Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS
BIBLIOTECA Coordenadoria de Bibliotecas Portal de Periódicos
ISSN 2237-8642

ANÁLISE DE CONCORDÂNCIA DOS DADOS DE PRECIPITAÇÃO ESTIMADOS POR SENSORIAMENTO REMOTO EM MESORREGIÕES DO ESTADO DE PERNAMBUCO – BRASIL

Agreement analysis of precipitation data estimated by Remote Sensing in mesorregions of the state of Pernambuco - Brazil

Análisis de acuerdo de datos de precipitación estimados por Teledetección en mesorregiones del estado de Pernambuco - Brasil

Frederico Antonio Peregrino Wanderley da Costa Neto
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
frederico.neto@ufpe.br

Camila Oliveira de Britto Salgueiro
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
camila.salgueiro@ufpe.br

Rebecca Borja Gonçalves Gomes de Menezes
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
rebecca.borja@ufpe.br

Sylvana Melo dos Santos
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
sylvana.santos@ufpe.br

Leidjane Maria Maciel de Oliveira
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE
leidjane.oliveira@ufpe.br

Resumo: A forma mais comum de medição da precipitação são as estações pluviométricas terrestres, contudo, tal sistema de monitoramento apresenta algumas dificuldades quanto a sua operação. Nesse contexto, as medições de precipitação por Sensoriamento Remoto oferecem uma alternativa eficaz e

de baixo custo, demonstrando capacidade de sanar dificuldades existentes em cada região. A presente pesquisa tem como objetivo a análise de concordância dos produtos de satélite CHIRPS e GPM-IMERG em duas mesorregiões do estado de Pernambuco, Brasil, nas escalas temporais diária, mensal e anual. Para tanto, foram utilizadas metodologias estatísticas bem consolidadas, como Raiz do erro médio quadrático (REMQ), Coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE), percentual de tendências (PBIAS), coeficiente de correlação de Pearson (r) e coeficiente de concordância de Willmott (d). A partir dos resultados, identificou-se que o CHIRPS apresentou maior capacidade em se aproximar dos valores medidos em campo quando comparado com o GPM-IMERG. Os valores de r e d do CHIRPS foram melhores que o GPM-IMERG para os dados mensais e anuais, contudo, quanto aos dados diários, o GPM-IMERG apresentou valores ligeiramente melhores. Em relação ao PBIAS, observou-se que o CHIRPS possui tendência de subestimar os valores de precipitação, enquanto o GPM-IMERG, de superestimar.
Palavras-chave: Monitoramento Hidrológico. CHIRPS. GPM-IMERG. Validação Estatística.

Abstract: The most common way to measure precipitation is through ground-based rain gauges. However, such monitoring systems present some operational difficulties. In this context, precipitation measurements by Remote Sensing offer an effective and low-cost alternative, demonstrating the ability to solve existing difficulties in each region. This research aims to analyze the agreement of CHIRPS and GPM-IMERG satellite products in two mesoregions of the state of Pernambuco, Brazil, on daily, monthly and annual time scales. For this purpose, well-established statistical methodologies were used, such as Root Mean Square Error (REMQ), Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Percent Bias (PBIAS), Pearson's Correlation Coefficient (r) and Willmott's Index of Agreement (d). From the results, it was identified that CHIRPS presented a greater capacity to approach the values measured by the rain gauges when compared to GPM-IMERG. The CHIRPS r and d values were better than those of GPM-IMERG for monthly and annual data, however, regarding daily data, GPM-IMERG presented slightly better values. In relation to PBIAS, it was observed that CHIRPS has a tendency to underestimate precipitation values, while GPM-IMERG tends to overestimate them.
Keywords: Hydrological Monitoring. CHIRPS. GPM-IMERG. Statistical Validation.

Resumen: La forma más común de medir la precipitación es mediante pluviómetros terrestres, sin embargo, dicho sistema de monitoreo presenta algunas dificultades en su funcionamiento. En este contexto, las mediciones de precipitación mediante Teledetección ofrecen una alternativa efectiva y de bajo costo, demostrando la capacidad de resolver las dificultades existentes en cada región. Esta investigación tiene como objetivo analizar la concordancia de los productos satelitales CHIRPS y GPM-IMERG en dos mesorregiones del estado de Pernambuco, Brasil, en escalas de tiempo diaria, mensual y anual. Para ello se utilizaron metodologías estadísticas bien establecidas, como el Error Cuadrático SMedio (REMQ), el Coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE), el porcentaje de tendencias (PBIAS), el coeficiente de correlación de Pearson (r) y el coeficiente de concordancia de Willmott (d). A partir de los resultados, se identificó que CHIRPS presentó una mayor capacidad de aproximarse a los valores medidos en campo en comparación con GPM-IMERG. Los valores r y d de CHIRPS fueron mejores que los de GPM-IMERG para los datos mensuales y anuales, sin embargo, para los datos diarios, GPM-IMERG presentó valores ligeramente mejores. Respecto a PBIAS, se observó que CHIRPS tiene una tendencia a subestimar los valores de precipitación, mientras que GPM-IMERG tiende a sobreestimarlos.
Palabras clave: Monitoreo Hidrológico. CHIRPS. GPM-IMERG. Validación estadística.

Submetido em: 21/01/2025
Aceito para publicação em: 04/04/2025
Publicado em: 21/04/2025

1. INTRODUÇÃO

Dentre os fatores que influenciam o ciclo hidrológico, a precipitação pode ser considerada como uma das mais importantes. A pluviometria de uma determinada região pode ser diretamente afetada em decorrência dos aspectos físicos de cobertura e uso do solo, circulação atmosférica e fatores termodinâmicos (Lima Júnior *et al*., 2023), de modo que os estudos que avaliam as tendências e comportamentos pluviométricos se tornam imprescindíveis para a gestão pública dos recursos hídricos.

Dentre as formas de monitoramento e registro da precipitação cita-se as estações pluviométricas como equipamentos de medição rotineira da altura de chuva correspondente a um período de 24 horas (Shahidian *et al.*, 2017). Contudo, apesar de eficiente, tais equipamentos apresentam desvantagens quanto a sua operacionalização, uma vez que muitos pluviômetros são dependentes de um operador, o qual deve se dirigir diariamente ao local de instalação do pluviômetro para se realizar a medição, o que pode resultar na presença de falhas nas séries de dados históricos. Além disso, a escassez ou baixa densidade das redes de pluviômetros também dificulta a compreensão total das características hidrológicas de determinada região (Kidd *et al*., 2017; Rodrigues *et al.,* 2020; Andrade *et al.,* 2022).

Neste sentido, estudos recentes vêm avaliando a implementação de técnicas de medição da precipitação global a partir de geotecnologias, a exemplo de dados provenientes do Sensoriamento Remoto. Para isto, são aplicadas ferramentas como radares climáticos e satélites meteorológicos, os quais possuem vantagens em relação aos pluviômetros convencionais em termos de cobertura espacial e operacionalidade. As medições de satélite, por exemplo, apresentam registros contínuos, uniformes e sem falhas, além de eliminar os custos associados a manutenção e operação das redes de medição de campo (Hong *et al.*, 2018).

Conforme citado por Mahmoud *et al*. (2021) e Araújo *et al.* (2022), a precisão nas estimativas de precipitação por satélite pode ser afetada pelas características topográficas e pelas diferenças entre os sistemas meteorológicos regionais, tornando essencial que as pesquisas possam validar os dados de precipitação provenientes do Sensoriamento Remoto com estações pluviométricas posicionadas em locais com diferentes características.

Dentre os produtos de satélite disponíveis para o público, o *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data* (CHIRPS) e o *Integrated Multi-satellite Retrievals for*

GPM (IMERG) vem sendo amplamente utilizados. Uliana *et al.* (2024) realizaram a validação do CHIRPS para o estado do Mato Grosso, Brasil, onde os autores concluíram que os dados provenientes deste produto se mostraram uma ferramenta promissora para auxílio na gestão dos recursos hídricos, permitindo o desenvolvimento de análises que envolvem a detecção de eventos de seca, estudos de balanço hídrico e modelagem hidrológica.

Ramadhan *et al.* (2022), por sua vez e de maneira mais específica, validaram os dados provenientes de três versões do IMERG (*Early, Late e Final*) em relação a 226 estações automáticas e semiautomáticas no continente marítimo da Indonésia, observando que os registros do IMERG-F possuem melhores resultados em relação aos demais e, além disso, que a precisão desses dados é influenciada pela época do ano, localização e topografia da região avaliada. Já nos estudos de Andrade *et al.* (2022), de maneira mais específica, foi realizada uma avaliação de diversos produtos de precipitação no Nordeste do Brasil, no qual concluiu-se que produtos baseados em uma grade de satélites, como é o caso do CHIRPS e do IMERG, apresentam melhores performances na obtenção de dados de precipitação.

