



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Análise de Índices de Extremos Climáticos a Partir de Dados de Chuva Estimados pelo CHIRPS para a Região Sul da Bahia

Janaina Maria Oliveira de Assis¹, Naiah Caroline Rodrigues de Souza², Ísis Valentino Caldas Manuel³, Samara Fernanda da Silva⁴, Andrea Sousa Fontes⁵

¹Posdoc do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente, Águas e Saneamento - MAASA/UFBA, Rua Prof. Aristides Novis, 2 - Federação, Salvador - BA, CEP: 40210-630, Email: janainaa@ufba.br (<https://orcid.org/0000-0002-5902-8134>). ²Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Energia e Ambiente - PPGENAM/UFBA, Rua Barão de Jeremoabo, S/N, Campus de Ondina, Salvador - BA, CEP: 40170-115, Email: naih.carol@gmail.com (<https://orcid.org/0009-0005-8436-1894>). ³Graduanda do curso de Geografia da UFBA, Rua Prof. Aristides Novis, 2 - Federação, Salvador - BA, CEP: 40210-630, Email: isismanuel@ufba.br (<https://orcid.org/0009-0001-6154-463X>). ⁴ Professora da Universidade Federal do Oeste da Bahia - UFOB, Rua da Prainha, 1326, Morada Nobre, Barreiras - BA, CEP: 47810-047, Email: samara.silva@ufob.edu.br (<https://orcid.org/0000-0002-8853-8993>). ⁵Professora do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente, Águas e Saneamento - MAASA/UFBA, Rua Prof. Aristides Novis, 2 - Federação, Salvador - BA, CEP: 40210-630, Email: asfontes@ufba.br (<https://orcid.org/0000-0001-5717-6101>)

Article received on 08/07/2024 and accepted on 15/01/2025

RESUMO

Este estudo tem por objetivo avaliar o desempenho da estimativa do produto Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) em capturar índices de eventos extremos de precipitação na mesorregião Sul da Bahia e verificar sua similaridade com os índices extremos calculados com dados de 31 estações pluviométricas da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico – ANA para os anos de 1981 a 2023. Desse modo, foram avaliados o uso do conjunto de dados de precipitação diária do CHIRPS, com resolução espacial de 0,05°, para diferentes finalidades, onde comparou-se os índices calculados usando dados CHIRPS e observações de pluviômetros, com a análise ponto a pixel. Para o cálculo dos índices de extremos de precipitação foi utilizado o software RCLimindex, que visa monitorar e detectar alteração do padrão pluviométrico da região. Os índices calculados foram avaliados por meio de métricas estatísticas de modo a verificar a representatividade e similaridade dos dados estimados em relação aos dados observados. Como resultado, verificou-se que o produto CHIRPS produz resultados mais semelhantes aos dados dos pluviômetros para os índices PRCPTOT (precipitação anual), R10mm (número de dias com precipitação acima de 10 mm) e R20mm (número de dias com precipitação acima de 20 mm), enquanto em alguns casos, subestima, em outros, superestima os índices de precipitação mais extremos (R50mm - número de dias com precipitação acima de 50 mm e Rx5day - quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos).

Palavras-chave: Eventos extremos, Precipitação pluviométrica, RCLimindex, Métricas estatísticas.

Analysis of Climate Extreme Indices Based on Rainfall Estimates by CHIRPS for the Southern Region of Bahia

ABSTRACT

This study aims to evaluate the performance of the Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) product estimate in capturing indices of extreme precipitation events in the Southern Bahia mesoregion and verifying its similarity with the extreme indices calculated with data from 31 rainfall stations, of the National Water and Basic Sanitation Agency – ANA for the years 1981 to 2023. In this way, the use of the CHIRPS daily precipitation data set, with a spatial resolution of 0.05°, for different purposes was evaluated, where it compared, the indices are calculated using CHIRPS data and rain gauge observations, with point-by-pixel analysis. To calculate extreme precipitation indices, the RCLimindex software was used, which aims to monitor and detect changes in the region's rainfall pattern. The calculated indices were evaluated using statistical metrics in order to verify the representativeness and similarity of the estimated data in relation to the observed data. As a result, it was found that the CHIRPS product produces results more similar to rain gauge data for the PRCPTOT (annual precipitation), R10mm (number of days with precipitation above 10 mm) and R20mm (number of days with precipitation above 20 mm) indices, while in some cases it underestimates, in others it overestimates the most extreme precipitation indices (R50mm - number of days with precipitation above 50 mm and Rx5day - maximum amount of precipitation in 5 consecutive days).

Keywords: Rainfall, RCLimindex, Statistical metrics.

Introdução

A análise das tendências multitemporais e espaciais da precipitação numa bacia hidrográfica é uma abordagem essencial para o planejamento e gestão dos recursos hídricos (Guarnier & Barroso, 2021). Estudos mostram que as alterações climáticas levarão a um aumento da frequência e intensidade dos extremos hidrometeorológicos, potencialmente desencadeadores de mais inundações e secas (PBM, 2016). O VI Relatório do IPCC (IPCC, 2023), alerta que os eventos de chuvas intensas, que resultam em inundações, deslizamentos de terra, devem se intensificar em magnitude e frequência, apresentando riscos à vida e à infraestrutura. Natividade et al. (2017) e Medeiros et al. (2022) citam diversos estudos evidenciando notáveis desastres naturais relacionados a episódios de chuvas extremas de máxima em todas as regiões do Brasil nas duas últimas décadas.

Nos últimos três anos a mesorregião sul do estado da Bahia passou por sucessivos eventos de chuvas intensas, que se concentraram nos meses de novembro e dezembro dos anos de 2021, e 2022 e abril de 2023, ocasionando inúmeros impactos na região, que resultaram em diversos pontos de inundações e decretos de situação de emergência em vários municípios do estado. Diante disso, ressalta-se a importância na obtenção de dados climáticos em séries históricas extensas, para realização de estudos de comportamento climático em diferentes séries temporais.

Os estudos dos extremos climáticos utilizam dados diários ou subdiários de precipitação medidas in situ pelos pluviômetros. Essas medidas geralmente podem fornecer as medições mais diretas e precisas nos locais de medição (Duan et al., 2016; Sun, 2017; Salio et al., 2015). Contudo, em muitos casos, fornecem registros pontuais, sujeitos a falhas que limitam o seu uso, além da distribuição irregular das estações ou mesmo registros de curta duração (Melo et al., 2015; Salio et al., 2015; Xavier et al., 2015). Segundo Tórnio et al. (2024), a rede de monitoramento, muitas vezes, não apresenta boa densidade espacial, série histórica necessária e, em muitos casos, carece da manutenção adequada, tornando a disponibilidade de dados um grande problema. Desse modo, ter um banco de dados climático robusto, confiável e sem grandes falhas é a base para definir critérios de cientificidade de pesquisas e gerar condições de aumento de análises climáticas diversas (Assis et al., 2023).

Os produtos de sensoriamento remoto são fontes alternativas às redes de pluviômetros (Tang

et al., 2015; Sun et al., 2017), com destaque para o Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS), o qual tem sido objeto de investigação em diversas regiões do território brasileiro (Baez-Villanueva et al., 2018; Paredes-Trejo et al., 2017; Andrade, 2024, Da Silva, 2024, de Oliveira-Júnior, 2021). Em geral, esses estudos concentraram-se na avaliação da sua capacidade em representar as precipitações, especialmente, nas escalas mensais e anual; na avaliação de seca e/ou para fins de modelagem hidrológica. Entretanto, poucos são aqueles que buscaram avaliar as estimativas de precipitação em relação aos eventos extremos de máximo, que muitas vezes têm processos mais complexos e relevantes em relação aos desastres, tais como, inundações e deslizamentos de terra (Prakash, 2016).

A análise de índices de extremos climáticos de precipitação serve como indicador de ocorrência de desastres hidroclimatológicos, como por exemplo, a possibilidade de ocorrência de deslizamentos, refletindo a intensidade de chuva que pode causar inundações bruscas, indicador de duração de períodos de estiagem, entre outros. Aliado a isto, calcular estes índices com dados estimados de satélite, aumenta o grau de confiabilidade dos diagnósticos climáticos, visto a homogeneidade e maior distribuição dos dados, caso estes se configurem como adequados para este fim.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o desempenho da estimativa do CHIRPS em capturar índices de eventos extremos de precipitação na mesorregião do Sul da Bahia.

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo está localizada no sul da Bahia e corresponde à Região Intermediária de Ilhéus-Itabuna, na qual estão contempladas totalmente ou parcialmente seis bacias hidrográficas: Extremo Sul, Jequitinhonha, Leste, Pardo, Contas e Recôncavo Sul. Essa área é importante economicamente para o estado da Bahia, com a economia centrada, principalmente, na indústria de celulose (extremo sul), na fruticultura e no turismo (Almeida et al., 2008).

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, empregada por Alvares (2013) para categorizar o clima do Brasil, a área de estudo é classificada como uma região de clima tropical

chuvoso de floresta, com três zonas distintas. O clima Af caracteriza o clima tropical chuvoso de floresta, sem estação seca, possui pluviosidade média mensal superior a 60mm e anual superior a 1500mm. A temperatura do mês mais frio fica acima de 18°C, com predominância de verões longos e quentes, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. O clima Am faz a transição entre os tipos climáticos Af e Aw, com temperatura média no mês mais frio superior a 18°C e uma pequena estação seca (1 a 3 meses) compensada por precipitações mais elevadas durante o restante do ano. O clima Aw apresenta estação chuvosa no verão (novembro a abril) e estação seca no inverno (maio a outubro).

