT, RX1day e R10mm. Um ponto observado em relação a estação 1344014 foi o fato de apresentar aumento no índice de duração CDD, em contrapartida apresentou uma tendência positiva para o índice de intensidade SDII. Por sua vez, a estação 1345000 apresentou significância estatística para 3 índices de frequência (R10mm, R20mm e R25mm) que indicam aumento da precipitação local, demonstrando um padrão diferente do encontrado para as outras estações com tendência estatisticamente significativa, o qual apresentou redução na precipitação.

A aparente natureza inconclusiva dos índices de intensidade (PRCPTOT, R95p, RX1day, etc.) em nível regional revela, na verdade, o maior desafio para a segurança hídrica da bacia: a extrema variabilidade espacial dos impactos. Os resultados, ao invés de se anularem, indicam que a bacia sofre de vulnerabilidades opostas, exigindo uma gestão de riscos localizada. Por um lado, em localidades que apresentam aumento da severidade dos eventos, como o RX1day e R99p (estação 1343008), o impacto na segurança hídrica é contraditório. Conforme amplamente discutido na literatura brasileira de hidrologia urbana, chuvas mais intensas não se traduzem em maior disponibilidade hídrica (Tucci, 2008). O que ocorre é um aumento crítico do escoamento superficial direto, elevando o risco de inundações bruscas e acelerando processos erosivos. Por outro lado, as localidades que registram tendência negativa no PRCPTOT e nos índices de frequência (Estações 1346006 e 1344002) enfrentam o desafio clássico da escassez hídrica. A redução do volume total de chuvas impacta diretamente a garantia hídrica da bacia, diminuindo a recarga dos reservatórios e a sustentação das vazões de base durante as estiagens (Agência Nacional de Águas, 2024). Este cenário de déficit hídrico localizado, intensifica a competição e os conflitos pelo uso da água entre os diversos setores.