Dados de precipitações por satélite são eficientes subsídios à gestão dos recursos hídricos em áreas específicas e de grande abrangência, a exemplo de microrregiões ou mesorregiões definidas em todo o Brasil pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Essas últimas, as mesorregiões, apresentam relevantes destaques à gestão do estado de Pernambuco, visto que auxilia na tomada de decisões para elaboração e implantação de políticas públicas, não se constituindo como unidade política e respeitando os limites dos municípios. No desenvolvimento do Plano Estadual de Recursos Hídricos - PERH, elaborado em 1998 e atualizado em 2022 (APAC, 2022), foram consideradas as divisões territoriais definidas pelo IBGE (1990), totalizando 5 mesorregiões, são elas: São Franscisco Pernambucano, Sertão Pernambucano, Agreste Pernambucano, Zona da Mata Pernambucana e Metropolitana do Recife. Ressaltam-se ainda as mesorregiões da Região Metropolitana do Recife e Mata Pernambucana, uma vez que estas se destacam por apresentar maiores taxas de precipitação anual quando comparadas com as demais (APAC, 2025).

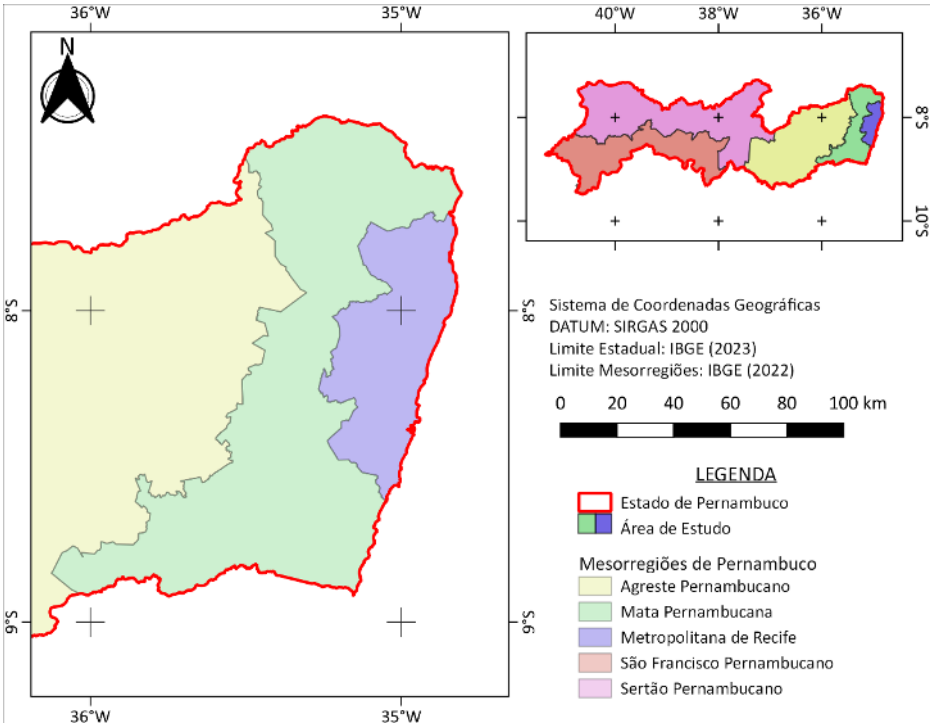
Portanto, o presente estudo tem como objetivo analisar a concordância dos registros de dados de precipitação provenientes dos produtos CHIRPS e GPM-IMERG para o estado de Pernambuco, Brasil, com foco nas mesorregiões com maiores índices pluviométricos: Região Metropolitana do Recife e Mata Pernambucana.

2. METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

O presente trabalho tem como foco as mesorregiões intituladas Zona da Mata Pernambucana e Região Metropolitana do Recife, com destaque em suas delimitações conforme a Figura 1.

Figura 1 - Mesorregiões do Estado de Pernambuco, com destaque para Zona da Mata e RMR.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A área de estudo apresenta destaque para a climatologia de Pernambuco pois, conforme ressaltado pela APAC (2023), a região litorânea do Estado de Pernambuco, onde se localizam as mesorregiões da Zona da Mata Pernambucana e Região Metropolitana do Recife, é marcada pelo clima tropical, com alturas de chuva acumuladas anuais na ordem de 1.000 a 2.200 mm, além de apresentar as menores altitudes do estado.

2.2 Levantamento dos dados pluviométricos de referência

A primeira etapa do estudo se configurou com o levantamento dos pluviômetros de referência. Foram preferenciadas as estações pluviométricas disponibilizadas no Portal

HidroWeb (ANA, 2025), ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Após levantada a base de dados de estações do estado de Pernambuco foram criados filtros com o objetivo de selecionar as estações que atendessem ao objetivo da pesquisa, permitindo assim a implementação da técnica com dados consistentes. Neste sentido, foram selecionadas estações localizadas no estado de Pernambuco que estejam atualmente operantes, com registros de dados que contemplem o período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023 e, no máximo, 1,4% de falhas, as quais foram removidas da série de dados.

Após aplicação destes filtros, foram selecionados um total de oito estações pluviométricas, dos quais duas encontram-se na Região Metropolitana do Recife e seis na Zona da Mata Pernambucana, como pode ser observado na Tabela 1.

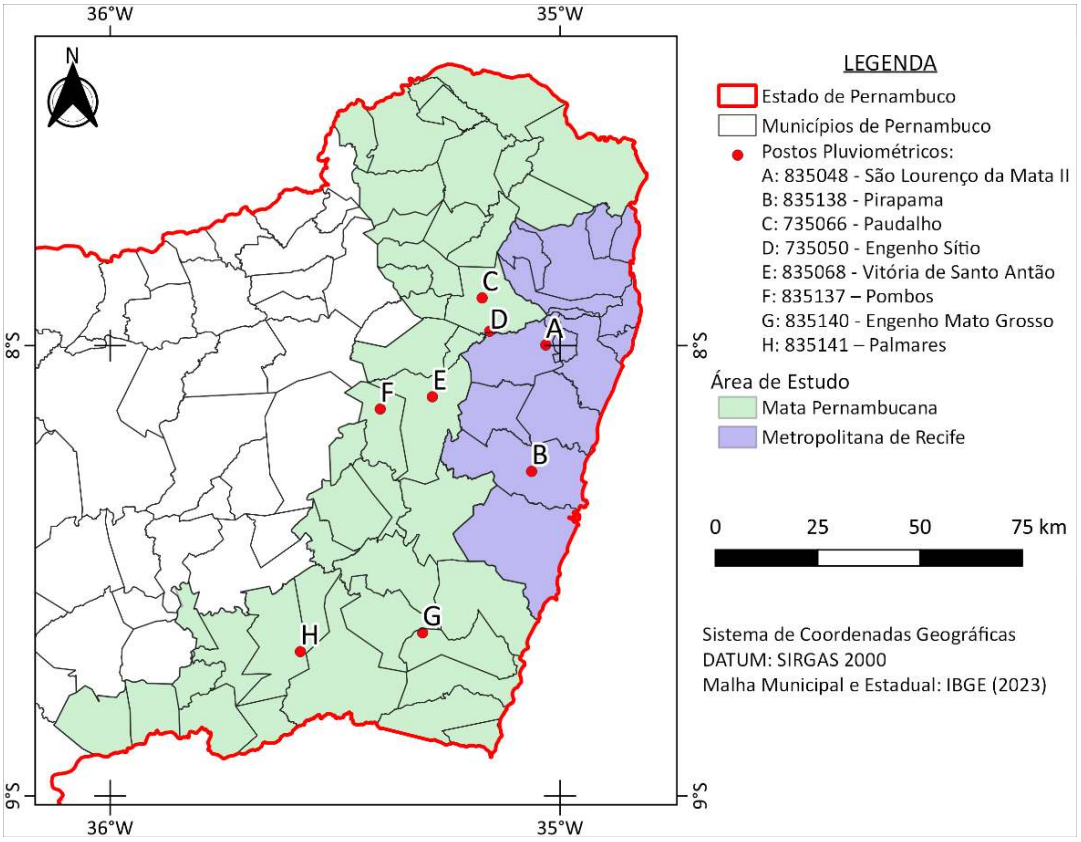
Tabela 1- Estações Pluviométricas de referência.