O sul da Bahia tem sido afetado pelos desastres ocorridos entre os anos de 2021 a 2023, devido às fortes chuvas que atingiram a região. Esses eventos resultaram em impactos sem precedentes, os quais foram provocados por diferentes sistemas atuantes: Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) em 2021; atuação de um vórtice ciclônico em altos níveis da

atmosfera em 2022; e em 2023, ondas de calor de 2023, que se resumiu na atuação de um bloqueio atmosférico, provocando elevadas ondas de calor e precipitação torrencial (SOUZA, et al. (2023)

Dados de precipitação

Foram utilizados dois conjuntos de precipitação: observadas e estimada por satélite. Os primeiros foram obtidos do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, por meio da plataforma HIDROWEB. Como critérios, utilizou-se a extensão temporal de 1981 a 2023 (este devido à disponibilidade dos dados estimados) e o percentual de falhas (<10%). As estações pluviométricas são distribuídas de forma desigual, sem muita abrangência geográfica, fator que motivou a avaliação de produtos de precipitação baseados em sensoriamento remoto na região. Foram então selecionadas 31 estações pluviométricas na mesorregião Sul do estado da Bahia (Figura 1).

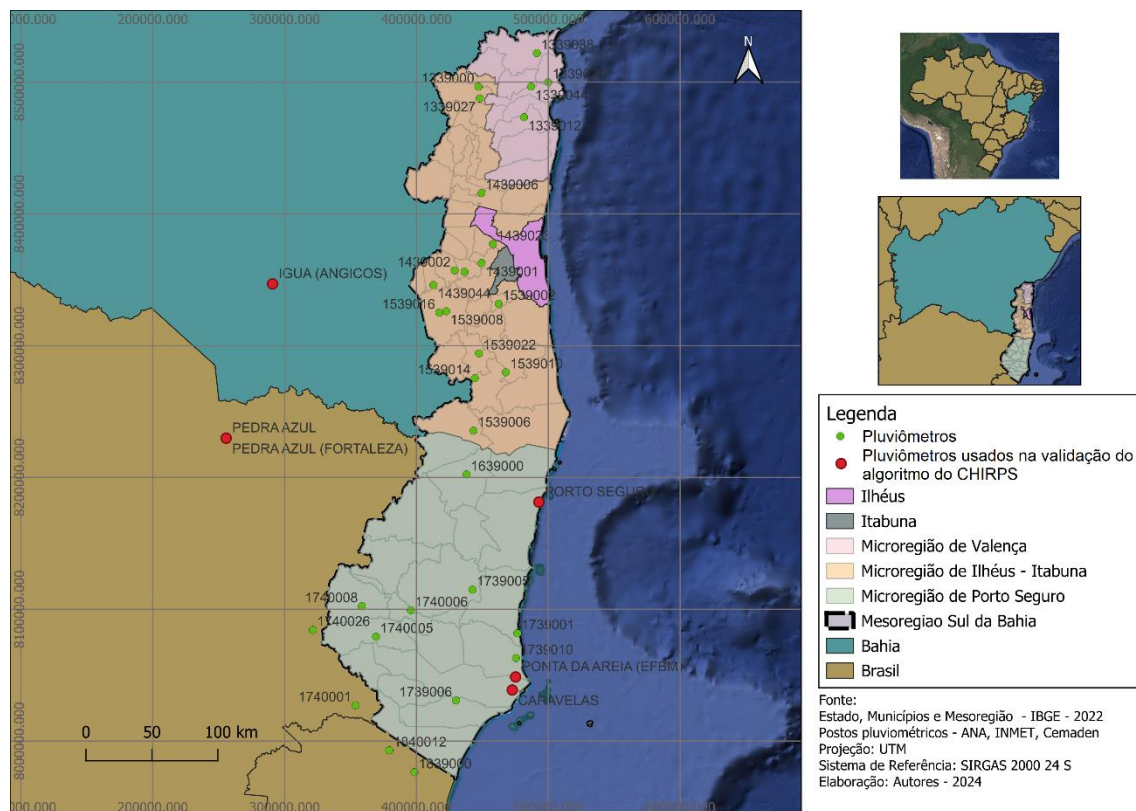


Figura 1 - Localização das estações pluviométricas selecionadas, cada código é referente a uma estação. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Para o segundo conjunto pluviométricos, utilizou-se o conjunto de dados CHIRPS (*Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations*), desenvolvidos pelo *United States Geological Survey* (USGS) e pelo *Climate Hazards Group at the University of California, Santa*

Barbara (UCSB). O CHIRPS possui uma resolução espacial de 0,05°, ou aproximadamente 5 km, próximo ao equador, cobertura geográfica de 50°S a 50°N, sendo disponibilizado em conjuntos de dados diários, mensais e anuais, proposto por Funk et al. (2015). O conjunto de dados de

estimativas de precipitação por satélite abrange o período de agosto de 1981 a julho de 2023, totalizando aproximadamente 42 anos de dados.

Os dados do CHIRPS estão disponíveis no sítio eletrônico da UCSB (<ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>). É importante destacar que nenhuma das estações selecionadas do SNIRH faz parte das estações usadas no processamento do produto CHIRPS final, disponíveis em https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/diagnostics/list_of_stations_used/monthly/ no arquivo [global.stationsUsed.2023.04](https://data.chc.ucsb.edu/products/CHIRPS-2.0/diagnostics/list_of_stations_used/monthly/).

Desempenho das estimativas

Para validação dos dados foi utilizada a técnica de análise conhecida como ‘ponto a pixel’, que fornece uma representação confiável do desempenho dos produtos de satélite na estimativa

da variabilidade espacial da precipitação. Para isso, determinou-se índices de extremos climáticos de máximos para os dois conjuntos de dados de precipitação e tais resultados foram avaliados por meio de métricas estatísticas de modo a verificar a representatividade e similaridade dos dados estimados em relação aos dados observados.

Os índices de extremos foram determinados usando o software RCLimindex 3.2.1, recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), de distribuição gratuita (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/>), desenvolvido por Byron Gleason, pesquisador do National Climate Data Centre (NCDC) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), o qual calcula os índices recomendados pelo Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI). Os utilizados nesse trabalho constam na Tabela 1.

Tabela 1 - Índices climáticos dependente da precipitação pluviométrica diária com definições e unidades.

Índice	Nome do indicador	Definição	Unid	Fórmula
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos	Precipitação total anual nos dias úmidos ($RR^* \geq 1\text{mm}$)	mm	$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij}$
R10mm	Número de dias com precipitação acima de 10 mm	Número de dias por ano em que a precipitação foi $\geq 10\text{mm}$	dias	$RR_{ij} \geq 10\text{mm}$
R20mm	Número de dias com precipitação acima de 20 mm	Número de dias por ano em que a precipitação foi $\geq 20\text{mm}$	dias	$RR_{ij} \geq 20\text{mm}$
R50mm	Número de dias com precipitação acima de 50 mm	Número de dias por ano em que a precipitação foi $\geq 50\text{mm}$	dias	$RR_{ij} \geq 50\text{mm}$
Rx5day	Quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos	Máximo mensal de precipitação em 5 dias consecutivos	mm	$Rx5day_j = \max(RR_{kj})$

*R indica precipitação diária

Fonte: RCLimindex 1.0 - manual Del usuário (2004).

Os eventos hidrológicos extremos, como inundações, foram pautados como determinantes para a definição dos índices de extremos climáticos utilizados neste trabalho, pois também é importante conhecer o número de dias consecutivos de chuva, determinante para definir o comprimento do período chuvoso. Um dia é considerado chuvoso quando a precipitação acumulada em 24h for superior a algum limiar estabelecido. Diversos estudos consideram limiares de 1 mm; 3mm; 5mm; 10mm (Shaw et al., 2010; Cindric et al., 2010, Lana et al., 2006; Larrocha et al., 2006).

Assim, optou-se por utilizar os limiares de número de dias com precipitação acima de 10 mm, 20 mm e 50 mm, considerado como chuva fraca a moderada de 10 e 20 mm e chuva moderada a intensa, acima de 50 mm (Silva et al. 2023), além

do limiar de 5 dias consecutivos com chuva. A análise dos dados em intensidades diferentes permite uma avaliação mais detalhada dos produtos de sensoriamento remoto, uma vez que, as respostas dos processos hidrológicos estão relacionadas justamente à intensidade da precipitação.

A delimitação de chuva intensa acima de 50 mm foi baseada nas categorias de chuva segundo estudo de Guedes e Silva (2020) e nas recomendações da ISO/DIS (2018), que leva em consideração os impactos hidrometeorológicos.

Assim, foram selecionados os índices de Precipitação total anual (PRCPTOT), número de dias com precipitação acima de 10 mm, 20 mm e 50 mm (R10mm, R20mm e R50mm) e quantidade máxima de precipitação em 5 dias consecutivos

(Rx5day). O cálculo desses índices tornou-se de grande importância, pois com os valores, por exemplo, das tendências lineares foi possível criar uma distribuição espacial, os sinais de detecção de mudanças climáticas na área de estudo.

