ENTRELUGAR

VALIDAÇÃO ESTATÍSTICA DE DADOS DO TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION (TRMM) PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JORDÃO – PARANÁ – BRASIL

STATISTICAL VALIDATION OF TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION (TRMM) DATA FOR THE JORDÃO RIVER BASIN – PARANÁ – BRAZIL

VALIDACIÓN ESTADÍSTICA DE DATOS DEL TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION (TRMM) PARA LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO JORDÃO – PARANÁ – BRASIL

Bruno Henrique Costa Toledo
Doutor em Geografia. Professor Colaborador do Departamento de Geografia da Unicentro, Campus Cedeteg, Guarapuava - Paraná
brunhct@hotmail.com

Aparecido Ribeiro de Andrade
Doutor em Geografia. Professor Associado do Departamento de Geografia e Membro Permanente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Unicentro, Campus Cedeteg, Guarapuava- Paraná
apaandrade@gmail.com

RESUMO

Registros de precipitação pluvial em áreas pouco acessíveis, normalmente, não apresentam uma boa distribuição espacial dos postos de coleta, principalmente pela questão fisiográfica (relevo e rede de drenagem, por exemplo). Entretanto, aspectos estruturais, como baixo investimento em redes de monitoramento, também são comuns. A área do presente estudo (Bacia Hidrográfica do Rio Jordão – BHRJ), localizada na região centro-sul do estado do Paraná – Brasil, possui problemas correlatos. Nesse sentido, o objetivo dessa pesquisa foi validar um método de ajuste e correção entre fontes de dados distintas, focando a correção das informações provenientes do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), associadas aos de postos pluviométricos em superfície, buscando melhorar a representação espacial. Esse procedimento foi realizado com base na criação de equações lógicas e aplicação de testes estatísticos. Os dados do sensor TRMM foram analisados, ajustados e comparados com dados de pluviômetros localizados no entorno e dentro da BHRJ para o período de 2009 a 2018. Os resultados obtidos por meio de técnicas estatísticas, como a correlação linear (r), Coeficiente de Determinação (r^2), Erro Médio Absoluto (EMA), foi considerado satisfatório, com valores de r^2 próximo de 90%. Dessa forma, identificou-se que a região de estudo tem elevada variabilidade temporal e espacial da precipitação pluvial, mas as técnicas de ajustes utilizadas propiciaram melhor representação espacial, possibilitando a utilização dos dados oriundos de sensores remotos em complemento aos de postos de superfície, com bom nível de confiança.

Palavras-chave: Precipitação Pluvial; Sensoriamento Remoto; Técnicas Estatísticas; Clima Local; Topoclima.

ABSTRACT

Rainfall records in inaccessible areas usually do not present good spatial distribution of collection points, mainly due to the physiographic issue (relief and drainage network, for example). However, structural aspects, such as low investment in monitoring networks, are also common. The area of the present study (Jordão River Basin – BHRJ), located in the mid-southern region of the state of Paraná – Brazil, has related problems. In this sense, the aim of this research was to validate a method of adjustment and correction between different data sources, focusing on the correction of information from the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), associated with those from surface rainfall stations, seeking to improve the spatial representation. This procedure was performed based on the creation of logical equations and application of statistical tests. TRMM sensor data were analyzed, adjusted and compared to data from rain gauges located around and within BHRJ for the period from 2009 to 2018. Results obtained through statistical techniques such as linear correlation (r), Determination Coefficient (r^2), Mean Absolute Error (MAE) were considered satisfactory, with r^2 values close to 90%. Thus, it was identified that the study region has high temporal and spatial rainfall variability, but the adjustment techniques used provided better spatial representation, enabling the use of data from remote sensors in addition to those from surface stations, with good reliability level.

Keywords: Rainfall; Remote sensing; Statistical Techniques; Local Climate; Topoclimate.

RESUMEN

Registros de precipitación pluvial en áreas poco accesibles, que normalmente no presentan una buena distribución espacial de los puntos de recolección, principalmente por el tema fisiográfico (relieve y red de drenaje, por ejemplo). No obstante, también son comunes los aspectos estructurales, como la baja inversión en las redes de monitoreo. El área del presente estudio (Cuenca Hidrográfica del Rio Jordão – BHRJ), ubicada en la región centro-sur del estado de Paraná – Brasil, posee problemas relacionados. En ese sentido, el objetivo de esta investigación fue validar un método de ajuste y corrección entre fuentes de datos distintas, centrándose en la corrección de las informaciones provenientes del Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), asociadas a los de centros pluviométricos en superficie, buscando mejorar la representación espacial. Este procedimiento fue realizado basado en la creación de ecuaciones lógicas y aplicación de testes estadísticos. Se analizaron, ajustaron y compararon los datos del sensor TRMM con datos de pluviómetros ubicados en el entorno y dentro de la CHRJ para el período de 2009 a 2018. Los resultados obtenidos por medio de técnicas estadísticas, como la correlación lineal (r), Coeficiente de Determinación (r^2), Error Promedio Absoluto (EMA), fueron considerados satisfactorios, con valores de r^2 cercanos a 90%. De esa forma, se identificó que la región de estudio tiene una elevada variabilidad temporal y espacial de la

precipitación pluvial, pero las técnicas de ajustes utilizadas propiciaron mejor representación espacial, posibilitando el uso de los datos oriundos de sensores remotos complementando los de centros de superficie, con buen nivel de confianza.

Palabras-clave: Precipitación Pluvial; Teledetección; Técnicas Estadística; Clima Local; Topoclima.

INTRODUÇÃO

O monitoramento e a consequente identificação da variabilidade pluviométrica são componentes essenciais para a definição da dinâmica climática local. Essa afirmação está alicerçada no fato de que a precipitação pluvial é vital para o desenvolvimento da sociedade. Diversas práticas socioeconômicas, como por exemplo, a agricultura, pecuária e o abastecimento urbano, dependem diretamente do déficit ou excedente hídrico, podendo até inviabilizar a gestão e manutenção destas práticas.

O monitoramento de dados de chuva, ou seja, a instalação e manutenção de pluviômetros e/ou pluviógrafos em uma região, necessita de uma grande densidade de pontos bem distribuídos espacialmente, além de buscar uma escala de medição representativa (PESSI et al., 2019; KIDDER e VONDER HAAR, 1995).

Esse tipo de condição é considerado ideal, e, praticamente inexistente no contexto espacial para a maioria do território brasileiro, principalmente em regiões que apresentam grandes áreas a serem analisadas. A Bacia Hidrográfica do Rio Jordão (BHRJ), objeto deste estudo, serve como exemplo dessa situação, pois os locais com instrumentos de registro da precipitação estão em pontos restritos, com baixa densidade na cobertura espacial destes instrumentos.

