

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE DE CONSISTÊNCIA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO UNA

Mariana Caroline Gomes de Lima¹; Carlyne Wanessa Lins de Andrade Farias²; Ravi Emanuel de Melo³; Thayná Alice Brito Almeida⁴; Aline Maria Soares Chagas⁵; Abelardo Antônio de Assunção Montenegro⁶

Abstract: Precipitation is a determining factor in the hydrological cycle, with a major influence on water supply, agriculture, and environmental risk management. However, the reliability of rainfall data can be compromised by sensor failures at meteorological stations. This study aimed to evaluate the consistency of rainfall data from fifteen stations located in the Una river basin, in Northeastern Brazil, covering the states of Pernambuco and Alagoas. Monthly rainfall data for the period from 2000 to 2023, obtained from agencies such as APAC, ANA, SUDENE, and DNOCS, were analyzed. The failures identified in the time series were filled using the regional weighting method. Then, the consistency analysis was performed based on the Double Mass method, which allows verifying the homogeneity of the series by comparing the data from one station with those of neighboring stations. The results showed that most stations presented high consistency, with coefficients of determination (R^2) greater than 0.9953. However, some stations presented discontinuities in the linearity of the data, suggesting inconsistencies possibly associated with changes in equipment or operational conditions. It was concluded that consistency assessment is essential to ensure the quality of hydrometeorological data, being indispensable for applications in hydrological modeling and water resource management. The study reinforces the need for regular maintenance of the stations and validation of the data before their use in environmental analyses.

Resumo: A precipitação é um fator determinante no ciclo hidrológico, com grande influência sobre o abastecimento hídrico, agricultura e gestão de riscos ambientais. Contudo, a confiabilidade dos dados pluviométricos pode ser comprometida por falhas nos sensores das estações meteorológicas. Este estudo teve como objetivo avaliar a consistência de dados pluviométricos de quinze estações localizadas na bacia hidrográfica do rio Una, no Nordeste do Brasil, abrangendo os estados de Pernambuco e Alagoas. Foram analisados dados mensais de precipitação para o período de 2000 a 2023, obtidos de órgãos como APAC, ANA, SUDENE e DNOCS. As falhas identificadas nas séries temporais foram preenchidas pelo método da ponderação regional. Em seguida, a análise de consistência foi realizada com base no método da Dupla Massa, que permite verificar a homogeneidade das séries ao comparar os dados de uma estação com os de vizinhas. Os resultados demonstraram que a maioria das estações apresentou alta consistência, com coeficientes de determinação (R^2) superiores a 0,9953. No entanto, algumas estações apresentaram discontinuidades na linearidade dos dados, sugerindo inconsistências possivelmente associadas a mudanças nos

¹) Doutoranda em Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Recife, PE, Brasil, e-mail: mariana.caroline@ufrpe.br

²) Professora Adjunta do Departamento de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal da Paraíba-UFPB, João Pessoa, PE, Brasil, e-mail: carolyne.andrade@academico.ufpb.br

³) Doutorando em Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Recife, PE, Brasil, e-mail: ravi.melo@ufrpe.br

⁴) Doutora em Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Recife, PE, Brasil, e-mail: thayna.britoalmeida@ufrpe.br

⁵) Doutoranda em Engenharia Agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Recife, PE, Brasil, e-mail: alinemschagas@gmail.com

⁶) Professor Titular em Recursos hídricos. Departamento de Engenharia agrícola. Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Brasil. e-mail: abelardo.montenegro@gmail.com

equipamentos ou condições operacionais. Concluiu-se que a avaliação da consistência é essencial para garantir a qualidade dos dados hidrometeorológicos, sendo indispensável para aplicações em modelagem hidrológica e gestão de recursos hídricos. O estudo reforça a necessidade de manutenção regular das estações e validação dos dados antes de sua utilização em análises ambientais.

Palavras-Chave – Dados pluviométricos, bacias hidrográficas, Nordeste brasileiro.