Estação	Código HIDROWEB	Mesorregião	Latitude	Longitude	Percentual de falhas
São Lourenço da Mata II	835048	Metropolitana de Recife	-7.999	-35.032	1,35%
Pirapama	835138	Metropolitana de Recife	-8.279	-35.063	0,80%
Paudalho	735066	Mata Pernambucana	-7.894	-35.173	0,38%
Engenho Sítio	735050	Mata Pernambucana	-7.968	-35.157	0,37%
Vitória de Santo Antão	835068	Mata Pernambucana	-8.114	-35.284	0,01%
Pombos	835137	Mata Pernambucana	-8.141	-35.400	0,74%
Engenho Mato Grosso	835140	Mata Pernambucana	-8.637	-35.306	0,39%
Palmares	835141	Mata Pernambucana	-8.679	-35.577	0,15%

Fonte: ANA (2024).

Os dados diários de precipitação obtidos para cada estação foram organizados na escala temporal mensal e anual, onde foram consideradas as precipitações acumuladas através da soma dos dados diários. Ressalta-se que as análises estatísticas foram desenvolvidas para as três escalas temporais (Diária, Mensal e Anual). A Figura 2, por sua vez, demonstra a localização de cada estação pluviométrica selecionada para área de estudo do presente trabalho.

Figura 2 - Localização das estações pluviométricas selecionadas.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Posteriormente, visando avaliar a precisão da espacialização dos dados de chuva na área de estudo, foi aplicado, com auxílio do *software* QGIS, versão 3.16.7, o método de interpolação *Inverse Distance Weighted* (IDW) utilizando como base as estações pluviométricas de referências. Este tipo de interpolação permite gerar uma espacialização dos valores de precipitação em uma região específica a partir de uma triangulação gerada com base na localização dos registros pontuais, demonstrando resultados satisfatórios para o estado de Pernambuco, conforme citado por Nóbrega e Neves (2024).

Além disso, é importante destacar que as estações pluviométricas apresentaram um percentual de falhas diárias. Neste sentido, foi realizada a exclusão dos dias com falhas, de modo que também não foram consideradas na presente análise as medições de satélite provenientes do CHIRPS e do GPM-IMERG do respectivo dia, segundo recomendações de Uliana *et al.* (2024).

2.3 Levantamento dos dados pluviométricos estimados por Sensoriamento Remoto

Os dados de precipitação diária estimada por Sensoriamento Remoto, foram levantados com a plataforma *Google Earth Engine* (GEE), a partir das coordenadas das estações selecionadas, para uma mesma cobertura temporal. Foram preferenciados os produtos de satélite CHIRPS Daily: Clim*ate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data* (*Version* 2.0 Final) e a missão *Global Precipitation Measurement* (GPM), com base no algoritmo *Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM* (IMERG).

O produto CHIRPS foi desenvolvido pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) e o Grupo de Riscos Climáticos (CHG) para analisar tendências e monitorar secas sazonais (Funk et al., 2015), com o intuito de auxiliar nas atividades de monitoramento de seca da *Famine Early Warning Systems Network* (FEWS NET), fundada pela *United States Agency for International Development* (USAID). Este produto registra dados de chuva em escala quase global, com cobertura geográfica abrangendo a região entre as latitudes 50° Norte e 50° Sul. Possui um registro de dados diários, pêntadas e mensais de mais de 35 anos, variando de 1981 até o presente, com resolução espacial de 0,05° (aproximadamente 5 km).

De acordo com informações disponibilizadas pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), a missão *Global Precipitation Measurement* (GPM) é uma rede internacional de satélites que fornece observações globais de chuva e neve. Dentre os produtos de precipitação derivados do GPM têm-se o *Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM* (IMERG), que se baseia em constelações de mais de 10 satélites equipados com radiômetros de microondas passivos que obtêm dados em todo o globo (NASA, 2025).

O GPM-IMERG_V07 registra dados de chuva em escala global, ou seja, com cobertura geográfica abrangendo toda a região entre as latitudes 90° Norte e 90° Sul e longitudes 180° Leste e 180° Oeste. Além disso, este produto possui resolução temporal de 30 minutos e resolução espacial de 0,1° x 0,1°, com medições datadas de junho de 2000 até o presente (Huffman et al., 2023). Neste sentido, é importante destacar que os valores de precipitação acumulada diária, mensal e anual proveniente do GPM-IMERG foram calculados a partir do somatório dos registros a cada 30 minutos, obtendo, desta forma, a precipitação acumulada para cada escala temporal.

A Tabela 2 apresenta uma síntese das características principais dos produtos de satélite CHIRPS e GPM-IMERG.

Tabela 2- Estações Pluviométricas de referência.

Produto de Satélite	Versão	Resolução Espacial	Resolução temporal	Período de dados
CHIRPS	CHIRPS V2	5 km	Diária, Pêntadas e Mensal	1981 - Presente
GPM-IMERG	IMERG V7	10 km	30 minutos	2000 - Presente

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

2.4 Validação dos dados de precipitação

Foram aplicados índices estatísticos para a avaliação do desempenho das estimativas dos produtos de precipitação em relação aos dados medidos *in situ* com as estações pluviométricas de referência, são eles: Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ), Coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE), Percentual de Tendências (PBIAS), Coeficiente de Correlação de Pearson (r) e Coeficiente de Concordância de Willmott (d). É importante destacar que os índices citados foram utilizados para a análise de concordância dos dados pontuais registrados pelas estações de referência, em comparação ao valor correspondente da malha do produto de precipitação, caracterizado pelo pixel que engloba a localização do pluviômetro.

A REMQ é responsável pela medição da diferença média entre os valores previstos por Sensoriamento Remoto e os valores observados em campo nas estações pluviométricas, fornecendo uma estimativa da precisão da medição por satélite. Os valores encontrados por esta metodologia variam de 0 a infinito, no qual valores mais próximos a 0 são considerados como ideais. Seu resultado pode ser calculado pela Equação 1, segundo Medeiros-Feitosa e Oliveira (2020).

$$\text{REMQ} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (S_i - O_i)^2}{n} \right)^{0,5} \quad (1)$$

sendo: “Si” a precipitação estimada, “Oi” a precipitação medida in situ e “n” número de elementos da amostra.

O NSE tem a capacidade de medir a eficiência na qual um modelo hidrológico consegue prever os valores observados em campo (Nash e Sutcliffe, 1970). Apesar de sua utilização para calibração de validação de modelos hidrológicos de vazão, este coeficiente também pode ser utilizado para comparação estatística de dados de precipitação por satélite, como feito por Liu (2023) para avaliação da precisão de produtos de satélite no Planalto Tibetano. Valores de NSE variam de -∞ a 1, onde 1 indica uma perfeita concordância e valores negativos indicam que o modelo é pior que a média dos dados observados.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \quad (2)$$

sendo: “n” o número de elementos da amostra; “$\overline{O}$” o valor médio da precipitação medida *in situ*; “Oi” corresponde a precipitação medida *in situ*; e “Si” a precipitação estimada.

Já em relação ao PBIAS, têm-se valores próximos a 0 como ideais, o que indica que não há tendência de variação dos valores de satélite em relação aos valores observados em campo nas estações pluviométricas, com baixa magnitude de erro. Valores positivos deste parâmetro indicam superestimação, enquanto valores negativos indicam subestimação da lâmina de chuva. Seu resultado pode ser calculado através da equação disponibilizada por GUPTA *et al.* (1999), conforme demonstrada na Equação 3.

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)}{\sum_{i=1}^{n}(O_i)} x100 \quad (3)$$

O r avalia a correlação linear entre os valores de precipitação medidos e estimados. Quanto mais próximo a 1, mais forte é a correlação obtida entre os parâmetros. Esta metodologia foi desenvolvida por Pearson (1896) e pode ser calculada conforme a Equação 4.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - S)(O_i - O)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(S_i - S)^2 \sum_{i=1}^{n}(O_i - O)^2}} \quad (4)$$

sendo: “S” corresponde o valor médio da precipitação estimada.

Já o d, assim como os demais, mede a proximidade entre os dados previstos e observados, variando de 0 a 1, onde 1 indica perfeita concordância. A Equação 5 apresenta o

cálculo a ser aplicado para encontrar seu resultado, conforme apresentado por Willmott *et al.* (1985).

$$d=1-\left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i-O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(\left|(S_i-\overline{O})\right|+\left|(O_i-\overline{O})\right|\right)^2}\right] \quad (5)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada escala temporal avaliada (diária, mensal e anual) apresenta um grau de importância para estudos hidrológicos de determinada região, sendo fundamental a sua validação. A Tabela 3 e Tabela 4 dispõem dos resultados estatísticos extraídos da análise de concordância da série de precipitação diária, comparando os registros observados em campo nas estações pluviométricas com os produtos de satélite CHIRPS e GPM-IMERG, respectivamente.

Tabela 3- Validação dos registros de precipitação diária entre os dados observados em campo nas estações pluviométricas e estimados através do produto de satélite CHIRPS, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.