As métricas estatísticas foram determinadas comparando os resultados dos índices de extremos climáticos dos dois conjuntos de dados por meio do coeficiente de determinação (r^2), do erro percentual médio ou porcentagem de viés (PBIAS), do erro absoluto (E) e do coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE). O coeficiente de determinação (r^2) é utilizado para avaliar a associação entre dois fatores, através da proporção da variabilidade em uma variável (Bayissa et al., 2017; Costa et al., 2019).

O PBIAS é utilizado para verificar se há sub ou superestimativa média dos valores estimados, representando a porcentagem de viés, sendo satisfatório até o limite igual ou menor que 25%. Segundo Silva et al. (2020), os valores positivos indicam viés de superestimação, enquanto valores negativos indicam viés de subestimação, em

termos percentuais. O PBIAS reflete quão bem a média da precipitação estimada por satélite corresponde à média do observado. Se o PBIAS é zero, infere-se que não há erro sistemático ou tendência no conjunto de dados estimados, desse modo, o valor ótimo de PBIAS é zero, de tal forma que os valores baixos, próximo a zero, indicam que a simulação é precisa (Bayissa et al., 2017; Costa et al., 2019).

O erro absoluto médio (E) é uma análise estatística menos afetada pelos outliers. Esta análise representa a soma cumulativa dos erros e apresenta uma estimativa robusta para indicar a habilidade dos dados estimados em reproduzir os valores observados (Costa et al., 2019).

O coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) varia entre $-\infty$ e 1. Com esse coeficiente é possível identificar subestimação geral da amostra e se o ajuste entre as séries de dados é satisfatório. Os cálculos das métricas estatísticas estão detalhados na Tabela 2 e foram feitos para os 31 os postos pluviométricos selecionados na área de estudo.

Tabela 2 - Índices estatísticos usados neste estudo

Coeficiente	Definição	Fórmula
R^2	Coeficiente de Determinação	$r = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$
E	Erro Absoluto Médio	$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n s - o $
NSE	coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_{Est} - P_{Obs})^2}{\sum_{i=1}^n (P_{Obs} - \bar{P}_{Obs})^2}$
PBIAS	Erro Percentual Médio	$PBIAS = 100 \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^n (O_i)}$

Onde: $\hat{y}_i$ = valor estimado; y_i = valor observado; $\bar{y}$ = média das observações, levando a soma total dos quadrados; s = valores dos dados estimados pelo CHIRPS; o = dados observados nas estações pluviométricas; n = tamanho da série temporal considerada; p_{est} = Precipitação estimada; p_{obs} = Precipitação observada.

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Ressalta-se que os anos com falha de dados nas estações pluviométricas, que inviabilizaram os cálculos dos índices de extremos climáticos, também foram considerados dados faltantes na série de dados do CHIRPS.

Resultados e Discussão

Desempenho das estimativas de precipitação

Os índices climáticos extremos para a precipitação observados são apresentados na

Figura 2. Verifica-se que os postos pluviométricos localizados ao norte da área de estudo são os que apresentaram os maiores valores do PRCPTOT, com limiares entre 1.250 mm e 2.020 mm. Ao centro e no sul da área de estudo foram identificados menores totais anuais de precipitação, e estes valores tende a reduzir no sentido de leste a oeste.

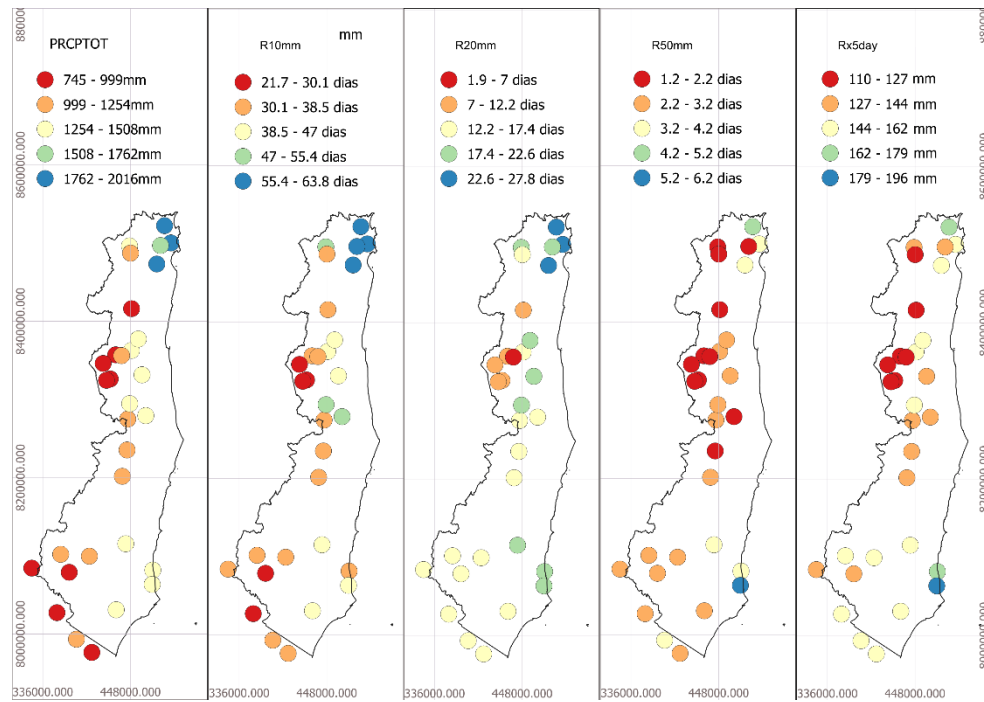


Figura 2 - Índices de extremos climáticos calculados para observações pluviométricas de 1981 a 2023 nas 31 estações pluviométricas selecionadas na mesorregião Sul da Bahia. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Resultados semelhantes ao do PRCPTOT foram observados nos índices R10mm e R20mm. No índice R10mm predomina as faixas entre 21 a 38 dias ao ano com chuva acima de 10 mm/dia e no índice R20mm predomina as faixas entre 12 a 22 dias ao ano com chuva superior a 20 mm/dia, evidenciando assim a maior frequência das chuvas fracas. Esse fator é comprovado quando se analisa também o R50mm (chuvas de maiores intensidades) as quais ocorrem em menor frequência, sobretudo da área norte até a parte central da área de estudo.

O índice Rx5day mostrou comportamento sem um padrão espacial bem definido, embora se observou menores volumes de precipitados mais ao norte e ao leste da área de estudo, que apresentaram eventos entre 110 mm a 127 mm.

Araújo e Brito (2011) analisaram as tendências de índices climáticos de precipitação para os estados da Bahia e Sergipe e constataram padrões de homogeneidade espacial do PRCPTOT e R50mm. Cavalcante *et al.* (2020), em estudo para a região da Amazonia obtiveram resultados nos quais a distribuição da PRCPTOT apresentou

maiores valores concentrados na parte Nordeste da área estudada, sendo observado a mesma dinâmica nos índices R10 mm e R20 mm, mostrando, assim como no presente trabalho, que as estações nas quais existem uma maior precipitação anual, são as que apresentam também a maior incidência de dias com chuvas fraca a moderada.

A análise dos índices de extremos climáticos com os dados observados mostrou um diagnóstico do comportamento climático da área de estudo, entretanto, o intuito deste trabalho é mostrar a representatividade dos dados do CHIRPS em estudos do mesmo patamar, com interesse em expandir as pesquisas onde não há representatividade de postos pluviométricos. Para este fim, usou-se estes dados estimados pelo satélite também para calcular os mesmos índices calculados com os dados observados e mostrar a representatividade destes índices, par a par, para a área de estudo. A Tabela 3 mostra o percentual que o coeficiente de correlação de Pearson apresentou entre os resultados dos índices de extremos climáticos calculados com dados observados e com os dados do CHIRPS.

Tabela 3 - Percentual de correlação do coeficiente de Pearson para cada índice climático calculado com dados observados e CHIRPS.

Correlação (Coeficiente de Pearson)	R10mm	R20mm	R50mm	PRCPTOT	Rx5day
Até 0,3	6%	3%	68%	3%	35%
0,3 a 0,6	32%	68%	32%	10%	61%
0,6 a 1,0	61%	29%	0%	87%	3%

É possível observar que os índices que tiveram uma melhor correlação linear foram o R10mm e PRCPTOT, obtendo, nesses dois casos uma boa representatividade dos dados do CHIRPS em relação ao observado. No índice PRCPTOT quase 90% das estações obtiveram uma correlação entre 0,6 e 1, apenas 10% obtiveram correlação entre 0,3 a 0,6 e 3% teve uma correlação abaixo de 0,3. No índice R10mm 61% das estações teve uma correlação entre 0,6 a 1, 32% teve uma correlação entre 0,3 e 0,6 e 6% teve correlação bem baixa, abaixo de 0,3.

Quando o limiar de chuva aumenta, ou seja, passando de chuva fraca (10 mm/dia) para chuva moderada (20 mm/dia) e intensa (acima de 50 mm/dia), verificou-se que os índices de extremos climáticos a partir dos dados do CHIRPS vão reduzindo sua capacidade de capturar os eventos mais extremos. No índice de número de dias com chuva moderada ao ano, acima de 20 mm/dia (R20mm), 29% teve uma boa correlação (entre 0,6 a 1 e 68%), 68% correlação entre 0,3 a 0,6 e apenas 3% não apresenta correlação satisfatória (coeficiente de Pearson inferior a 0,3).