INTRODUÇÃO

Um dos componentes intrínsecos ao ciclo hidrológico, a precipitação, é responsável por desempenhar papel fundamental em diversos setores, influenciando não apenas a agricultura e o abastecimento hídrico, mas também a gestão de riscos associados a desastres naturais e as estratégias de planejamento climático (Rios, 2024). Para Anjos, Wanderley e Nóbrega (2020), a precipitação é uma variável essencial para estudos climáticos e ambientais no qual, no estado de Pernambuco é considerada uma das variáveis mais importantes, já que a sua alteração espacial e temporal é determinante para caracterizar o clima local, além de possuir impacto direto no ciclo hidrológico e nos recursos hídricos (Ferreira & Souza, 2020).

O monitoramento pluviométrico é de extrema importância como por exemplo, na operação de reservatórios hidrelétricos, especialmente durante as atividades de controle de cheias e para a previsão de vazões em bacias hidrográficas (Reis; Fernandes; Ramos, 2020), sendo essencial para o planejamento e tomada de decisões e execução dos Planos de Ação Emergencial (PAEs). Para Bertoni & Tucci (1993), o objetivo de uma estação pluviométrica portanto, é a obtenção de séries ininterrupta de precipitações ao longo dos anos, a fim de possibilitar o estudo da variação das intensidades de chuva ao longo do tempo.

Entretanto, a mensuração de grandezas hidrometeorológicas como a precipitação, através de estações pluviométricas, pode resultar em erros que é dada pela diferença entre o valor registrado pelo instrumento e o valor real da variável que se deseja monitorar (WMO, 2018). Essa parcela de erro, pode ser majorada, a depender de frequência das manutenções preventivas e corretivas dos sensores das estações automáticas. Segundo Sanches (2020), estas falhas podem comprometer a análise de séries temporais, dificultar a identificação de padrões sazonais e interanuais, além de reduzir a confiabilidade das análises e a precisão das previsões, especialmente em estudos de eventos extremos, como secas e inundações.

A fim de avaliar a homogeneidade dos dados de precipitação, a análise de consistência através do método da dupla massa busca obter a confiabilidade dos dados de precipitação a partir de dados correspondentes a um certo período de precipitação acumulada que quando plotado em conjunto com os dados de uma ou mais estações vizinhas, deve resultar em uma linha reta (Paca, 2008).

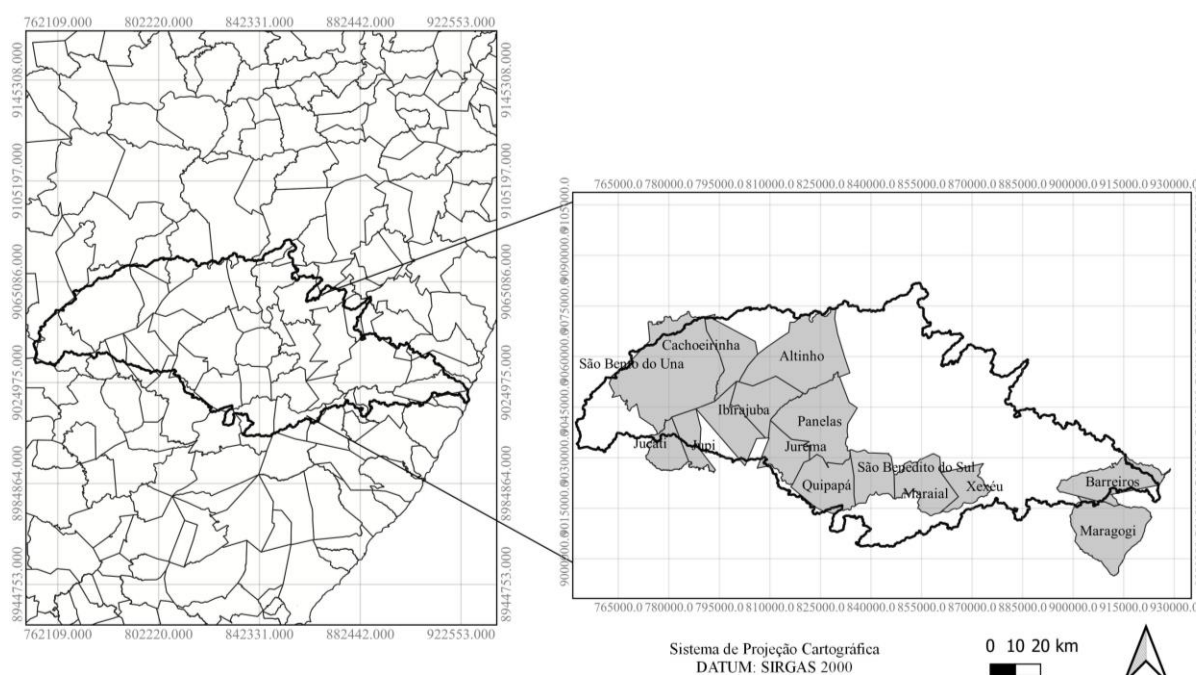
Diante do exposto, o objetivo do presente estudo consiste em avaliar uma série de dados de 15 estações pluviométricas localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Una, Nordeste do Brasil, distribuídas ao longo de quatorze municípios do estado de Pernambuco e um no município do estado de Alagoas, a fim de verificar sua consistência, e obter uma série pluviométrica ideal a ser explorada em estudos de modelagem hidrológica na referida bacia hidrográfica.

