Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
ISSN 2237-8642

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL

Analysis of pluviometric characteristics of the Hydrographic Basin of the Paraíba do Sul River

Análisis de las características pluviométricas de la Cuenca Hidrográfica del Río Paraíba do Sul

Bárbara Velasco Holender
Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
holenderbarbara@gmail.com

Gildo Rafael de Almeida Santana
Instituto Federal Fluminense
gildoraphael@gmail.com

Eliane Barbosa Santos
Laboratório de Meteorologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro
elianebs@uenf.br

Resumo: Conhecer as características pluviométricas de uma região é importante para diversos setores socioeconômicos e ambientais. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi identificar as regiões pluviometricamente homogêneas e caracterizar a variação espaço-temporal da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (BHRPS). Foram utilizados dados diários de 89 postos pluviométricos da rede hidrometeorológica gerenciada pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), para o período de 1963 a 2022. Para determinar as regiões pluviometricamente homogêneas, foram utilizadas como variáveis as médias e os quantis 15%, 35%, 65% e 85% por estação do ano. Para estimar as tendências e suas magnitudes, foram utilizados o teste de Mann-Kendall e o estimador de Sen. Foram identificadas duas regiões pluviometricamente homogêneas, sendo que a região 2 (com 12 postos pluviométricos localizados nas porções centro-oeste e sudeste da BHRPS), apresentou maiores valores de precipitação que a região 1 (com 77 postos pluviométricos distribuídos ao longo da BHRPS). Na região 1, os menores valores de precipitação foram identificados na região nordeste da BHRPS. Foram identificadas tendências negativas estatisticamente significativas a 5% para os quantis analisados em dois postos pluviométricos (regiões 1 e 2), enquanto uma tendência positiva estatisticamente significativa foi observada em um posto pluviométrico (região 1). Os maiores valores de precipitação na BHRPS ocorreram no verão, com precipitações médias mínimas de 131,53 mm/mês (região 1) e máximas de 393,57 mm/mês (região 2), enquanto os menores valores ocorreram no inverno, com mínimas de 15,75 mm/mês (região 1) e máximas de 65,10 mm/mês (região 2). Esses resultados contribuem para uma melhor compreensão dos padrões climáticos da região e fornecem subsídios para o planejamento e a gestão de recursos hídricos, auxiliando na tomada de decisões estratégicas para a sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave: Regiões pluviometricamente homogêneas. Técnica dos quantis. Tendência Climática.

Abstract: Knowing the pluviometric characteristics of a region is important for various socioeconomic and environmental sectors. Therefore, the objective of this study was to identify pluviometrically homogeneous regions and characterize the spatiotemporal variation of precipitation in the Paraíba do Sul River Basin (BHRPS). Daily data from 89 pluviometric stations of the hydrometeorological network managed by the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA) were used for the period from 1963 to 2022. To determine the pluviometrically homogeneous regions, the means and the 15%, 35%, 65%, and 85% quantiles per season were used as variables. To estimate trends and their magnitudes, the Mann-Kendall test and Sen's slope estimator were employed. Two pluviometrically homogeneous regions were identified, with region 2 (with 12 pluviometric stations located in the central-western and southeastern portions of the BHRPS) showing higher precipitation values than region 1 (with 77 pluviometric stations distributed throughout the BHRPS). In region 1, the lowest precipitation values were identified in the northeastern part of the BHRPS. Statistically significant negative trends at 5% were identified for the analyzed quantiles in two pluviometric stations (regions 1 and 2), while a statistically significant positive trend was observed in one pluviometric station (region 1). The highest precipitation values in the BHRPS occurred in summer, with average monthly rainfall ranging from a minimum of 131.53 mm (region 1) to a maximum of 393.57 mm (region 2), while the lowest values were recorded in winter, with a minimum of 15.75 mm/month (region 1) and a maximum of 65.10 mm/month (region 2). These results contribute to a better understanding of the region's climate patterns and provide support for water resource planning and management, aiding strategic decision-making for environmental sustainability.

Keywords: Pluviometrically homogeneous regions. Quantile technique. Climate trend.

Resumen: Conocer las características pluviométricas de una región es importante para diversos sectores socioeconómicos y ambientales. Ante esto, el objetivo de este trabajo fue identificar las regiones pluviométricamente homogéneas y caracterizar la variación espacio-temporal de la precipitación en la Cuenca Hidrográfica del Río Paraíba do Sul (BHRPS). Se utilizaron datos diarios de 89 estaciones pluviométricas de la red hidrometeorológica gestionada por la Agencia Nacional de Aguas y Saneamiento Básico (ANA), para el período de 1963 a 2022. Para determinar las regiones pluviométricamente homogéneas, se utilizaron como variables las medias y los cuantiles del 15%, 35%, 65% y 85% por estación del año. Para estimar las tendencias y sus magnitudes, se utilizaron la prueba de Mann-Kendall y el estimador de Sen. Se identificaron dos regiones pluviométricamente homogéneas, siendo que la región 2 (con 12 estaciones pluviométricas ubicadas en las porciones centro-oeste y sureste de la BHRPS) presentó mayores valores de precipitación que la región 1 (con 77 estaciones pluviométricas distribuidas a lo largo de la BHRPS). En la región 1, los menores valores de precipitación fueron identificados en la región noreste de la BHRPS. Se identificaron tendencias negativas estadísticamente significativas al 5% para los cuantiles analizados en dos estaciones pluviométricas (regiones 1 y 2), mientras que se observó una tendencia positiva estadísticamente significativa en una estación pluviométrica (región 1). Los valores más altos de precipitación en la BHRPS ocurrieron en verano, con precipitaciones medias mensuales mínimas de 131,53 mm (región 1) y máximas de 393,57 mm (región 2), mientras que los valores más bajos se registraron en invierno, con mínimas de 15,75 mm/mes (región 1) y máximas de 65,10 mm/mes (región 2). Estos resultados contribuyen a una mejor comprensión de los patrones climáticos de la región y proporcionan insumos para la planificación y gestión de los recursos hídricos, apoyando la toma de decisiones estratégicas para la sostenibilidad ambiental.

Palabras clave: Regiones pluviométricamente homogéneas. Técnica de los cuantiles. Tendencia climática.

Submetido em: 10/07/2024
Aceito para publicação em: 08/09/2025
Publicado em: 22/10/2025

1. INTRODUÇÃO

A análise das características pluviométricas desempenha um papel crucial na compreensão dos padrões climáticos e na gestão dos recursos hídricos em uma determinada região. Na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (BHRPS), situada na região Sudeste do Brasil, compreender essas características é essencial para uma gestão sustentável dos recursos hídricos, para a prevenção de desastres naturais relacionados à água e o planejamento de atividades socioeconômicas, como agricultura, produção de energia e abastecimento público.

O Sudeste do Brasil apresenta um clima bastante diversificado principalmente devido à sua posição geográfica, com a maior parte do território localizado na região tropical, e topografia que varia desde planícies litorâneas a serras (Sant'anna Neto, 2005; Cavalcanti; Ferreira, 2021). Essa configuração exerce influência direta sobre o regime pluviométrico regional, favorecendo a atuação de sistemas meteorológicos como frentes frias e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), cuja interação com o relevo acidentado intensifica a ocorrência de chuvas orográficas (Minuzzi *et al.*, 2007; Reboita *et al.*, 2010). De acordo com Lima, Satyamurty e Fernández (2010), as frentes frias e a ZCAS são responsáveis, respectivamente, por 53% e 47% dos eventos de precipitação intensa que atingem a região durante o verão.

As precipitações extremas, no Sudeste do Brasil, são responsáveis por inúmeros desastres naturais, causando diversos transtornos à população, desde a ameaça à saúde pública e segurança, até prejuízos econômicos. Em fevereiro de 2023, por exemplo, fortes chuvas atingiram o litoral norte de São Paulo, especialmente os municípios de São Sebastião, Guarujá e Bertioga, onde foram registrados entre 400 e 683 mm de chuva em menos de 24 horas, resultando em deslizamentos de terra, 65 mortes e diversos danos (Marengo *et al*., 2024). Em 2024, Petrópolis (no estado do Rio de Janeiro) liderou o ranking nacional de desastres naturais, com 44 ocorrências registradas (CEMADEN, 2025).

Por outro lado, a região Sudeste também enfrenta períodos de escassez hídrica. Nos anos de 2014 e 2015, por exemplo, uma seca severa comprometeu a recarga dos reservatórios, especialmente no Sistema Cantareira, localizado entre São Paulo e Minas Gerais. Durante o verão de 2014, o sistema operou com apenas 32,8% da média climatológica,

e em 2015, operou com 76%, agravando a crise hídrica e ameaçando o abastecimento das principais metrópoles (Marengo *et al.*, 2015).

De acordo com Gbandi (2022), o aumento da demanda por água, impulsionado pelo crescimento populacional, pela expansão da classe média global e pelo avanço tecnológico, intensifica a pressão sobre os recursos hídricos. Além disso, mudanças no padrão de chuvas aumentam a incerteza em relação à quantidade de água disponível, causando impactos em diferentes setores da sociedade. Essas mudanças podem ocorrer em nível local, conforme resultados obtidos por Santana, Santos e Silva (2020) e Santana, Santos e Lugon Júnior (2023), que ao analisar a precipitação na BHRPS, identificaram uma redução significativa (a um nível de significância de 5%) da quantidade de chuva em algumas áreas, enquanto em outras houve um aumento significativo das precipitações.

