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

ANÁLISE DAS SÉRIES HISTÓRICAS DE PRECIPITAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CAMAQUÃ, RS, BRASIL, A PARTIR DE DADOS OBSERVADOS E NUMÉRICOS DE ALTA RESOLUÇÃO

Análise das analysis of the historical series of monthly precipitation in the Camaquã Hydrographic Basin, Brazil, based on observed and high-resolution numerical data

Análisis de las series históricas de precipitación en la Cuenca Hidrográfica del Camaquã, RS, Brasil, a partir de datos observados y numéricos de alta resolución

Taís Pegoraro Scaglioni
Graduate Program in Water Resources, Federal University of Pelotas (UFPel);
Tapes Unit, State University of Rio Grande do Sul (UERGS);
tais-scaglioni@uergs.edu.br

Mateus Menezes Straceione
Undergraduate Student in Business Administration, Tapes Unit;
State University of Rio Grande do Sul (UERGS);
mateus-straceione@uergs.edu.br

André Becker Nunes
School of Meteorology, Federal University of Pelotas (UFPel);
andre.nunes@ufpel.edu.br

Abstract: This study broaches the analysis of historical precipitation series in the Camaquã Hydrographic Basin (CHB), located in Rio Grande do Sul State, Brazil. The relevance of climate monitoring, especially in understanding variations in precipitation that impact local economic activities, such as agriculture and livestock, is highlighted. The main objective is to identify and fill gaps in historical precipitation data, using statistical methods such as multiple linear regression, and verify precipitation trends over 40 years (1981-2020). This work also correlates historical data with the ERA5 reanalysis, aiming to evaluate the accuracy of this model. The results show a reasonably homogeneous mean distribution across the months, with spring showing slightly higher values. The historical series

showed no significant trends. It was observed that ERA5 strongly correlates with the observed data, although it tends to overestimate precipitation, particularly in the warmer.
Keywords: ERA5. Precipitation Trends. Water Resources.

Resumo: O presente artigo aborda a análise das séries históricas de precipitação na Bacia Hidrográfica do Camaquã (BHC), localizada no Rio Grande do Sul, Brasil. O estudo destaca a relevância do monitoramento climático, especialmente para entender variações na precipitação, que impactam atividades econômicas locais, como a agricultura e a pecuária. O objetivo principal é identificar e preencher lacunas nos dados históricos de precipitação, utilizando métodos estatísticos, como a regressão linear múltipla, e verificar tendências de precipitação ao longo de 40 anos (1981-2020). A pesquisa também correlaciona dados históricos com a reanálise, visando avaliar a precisão desse modelo. Os resultados mostram uma distribuição média razoavelmente homogênea ao longo dos meses, com a primavera apresentando valores um poco maiores. A série histórica não apresentou tendências significativas. Observou-se que o ERA5 apresenta forte correlação com os dados observados, embora tenda a superestimar a precipitação principalmente nos meses mais quentes.
Palavras-chave: ERA5. Tendências de Precipitação. Recursos Hídricos.

Resumen: El presente artículo aborda el análisis de las series históricas de precipitación en la Cuenca Hidrográfica del Camaquã (BHC), ubicada en Rio Grande do Sul, Brasil. El estudio destaca la relevancia del monitoreo climático, especialmente para entender las variaciones en la precipitación, que impactan en actividades económicas locales como la agricultura y la ganadería. El objetivo principal es identificar y llenar las brechas en los datos históricos de precipitación, utilizando métodos estadísticos como la regresión lineal múltiple, y verificar las tendencias de precipitación a lo largo de 40 años (1981-2020). La investigación también correlaciona datos históricos con el reanálisis, con el fin de evaluar la precisión de este modelo. Los resultados indican una distribución media casi homogénea a lo largo de los meses, con valores ligeramente superiores en la primavera. La serie histórica no mostró tendencias significativas. Cabe destacar que el ERA5 presenta una fuerte correlación con los datos observados, aunque tiende a sobreestimar la precipitación, especialmente en los meses más cálidos.
Palabras clave: ERA5. Tendencias de Precipitación. Recursos Hídricos.

Received: 16/11/2024
Accepted: 17/08/2025
Published online: 27/09/2025

1. INTRODUÇÃO

No Brasil devido ao seu amplo território, posição geográfica e influência da circulação das massas de ar, correntes marítimas, latitude, altitude, inclinação solar e pressão atmosférica, caracteriza-se com climas: Equatorial, tropical e Subtropical, os quais são responsáveis pelo regime pluviométrico no país (Cavalcanti, 2016; Mendonça; Danni-Oliveira, 2017).

Porém o regime de precipitação em determinadas regiões, vem sofrendo oscilações, seja pela variabilidade climática ou mudanças climáticas, intensificadas pelas ações antropogênicas. Nesse sentido, o monitoramento e registro das variáveis meteorológicas/climatológicas são fundamentais em termos de quantificação do ciclo hidrológico, além de condicionar os ciclos agrícolas e outras atividades humanas (Sarkar *et al.*, 2021).

No sentido de monitorar e acompanhar a evolução do clima e as variáveis meteorológicas, em especial a precipitação, é necessária uma rede de estações meteorológicas/postos pluviométricos consistente, que abranja uma área geográfica significativa, com séries de dados completas, sem falhas e com período significativo de informações, preferencialmente de 30 anos ou mais que representam as séries histórica/climatológicas (INMET, 2024).

Entretanto existem muitas vezes falhas ou interrupções nas séries históricas. Essas falhas, se devem a danos aos equipamentos, período de manutenção, falhas na observação (no caso de estações analógicas), no registro, no armazenamento e na transmissão de dados (Freitas *et al*., 2023; Santos *et al*., 2022; Oliveira; Sanches; Ferreira, 2021).

Para que estas séries de dados sejam utilizadas de forma confiável, faz-se necessário a utilização de técnicas estatísticas para o preenchimento destas falhas de dados, que podem se correlacionar os dados de estações/postos pluviométricos vizinhos, incluindo condições topográficas e ambientais similares (Cardoso *et al.*, 2024). Outra ferramenta é o uso das plataformas globais de dados meteorológicos de reanálise (Aparecido *et al.,* 2020; Cardoso *et al.,* 2024). O conjunto de dados de reanálise combina um modelo climático com dados observacionais de satélites e sensores *in situ* para criar um registro consistente a longo prazo, permitindo melhor entendimento do clima passado e presente, viabilizando um diagnóstico atual do clima de uma região.

A espacialização e disponibilidade dos dados meteorológicos são itens essenciais na tomada de decisão. Devido ao elevado custo e à dificuldade na obtenção de medidas pluviométricas em áreas de difícil acesso, as simulações numéricas e os dados de satélite têm sido utilizados em estudos climatológicos e hidrológicos (Diaz; Pereira; Nóbrega, 2018; Sales *et al*., 2023; Tang *et al*., 2022).