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Una está localizada no Sul do litoral do Estado de Pernambuco (Figura 1), entre os paralelos 08°17'14'' e 08°55'28'' de latitude sul e os meridianos 35°07'48'' e 36°42'10'' de longitude oeste (SECTMA-PE, 2006). A nascente do rio Una se localiza no município de Capoeiras, apresentando-se intermitente até aproximadamente à cidade de Altinho, quando se torna perene com uma extensão de cerca de 290 km, tendo como principais afluentes, pela margem direita, riacho Quatis, rio da Chata, rio Pirangi, rio Jacuípe e rio Caraçu. A bacia do rio Una apresenta uma área de 6.740,31 km², dos quais 6.262,78 km² estão inseridos no estado de Pernambuco, correspondendo a 6,37 % do total do estado (Leal et al. 2019).

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Una e dos municípios utilizados.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Precipitação

O clima da região da Zona da Mata é quente e úmido com totais anuais de precipitação elevados, superiores a 1.000 mm, com média anual de 1.500 mm. As maiores chuvas se concentram no primeiro semestre, com maior volume precipitado em junho. Na região do Agreste, uma área intermediária entre a Zona da Mata e o Sertão, há similaridade com as duas regiões. Já o Sertão apresenta clima semiárido com características de baixo e irregular índices pluviométricos. Nos locais do Agreste mais próximos ao Sertão, o mês de março é o mais chuvoso com média anual entre 600 e 800 mm (CONDEPE, 2006).

O levantamento dos dados de precipitação pluviométrica mensais para a bacia do rio Una compreendeu o período de 01 de janeiro de 2000 até 31 de dezembro de 2023, e foram obtidos através das estações monitoradas pela Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE e pelo Departamento Nacional de Obras Contra as Secas – DNOCS. A bacia foi dividida em grupos como evidenciado na Figura 1, representando 15 municípios inseridos totalmente ou parcialmente na bacia do rio Una.