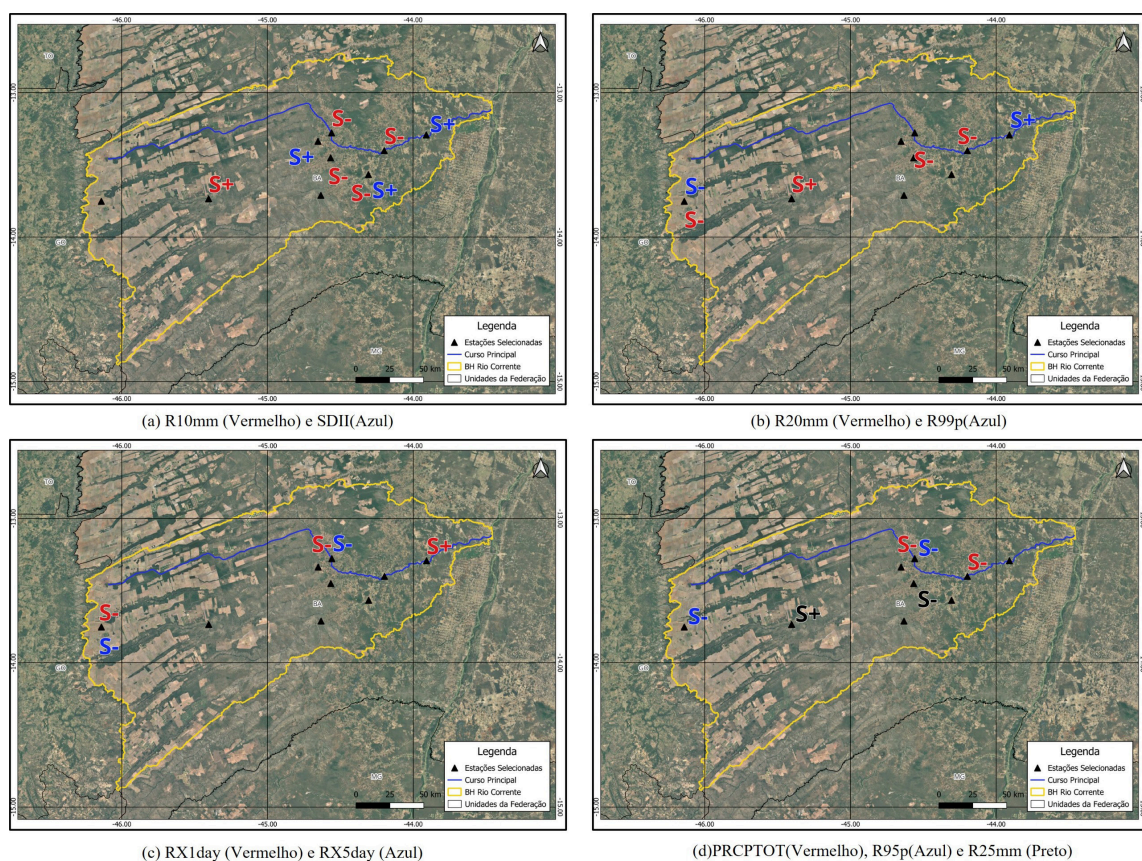


Figura 12: Distribuição espacial da Significância Estatística dos índices: PRCPTOT, R10mm, R20mm, R25mm, RX1day, RX5day, SDII, R95p, R99p. BH – Bacia hidrográfica.

Com base nos resultados alcançados, ressalta-se que a resposta hidrológica de uma bacia hidrográfica não depende exclusivamente das condições climáticas. A disponibilidade hídrica resulta da interação entre fatores climáticos, hidrológicos, fisiográficos e antrópicos, incluindo alterações no uso e cobertura do solo, processos de infiltração, evapotranspiração e recarga dos aquíferos, além das características geomorfológicas e pedológicas da bacia. Nesse sentido, Ferraz et al. (2026), ao avaliarem os impactos das mudanças climáticas e das alterações de uso e cobertura do solo na bacia do rio Corrente por meio do modelo SWAT, verificaram reduções expressivas em indicadores hidrológicos relevantes, incluindo a vazão de estiagem (Q90), a produção hídrica total e os fluxos subsuperficiais. Os autores destacam que os cenários climáticos exerceram influência mais significativa sobre os recursos hídricos da bacia do que as próprias mudanças de uso do solo, corroborando a hipótese de que alterações no regime de precipitação podem representar um importante fator de pressão sobre a dinâmica hidrológica regional.

Além disso, evidências observadas em escala regional reforçam a necessidade de uma abordagem integrada entre clima e uso da terra. Garcia & Vieira Filho (2018) destacam que a região do MATOPIBA tem apresentado modificações em sua dinâmica hídrica associadas simultaneamente às mudanças no regime pluviométrico e à expansão das atividades agrícolas irrigadas. De forma semelhante, Corrêa et al. (2025), ao analisarem a bacia do rio Urucua, identificaram redução significativa das vazões observadas ao longo das últimas décadas, mesmo na ausência de tendências estatisticamente significativas na precipitação média anual. Segundo os autores, esse comportamento pode estar relacionado ao aumento das demandas consuntivas e à expansão da agricultura irrigada, evidenciando que alterações hidrológicas podem decorrer da interação entre variabilidade climática e pressões antrópicas. Sob essa perspectiva, os resultados encontrados neste estudo sugerem que o aumento da duração dos períodos secos pode atuar de forma sinérgica com a intensificação das atividades agrícolas observadas no MATOPIBA, potencializando a vulnerabilidade hídrica da bacia do rio Corrente.

Os padrões identificados neste estudo também são consistentes com resultados observados em outras regiões do Brasil. Silva et al. (2017) e Assis et al. (2012), por exemplo, identificaram tendências de aumento do CDD e redução da precipitação em bacias hidrográficas do Nordeste brasileiro, associando esses comportamentos a um processo de intensificação da aridez climática. Embora a magnitude dos impactos varie em função das características locais de cada bacia, a persistência de períodos secos mais prolongados tende a aumentar a pressão sobre os recursos hídricos, elevando os riscos de escassez e de conflitos entre os múltiplos usos da água (Agência Nacional de Águas, 2024). Esse cenário pode ser particularmente relevante para a bacia do rio Corrente, cuja economia apresenta forte dependência da agricultura irrigada e de atividades intensivas em recursos hídricos.