Em relação ao R50mm, chuvas intensas, verificou-se que não houve boa correlação

(coeficiente de Pearson de 0,6 a 1) entre os índices climáticos calculados com os dados do CHIRPS, apresentando somente correlação baixa (entre 0,3 e 0,6) em 32% dos dados ou inexistente (abaixo de 0,3) em 68% dos dados.

Na análise de correlação do Rx5day o resultado foi mediano, com predomínio (96%) dos dados com correlação inferior a 0,6 – baixa ou nenhuma correlação – e apenas 3% dos dados obtiveram correlação satisfatória. Assim, verifica-se que para esse índice os dados pluviométricos não apresentaram bom ajuste linear em relação aos estimados pelo CHIRPS. Assim, verificou-se que à medida que aumenta o limiar de precipitação, seja o número de dias com chuva mais abundante ou aumento da quantidade de chuva em um mesmo evento de até cinco dias consecutivos, o coeficiente de Pearson tende a diminuir, uma vez que o CHIRPS subestima ou superestima os maiores valores, corroborando assim com os outros estudos (Paredes-Trejo et al., 2017; Santos et al., 2019).

A Figura 3 mostra a espacialização do coeficiente de Pearson entre os dados observados e os estimados pelo CHIRPS na área de estudo.

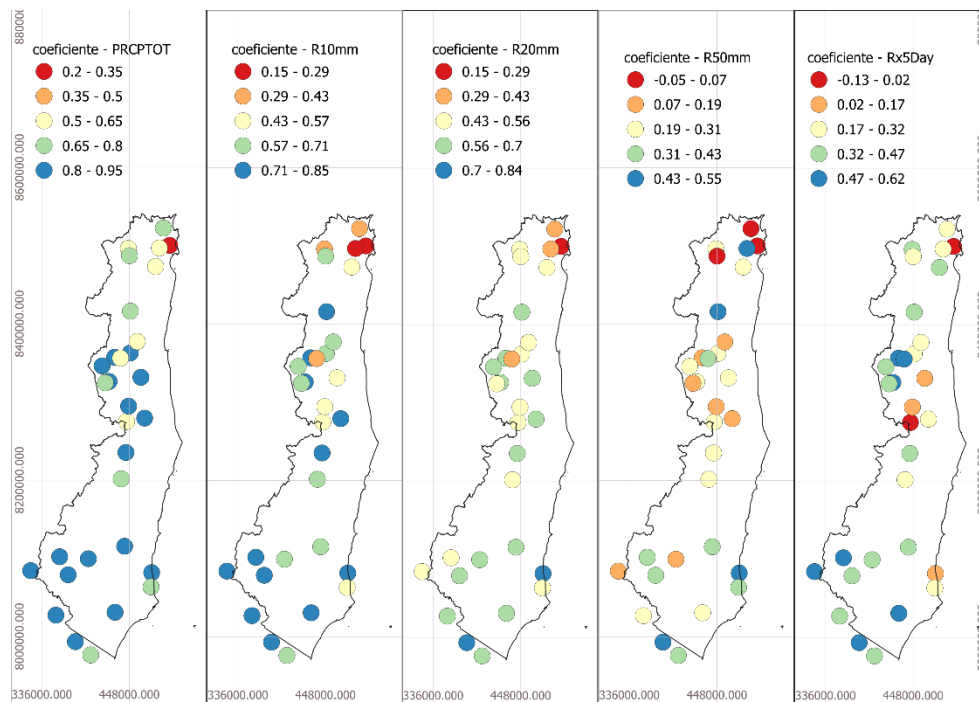


Figura 3 - Distribuição espacial do coeficiente de correlação linear de Pearson para índices climáticos calculados a partir de dados observados e dados estimados do CHIRPS correspondentes ao período de 1981 a 2023 na mesorregião Sul da Bahia. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

O PRCPTOT obteve a melhor correlação dos índices calculados, com resultados melhores nas estações localizadas ao sul e no centro da área de estudo, com 17 das 31 estações analisadas com coeficiente de Pearson entre 0,8 e 0,95.

Ao comparar os resultados da correlação linear entre o índice PRCPTOT entre os dois conjuntos de dados de precipitação, verifica-se que em locais que tiveram maiores totais de precipitação, o valor da correlação foi menor. Isso pode ser observado na comparação entre a Figura 2 e a Figura 3, em que os maiores valores de chuva foram justamente encontrados na parte mais ao norte da área de estudo, locais estes em que foram as correlações foram mais baixas.

Dinâmica similar ocorre com os índices de número de dias com precipitação fraca e moderada, R10mm e R20mm, respectivamente. Na parte ao norte da área de estudo, que são os locais com maior quantidade de dias chuvosos, são também os locais onde se verificou menores correlações. As partes centrais e ao sul, observa-se que os índices calculados com os dados observados e com os dados do CHIRPS seguem a mesma dinâmica, com uma boa representação dos dados estimados em relação aos observados.

Nenhuma localidade apresentou boa correlação do R50 mm entre os dados observados e dados do CHIRPS, o que sustenta a hipótese de que quanto maior o limiar de precipitação, menor é a

representatividade dos dados dos CHIRPS em relação aos dados observados.

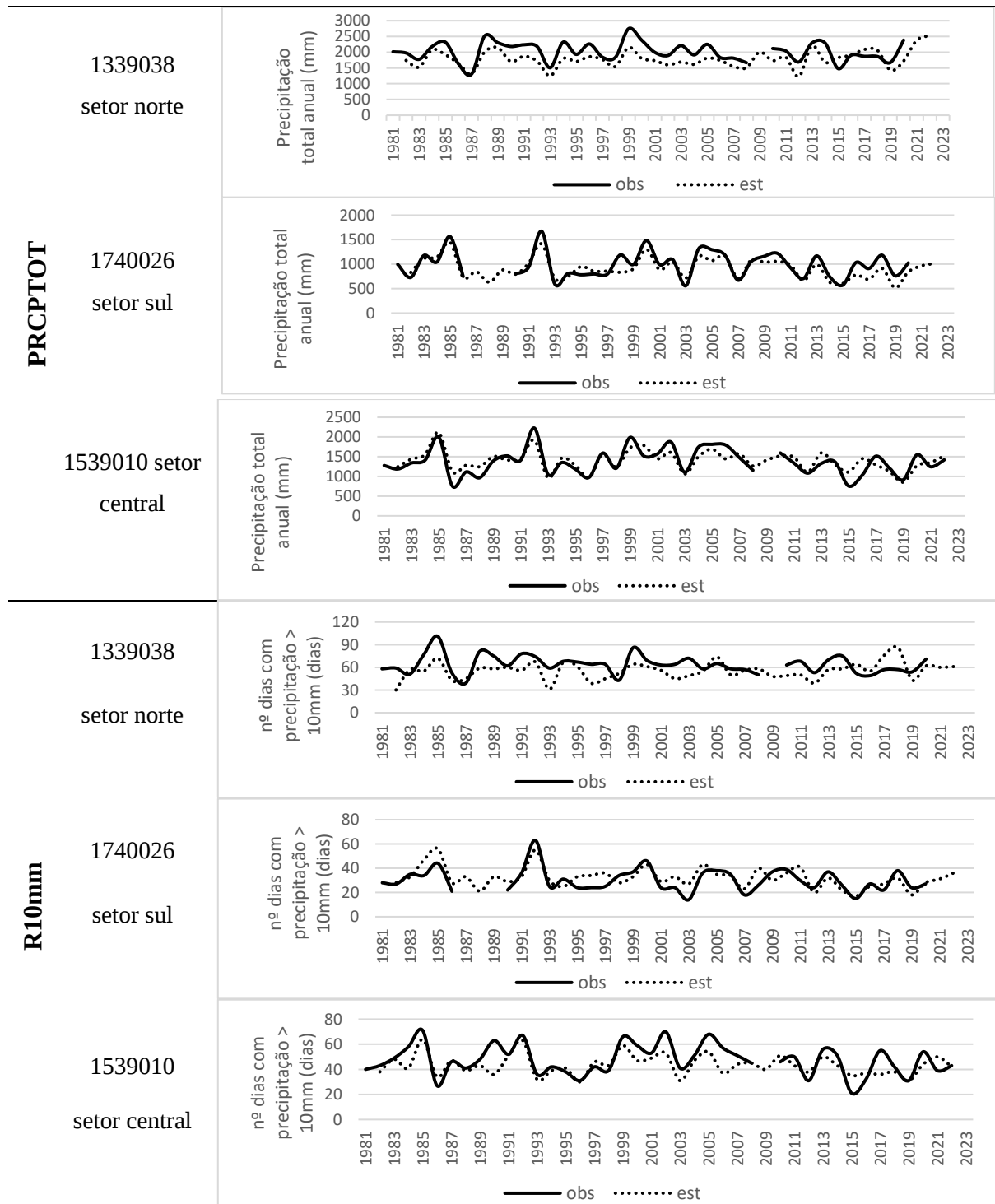
Resultado semelhante ao R50 mm foi verificado em relação ao índice Rx5day. Entretanto, apesar de não ter mostrado um padrão espacial bem delimitado no cálculo do índice com os dados observados, verifica-se que na parte mais central da área de estudo, onde se concentrou grande parte de estações com menores valores do Rx5day (Figura 2), foi também onde se obteve boas correlações, sendo mais um fator que fortalece o resultado encontrado, evidenciando assim, que quanto maior a precipitação, reduz-se a capacidade de captura do CHIRPS. Esses resultados convergem com aqueles obtidos por Cavalcante *et al.* (2020) para região da Amazônia, os quais observaram que maior for a precipitação observada, maior é a incerteza da precipitação baseada em sensoriamento remoto, identificando então que, nestas situações, o cálculo desses índices pode não ser bem representado pelo CHIRPS.

