

VALIDAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO CHIRPS PARA DETECÇÃO DE EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NO SEMIÁRIDO NORDESTINO BRASILEIRO

José Galdino de Oliveira Júnior¹, Fabrício Marcos Oliveira Lopes², Cristina Rodrigues Nascimento³, Geber Barbosa de Albuquerque Moura⁴, Juliana Sanchez Benitez⁵ e José Francisco de Oliveira Júnior⁶

^{1,5} Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI, Universidade estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas – SP, Brasil, ¹dinojr95@gmail.com, ⁵j218736@dac.unicamp.br;

^{2,3,4} Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife – PE, Brasil – ²pabricio.lobes@ufrpe.br, ³crisrodnas@gmail.com, ⁴GEBER.MOURA@ufrpe.br;

⁶ Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió – AL, Brasil – ⁶junior_inpe@hotmail.com

RESUMO

Diante das crescentes mudanças climáticas, o monitoramento espaço-temporal de eventos extremos de precipitação torna-se uma ferramenta muito importante para o planejamento hídrico de regiões de clima árido e semiárido. Logo, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficácia do produto CHIRPS em detectar e monitorar eventos extremos pluviométricos em uma área da Região do Semiárido Nordestino Brasileiro durante os anos de 2001 a 2020. Através de uma etapa de validação estatística e de uma análise de tendência, ambas espaço-temporais, pode-se confirmar a boa aplicabilidade do CHIRPS ($r = 0,83$) para a estimação de dados de precipitação anuais em escala local, enfatizando-se que a acurácia do mapeamento será influenciada diretamente pelas características edafoclimáticas e pela qualidade da rede de estações meteorológicas presentes na área de estudo a ser avaliada.

Palavras-chave – Caatinga, CHIRPS, Seca, monitoramento espaço-temporal.

ABSTRACT

Faced with increasing climate change, the space-time monitoring of extreme precipitation events becomes a very important tool for water planning in arid and semi-arid regions. Therefore, this work aimed to evaluate the effectiveness of the CHIRPS product in detecting and monitoring extreme rainfall events in an area of the Brazilian Northeast Semiarid Region during the years 2001 to 2020. Through a statistical validation step and a trend analysis, both spatiotemporal, it is possible to confirm the good applicability of CHIRPS ($r = 0.83$) for the estimation of annual precipitation data at a local scale. We emphasized that the accuracy of the mapping will be directly influenced by the soil and climatic characteristics and the quality of the network of meteorological stations present in the study area to be evaluated.

Keywords – Caatinga, CHIRPS, drought, spatio-temporal monitoring.

1. INTRODUÇÃO

A precipitação é uma variável vital do ciclo hidrológico e a avaliação da sua variabilidade espaço-temporal é crucial para

o desenvolvimento de estratégias de modelagem ambiental, de manejo hídrico, práticas agrícolas e monitoramento de eventos extremos como enchentes e secas severas [1,2,3,4].

Contudo, o método mais usual de detecção pluviométrica nas últimas décadas baseia-se na obtenção de dados de estações meteorológicas, que apenas apresentam medições pontuais e são oriundas de redes escassas e mal distribuídas na maioria dos casos [2,4,5]. E isto torna-se um problema ainda mais grave em regiões de clima árido e semiárido, como a Região do Semiárido Nordestino Brasileiro (RSNB). Essa região, especificamente, torna-se mais propensa a eventos extremos de precipitação devido às características edafoclimáticas do seu bioma (Caatinga) e ao histórico grave de mudanças ambientais causada pelo avanço da produção agropecuária itinerante [6,7,8,9].

Em contrapartida, com o avanço das técnicas de sensoriamento remoto, o uso de dados pluviométricos estimados por produtos orbitais como os dados do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS) [10] tornaram-se atualmente uma boa alternativa devido à alta frequência espaço-temporal dos dados gerados [1,2,3,9]. Entretanto, diversos estudos apontam que a eficácia do uso destes dados orbitais ainda depende de uma etapa eficiente de validação com dados obtidos em campo [1,2,3,11].

Portanto, o objetivo deste trabalho está centrado na avaliação e validação do uso do CHIRPS para a detecção e monitoramento espaço-temporal de eventos extremos de precipitação em áreas da RSNB, em escala local.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é composta pelos municípios pernambucanos de Belém do São Francisco, Cabrobó, Carnaubeira da Penha, Floresta e Itacuruba. Tal região é documentada cientificamente como o Núcleo de Desertificação de Cabrobó (NDC) devido ao histórico de acentuada degradação ambiental e encontra-se representada na Figura 1, entre as coordenadas 8°15' a 9°0' de Latitude Sul e 38°0' a 39°30' Longitude Oeste, com uma extensão territorial total de aproximadamente 8.562 km² [12]. A região do NDC caracteriza-se por apresentar o clima semiárido (BSh) de acordo com a classificação de Köppen-Geiger,

relevo predominantemente suave ondulado e com uma faixa de índices pluviométricos médios anuais variantes entre 400 mm e 700 mm [12,13].

