



Precipitação estimada por sensoriamento remoto no estado de Sergipe

Darlan Teles SILVA^{1*}, Bruna Rosiele da Silva BISPO², André Quintão de ALMEIDA³,
Rodolfo Marcondes da SILVA⁴, Marcus Aurélio Soares CRUZ⁵

¹Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Sergipe, Aracaju, SE, Brasil.

²Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Sergipe, Aracaju, SE, Brasil. (ORCID: 0000-0001-5526-7448)

³Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal do Sergipe, Aracaju, SE, Brasil.
(ORCID: 0000-0002-5063-1762)

⁴Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, Butantã, SP, Brasil.
(ORCID: 0000-0001-7551-0505)

⁵Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE, Brasil. (ORCID: 0000-0003-3725-0882)

*E-mail: darlantelesilva@gmail.com (ORCID: 0000-0001-9784-6464)

Recebido em 09/01/2019; Aceito em 04/02/2020; Publicado em 13/04/2020.

RESUMO: Atualmente, dados de sensoriamento remoto, como os do Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), vem sendo utilizados para monitorar a distribuição da chuva no tempo e no espaço. O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade dos dados da precipitação pluvial estimada pelo produto 3B43-TRMM no estado de Sergipe, nas escalas mensal e anual, entre 1998 e 2013. Os valores pontuais estimados pelo TRMM foram comparados com os dados de precipitação obtidos em 13 postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA). Os indicadores estatísticos considerados foram o coeficiente de determinação (R^2), erro médio absoluto (EMA), raiz do erro quadrado médio (REQM) e índice de concordância de Willmott (d). Os valores de R^2 foram de 0,49 e 0,16 nas escalas mensal e anual, respectivamente. Para a escala de tempo mensal as melhores estimativas do produto TRMM foram encontradas na região Semiárida do estado de Sergipe, com valores de R^2 , EMA, REQM e d iguais a 0,54, 27,18 mm e 38,71 mm e 0,83, respectivamente.

Palavras-chave: 3B43-TRMM; climatologia; hidrologia; chuva.

Analysis of estimated precipitation data by remote sensing in the Sergipe state

ABSTRACT: Currently, remote sensing data, such as that of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), has been used to monitor the distribution of rain over time and space. The objective of this work was to evaluate the quality of the rainfall data estimated by the product 3B43-TRMM in the state of Sergipe, on the monthly and annual scales, between 1998 and 2013. The point values estimated by the TRMM were compared with the precipitation data obtained in 13 pluviometric stations of the National Water Agency (ANA). The statistical indications considered were the coefficient of determination (R^2), mean absolute error (EMA), root of the mean square error (REQM) and Willmott's agreement index (d). The R^2 values were 0.49 and 0.16 on the monthly and annual scales, respectively. For the monthly time scale, the best estimates of the TRMM product were found in the semi-arid region of the state of Sergipe, with values of R^2 , EMA, REQM and d equal to 0.54, 27.18 mm and 38.71 mm and 0.83, respectively.

Keywords: 3B43-TRMM, climatology; hydrology; rain.

1. INTRODUÇÃO

A precipitação pluvial, juntamente com a radiação solar, é um dos principais elementos meteorológicos reguladores do clima. Conhecer o padrão de chuva de uma determinada região é de fundamental importância para o planejamento e gestão de obras hidráulicas. Os eventos de precipitação são caracterizados por sua duração, intensidade e frequência (WMO, 2008; WAGNER et al., 2012). O dimensionamento de drenos, vertedouros de barragens e obras contra cheias, necessitam do estudo de intensidade das chuvas para definir a chuva de projeto, dentre outras variáveis de interesse.

Apesar da sua importância, a rede de monitoramento das chuvas no Brasil não é muito densa. O custo de instalação, manutenção e operação dessa rede é muito elevado. Leivas et al. (2014) concluem no seu trabalho que o território brasileiro

apresenta uma rede pouco densa de pluviômetros. Além do custo elevado, algumas regiões do país, como o Norte e Nordeste, apresentam uma baixa densidade demográfica, o que justifica, para alguns, o não adensamento da rede de monitoramento de chuva nestas regiões.