Mesorregião	Código ANA	Estação	CHIRPS				
			REMQ (mm/dia)	NSE	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	19,45	-1,32	-8,80	0,32	0,50
	835138	Pirapama	16,25	-0,69	-23,80	0,37	0,56
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	13,43	-0,98	-5,50	0,37	0,55
	735050	Engenho Sítio	13,72	-0,91	-14,20	0,36	0,55
	835068	Vitória de Santo Antão	10,03	-1,17	12,20	0,33	0,51
	835137	Pombos	9,19	-0,78	16,60	0,37	0,56
	835140	Engenho Mato Grosso	16,96	-1,21	-11,40	0,38	0,55
	835141	Palmares	15,79	-1,80	-4,40	0,27	0,44

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tabela 4- Validação dos registros de precipitação diária entre os dados observados em campo nas estações pluviométricas e estimados através do produto de satélite GPM-IMERG, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.

Mesorregião	Código ANA	Estação	GPM-IMERG				
			REMQ (mm/dia)	NSE	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	21,43	-1,82	11,80	0,39	0,52
	835138	Pirapama	19,56	-1,45	7,10	0,44	0,57
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	16,66	-2,05	35,60	0,46	0,56
	735050	Engenho Sítio	17,23	-2,01	18,50	0,44	0,55
	835068	Vitória de Santo Antão	16,62	-4,97	80,20	0,37	0,41
	835137	Pombos	14,09	-3,19	61,70	0,41	0,48
	835140	Engenho Mato Grosso	16,94	-1,20	-11,20	0,44	0,59
	835141	Palmares	14,52	-1,37	-15,10	0,39	0,54

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

De forma geral observa-se que os dados diários apresentaram valores de REMQ abaixo de 20 mm/dia em todas as estações e considerando ambos os produtos avaliados, com exceção da estação de São Lourenço da Mata II, o qual demonstrou um REMQ de 21,43 mm/dia durante validação do GPM-IMERG (Tabela 4).

Ao comparar a eficiência de ambos os produtos de satélite, observou-se que as estimativas provenientes do CHIRPS apresentaram resultados ligeiramente melhores para quase todas as estações avaliadas, com exceção das estações de Engenho Mato Grosso (CHIRPS: 16,96 e GPM-IMERG: 16,94) e Palmares (CHIRPS: 15,79 e GPM-IMERG: 14,52), ambas localizadas na mesorregião Mata Pernambucana. Estudos similares foram desenvolvidos no estado de Paraíba por Costa *et al.* (2024), o qual, durante a validação do CHIRPS, identificou um REMQ variando de 7,07 a 15,16 mm/dia, indicando uma boa semelhança para com os resultados encontrados no presente trabalho.

Em relação ao NSE, cita-se que, para todas as estações e produtos de satélite avaliados na escola temporal diária, foram identificados valores negativos, indicando que ambos os produtos avaliados não apresentam boa precisão quanto ao levantamento dos dados de chuva diários. Estes resultados corroboram com os demonstrados por Uliana *et al.* (2024), que

realizaram uma avaliação da eficiência do CHIRPS no estado do Mato Grosso, obtendo, para a escala diária, valores de NSE abaixo de 0,36 em todas as 154 estações avaliadas, indicando que as estimativas do CHIRPS não foram satisfatórias nesta escala temporal.

Para os valores de Coeficiente de Correlação de Pearson e Concordância de Willmott, observou-se que estes foram ligeiramente superiores para o GPM-IMERG. Para ambos os produtos de satélite os valores de "r" encontrados se mantiveram abaixo de 0,5, indicando baixa correlação e corroborando com os resultados encontrados por Ramadhan *et al.* (2022), que encontraram valores médios de correlação entre 0,3 e 0,5 ao realizar a validação estatística dos dados de chuva provenientes do IMERG no continente Marítimo da Indonésia.

Na análise do parâmetro estatístico PBIAS, o CHIRPS demonstrou tendência em subestimar os valores de precipitação em quase todas as estações (Tabela 3: PBIAS negativo), com exceção das estações de Vitória do Santo Antão e de Pombos (Tabela 3: PBIAS positivo, 12,20% e 16,60%; respectivamente). Um possível motivo para este cenário recai no fato de que estas estações são aquelas que estão posicionadas em maiores altitudes (Vitória de Santo Antão = 137 m; Pombos = 290 m), refletindo os resultados encontrados por López-Bermeo *et al.* (2022), que avaliaram a precisão do CHIRPS em Antioquia, na Colômbia, a qual se constitui como uma região montanhosa e tropical, sendo identificada uma tendência em superestimar a precipitação em 70% das 75 estações pluviométricas selecionadas.

Já no comportamento do GPM-IMERG, por sua vez, os resultados obtidos foram opostos, de modo que foi observada uma tendência de superestimar os valores de precipitação, com exceção das estações Engenho Mato Grosso e Palmares (Tabela 4: PBIAS negativo, -11,20% e -15,10%; respectivamente). Em aspectos gerais, os resultados em questão estão de acordo com as tendências de resultados da precipitação pelo satélite GPM-IMERG. De acordo com Shabankareh *et al.* (2024) o produto IMERG tende a superestimar a precipitação leve e subestimar a precipitação forte.

Contudo, ressalta-se que os municípios na qual foi observada a subestimação estão localizados mais ao sul da área de estudo, em regiões próximas, sendo assim expostos as condições físicas e de precipitação muito simulares. Conforme Gadelha (2019), determinadas áreas do nordeste do Brasil apresentam tendência de subestimação dos valores de precipitação, possivelmente ligado à incompatibilidade dos sensores passivos de microondas e infravermelho na detecção de fenômenos de chuva devido a nuvens quentes, situação que justificaria os resultados em questão.

Somado a isso, Hosseini-Moghari e Tang (2022) observaram em seus estudos a tendência de subestimação dos dados do IMERG em relação a precipitação extrema na escala de 1 hora, principalmente em relação a regiões úmidas e em cenários de temperaturas mais elevadas. Ainda nesse contexto, Nascimento *et al.* (2021) ressaltaram que a possibilidade de ocorrência da subestimação da precipitação pelo GPM-IMERG em eventos de chuva forte e esparsos na escala diária, sem contabilização na escala mensal. Complementarmente, é mencionado no estudo a tendência de subestimação em taxas de precipitação de intensidade entre 40 e 75 mm por dia.

Os dados diários foram então tratados e organizados de forma que tornasse possível desenvolver sua validação para as escalas mensais e anuais. Neste sentido, é demonstrada na Tabela 5 e Tabela 6 a validação mensal dos dados de precipitação ao longo dos anos (2001 a 2023).

Tabela 5 - Validação dos registros de precipitação mensal entre os dados medidos em campo e estimados através do produto de satélite CHIRPS, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.

Mesorregião	**Código ANA**	**Estação**	**CHIRPS**				
			REMQ (mm/mês)	NSE	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	66,21	0,73	-8,80	0,86	0,92
	835138	Pirapama	79,21	0,67	-23,80	0,87	0,89
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	40,12	0,81	-5,50	0,90	0,95
	735050	Engenho Sítio	48,55	0,79	-14,20	0,91	0,93
	835068	Vitória de Santo Antão	50,69	0,67	12,20	0,83	0,88
	835137	Pombos	43,71	0,56	16,60	0,79	0,88
	835140	Engenho Mato Grosso	69,15	0,73	-11,40	0,87	0,92
	835141	Palmares	62,29	0,61	-4,40	0,82	0,90

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Ao observarem o comportamento dos produtos de precipitação por satélite, cita-se que o CHIRPS mostrou maior capacidade em se aproximar dos valores medidos em campo

quando comparado com o GPM-IMERG (Tabela 6), o que pode ser observado a partir dos menores valores de REMQ. Os resultados encontrados a partir do índice estatístico PBIAS, por sua vez, se assemelharam aos obtidos para a escala diária para ambos os produtos de precipitação.

Tabela 6- Validação dos registros de precipitação mensal entre os dados medidos em campo e estimados através do produto de satélite GPM-IMERG, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.

Mesorregião	**Código ANA**	**Estação**	**GPM-IMERG**				
			REMQ (mm/mês)	NSE	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	125,76	0,02	11,80	0,78	0,83
	835138	Pirapama	117,96	0,27	7,10	0,79	0,86
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	114,55	-0,52	35,60	0,82	0,80
	735050	Engenho Sítio	105,61	0,03	18,50	0,82	0,85
	835068	Vitória de Santo Antão	123,04	-0,95	80,20	0,74	0,74
	835137	Pombos	99,00	-1,26	61,70	0,80	0,75
	835140	Engenho Mato Grosso	110,36	0,32	-11,20	0,74	0,85
	835141	Palmares	92,44	0,14	-15,10	0,73	0,83

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Para o parâmetro NSE, o CHIRPS apresentou uma boa eficiência (>0,65) em todas as estações, com exceção de Pombos e Palmares, onde o resultado encontrado indica eficiência satisfatória (>0,50). Contudo, o GPM-IMERG apresentou resultados insatisfatórios para todas as estações, com valores negativos para Paudalho, Vitória de Santo Antão e Pombos.