Nesse contexto, a identificação de regiões pluviometricamente homogêneas e a caracterização da variação espaço-temporal da precipitação são essenciais para compreender as tendências climáticas e seus impactos na disponibilidade hídrica, fornecendo subsídios para políticas públicas e estratégias de gestão da água. Além de contribuir para a tomada de decisões voltadas à mitigação e prevenção de eventos extremos, esse tipo de estudo permite a avaliação da disponibilidade hídrica e a identificação de áreas com padrões climáticos específicos. A análise da distribuição espacial da precipitação também possibilita a estimativa de danos potenciais decorrentes dessas mudanças (Salviano; Groppo; Pellegrino, 2016), orientando ações para minimizar os impactos socioeconômicos e ambientais.

Diante do exposto e considerando a importância social e econômica da BHRPS, por abranger uma das áreas industriais mais desenvolvidas do Brasil e por ter um papel importante na Política Nacional de Recursos Hídricos (Marengo; Alves, 2005), o objetivo deste trabalho foi identificar as regiões pluviometricamente homogêneas e caracterizar a variação espaço-temporal da precipitação na BHRPS.

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização da área de estudo

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a BHRPS possui uma área de drenagem de aproximadamente 55.500 km², dos quais 20.700 km² estão

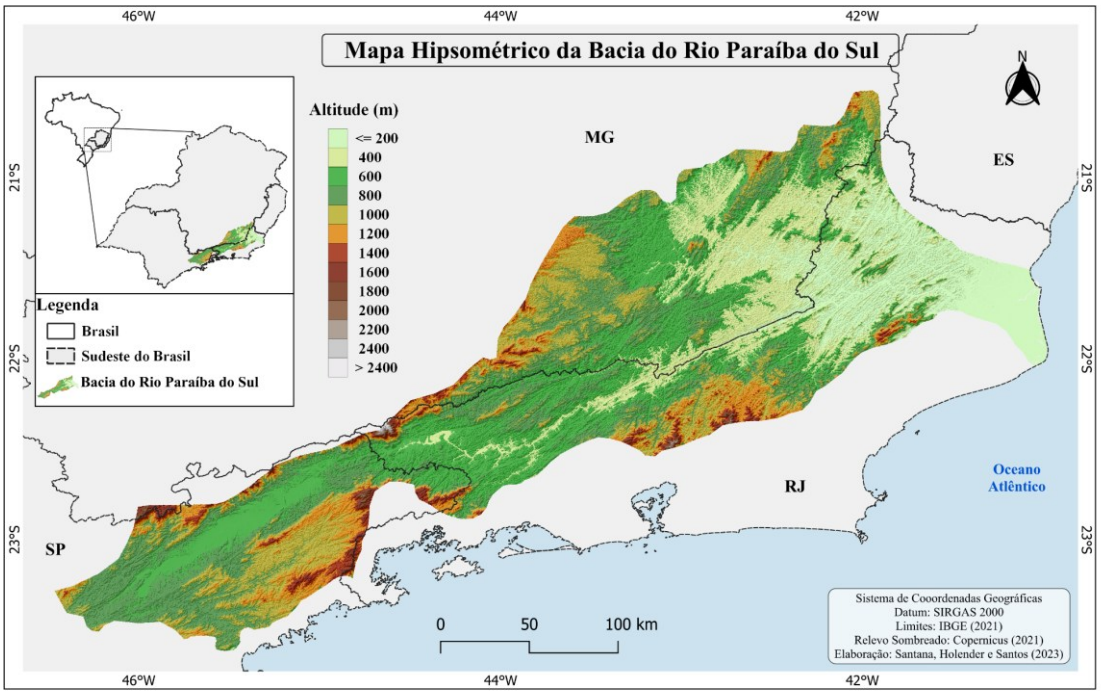
localizados em Minas Gerais, 20.900 km² no estado do Rio de Janeiro e 13.900 km² no estado de São Paulo. A BHRPS integra a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste (AGEVAP, 2014) e é responsável por drenar uma das regiões mais desenvolvidas do país. Ao longo da extensão da BHRPS existem 180 municípios que abrigam mais de 4.900.000 habitantes (ANA, [20--]).

O Rio Paraíba do Sul nasce na Serra da Bocaina, no estado de São Paulo, como resultado da confluência entre dois rios paulistas: Paraibuna e Paraitinga. Seu curso d'água percorre 1.150 km e deságua no oceano Atlântico, através do município de São João da Barra, no estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2015).

O sistema hidráulico da BHRPS é composto por importantes reservatórios de usinas hidrelétricas, como Paraibuna, Santa Branca e Funil (IBGE, 2015). As águas do Rio Paraíba do Sul também servem de principal fonte de abastecimento hídrico para a região metropolitana do Rio de Janeiro através de sua transposição para o Rio Guandu (ABRHIDRO, [20--]). Além do abastecimento, irrigação e diluição de esgoto, a geração de energia é um dos principais usos da água da BHRPS.

Na Figura 1, que apresenta o mapa hipsométrico da BHRPS, nota-se que no nordeste da bacia, região onde está localizada a foz do Rio Paraíba do Sul, são registradas as menores altitudes (≤ 400 m). Nas porções leste (região central do estado do Rio de Janeiro), oeste (divisa entre Rio de Janeiro e São Paulo), sudeste (divisa entre Rio de Janeiro e São Paulo) e sudoeste (divisa entre São Paulo e Minas Gerais) da bacia, são observadas altitudes acima de 1.400 m. Nas demais áreas, são observadas altitudes entre 400 e 1.400 m.

Figura 1: Mapa hipsométrico da BHRPS.



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

A BHRPS apresenta cinco tipos climáticos, conforme classificação climática de Köppen (adaptado por Alvares *et al.*, 2013), sendo um tropical com verão úmido e inverno seco (Aw) e quatro subtropicais quentes (Cwa, Cwb, Cfa, Cfb) (Santana; Santos; Jugon Júnior, 2023). Com relação às médias dos totais anuais de precipitação, os menores valores são observados na região Norte Fluminense, apresentando núcleos com médias anuais de chuva abaixo de 1.200 mm, que têm como clima predominante o tropical com verão úmido e inverno seco (Aw). Já os maiores valores são observados na divisa dos estados de São Paulo e do Rio de Janeiro com o de Minas Gerais, com valores maiores que 1.800 mm (Santana; Santos; Silva, 2020). Esses maiores valores ocorrem em regiões montanhosas que possuem altitudes acima de 1.000 metros (Brasiliense *et al*., 2020).

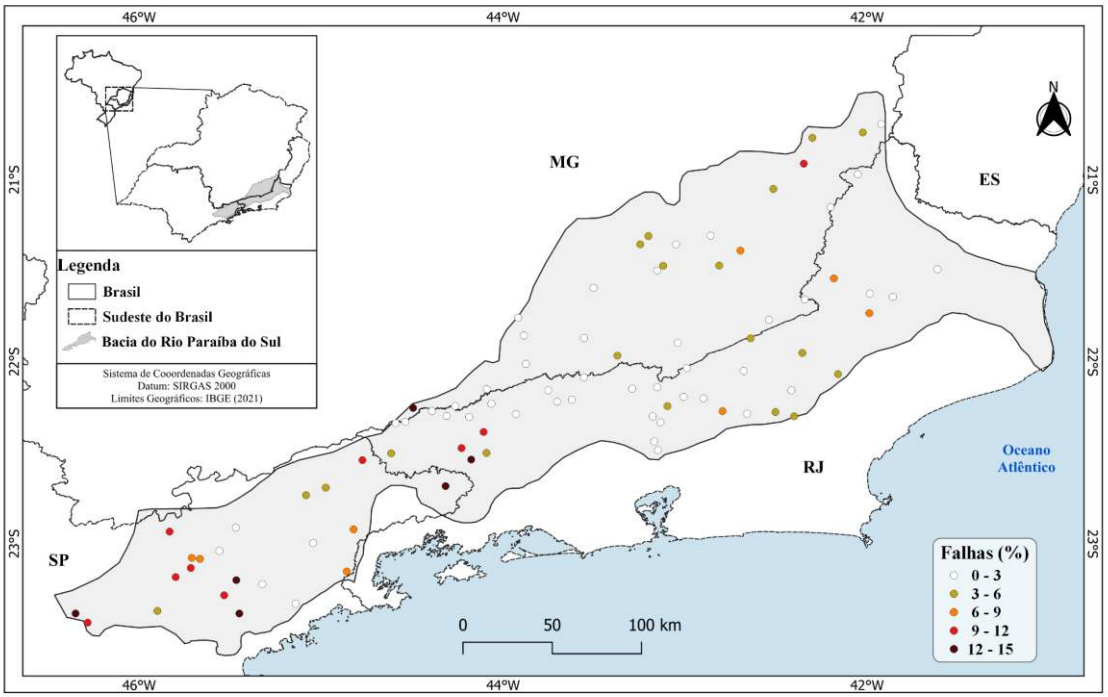
2.2. Dados

Para a realização deste estudo foram utilizados dados diários de precipitação da rede hidrometeorológica gerenciada pela ANA. Para avaliar a qualidade dos dados e selecionar os postos pluviométricos, foram adotadas algumas etapas fundamentais. Primeiramente, os registros diários que apresentaram suspeita de erro foram classificados como dados faltantes

e não foram preenchidos. Para o cálculo do acumulado mensal de precipitação, qualquer mês que contivesse pelo menos um valor diário faltante foi desconsiderado, conforme a recomendação da Organização Meteorológica Mundial (OMM, 1989).