Preenchimento de falhas pelo método da ponderação regional

O método empregado para o preenchimento de falhas foi o da ponderação regional. No método da ponderação regional, descrito por Bertoni & Tucci (2007) e Alves et al. (2006), a falha da precipitação anual na estação de interesse é estimada pelo emprego da seguinte equação:

$$P_x = P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{N_x}{N_i} P_i \quad (1)$$

Em que:

P_x = precipitação anual da estação a ter a falha na série preenchida (mm)

P_i = precipitação anual da estação vizinha de ordem “i” para o ano em que se verificou a falha (mm)

N_x e N_i = precipitações médias anuais das estações a ter a falha na série preenchida e da vizinha de ordem “i”, respectivamente (mm)

n = número de estações vizinhas

A partir da série histórica dos dados pluviométricos de 15 estações para o período de 24 anos (2000 a 2023), foram identificadas falhas mensais, as quais foram corrigidas utilizando o método da ponderação regional considerando dados de estações vizinhas. A Tabela 1 apresenta as estações pluviométricas utilizadas seus respectivos códigos, fonte de obtenção e porcentagem de falhas.

Tabela 1- Municípios utilizados para a análise de consistência e preenchimento de falhas

Municípios	Código	Fonte	% de falhas
Grupo 1			
Jupi – PE	836020	SUDENE	0,7
Jucati – PE	157	APAC	0,3
Lajedo – PE	836022	SUDENE	0
Quipapá – PE	836036	SUDENE	8,7
Ibirajuba – PE	836018	SUDENE	4
Panelas – PE	836024	DNOCS	1,3
São Bento do Una – PE	836037	DNOCS	3,7
Cachoeirinha – PE	836007	SUDENE	0,8
Altinho – PE	836003	SUDENE	4
Jurema – PE	836021	SUDENE	0,1
São Benedito do Sul – PE	188	APAC	1,73
Grupo 2			

Maragogi – PE	935010	ANA	10,7
Barreiros – PE	835005	SUDENE	8
Maraial – PE	835035	SUDENE	0
Xexeu – PE	511	APAC-PE	5,4

Fonte: ANA, SUDENE, DNOCS, APAC (2025), organizado pelos autores (2025).

Método da Dupla Massa

De posse dos dados históricos, utilizou-se o método da Dupla Massa do qual foi possível obter o nível de homogeneidade da série de dados das estações de acordo com as observações existentes nas estações vizinhas. Esse método é amplamente adotado no Brasil e válido para séries mensais e anuais de chuvas (Paca, 2008; Bertoni e Tucci, 2013). Para o estudo foram considerados dados mensais das estações selecionadas.

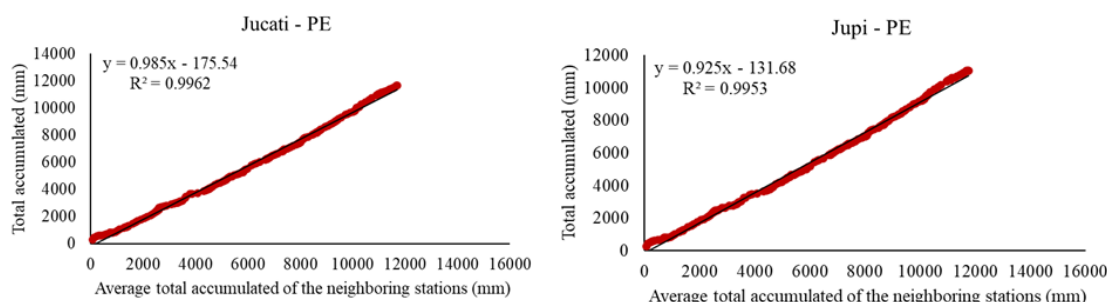
O método visa analisar a consistência dos dados em abrangência regional podendo ser aplicado tanto para dados brutos quanto para dados com falhas preenchidas (Bertoni e Tucci, 2013). O método baseia-se na seleção da estação de interesse e as mais próximas, a fim de verificar a consistência das chuvas totais anuais acumuladas. Os dados foram plotados em um gráfico nas ordenadas e os totais médios mensais das demais estações nas abscissas. A consistência dos totais mensais da estação analisada é confirmada quando há uma tendência linear em relação às estações vizinhas (Oliveira et al. 2008). Caso haja uma modificação significativa, os dados não foram adequadamente medidos ou apresentam características hidrológicas diferentes (Mello e Silva, 2013).