Tradicionalmente, os dados de chuva de uma determinada região são medidos a partir de pluviômetros e/ou pluviografos instalados em estações meteorológicas de superfície, distribuídas aleatoriamente no espaço, principalmente em função de acesso e parcerias para segurança dos equipamentos.

Recentemente, novas técnicas estão sendo utilizadas em estudos hidrológicos globais, no monitoramento do clima, em especial no registro da precipitação pluvial, com grande destaque, para as técnicas de sensoriamento remoto

(SZILAGYI; JOZSA, 2013; FANG; LAKSHMI, 2014; ALMEIDA; et al., 2015).

Uma dessas técnicas desenvolvidas foi a missão Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) que teve início em 1997, contudo, anteriormente ao TRMM foram desenvolvidos dois métodos de estimar a precipitação, sendo estes: TIROS I e GOES; posteriormente ao TRMM foi desenvolvido o GPM (Global Precipitation Measurement). Entretanto, a utilização destes produtos de sensoriamento remoto ainda necessita de validação (CHEN et al., 2013; QIAO et al., 2014). O TRMM tem como objetivo principal, estimar valores de chuva a cada três horas na faixa entre 50° N e 50° S do globo com uma resolução de 0,25° x 0,25° (HUFFMAN et al., 2007; ZHONG, 2012).

Estudos recentes sobre a avaliação do satélite TRMM vem sendo desenvolvidos no território brasileiro, (OLIVEIRA, et al., 2014; ALMEIDA et al., 2015; MELO et al., 2015; AIRES et al., 2016) e em outras partes do mundo, como na Ilha de Bali, (AS-SYAKUR et al., 2011), Indonésia (AS-SYAKUR et al., 2013) e China (CHEN et al., 2013; LI et al., 2013), sendo considerado como uma alternativa consideravelmente eficiente (CAMPAROTTO et al., 2013; SILVA et al., 2013; PEREIRA et al., 2013; CRUZ et al., 2018; MELO et al., 2015). No entanto, alguns estudos (LOUSADA et al., 2018) afirmam que o TRMM tem uma tendência de subestimar nos períodos secos e superestimar nos períodos chuvosos, mas ainda assim, se apresenta como uma solução viável para o monitoramento da chuva.

Portanto, o TRMM pode vir a ser uma importante ferramenta para tentar suprir o déficit da rede de monitoramento da chuva de algumas regiões do Brasil, principalmente no Nordeste (MELO et al., 2015), que apresenta uma rede deficitária de estações meteorológicas para monitoramento da precipitação pluvial. Além disso, os dados do produto TRMM podem ser utilizados para realizar o preenchimento de falhas e homogeneização dos dados de chuva coletados em estações convencionais (ALMEIDA et al., 2015).

Desta forma, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de verificar a confiabilidade de fontes alternativas da medição da precipitação em relação aos dados observados (SALDANHA et al., 2015). Nessa conjuntura, o principal objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade dos valores de precipitação pluvial mensal e anual estimados pela missão TRMM, produto 3B43 no período entre 1998 a 2013,

e comparar com as estações pluviométricas de superfície no estado de Sergipe.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O trabalho foi realizado no estado de Sergipe, localizado na região Nordeste do Brasil (Figura 1). Sendo o menor estado da federação, com uma área aproximada de 21.915,116 km², Sergipe encontra-se, segundo o Sistema de Informações Sobre Recursos Hídricos (SEMARH, 2010), sobre influência de um clima Tropical, dividido em três subclimas: Litoral Úmido (LU), Agreste (A) e Semiárido (SA), com pluviosidade média histórica de aproximadamente 1355 mm, 1000 mm e 700 mm ano⁻¹, respectivamente (Figura 1).