Os postos pluviométricos com mais de 15% de dados mensais faltantes ou descartados entre janeiro de 1963 e dezembro de 2022 foram excluídos da análise, resultando na seleção de 89 postos pluviométricos. Importante ressaltar que, em nenhuma etapa do estudo, os dados faltantes foram preenchidos. A Figura 2 ilustra a porcentagem de falhas e a distribuição espacial dos 89 postos pluviométricos selecionados.

Figura 2: Distribuição espacial dos postos pluviométricos com a porcentagem de falhas dos dados diários (1963 a 2022) utilizados neste estudo.



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Para o processamento dos dados e seleção dos postos pluviométricos, foi utilizada a linguagem de programação R (R Core Team, 2024). Neste estudo, a linguagem R também foi utilizada para a realização de análises estatísticas, aplicação da técnica dos quantis, análise de agrupamento e avaliação de tendências.

2.3. Técnica dos Quantis

A técnica dos quantis consiste na divisão de um conjunto de dados em intervalos de igual probabilidade. Um quantil de ordem p (definido para 0 < p < 1) é um valor numérico que divide a distribuição em duas partes de observações numéricas, com 100p% dos elementos localizados à esquerda do quantil amostral e os demais 100(1-p)%, à direita (Gouvea *et al.*, 2018).

Neste trabalho, utilizando os acumulados mensais de precipitação, foram calculadas, por estação do ano, as ordens quantílicas (p) propostas por Pinkayan (1966) e bastante difundidas por Xavier e Xavier (1999): 15% (p=0,15), 35% (p=0,35), 65% (p=0,65) e 85% (p=0,85), que correspondem às seguintes categorias: muito seco (MS: 0 – 15%), seco (S: 15 – 35%), normal (N: 35 – 65%), chuvoso (C: 65 – 85%) e muito chuvoso (MC: 85 – 100%).

2.4. Análise de Agrupamento

As médias pluviométricas e os quantis de 15%, 35%, 65% e 85%, por estação do ano, foram utilizados para determinar regiões pluviometricamente homogêneas por meio da análise de agrupamento (ou análise de cluster), que é uma técnica multivariada que busca agrupar elementos de dados com base na similaridade entre eles.

A primeira etapa do processo de agrupamento consiste na estimativa de uma medida de similaridade (ou dissimilaridade). No presente trabalho, foi utilizada a distância euclidiana, que, de acordo com Mimmack, Mason e Galpin (2001), é uma das medidas indicadas para estudos climatológicos. A técnica calcula a distância euclidiana (d_{xy}) entre dois elementos x = [x1, x2, ..., xn] e y = [y1, y2, ..., yn] (Equação 1).

$$d_{xy} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

A segunda etapa é definir o método de agrupamento que será utilizado na construção dos clusters. Neste estudo, foi utilizado o método hierárquico aglomerativo de Ward, que também é conhecido como método da variância mínima. Os métodos aglomerativos consistem em unir dois grupos semelhantes em um único grupo, formando um novo agrupamento agregado. Proposto por Ward (1963), e posteriormente explicado em Hair *et al*.

(2005), o método de Ward forma agrupamentos por meio do cálculo da soma de quadrados entre os elementos, de modo a minimizar sua variação interna.

Para avaliar a qualidade dos grupos formados, foi utilizado o Índice Silhouette (IS). Proposto por Rousseeuw (1987), o IS é utilizado para medir a similaridade entre elementos agrupados, e a dissimilaridade entre os grupos, conforme a Equação 2.

$$IS(i) = \frac{b(i)-a(i)}{max[a(i)-b(i)]} \quad (2)$$

Em que i é a observação a ser avaliada, *a(i)* é a média das distâncias da i-ésima observação a todas as outras dentro do mesmo grupo, e *b(i)* é a média das distâncias da i-ésima observação a todas as outras alocadas no grupo mais próximo.

O valor do IS está contido no intervalo [-1,1], em que valores próximos a 1 significam que a dissimilaridade interna (a(i)) é menor do que a menor dissimilaridade entre o objeto i e os objetos do grupo mais próximo (b(i)), o que significa boa qualidade para o agrupamento. Já valores próximos a -1 indicam que a observação provavelmente foi alocada a um grupo inadequado.

2.5. Análise de Tendência

Para verificar a presença de tendência na intensidade da precipitação no período chuvoso da região, foi aplicado o teste não-paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975), utilizado para verificar se uma série de dados apresenta tendência temporal estatisticamente significativa.

O teste de Mann-Kendall consiste em rejeitar ou não uma hipótese nula (H_0) de que não existe tendência na série de dados, em oposição à hipótese alternativa (H_1) de que existe tendência na série de dados, adotando um nível de significância (α). A estatística do teste é calculada pela Equação 3.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma}, se\ S > 0 \\ 0, se\ S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma}, se\ S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

em que o valor de S é definido pela Equação 4:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n} sinal\ (x_j - x_k) \quad (4)$$

sendo xj e xk valores sequenciais e o sinal ($x_j - x_k$) é obtido através da Equação 5:

$$sinal(x_j - x_k) = \begin{cases} 1, se\ (x_j - x_k) > 0 \\ 0, se\ (x_j - x_k) = 0 \\ -1, se\ (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Segundo Kendall (1975), S é normalmente distribuída, com μ = 0 e variância definida pela Equação 6:

$$\sigma^2 = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^{p} t_j(t_j-1)(2t_j+5)}{18} \quad (6)$$

sendo n o número de observações, p o número de grupos com observações iguais na série temporal e t_j o número de observações iguais no grupo j.

Em um teste bilateral, não se rejeita a hipótese nula (H_0) para um certo nível de significância α, se dado o valor do quantil $Z_{a/2}$ de uma distribuição normal padrão temos $|Z| \leq Z_{a/2}$. Neste estudo, foi adotado o nível de significância de 5%.

Para estimar a magnitude das tendências (aumento ou diminuição), foi utilizado o estimador proposto por Sen (1968). Para isso, primeiramente calcula-se todos os declives entre cada par de variáveis j e k, através da Equação 7:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j-k}, \text{com } i = 1, 2, 3, \ldots, N \quad (7)$$

onde X_j e X_k são os valores dos dados no tempo j e k. A mediana dos N valores de Q_i é o estimador da inclinação de Sen, calculada pela Equação 8:

$$Q_{méd} = \begin{cases} Q_{\left[N+\frac{1}{2}\right]}, se\ N\ é\ ímpar \\ \frac{1}{2}\left(Q_{\left[\frac{N}{2}\right]}\right) + \left(Q_{\left[N+\frac{2}{2}\right]}\right), se\ N\ é\ par \end{cases} \quad (8)$$

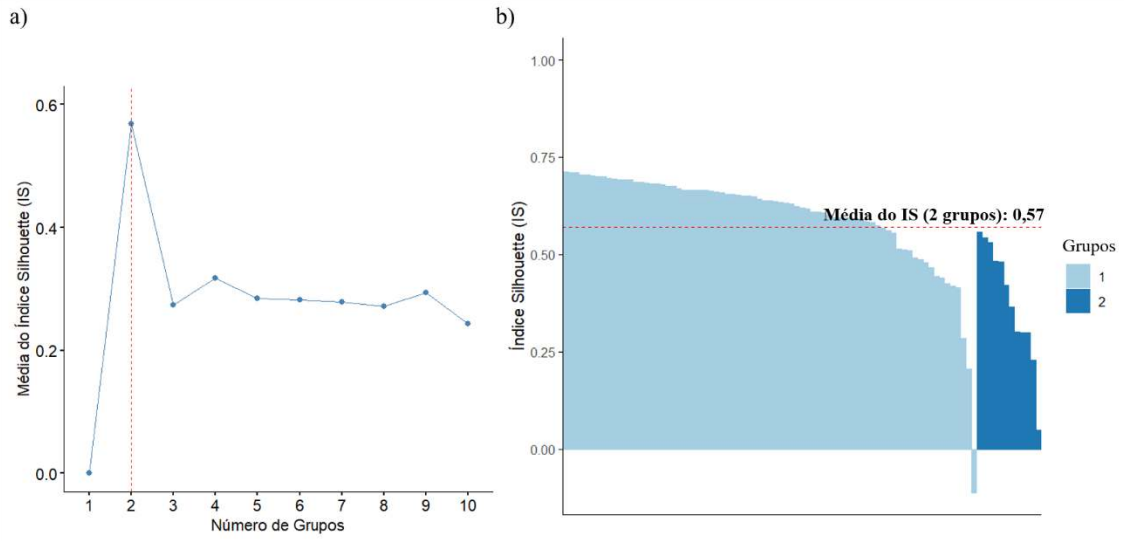
2.6. Interpolação

A análise espacial dos resultados foi realizada através do método de interpolação inverso da distância ponderada (*Inverse Distance Weighting* - IDW) por meio do software de Sistema de Informação Geográfica QGIS (versão 3.30.2). A escolha deste interpolador foi baseada na sua eficiência, rapidez e baixo custo computacional (Mazzini; Schettini, 2009). O IDW utiliza uma combinação linear ponderada dos pontos amostrados, onde o peso de cada ponto é o inverso de uma função da distância. Quanto maior a distância de um ponto a ser interpolado, menor será o seu peso, ou seja, são inversamente proporcionais (Silva *et al*., 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta o IS para os grupos formados através da análise de agrupamento, utilizando como variáveis as médias pluviométricas e os quantis de 15%, 35%, 65% e 85% por estação do ano. Observa-se que o IS apontou o melhor resultado para a formação de 2 grupos (Figura 3a), com média geral de 0,57. A Figura 3b apresenta o IS para a formação de 2 grupos, em que o grupo 1 obteve média de 0,60 e foi composto por grande parte dos postos pluviométricos (77 postos), enquanto o grupo 2, obteve média de 0,38 e foi composto apenas por 12 postos pluviométricos.