Outro fator a ser considerado são as análises de tendências nas séries históricas de precipitação, que podem indicar os períodos de aumento ou redução da precipitação nas bacias hidrográficas. A identificação destes períodos contribuirá na tomada de decisões, visando mitigar os impactos socioeconômicos na região, especialmente na agricultura e nos recursos hídricos (Barros *et al.,* 2021; Rodrigues *et al.,* 2023).

Neste sentido, este estudo se propõe a realizar o levantamento das séries históricas de precipitação na Bacia Hidrográfica do Camaquã (BHC), uma importante região do Estado do Rio Grande do Sul (RS). As condições climáticas e as características de geologia, geomorfologia e solo da bacia apresentam aptidão para a pecuária, agricultura de sequeiro e irrigada, silvicultura e mineração, atividades primárias que alavancam a economia regional (Rosa; Silva; Silva, 2016).

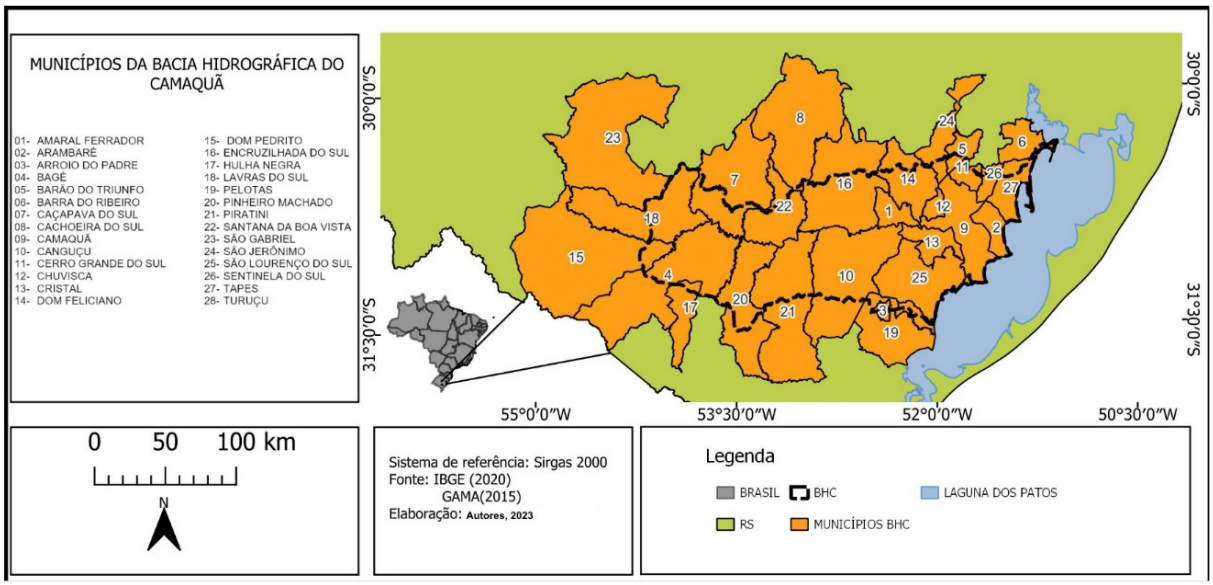
Além disso, visa identificar e preencher as falhas nos dados de precipitação, conforme apontado no relatório do Plano de Bacia (Rosa; Silva; Silva, 2016). Também será realizada a análise de tendências da precipitação e a correlação das séries históricas com os dados de reanálise do modelo ERA5 do *European Centre for Medium Range Weather Forecasts* (ECMWF).

2. METODOLOGIA

2.1. Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Camaquã localiza-se na região central do Rio Grande do Sul, pertencendo à região hidrográfica litorânea. Situa-se entre os paralelos 30°15’ a 31°35’ Sul, limitando-se a Oeste pelo meridiano 54°15’ e a Leste pelo meridiano 51°00’ (Figura 1). A área de projeção horizontal da bacia é de 21.657,1km², constituída de 28 municípios, e o rio principal tem uma extensão aproximada de 430km, conforme consta no Plano de Bacia (Rosa; Silva; Silva, 2016).

Figura 1 – Localização geográfica dos municípios e delimitação da Bacia Hidrográfica do Camaquã.
Fonte: os autores



O clima na BHC, assim como no Estado do RS em geral, caracteriza-se por ser uma região com boa disponibilidade hídrica, pela inserção dos principais sistemas precipitantes climatologicamente atuantes, a exemplo dos sistemas frontais (Nogueira; Machado; Reboita, 2024), sistemas convectivos de mesoescala (Piersante *et al*., 2021), ciclones (Reboita *et al*., 2021), alta subtropical do Atlântico Sul (Ferreira; Reboita, 2022), entre outros. A frequência e intensidade de tais sistemas são responsáveis pela distribuição da precipitação, em torno de 1200-1500mm durante o ano, com registros mensais de 7 a 9 dias com chuva, caracterizando a região como clima subtropical úmido (Rossato, 2020).

2.2. Dados e Métodos

A coleta das séries históricas de precipitação dos 122 postos pluviométricos, localizados na Bacia Hidrográfica do Camaquã foram obtidas junto a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA), através do portal HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas, no período de 1981 a 2020 (40 anos). Sendo avaliadas todas as séries históricas destes dados na bacia e verificado os postos pluviométricos possíveis em aplicar técnicas de preenchimento de falhas.

Para o preenchimento de falhas a técnica utilizada foi a estatística regressão linear múltipla, que consiste em correlacionar postos pluviométricos vizinhos e as séries históricas de precipitação não poderiam ultrapassar mais de 10% de falhas nos dados, sendo descartadas

da análise (Oliveira *et al*., 2010; Coutinho *et al*., 2018; Brubacher *et al*., 2020; Cunha Júnior; Firmino, 2022). Para selecionar os postos pluviométricos vizinhos foi considerado os seguintes critérios: características geográficas semelhantes, distância geográfica entre postos de até 50km, altitude semelhante, correlação de Pearson igual ou superior a 0,7 com dois ou mais postos pluviométricos. Critérios parecidos foram estabelecidos em Barbosa *et al*., (2005) e Brubacher *et al.*, (2020).

Realizado o preenchimento das falhas foi necessário aplicar a técnica de consistência, sendo o método da Dupla Massa o mais tradicional (WMO, 2018), que consiste em comparar a série em análise com uma série de referência, que deve ser homogênea e representativa da mesma região hidrológica (Collischonn; Dornelles, 2013; Bertoni; Tucci, 2020). Se as séries forem consistentes, os pontos devem se alinhar em uma reta de inclinação. Caso contrário, pode haver indícios de erros ou mudanças climáticas na série em análise (Sanches; Verdum; Fisch, 2014).

Outro método aplicado foi o Método dos Polígonos de Thiessen que é a interpolação espacial, que permite estimar a precipitação média da bacia hidrográfica a partir dos dados dos postos pluviométricos. A metodologia consiste em traçar as mediatrizes dos segmentos que unem os postos pluviométricos, formando polígonos que delimitam as áreas de influência de cada posto. A precipitação média na bacia foi calculada pela média ponderada das precipitações nos postos, usando as áreas dos polígonos como pesos (Bertoni; Tucci, 2020; Cardoso *et al*., 2024).