O período chuvoso se concentra normalmente entre Junho e Agosto, com poucas chuvas fora desse período, apresentando longas estiagens, como no Semiárido. As temperaturas médias anuais da região ficam em torno de 23 e 24 °C, com pequenas variações. A hidrografia é composta principalmente pelos Rios São Francisco, Sergipe, Piauí, Real e Vaza-Barris, sendo que todos desaguam no oceano Atlântico. A economia sergipana conta fortemente com a produção agrícola, entretanto, não ocorre uma distribuição uniforme dos recursos hídricos para subsidiar essa produção.

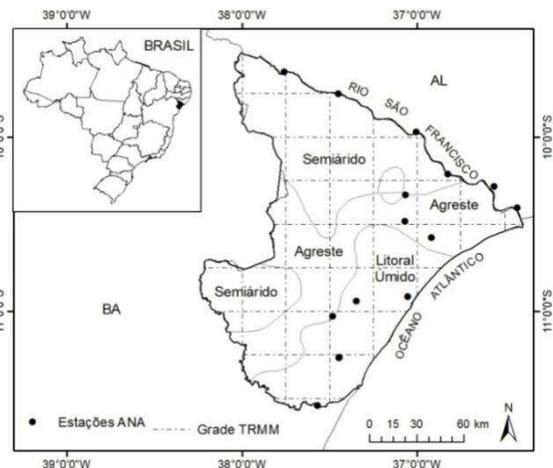


Figura 1. Localização da área de estudo, dos três tipos climáticos existentes em Sergipe, dos postos pluviométricos e da grade do produto TRMM.

Figure 1. Location of the study area, of the three climatic types in Sergipe, of the pluviometry stations and of the TRMM product grid.

Tabela 1. Informações sobre as estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Table 1. Information about stations.

Nome	Código	Latitude	Longitude	Altitude	% de preenchimento de falhas
Aracaju	1037004	-10,92	-37,05	4,72	4,17
Capela	1037078	-10,48	-37,07	139,00	4,69
Estância	1137017	-11,27	-37,44	53,00	1,04
Fazenda Belém	1037007	-10,94	-37,35	19,00	5,21
Fazenda Cajueiro	1036063	-10,58	-36,92	10,00	2,60
Itanhy	1137027	-11,54	-37,57	15,00	1,04
Pão De Açúcar	937018	-9,7525	-37,4467	45,00	4,69
Piaçabuçu	1036007	-10,4064	-36,4261	10,00	4,17
Piranhas	937023	-9,6261	-37,7561	110,00	1,04
Propriá	1036048	-10,2153	-36,8239	17,00	5,73
Salgado	1137001	-11,03	-37,48	92,00	3,65
Santa Rosa De Lima	1037049	-10,3326	-37,0655	0,00	5,73
Traipu	936076	-9,9728	-37,0033	0,00	5,21

2.2. Coleta de dados e período de estudo

Os dados de precipitação pluvial foram coletados em duas fontes: (i) pluviômetros de superfície da rede da Agência Nacional de Águas (ANA), sendo esses considerados dados de referência; e (ii), provenientes de informações de sensoriamento remoto (TRMM).

As séries de dados de precipitação pluvial da rede da ANA foram obtidas na escala diária em 13 postos pluviométricos (Tabela 1), dos quais dois pontos se localizam no estado de Alagoas, próximos à divisa do estado de Sergipe (Figura 1).

O estudo foi realizado considerando, três diferentes subclimas encontrados no estado, sendo que para as condições de clima Litoral Úmido foram considerados cinco postos de monitoramento da ANA e quatro estações para o Semiárido

e Agreste. O período analisado foi de Janeiro de 1998 até Dezembro de 2013, totalizando uma série de 16 anos, sendo os dados obtidos junto ao sistema Hidroweb – ANA.