Figura 3: a) Índice Silhouette (IS) com a indicação do melhor número de grupos e b) IS para a formação de 2 grupos.

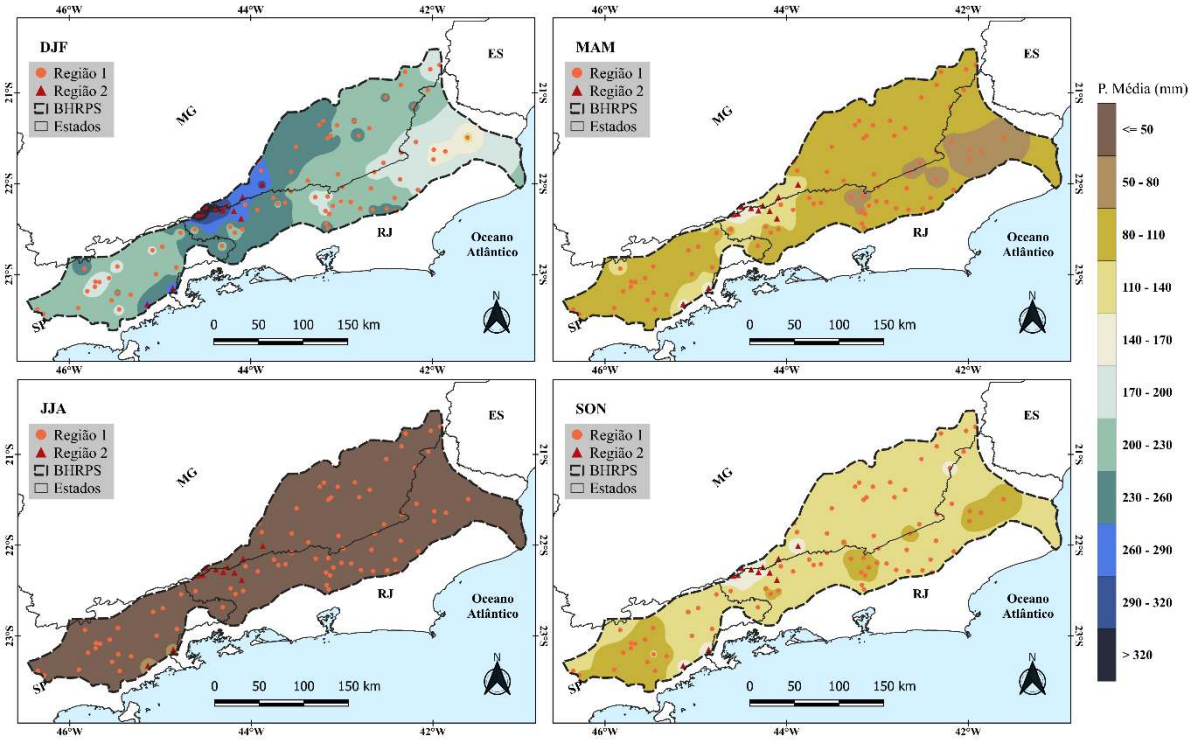


Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

De acordo com os resultados obtidos na análise de agrupamento, a BHRPS possui 2 regiões pluviometricamente homogêneas, a região 1 (grupo 1) que abrange grande parte da bacia, com áreas situadas no norte, centro-leste e sudoeste, enquanto a região 2 (grupo 2) engloba a área da divisa entre os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo e a porção sudeste da BHRPS (divisa entre Rio de Janeiro e São Paulo). Conforme Keller Filho, Assad e Lima (2005), fatores físico-geográficos, como o relevo, possuem grande influência sobre o regime pluviométrico de uma determinada região. Diante do exposto, essas regiões homogêneas podem ser justificadas pela hipsometria da região (Figura 2), pois a região 2 é caracterizada por altitudes superiores a 1.200 m.

Na Figura 4, é observada a média da precipitação acumulada mensal (mm/mês) por estação do ano, referente ao período de 1963 a 2022. As estações são definidas da seguinte forma: verão (dezembro, janeiro e fevereiro – DJF), outono (março, abril e maio – MAM), inverno (junho, julho e agosto – JJA) e primavera (setembro, outubro e novembro – SON).

Figura 4 - Média (1963 - 2022) da precipitação acumulada mensal (mm/mês) na BHRPS por estação do ano verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA), primavera (SON).



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

As médias mais intensas foram registradas no verão (DJF), com destaque para a região 2, onde foram observadas médias superiores a 260 mm/mês. No verão, as menores médias foram registradas na porção nordeste da bacia (mesorregiões Norte e Noroeste Fluminense), com valores entre 110 e 200 mm/mês. Esses resultados estão de acordo com Marengo e Alves (2005), Ferreira (2019), Santana, Santos e Silva (2020) e Holender e Santos (2023), que identificaram o verão como a estação chuvosa em áreas da BHRPS. Ademais, Gomes *et al.* (2021) analisando dados mensais do período de 1988 a 2018 para a BHRPS, apontaram o mês de janeiro como o mais chuvoso, com acumulados variando entre 96 e 401 mm/mês. Esses autores também apontaram que os meses de dezembro e janeiro foram os que apresentaram maior número de dias chuvosos, com 12 a 14 dias de chuva no mês.

No outono (MAM) e primavera (SON), as maiores médias (valores entre 110 e 170 mm/mês) também são observadas na região 2, na divisa entre Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, e em alguns núcleos do sudeste da bacia. Após o verão (DJF), a primavera (SON) é a estação do ano com as maiores médias pluviométricas, com médias mensais entre 110 e 140 mm/mês em mais de 50% da área da BHRPS, especialmente na região 1. Já a faixa nordeste e o extremo sudeste apresentou áreas com valores entre 80 e 110 mm/mês.

Por outro lado, no inverno (JJA), foram observadas as menores médias dos acumulados mensais, em que a maior parte dos postos pluviométricos apresentou valores inferiores a 50 mm/mês, com exceção de dois postos pluviométricos situados na região 2 (no sudeste da BHRPS), onde os valores estiveram entre 50 e 80 mm/mês. Esses resultados estão de acordo com Brasiliense *et al*. (2020) e Santana, Santos e Silva (2020), que destacaram que os menores valores pluviométricos na BHRPS ocorrem no inverno (JJA). Tavares e Santos (2022) também observaram que os menores valores das precipitações máximas ocorrem no inverno (JJA), nas mesorregiões Noroeste e Norte Fluminense (nordeste da BHRPS).

A Tabela 1 apresenta os valores mínimos e máximos das médias dos acumulados de precipitação, por estação do ano, para as regiões pluviometricamente homogêneas. Observa-se que os postos pluviométricos agrupados na região 2, localizados em maiores altitudes, apresentam valores de precipitação mais elevados, indicando que o regime pluviométrico da região sofre grande influência altimétrica.

Esses resultados estão de acordo com Brasiliense *et al*. (2020), que apontam que os maiores totais pluviométricos ocorrem nas regiões de maiores altitudes (> 1.000 m). Além

disso, o regime de precipitação nas regiões de encostas das serras é fortemente influenciado pelas incursões frontais, favorecidas por mecanismos de levantamento do ar (André *et al*., 2008). Por outro lado, nas regiões de menores altitudes foram observados os menores valores pluviométricos, assim como em Sobral *et al*. (2018), onde os autores definem a região norte fluminense como a mais seca do estado do Rio de Janeiro. De acordo com André *et al*. (2008), isso ocorre porque as regiões norte e noroeste fluminense formam uma baixada a sotavento da Serra do Mar.