Após os ajustes e consistência das séries históricas de precipitação foi calculado a média climatológica mensal da precipitação observada (Apêndice B) e correlacionadas pela função estatística do Coeficiente de Pearson (Cardoso *et al*., 2024), com os dados da média climatológica mensal da precipitação estimada pelo modelo de reanálise ERA5, assim como a estimativa da magnitude da Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), de modo a verificar a precisão do modelo ERA5 (Cardoso *et al*., 2024; Jiang *et al*., 2024).

O ERA5 é a quinta geração de reanálise atmosférica do clima global, implementado pelo *European Centre for Medium Range Weather Forecasts* (Hersbach *et al*., 2020; C3S, 2024) com resolução horizontal de 0,25° (31 km) e 37 níveis na vertical, com a série história de 1940 até o tempo presente, e acessados na plataforma Copernicus, disponíveis em https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home. Para a obtenção da variável precipitação

estimada foi determinada a área de interesse (Figura 1), feito o download do arquivo em NetCDF, manipulado no software *Grid Analysis and Display System* (GrADS), o valor da variável foi extraído para o ponto de grade mais próximo da coordenada do posto pluviométrico, obtendo a média climatológica mensal de cada um dos 12 postos (Tabela 1), e na sequência calculou-se a média climatológica (1981-2020) mensal da BHC (Apêndice A).

Tabela 1 – Posições geográficas dos postos pluviométricos na BHC.

Código	Posto Pluviométrico	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Latitude ERA5	Longitude ERA5	Município
3152002	Boqueirão	-31,2839	-52,0831	120	-31,25	-52,00	São Lourenço do Sul
3051016	Camaquã	-30,8658	-51,7958	65	-30,75	-51,75	Camaquã
3051004	Cerro Grande	-30,5939	-51,7567	120	-30,50	-51,75	Cerro Grande do Sul
3051017	Fazenda da Boa Vista	-30,7719	-51,6603	25	-30,75	-51,75	Camaquã
3053007	Lavras do Sul	-30,8175	-53,9014	300	-30,75	-54,00	Lavras do Sul
3153003	Paraíso	-31,2267	-53,9014	368	-31,25	-54,00	Bagé
3153006	Passo da Capela	-31,1342	-53,0539	120	-31,25	-53,00	Piratini
3052007	Passo da Guarda Ceee	-30,9064	-52,4619	60	-31,00	-52,50	Encruzilhada do Sul
3152011	Passo do Mendonça	-31,0006	-52,0492	40	-31,00	-52,00	Cristal
3151003	São Lourenço do Sul	-31,3675	-51,9867	2	-31,25	-52,00	São Lourenço do Sul
3154003	Torquato Severo	-31,0283	-54,1789	390	-31,00	-54,25	Dom Pedrito
3153017	Torrinhas	-31,3142	-53,4994	420	-31,00	-54,25	Pinheiro Machado

Fonte: os autores

Para as séries históricas dos dados observados da precipitação na BHC também foi verificada a tendência sazonal (Dezembro/Janeiro/Fevereiro (DJF) - verão; Março/Abril/Maio (MAM) – outono; Junho/Julho/Agosto (JJA) – inverno; Setembro/Outubro/Novembro (SON) – primavera) e a tendência decadal (1981-1990; 1991-2000; 2001-2010; 2011-2020). No sentido de identificar os períodos de aumento/redução no volume da precipitação na Bacia, o teste estatístico não-paramétrico empregado foi o de Mann-Kendall (Kendall, 1975; Mann, 1945), o qual apresenta bom desempenho, sendo usualmente empregado (Barros *et al.,* 2021;

Rodrigues *et al.,* 2023; Cardoso *et al.*, 2024). Assim como, para identificar a magnitude deste aumento/redução da precipitação usou-se o teste de Sen Slope (Sen, 1968).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise das séries históricas de precipitação

No levantamento dos postos pluviométricos na BHC identificou-se 122 postos, destes, somente 14 apresentaram até 10% de falhas, os quais foram preenchidos pela técnica da regressão linear múltipla, Tabela 2, sendo que o posto pluviométrico Pacheca (3151002) não se enquadrou nos critérios estabelecidos para o preenchimento das falhas devido o coeficiente de correlação de Pearson baixo (0,4), sendo excluído da análise. Outro posto desconsiderado foi Porto Tarumã (3052010), pois na análise de consistência da homogeneidade dos dados preenchidos, este apresentou descontinuidade no gráfico, o que pode estar relacionado a erro de preenchimento nos dados ou mudanças climáticas (Sanches; Verdum; Fisch, 2014). Ao final, neste estudo foram analisados 12 postos pluviométricos distribuídos ao longo da BHC, os quais apresentaram homogeneidade nos dados da precipitação, apresentando coeficiente de regressão superior a 0,99.

Tabela 2 - Posto pluviométricos com falhas e os postos utilizados para o preenchimento, a partir da técnica estatística da regressão linear múltipla.

ID	Posto Pluviométrico com falha	Postos utilizados na Regressão Linear Múltipla
1	Boqueirão	São Lourenço do Sul; Pacheca; Passo do Mendonça
2	Camaquã	Pacheca; Fazenda Boa Vista; Passo do Mendonça.
3	Cerro Grande	Fazenda Boa Vista; Camaquã; Passo do Mendonça
4	Fazenda da Boa Vista	Camaquã; Cerro Grande; Pacheca
5	Lavras do Sul	Paraíso; Torquato Severo.
6	Paraíso	Torrinhas; Torquato Severo
7	Passo da Capela	Torrinhas; Porto Tarumã; Canguçu.
8	Passo da Guarda Ceee	Passo da Capela; Passo do Mendonça
9	Passo do Mendonça	Fazenda Boa Vista; Passo da Guarda Ceee; Pacheca.
10	São Lourenço do Sul	Pacheca; Boqueirão; Passo do Mendonça.
11	Torquato Severo	Paraíso; Lavras do Sul.
12	Torrinhas	Passo da Capela; Paraíso.