Na fase de pré-processamento, foi realizado o preenchimento das falhas de algumas estações. O preenchimento de falhas foi realizado por uma regressão linear simples, ajustada entre pares de estações localizadas mais próximas (Tabela 2). Como critério de seleção do ajuste das equações, foi utilizado o valor de R^2 superior a 0,7, assim como recomendado por Pruski et al. (2004) e Oliveira et al. (2010). Segundo Tucci (2002), o método de preenchimento de falha pela regressão linear é mais aprimorado em comparação com a ponderação regional.

Tabela 2. Regressão linear entre as estações da ANA com o intuito de preencher as falhas.

Table 2. Linear regression between ANA stations in order to fill in the gaps.

Estação preditora	Estação predita	Equação	R^2
Aracaju	Fazenda Belém	$Pe = 0,8944 Po + 26,594$	0,76
Estância	Salgado	$Pe = 1,0512 Po + 20,271$	0,73
Estância	Itanhy	$Pe = 0,7629 Po + 33,581$	0,74
Aracaju	Capela	$Pe = 0,762 Po + 13,696$	0,76
Pao de Açúcar	Traipu	$Pe = 0,8443 Po - 0,7467$	0,75
Pao de Açúcar	Piranhas	$Pe = 0,7013 Po + 9,1625$	0,71
Penedo	Fazenda Cajueiro	$Pe = 0,8386 Po + 9,7957$	0,76
Penedo	Piaçabuçu	$Pe = 0,613 Po + 13,966$	0,72

em que: Pe - é a precipitação estimada; Po - é a precipitação observada, todas em milímetros.

As informações de sensoriamento remoto foram obtidas da missão Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), produto 3B43, na escala de tempo mensal e com uma grade (resolução) de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, para todo território Sergipano (Figura 1). Os dados do TRMM foram adquiridos no formato TIF, pelo endereço eletrônico: <http://disc.gsfc.nasa.gov/precipitation/tovas>.

2.3. Análise dos dados

Foram consideradas as escalas mensal e anual para análise temporal, conforme recomendações de Louzada et al. (2015) e Li et al. (2013). Para cada intervalo de tempo, os dados foram analisados ponto a ponto, considerando todo o território do Estado, além das três regiões climáticas existentes, o Litoral Úmido (LU), o Agreste (AG) e o Semiárido (SA) (Figura 1).

Com base em uma avaliação preliminar, foi possível perceber que em um mesmo pixel da grade TRMM, se encontravam duas estações da ANA, fazendo com que os valores estimados do TRMM fossem o mesmo (Figura 1). Dessa forma, assim como descrito por Louzada et al. (2015), foi feita a média entre os pluviômetros dentro do mesmo pixel, pois deste modo a média da precipitação dos pluviômetros, representariam melhor a estimativa da precipitação na área de um pixel.

Nesse trabalho, indicadores quantitativos estatísticos foram utilizados para avaliar a exatidão e a precisão dos dados de precipitação pluvial obtidos a partir do TRMM, sendo eles: o coeficiente de determinação, R^2 (Equação 1) (precisão), o erro médio absoluto, EMA (Equação 2), a raiz do erro quadrado médio, REMQ (Equação 3) e o índice de concordância de Willmott (WILLMOTT et al., 1985) (exatidão), designado pela letra “d” (Equação 4).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - \hat{O}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (O_i - \hat{O}_i)^2} \quad (01)$$

$$EMA = \frac{\sum_{i=1}^N |P_i - O_i|}{N} \quad (02)$$

$$REMQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N}} \quad (03)$$

$$d^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{P_i - \bar{P}}{\bar{P}} \right)^2 + \left(\frac{O_i - \bar{O}}{\bar{O}} \right)^2 \right]} \quad (04)$$

em que: P_i = precipitação estimada (mm) pelo satélite TRMM no intervalo de tempo i ; O_i = precipitação observada (mm) em determinado intervalo de tempo i ; n = número de dados analisados; \bar{P} = valor médio estimado de precipitação (mm) pelo satélite TRMM; \bar{O} = valor médio observado de precipitação (mm) em determinada EMC.