A validação na escala mensal apresentou os melhores valores de Correlação de Pearson e Coeficiente de Concordância de Willmott para ambos os produtos de satélite, com resultados acima de 0,7 para todas as estações. Quanto a média geral, o CHIRPS apresentou os melhores resultados, contando com “r” médio de 0,86 e “d” médio de 0,91. Já o GPM-IMERG, por sua vez, resultou em médias de “r” de 0,78 e “d” de 0,82.

Liu (2023) realizou um estudo na região montanhosa do planalto tibetano com o objetivo de validar e ranquear 16 produtos de precipitação por satélite, comparando-os com 47 estações pluviométricas da região. Os resultados apresentados no referido estudo divergiram dos encontrados no presente trabalho, de modo que o IMERG apresentou maior precisão quanto a medição da precipitação na escala mensal, quando comparado com o CHIRPS. Uma possível razão para tal divergência é a diferença altimétrica da área de estudo, uma vez que o referido autor realizou a validação em áreas montanhosas, enquanto o presente trabalho avalia a performance dos produtos em regiões próximas ao nível do mar.

Por outro lado, a eficiência do CHIRPS também foi verificada no estudo realizado por Lima Júnior *et al*. (2023) no estado do Ceará, Brasil, no qual foi identificado forte correlação do CHIRPS para com os dados medidos por 12 postos pluviométricos de referência existentes na área de estudo, corroborando com os resultados encontrados no presente estudo, o que pode ser explicado devido as semelhanças climatológicas e topográficas entre os estados de Ceará e Pernambuco.

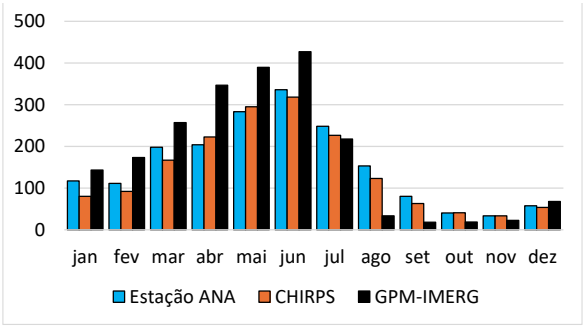
Na Figura 3, por sua vez, apresenta-se a diferença entre as médias mensais de precipitação encontrada a partir dos 3 modelos avaliados, correspondentes aos anos entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.

A partir da Figura 3, é possível concluir que os valores superestimados do GPM-IMERG ocorrem de forma mais significativa durante o período chuvoso. No período entre agosto e novembro, o GPM-IMERG mostrou subestimativas em relação aos registros *in situ* de precipitação, o que demonstra que tal produto possui variações em sua precisão ao longo do ciclo hidrológico, mesma conclusão discutida por Ramadhan *et al.* (2022) ao desenvolverem a validação sazonal do GPM-IMERG no continente marítimo da Indonésia, entre 2016 e 2020.

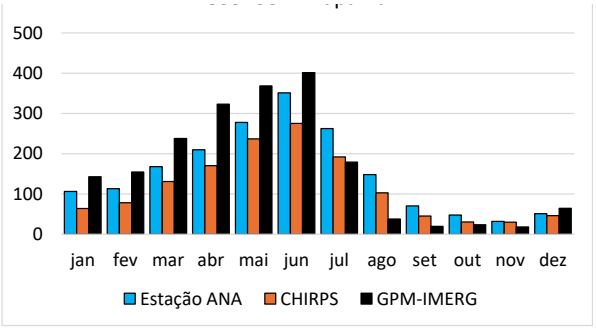
Tomaram-se para fins de avaliações mais detalhadas as Tabelas 7 e 8, que sumarizam os resultados da validação estatística desenvolvida na escala anual, entre os dados observados em campo nas estações pluviométricas e os registros dos produtos CHIRPS e GPM-IMERG, respectivamente.

Figura 3 - Comparação dos dados de Precipitação Média Mensal provenientes da estação pluviométrica e obtida por sensoriamento remoto através dos produtos CHIRPS e GPM-IMERG.

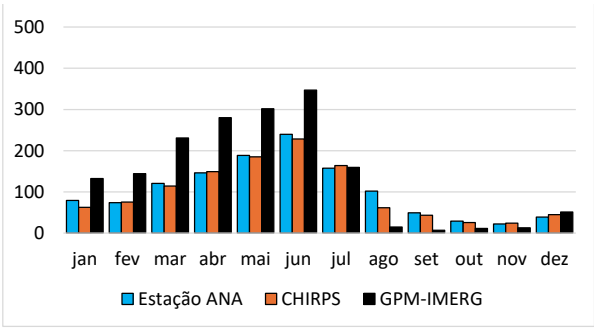
(A) 835048 - São Lourenço da Mata II



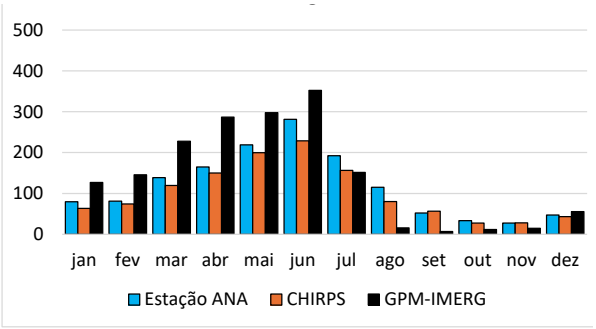
(B) 835138 - Pirapama



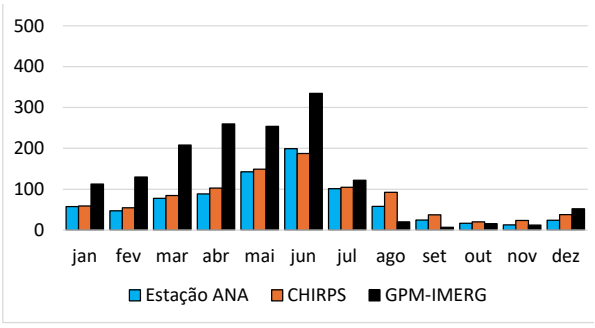
(C) 735066 - Paudalho



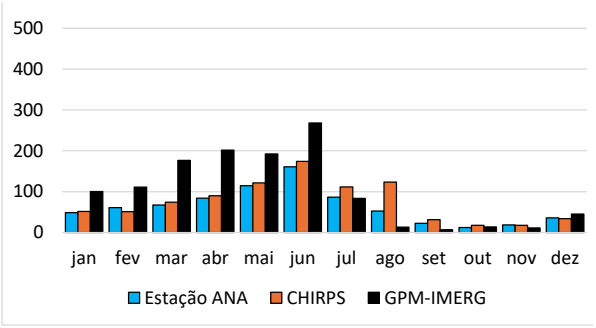
(D) 735050 - Engenho Sítio



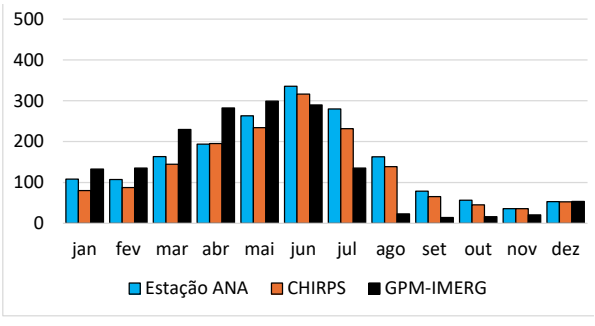
(E) 835068 - Vitória de Santo Antão



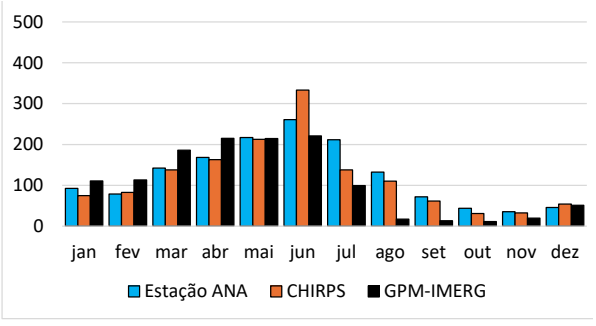
(F) 835137 – Pombos



(G) 835140 - Engenho Mato Grosso



(H) 835141 – Palmares



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tabela 7- Validação dos registros de precipitação anual entre os dados medidos em campo e estimados através do produto de satélite CHIRPS, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.