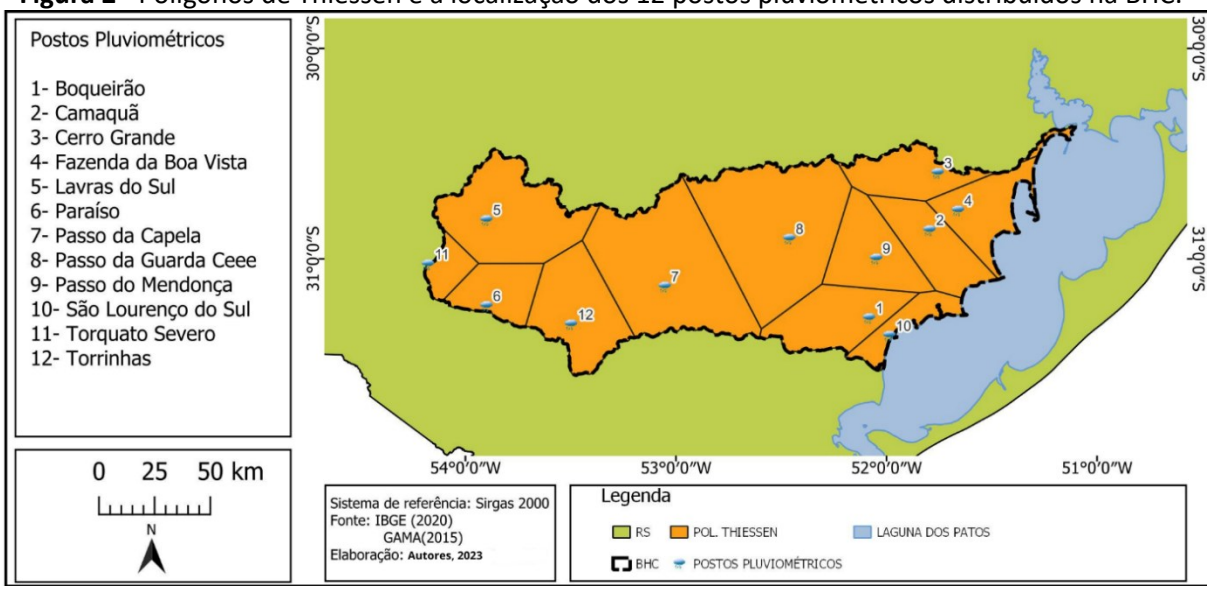
Fonte: os autores

A distribuição média da precipitação a partir do método dos polígonos de Thiessen

(Figura 2), pode ser observado na Tabela 3, a partir da área de influência de cada posto pluviométrico e a precipitação média anual. Os postos pluviométricos na região do Baixo Camaquã (municípios de São Lourenço do Sul, Cristal, Camaquã e Cerro Grande do Sul) apresentaram precipitações mais elevadas, em média ultrapassando os 1500mm, na região do Médio Camaquã (Piratini e Encruzilhada do Sul) os limiares ficaram entre 1300mm-1400mm e na região do Alto Camaquã (Bagé, Lavras do Sul, Pinheiro Machado e Dom Pedrito) os acumulados médios ficaram em torno de 1450mm, resultados similares a estes também foram verificados em Rossato (2020) para o RS .

Quando avaliada a precipitação média climatológica anual na bacia, proporcional a área de influência de cada posto, essa apresentou volume de 1464,8mm. Valores similares foram identificados por Silva e Campos (2011), quando avaliaram a distribuição da precipitação no RS no período de 1977 a 2006, nas proximidades da BHC identificaram volumes em torno de 1500mm, sendo que na latitude central do RS (30°S), uma isoieta de 1600mm corta o Estado de leste a oeste, com volumes de precipitação superiores ao Norte e inferiores ao Sul. Mais recentemente Cardoso *et al.* (2024) na bacia hidrográfica transfronteiriça Mirim-São Gonçalo/RS, ao sul da BHC, identificaram precipitação média anual de 1394,69mm no período de 1981-2020.

Figura 2 - Polígonos de Thiessen e a localização dos 12 postos pluviométricos distribuídos na BHC.



Fonte: os autores

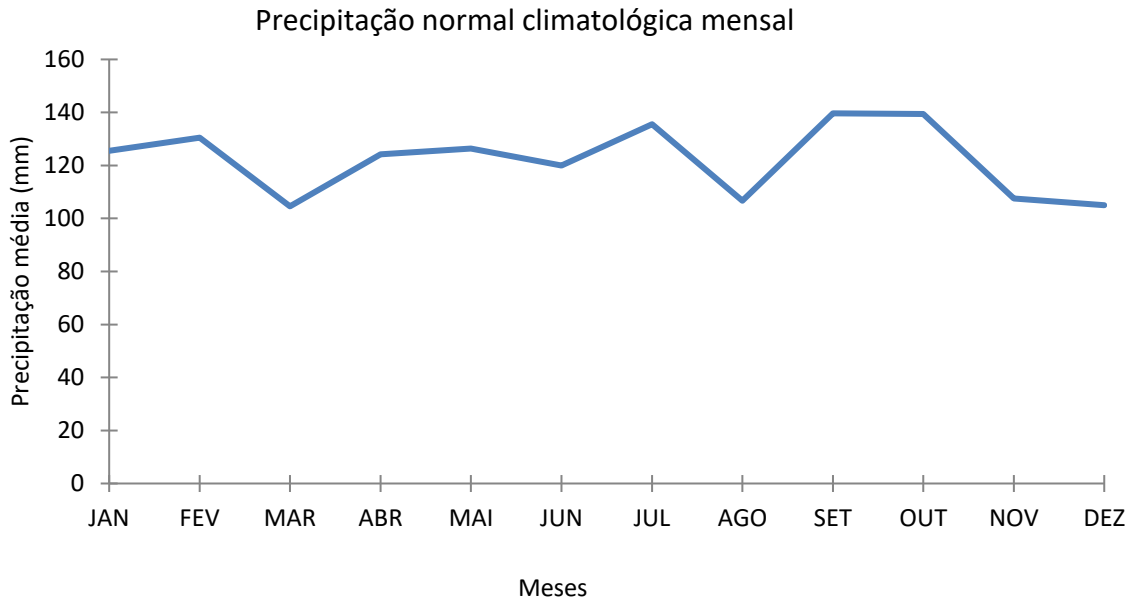
Tabela 3 - Postos pluviométricos, área de influência e precipitação anual na BHC.

ID	Posto pluviométrico	Código	Área (Km²)	Precipitação (mm)
1	Boqueirão	3152002	1542	1629,4
2	Camaquã	3051016	1357	1477,6
3	Cerro Grande	3051004	1250	1604,3
4	Fazenda da Boa Vista	3051017	1260	1526,7
5	Lavras do Sul	3053007	2649	1495,7
6	Paraíso	3153003	983	1375,2
7	Passo da Capela	3153006	3983	1429,7
8	Passo da Guarda Ceee	3052007	4046	1323,1
9	Passo do Mendonça	3152011	1503	1486,2
10	São Lourenço do Sul	3151003	651	1574,4
11	Torquato Severo	3154003	450	1602,4
12	Torrinhas	3153017	1896	1481,4

Fonte: os autores

Já a precipitação normal climatológica mensal na bacia (Figura 3) apresentou uma distribuição razoavelmente homogênea ao longo dos meses, uma vez que os valores ficaram entre 100mm a 140mm. Os meses que apresentaram menores volumes pluviométricos foram: março, agosto, novembro e dezembro, enquanto os meses de fevereiro, julho, setembro e outubro apresentaram volumes maiores. Estudos futuros acerca da circulação local sobre a bacia poderão explicar esta variabilidade mensal, haja vista que os sistemas precipitantes que atuam nos meses mais chuvosos também atuam nos meses menos chuvosos.