Pereira et al. (2013), relata que ao se mensurar a precipitação em apenas um local, dificulta a distinção de alguns eventos de precipitações isoladas, que podem ocorrer em determinada área da bacia hidrográfica, deixando de ser contabilizados no pluviômetro mais próximo. Esse tipo de condição pode influenciar significativamente a análise do padrão hidroclimático local e até regional.

Nesse sentido, torna-se importante ressaltar que os dados de precipitação obtidos via sensoriamento remoto é uma ferramenta útil e que tende a aperfeiçoar as

análises climatológicas. Arias-Hidalgo et al. (2013, p. 2095) reforçam que "o sensoriamento remoto se tornou imensamente útil para melhorar a nossa compreensão da variação espaço-temporal da precipitação, especialmente para regiões com escassez de dados".

Admitindo que o sensoriamento remoto surge como técnica alternativa ao monitoramento por meio de postos pluviométricos convencionais, presume-se que os sensores orbitais auxiliam na obtenção de dados de precipitação de determinada região, atribuindo-lhes o trabalho do registro periódico e automático desses dados. O emprego do sensoriamento remoto consiste no fato de que os sensores a bordo de satélites, fornecem informações em relação à variabilidade da precipitação em escala global (PEREIRA et al., 2013, p. 139).

A partir dessa premissa, o presente trabalho se propõe avaliar como os dados provenientes de sensoriamento remoto podem ser úteis na obtenção do registro da precipitação pluviométrica em escala de detalhe, buscando comparar esses dados com os coletados em postos pluviométricos por um período de 10 anos (01/01/2009 a 31/12/2018). Essa avaliação comparativa foi efetuada em uma região com clima subtropical úmido, tendo a BHRJ como objeto de estudo. Nesse sentido, os parâmetros estatísticos aplicados, buscaram identificar o nível de confiança na utilização de dados de sensoriamento remoto como substitutos ou complementares aos dados de superfície.

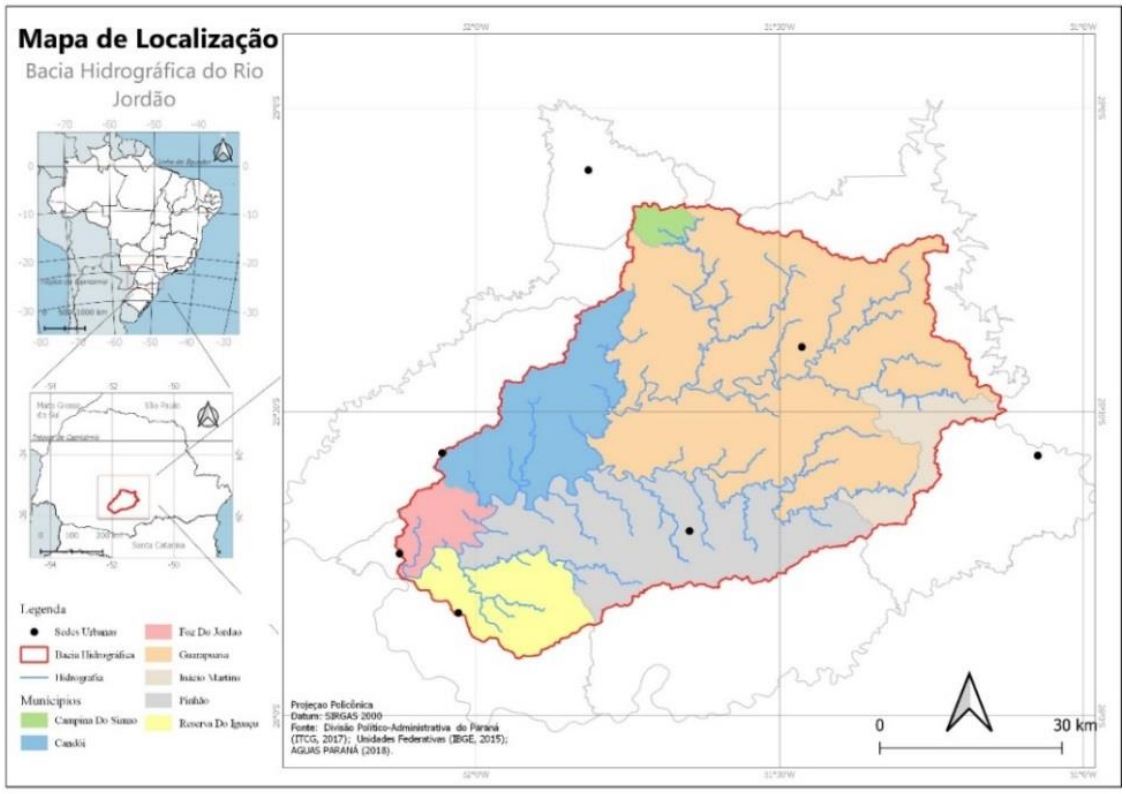
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Área de Estudo

O presente estudo foi realizado com dados pluviométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Jordão (BHRJ), localizada na região centro-sul do estado do Paraná, com área total de 4739,1208 km² e abrangendo sete municípios paranaenses (Figura 1).

Aproximadamente 49% da área da bacia hidrográfica se localiza no Município de Guarapuava, seguido do Município de Pinhão e Candói, respectivamente 20,92% e 12,19% da área total, outros municípios totalizam 17,19%.

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Jordão



Fonte: o autor, 2020.

Dentre todos os Municípios, apenas Campina do Simão e Inácio Martins não possuem suas áreas urbanas situadas dentro da BHRJ.

A BHRJ está localizada no Terceiro planalto Paranaense, situado na antiga Formação Serra Geral, composta por extensa cobertura de rochas ácidas e intermediárias, dentro de uma formação vulcano-sedimentar. Conforme a classificação da MINEROPAR, a BHRJ está localizada em uma área que predomina a Formação COVÓ – Membro Guarapuava e trechos situados na Formação Candói – membro Foz do Areia e membro – Três Pinheiros. Essa formação abrange o membro Guarapuava, que abrange grande parte da BHRJ, que possui uma associação de riodacito e outras litologias que sustenta o planalto homônimo (MINEROPAR, 2013, p.243).

A área total da bacia possui Clima Subtropical Mesotérmico Úmido (Cfb), segundo a proposta de Alvares et al. (2014), apresentando estações bem definidas, verões

frescos (temperatura média para os meses de verão abaixo de 22 °C) e invernos com eventos de geada de forma frequente (temperatura dos meses de inverno com média superior a 3 °C e abaixo de 18 °C). Essa dinâmica configura ausência de estação seca definida, garantindo um clima ameno ao longo do ano. Tendo como fatores decisivos para definição da variabilidade da precipitação e temperatura, a altitude e o afastamento do mar (THOMAZ e VESTENA, 2003; COSTA e ANDRADE, 2017).