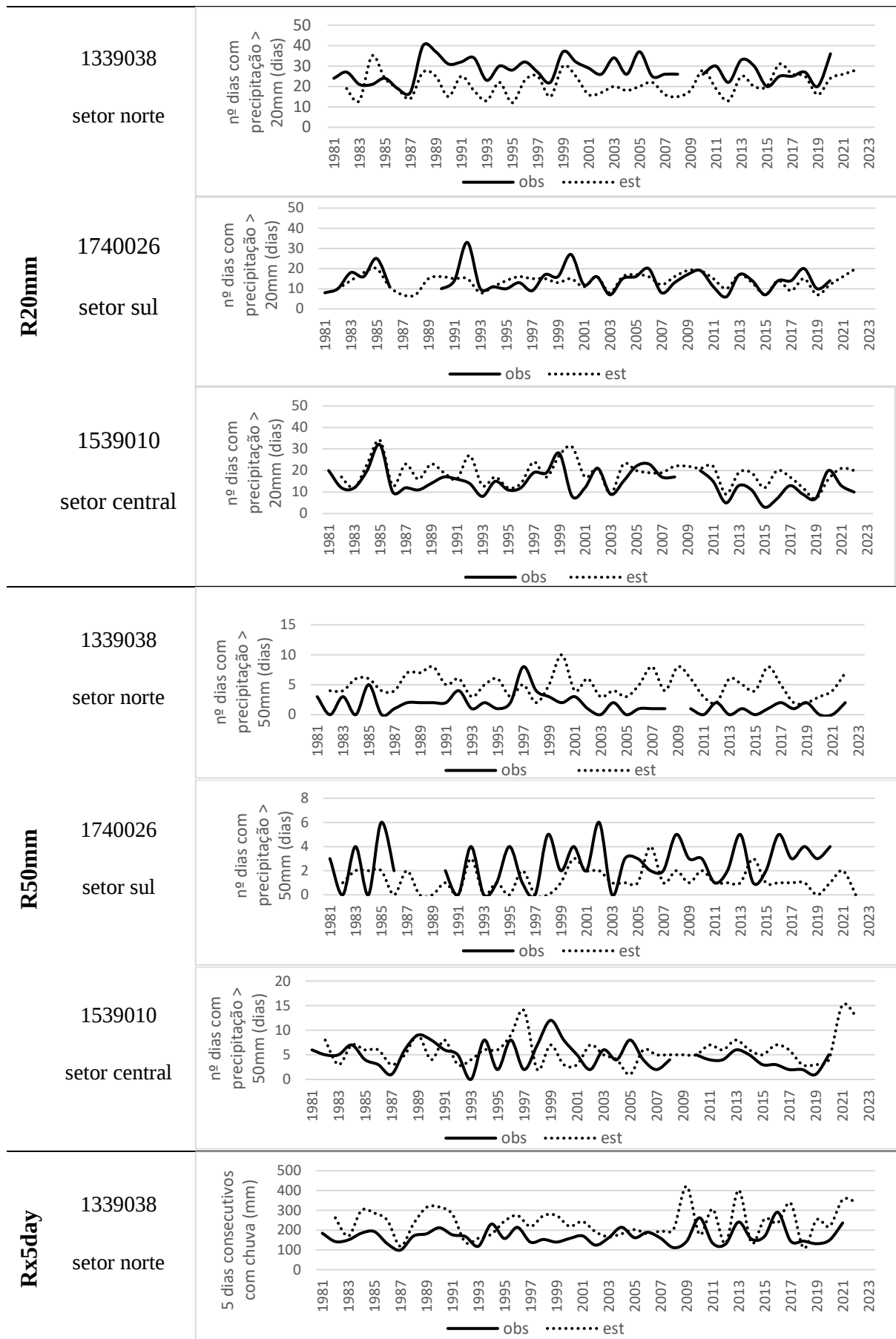
Castelhano *et al.* (2017) citam estudos mostrando baixas correlações entre os dados de precipitação diária estimados pelos CHIRPS e os observados nas estações de medição, desse modo, é importante considerar a escala temporal de análise na utilização dos dados do CHIRPS. Nesse contexto, Assis *et al.* (2023), em estudo considerando três estações pluviométricas localizadas na bacia do rio Cachoeira, na Bahia,

analisou o desempenho do CHIRPS em escala mensal e concluiu que os meses classificados dentro do período chuvoso foram os que tiveram uma melhor representação dos dados de satélite, sendo o CHIRPS aquele que conseguiu reproduzir com maior fidelidade a variabilidade sazonal da precipitação na área de interesse, embora apresentasse uma subestimação dos valores extremos de precipitação.

As séries temporais dos índices

determinados no presente estudo para três estações selecionadas aleatoriamente são mostradas na Figura 4. Para essa análise, foram selecionadas, de forma aleatória, três estações distribuídas ao longo da área de estudo, sendo uma estação no setor norte (código 1339038), uma no setor central (código 1539010) a uma localizada no setor sul (código 1740026), onde cada uma representa, além de comportamento pluviométrico diferenciado, também maior e menor proximidade com o litoral ou interior.





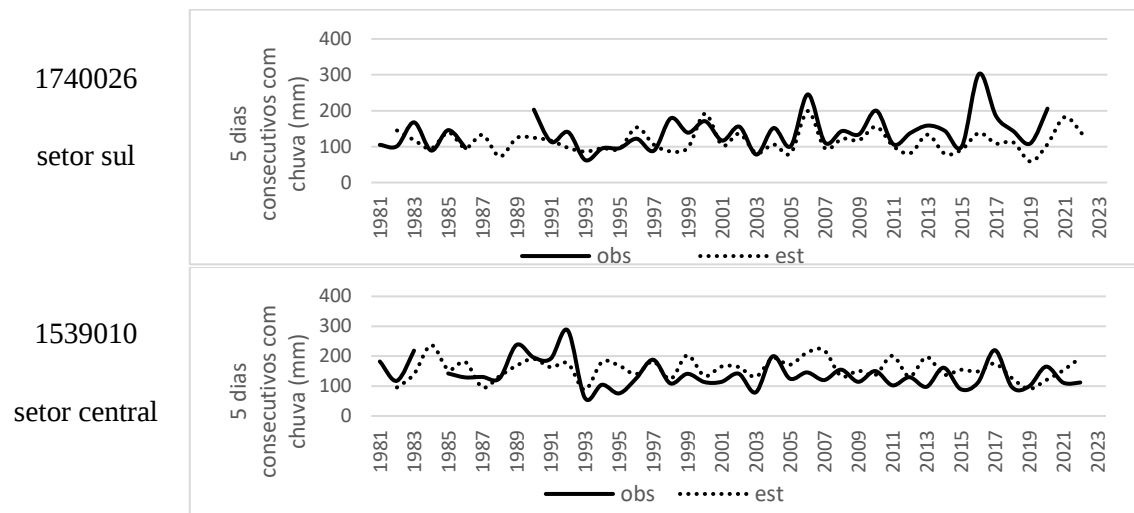


Figura 4 - Índices anuais de extremos climáticos de precipitação de 3 estações selecionadas, calculados a partir de observações pluviométricas e estimativas CHIRPS correspondentes de 1981 a 2023. Fonte: Autores, 2024.

Conforme pode ser verificado, o produto CHIRPS produz resultados mais semelhantes aos dados pluviométricos observados para os índices PRCPTOT e R10mm, embora subestime os índices de precipitação mais extrema. Ao analisar os três setores separadamente, verifica-se que o produto CHIRPS representa melhor as séries do índice PRCPTOT nos setores central e sul do que no setor norte, onde subestima levemente esse índice.

A análise do índice R10mm, mostra comportamento semelhante ao índice PRCPTOT – subestima os valores no setor norte e mostra um comportamento mais homogêneo aos dados de superfície nos setores central e sul, embora no setor sul seja constatado uma leve superestimação dos dados em alguns períodos específicos.

Na análise do índice R20mm, o setor Norte também apresenta uma subestimação do produto CHIRPS em relação aos dados observados e o setor central uma leve superestimação. Para o índice R50mm o CHIRPS não teve uma boa representatividade em nenhum dos setores analisados, conforme foi comprovado na correlação linear. Nesse índice, além de não representar bem os dados de superfície, o CHIRPS mostrou também elevada superestimação no setor norte da área de estudo.

O índice Rx5day também não teve uma boa representatividade do produto CHIRPS em relação aos dados observados, sobretudo no setor norte da área de estudo, onde superestimou bastante este índice. O setor sul foi o que teve uma melhor representatividade dos eventos de chuvas acumuladas em cinco dias consecutivos.

Assim, verifica-se que os dados do produto CHIRPS representam bem os índices PRCPTOT, R10mm (chuva fraca) e R20mm (chuva moderada). Entretanto, os índices Rx5day e

R50mm (chuva intensa) não são bem representados, visto que apresenta, em alguns casos, subestimação, em outros, superestimação do CHIRPS em relação aos dados do pluviômetro.