Mesorregião	Código ANA	Estação	CHIRPS				
			REMQ (mm/ano)	NSE	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	324,69	0,18	-8,80	0,63	0,72
	835138	Pirapama	521,55	-1,77	-23,80	0,49	0,54
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	159,09	0,61	-5,50	0,83	0,89
	735050	Engenho Sítio	267,86	0,25	-14,20	0,83	0,79
	835068	Vitória de Santo Antão	263,39	0,43	12,20	0,76	0,75
	835137	Pombos	183,30	0,29	16,60	0,79	0,80
	835140	Engenho Mato Grosso	314,23	0,32	-11,40	0,79	0,79
	835141	Palmares	186,79	0,58	-4,40	0,82	0,89

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tabela 8- Validação dos registros de precipitação anual entre os dados medidos em campo e estimados através do produto de satélite GPM-IMERG, referente ao período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2023.

Mesorregião	Código ANA	Estação	GPM-IMERG				
			REMQ (mm/ano)	NSE	PBIAS (%)	r	d
Região Metropolitana do Recife	835048	São Lourenço da Mata II	497,20	-0,92	11,80	0,54	0,65
	835138	Pirapama	470,71	-1,26	7,10	0,49	0,63
Mata Pernambucana	735066	Paudalho	554,56	-3,75	35,60	0,83	0,61
	735050	Engenho Sítio	400,60	-0,69	18,50	0,82	0,77
	835068	Vitória de Santo Antão	789,23	-4,10	80,20	0,49	0,50
	835137	Pombos	528,59	-4,88	61,70	0,70	0,55
	835140	Engenho Mato Grosso	398,23	-0,09	-11,20	0,69	0,77
	835141	Palmares	356,17	-0,51	-15,10	0,80	0,77

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os resultados estatísticos para a escala anual se assemelharam aos discutidos para a escala mensal. O CHIRPS apresenta resultados mais próximos aos medidos em campo em 6 das 8 estações avaliadas, quando comparado com o GPM-IMERG. A tendência de subestimar os registros de precipitação pode ser visualizado na Figura 4, com exceção das estações de Vitória de Santo Antão e Pombos (Figura 4 – G, H), nos quais o CHIRPS registrou valores superiores.

Para a validação mensal e anual, o Coeficiente de Correlação de Person e Concordância de Willmott apresentaram um cenário contrário aos encontrados na validação diária, de modo que o CHIRPS apresentou melhor correlação e concordância. Para o período de abrangência mensal, por exemplo, ambos os produtos de satélite apresentaram boa correlação estatística, com valores acima de 0,7 para todas as estações (Tabela 5 e Tabela 6).

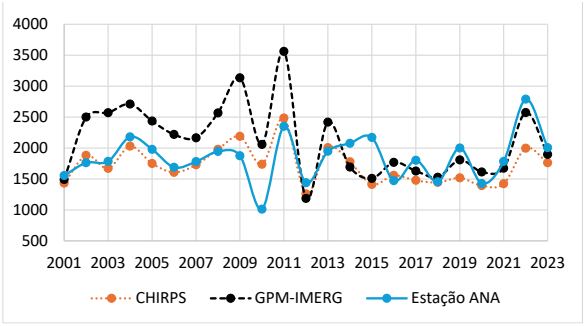
A importância estratégica desse estudo em dados de precipitação no estado de Pernambuco – Brasil, destaca que para todos os parâmetros avaliados na escala anual, o CHIRPS apresentou os melhores resultados, indicando que para as mesorregiões da Região Metropolitana do Recife e Mata Pernambucana, o CHIRPS possui uma maior eficiência na medição dos dados de chuva quando comparado com o GPM-IMERG, revelando assim o grande destaque da utilização da geotecnologia em Sensoriamento Remoto.

Uma outra feição notável dos resultados é visualizada na Figura 4, onde demonstra a variação da precipitação acumulada anual dos 3 modelos avaliados (CHIRPS, GPM-IMERG e Estação ANA), com início em 2001 até o ano de 2023.

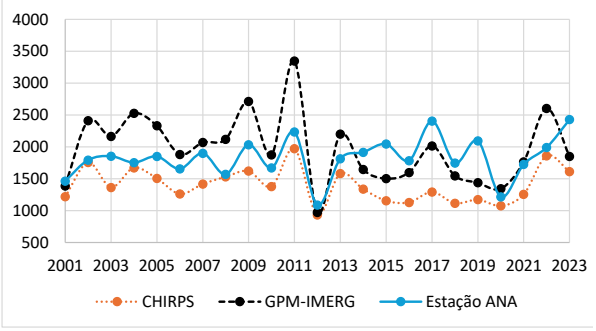
A partir da análise da Figura 4, é possível visualizar com maior facilidade a tendência do GPM-IMERG em superestimar os registros de precipitação, como pode ser observado na maioria das estações. As únicas exceções a este cenário são para as estações de Palmares e Engenho Mato Grosso, no qual o GPM-IMERG demonstrou valores levemente abaixo dos registrados em campo, corroborando com os dados descritos na Tabela 8, no qual estas duas estações apresentam um PBIAS negativo. Para as demais estações, observou-se um comportamento de superestimação principalmente até o ano de 2011, possivelmente vinculado às condições climatológicas da região. Esta tendência do GPM-IMERG em superestimar os registros de chuva também foi identificada por Ramadhan *et al.* (2022), evidenciaram e registraram em seus resultados que este produto possui esta característica em áreas com altos índices pluviométricos.

Figura 4 - Comparação dos dados de Precipitação Anual Acumulada provenientes da estação pluviométrica e obtida por Sensoriamento Remoto através dos produtos CHIRPS e GPM-IMERG.