Mendonça e Danni-Oliveira (2017) e Monteiro (1968) também caracterizam o clima dessa região como subtropical, pois há uma participação efetiva dos sistemas atmosféricos polares (massa polar atlântica), com uma recorrência moderada dos sistemas atmosféricos intertropicais. Dessa forma, as chuvas são constantes e as temperaturas amenas, provenientes dessa combinação da ação frequente das massas quentes e secas continentais com as massas frias polares.

Dados de Precipitação (Orbitais e de Superfície)

Os dados necessários para o estudo comparativo proposto foram obtidos do sensor TRMM (Tropical Rainfall Measurement Mission - 3B43_v7)[1], o qual apresenta dados em mm/mês referente ao acumulado de precipitação, com resolução espacial de 0,25° x 0,25°. Esses dados foram organizados em totais mensais de 01/01/2009 a 31/12/2018, totalizando 120 meses.

Os dados das estações pluviométricas foram pesquisados no website do HIDROWEB[2], após localizar todas as estações inseridas dentro e adjacente à área de estudo. Em cada posto de coleta identificado foi averiguado se possuía dados completos e referentes ao período estabelecido para este estudo. Após este procedimento, foram selecionadas doze (12) estações ou postos pluviométricos, conforme Tabela 2.

[1] Disponível em: https://trmm.gsfc.nasa.gov/trmm_rain/Events/TRMMSenRev2007_pub.pdf
[2] https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa, sistema da Agência Nacional de Águas – ANA. Download de dados de postos de monitoramento da rede pluviométrica e fluviométrica.

Tabela 1 - Postos Pluviométricos adjacentes e dentro da BHRJ (área de estudo)

POSTO PLUVIOMÉTRICO	LATITUDE	LONGITUDE	ALTITUDE	ENTIDADE MANTENEDORA
GOIOXIM	25° 11' 59"	51° 59' 27"	858,00 m	ÁGUAS PARANÁ
CANTAGALO	25° 22' 00"	52° 07' 00"	800,000m	ANA
RESERVA DO IGUAÇU	25° 48' 00"	52° 01' 00"	1000,00 m	ÁGUAS PARANÁ
PEDRO LUSTOSA	25° 48' 00"	51° 51' 00"	1000,00 m	ÁGUAS PARANÁ
PINHÃO	25° 40' 59"	51° 39' 00"	1066,00 m	ANA
USINA SANTA MARIA	25° 31' 59"	51° 49' 00"	1000,00 m	ANA
COLONIA VITÓRIA	25° 33' 00"	51° 28' 59"	1000,00 m	ÁGUAS PARANÁ
CAMPINA BONITA	25° 34' 00"	51° 15' 00"	1108,00 m	ÁGUAS PARANÁ
CAMPO DE DENTRO	25° 16' 21"	51° 16' 20"	1202,00 m	ÁGUAS PARANÁ
COL. AGRICOLA	25° 21' 00"	51° 30' 00"	1058,00m	IAPAR
ZATARLANDIA	25° 43' 59"	51° 31' 00"	1446,00 m	ÁGUAS PARANÁ
PALMEIRINHA	25° 15' 00"	51° 33' 00"	1050,00 m	ANA

Fonte: Dados cedidos pelo IAPAR em 2020.

Os valores registrados nos dados do TRMM, foram inicialmente agrupados em valores médios, para cada mês analisado, referente a série total. Essa padronização foi necessária para compreender inicialmente a relação dos dados do sensor remoto e do posto pluviométrico, a fim de avaliar a correlação e métricas estatísticas entre os dados obtidos.

Os métodos de obtenção, análise, ajuste e validação dos dados do TRMM foram realizados de acordo com os estudos de Leivas et al. (2009); Pereira et al. (2013); Curtarelli et al. (2014); Soares et al. (2016); e Alves et al. (2017).

Após este procedimento, o número de meses foi reduzido para 12 (doze), com os valores médios obtidos pelo sensor do TRMM, porém, devido a diferença de escala entre os dados, foi necessário realizar a interpolação dos mesmos para uma escala com maior detalhamento. Essa organização dos valores da grade do TRMM buscou compatibilizar os mesmos com a escala local, como recomenda Chen et al. (2013) e Ud Din et al. (2008).

O procedimento descrito teve como finalidade criar uma matriz de dados que pudesse ser comparada com a escala de coleta realizada pelos pluviômetros locais. Para tanto, foi utilizada a interpolação pelo método geoestatístico da krigagem ordinária, que é um método de regressão, muito comum na realização da interpolação espacial. No presente estudo, esse método foi aplicado em ambiente do Software ArcGIS 10.1, utilizando o valor máximo de 1.000 (mil) metros, relativo à distância entre os valores.

A partir dessa interpolação, foram extraídas estações virtuais, com o espaçamento entre o centro dos *pixels* de 1.000 (mil) metros. O valor referente a precipitação de cada posto pluviométrico foi extraído para o valor do *pixel*, com o intuito de comparar os valores relativos à média de precipitação da série de 10 anos, na escala mensal, com o valor médio obtido no posto pluviométrico para o mesmo período.

Ao interpolar os dados do TRMM, há um incremento no número de estações virtuais, aumentando a densidade de valores de precipitação obtidos. Essas estações virtuais permitem uma aproximação entre os dados do TRMM e das estações pluviométricas locais, o qual é representado por um modelo geoestatístico (CHEN et al., 2013).

Esse procedimento foi necessário para avaliar a qualidade dos dados do TRMM, em função dos registrados pelos pluviômetros, bem como a usabilidade destes dentro da BHRJ. Essa avaliação foi realizada por meio de técnicas estatísticas, como a correlação linear de Person (r), Coeficiente de Determinação (r^2), Erro Médio Absoluto (EMA), Erro Percentual Absoluto Médio (EPAM) e Raiz do Erro Médio Quadrático (REMQ), de acordo com o estudo proposto por Soares et al. (2016).

Todos os procedimentos utilizados tiveram a finalidade de ajustar os valores da precipitação interpolada entre os dados, buscado avaliar as diferenças no registro da precipitação no contexto espacial e para tanto, a criação das estações virtuais foi essencial no alcance dos objetivos propostos.

RESULTADOS

Os primeiros resultados encontrados focaram na validação dos dados TRMM após os procedimentos de interpolação. As técnicas estatísticas utilizadas foram variadas e estão descritas na Tabela 3.