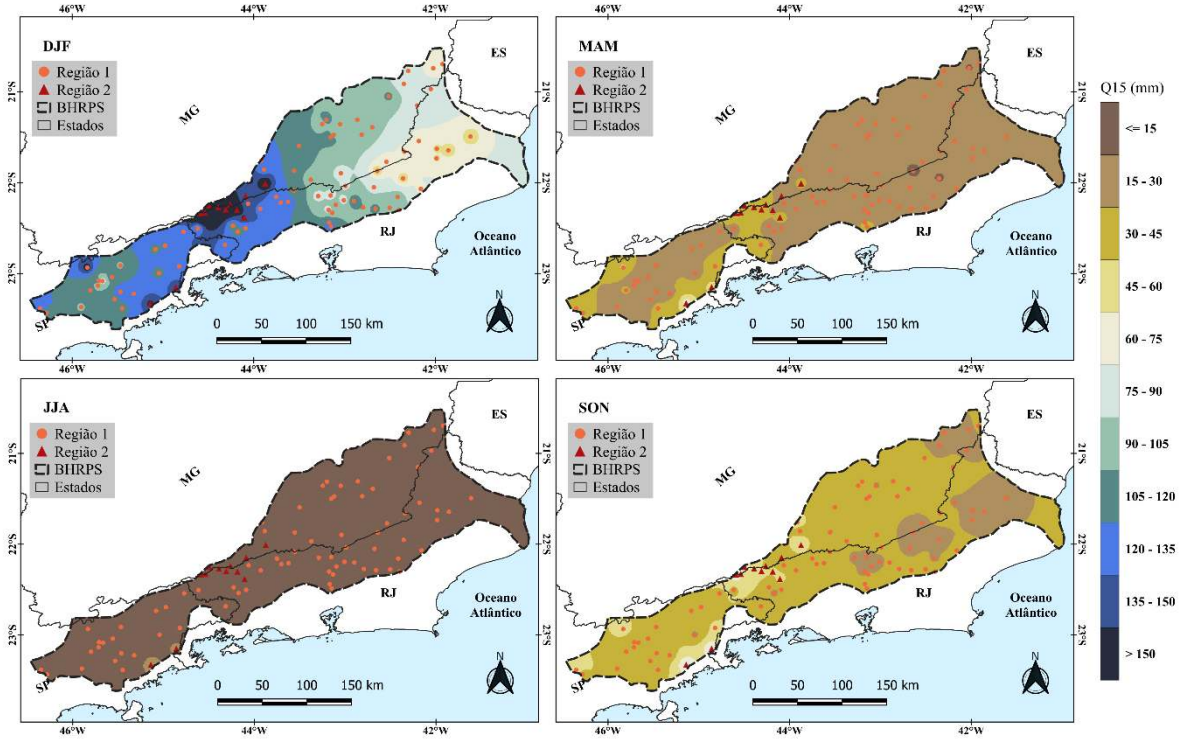
Tabela 1 - Valores mínimos e máximos das médias dos acumulados de precipitação, por estação do ano, para as regiões pluviometricamente homogêneas da BHRPS.

Estação do Ano	Região	Mínimo das Precipitações	Máximo das Precipitações
Verão (DJF)	1	131,53	267,80
	2	269,34	393,57
Outono (MAM)	1	59,80	128,16
	2	125,34	193,72
Inverno (JJA)	1	15,75	46,86
	2	27,64	65,10
Primavera (SON)	1	92,65	155,00
	2	137,99	196,75

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

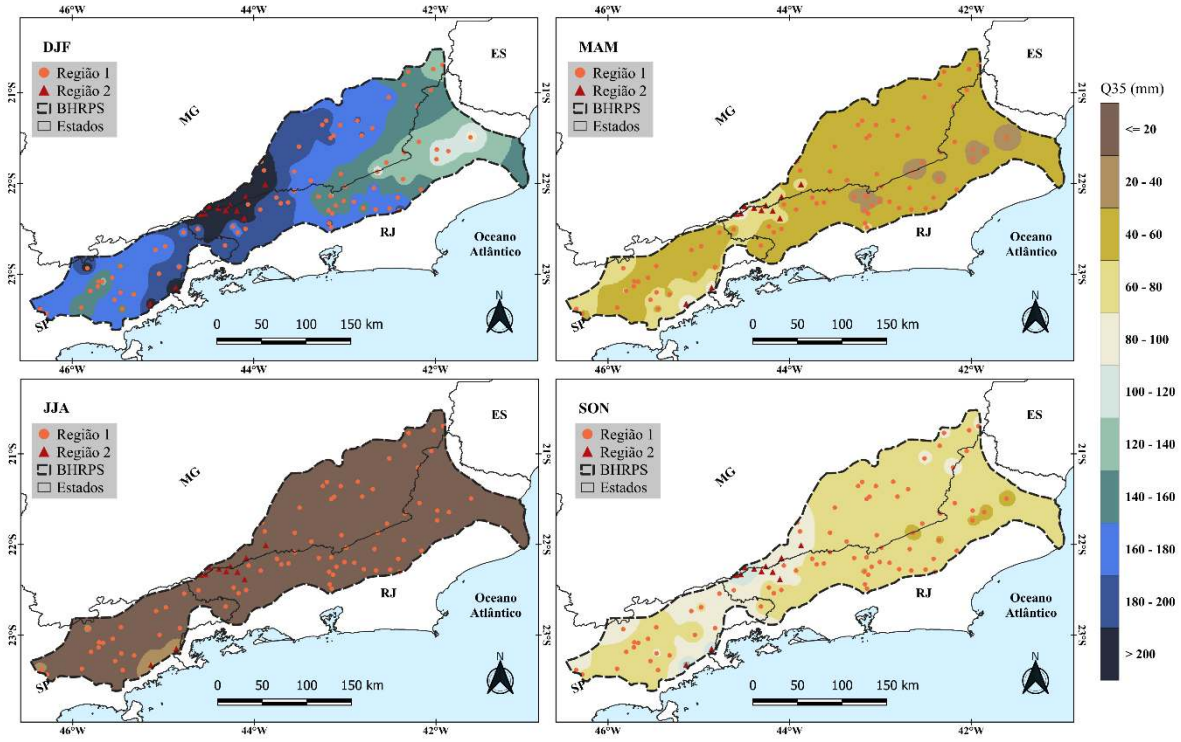
As Figuras 5 e 6 apresentam os valores dos quantis 15% (Q15) e 35% (Q35) da precipitação acumulada mensal (mm/mês) por estação do ano, respectivamente. Nota-se que os resultados estão de acordo com as médias mensais (Figura 4), em que foram registrados os maiores valores de quantis no verão (DJF) e os menores no inverno (JJA). No verão (DJF), observam-se valores maiores que 150 mm/mês (Q15) e 200 mm/mês (Q35) na região 2, área da divisa entre os três estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Na região central e sudeste da BHRPS, os valores pluviométricos também foram elevados no verão (DJF), com valores de Q15 entre 120 e 135 mm/mês e de Q35 entre 180 e 200 mm/mês.

Figura 5 – Valores do quantil 15% (Q15) da precipitação acumulada mensal (mm/mês) na BHRPS por estação do ano: verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA), primavera (SON).



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Figura 6 – Valores do quantil 35% (Q35) da precipitação acumulada mensal (mm/mês) na BHRPS por estação do ano: verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA), primavera (SON).



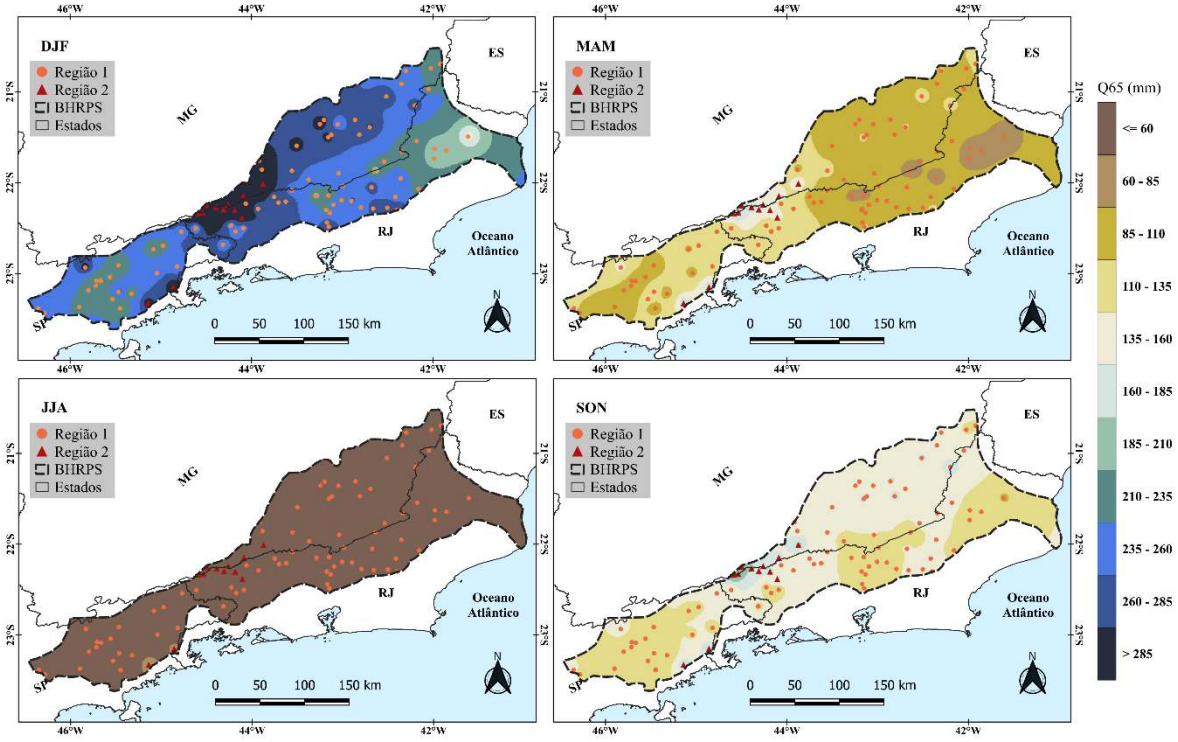
Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Na primavera (SON), segunda estação do ano com os maiores valores pluviométricos, observa-se que na maior parte da bacia os valores de Q15 (Figura 5) estão entre 30 e 45 mm/mês e os de Q35 (Figura 6) estão entre 60 e 80 mm/mês. Na região 2 (área da divisa entre os três estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo), observa-se que os quantis foram maiores, com valores entre 30 e 80 mm/mês no Q15 e entre 80 e 140 mm/mês no Q35. No outono (MAM) nota-se, de forma geral, um comportamento semelhante com o registrado na primavera (SON), no entanto, os valores foram menores em ambos os quantis (Q15 e Q35).