3. RESULTADOS

Considerando toda a série histórica de dados (1998 a 2013), ou seja, a análise ponto a ponto, e as três regiões climáticas presentes no Estado de Sergipe, nota-se a que os dados mensais de chuva apresentaram melhores resultados, Figura 3. Na Figura 4, são apresentados os valores médios mensais e anuais dos dados obtidos da ANA, de 1998 a 2013, assim como, os valores mensais e anuais estimados pelo satélite TRMM, além de seus respectivos valores de desvio padrão (barras verticais). Pela análise desta figura, é possível

notar o padrão de distribuição das chuvas no Estado ao longo dos meses e anos.

Na Tabela 3, é possível analisar os valores médios mensais e anuais dos erros encontrados entre os valores de precipitação dos postos da ANA e do produto 3B43-TRMM, também com base na série histórica dos dados. Ao considerar todos os climas presentes no Estado, o maior erro foi observado no mês de Julho (46 mm), o que corresponde a 19% menos chuva do que observado no pluviômetro de superfície. Considerando os três climas existentes e a escala anual, o erro foi de apenas menos 11%, o que equivale a 121 mm. Ao considerar apenas a região de clima úmido, os erros foram maiores, chegando a 43% no mês de Julho, período de maior precipitação na região.

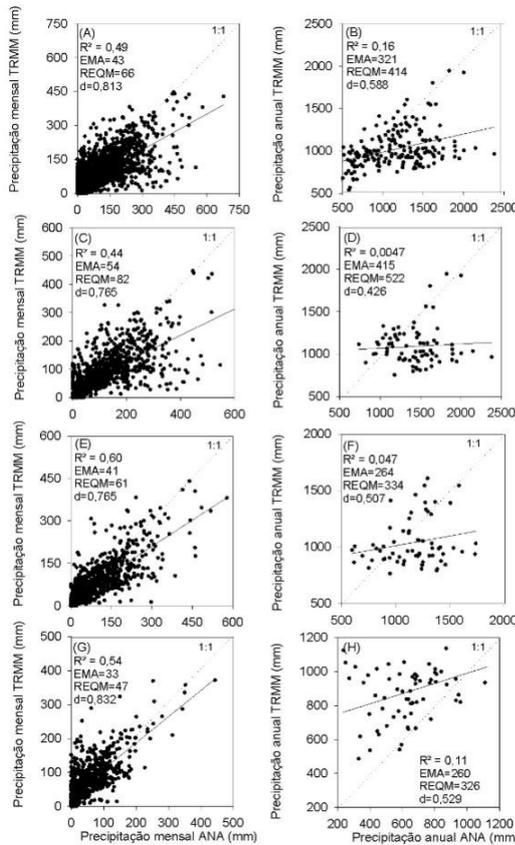


Figura 3. Dispersão da precipitação mensal e anual do produto TRMM3B43 e das medidas em estações meteorológicas de superfície, no período de 1998 a 2013, no Estado de Sergipe: (A e B) todos os climas, (C e D) Litoral Úmido, (E e F) Agreste e (G e H) Semi-árido.

B) todos os climas, (C e D) Litoral Úmido, (E e F) Agreste e (G e H) Semi-árido.

Figure 3. Scatter plot of the monthly and annual precipitation data of the TRMM3B43 product and of the ANA surface meteorological stations from 1998 to 2013 for the State of Sergipe: (A and B) all climates, (C and D) (E and F) Agreste and (G and H) Semi-arid.