Os dados apresentaram uma correlação altamente positiva, com valores acima de 0,80 em todas as estações, com destaque para a estação Colônia, que apresentou o maior valor (0,96) e Cantagalo com o menor valor (0,84).

Os valores do EPAM, por exemplo, indicam que existe uma diferença de cerca de 7 a 11% na maioria das estações, o que pode ser considerada uma taxa elevada

ao se tratar de precipitação. No entanto, essa diferença não indica, necessariamente que os dados sejam inválidos, mas que existe uma variabilidade espacial significativa e que deve ser melhor avaliada para os ajustes necessários.

Tabela 2 - Métricas de erros resultantes entre os dados da Estação Pluviométrica e dados do TRMM

ESTAÇÃO	EMA (mm)	REQM	EPAM (%)	r	r^2
GOIOXIM	14.58	18.27	9.77	0.92	0.85
CANTAGALO	21.97	25.83	13.98	0.84	0.71
RESERVA DO IGUAÇU	13.56	16.95	7.69	0.92	0.84
PEDRO LUSTOSA	14.05	17.13	8.32	0.9	0.82
USINA SANTA MARIA	12.87	14.99	7.51	0.91	0.82
PINHÃO	22.7	26.01	11.12	0.93	0.86
ZATARLÂNDIA	17.41	24.24	8.13	0.92	0.85
COLONIA VITÓRIA	11.03	13.12	7.36	0.96	0.92
CAMPINA BONITA	16.36	20.61	11	0.89	0.8
COLÉGIO AGRÍCOLA	16.01	19.66	10.88	0.91	0.83
PALMEIRINHA	25.05	26.15	17.89	0.93	0.86
CAMPO DE DENTRO	15.16	18.99	10.7	0.93	0.86

Fonte: Dados TRMM organizados pelos autores

De forma geral, os resultados dos erros resultados indicaram pouca variabilidade e um bom nível de confiança nos dados obtidos.

A utilização de dados provenientes do sensor TRMM apresenta valores acumulados em dados mensais, com a variabilidade espacial da precipitação registrada em um formato específico. Os dados apresentam valores acumulados de precipitação em uma determinada área, a qual normalmente não é compatível com a escala das estações pluviométricas (escala local).

Com a utilização de técnicas analíticas e de interpolação, foi possível realizar a aproximação da escala espacial dos dados registrados pelo TRMM com aqueles obtidos na escala local (posto pluviométrico).

Ao se utilizar os centros de *pixel* como estação virtual, foi constatado que o número dessas estações seria insuficiente para comparar esses dados com os dos postos pluviométricos locais (Tabela 2). Isso foi identificado após o comparativo entre uma unidade local e uma área ampla (tamanho geral do *pixel*), pois os valores apresentados poderiam estar incorretos devido à diferença de escala existente.

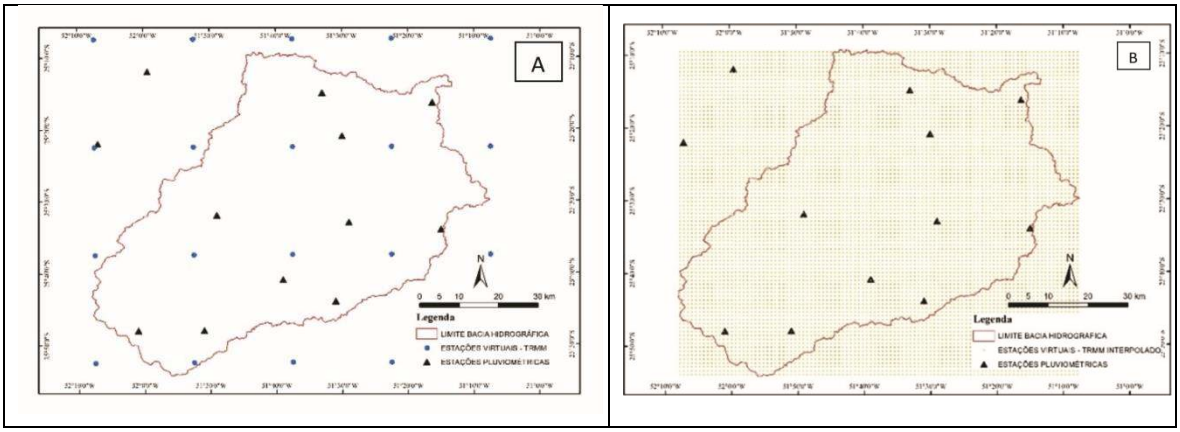
A aproximação da escala, propiciada pelo aumento do número de estações virtuais, com a consequente vinculação dos dados dos postos pluviométricos criou uma realidade de análise condizente com a proposta formulada no presente caso.

A Figura 2 demonstra a variabilidade espacial entre os dados Originais do TRMM (A) e os Interpolados (B), apresentando a localização espacial das estações virtuais e dos postos pluviométricos.

Os valores máximos e mínimos do TRMM apresentam dados inalterados. Com o procedimento de correção e interpolação foi possível obter valores em uma dimensão espacial reduzida, possibilitando assim, realizar os procedimentos comparativos entre as estações virtuais e os dados registrados nos pluviômetros.

A distância média entre os dados originais do TRMM e o posto pluviométrico mais próximo foi de 12 (doze) quilômetros.

Figura 2 - Estações Virtuais e Pluviométricas referentes aos dados originais do TRMM (A) e Interpolado (B)



Fonte: o autor, 2020.

Após a interpolação e com a criação das estações virtuais, essa distância mudou para apenas 500 metros. Nesse procedimento imagina-se que o problema está resolvido, mas ainda não. Simplesmente adotar os valores obtidos pelas estações virtuais como representativos na escala local pode ser um erro enorme. Portanto, a busca pela sua validação e os ajustes necessários para alcançar confiança nos dados são etapas necessárias antes de usar tais informações para análises.

Ao realizar o processo de interpolação, ocorre uma aproximação evidente entre os valores do TRMM com os dados das estações pluviométricas no contexto espacial. Antes da utilização dos dados do sensor remoto, os postos pluviômetros de superfície representavam uma área ampla, a qual foi reduzida para manter a proximidade e assim proceder a análise comparativa entre os dados.

A aproximação entre as escalas por meio de ajustes geoestatísticos é necessária, objetivando averiguar os valores obtidos entre o TRMM e os postos pluviométricos. Os resultados estão situados por uma divisão mensal, referente às médias obtidas para todo o período (10 anos) e por posto pluviométrico.