No inverno (JJA), os valores dos quantis foram predominantemente (~98% dos postos pluviométricos) inferiores a 15 mm/mês no Q15 (Figura 5) e inferiores a 20 mm/mês no Q35 (Figura 6), com exceção de dois postos pluviométricos pertencentes à região 2, localizados na divisa entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo.

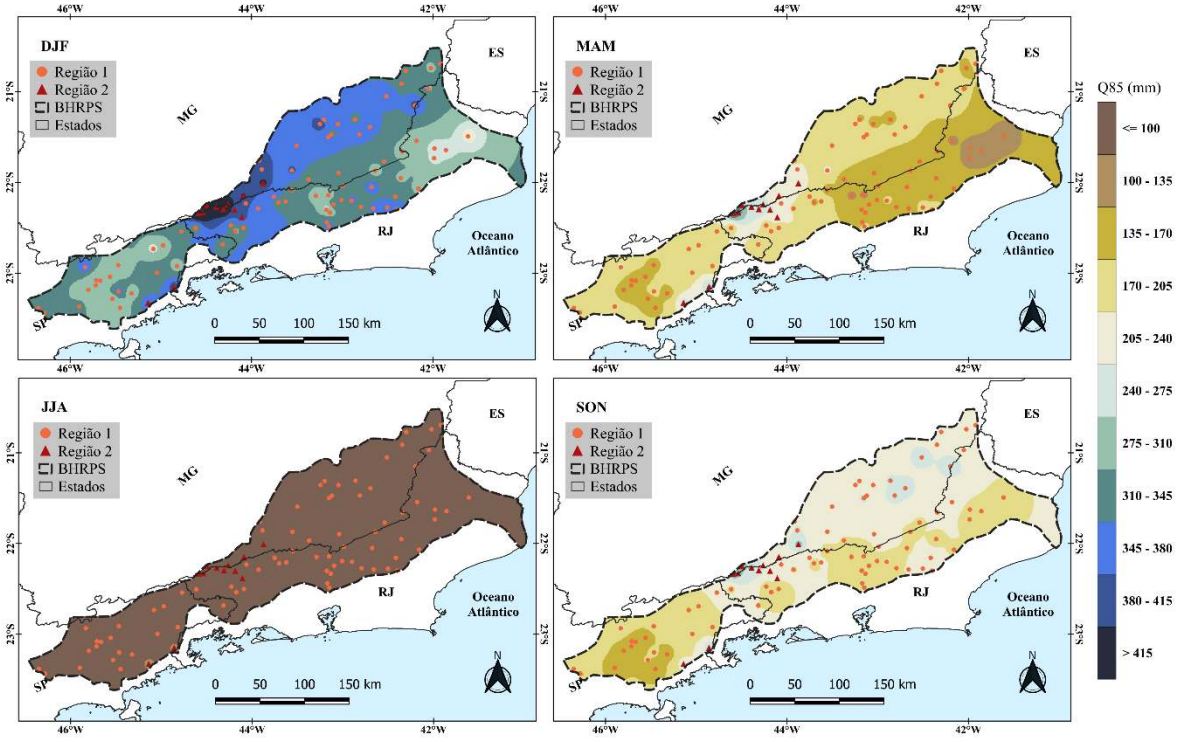
As Figuras 7 e 8 apresentam os quantis 65% (Q65) e 85% (Q85) da precipitação acumulada mensal (mm/mês) por estação do ano, respectivamente. Pode-se observar que os maiores valores do Q65 (Figura 7) foram identificados no verão (DJF), com registros acima de 135 mm/mês em toda a região analisada, apresentando valores maiores que 210 mm/mês na maior parte da bacia (áreas da região 1) e valores maiores que 260 mm/mês na região 2. No Q85 (Figura 8), no verão (DJF), os valores foram maiores que 240 mm/mês, com exceção de um posto pluviométrico localizado no nordeste da bacia. Pode-se observar que a região mais próxima à foz do Rio Paraíba do Sul, localizada na mesorregião Norte Fluminense, foram registrados os menores valores do Q85 no verão (DJF), outono (MAM) e inverno (JJA). Já na região 2 (área da divisa entre os três estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo), no verão (DJF), os valores foram maiores que 380 mm/mês no Q85.

Figura 7 – Valores do quantil 65% (Q65) da precipitação acumulada mensal (mm/mês) na BHRPS por estação do ano: verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA), primavera (SON).



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Figura 8 - Valores do quantil 85% (Q85) da precipitação acumulada mensal (mm/mês) na BHRPS por estação do ano: verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA), primavera (SON).



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

No outono (MAM), alguns núcleos localizados na faixa nordeste da BHRPS, que abrangem a mesorregião norte fluminense, registraram valores do Q65 (Figura 7) entre 60 e 85 mm/mês e do Q85 (Figura 8) entre 100 e 135 mm/mês. Nos postos pluviométricos que pertencem à região 2, localizados na divisa entre os três estados e também na porção sudeste da bacia, próximos à divisa entre São Paulo e Rio de Janeiro, o Q65 apresentou valores entre 135 e 210 mm/mês, enquanto o Q85 apresentou valores entre 205 e 345 mm/mês. Nas demais localidades da bacia, de forma geral, os registros estiveram entre 85 e 135 mm/mês (Q65) e entre 135 a 205 mm/mês (Q85).

Na primavera (SON), os postos pluviométricos pertencentes à região 2 apresentaram valores entre 160 e 235 mm/mês no Q65 e entre 240 e 310 mm/mês no Q85. Em outras áreas da BHRPS, os valores mantiveram-se entre 110 e 160 mm/mês (Q65) e entre 170 e 240 mm/mês (Q85). Já no inverno (JJA), foram observados os menores quantis, com valores menores que 85 mm/mês no Q65 (Figura 7) e menores que 135 mm/mês no Q85 (Figura 8) nas duas regiões da bacia.

Os resultados dos quantis analisados (Q15, Q35, Q65 e Q85) e das médias das precipitações evidenciam uma forte sazonalidade na precipitação acumulada mensal na BHRPS. Os maiores valores foram registrados no verão (DJF), especialmente na região 2, onde os quantis superiores Q65 e Q85 atingiram mais de 260 mm/mês e 380 mm/mês, respectivamente. A primavera (SON) apresentou padrões semelhantes ao verão, porém com valores um pouco menores, refletindo a transição para o período chuvoso. Esse comportamento é característico do Sistema de Monção da América do Sul (SMAS), que, de acordo com Zhou e Lau (1998), está relacionada à formação da ZCAS. De acordo com Grimm (2011), a ZCAS está relacionada a altos valores pluviométricos, principalmente durante o final da primavera e o verão. Tavares e Ferreira (2020) detectaram que os eventos mais extremos de precipitação que ocorreram entre 1980 e 2017 em Petrópolis - RJ foram durante o verão. Os autores constataram, ainda, a relação entre a atuação das ZCAS e frentes frias e a ocorrência desses extremos.

No outono (MAM), observa-se uma redução gradual nos valores dos quantis analisados (Q15, Q35, Q65 e Q85) e nas médias das precipitações, embora os padrões sejam similares aos da primavera (SON), refletindo um período de transição para o inverno (JJA). O inverno (JJA), por sua vez, é caracterizado pelos menores valores de precipitação em todos os

quantis, com Q65 abaixo de 50 mm/mês e Q85 inferior a 84 mm/mês em aproximadamente 97% dos postos pluviométricos analisados. No inverno (JJA), as frentes frias que atingem a BHRPS são as principais responsáveis pela ocorrência de eventos de precipitação (Silva; Reboita; Rocha, 2014). No entanto, durante esse período, a atuação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e do Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN) pode impedir a passagem dos sistemas frontais e ocasionar longos períodos de estiagem (Minuzzi *et al*., 2007; Reboita *et al*., 2010).

A Tabela 2 apresenta os postos pluviométricos que apresentaram tendências estatisticamente significativas a 5% nos quantis Q15, Q35, Q65 e Q85. A análise da distribuição dessas tendências ao longo das estações do ano revela padrões distintos no comportamento da precipitação. Durante o outono (MAM) e o inverno (JJA), apenas um posto pluviométrico pertencente à região 2, localizado na divisa entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo, na porção sudeste da BHRPS, apresentou tendência estatisticamente significativa a 5%, sendo negativa e observada apenas no Q15. Na primavera (SON) e verão (DJF), dois e três postos pluviométricos, respectivamente, apresentaram tendências estatisticamente significativas a 5% em quase todos os quantis analisados.

Tabela 2 – Postos pluviométricos que apresentaram tendência estatisticamente significativa a 5% nos quantis Q15, Q35, Q65 e Q85, distribuídos por estação do ano.