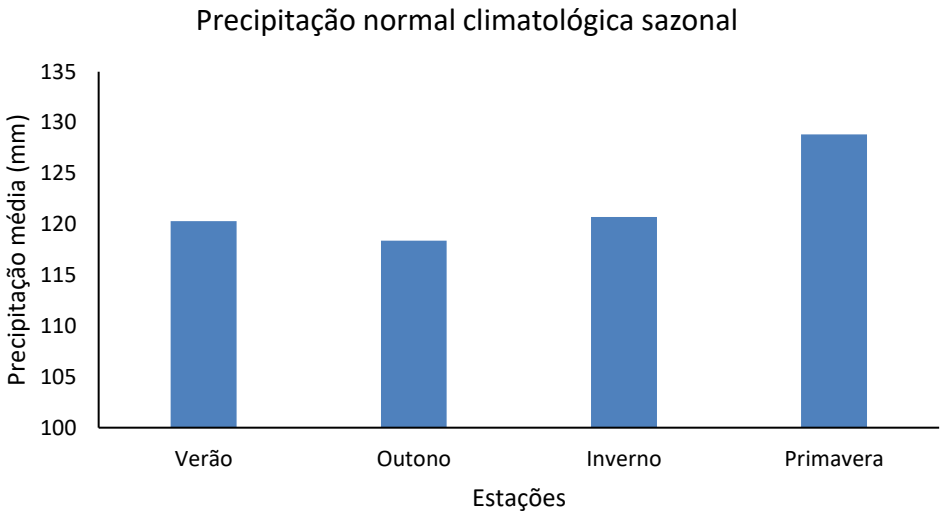
Figura 3 - Precipitação normal climatológica mensal na BHC, no período de 1981- 2020



Fonte: os autores

Sazonalmente, ou seja, conforme as estações do ano destes 40 anos (Figura 4), o outono apresentou menor média de precipitação (118mm) e a primavera apresentou maior média da precipitação (129mm). Este comportamento da precipitação bem distribuída ao longo do ano é justificado no Estado do RS por estar localizado em latitudes médias e recebe influência dos sistemas precipitantes tropicais e extratropicais (Gonçalves; Back, 2018). Entretanto, o maior valor na primavera pode ser explicado pela maior influência do fenômeno El Niño na precipitação no estado durante esta estação (Grimm; Ferraz; Gomes, 1998; Arruda; Centeno; Nunes, 2025)

Figura 4 - Precipitação normal climatológica sazonal no verão, outono, inverno e na primavera, na BHC, período de 1981-2020.



Fonte: os autores

3.2 Análise das tendências da precipitação

Na análise sazonal, Tabela 4, no verão, outono e inverno a tendência foi negativa, apresentando redução na magnitude da precipitação, a partir do método de Sen Slope entre -0,075 a -0,152mm/trimestre e na primavera houve tendência positiva de 0,046 mm/trimestre. Entretanto, os testes mostraram que as tendências não foram significativas em nenhuma das estações.

Tabela 4 - Tendências lineares, Teste de Mann-Kendall e inclinação de Sen Slope, com nível de significância de 5%, aplicados a cada estação do ano na BHC, no período de 1981-2020.

Estação do ano	Equação	Tendência Linear	Mann-Kendall (p-valor)	Sen Slope (mm/trimestre)
VERÃO	y = -0,0015x + 179,18	Negativa	0,35	-0,156
OUTONO	y = -0,0012x + 166,54	Negativa	0,48	-0,123
INVERNO	y = -0,0011x + 165,53	Negativa	0,66	-0,075
PRIMAVERA	y = 0,0014x + 78,204	Positiva	0,75	0,046

Fonte: os autores

A análise dos dados pluviométricos decadais, Tabela 5, traz informações sobre as tendências ao longo dos períodos: 1981-1990 e 2001-2010 os quais apresentaram tendências negativas, de magnitude Sen Slope de -10,2mm/década e -74,5mm/década, respectivamente; 1991-2000 e 2011-2020 apresentaram tendências positivas, de magnitude Sen Slope de 7,9mm/década e 29,6mm/década, respectivamente. Porém em todas as décadas essas tendências foram não significativas.

Neste sentido, Scaglioni, Fernandes e Nunes (2022) quando analisaram os eventos extremos de excesso/déficit de precipitação na BHC, entre 1991-2020, verificaram que no período de 2001-2010 houve menor quantidade de registro de eventos de excesso (8, acima de 133mm/dia) de precipitação quando comparado aos demais períodos. Em Scaglioni *et al.* (2023) em análise da tendência na ocorrência dos eventos extremos de precipitação em seis postos pluviométricos distribuídos ao longo da BHC, verificaram que praticamente todos os postos pluviométricos registraram tendências negativas não significativas no período de 1991-2020. Portanto, observa-se certa relação entre o comportamento da tendência da precipitação média e a tendência dos eventos extremos na BHC.

Tabela 5 - Precipitação média de cada década, tendências lineares, Teste de Mann-Kendall e

inclinação de Sen Slope, com nível de significância de 5%, aplicados a cada década na BHC, no período de 1981-2020.

Décadas	Precipitação média (mm/década)	Equação	Tendência Linear	Mann-Kendall (p-valor)	Sen Slope (mm/década)
1981-1990	1453,3	y = -25,838x + 1600,9	Negativa	1,00	-10,2
1991-2000	1487,6	y = 2,1867x + 1475,6	Positiva	0,86	7,9
2001-2010	1448,4	y = -87,312x + 1928,6	Negativa	0,07	-74,5
2011-2020	1464,5	y = 13,597x + 1389,7	Positiva	0,59	29,6

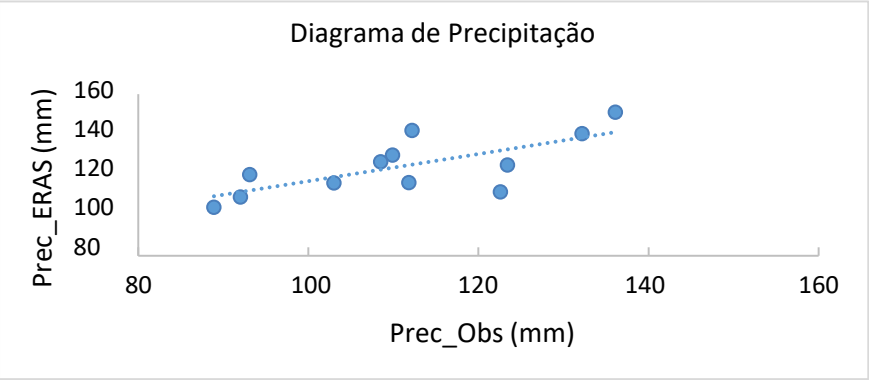
Fonte: os autores

3.2 Correlação entre as séries históricas de precipitação observada e estimada

A correlação linear entre as normais climatológicas mensais da precipitação observada nos postos pluviométricos e as normais de precipitação estimada pelo ERA5 (Figura 5), apresentou valor de 0,73, que segundo classificação de Mukaka (2012) representa uma correlação forte entre os dados observados e estimados. Lavers *et al. (*2022) em avaliação ao modelo de reanálise, compararam os dados estimados do ERA5 com os dados observados de precipitação diária, em 5637 estações distribuídas mundialmente, no período de 2001 a 2020 e os resultados mostraram que as melhores correlações (acima de 0,8) entre os dados observados e estimados foram representados na região dos extratrópicos, o que corrobora com os resultados aqui identificados, salientando que os dados desta pesquisa foram mensais.