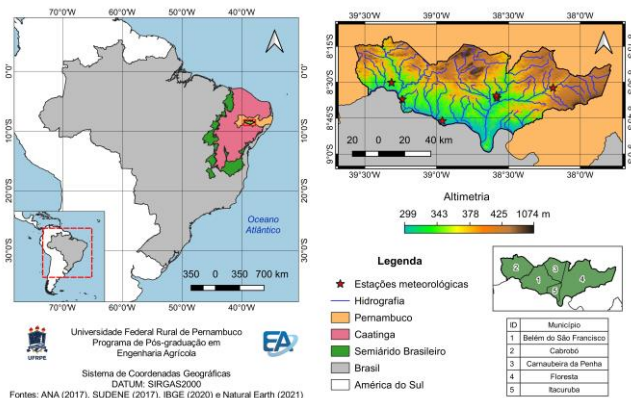


Figura 1. Localização espacial da área de estudo.

Todo o processamento digital dos dados foi executado na plataforma digital *Google Earth Engine* (GEE) [14] e nos softwares QGIS (versão 3.10.9) e Microsoft Excel 2016, consistindo as etapas de: Pré-processamento digital dos dados; Validação estatística dos dados do CHIRPS; e Análise de tendência espaço-temporal em escala anual da precipitação entre os anos de 2001 e 2020.

Uma série temporal de 20 anos (2001-2020) de dados de precipitação anual foi elaborada através de uma rede de estações meteorológicas automáticas operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (<https://bdmep.inmet.gov.br/>) e pela ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>). Tais dados foram acumulados mensalmente e em seguida anualmente, visando o seu uso na etapa de validação espaço-temporal dos dados do CHIRPS. As estações meteorológicas utilizadas neste estudo encontram-se na Tabela 1 e a localização espacial destas pode ser visualizada na Figura 1.

| Código | Fonte de dados | Lat | Long | Alt (m) | DPM (%) |
|--------|----------------|--------|---------|---------|---------|
| 838004 | ANA | -8,77° | -38,96° | 309 | 1,25 |
| 839031 | ANA | -8,62° | -39,24° | 329 | 0,83 |
| A329 | INMET | -8,50° | -39,31° | 335 | 4,17 |
| A351 | INMET | -8,59° | -38,58° | 330 | 6,25 |
| 838000 | ANA | -8,54° | -38,19° | 369 | 0,42 |
| 838021 | ANA | -8,61° | -38,58° | 316 | 0,83 |

Tabela 1. Lista de estações meteorológicas usadas no estudo. Onde: Lat – Latitude; Long – Longitude; Alt – Altitude; DPM – Dados perdidos mensais.

A etapa da validação espaço-temporal consistiu da comparação dos dados do produto CHIRPS perante os dados pluviométricos das estações meteorológicas presentes na área de estudo, utilizando-se para isso, os parâmetros estatísticos de Coeficiente de Correlação de Pearson (r), Erro Médio

(EM), Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (Eff), BIAS Percentual (BP) e Raiz Quadrada do Erro Médio ($RMSE$), como proposto por [1,9,15]. As fórmulas destes índices estatísticos estão representadas na Tabela 2.

| Equação | Faixa de variação dos valores |
|---|-------------------------------|
| $r = \frac{\sum(E - \bar{E})(C - \bar{C})}{\sqrt{\sum(E - \bar{E})^2 \sum(C - \bar{C})^2}}$ | -1 a 1 |
| $EM (mm/ano) = \frac{\sum(C - E)}{N}$ | $-\infty$ a $+\infty$ |
| $Eff = 1 - \frac{\sum(C - E)^2}{\sum(E - \bar{E})^2}$ | $-\infty$ a 1 |
| $BP (\%) = 100 \times \frac{\sum(C - E)}{\sum E}$ | -100 a +100 |
| $RMSE (mm/ano) = \sqrt{\frac{\sum(C - E)^2}{N}}$ | 0 a $+\infty$ |

Tabela 2. Parâmetros estatísticos empregados no estudo. Em que: E – Dados das estações meteorológicas; C – Dados do CHIRPS; N – Número total dos pontos amostrais.