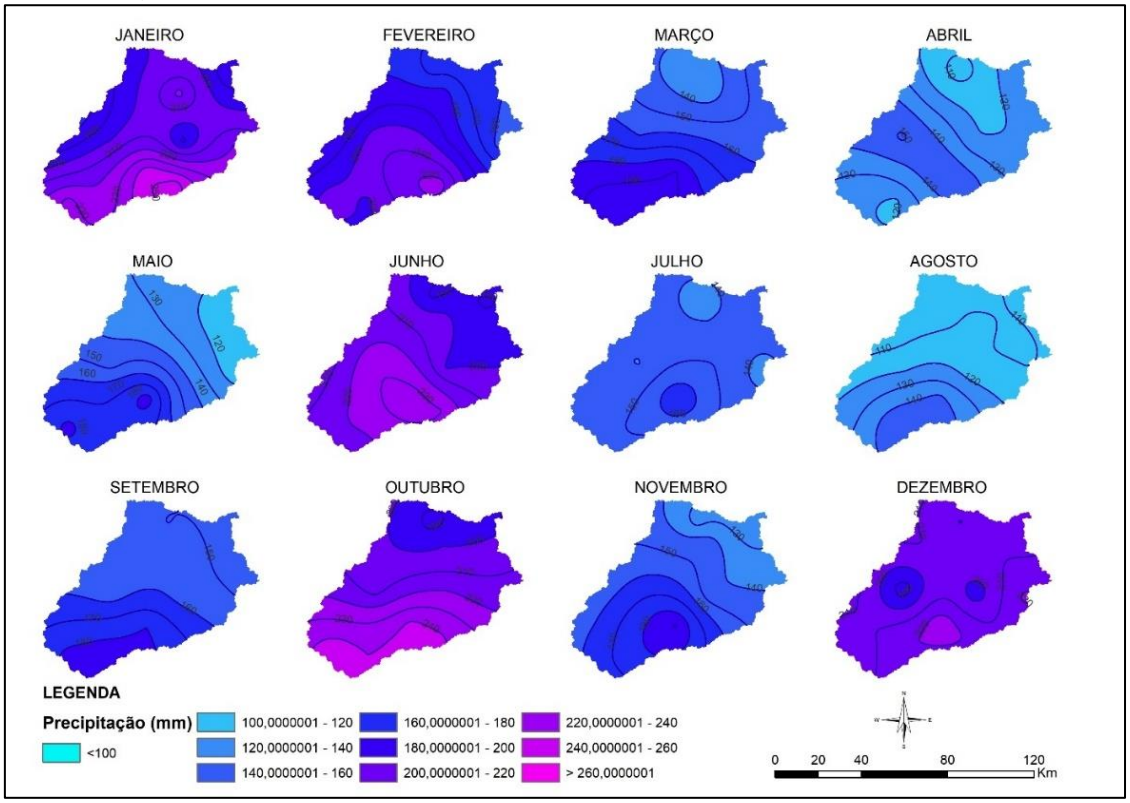
O valor de precipitação foi extraído do TRMM interpolado, ao se realizar a média dos valores dos *pixels* (entre 12~14) em uma área de 2 quilômetros no entorno da estação, conforme descrito no procedimento metodológico.

Como resultado, foi elaborada uma representação relativa à média mensal do período de análise, de modo a compreender inicialmente distribuição espacial da precipitação na BHRJ. A Figura 3 demonstra os dados interpolados a partir dos dados obtidos dos postos pluviométricos em superfície.

O processo de interpolação revela as diferenças dos valores quando observados no contexto espacial, demonstrando a concentração da precipitação registrada nas estações pluviométricas em localizações específicas. Entretanto, essa variabilidade também é influenciada pela sazonalidade, mesmo que na grande maioria dos meses do ano seja possível perceber chuvas mais volumosas no quadrante sul da BHRJ.

Há evidências de uma incidência acentuada da precipitação em locais diferentes de acordo com o período (mês) analisado, ressaltando uma forma irregular na distribuição espacial da precipitação, indicando uma variabilidade com maior peso pontual.

Figura 3 - Representação das médias do período, a partir da interpolação dos dados dos postos pluviométricos (período de 2009 a 2018)



Fonte: O autor, 2021.

Essa caraterística interfere diretamente na análise da precipitação no contexto espacial, pois, o processo de interpolação obtido por meio de dados discretos, pode "mascarar" a distribuição do fenômeno, porém, ainda é um indício do comportamento espacial da precipitação.

A interpretação da Figura 3 revela nitidamente as diferenças dos valores, principalmente nos meses de julho e dezembro. No mês de julho é o período de inverno e consequentemente um dos meses com menos precipitação, porém, sua representação espacial é distorcida, pois existem "ilhas" com maior concentração pluviométrica.

No caso do mês de dezembro, as denominadas "ilhas" apresentam um contexto espacial irregular em regiões próximas umas das outras.

Para os meses de janeiro e fevereiro, foi possível notar um maior "espalhamento" do fenômeno. De forma semelhante, no mês de março, percebe-se uma homogeneidade na modelagem, corroborando com a aproximação espacial dos meses de

janeiro e fevereiro, revelando que na porção sul da BHRJ há maior incidência de precipitação. Contudo, no mês de abril é possível perceber que essa regra dos meses subsequentes não se aplica, visto que é registrado, nessa mesma região, valores menores de precipitação.

Os meses de maio, agosto, setembro e novembro são os que apresentam uma maior regularidade no registro da precipitação, apresentando certa homogeneidade, mas com menores valores para a precipitação mensal.

A modelagem para períodos menos chuvosos tende a apresentar uma homogeneidade, pois, a incidência de chuvas isoladas é menos frequente. É justamente esse tipo de precipitação que acarreta problemas na espacialização, devido à transformação de dados discretos (pontuais) em dados que estabelecem um *continuum* espacial. Percebe-se que esses dados indicam apenas a caraterística daquele ponto específico e que ao se interpolar esse dado, os pesos pontuais retratam uma realidade apenas numérica, estabelecendo uma realidade alternativa, baseada na lógica matemática.

Essas técnicas são amplamente utilizadas e demonstram certa eficiência nas análises relacionadas a dinâmica pluviométrica, apesar de não ficar muito clara o nível de confiança das informações resultantes. Por isso, outros procedimentos devem ser testados/utilizados. Nesse sentido, a utilização de dados contínuos, como os obtidos por sensores remotos, buscando obter valores referente a continuidade dos fenômenos, pode resolver, a *priori,* as lacunas existentes nos procedimentos que utilizam dados discretos.