		Código 2345008 (Região 1)	**Código 2345159 (Região 1)**	**Código 2344009 (Região 2)**	**Total**
Verão (DJF)	Q15	TN	-	TN	2
	Q35	TN	-	TN	2
	Q65	TN	TP	TN	3
	Q85	TN	TP	TN	3
Outono (MAM)	Q15	-	-	TN	1
	Q35	-	-	-	0
	Q65	-	-	-	0
	Q85	-	-	-	0
Inverno (JJA)	Q15	-	-	TN	1
	Q35	-	-	-	0
	Q65	-	-	-	0
	Q85	-	-	-	0
Primavera (SON)	Q15	-	-	TN	1
	Q35	TN	-	TN	2
	Q65	TN	-	TN	2
	Q85	TN	-	-	1

TN: Tendência Negativa; TP: Tendência Positiva

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

A Figura 9 ilustra a tendência da intensidade da precipitação mensal no período chuvoso (meses de verão - DJF) da BHRPS, destacando-se como a estação com o maior número de postos pluviométricos que apresentaram tendência estatisticamente significativa a 5% nos quantis Q15, Q35, Q65 e Q85, conforme apresentado na Tabela 2. Observa-se que, de forma geral, a tendência foi negativa, embora sem significância estatística na maioria dos postos analisados. Apenas dois postos (2,25% do total), situados na porção sul da BHRPS (um da região 1 e um da região 2), apresentaram tendência negativa estatisticamente significativa a 5% em todos os quantis estudados. No posto pluviométrico agrupado na região 1 as magnitudes estimadas para os quantis foram iguais a -0,21 mm/mês (Q15), -0,23 mm/mês (Q35), -0,27 mm/mês (Q65) e -0,30 mm/mês (Q85), enquanto no posto pertencente à região 2, situado na divisa entre Rio de Janeiro e São Paulo, as magnitudes estimadas foram de -0,26 mm/mês (Q15), -0,39 mm/mês (Q35), -0,36 mm/mês (Q65) e -0,31 mm/mês (Q85).

As diferenças observadas nas tendências pluviométricas indicam que alterações no regime de chuvas da região ocorrem em escala local, possivelmente devido a uma combinação de fatores climáticos e geográficos, que tornam a região 2 mais sensível às mudanças climáticas. A maior intensidade da tendência negativa nos quantis intermediários (Q35 e Q65) no posto pluviométrico dessa região sugere uma redução mais expressiva das chuvas moderadas, impactando diretamente a recarga hídrica dos reservatórios e o regime hidrológico local.

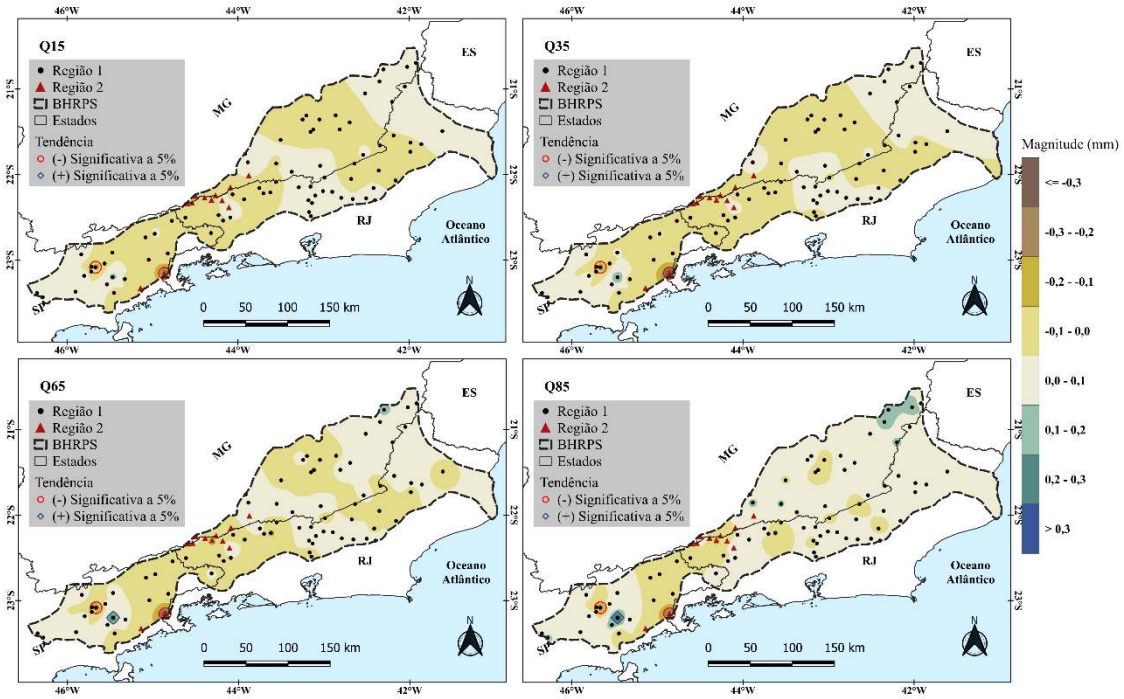
A redução das chuvas moderadas pode comprometer a recarga dos reservatórios e aumentar o risco de escassez hídrica nos sistemas Cantareira e Guandu, que são fundamentais para o abastecimento das Regiões Metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro. Essa vulnerabilidade é agravada devido ao sistema de bombeamento que transpõe águas da BHRPS para a Bacia do Rio Guandu e à ligação da BHRPS com o Sistema Cantareira. Neves e Vilanova (2021) reforçam essa preocupação ao caracterizar a seca da década de 2010, destacando o impacto cumulativo de eventos sucessivos e a necessidade de estratégias plurianuais para mitigar os efeitos da variabilidade climática sobre o abastecimento urbano.

Regoto *et al*. (2021) e Luiz-Silva e Garcia (2022), ao analisarem a precipitação no Brasil, também observaram que, de forma geral, não há tendências estatisticamente significativas no Sudeste do Brasil e na Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste, com algumas tendências significativas pontuais, predominantemente negativas. Essa tendência negativa pode estar

associada aos frequentes períodos de seca registrados desde a década de 2000 durante a estação chuvosa (Coelho *et al.*, 2016).

Na Tabela 2 e Figura 9, também foi observada tendência positiva estatisticamente significativa ao nível de significância de 5% em um posto pluviométrico pertencente à região 1 (situado ao sul da bacia), para os quantis 65% e 85%, com magnitudes estimadas de 0,29 mm/mês e 0,39 mm/mês, respectivamente. Esses resultados sugerem uma distribuição pluviométrica heterogênea e uma possível intensificação dos eventos de precipitação intensa. No entanto, é importante destacar que esse posto pluviométrico apresentou a maior porcentagem de falhas na série histórica (15%), o que aumenta a incerteza associada a essa tendência.

Figura 9 – Tendência significativa, ao nível de significância de 5%, da intensidade da precipitação mensal no período chuvoso (meses de verão - DJF) para os quantis: 15% (Q15), 35% (Q35), 65% (Q65) e 85% (Q85).



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Esses resultados estão de acordo com Santana, Santos e Silva (2020), que analisaram séries temporais de precipitação anual na BHRPS e identificaram tendências heterogêneas, o que sugere que o regime pluviométrico vem sofrendo alterações em uma escala local. De acordo com Gomes *et al*. (2021), um dos fatores que contribui com a variabilidade na distribuição das chuvas é a mudança no uso e ocupação do solo, devido à alteração na

temperatura da superfície. Além disso, somam-se a esse efeito as influências das mudanças climáticas, que podem intensificar ou aumentar a frequência de eventos de precipitações intensas ou de secas (IPCC, 2023).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo consistiu em identificar as regiões pluviometricamente homogêneas e caracterizar a variabilidade espaço-temporal da precipitação na BHRPS, utilizando séries históricas (1963 a 2022) de 89 postos pluviométricos distribuídos pelo território da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (BHRPS).

Os resultados obtidos indicam duas regiões pluviometricamente homogêneas na BHRPS, a região 1 com 77 postos pluviométricos distribuídos ao longo da bacia e a região 2 com 12 postos, localizados na divisa entre os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo e na porção sudeste da BHRPS (divisa entre Rio de Janeiro e São Paulo), com valores de precipitação mais elevados em comparação à região 1. No que se refere à região 1, é importante destacar que os menores valores de precipitação foram observados nos postos pluviométricos situados na porção nordeste da bacia, que corresponde às mesorregiões Norte e Noroeste Fluminense.

Com relação ao regime pluviométrico da BHRPS, destaca-se que o verão é a estação chuvosa da região, com médias de precipitação entre 131,5 mm e 300,1 mm na região 1 e entre 269,3 mm e 393,6 mm na região 2, enquanto no inverno foram registradas as menores médias pluviométricas, com valores entre 38,8 mm e 85,2 mm na região 1 e entre 81,7 mm e 119,1 mm na região 2. As análises dos quantis demonstraram que a BHRPS apresenta um padrão consistente de precipitação, no qual foi observado que a região 2 apresentou valores de precipitação elevados quando comparados à região 1 para todas as estações do ano.