Segundo Cardoso *et al.* (2024) em análise de 15 postos pluviométricos inseridos na bacia hidrográfica Mirim - São Gonçalo/RS, bacia vizinha a BHC, em avaliação da precipitação mensal, 1981-2020, do modelo de reanálise ERA5, verificaram coeficiente igual ou acima de 0,8 com precipitação observada em 10 dos 12 meses, sendo que no mês de fevereiro, abril e julho a correlação foi classificada como muito forte.

Figura 5 - Precipitação (mm) climatológica mensal observada (Prec_OBS) e precipitação climatológica mensal ERA5 (Prec_ERA5), período 1981- 2020, distribuída na BHC.



Fonte: os autores

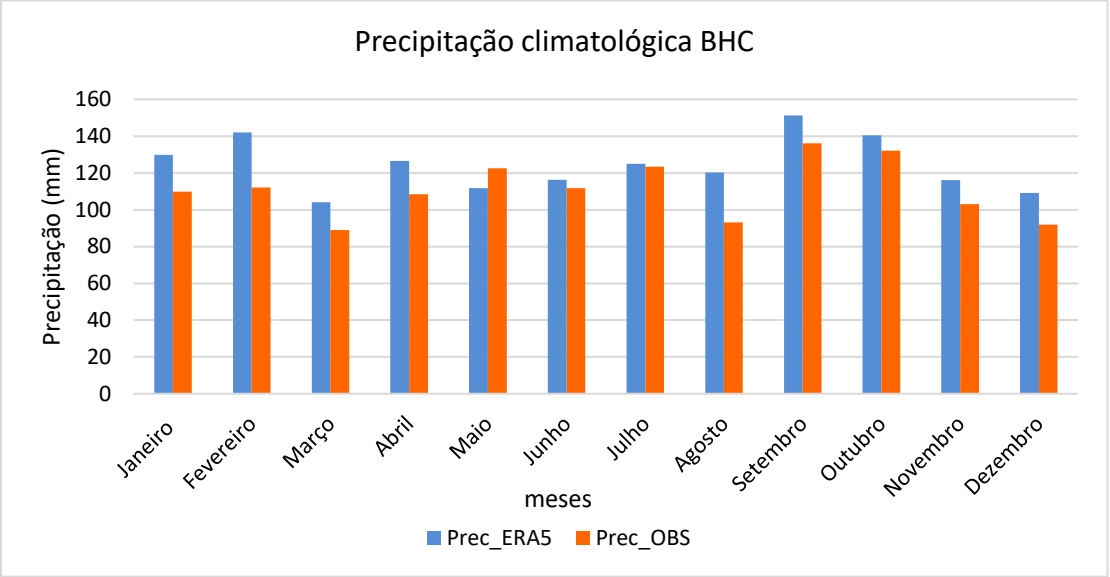
Também foi verificado que a precipitação normal climatológica mensal estimada ultrapassa (superestima) os valores observados, exceto no mês de maio (Figura 6). Os meses em que se observou as maiores diferenças foram em fevereiro e agosto (quase 30mm) e as menores diferenças então nos meses de junho, julho e outubro (inferior a 8mm). E quando analisadas as médias climatológicas sazonais essa diferença entre períodos é mais representativa, sendo que no verão e primavera a diferença entre os dados estimados e observados foi de 22,3mm e 12,2mm, e no outono e inverno de 7,5mm e 11,1mm, respectivamente. No geral, o modelo ERA5 superestima os dados, sendo em menor escala nos meses mais frios da BHC.

Este comportamento nos dados estimados, segundo Lavers *et al.*, (2022), se justifica para os meses de inverno, pois o modelo ERA5 consegue representar o ambiente atmosférico de forma mais precisa, e portanto a diferença entre os dados observados e estimados é menor, enquanto que para os meses mais quentes, as atividades convectivas estão mais presentes e o modelo não consegue representar adequadamente as quantidades da precipitação, aumentando a diferença pluviométrica entre os dados observados e estimados.

Neste estudo a magnitude do RMSE identificado foi de 17,06mm entre as médias climatológicas mensais observadas e estimadas, de 40 anos (1981-2020), resultado satisfatório quando avaliado com outras pesquisas (Cardoso *et al.*, 2024; Jiang *et al.*, 2024). O ERA5 pode apresentar algum erro de representatividade, em virtude de serem dados espacializados e representarem valores médios em uma determinada área. As características do relevo, áreas urbanas, vegetação entre outros, podem não estar bem representados no

modelo, causando mudanças na circulação atmosférica e como consequência alterações nas simulações das variáveis meteorológicas, ocasionando algumas diferenças nestes dados (Haiden *et al.,* 2018; Lavers *et al.,* 2022).

Figura 6 - Precipitação (mm) climatológica mensal observada (Prec_OBS) e precipitação climatológica mensal estimada ERA5 (Prec_ERA5), período 1981- 2020, distribuída na BHC.



Fonte: os autores

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos objetivos estabelecidos, foi possível realizar o preenchimento de falhas e analisar a tendência das séries históricas de precipitação mensal na Bacia Hidrográfica do Camaquã/RS. A análise dos dados revelou a consistência das séries históricas de precipitação e a distribuição temporal da precipitação na área de estudo.

A precisão do comportamento da normal climatológica (1981 a 2020) do ERA5 foi comprovada por meio da correlação linear de Pearson de 0,72, ou seja, correlação forte entre os dados observados nos postos pluviométricos e os dados estimados pelo modelo de reanálise.

Também foi verificado que a precipitação normal climatológica mensal estimada ultrapassa (superestima) os valores observados, exceto no mês de maio. Os meses onde se observou as maiores diferenças foram em fevereiro e agosto (quase 30mm) e as menores

diferenças então nos meses de junho, julho e outubro (inferior a 8mm), sendo que no inverno e no outono foram registradas as menores diferenças.

Nas séries históricas de precipitação na BHC, de 40 anos (1981 a 2020), constatou-se que, pela tendência linear de precipitação ocorreu uma alternância a cada 10 anos iniciando por negativa (com menor pluviosidade) no período 1981 - 1990 e 2001 - 2010 e por positiva (com maior pluviosidade) nos períodos de 1991 - 2000 a 2011 - 2020. Na análise sazonal de (1981 a 2020) constatou-se que a primavera tem tendência positiva e no verão, inverno e outono a tendência foi negativa. Entretanto, ressalta-se que as tendências não são estatisticamente significativas.

Essa pesquisa proporcionou um melhor entendimento das séries históricas de precipitação na Bacia Hidrográfica do Camaquã/RS, destacando a importância do monitoramento e análise dos dados climáticos para o desenvolvimento social e econômico da região. Os resultados obtidos poderão subsidiar a execução de ações relacionadas à gestão dos recursos hídricos e à adaptação às mudanças climáticas na região.