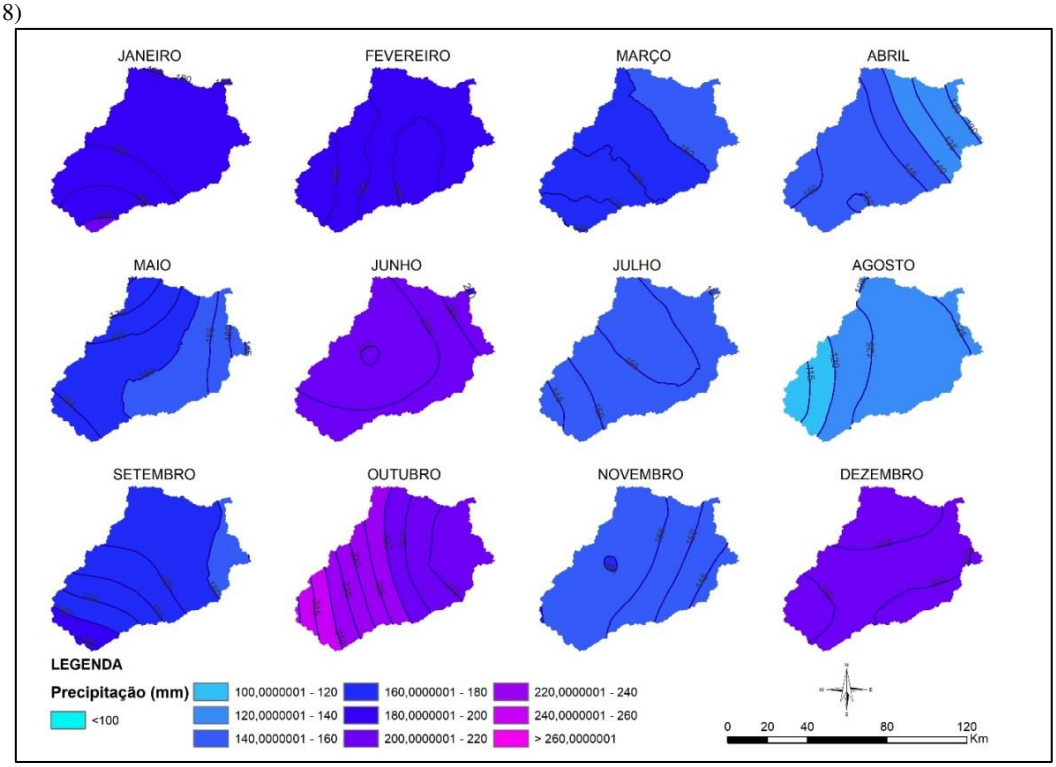
A Figura 4 indica a representação espacial dos dados de precipitação a partir de dados do Sensor TRMM, utilizando o mesmo método de interpolação (krigagem ordinária), para averiguar a distribuição espacial da precipitação com outro formato/origem dos dados.

A distribuição espacial da precipitação por meio da interpolação dos dados do TRMM (Figura 4), apresenta maior homogeneidade, ao se comparar com os resultados relativos aos postos pluviométricos (Figura 3).

No caso, os valores do TRMM interpolados apresentam uma interferência inicial devido, principalmente, a resolução espacial primária de coleta dos dados. Isso se

deve ao registro da precipitação ocorrer de forma generalizada, definindo a homogeneidade na modelagem dos valores.

Figura 4 - Representação das médias do período, a partir da interpolação dos dados do TRMM (período de 2009 a 2018)



Fonte: O autor, 2021.

A generalização é observada na representação cartográfica do fenômeno espacial, revelando uma distribuição que não apresenta locais com picos de precipitação, comumente encontrada em dados absolutos registrados em estações pluviométricas.

Nesse sentido, numa análise mais detalhada (mensal) é possível observar que no mês de janeiro, a precipitação varia de 180 mm a 200 mm, com praticamente 50% da área da BHRJ situada no intervalo de 180 mm a 190 mm.

O mês de fevereiro apresenta uma homogeneidade mais abrangente, com uma amplitude de apenas 5 mm, indicando que neste caso a generalização ocorre de forma acentuada, prejudicando a diferenciação espacial da precipitação. Nos meses de março, abril e maio, verifica-se uma diminuição no intervalo dos dados interpolados, apresentando maior regularidade dentro do contexto espacial.

O mês de junho apresenta maiores valores do registro da precipitação em relação aos meses anteriores, corroborando com a interpolação do dado da estação pluviométrica. Nos meses de julho, agosto e setembro o padrão da espacialidade se mantém de forma regular.

Outubro é o mês em que a representação dos dados do TRMM é muito similar ao ocorrido com dados da estação pluviométrica de superfície. Esse fato é interessante, pois demonstra que ao se registrar a evolução da precipitação sem considerar os fenômenos isolados, ainda é possível verificar a dinâmica real do fenômeno espacial dentro da BHRJ.

O mês de outubro, de toda a série histórica, é o que apresenta uma homogeneidade similar em ambos os dados. Isso ocorrer devido ao tipo de chuva predominante nessa época do ano, influenciada pelos processos convectivos de mesoescala, associados a persistências das chuvas frontais em toda a área de estudo.

O mês de novembro apresenta um contexto espacial similar aos meses de março e julho, com um registro de precipitação que varia de 145 mm a 160 mm. Por fim, no mês de dezembro nota-se irregularidade da distribuição espacial da precipitação, similar ao dado do posto pluviométrico (Figura 3).

Ao se analisar a sequência mensal da média geral dos dados relativos ao período de análise, é possível verificar que o registro da precipitação é mutável. Sua modelagem é variável e extremamente dependente dos valores de entrada.

É possível perceber que apesar dos problemas de escala e generalização, os dados do TRMM ainda demonstram um padrão espacial similar ao encontrado na representação dos dados das estações.

Os dados do TRMM apresentam dados contínuos do registro da precipitação, criando uma sequência de dados que representam o fenômeno da precipitação em grandes extensões. Esse processo fica atrelado a um "*continuum*" espacial, definido pela ausência do registro de dados em locais que não possuem estações, preenchendo o vazio espacial da carência de dados em determinados locais.