Paredes-Trejo *et al.* (2017), também ao Nordeste do Brasil, verificou que o CHIRPS para a região semiárida superestimou os menores valores de precipitação e subestimação dos maiores valores, nesse caso para a região semiárida, enquanto melhores desempenho foram observados fora do semiárido do nordeste do Brasil. Santos *et al.* (2019), verificou que as análises quantitativas evidenciaram que o CHIRPS apresenta erros sistemáticos de subestimativa (viés negativo) e superestimava (viés positivo) nas quatro estações do ano.

Para uma análise mais ordenada do erro sistemático (PBIAS) foram adotadas divisões por faixas, conforme López-Bermeo *et al.* (2022): i) < -20 (subestima); ii) ≤ -20 e ≤ 20 (ideal) e $> +20$ (superestima). Assim, para o índice PRCPTOT, os valores de Erro de Viés obtidos para as 31 estações variam entre 24,3% a -17,8. Nota-se que a maioria das estações (97%) para o índice PRCPTOT está na faixa ideal, apenas 3% dos postos possuem valores superiores a +20 e nenhum apresentou valores inferiores a -20.

Para o índice R10mm, 84% das estações estão na faixa ideal, 13% das estações possuem valores superiores a 20 e apenas 3% apresentam valores inferiores a -20. Portanto, o CHIRPS superestima mais do que subestima os valores para esse índice climático.

No índice R20mm, o patamar da faixa de erro sistemático, de valores ideais do CHIRPS em relação aos observados, diminui à medida que aumenta o limiar de chuva, o produto CHIRPS passa a representar com um menor grau de

confiabilidade os dados observados. Nesse índice, a maioria das estações (74%) está na faixa ideal, 23% dos postos possuem valores superiores a 20 e 3% possuem valores inferiores a -20.

Analisando o índice R50mm, verifica-se uma diminuição acentuada no grau de confiabilidade do produto CHIRPS em relação ao observado, conforme aumentou o limiar de chuva. Apenas 26% das estações estão na faixa de erro sistemático ideal, 19% possuem valores inferiores a -20 e 55% possuem valores acima de 20. Nesse

caso, os dados do CHIRPS superestimam mais esse índice.

No índice Rx5day 87% das estações estão na faixa ideal e 13% superestimam os valores desse índice, uma vez que possuem valores acima de 20 na classificação do PBIAS.

A Tabela 4 apresenta as faixas de variação do erro sistemático para cada um dos índices climáticos calculados para as estações da área de estudo, no período de 1981 a 2023.

Tabela 4 - Faixas de variação do erro sistemático (PBIAS) para 31 estações na mesorregião Sul da Bahia, no período de 1981 a 2023.

Faixas PBIAS	PRCPTOT	R10mm	R20mm	R50mm	Rx5day
< -20 (Subestima)	0%	3%	3%	19%	0%
entre menos -20 e +20 (Ideal)	97%	84%	74%	26%	87%
> 20 (Superestima)	3%	13%	23%	55%	13%

Fonte: Adaptado de Lopes-Bermeo (2022).

A Figura 5 mostra, espacialmente, o resultado das análises estatísticas de erro sistemático (PBIAS) realizadas para cada índice

climáticos em comparação com os valores CHIRPS correspondentes.

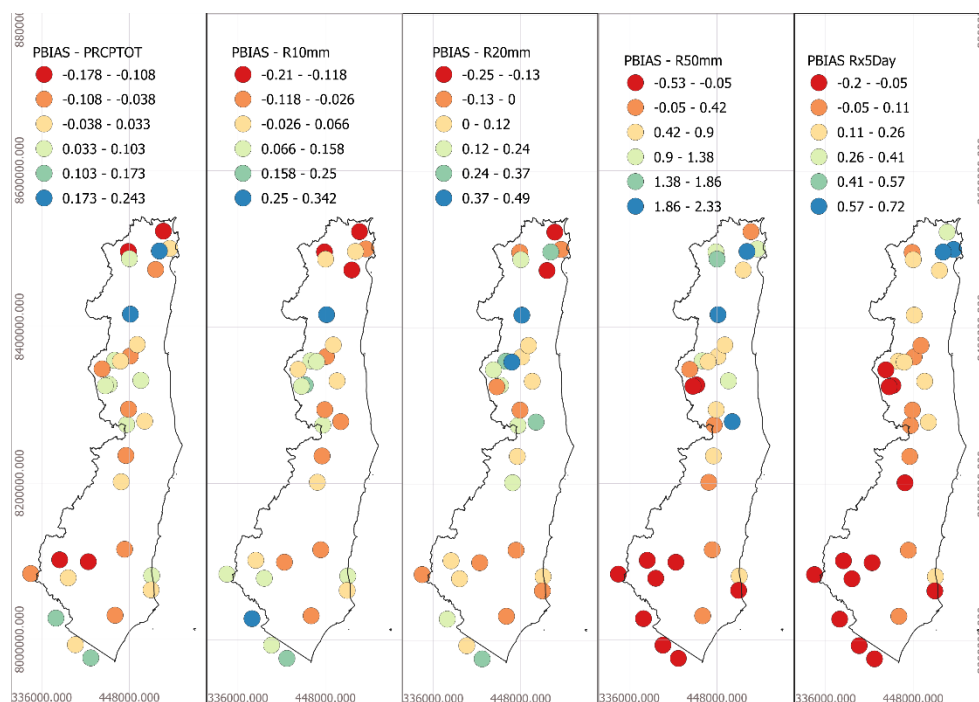


Figura 5 - Distribuição espacial do PBIAS para índices climáticos calculados a partir de dados observados e dados estimados do CHIRPS, do período de 1981 a 2023 na mesorregião Sul da Bahia. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

No índice PRCPTOT praticamente toda a área de estudo se encontra dentro da faixa ideal do PBIAS, no setor mais central da região está a maior porcentagem de estações em que o PBIAS é neutro, variando de -11% a 10%. Os valores de PBIAS fora da faixa ideal são poucos e se concentram no setor

Norte da bacia, indicando uma superestimação dos dados do CHIRPS em relação ao observado. Nos setores Norte e Sul, há uma predominância de valores negativos de PBIAS, embora dentro do patamar ideal e observa-se nestes dois setores que o CHIRPS apresentou um valor de chuva inferior

ao observado.

Com relação aos índices R10mm e R20mm, a maior porcentagem de viés fora da faixa ideal se encontra no setor Norte (valores < 20), indicando subestimação do CHIRPS. Os valores >20 se concentram um pouco no setor Norte e um pouco no setor Sul para o índice R10mm e na parte central e norte para o índice R20mm.

Na parte norte da área de estudo, setor com a maior quantidade de estações que apresentaram os maiores valores do R10 mm e R20 mm é também o setor com o a maior porcentagem de viés fora da faixa ideal, com valores < -20 , indicando uma predominância de subestimação dos valores do CHIRPS para estes índices.

Para o índice R50mm, como os demais resultados, que o CHIRPS não representou bem os valores observados. Também para o PBIAS encontramos a maior parte das estações fora da faixa ideal de erro sistemático. No setor sul da área de estudo, predominou os valores < -20 e na parte Norte os valores < 20 . Portanto, na parte Norte há uma superestimação dos valores de chuva intensas pelo CHIRPS, enquanto na parte sul o CHIRPS subestima tais eventos.

A análise do PBIAS para o índice Rx5day mostra que no setor norte da área de estudo o produto CHIRPS superestimou os valores e ao longo dos setores central e sul os valores foram negativos. Desse modo, verifica-se que o CHIRPS superestimou os valores justamente nos locais onde houve os menores acumulados de chuva e subestimou onde os eventos de chuva foram mais intensos.

Analisando NSE para o índice PRCPTOT, os valores obtidos foram superiores a 0,9 em toda a área de estudo, um limite que indica que as

estimativas do CHIRPS estão de acordo com as observações (Förster *et al.*, 2016).

Para o índice R10mm também se verifica uma elevada aproximação do produto CHIRPS com os valores dos índices calculados a partir dos dados observados. No setor norte os valores de NSE são ainda mais significativos. No índice R20mm apenas uma estação que, está na parte centro-norte apresentou o NSE abaixo de 0,6. As demais estações têm o NSE entre 0,56 a 0,95. Já no índice R50mm, a maior parte das estações está abaixo de 0,6 e, portanto, para este índice o CHIRPS não apresenta uma aproximação com os valores observados. A parte mais ao sul da área de estudo é a que apresenta os melhores valores de NSE.

No índice Rx5day, o NSE está acima de 0,7 na maior parte da área de estudo, incluindo todo o setor central e sul. Apenas quatro estações possuem o NSE abaixo de 0,7, sendo os menores valores deste coeficiente na parte norte, onde foram evidenciadas as estações com os menores totais acumulados de chuva em cinco dias e onde os valores do CHIRPS foram superestimados, segundo o resultado do PBIAS.

De modo geral, o NSE mostra que as estimativas do CHIRPS fornecem uma boa aproximação da precipitação observada para os índices PRCPTOT, R10mm, R20mm e Rx5day.

A Figura 6 mostra, de forma espacial, o resultado das análises estatísticas do NSE realizadas para cada índice climático em comparação com os valores CHIRPS correspondentes.