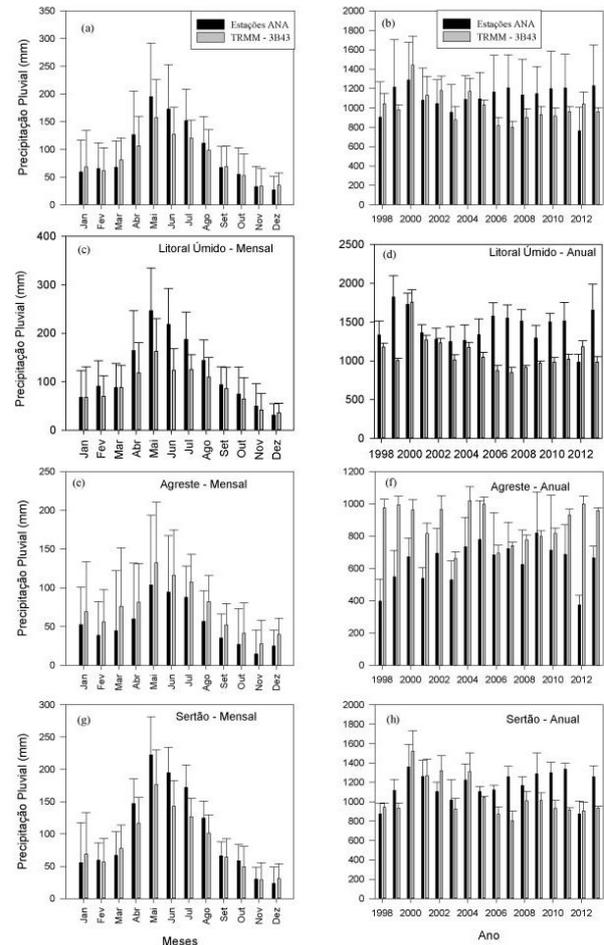


Figura 4. Precipitação mensal (mm mês⁻¹) e anual (mm ano⁻¹), observados em medidas de estações Meteorológicas e pelo satélite TRMM (produto TRMM3B43), no Estado de Sergipe, entre 1998 e 2013.

Figure 4. Monthly (mm month⁻¹) and annual (mm year⁻¹) rainfall, measured in weather stations and TRMM satellite measurements (product TRMM3B43), in the State of Sergipe, between 1998 and 2013.

Tabela 3. Análise Estatística entre o produto TRMM3B43 e as estações pluviométricas da ANA.
Table 3. Statistical Analysis between the product TRMM3B43 and the rainfall stations of ANA.

Mês/ano	Total		Litoral Úmido		Agreste		Semi-árido	
	Erro (mm)	Erro (%)	Erro (mm)	Erro (%)	Erro (mm)	Erro (%)	Erro (mm)	Erro (%)
Jan	-20	16	-46	28	-30	21	22	36
Fev	-13	11	-34	24	-23	19	25	44
Mar	9	32	5	16	7	30	15	60
Abr	-4	6	-21	23	-3	5	17	45
Mai	9	15	0	0	13	23	16	31
Jun	-31	21	-62	33	-45	26	20	23
Jul	-46	26	-95	43	-52	27	21	23
Ago	-38	19	-85	34	-46	21	28	27
Set	13	19	0	0	11	16	31	70
Out	1	2	-8	16	-1	5	13	90
Nov	-2	4	-10	13	-9	16	14	51
Dez	1	2	-8	9	-2	4	17	49
Ano	-121	-11	-363	-25	-182	-15	241	38

4. DISCUSSÃO

Analisando as Figuras 2A e 2B, podemos observar os maiores valores do coeficiente de determinação e do coeficiente de concordância de Willmott, além, dos menores valores de erro médio absoluto (EMA) e da raiz do erro quadrado médio (REQM) quando comparados com os valores anuais.

Uma vez que os valores de chuva estimados mensalmente pelo TRMM são sempre menores do que os observados, no acumulado do ano, possivelmente, a diferença entre o medido e o estimado tende a ser maior, o que é corroborado pelos piores índices estatísticos encontrados (Figura 2B).