REFERÊNCIAS

APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; MORAES, J. R. S. C. Validation of ECMWF climatic data, 1979-2017, and implications for modelling water balance for tropical climates**. International Journal of Climatology**, v. 40, n. 15, p. 1- 20, 2020.

ARRUDA, A. M. D.; CENTENO, L. N.; NUNES, A. B. Relation Between Major Climatic Indices and Subseasonal Precipitation in Rio Grande do Sul State, Brazil. **Meteorology**, v. 4, n. 5, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/meteorology4010005. Acessado em: 10 set. 2025.

BARBOSA, S. E. S. *et al.* Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a Bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 64-71, 2005.

BARROS, V. S. *et al.* Análise de tendência do índice de precipitação padronizado em Recife–PE. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 8, p. e52310817458-e52310817458, 2021.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 4. ed. 9° imp., Porto Alegre: Ufrgs, 2020. Cap. 5. p.177-241.

BRUBACHER, J. P. *et al*. Preenchimento de falhas em séries temporais de precipitação diária no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 335-344, 2020.

CARDOSO, I. P. *et al*. Validation of precipitation data generated by ERA5 reanalysis for the Mirim-São Gonçalo watershed, Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, *[S. l.]*, v. 17, n. 2, p. 824–837, 2024. DOI: 10.26848/rbgf.v17.2.p824-837. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/259340. Acesso em: 8 abr. 2024.

CAVALCANTI, I. F. A. **Tempo e clima no Brasil**. Oficina de textos, 2016.

COLLISCHONN, W.; DORNELES, F. **Hidrologia para engenharias e ciências ambientais.** 2a ed.. Porto Alegre: ABRH, p. 210, 2013.

COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S). 2024. ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS). Disponível em: https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis. Acesso em: 16 jul. 2024.

COUTINHO, E. R. *et al.* Application of artificial neural networks (ANNs) in the gap filling of meteorological time series. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 2, p. 317-328, 2018.

CUNHA JÚNIOR, R. O; FIRMINO, P. R. A. Simulação de valores ausentes em séries temporais de precipitação para avaliação de métodos de imputação**. Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, n. 18, p. 691–714, 2022.

DIAZ, C. C. F.; PEREIRA, J. A. S.; NÓBREGA, R. S. Comparação de dados estimados por dois diferentes métodos para preenchimento de falhas de precipitação pluvial na bacia do rio Pajeú, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia,** v. 22, p. 324-339, 2018.

FERREIRA, G.W.S.; REBOITA, M.S.A. New Look into the South America Precipitation Regimes: Observation and Forecast. **Atmosphere**, v.13, n.6, 2022.

FREITAS, I. G. F. de; *et al.* Avaliação da velocidade do vento utilizando *hindcast* desenvolvido pela Climatempo para aplicação dos recursos eólicos no Brasil. In: BRAZIL WINDPOWER, 2023. **Anais [...]. [S. l.: s. n.],** 2023. Disponível em: https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2023/11/1.3AP_1690574718-Avaliacao-da-Velocidade-do-Vento-Utilizando-Hindcast-Desenvolvido-pela-Climatempo-para-a-Aplicacao-dos-Recursos-Eolicos-no-Brasil.pdf. Acesso em: 20 jun. 2024.

GONÇALVES, F. N.; BACK, A. J. Análise da variação espacial e sazonal e de tendências na precipitação da região Sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias,** v. 41, n. 3, p. 592-602, 2018**.** Disponível em: https://doi.org/10.19084/RCA17204. Acesso em: 20 jun. 2024.

GRIMM, A.M.; FERRAZ, S.E.T.; GOMES, J. Precipitation Anomalies in Southern Brazil Associated with El Niño and La Niña Events. **Journal of Climate**, v. 11, p. 2863–2880, 1998.

HAIDEN, T. *et al.* **Use of in situ surface observations at ECMWF**. Reading, UK: European Centre for Medium Range Weather Forecasts, 2018.

HERSBACH, H. *et al.* The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 146, p. 1999–2049, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.55761/abclima.v30i18.15243. Acesso em: 16 jul. 2024.

INMET. Ministério da Agricultura e Pecuária. Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas**. [2024]. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/servicos/normais-climatol%C3%B3gicas. Acesso em: 02 fev. 2024.

JIANG, C. *et al.* Evaluation of precipitation reanalysis products for regional hydrological modelling in the Yellow River Basin. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 155, n. 4, p. 2605-2626, 2024.

KENDALL, M. G. **Rank Correlation Methods.** Griffin. London. 1975.

LAVERS, D. A. *et al.* An evaluation of ERA5 precipitation for climate monitoring. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 148, n. 748, p. 3152-3165, 2022.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**. Chicago, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. Oficina de textos, 2017.

MUKAKA, M. M. Statistics Corner: A guide to appropriate use of Correlation coeficiente in medical research. **Malawi Medical Journal**, v. 24, n. 3, p. 69-71, 2012.

NOGUEIRA, N. C. de O., MACHADO, P. H. G., REBOITA, M. S. Estudo Climatológico das Frentes Frias atuantes no Sul do Rio Grande do Sul e no Sul de Minas Gerais entre 2009 e 2021. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 34, n. 20, p. 306–334, 2024.

OLIVEIRA, L. F. C*. et al*. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 11, p. 1186-1192, 2010.

OLIVEIRA, T. A.; SANCHES, F. de O.; FERREIRA, C. de C. M. Aplicação e avaliação de técnicas para o preenchimento de falhas de dados pluviométricos em anos habituais, secos e chuvosos. **Revista Entre-Lugar**, v. 12, n. 24, p. 301–320, 2021. DOI: 10.30612/rel.v12i24.15137. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/15137. Acesso em: 10 mar. 2024.

PIERSANTE, J. O. *et al.* A synoptic evolution comparison of the smallest and largest MCSs in subtropical South America between spring and summer. **Monthly Weather Review**, v. 149, n. 6, p. 1943-1966, 2021.

REBOITA, M. S.; *et al.* Impacts of teleconnection patterns on South America climate. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1504, n. 1, p. 116-153, 2021.

RODRIGUES, A. A. *et al*. Rainfall trend and variability in Rio Grande do Sul, Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16179. Acesso em: 19 jun. 2024.

ROSA, A (org.); SILVA, C. S. da (org.); SILVA, J. A. O. da (org.). **Plano da bacia hidrográfica do Camaquã 2015/2035**. Porto Alegre: SEMA, 2016. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/0Byn_B-4Lg7RGQXN4SldKRVM1VVk/view. Acesso em: 10 mar. 2024.

ROSSATO, M. S. Os climas do Rio Grande do Sul: uma proposta de classificação climática. **Revista Entre-Lugar**, v. 11, n. 22, p. 57-85, 2020.