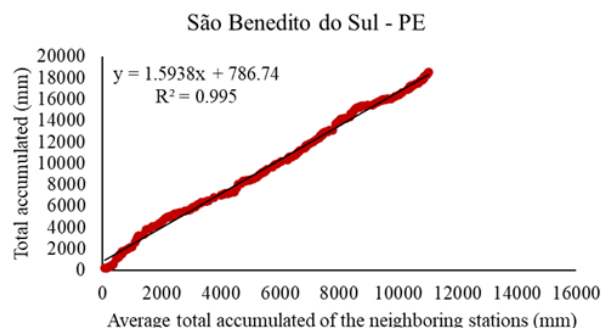
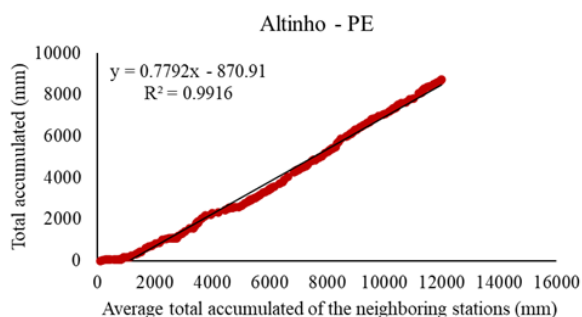
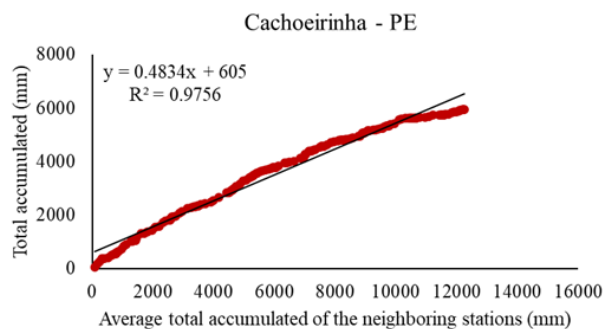
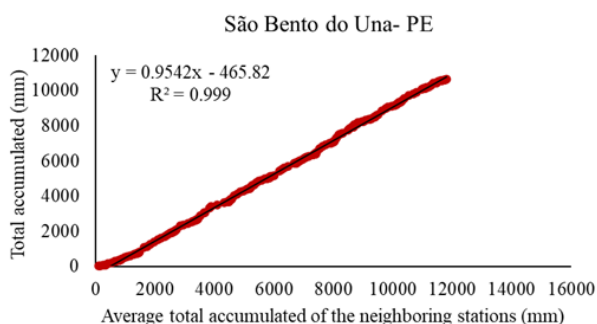
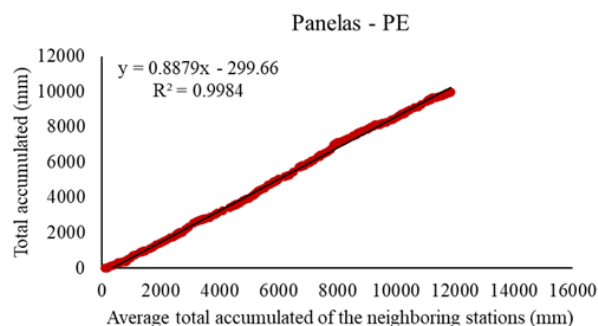
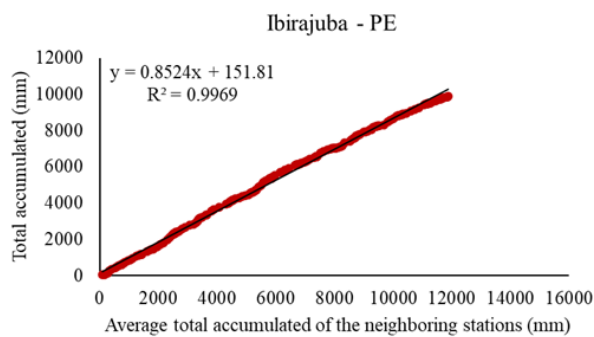
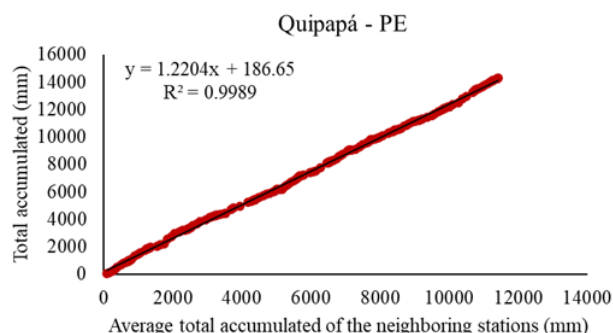
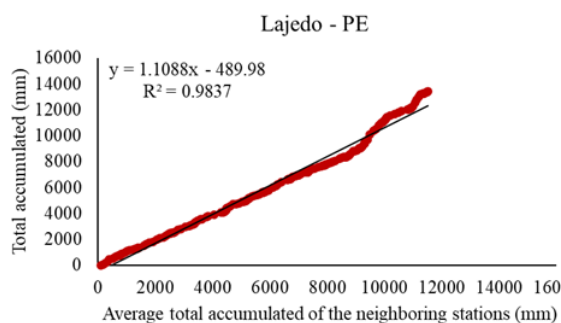
Na análise de consistência, o coeficiente de determinação (R^2) foi utilizado como índice estatístico para avaliar a homogeneidade dos dados pluviométricos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 2 e 3 apresentam a análise da consistência das séries pluviométricas das estações dos grupos 1 e 2, respectivamente, da bacia hidrográfica do rio Una. Pode-se observar que os municípios pernambucanos Jucati, Jupi, Quipapá, Ibirajuba, Panelas e São Bento do Una apresentaram alinhamento e consistência, segundo o método da Dupla Massa, com coeficientes de determinação acima de 0,9953. Ao verificar os municípios no grupo 2, Barreiros e Maraial, ambos em Pernambuco, também apresentaram consistência com R^2 de 0.9984. Para Sattari et al. (2020) a correlação existente entre os dados de estações vizinhas é uma variável importante.