Na análise da tendência para o verão, foram observadas tendências negativas estatisticamente significativas ao nível de significância de 5% para os quantis Q15, Q35, Q65 e Q85 em dois postos pluviométricos (um da região 1 e um da região 2) localizados no sul da BHRPS, enquanto uma tendência positiva estatisticamente significativa ao nível de 5% foi observada em um posto da região 1. Durante o outono e o inverno, um posto pluviométrico pertencente à região 2 apresentou tendência negativa, estatisticamente significativa ao nível de 5%, apenas no Q15. Já na primavera, um posto pluviométrico pertencente à região 1

apresentou tendência estatisticamente significativa ao nível de 5% nos quantis 35, 65 e 85, enquanto um posto pertencente à região 2 apresentou tendência estatisticamente significativa ao nível de 5% nos quantis 15, 35 e 65.

A partir deste estudo, espera-se contribuir para uma melhor compreensão dos extremos de precipitação, visando fornecer informações que auxiliem na tomada de decisão e na elaboração de planos e políticas públicas que possam ajudar a mitigar os impactos negativos desses eventos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e da Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ), por meio do projeto "Variabilidade Climática e Extremos Hidrológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul", Processo Nº E-26/211.976/2021. Os autores também agradecem à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), pela disponibilização dos dados.

REFERÊNCIAS

ABRHIDRO - Associação Brasileira de Recursos Hídricos. **A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul**, [20--]. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/ivsrhps/index.php?ID=1064>. Acesso em: 23/01/2024.

AGEVAP - Associação Pró-gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro R2-F - Caracterização Ambiental**. Rio de Janeiro: AGEVAP. 2014

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrif**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Dados da Bacia: Estudos auxiliares para a Gestão do Risco de Inundações.** Bacia do Rio Paraíba do Sul, [20--]. Disponível em: < http://gripbsul.ana.gov.br/ABacia.html>. Acesso em: 29 de julho de 2023.

ANDRÉ, R. G. B. *et al*. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do Rio de Janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, p. 501-509, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0102-77862008000400009

BRASILIENSE, C. S. *et al*. Climatologias da Temperatura do Ar e da Precipitação na Bacia do Rio Paraíba do Sul, Região Sudeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 43, n. 1, p. 355–365, 30 mar. 2020. DOI: https://doi.org/10.11137/2020_1_355_365

CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J. **Clima das regiões brasileiras e variabilidade climática**. 1. ed. [s.l.] Oficina de Textos, 2021.

CEMADEN – Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais. **Cemaden registra recorde de alertas e mais de 1,6 mil ocorrências de desastre no Brasil em 2024.** 2025. Disponível em: < https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2025/01/cemaden-registra-recorde-de-alertas-e-mais-de-1-6-mil-ocorrencias-de-desastre-no-brasil-em-2024>. Acesso em: 15/08/2025.

COELHO, C. A. S.; CARDOSO, D. H. F.; FIRPO, M. A. F. A seca de 2013 a 2015 na região sudeste do Brasil. **Revista Climanalise**, p. 55-66, 2016.

FERREIRA, G. R. **Eventos extremos de precipitação nas bacias hidrográficas dos rios Doce e Paraíba do Sul**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 2019.

GBANDI, T. This water is all ours: Water demand and civil conflicts. **Research in Economics**, v. 76, n. 2, p. 120–130, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rie.2022.06.003

GOMES, F. B. R. *et al*. Estudo da variabilidade espaço-temporal e tendências de precipitação na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 365 - 390, jun 2021. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v28i0.74380

GOUVEA, R. L. *et al*. Análise de frequência de precipitação e caracterização de anos secos e chuvosos para a bacia do Rio Itajaí. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 7 maio 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.55276

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v.25, n.4, p.537–554, maio 2011. DOI: https://doi.org/10.1007/s00477-010-0420-1

HAIR, J. F., *et al*. **Análise multivariada de dados**. Trad. Adonai S. Sant'Anna e Anselmo C. Neto. 5 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HOLENDER, B. V.; SANTOS, E. B. Análise de tendência dos eventos de precipitação intensa no Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 584–606, 29 abr. 2023. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16411

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Catálogo, 2015. Banco de dados disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo.html?id=445142&view=detalhes>. Acesso em: 29 de julho de 2023.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023**. Geneva: IPCC, 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>. Acesso em: 18 de agosto 2025.

KELLER FILHO, T.; ASSAD, E. D.; LIMA, P. R. S. D. R. Regiões pluviometricamente homogêneas no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 4, p. 311–322, abr. 2005.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods**. 4 ed. London: Charles Griffin. 1975.

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P. ; FERNÁNDEZ, J. P. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, n. 1, p. 121–135, 1 jul. 2010. DOI: https://doi.org/10.1007/s00704-009-0207-9

LUIZ-SILVA, W.; GARCIA, K. C. Sustainable future and water resources: a synthesis of the Brazilian hydroelectricity sector in face of climate change. **Sustainable Water Resources Management**, v. 8, n. 4, p. 120, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s40899-022-00711-3

MANN, H. B. Non-parametric tests against trend. **Econometrica**, 13p. 1945.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências hidrológicas da bacia do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia,** n.2, v. 20, p. 215–226, mar. 2005.

MARENGO, J. A. *et al.* Heavy rains and hydrogeological disasters on February 18th–19th, 2023, in the city of São Sebastião, São Paulo, Brazil: from meteorological causes to early warnings. **Natural Hazards**, v. 120, n. 8, p. 7997–8024, 2024.

MARENGO, J. A.; *et al*. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**, n. 106, p. 31–44, 2015. DOI: https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i106p31-44

MAZZINI, P. L. F.; SCHETTINI, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase-sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 53, 17 jul. 2009. DOI: https://doi.org/10.14210/bjast.v13n1.p53-64

MINUZZI, R. B. *et al*. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 3, p. 338–344, dez. 2007. DOI: https://doi.org/10.1590/S0102-77862007000300007

MIMMACK, G. M.; MASON, S. J.; GALPIN, J. S. Choice of distance matrices in cluster analysis: defining regions. **Journal of Climate**, v. 14, n. 12, p. 2790-2797, 2001. DOI: https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<2790:CODMIC>2.0.CO;2

NEVES, A. de O.; VILANOVA, M. R. N. Caracterização da seca histórica da década de 2010 na Bacia do Rio Paraíba do Sul, Estado de São Paulo, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, n. 2, p. 339–349, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-415220190023

PINKAYAN, S. **Conditional probabilities of ocurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area**. Colorado: State University, Boulder-Co, (Hidrology Papers, l2), 1966.

R CORE TEAM (2024). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.R-project.org/.

REBOITA, M. S. *et al*. Regimes de precipitação na América do Sul: Uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, jun. 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0102-77862010000200004

REGOTO, P. *et al*. Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. 11, p. 5125–5142, 2021. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.7119

ROUSSEEUW, P. J. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 20, p. 53–65, nov. 1987.

SALVIANO, M. F.; GROPPO, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64–73, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-778620150003

SANTANA, G. R. A.; SANTOS, E. B.; LUGON JÚNIOR, J. Características climáticas e análise de tendência pluviométrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Alterações antrópicas & meio Ambiente**. 1ed. Campina Grande: EPTEC, p. 187-194, 2023. *E-book*.

SANTANA, G. R. A. SANTOS; E. B.; SILVA, M. G. J. da. Caracterização Espaço-Temporal das Secas na Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, n. 4, 18 dez. 2020. DOI: https://doi.org/10.11137/2020_4_364_375

SANT'ANNA NETO, J. L. Decálogo da climatologia do Sudeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Climatologia,** v. 1, n. 1, 31 dez. 2005. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v1i1.25232

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, p. 1379-1389. 1968.

SILVA, A. S. A. *et al*. Comparison of Interpolation Methods for Spatial Distribution of Monthly Precipitation in the State of Pernambuco, Brazil. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 24, n. 3, p. 04018068, mar. 2019. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.19435584.0001743

SILVA, L. J.; REBOITA, M. S. ; ROCHA, R. P. da. Relação da passagem de frentes frias na região Sul de Minas Gerais (RSMG) com a precipitação e eventos de geada. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, n. 1, 13 out. 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v14i1.36314

SOBRAL, B. S. *et al*. Variabilidade espaço-temporal e interanual da chuva no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 7 maio 2018. **DOI:** https://doi.org/10.5380/abclima.v22i0.55592

TAVARES, C. D. M. G.; FERREIRA, C. D. C. M. A relação entre a orografia e os eventos extremos de precipitação para o município de Petrópolis - RJ. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 4 mar. 2020. DOI: https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.71123

TAVARES, M. G.; SANTOS, E. B. Período de retorno das precipitações máximas diárias no estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, p. 274–290, 16 fev. 2022. DOI: https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.15196

WARD, J. H. Hierarquical grouping to optimize an objective function**. Journal of the American Statistical Association**, v. 58, p. 236 -244, 1963.

WMO - World Meteorological Organization. Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals. WCDP-No. 10, WMO-TD/No. 341. 1989.

XAVIER, T.M.B.S.; XAVIER, A.F.S. Caracterização de períodos secos ou excessivamente chuvosos no estado do Ceará através da técnica dos Quantis: 1964 - 1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.14, n.2, p. 63 - 78, 1999.

ZHOU, J.; LAU, K. M. Does a Monsson Climate Exist Over South America? **Journal of Climate**, v.11, n.5, p.1020-1040, 1998.