SALES, E. S. G.; *et al*. Relação do NDVI e EVI com os índices climáticos do Nordeste do Brasil. **Geoambiente On-line**, n. 47, p. 394-422, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/376597127_RELACAO_DO_NDVI_E_EVI_COM_OS_INDICES_CLIMATICOS_DO_NORDESTE_DO_BRASIL. Acesso em: 12 set. 2025.

SANCHES, F. O.; VERDUM, R.; FISCH, G. Tendência de longo prazo das chuvas diárias no sudoeste do Rio Grande do Sul: os eventos extremos e a arenização. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 7, n. 6, p. 1100-1109, 2014.

SANTOS, F. A., *et al.* Long-term variability and trend analysis of the rainfall distribution in the state of Bahia, Northeast Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 148, n. 3-4, p. 1423-1433, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s00704-021-03838-4. Acesso em: 12 mar. 2024.

SARKAR, D. *et al.* Compiling non-parametric tests along with CA-ANN model for precipitation trends and variability analysis: A case study of Eastern India. **Water Cycle**, v. 2, p. 71-84, 2021.

SCAGLIONI, T. P. *et al*. Oscilações climáticas e a relação com os eventos extremos de precipitação na bacia hidrográfica do Camaquã/RS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 33, p. 260-277, 2023.

SCAGLIONI, T. P.; FERNANDES, R. K. U.; NUNES, A. B. Eventos extremos de excesso e déficit de precipitação atuantes na Bacia Hidrográfica do Camaquã no período de 1991-2020. **Conjecturas**, v. 22, n. 2, p. 672-686, 2022.

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

SILVA, M. V.; CAMPOS, C. R. J. Anomalias decadais do regime hídrico do RS no período de 1977 a 2006. **Ciência e Natura**, UFSM, v. 22, n. 1, p. 75-89, 2011.

TANG, G.; *et al.* Em-Earth: The Ensemble Meteorological Dataset for Planet Earth. **Bulletin of the American Meteorological Society,** v. 103, n.4, p. E996–E1018, 2022.

WMO. **Guide to climatological practices**. Geneva: World Meteorological Organization, 2018.

Apêndice A - Precipitação climatológica mensal (mm) estimada pelo modelo de reanálise ERA5 nos postos pluviométricos distribuídos na BHC, e a média climatológica mensal na BHC, no periodo de 1981-2020

CODIGO	ESTAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
3052007	PASSO DA GUARDA CEEE	112,76	120,01	94,50	118,29	99,35	102,18	117,87	113,18	142,85	131,58	102,99	97,75	1353,31
3152002	BOQUEIRÃO	110,67	129,16	99,99	114,38	108,59	104,54	129,14	116,57	143,82	126,77	105,06	100,13	1388,82
3051017	FAZENDA DA BOA VISTA	144,90	166,20	115,22	124,75	114,81	119,52	133,27	133,68	168,93	155,33	128,51	121,21	1626,33
3051004	CERRO GRANDE	153,24	170,51	121,74	134,71	120,36	125,84	136,49	141,63	179,57	161,22	132,98	131,63	1709,92
3153003	PARAÍSO	137,07	140,68	103,63	134,15	112,72	124,93	118,99	114,29	141,45	135,35	119,65	107,57	1490,48
3153017	TORRINHAS	138,79	140,29	101,94	133,18	113,49	123,80	121,69	115,92	141,99	133,56	116,03	106,64	1487,32
3153006	PASSO DA CAPELA	123,41	127,61	95,17	123,15	105,25	108,72	115,60	110,93	140,88	127,58	106,61	101,1	1386,01
3154003	TORQUATO SEVERO	135,85	145,15	104,04	141,33	117,86	129,10	121,99	114,79	144,69	145,93	121,04	110,25	1532,02
3152011	PASSO DO MENDONÇA	109,90	121,13	93,39	105,74	98,54	96,48	112,80	109,62	137,70	124,24	102,44	94,19	1306,17
3053007	LAVRAS DO SUL	135,86	148,33	113.85	150,49	126,26	136,23	130,46	122,61	159,78	161,81	125,27	118,46	1515,56
3051016	CAMAQUÃ	144,90	166,20	115,22	124,75	114,81	119,52	133,27	133,68	168,93	155,33	128,51	121,21	1626,33
3151003	SÃO LOURENÇO DO SUL	110,67	129,16	99,99	114,38	108,59	104,54	129,14	116,57	143,82	126,77	105,06	100,13	1388,82
MÉDIA BACIA_dados estimados ERA5		**129,84**	**142,04**	**104,08**	**126,61**	**111,72**	**116,28**	**125,06**	**120,29**	**151,20**	**140,46**	**116,18**	**109,19**	**1492,93**

Apêndice B - Precipitação climatológica mensal (mm) observada nos postos pluviométricos distribuídos na BHC, e a média climatológica mensal na BHC, no periodo de 1981-2020

CODIGO	ESTAÇÃO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	ANUAL
3052007	PASSO DA GUARDA CEEE	118,20	107,80	88,90	111,60	116,20	108,14	130,70	100,60	132,90	120,90	92,00	95,30	1323,1
3152002	BOQUEIRÃO	132,70	164,90	122,10	130,80	139,00	120,39	150,00	125,20	159,60	152,30	115,20	117,10	1629,4
3051017	FAZENDA DA BOA VISTA	129,30	135,80	107,40	114,50	118,50	127,83	150,00	113,90	158,60	139,30	117,70	113,80	1526,7
3051004	CERRO GRANDE	142,50	143,20	116,50	117,40	136,80	131,11	157,20	112,10	154,20	151,90	119,90	121,50	1604,3
3153003	PARAÍSO	118,90	113,60	95,30	121,40	125,80	119,97	115,10	96,50	119,40	144,30	111,10	93,90	1375,2
3153017	TORRINHAS	120,50	128,20	109,80	135,30	134,50	119,21	127,70	106,20	138,20	135,00	119,90	106,90	1481,4
3153006	PASSO DA CAPELA	123,10	131,20	99,00	124,20	126,60	120,58	128,10	104,80	126,80	142,40	102,60	100,30	1429,7
3154003	TORQUATO SEVERO	144,90	140,90	123,30	157,50	145,30	126,75	137,40	108,70	145,10	146,20	117,90	108,50	1602,4
3152011	PASSO DO MENDONÇA	130,60	140,00	103,50	119,10	119,50	128,46	138,90	109,00	144,10	145,70	102,20	105,10	1486,2
3053007	LAVRAS DO SUL	128,50	127,00	114,10	140,60	128,70	119,87	132,60	100,60	136,40	149,80	114,70	102,90	1495,7
3051016	CAMAQUÃ	123,00	135,60	104,90	117,50	121,40	122,50	143,70	109,00	152,50	130,00	103,70	113,70	1477,6
3151003	SÃO LOURENÇO DO SUL	120,80	155,80	115,50	126,80	135,90	123,64	147,70	119,10	155,90	144,30	113,20	115,70	1574,4
MÉDIA BACIA_dados observados		**127,8**	**135,3**	**108,4**	**126,4**	**129**	**122,4**	**138,3**	**108,8**	**143,6**	**141,8**	**110,8**	**107,9**	**1500,5**