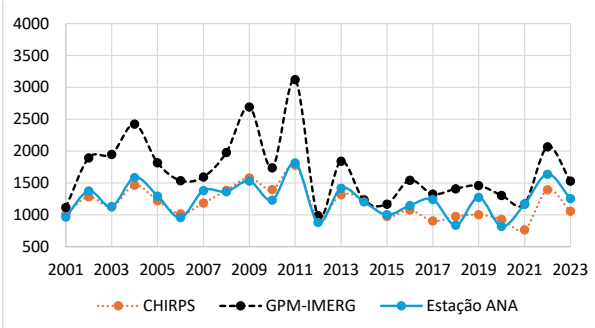
(A) 835048 - São Lourenço da Mata II



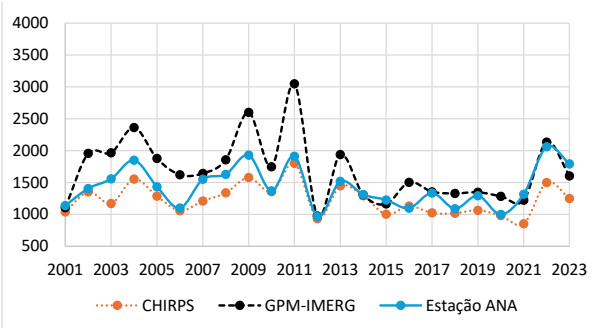
(B) 835138 - Pirapama



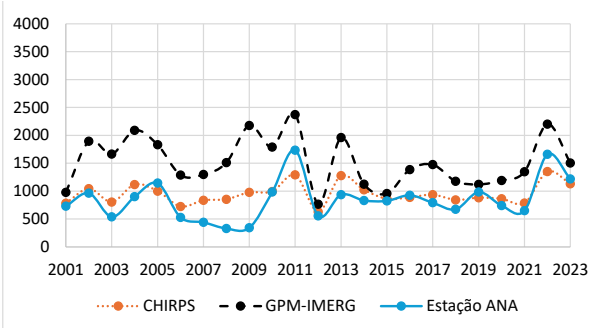
(C) 735066 - Paudalho



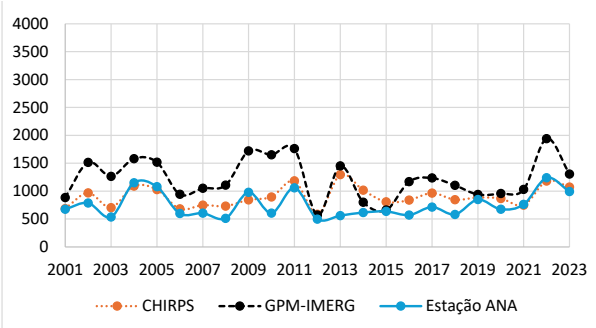
(D) 735050 - Engenho Sítio



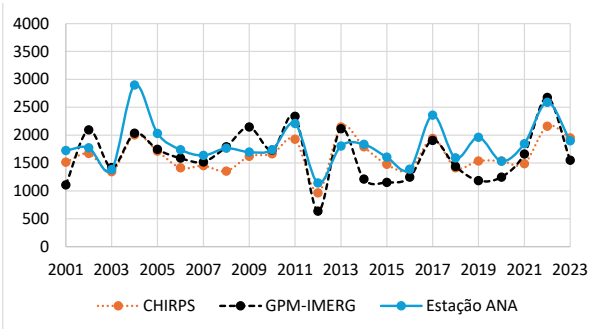
(E) 835068 - Vitória de Santo Antão



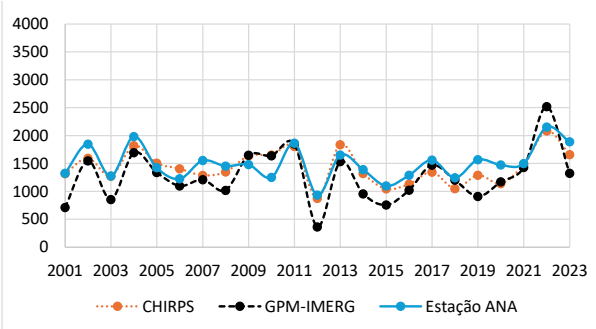
(F) 835137 – Pombos



(G) 835140 - Engenho Mato Grosso



(H) 835141 – Palmares

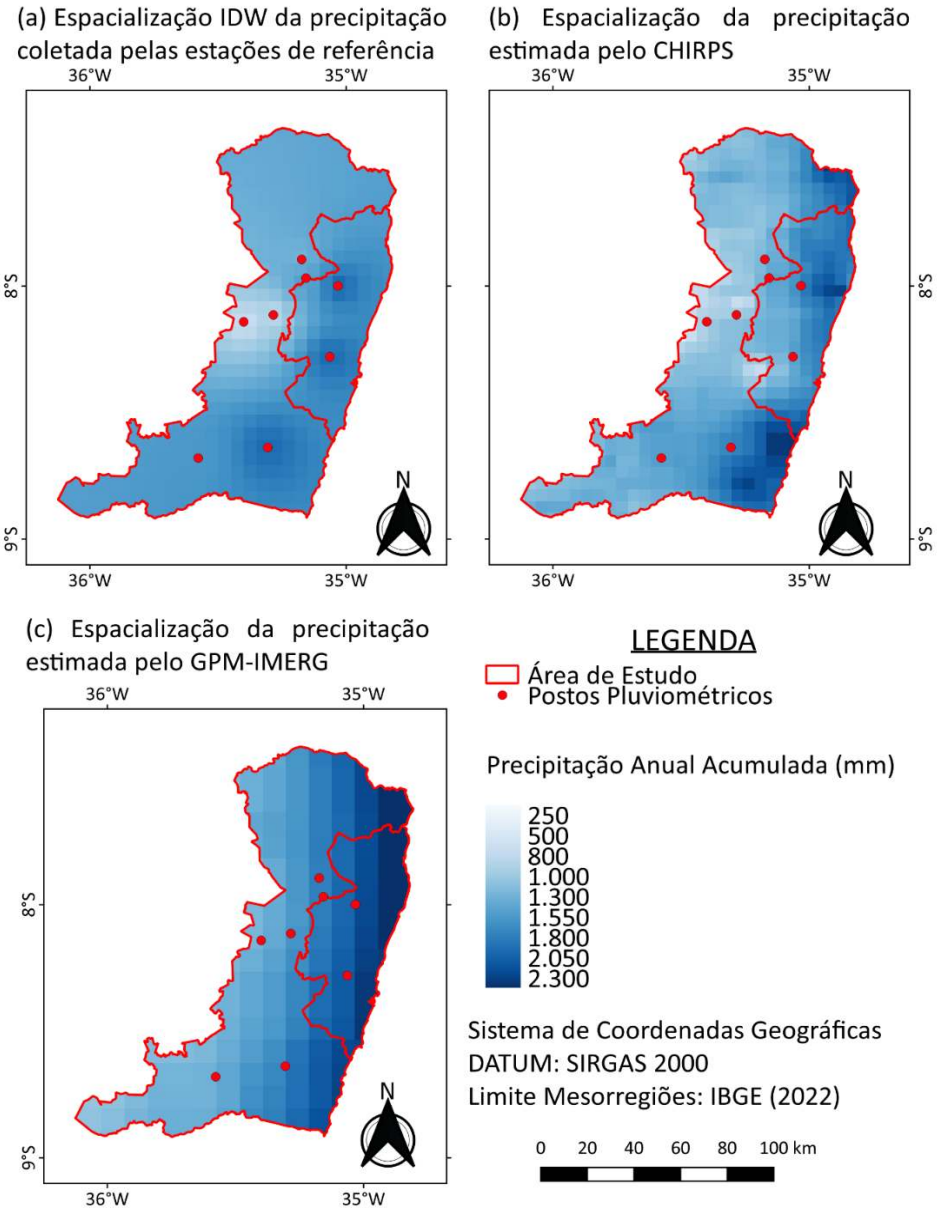


Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Como destaque espacializado georreferenciado, a Figura 5 detalha a interpolação dos dados médios de precipitação acumulada anual, referentes aos anos de 2001 a 2023 nas mesorregiões da Região Metropolitana do Recife e Mata Pernambucana, onde fica evidenciado a variabilidade entre 250 e 2.300 mm de precipitação.

A partir da análise da Figura 5 foi possível identificar que o CHIRPS possui uma maior variação e detalhamento quanto a precipitação média anual em cada pixel, resultado esperado uma vez que este produto possui menor escala espacial (5 km) quando comparado ao GPM-IMERG (10 km), o que reflete em sua maior precisão.

Figura 5 - Comparação da Precipitação Média Anual Acumulada proveniente das estações pluviométricas e obtida por Sensoriamento Remoto através dos produtos CHIRPS e GPM-IMERG.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Nas áreas periféricas à região de estudo, a interpolação IDW dos dados provenientes das estações pluviométricas demonstra menor eficiência (Figura 5 - a). Isto ocorre devido à baixa densidade das estações pluviométricas avaliadas na região litorânea e no norte e sudeste da mesorregião da Mata Pernambucana, o que constitui um fator fundamental nas diferenças observadas entre a visualização georreferenciada da Figura 5. Ressalta-se que a vantagem dos pluviômetros recai no monitoramento pontual da precipitação, tornando-o mais preciso que os produtos de Sensoriamento Remoto neste fator. Nas avaliações da precipitação em grandes áreas, com medições por Sensoriamento Remoto, a exemplo do CHIRPS e GPM-IMERG, possuem tendência em obter melhor precisão das informações, devido a exclusão da necessidade de interpolação entre os dados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados evidenciaram que o CHIRPS apresentou maior eficiência e precisão quando comparado com o GPM-IMERG no levantamento dos registros de chuva, com boa correlação com os pluviômetros de referência, sendo configurado como uma alternativa satisfatória na obtenção de séries históricas de precipitação. Além disso, o CHIRPS também demonstrou melhor precisão quanto ao detalhamento espacial dos dados de precipitação nas mesorregiões da Região Metropolitana do Recife e Mata Pernambucana, o que pode ser explicado devido a sua menor resolução espacial (aproximadamente 5 km). Quando comparado com os dados medidos em campo, ambos os produtos avaliados demonstraram uma melhor eficiência para a escala temporal mensal e menor eficiência na escala diária.

É importante que sejam desenvolvidas maneiras de aumentar a precisão dos registros de dados de precipitação via Sensoriamento Remoto e reduzir as tendências de ruídos destes modelos. Maiores estudos devem ser desenvolvidos visando validar estes e outros produtos de precipitação por satélite para o estado de Pernambuco, abrangendo as diferentes características topográficas e climatológicas existentes ao longo de sua extensão territorial.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo a pesquisa e concessão de bolsas de Doutorado da segunda e terceira autoras, processos n° 88887.134583/2025-00 e n° 88887.999200/2024-00 e; à Agência

Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) pela disponibilização dos registros pluviométricos para realização da pesquisa.

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas, 2019. HidroWeb v3.1.1. Séries históricas das estações. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 07 abr. 2025.

ANDRADE, J. M.; NETO, A. R.; BEZERRA, U. A.; MORAES, A. C. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L. A comprehensive assessment of precipitation products: temporal and spatial analyses over terrestrial biomes in Northeastern Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 28, p.100842, nov. 2022. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100842.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Atlas climatológico do Estado de Pernambuco**: normais climatológicas 1991-2020. Agência Pernambucana de Águas e Clima. Gerência de Meteorologia e Mudanças Climáticas. Recife: APAC, GMMC, 2023. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/images/webAtlas-Climatologico-do-Estado-de-Pernambuco-APAC.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2025.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. Mapas de precipitação e outras informações. Recife, Pernambuco. 2024. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/climatologia/519-climatologia>. Acesso em: 08 jan. 2025.

APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima. Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco – Tomo I – Volume 1. Recife, Pernambuco. 2022.

ARAÚJO, H. L.; SILVA, T. L. A.; DUARTE S. N.; RODRIGUES, J. A. M.; ARAÚJO, E. L.; SANTOS, A. P. Análise comparativa entre dados de precipitação observados em superfície e estimados por satélite TRMM na região norte do Tocantins. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.10, n.1, p.14-22, 2022. https://doi.org/10.5281/zenodo.6791581.

COSTA, F. F.; RUFINO, I. A. A.; ARAGÃO, R.; FILHO, R. S. R. Performance evaluation of four remote-sensing products throughout precipitation estimation in State of the Paraíba, Northeast Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, p. 101256, 2024. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101256.

FUNK, C.; PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S.; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. The climate hazards infrared precipitation with stations — a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific data**, v. 2, p. 150066, 2015. https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66.

GADELHA, A. N.; COELHO, V. H. R.; XAVIER, A. C.; BARBOSA, L. R.; MELO, D. C. D.; XUAN, Y.; HUFFMAN, G. J.; PETERSEN, W. A.; ALMEIDA, C. N. Grid box-level evaluation of IMERG over Brazil at various space and time scales. **Atmospheric Research,** v. 218, 2019, Pages 231-244, ISSN 0169-8095. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.12.001.

GUPTA, H. V.; SOROOSHIAN, S.; YAPO, P. O. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. **Journal of hydrologic engineering**, v. 4, n. 2, p. 135-143, 1999. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:2(135).

HUFFMAN, G. J.; STOCKER, E. F.; BOLVIN, D. T.; NELKIN, E. J.; TAN, J. GPM IMERG Final Precipitation L3 Half Hourly 0.1 degree x 0.1 degree V07. **Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC)**, Greenbelt, MD, 2023. DOI: 10.5067/GPM/IMERG/3B-HH/07. Disponível em: <https://catalog.data.gov/dataset/gpm-imerg-final-precipitation-l3-half-hourly-0-1-degree-x-0-1-degree-v07-gpm-3imerghh-at-g>. Acesso em: 15 set. 2024.

HONG, Y.; TANG, G.; MA, Y.; HUANG, Q. HAN, Z.; ZENG, Z.; YANG, Y.; WANG, C.; GUO, Z. Remote Sensing Precipitation: Sensors, Retrievals, Validations, and Applications. In: LI, X.; VEREECKEN, H. (Eds.). **Observation and Measurement of Ecohydrological Processes**. Ecohydrology. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2018. p. 1–23. https://doi.org/10.1007/978-3-662-47871-4_4-1.

HONG, Y.; ZHANG, Y.; KHAN, S. **Hydrologic remote sensing: capacity building for sustainability and resilience**. 1. Ed. Boca Raton: CRC Press, 2016. https://doi.org/10.1201/9781315370392.

HOSSEINI-MOGHARI, S. M.; TANG, Q. Can IMERG data capture the scaling of precipitation extremes with temperature at different time scales? **Geophysical Research Letters,** 49, 2022. https://doi.org/10.1029/2021GL096392.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Divisão Regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas. **Biblioteca IBGE**. 1: 52–55. 1990.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha Municipal Digital e Áreas Territoriais 2022: Informações Técnicas Legais para Utilização dos Dados Publicados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=36516&t=downloads>. Acesso em: 07 abr. 2025.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha Municipal Digital e Áreas Territoriais 2023: Informações Técnicas Legais para Utilização dos Dados Publicados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=42093&t=downloads>. Acesso em: 07 abr. 2025.

LÓPEZ-BERMEO, C. ; MONTOYA, R. D. ; CARO-LOPERA, F. J. ; DÍAZ-GARCÍA, J. A. 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, Parts A/B/C, v. 127, p. 103184, 2022. https://doi.org/10.1016/j.pce.2022.103184.

KIDD, C.; BECKER, A.; HUFFMAN, G. J.; MULLER, C. L.; JOE, P.; JACKSON, G. S.; KIRSCHBAUM, D. B. So, How Much of the Earth's Surface Is Covered by Rain Gauges? **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 98, n. 1, p. 69–78, jan. 2017. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00283.1.

LIMA JÚNIOR, A. F.; ZANELLA, M. E.; SALES, M. C. L. Avaliação do desempenho da precipitação estimada pelo CHIRPS para o Estado do Ceará, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 363-382, 2023. https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16143.

LIU, Z. Accuracy of satellite precipitation products in data-scarce Inner Tibetan Plateau comprehensively evaluated using a novel ground observation network. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 47, p. 101405, 2023. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101405.

MAHMOUD, M. T.; MOHAMMED, S. A.; HAMOUDA, M. A.; MOHAMED, M. M. Impact of topography and rainfall intensity on the accuracy of imerg precipitation estimates in an arid region. **Remote Sensing**, v. 13, n. 1, p. 13, 2021. https://doi.org/10.3390/rs13010013.

MEDEIROS-FEITOSA, J. R.; OLIVEIRA, C. W. Estudo comparativo dos dados de precipitação do satélite TRMM e postos pluviométricos no estado do Ceará, Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, n. 65, p. 239-262, 2020. http://dx.doi.org/10.15359/rgac.65-2.10.

NASA. National Aeronautics and Space Administration. IMERG: Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM. Disponível em: <https://gpm.nasa.gov/data/imerg>. Acesso em: 08 jan. 2025.

NASCIMENTO, J. G.; ALTHOFF, D.; BAZAME, H. C.; M. U. NEALE, C.; N. DUARTE, S.; L. RUHOFF, A.; Z. GONÇALVES, I. Evaluating the Latest IMERG Products in a Subtropical Climate: The Case of Paraná State, Brazil. **Remote Sensing.** 2021, 13, 906. https:// doi.org/10.3390/rs13050906.

NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. **Journal of hydrology**, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970. https://doi.org/10.1016/0022-1694(70)90255-6.

NÓBREGA, A. E. L.; NEVES, Y. T. Determinação e espacialização de parâmetros de equações de chuvas intensas para o estado da Paraíba. Geousp, v. 28, n. 3, e215955. 2024. https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2024.215955pt.

PEARSON, K. VII. Mathematical contributions to the theory of evolution.—III. Regression, heredity, and panmixia. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, containing papers of a mathematical or physical character**, n. 187, p. 253-318, 1896. https://doi.org/10.1098/rsta.1896.0007.

RAMADHAN, R.; YUSNAINI, H.; MARZUKI, M.; MUHARSYAH, R.; SURYANTO, W.; SHOLIHUN, S.; VONNISA, M.; HARMADI, H.; NINGSIH, A.P.; BATTAGLIA, A.; HASHIGUCHI, H.; TOKAY, A. Evaluation of GPM IMERG performance using gauge data over Indonesian maritime continent at different time scales. **Remote Sensing**, v. 14, n. 5, p. 1172, 2022. https://doi.org/10.3390/rs14051172.

RODRIGUES, D. T.; GONÇALVES, W. A.; SPYRIDES, M. H.; SANTOS E SILVA, C. M.; DE SOUZA, D. O. Spatial distribution of the level of return of extreme precipitation events in Northeast Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 40, n. 12, p. 5098-5113, 2020. DOI: 10.1002/joc.6507

SHABANKAREH, R. N. T.; ZIAEE, P.; ABEDINI, M. J. Evaluation of IMERG precipitation product over various temporal scales in a semi-arid region of southern Iran. **Journal of Arid Environments,** v. 220, 2024, 105102, ISSN 0140-1963. https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.105102.

SHAHIDIAN, S.; GUIMARÃES, R.; RODRIGUES, C.; CHAMBEL, A.; ALEXANDRE, C.; SANTOS, F.; BASCH, G.; ANDRADE, J. A.; COELHO, R. **Hidrologia Agrícola**. Évora: Escola de Ciência e

Tecnologia da Universidade de Évora e Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas, 2017.

ULIANA, E. M.; SOUSA JUNIOR, M. F.; ARAUJO, J. A.; AIRES, U. R. V.; SILVA, D. D.; ZANUZO, M. R.; CRUZ, I. F. Validação e análise espaço-temporal de dados de precipitação obtidos por sensoriamento remoto CHIRPS para o estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 35, p. 630-654, 2024. https://doi.org/10.55761/abclima.v35i20.18858.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 90, n. C5, p. 8995-9005, 1985. https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995.