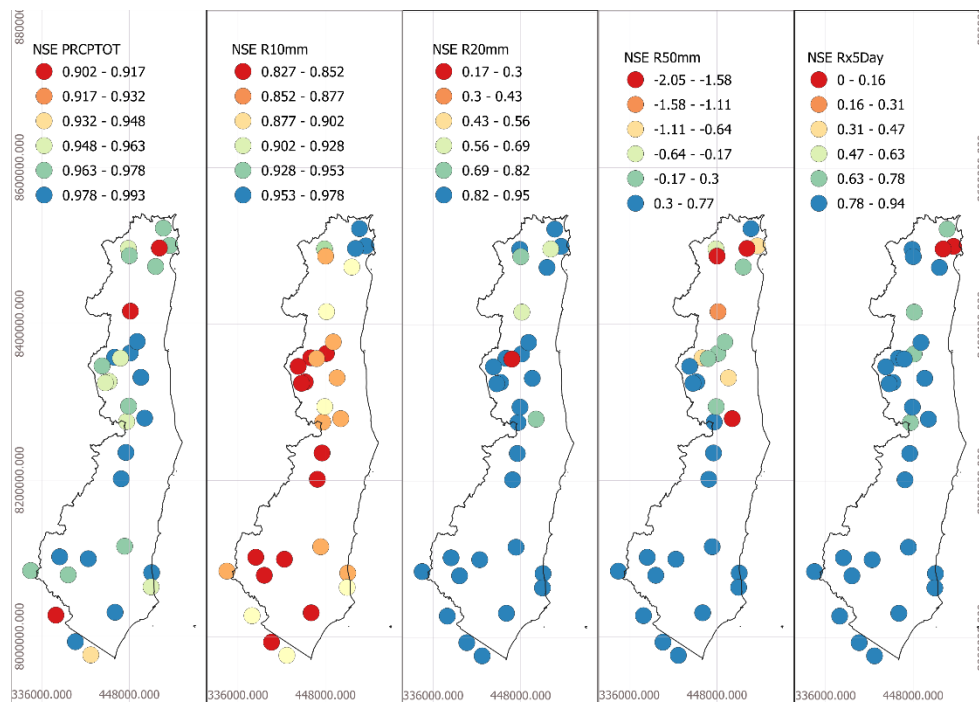


Figura 6 - Distribuição espacial do coeficiente de eficiência de Nash- Sutcliffe (NSE) para índices climáticos calculados a partir de dados observados e dados estimados do CHIRPS, do período de 1981 a 2023 na mesorregião Sul da Bahia. Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Analisando o erro absoluto médio (E), verifica-se que para todos os índices de extremos climáticos, esta métrica apresenta um Erro baixo, conforme esperado (Figura 7).

O E costuma ser maior em localidades com menor precipitação, nesse caso, podemos observar essa dinâmica nas estações à medida que se afasta do litoral, onde os erros mais baixos são observados nas estações mais a Oeste da área de estudo, assim como também na porção mais central e ao sul.

Para o índice R10mm o E mostrou uma boa convergência dos dados estimados do CHIRPS com os dados observados, pois apresentou um valor de E bem baixo. À medida que vai aumentando o limiar de chuva, o E apresenta um

aumento gradual.

No R20mm o E aumenta um pouco, a mesma dinâmica ocorre quando se o R50mm. Esse resultado corrobora com as demais métricas analisadas anteriormente, onde se verificou que quanto maior a quantidade de chuva, menor é a resposta do CHIRPS para os índices climáticos analisados.

O índice Rx5day também apresentou baixo percentual de E, sendo os menores valores concentrados na faixa longitudinal mais a oeste da área, aumentando à medida que as estações se aproximam do litoral. Os maiores valores de E para esse índice climático estão concentrados na porção norte e na porção mais próxima ao oceano.

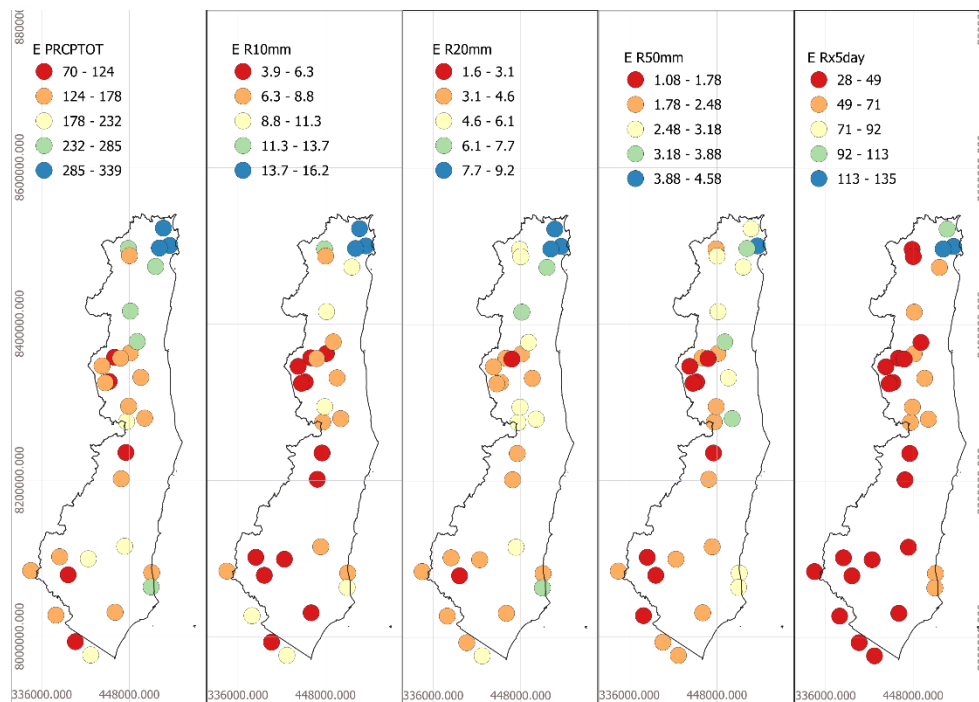


Figura 7 - Distribuição espacial Erro absoluto médio (E) para índices climáticos calculados a partir de dados observados e dados estimados do CHIRPS, do período de 1981 a 2023 na mesorregião Sul da Bahia.

Quanto ao índice PRCPTOT, verifica-se que esse índice apresenta valores de E elevados na região mais a norte, uma vez que se trata de precipitação total anual e que este índice foi utilizado apenas para analisar o comportamento climático da precipitação, sendo esse indicador apenas um suporte de discussão dos resultados, visto que outros trabalhos já comprovaram a boa correlação entre os dados estimados e observados em escala anual.

4 Considerações Finais

Os resultados mostraram, na análise das séries temporais dos dados observados e estimados, que os dados do produto CHIRPS representam bem os índices PRCPTOT, R10mm e R20mm. Já índice R50mm não é bem representado, visto que apresenta, em alguns casos, subestimação, em outros, superestimação do CHIRPS em relação aos dados do pluviômetro. O índice Rx5day foi satisfatório pontualmente.

Na análise da representatividade dos dados do CHIRPS nos cálculos dos mesmos índices de extremos climáticos, a correlação linear mostrou que os índices que tiveram uma melhores resultados foram R10mm e PRCPTOT. Os resultados mostraram que o coeficiente de Pearson tende a diminuir com o aumento dos limiares de precipitação. Portanto, à medida que o limiar de chuva aumenta, passando de chuva fraca para chuva moderada e intensa, os índices de extremos

climáticos a partir dos dados do CHIRPS vão reduzindo sua capacidade de capturar os eventos mais extremos e mostrando maior incerteza da precipitação baseada em sensoriamento remoto. Assim, nessas situações, o cálculo desses índices pode não ser bem representado pelo CHIRPS. Verificou-se também que nas estações que tiveram maiores totais de precipitação e com maior quantidade de dias com chuvas fracas e moderadas (calculados com os dados observados), o valor da correlação de Pearson foi menor.

A análise do Erro Sistemático (PBIAS) mostrou que, para os índices PRCPTOT, R10mm, R20mm e Rx5day, a maioria dos valores estão na faixa ideal de erro e os que estão fora dessa faixa superestimam os valores dos índices calculados. Para o índice R50mm, o CHIRPS não representou bem os valores observados, com a maior parte das estações fora da faixa ideal de erro sistemático, indicando uma superestimação desse índice. O coeficiente de eficiência de Nash- Sutcliffe mostra que as estimativas do CHIRPS fornecem uma boa aproximação da precipitação observada para os índices PRCPTOT, R10mm, R20mm e Rx5day.

Pretende-se, com estes resultados, ampliar a metodologia com vistas a promover a expansão das pesquisas climáticas para áreas onde há cobertura esparsa de estações pluviométricas, com o intuito de obtenção de uma melhor representatividade espacial desses dados, uma vez que se comprovou que os índices que são indicadores de ocorrência de desastres Hidroclimatológicos podem ser bem representados

através de dados estimados pelo CHIRPS.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), o fomento que viabilizou o desenvolvimento deste trabalho, no âmbito do projeto aprovado pelo PEPEEC - Programa Emergencial de Prevenção e Enfrentamento de Desastres Relacionados a Emergências Climáticas, eventos extremos, acidentes ambientais.