As estimativas da precipitação utilizando dados de sensoriamento remoto, como o TRMM, apresentam como vantagens, a (i) repetitividade e coleta sistemática dos dados, (ii) frequência de amostragem superior ao da rede convencional de postos pluviométricos, além de (iii) fornecer informação sobre a distribuição espacial da precipitação de forma gratuita (PAZ; COLLISCHONN, 2011).

Ao considerar separadamente os três tipos climáticos existentes em Sergipe, os valores mensais também apresentaram melhores resultados (Figura 3C, E e G). A exatidão foi avaliada pelo índice de concordância de Willmott (d), sendo também encontrado os melhores resultados para a escala mensal, com valores de 0,81, 0,76, 0,85 e 0,83 para todo o Estado, clima Litoral Úmido, Agreste e Semiárido, respectivamente.

Observa-se uma melhor concordância ($R^2 > 0,54$ e $d > 0,83$) dos dados mensais nas regiões do Agreste e Semiárido sergipano (Figura 3E e G). Resultado semelhante ao encontrado por Mello et al. (2015), no estudo de avaliação dos dados espaciais do TRMM para todo território brasileiro. O resultado encontrado para estas regiões (Agreste e Semiárido) é muito importante, se tratando de áreas com baixa densidade de postos pluviométricos de superfície (Figura 1).

Nota-se também que os melhores resultados mensais encontrados estão localizados nas áreas de clima mais seco (Figura 2G), podendo estar relacionados com os menores valores precipitados ($< 700 \text{ mm ano}^{-1}$), resultado semelhante encontrado por Pereira et al. (2006), LOUZADA et al., (2015) e Camparotto (2013).

É importante destacar também que, em grande parte do Estado, a subestimativa dos valores de precipitação pluvial por parte do produto TRMM, semelhante ao encontrado por Li et al. (2013) na bacia do rio Xinjiang, na China e por Vila et al. (2009) na região da América do Sul. No entanto, este comportamento foi contrário ao encontrado por Danelichen et al. (2013) na região Centro-Oeste do Brasil.

Os maiores eventos de precipitação estão concentrados entre os meses de Junho a Agosto, o que caracteriza o inverno frio e úmido da região Nordeste do Brasil (RODRIGUEZ et al., 2015). O mesmo comportamento sazonal aqui encontrado, foi observado por As-Syakur et al. (2013) em um estudo sobre os dados TRMM na Indonésia. Os valores estimados de chuva pelo produto TRMM foram inferiores ao da ANA (Figura 4), principalmente na região do Litoral Úmido (Figura 4C e D). No entanto, pode-se observar um comportamento contrário para a região do semiárido (Figura 4G e H), com valores estimados pelo TRMM superiores aos da ANA, isso também na escala anual.

Ao analisar os valores anuais, também se percebe a subestimativa dos dados TRMM, menos para a região Semiárida (Figura 4H). No entanto, em alguns anos analisados, os valores registrados pela ANA foram menores do que o observado pelo produto 3B34 nesta região. Nota-se que nos anos compreendidos entre 2000 e 2002 (Figura 4B e F), que os valores do TRMM foram superiores aos da ANA, o que pode ser explicado pelo fato de terem sido anos mais secos em relação ao demais anos. Já na região Semiárida, os valores provenientes de sensoriamento remoto foram superiores em praticamente todos os anos analisados.

Observando a Tabela 1, o erro máximo (27%) da região do Agreste também foi observado no mês de Julho, correspondendo a 52 mm abaixo do observado pelas estações da ANA. Nota-se que o produto 3B34 do TRMM superestimou os valores de precipitação, quando comparados com os dados obtidos da ANA. Além disso, nesta mesma região, foram observados os maiores erros. Alguns estudos (LOUZADA et al., 2018) afirmam que o TRMM tem uma tendência de superestimar as precipitações, enquanto outros, mostram uma tendência de subestimativa (AS-SYAKUR et al., 2011). Já em outros trabalhos (LI et al, 2012), o produto TRMM não apresentou um padrão, super e subestimando os valores de precipitação pluvial, mostrando a importância de conhecer o padrão do produto em determinada região.