Por último, para avaliar a tendência espaço-temporal da precipitação na área de estudo ao longo dos anos de 2001 a 2020, o teste de *Mann-Kendall* (MK) foi aplicado aos dados anuais do CHIRPS. Pois, o teste MK consiste em um método estatístico não-paramétrico baseado em ranques de classificação, que demonstrou ser adequado para a detecção da magnitude e significância de tendências não-lineares (Z), como eventos hidrometeorológicos [1,16,17].

Contudo, levando-se em consideração que os valores de Z apresentam distribuição normal para conjuntos de dados superiores a 8 amostras, consideramos o nível de significância das tendências encontradas, de acordo com os seus respectivos valores do módulo de Z: Se $|Z| > 1,96$ ou $|Z| > 2,57$, indicando que haverá um alto grau de significância da tendência temporal em questão (ao nível de 5% ou 1% de probabilidade, consecutivamente), como proposto por [1,16,17]. Além disso, as tendências da variável analisada serão de decaimento quando esses valores foram negativos, e de aumento desta, em caso contrário [1,16,17].

Para quantificar a amplitude dessas tendências espaço-temporais, foi usado o teste não-paramétrico *Sen's Slope Estimator* (SSE), que avalia a magnitude de tendências não-lineares em amostras de N pares de dados, de acordo com a Eq. 6:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad \text{para } i = 1, 2, 3, 4 \dots N \quad (6)$$

Onde x_j e x_k são os valores da série temporal no tempo j e k (j > k), respectivamente. A mediana desses N valores de Q_i representa o *Sen's Slope Estimator*. Os valores positivo e negativo dessa inclinação indicam, consecutivamente,

tendências ascendentes e descendentes, ambas com magnitude mensurável [3,18].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados do CHIRPS, podemos avaliar a variação espaço-temporal média da precipitação anual para o NDC, ocorrida entre os anos de 2001 e 2020, que está representada nas Figuras 2A e 2B. Especificamente, a partir da Figura 2A, percebemos que o NDC apresentou uma variação espacial entre 316 e 655 mm/ano aproximadamente, com as áreas que detêm maiores valores de altitude também apresentando os maiores valores médios anuais de precipitação, descrevendo uma situação muito recorrente nesta região, a ocorrência de chuvas orográficas ou de relevo durante o período chuvoso do ano [19].

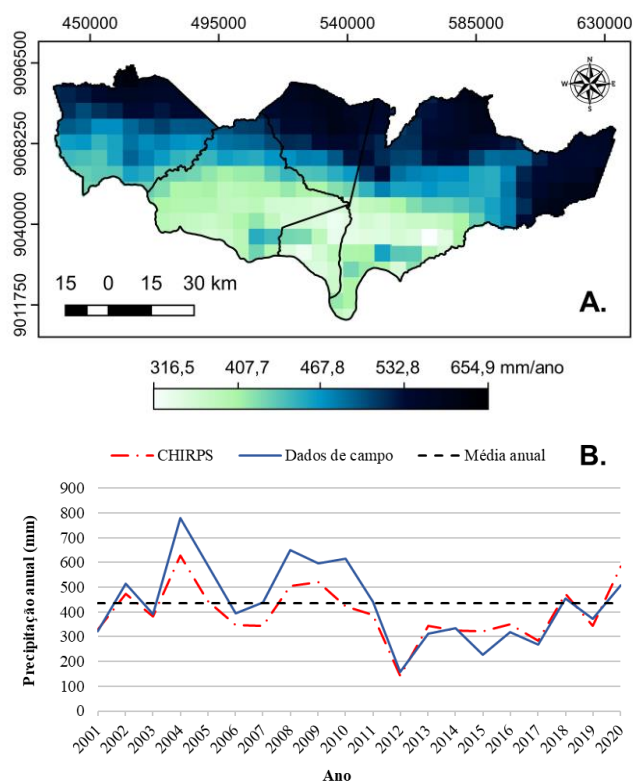


Figura 2. Variação espacial (A) e temporal (B) da precipitação média anual para a área de estudo entre 2001 e 2020.

Por outro lado, os dados presentes na Figura 2B descrevem três períodos distintos: dois picos de índices pluviométricos (um entre os anos de 2003 e 2005 e outro entre os anos de 2007 e 2011) e um período de seca intensa que se prolongou por seis anos (2012-2017). Este último foi considerado por diversos autores como o período de seca mais severo nas últimas duas décadas para a Região do Semiárido Brasileiro – RSNB, onde a precipitação alcançou baixíssimos índices, variáveis entre 150 e 400 mm/ano, e causou graves prejuízos socioeconômicos a população nordestina dessa região [8].