Referências

- Almeida, T. M., Moreau, A. M. S. S., Moreau, M. S., Pires, M. N., Fontes, E. O., Góes, L. M. (2008). Reorganização socioeconômica no extremo sul da Bahia decorrente da introdução da cultura do eucalipto. *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, 20 (2): 5-18, DEZ.
- Alvares, C. A.; Stape, J. L.; Sentelhas, P. C.; Gonçalves, J. L. M.; Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728.
- Amiri, M. A.; Mesgari, M. S. (2016). Spatial variability analysis of precipitation in northwest Iran. *Arab J Geosci*, 9: 578.
- Andrade, J. M. (2024). Efficiency of global precipitation datasets in tropical and subtropical catchments revealed by large sampling hydrological modelling. *Journal of Hydrology*. Volume 633, 131016, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131016>.
- Araujo, W. S.; Brito, J. I. (2011). B. Indices of trends of climatic changes for the states of the Bahia and Sergipe by means of daily precipitation indices and its relation with sst's of the Pacific and Atlantic. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, n.4, 541 - 554.
- Assis, J. M. O. Fontes, A. S.; Rodrigues, N. C.; Silva, S. R.; Vasconcelos, R. S. (2023). Análise das estimativas de chuva pelo Chirps para a bacia hidrográfica do rio Cachoeira, sul da Bahia. In: XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju, 2023. *Anais do XXV SBRHidro*, 2023.
- Baez-Villanueva, O. M., Zambrano-Bigiarini, M., Ribbe, L., Nauditt, A., Giraldo-Osorio, J.D., Thinh, N. X. (2018). Temporal and spatial evaluation of satellite rainfall estimates over different regions in Latin-America. *Atmos. Res*. 213. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.05.011>
- Bayissa, Y.; Tadesse, T.; Demisse, G.; Shiferaw, A. (2017). Evaluation of Satellite-Based Rainfall Estimates and Application to Monitor Meteorological Drought for the Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Remote Sensing*, v. 9, n. 7, p. 669.
- Castelhano, F. J.; Pinheiro, G. M.; Roseghini, W. F. F. (2017). Correlação entre precipitação estimada por satélite e dados de superfície para aplicação em estudos climatológicos. *Geosul*, v. 32, n. 64, p. 179-192, 2017.
- Cavalcante, R. B. L.; Ferreira, D. B. S.; Pontes, P. R. M.; Tedeschi, R. G.; Costa, C. P. W.; Souza, E. B. (2020). Evaluation of extreme rainfall indices from CHIRPS precipitation estimates over the Brazilian Amazonia. *Atmospheric Research*, 238, 104879. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.104879>
- Cindric, K.; Pasarić, Z.; Gajić-Capka, M. (2010). Spatial and temporal analysis of dry spells in Croatia. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 102, n. 1-2, p. 171-184.
- Costa, J.; Pereira, G., Siqueira, M. L.; Cardozo, F. (2019). Validação dos dados de precipitação estimados pelo CHIRPS para o Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*. Ano 15, Vol. 24, 228-243.
- Da Silva, Et al. (2024). Validation of the CHIRPS precipitation estimate in a Brazilian Cerrado area. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 17(2), 860–881, <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.2.p860-881>.
- Duan, Z., Liu, J., Tuo, Y., Chiogna, G., Disse, M. (2016). Evaluation of eight high spatial resolution gridded precipitation products in Adige Basin (Italy) at multiple temporal and spatial scales. *Sci. Total Environ*. 573, 1536–1553. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.213>
- EMBRAPA. (2020). *Análise de cluster não supervisionado em R: agrupamento hierárquico*. Org.: Rogério Resende Martins Ferreira, Fernando Antônio de Pádua Paim, Valéria Guimarães Silvestre Rodrigues, Gustavo Spadotti Amaral Castro - Campinas: Embrapa Territorial.
- Förster, K., Oesterle, F., Hanzer, F., Schöber, J., Huttenlau, M., Strasser, U. (2016). A snow and ice melt seasonal prediction modeling system for alpine reservoirs. *Proc. IAHS*, 374, 143–150.
- Funk, C., Peterson, P., Landdfield, M. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Sci Data* 2, 150066.
- Guarnier, L.; Barroso, G. F. (2021). Spatial-temporal variability and extreme climate indices of precipitation in a coastal watershed of

- southeastern Brazil. *Environ Monit Assess*, 193, 742. [https://doi-org.ez428.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10661-021-09491-3](https://doi.org/ez428.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10661-021-09491-3).
- Guedes, R. V. D. S., & Silva, T. L. D. V. (2020). Análise Descritiva da Precipitação, Temperatura, Umidade e Tendências Climáticas no Recife - Pe. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(07), 3234. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3234-3253>
- IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. *Synthesis Report of the IPCC Sixth Assessment Report - AR6* (2023). Longer Report. IPCC AR6 SYR. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_LongerReport.pdf. Acessado em 30 de abril de 2024.
- ISO/DIS - Draft International Standard. (2018). ISO/DIS 37123. *Sustainable cities and communities: Indicators for resilient cities*.
- Lana, X. Et Al. (2006). Statistical distributions and sampling strategies for the analysis of extreme dry spells in Catalonia (NE Spain). *Journal of Hydrology*, v. 324, n. 1-4, p. 94-114.
- Larrocha, C. S. Et Al. (2006). Trends in dry spells across Catalonia (NE Spain) during the second half of the 20th century. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 85, n.3, p.165-183.
- López-Bermeo, C.; Montoyaa, R. D.; Caro-Lopera, F. J.; Díaz-García, J. A. (2022). Validation of the accuracy of the CHIRPS precipitation dataset at representing climate variability in a tropical mountainous region of South America. *Physics and Chemistry of the Earth*, 127, 103184.
- Medeiros, F. J., Oliveira, C. P., Avila-Diaz, A. (2022). Evaluation of extreme precipitation climate indices and their projected changes for Brazil: From CMIP3 to CMIP6. *Weather and Climate Extremes*. Volume 38, 100511, ISSN 2212-0947, <https://doi.org/10.1016/j.wace.2022.100511>.
- Melo, D.C. D., Xavier, Al. C., Bianchi, T., Oliveira, P. T. S., Scanlon, B. R. L., Wendland, E. (2015), Performance evaluation of rainfall estimates by TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis 3B42V6 and V7 over Brazil, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 120, 9426–9436. <https://doi.org/10.1002/2015JD023797>.
- Natividade, U. U. A., Garcia, S. R., Torres, R. R. (2017). Tendência dos Índices de Extremos Climáticos Observados e Projetados no Estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 4, 600-614, <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786324008>.
- Oliveira-Júnior, J. F. (2021). Confronting CHIRPS dataset and in situ stations in the detection of wet and drought conditions in the Brazilian Midwest. *Int J Climatol*. 41: 4478–4493. <https://doi-org.ez428.periodicos.capes.gov.br/10.1002/joc.7080>.
- Paredes-Trejo, F. J.; Barbosa, H. A.; Kumar, T. V. (2017). Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 139, p. 26-40. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.12.009>.
- PBMC - Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. (2016). *Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas* [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p.
- Prakash, S. (2016). From TRMM to GPM: How well can heavy rainfall be detected from space? *Advances in Water Resources*, Volume 88, 2016, Pages 1-7, ISSN 0309-1708, <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2015.11.008>.
- Salio, P.; Hobouchian, M.; Skabar, Y.; Vila, D. (2015). Evaluation of high-resolution satellite precipitation estimates over southern South America using a dense rain gauge network. *Atmospheric Research*, v. 163, p. 146-161.
- Santos, S. R. Q.; Cunha, A. P. M. A.; Ribeiro-Neto, G. G. (2019). Avaliação de dados de precipitação para o monitoramento do padrão espaço-temporal da seca no nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 25, p. 80-100.
- Shaw, E. M. et al. (2010). *Hydrology in practice*. 4th. ed., Spon Press (Taylor and Francis).
- Silva; E. R. M., Barbosa; I.C.C., Silva; H. J. F., Costa; L. G. S., Rocha, E. J. P. (2020). Análise do Desempenho da Estimativa de Precipitação do Produto CHIRPS para Sub-Bacia do Rio Apeú, Castanhal-PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.03 (2020) 1094-1105.
- Silva, L. V. S.; Lopes, Z.; Ferreira, R.; Guedes, R.; Pereira, R.; Prestelo, F.; Ferreira, A.; Gomes, J.; Wanderley, C.; Santos, E.; Oliveira, P.; Gomes, V.; Dias, H. (2023). Previsão de extremos de chuva em Pernambuco: os eventos de maio de 2022. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.16, n.01, 646-671.
- Souza, N. C. R.; Assis, J. M. O.; Fontes, A. S. (2023). Eventos extremos de chuva no município de Itabuna (BA) em 2021, 2022 e 2023: uma abordagem dos sistemas meteorológicos intervenientes. In: XXV

- Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Aracaju, 2023. *Anais do XXV SBRHidro*.
- Sun, Q., Miao, C., Duan, Q., Ashouri, H., Sorooshian, S., & Hsu, H.-L. (2017). A review of global precipitation data sets: data sources, estimation and Inter-comparisons. *Reviews of Geophysics*, 56(1), 79-107.
- Tang, L. et al. (2015). An improved procedure for the validation of satellite-based precipitation estimates. *Atmospheric Research*, Volume 163, Pages 61-73, ISSN 0169-8095. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.12.016>
- Tórnió, C. A. A., Kede, M. L. F. M., Silva S. L. (2024). Avaliação do desempenho das estimativas de precipitação do produto CHIRPS para os municípios de São Gonçalo e Niterói (RJ). *Revista Brasileira de Climatologia*, 34(20), 79–103. <https://doi.org/10.55761/abclima.v34i20.17317>
- Xavier, A. C. et al. (2015). Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). *International Journal of Climatology*, [S.L.], v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 8 out. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.4518>.