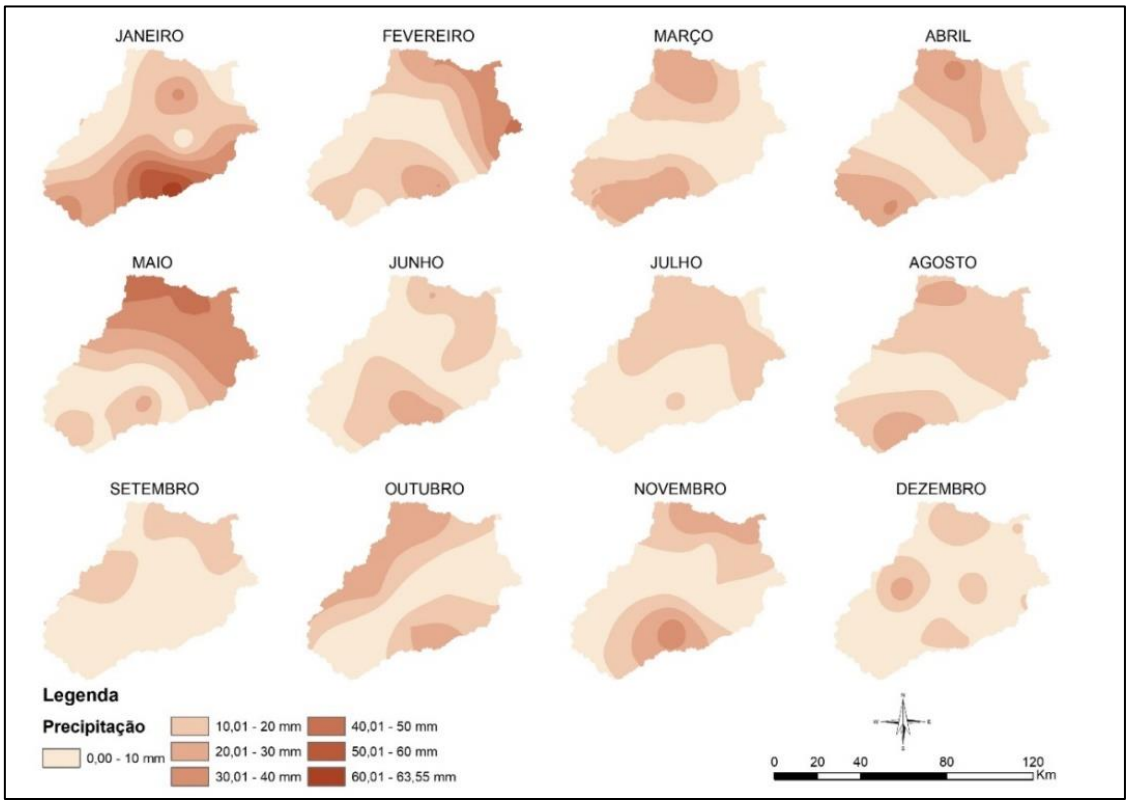
Para uma modelagem do fenômeno espacial que obedeça a uma continuidade espacial, mas mantendo as caraterísticas locais para maior ou menor concentração

pluviométrica, é necessário que ambos os métodos sejam utilizados, criando um método híbrido de modelagem espacial. Contudo, antes de prosseguir para a análise pontual dos dados, é necessário compreender a diferença que ocorre no processo de modelagem, visando identificar no contexto espacial, regiões com maiores divergências.

A Figura 5, fruto do processo de álgebra de mapas, representa a diferença da precipitação para a área de estudo, utilizando como base os dados interpolados dos postos pluviométricos comparados aos dados do TRMM. A diferença entre os modelos de precipitação varia entre 0 mm e 63,55mm, revelando a espacialização das diferenças entre os modelos apresentados. O padrão da regularidade é nítido em alguns casos, como nos meses de junho, julho, agosto e setembro, devido aos menores registros de precipitação. Nesses meses encontra-se um padrão com diferenças menores entre os dados. Isso demonstra que o TRMM tem uma maior similaridade com os dados de superfície em períodos menos chuvosos.

A maior diferença é apresentada no mês de janeiro e salienta as diferenças dos valores registrados na porção centro-sul da BHRJ. Nos meses subsequentes é possível observar que as diferenças estão presentes sempre nas extremidades da bacia hidrográfica, com exceção do mês de dezembro, com o fenômeno concentrado em regiões especificas, distribuídas de forma aleatória na área de estudo.

Figura 5 - Representação da diferença entre os dados interpolados (TRMM x Postos Pluviométricos)



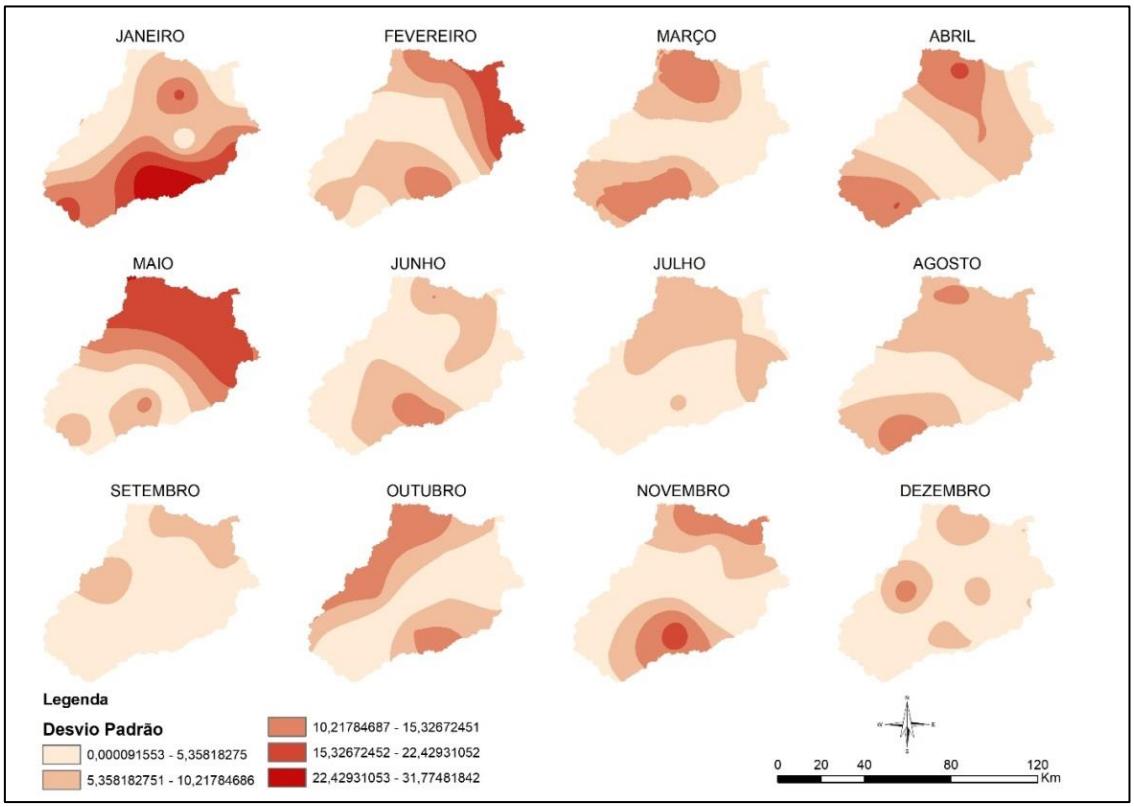
Fonte: o autor, 2020.