Figura 2 – Avaliação da consistência das séries pluviométricas das estações do grupo 1 da bacia hidrográfica do rio Una pelo método da Dupla Massa





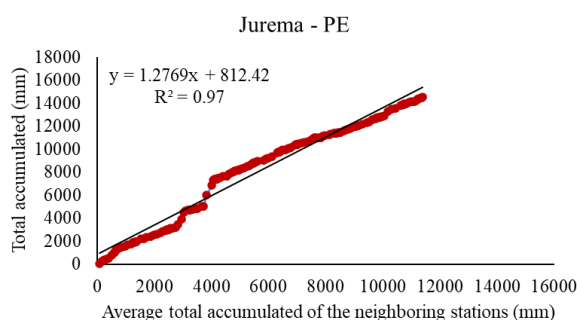
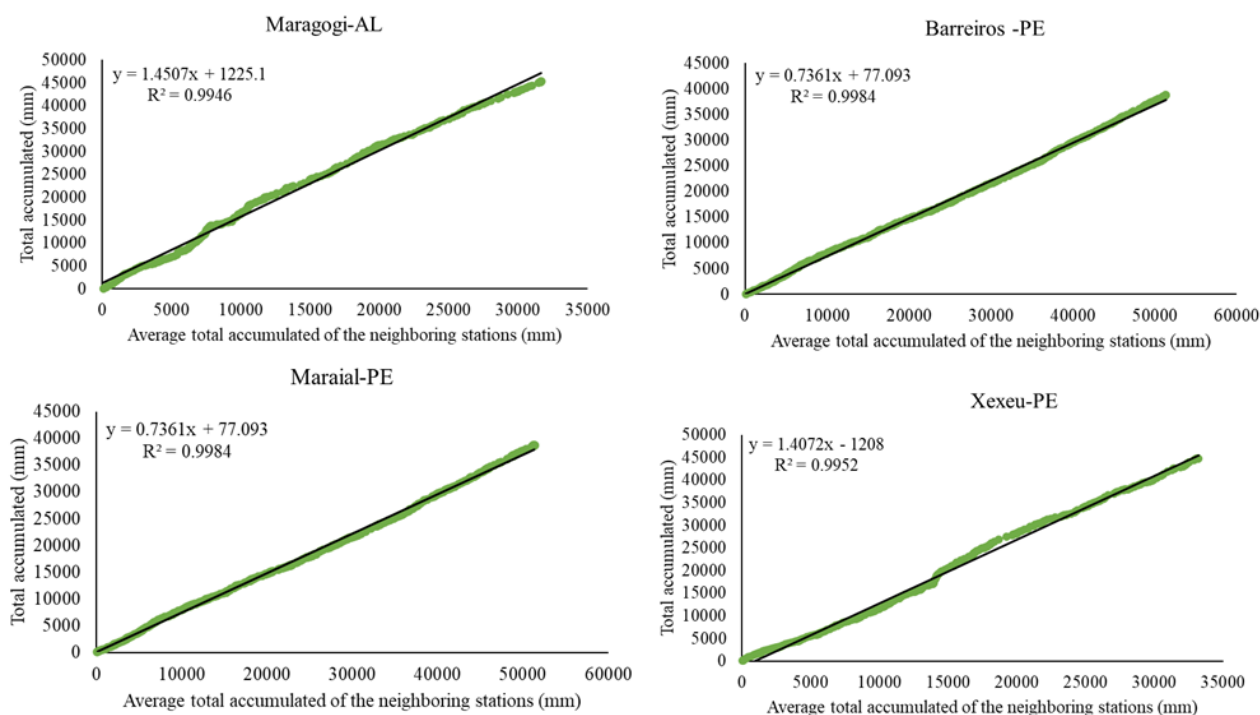


Figura 3 – Avaliação da consistência das séries pluviométricas das estações do grupo 2 da bacia hidrográfica do rio Una pelo método da Dupla Massa



Observa-se que dentre as estações, os municípios pernambucanos de Jucati, Lajedo, Cachoeirinha, Altinho, São Benedito do Sul, Jurema e Xexeu (Figura 2) e o município Alagoano de Maragogi (Figura 3) apresentaram mudança de direção de declividade da reta e consequentemente o não alinhamento da reta. Esses resultados diferem aos encontrados por Cunha Junior et al. (2022), ao analisar o método da dupla massa para a Região Metropolitana do Cariri, em que todas as estações analisadas obtiveram consistência. Esse fato deve-se segundo o autor, a uma região homogênea em termos de precipitação e sob as mesmas condições climáticas, facilitando o preenchimento de falhas. Este não alinhamento pode ocorrer, de acordo com Barbosa Júnior (2015), devido a anormalidades no posto pluviométrico, decorrentes da mudança de localização ou das condições de operação do aparelho, de erros sistemáticos, mudanças climáticas e alteração do método de coleta dos dados pluviométricos.

CONCLUSÕES

O método de ponderação regional adotado para o preenchimento de falhas mostrou-se eficaz, permitindo a reconstrução de séries contínuas e mais representativas. A análise de consistência de séries pluviométricas na bacia hidrográfica do rio Una, utilizando o método da Dupla Massa, evidenciou que a maioria das estações analisadas apresentou elevada homogeneidade dos dados, com coeficientes de determinação superiores a 0,9953, conferindo robustez às informações para aplicação

em estudos hidrológicos. Estações localizadas nos municípios de Jupi, Jucati, Quipapá, Ibirajuba, Pannels e São Bento do Una destacaram-se positivamente nesse aspecto. Por outro lado, identificaram-se inconsistências em estações situadas nos municípios de Jucati, Lajedo, Cachoeirinha, Altinho, São Benedito do Sul, Jurema, Xexéu e Maragogi, cujos dados apresentaram mudanças significativas na inclinação da reta do gráfico de Dupla Massa. Tais desvios podem estar relacionados a alterações nas condições operacionais, mudanças na localização dos instrumentos ou falhas sistemáticas na medição, comprometendo a confiabilidade das séries temporais.