Contudo, a Figura 2B também revelou, a princípio, que o CHIRPS tendeu a subestimar os valores de precipitação anual (em comparação aos dados obtidos das estações meteorológicas). Tal fato pôde ser comprovado mediante a análise acurácia espaço-temporal destes dados orbitais, a partir dos parâmetros estatísticos avaliados neste estudo (Figura 3). Onde, os parâmetros *EM* e *BP* revelaram que o CHIRPS tendeu a subestimar os valores de precipitação em -28,16 mm/ano e -6,19%, ambos valores médios, consecutivamente. Além disso, o *RMSE* dos dados do CHIRPS alcançou um valor médio de 112,96 mm/ano.

Todavia, os bons valores dos coeficientes de correlação de Pearson e de eficiência de Nash-Sutcliffe ($r = 0,83$ e $Eff = 0,60$, respectivamente) demonstraram que o CHIRPS apresenta boa correlação com os dados obtidos em campo através das estações meteorológicas. Demonstrando assim, a boa aplicabilidade deste produto em escala anual e local. Pois, resultados semelhantes foram encontrados em outros estudos de regiões áridas e semiáridas como o Semiárido Nordestino Brasileiro [1,2,4].

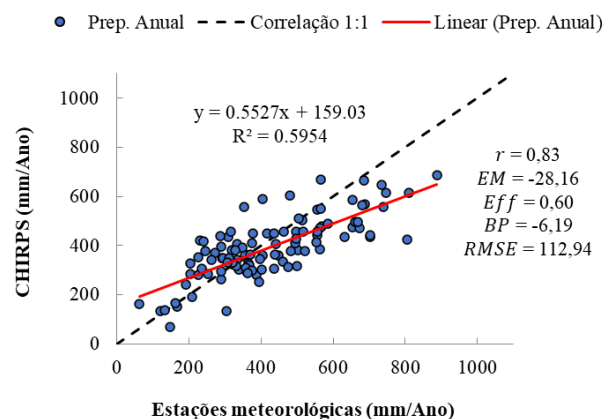


Figura 3. Análise estatística da acurácia espaço-temporal do CHIRPS para o NDC.

A análise tendência espaço-temporal, a partir da aplicação dos testes de MK e SSE, revelou que o CHIRPS não foi capaz de detectar a significância dos eventos extremos de precipitação ocorridos entre os anos de 2001 e 2020 no NDC. Pois, o teste MK apresentou tendências inferiores aos níveis de significância de 5% e 1% de probabilidade (valores de $|Z|$ inferiores a 1,96 e 2,57, respectivamente), como representado na Figura 4A. Entretanto, o CHIRPS ainda conseguiu distinguir as áreas em que ocorreram tendências de decaimento (municípios de Belém do São Francisco, Itacuruba e Floresta – nas áreas de baixa altitude) e de aumento (município de Cabrobó e áreas de alta altitude de Carnaubeira da penha e Floresta) dos índices pluviométricos anuais. O SEE apontou que essas regiões tiveram tendências com amplitude de valores variáveis entre, aproximadamente, ± 6 mm/ano (Figura 4B).

Tais resultados demonstram que a eficácia de detecção e monitoramento de eventos extremos de precipitação por parte do CHIRPS depende da extensão da variação altimétrica, da

qualidade da rede de estações meteorológicas e do histórico de mudanças ambientais ocorridas na área que está sendo avaliada [2,9,20].

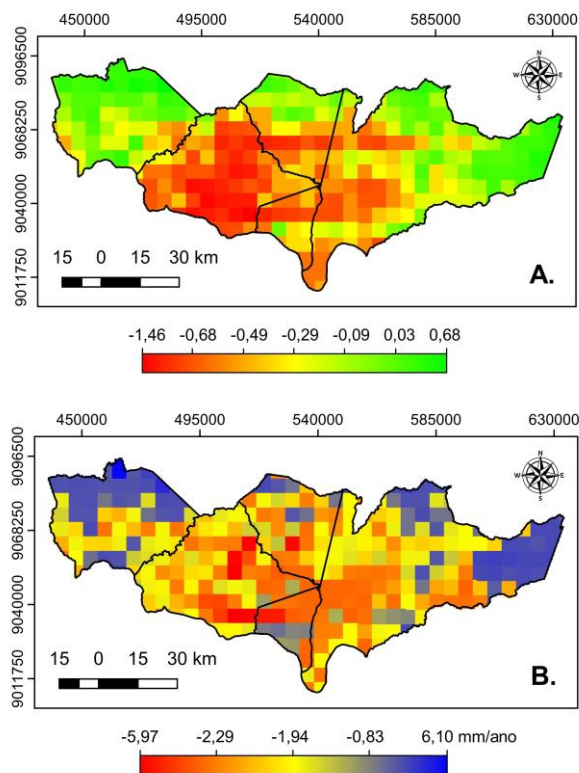


Figura 4. Análise de tendência espaço-temporal através do teste MK (A) e SSE (B) para NDC entre 2001 e 2020.

4. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados neste estudo revelaram que os dados do CHIRPS podem ser usados para estimação e monitoramento da precipitação em escala local e anual de outras áreas da RSNB, mediante uma etapa prévia de validação estatística. Visto que, a acurácia de tais dados é dependente das características edafoclimáticas e qualidade da rede de estações meteorológicas presentes na possível área de estudo a ser avaliada.

5. REFERÊNCIAS

[1] M. Nawaz, M. F. Iqbal and I. Mahmood. Validation of CHIRPS satellite-based precipitation dataset over Pakistan, *Atmospheric Research*, 248 (v.): 105289, 2021.
[2] J. A. Rivera *et al.* Validation of CHIRPS precipitation dataset along the Central Andes of Argentina, *Atmospheric Research*, 213 (v.): 437-449 (pp.), 2018.
[3] J. Torres-Batló and B. Martí-Cardona. Precipitation trends over the southern Andean Altiplano from 1981 to 2018, *Journal of Hydrology*, 590 (v.): 125485, 2020.
[4] H. Babausmail *et al.* Evaluation of satellite-based precipitation estimates over Algeria during 1998-2016, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 195 (v.): 105139, 2019.

[5] F. Gao *et al.* Evaluation of CHIRPS and its application for drought monitoring over the Haihe River Basin, China, *Natural Hazards*, 92 (v.):155-172 (pp.), 2018.
[6] S. R. Q. Santos, A. P. M. A. Cunha & G. G. Ribeiro-Neto. Avaliação de dados de precipitação para o monitoramento do padrão espaço-temporal da seca no Nordeste do Brasil, *Revista Brasileira de Climatologia*, 25 (v.): 80-100 (pp.), 2019.
[7] A. G. Ferreira and N. G. S. Mello. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região, *Revista Brasileira de Climatologia*, 1 (v.): 15-28 (pp.), 2005.
[8] J. A. Marengo *et al.* Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90 (v.): 1973-1985 (pp.), 2018.
[9] F. J. Paredes-Trejo, H. A. Barbosa and T. V. L. Kumar. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil, *Journal of Arid Environments*, 139 (v.): 26-40 (pp.), 2017.
[10] C. Funk *et al.* The climate hazards infrared precipitation with stations - a new environmental record for monitoring extremes, *Scientific Data*, 2 (v.): 150066, 2015.
[11] N. Alahacoon and M. Edirisinghe. Spatial variability of rainfall trends in Sri Lanka from 1989 to 2019 as an indication of climate change, *International Journal of Geo-Information*, 10 (v.): 84, 2021.
[12] D. B. Soares, F. O. Mota Filho & R. S. Nóbrega. Sobre o processo de desertificação, *Revista Brasileira de Geografia Física* 1 (v.): 174-188 (pp.), 2011.
[13] H. E. Beck *et al.* Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution, *Scientific Data*, 5 (v.): 180214, 2018.
[14] N. Gorelick *et al.* Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone, *Remote Sensing of Environment*, 202 (v.): 18-27 (pp.), 2017.
[15] W. A. Atiah *et al.* Validation of satellite and merged rainfall data over Ghana, West Africa, *Atmosphere*, 11 (v.): 859, 2020.
[16] H. B. Mann. Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, 13 (v.): 245-259 (pp.), 1945.
[17] M. Kendall. *Rank correlation methods*, Griffin: London - UK, 1975.
[18] P. K. Sen. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau, *Journal of the American Statistical Association*, 63 (v.): 1379-1389 (pp.), 1968.
[19] B. G. Bezerra, *et al.* Changes of precipitation extremes indices in São Francisco River Basin, Brazil from 1947 to 2012, *Theoretical and Applied Climatology*, 135 (v.): 565-576 (pp.), 2018.
[20] X. Tan *et al.* Evaluations on gridded precipitation products spanning more than half a century over the Tibetan Plateau and its surroundings, *Journal of Hydrology*, 582 (v.): 124455, 2020.