De maneira geral, os resultados deste trabalho convergem com estudos recentes que investigaram os efeitos combinados das mudanças climáticas e das alterações no uso e cobertura do solo sobre os recursos hídricos (Koch et al., 2015; Khadka et al., 2023; Martins et al., 2024; Siqueira et al., 2024; Corrêa et al., 2025; Machado et al., 2025; Lima, 2025; Ferraz et al., 2026). Em conjunto, esses estudos demonstram que modificações nos padrões de precipitação, temperatura e ocupação do território podem alterar significativamente os processos hidrológicos, afetando a produção hídrica, as vazões, a recarga subterrânea e a segurança hídrica. Dessa forma, a avaliação integrada dos extremos climáticos constitui uma importante ferramenta para subsidiar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos em regiões sujeitas à crescente variabilidade climática e à intensificação das pressões antrópicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho permitiu compreender e analisar as tendências estatísticas dos índices de extremos climáticos de precipitação e seus possíveis impactos na disponibilidade hídrica local. Diante dos resultados obtidos, pode-se inferir que:

- Foi possível verificar a existência de tendência de eventos de extremos climáticos na bacia do rio Corrente, através dos índices calculados, com destaque para os índices CDD (dias consecutivos sem chuva) e CWD (dias consecutivos com chuva). À medida que o índice CWD tende a diminuir, o índice CDD tende a aumentar ao longo da bacia. Essa característica demonstra uma possível diminuição da disponibilidade hídrica na região, o que pode impactar negativamente na segurança hídrica local, gerando desafios para a produção agrícola e para a gestão dos recursos;
- O aumento CDD, aliado à alta demanda dos múltiplos usuários, reforça o estresse hídrico e a ameaça ao abastecimento humano. Dada a dependência da bacia em relação ao Aquífero Urucua para a manutenção das vazões de base, é importante implementar uma gestão hídrica integrada e sistêmica entre as águas superficiais e subterrâneas;
- A análise de tendência dos índices aponta para uma variabilidade espacial dos impactos dos

eventos extremos (secas e chuvas intensas). Este fato exige que a gestão de segurança hídrica seja localizada e flexível, abandonando uma abordagem uniforme. As estratégias de mitigação devem ser diferenciadas entre sub-bacias, priorizando a conservação do solo e controle de processos erosivos em certas áreas, além da otimização da reserva e da eficiência do uso da água em regiões com déficit hídrico prolongado;

- Apesar da relevância dos resultados alcançados, a insuficiência da rede de monitoramento pluviométrico constitui um obstáculo à representatividade espacial das análises. A concentração do estudo em apenas 9 estações (das 51 ativas), com maior densidade nas áreas média e baixa da bacia, impede que as análises sejam seguramente generalizadas para todo o território, em particular para as áreas de maior altitude. Para o aprimoramento da segurança hídrica e a precisão do planejamento, é necessário o investimento e a expansão estratégica da rede de coleta de dados, visando fornecer subsídios científicos com maior abrangência espacial;
- A coexistência de múltiplos setores usuários, somada à tendência de diminuição da disponibilidade hídrica e à alta vulnerabilidade social da região, intensifica o risco de conflitos pelo uso da água. É recomendável que os órgãos gestores invistam no desenvolvimento de mecanismos de governança hídrica fortalecidos e participativos. A segurança hídrica, neste contexto, deve ser tratada como uma questão social, assegurando a alocação prioritária da água para o consumo humano e a dessedentação animal em períodos de crise, conforme definidos pela Lei 9.433/97.
- Como recomendação para estudos futuros, sugere-se a ampliação da abordagem analítica adotada, incorporando um conjunto mais abrangente de variáveis ambientais e hidrológicas avaliadas de forma integrada para a área de estudo e outras bacias hidrográficas da região. Nesse contexto, destaca-se a relevância da inclusão de informações relacionadas ao uso e ocupação do solo, dados fluviométricos e índices de extremos climáticos associados à temperatura. A integração dessas variáveis pode contribuir para uma compreensão mais robusta das dinâmicas hidroclimáticas e de suas possíveis inter-relações com processos antrópicos e naturais. Ademais, a incorporação de séries temporais mais extensas e de metodologias estatísticas e geoestatísticas complementares pode aprimorar a capacidade interpretativa dos resultados, permitindo identificar padrões espaciais e temporais com maior precisão e subsidiar estratégias mais eficazes de gestão e planejamento ambiental.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) pelo apoio financeiro, por meio da concessão de bolsa de pesquisa, que contribuiu para a realização deste trabalho. Projeto nº PVG1163-2024. Processo n.º 084.0508.2025.0004575-00.