Este estudo reforça que a avaliação de consistência é uma etapa fundamental na validação de dados hidrometeorológicos, sobretudo para fins de modelagem hidrológica e gestão de recursos hídricos.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pelo curso de doutorado em Engenharia Agrícola (PGEA), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela disponibilidade de bolsa de pós-graduação ao Laboratório de Água e Solo da UFRPE, a Agência Pernambucana de Águas e Clima-APAC e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico- ANA.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, R. S., DE ALBUQUERQUE WANDERLEY, L. S., & NÓBREGA, R. S. (2020). *Análise espacial da precipitação e possíveis fatores que contribuem para sua espacialização em Recife-PE*. Revista Brasileira de Geografia Física, 13(1), 018-034.
- BARBOSA JR., A. R. (2015). *Elementos de Hidrologia Aplicada*. UFOP Ouro Preto-MG.
- BARBOSA JÚNIOR, A.R. (2015). *Elementos de Hidrologia Aplicada*. UFOP Ouro Preto-MG.
- CONDEPE/FIDEM, A. E. de P. e P. de P. (2006). Bacia hidrográfica do rio Una, quarto e quinto grupos de bacias hidrográficas de pequenos rios litorâneos – GL 4 e GL 5. Bacias Hidrográficas de Pernambuco. N. 3, p.35
- CUNHA JÚNIOR, R. O., & FIRMINO, P. R. A. (2022). *Simulação de valores ausentes em séries temporais de precipitação para avaliação de métodos de imputação*. Revista Brasileira de Climatologia, 30, 691-714.
- FERREIRA, P. S. DOS, & DE SOUZA, W. M. (2020). *Modelagem hidroclimática e demográfica para estimativa da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do rio Brígida*. Revista Brasileira de Climatologia, 27, 181-196.
- LEAL, F. C. B. D. S. (2019). *Vulnerabilidade à inundação na bacia hidrográfica do Rio Una-PE utilizando análise hierárquica de processo*.
- MELLO, C.R.; SILVA, A.M. (2013). *Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas*. Lavras: Ed. Ufla, p.455.

OLIVEIRA, L.F.C.; FIOREZE, A.P.; MEDEIROS, A.M.M.; SILVA, M.A.S. (2008). “*Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 14(11), pp.1186-1192.

PACA, V.H.M. (2008). *Análise de informações satelitais e dados convencionais da rede pluviométrica como contribuição à modelagem hidrológica na região Amazônica - Estudo de caso: Bacia do rio Guamá – Pará*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 135 p.

REIS, A. A. D.; FERNANDES, W. D. S.; RAMOS, M.-H. (2020) *Assessing two precipitation data sources at basins of special interest to hydropower production in Brazil*. RBRH, v. 25, p. 14.

RIOS, P. A. T. (2024). Modelos de preenchimento de falhas de dados pluviométricos diários usando aprendizado de máquina.

SATTARI, M. T.; FALSAFIAN, K.; IRVEM, A.; QASEM, S. N. (2020). *Potential of kernel and tree-based machine-learning models for estimating missing data of rainfall*. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, v. 14, n. 1, p. 1078-1094.

SECRETARIA DE CIÊNCIA TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE DE PERNAMBUCO – SECTMA-PE. (2006). *Bacias Hidrográficas de Pernambuco*. Coordenação técnica de Simone Rosa da Silva. Recife, 104p.

TUCCI, C. E. M. (2013). *Hidrologia: ciência e aplicação*. ABRH Porto Alegre-RS, 943 p.

WMO. (2018). *Guide to instruments and methods of observation*. Geneva: World Meteorological Organization.