A representação do desvio padrão (Figura 6), dividida em cinco classes, indicando o número de desvios em cada *pixel,* é uma medida de dispersão que pode indicar uma possível normalidade nos resultados.

Os cartogramas obtidos permitem identificar as regiões em que ocorre uma diferenciação elevada no padrão espacial dos dados. Percebe-se que a variabilidade dessa dispersão revela o padrão divergente entre os dados.

O desvio padrão, assim como o registro das diferenças (Figura 5), indica como o comportamento espacial da precipitação é registrado de acordo com o modelo de dados que o origina. Fica evidente que a modelagem desse tipo de fenômeno é afetada diretamente pelo modelo de dados utilizado. As localidades estão sujeitas a alterações específicas, que se podem ser registradas com por meio de dados *in loco* e isso nem sempre pode ser averiguado devido à falta de disponibilidade física e técnica.

Figura 6 - Representação do desvio padrão entre os dados interpolados (TRMM x Postos Pluviométricos).



Fonte: o autor, 2020.

Portanto, os modelos digitais provenientes de dados orbitais, indicam uma tendência espacial mais homogênea no comportamento da precipitação e os dados locais indicam as suas particularidades. Como não é possível ter posto de monitoramento em cada local da área de estudo, convém abordar métodos híbridos de análise, buscando realizar ajustes e correção nos dados, de modo a obter uma aproximação da realidade do fenômeno espacial.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de sensores remotos na modelagem da precipitação tem evoluído ao longo do tempo, com diversos estudos e pesquisas sobre este tema.

Contudo, evidencia-se que áreas de clima subtropical úmido, como a Bacia Hidrográfica do Rio Jordão, necessitam de um aprofundamento de pesquisas para validação desses procedimentos, mas, a semelhança entre as duas fontes de dados, indica que esse tipo de dado pode complementar análises sobre o comportamento da precipitação pluvial.

Fica evidente a possibilidade de uso, nas diversas escalas de tempo e de espaço, dos dados TRMM com o intuito de suprir dados faltantes, ajudando a compreender o fenômeno de forma contínua, melhorando os procedimentos de modelagem.

De acordo com os valores apresentados, os dados do TRMM apresentam similaridade ao dado obtido no posto pluviométrico, com valores do coeficiente de determinação acima de 80% em praticamente toda a área de estudo. Entretanto, é evidente que as diferenças que ocorrem nos locais específicos, principalmente com diferenças altimétricas expressivas, necessitam de investigação mais aprimorada dos fenômenos que interferem na dinâmica pluviométrica.

De forma geral, ao avaliar os resultados, pode se concluir que a utilização de dados do TRMM é viável para o estudo da precipitação, principalmente como fonte de caraterização pluviométrica em bacias hidrográficas. Apesar disso, indica-se essa possibilidade como complemento, desde que corrigidos e validados pelos dados de estações pluviométricas convencionais.

A utilização de técnicas estatísticas apropriadas para correção dos dados orbitais é essencial. Nesse sentido, a criação das estações virtuais e sua validação por meio da comparação com dados de superfície, deve ser procedimento obrigatório. Isso demonstra que a simples complementação dos dados de pluviômetros convencionais com dados orbitais não é aconselhável, principalmente em regiões com alta variabilidade temporal e espacial na precipitação pluviométrica.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES GONÇALVES, J. L. e SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorolical Zeitschrift**. V. 22, n. 6, 711–728, 2014.

ALVES, K. S. S.; ALVES, A. V. P.; SANCHES E SOUZA, N.; SANCHES, L.; GAIO, D. C.; SOUZA, G. S.; DE MUSI, C. R. Análise Estatística Entre os Dados de Precipitação Estimada Via Satélite TRMM e Dados Observados de Superfície em Praia - Cabo Verde. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 417–429, 2017.

ARIAS-HIDALGO, M.; BHATTACHARYA, B.; MYNETT, A. E.; VAN RIENSVEN, A. Experiences in using the TMPA3B42R satellite data to complement rain gauge measurements in the Ecuadorian coastal foothills. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, v. 17, n. 7, p. 2905-2915, 2013.

CHEN, Y.; EBERT, E.E.; WALSH, K.E.; DAVIDSON, N.E. Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates of tropical cyclone rainfall using PACRAIN data. **J. Geophys. Res. Atmos**., v. 118, n. 5, p. 2184-2196, 2013.

COSTA, C.; ANDRADE, A. R. Dinâmica da precipitação pluviométrica na cidade de Guarapuava, PR: Condicionantes locais e regionais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 205-224, 2017.

CURTARELLI, M. P.; RENNÓ, C. D.; ALCÂNTARA, E. H. Evaluation of the Tropical Rainfall Measuring Mission 3B43 product over an inland area in Brazil and the effects of satellite boost on rainfall estimates. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 8, n. 1, p. 083589, 2014.

KIDDER, S. Q.; VONDER HAAR, T. H. **Satellite Meteorology: An Introduction**. [s.l.] Elsevier Science, 1995.

LEIVAS, J. F.; RIBEIRO, G. G.; SOUZA, M. B.; ROCHA FILHO, J. R. Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus. Anais **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1611-1616.

MENDONÇA, F. e DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. [s.l.] Oficina de Textos, 2017

MINEROPAR - Serviço Geológico do Paraná. **O Grupo Serra Geral no Estado do Paraná**. Curitiba: Mineropar, 2013. V. 2.

MONTEIRO, C. A. F. Clima. In: **IBGE. Geografia do Brasil - Grande Região Sul**, 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1968, v. IV, tomo I, p.114-166.

PEREIRA, G.; SILVA, M.E.S.; MORAES, E.C. & CARDOZO, F.S. Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 18, n. 3, p.139-148. 2013. http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v18n3.p139-148.

PESSI, D. D. SANTOS, C. S. A dos. NONATO, J. J. DOURADO, L. G. A. SILVA, O.P. BASSINI, R.T. VIERIA JOSE, J. Validação das estimativas de precipitação do satélite TRMM no Estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias,** v.42, n.1, p. 79-88. 2019.

SOARES, A. S. D.; PAZ, A. R.; PICCILLI, D. G. A. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 288-299, 2016.

THOMAZ, E. L.; VESTENA, L. R. **Aspectos climáticos de Guarapuava–PR**. Guarapuava: Editora UNICENTRO, 2003, 106p.

UD DIN, S. *et al.* Site-specific precipitation estimate from TRMM data using bilinear weighted interpolation technique: An example from Kuwait. **Journal of Arid Environments**, v. 72, n. 7, p. 1320–1328, 2008.

Recebido em setembro de 2021.

Revisão realizada em outubro de 2021.

Aceito para publicação em dezembro de 2021