REFERÊNCIAS

- Abdissa, B. A., & Gemed, D. O. (2025). Climate extreme indices and its implication on crop production: The case of Mana district, Jimma Zone, Southwest Ethiopia. *Environmental and Sustainability Indicators*, 25, 100549. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100549>
- Agência Nacional de Águas – ANA. (2024). *Impacto da mudança climática nos recursos hídricos do Brasil*. Brasília: ANA. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/31604c98-5bbe-4dc9-845d-998815607b33/attachments/Mudancas_Climaticas_25012024.pdf
- Almeida, L. T. (2017). *Espacialização de chuvas intensas: uma nova proposta* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/68b4b49f-454a-4095-83f2-2f85c2bc6716/content>
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift (Berlin)*, 22(6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Assis, J. M. O., Sobral, M. C. M., & Souza, W. M. (2012). Análise de detecção de variabilidades climáticas com base na precipitação nas bacias hidrográficas do sertão de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 5(3), 630-643. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i3.232877>
- Assis, J. O. M., Menezes, A. F., Souza, W. M., & Sobral, M. C. M. (2021). Método de análise da variabilidade espaço-temporal da precipitação: aplicação na bacia hidrográfica do Rio Pajeú-Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 56(4), 554-567. <https://doi.org/10.5327/Z21769478866>
- Bogale, G. A., Kassa, A. K., & Maja, M. M. (2025). Changes in climate extreme indices and agricultural drought monitoring in the semi-arid areas of Borana zone, southern Ethiopia. *Heliyon*, 11(e42041), 2025. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42041>

- Brasil. (1997, 08 de janeiro). 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. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Recuperado em 22 de outubro de 2025, de https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- Corrêa, T. R., Matricardi, E. A. T., Filoso, S., Santos, J. A., Scariot, A. O., Torres, C. M. M. E., Martorano, L. G., & Pereira, E. M. (2025). Sustainability Under Deforestation and Climate Variability in Tropical Savannas: Water Yield in the Urucua River Basin, Brazil. *Sustainability (Basel)*, 17(18), 8169. <https://doi.org/10.3390/su17188169>
- Costa, R. L., Baptista, G. M. M., Gomes, H. B., Silva, F. D. S., Júnior, R. L. R., Salvador, M. A., & Herdies, D. L. (2020). Análise dos índices de extremos climáticos no Nordeste do Brasil de 1961 a 2014. *Weather and Climate Extremes*, 28, 100254. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100254>
- Costa, R. L., Baptista, G. M. M., Gomes, H. B., Silva, F. D. S., Júnior, R. L. R., Salvador, M. A., & Herdies, D. L. (2020). Análise dos índices de extremos climáticos no Nordeste do Brasil de 1961 a 2014. *Weather and Climate Extremes*, 28, 100254. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2020.100254>
- El halwagy, M. (2004). *Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst*. ArcUser, July-September, webapps.fundp.ac.be. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de https://www.academia.edu/1305722/Interpolating_Surfaces_in_ArcGIS_Spatial_Analyst
- Expert Team on Climate Change Detection and Indices – ETCCDI. (2009). *Definitions of the 27 core indices*. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de https://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml
- Ferraz, L. L., Santos, C. A. S., & Jesus, R. M. (2026). Increasing climatic and anthropogenic pressure on the Matopiba agricultural frontier and its impacts on water resources: a case study of the Corrente River Basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 157(5), 288. <https://doi.org/10.1007/s00704-026-06226-7>
- Fonseca, B. M., Augustin, C. H. R. R., Bezerra, D. P., & Rocha, L. C. (2010). O CÁLCULO DO ÍNDICE DE HACK EM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA: UMA ANÁLISE COMPARATIVA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO RIO PARDO E ALTO JEQUITINHONHA, NA SERRA DO ESPINHAÇO MERIDIONAL (SdEM)-MG. In *Anais do VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia*. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de https://www.researchgate.net/publication/320615033_O_CALCULO_DO_INDICE_DE HACK_EM_SISTEMA_DE_INFORMACAO_GEOGRAFICA_UMA_ANALISE_COMPARATIVA_DAS_BACIAS_HIDROGRAFICAS_DO_RIO_PARDO_E_ALTO_JEQUITINHONHA_NA_SERRA_DO_ESPINHACO_MERIDIONAL_SdEM-MG
- Formiga-Johnsson, R. M., & Britto, A. L. N. P. (2020). Segurança hídrica, abastecimento metropolitano e mudanças climáticas: considerações sobre o caso do Rio de Janeiro. *Revista Ambiente & Sociedade*, 23, e0117. <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190207r1vu2020L6TD>
- Gabriel, R. C. A. (2024). *Assimetria da volatilidade dos índices bolsistas dos BRICS* (Dissertação de mestrado). Instituto Politécnico de Lisboa, Lisboa. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <http://hdl.handle.net/10400.21/17578>
- Garcia, J. R., & Vieira Filho, J. E. R. (2018). O papel da dimensão ambiental na ocupação do MATOPIBA. *Confins*, 35, <https://doi.org/10.4000/confins.13045>
- Gomig, K., Lindner, E. A., & Kobiyama, M. (2007). Áreas de influência das estações pluviométricas na bacia rio do Peixe/SC pelo método de polígonos de Thiessen. In *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp. 3373-3380). Florianópolis: INPE. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <http://mart.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.20.10/doc/3373-3380.pdf>
- Hipel, K. W., & McLeod, A. D. (1994). *Time series modelling of water resources and environmental systems*. Amsterdã: Elsevier.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2018). *Mapeamento de recursos naturais do Brasil: escala 1:250.000 - Documentação técnica geral*. Rio de Janeiro: IBGE. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/documentacao_tecnica_MRN_2018.pdf
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2021). *Bacias hidrográficas do Brasil, BHB250: documentação técnica*. Rio de Janeiro: IBGE. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/bacias_e_divisoes_hidrograficas_do_brasil/2021/Bacias_Hidrograficas_do_Brasil_BHB250/vetores/Documentacao_Tecnica_BHB250.pdf
- Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – INEMA. (2022). *Plano de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água da RPGA do Rio Corrente*. Salvador: INEMA. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de https://homologa.ba.gov.br/inema/sites/site-inema/files/migracao_2024/arquivos/wp-content/uploads/2022/12/PF01-CORRENTE.pdf
- Jakob, A. A. E., & Young, A. F. (2006). O uso de métodos de interpolação espacial de dados de análises socioeconômicas. In *Anais do XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais*. Caxambu: ABEP. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <https://www.nepo.unicamp.br/vulnerabilidade/admin/uploads/producoes/M%C3%A9todosInterpola%C3%A7%C3%A3o.PDF>
- Jubase, P., & New, M. (2025). The trends in heatwaves and associated synoptic conditions across the upper Limpopo Basin of Botswana and South Africa. *Environmental Development*, 55, 101211. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2025.101211>

- Khadka, D., Babel, M. S., & Kamalamma, A. G. (2023). Assessing the Impact of Climate and Land-Use Changes on the Hydrologic Cycle Using the SWAT Model in the Mun River Basin in Northeast Thailand. *Water (Basel)*, 15(20), 3672. <https://doi.org/10.3390/w15203672>
- Koch, H., Biewald, A., Liersch, S., Azevedo, J. R. G., Silva, G. N. S., Kölling, K., Fischer, P., Koch, R., & Hattermann, F. F. (2015). Scenarios of climate and land-use change, water demand and water availability for the São Francisco River Basin. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, (36), 96-114. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820151007>
- Kundzewicz, Z. W., & Matczak, P. (2015). Eventos extremos hidrológicos e segurança. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 369, 181-187. <https://doi.org/10.5194/piahs-369-181-2015>
- Lage, C. S., Peixoto, H., & Vieira, C. M. B. (2008). Aspectos da vulnerabilidade ambiental na bacia do Rio Corrente-BA. *GeoTextos*, 4(1-2), 11-33. <https://doi.org/10.9771/1984-5537geo.v4i0.3293>
- Lima, S. L. (2025). *Análise dos extremos de precipitação no Nordeste do Brasil com base em índices climáticos e estimativas de período de retorno* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.
- Machado, R. E., Lopes, T. R., & Duarte, S. N. (2025). Projected climate and land-use change impacts on streamflow: the case study of Piracicaba basin – Brazil. *International Journal of River Basin Management*, 23(3), 1-12. <https://doi.org/10.1080/15715124.2025.2529547>
- Marciano, A. G., Barbosa, A. A., & Silva, A. P. M. (2018). Cálculo de precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada. *Revista Ambiente & Água*, 13(1), e1906. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1906>
- Martins, M. A., Collste, D., Bezerra, F. G. S., Miranda, M. A. C. N., Gonçalves, A. R., Barros, J. D., Cardoso, M. F., Silvino, A. S., Sonetti-González, T., Ometto, J. P. H. B., Randow, C., Tomasella, J., & Aguiar, A. P. D. (2024). Long-term sustainability of the water-agriculture-energy nexus in Brazil's MATOPIBA region: A case study using system dynamics. *Ambio*, 53(12), 1722-1736. PMID:39115747. <https://doi.org/10.1007/s13280-024-02058-9>
- Melo, M. C., & Johnsson, R. M. F. (2017). O conceito emergente de segurança hídrica. *Sustentare*, 1(1), 72-92. <https://doi.org/10.5892/st.v1i1.4325>
- Mendenhall, W., & Sincich, T. (2012). *A second course in statistics: Regression analysis* (7th ed.). Boston: Prentice Hall. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <https://datashining-add-on-bbscuhk.oss-cn-hongkong.aliyuncs.com/120845nkvedqpvuqozqipq.attach.pdf>
- Mercuzzo, F. F. N., Andrade, L. R., & Melo, D. C. R. (2011). Métodos de interpolação matemática no mapeamento de chuvas do estado do Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 4(4), 788-804. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i4.232714>
- Moreira, P. H. O., Cunha, A. C., & Costa, A. C. L. (2021). Índice de tendências climáticas de longo prazo em área urbana na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(6), 3328-3343. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3372-3387>
- Nascimento, J. V. S. (2021). *Geotecnologias como subsídio para gestão costeira* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/78868/1/2024_dis_jvsnascimento.pdf
- Owoicho, A. M., Emmanuel, E., & Godwin, O. (2022). Investigation of trends in climate extreme over Makurdi, Nigeria using climate indices. *Acta Scientific Applied Physics*, 2(1), 15-23. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de https://www.researchgate.net/profile/Moses-Audu/publication/357630239_Investigation_of_Trends_in_Climate_Extreme_Over_Makurdi_Nigeria_Using_Climate_Indices/links/61d6eb0cda5d105e55214dea/Investigation-of-Trends-in-Climate-Extreme-Over-Makurdi-Nigeria-Using-Climate-Indices.pdf
- Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima - IPCC. (2023). *Mudança do clima 2023 – Relatório síntese*. Genebra: IPCC. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf
- Persson, G., Barring, L., Kjellström, E., Strandberg, G., & Rummukainen, M. (2007). *Climate indices for vulnerability assessments* (SMHI Reports Meteorology and Climatology, No. 111, 64 p.). Norrköping: Swedish Meteorological and Hydrological Institute. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <https://www.smhi.se/download/18.38e7941719209b36a1fd68f/1728478479018/RMK111%5B1%5D.pdf>
- Pruski, F. F., Pereira, S. B., Novaes, L. F. D., Silva, D. D. D., & Ramos, M. M. (2004). Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na bacia do São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(2/3), 247-253. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662004000200013>
- Radomsky, G. F. W., Conterato, M. A., & Schneider, S. (2015). *Pesquisa em desenvolvimento rural: técnicas, bases de dados e estatística aplicadas aos estudos rurais* (Vol. 2). Porto Alegre: Editora da UFRGS. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/232150>
- Reis, L. C. (2020). *Produtividade da soja sob diferentes cenários de variabilidade climática na região do Matopiba, Brasil* (Tese de doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/30172>
- Righi, E., & Basso, L. A. (2016). Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas. *Ambiência*, 12(1), 101-117. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/224300/001128481.pdf>

- Rocha, J. F., Luna, R. M., Teixeira, L. F. C., Oliveira, U. C., & Albuquerque, L. F. (2019). Análise comparativa dos métodos de interpolação para o cálculo de precipitações médias na bacia hidrográfica do Açude Patu/CE. In *Anais do X Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*. Fortaleza: IBEAS. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2019/VIII-075.pdf>
- Rodrigues, J. F. (2020). Espacialização das chuvas em uma bacia hidrográfica no semiárido da Paraíba. *Revista de Geociências do Nordeste*, 6(1), 28-35. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2020v6n1ID18143>
- Salviano, M. F., Groppo, J. D., & Pellegrino, G. Q. (2016). Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(1), 64-73. <https://doi.org/10.1590/0102-778620150003>
- Secretaria de Planejamento – SEPLAN. (2016). *Plano territorial de desenvolvimento rural sustentável e solidário do território da bacia do Rio Corrente* (2. ed.). Santa Maria da Vitória: CODETER. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <https://www.ba.gov.br/seplan/sites/site-seplan/files/2025-07/Plano%20Territorial%20de%20Desenvolvimento%20da%20Bacia%20do%20Rio%20Corrente.pdf>
- Secretaria do Meio Ambiente – SEMA. (2014). *Álbum seriado de educação ambiental: água e cidadania*. Salvador: Empresa Gráfica da Bahia. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de https://www.ba.gov.br/meioambiente/sites/site-sema/files/migracao_2024/arquivos/File/Educacao_Ambiental/AlbumSeriadoAguaCidadania.pdf
- Serviço Geológico do Brasil – CPRM. (2021). *Sistema aquífero urucuia: caracterização hidrológica*. Brasília: CPRM. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/22606/1/relatorio_dht_urucuia_17jan22.pdf
- Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3-4), 591-611. <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Silva, R. M., Silva, L. P., Montenegro, S. M. G. L., & Santos, C. A. G. (2010). Análise da variabilidade espaço-temporal e identificação do padrão da precipitação na bacia do rio Tapacurá, Pernambuco. *Sociedade & Natureza*, 22(2), 357-372. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132010000200010>
- Silva, R. O. B. (2013). *Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica no estado de Pernambuco* (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/12350>
- Silva, R. O. B., Montenegro, S. M. G. L., & Souza, W. M. (2017). Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22(3), 579-589. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017142481>
- Silvestre, M. R. (2016). *Técnicas estatísticas utilizadas em climatologia geográfica: diagnósticos de propostas* (Tese de doutorado). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <http://hdl.handle.net/11449/137946>
- Siqueira, M. S., Silva, M. T., Brito, J. I. B., Braga, C. C., Souza, A. C., & Sousa, W. G. (2024). Índices climáticos extremos de precipitação pluvial e temperatura do ar na região do MATOPIBA-Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 17(1), 443-461. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.1.p446-464>
- Tucci, C. E. M. (2008). Águas urbanas. *Estudos Avançados*, 22(63), 97-112. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007>
- WaterAid. (2012). *Estrutura de segurança hídrica*. Londres: WaterAid. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <https://washmatters.wateraid.org/sites/g/files/jkxoof256/files/download-our-water-security-framework.pdf>
- Wilcox, R. R. (2012). *Introduction to robust estimation and hypothesis testing* (3rd ed.). San Diego: Academic Press.
- Wilks, D. S. (2006). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (2nd ed.). Amsterdã: Academic Press. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <https://sunandclimate.wordpress.com/wp-content/uploads/2009/05/statistical-methods-in-the-atmospheric-sciences-0127519661.pdf>
- Yue, S., & Wang, C. Y. (2002). Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test. *Water Resources Research*, 38(6), 1-7. <https://doi.org/10.1029/2001WR000861>
- Yue, S., & Wang, C. Y. (2004). The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. *Water Resources Management*, 18(3), 201-218. <https://doi.org/10.1023/B:WARM.0000043140.61082.60>
- Zar, J. H. (2010). *Biostatistical analysis* (5th ed.). Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Zhang, X., Fang, Y., & Chan, R. (2023). *RClimDex (1.0) manual do usuário*. Downsview: Climate Research Branch Environment Canada. Recuperado em 29 de setembro de 2025, de <https://github.com/ECCC-CDAS/RClimDex/blob/master/inst/doc/manual.pdf>

Contribuições dos autores:

Wellington Silva dos Santos: estruturação da introdução, levantamento, tratamento de dados e análise dos resultados.

Brenno Vilas Verde Caldas: levantamento, tratamento de dados, análise dos resultados e estruturação das considerações finais.

Emilly Menezes da Silva: levantamento, tratamento de dados, análise dos resultados e caracterização da área de estudo.

Sandra Maria Conceição Pinheiro: revisão da interpretação dos resultados e da análise estatística empregada.

Cássia Juliana Fernandes Torres: revisão e orientação geral do artigo.