Cabe ressaltar, que a baixa densidade de rede de monitoramento pluviométrico não é exclusividade do Sertão Sergipano. Podendo assim, os dados do produto 3B43 ser utilizados com segurança nas regiões de clima semiárido do Brasil.

Outra vantagem da obtenção dos dados por sensoriamento remoto (TRMM – 3B43) é a periodicidade das imagens com as informações de precipitação que apresentam número insignificante de falhas na série histórica, característica também observada por Collischonn et al. (2007).

5. CONCLUSÕES

Considerando todos os climas existentes no Estado de Sergipe, as estimativas de precipitação mensal pelo produto 3B4B-TRMM apresenta erros aceitáveis.

Em relação ao total anual precipitado, os resultados encontrados neste estudo não mostram um bom desempenho do produto 3B4B-TRMM, não sendo recomendado sua utilização.

As melhores estimativas de precipitação acumulada mensal foram observadas no clima do Agreste e Semiárido de Sergipe.

Os dados do TRMM podem ser utilizados para suprir o déficit das estações pluviométricas no Estado de Sergipe, principalmente na região de clima Semiárido na escala mensal.

6. REFERÊNCIAS

- AIRES, R. V.; MELO NETO, J. O.; MELLO, C. R. Estimativas de precipitação derivadas do satélite TRMM para a bacia hidrográfica do Rio Paraopeba, MG. *Scientia Agraria*, Curitiba, v. 17, n. 2, p. 57-66, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v17i2.46384>
- ALMEIDA, C. T. de; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA JUNIOR, J. F.; GOIS, G.; CAVALCANTI, A. S. Avaliação das Estimativas de Precipitação do Produto

- 3B43-TRMM do Estado do Amazonas. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n. 3, p. 279-286, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.112114>
- AS-SYAKUR, A. R.; TANAKA, T.; OSAWA, T.; MAHENDRA, M. S. Indonesian rainfall variability observation using TRMM multi-satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 34, n. 21, p. 7723–7738, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2013.826837>
- AS-SYAKUR, A. R.; TANAKA, T.; PRASETIA, R.; SWARDIK, I. K.; KASA, I. W. Comparison of TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA) products and daily-monthly gauge data over Bali. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 32, n. 24, p. 8969–8982, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2010.531784>
- CAMPAROTTO, L. B.; BLAIN, G. C.; GIAROLLA, A.; ADAMI, M.; CAMARGO, M. B. P. Validação de dados termoplúviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 6, p. 665–671, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000600013>
- CHEN, S.; HONG, Y.; CAO, L.; GOURLEY, J. J.; KIRSTETTE, P. E.; YOUNG, B.; TIAN, Y.; ZHANG, Z.; HU, J.; HARDY, J. Similarity and difference of the two successive V6 and V7 TRMM multisatellite precipitation analysis performance over China. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 118, n. 23, p. 13060-13074, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/2013JD019964>
- COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai Superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, Monte Carmelo, v. 59, n. 1, 11.
- CRUZ, M. A. S.; ROCHA, L. T.; ARAGAO, R. de; ALMEIDA, A. Q. de. Applicability of TRMM Precipitation for Hydrologic Modeling in a Basin in the Northeast Brazilian Agreste. **Revista brasileira de meteorologia**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 57-64, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/0102-7786331013>
- FANG, B.; LAKSHMI, V. Soil moisture at watershed scale: Remote sensing techniques. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 516, p. 258–272, 2014. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.12.008>
- HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; BOLVIN, D. T.; GU, G.; NELKIN, E. J.; BOWMAN, K. P.; HONG, Y.; STOCKER, E. F.; WOLFF, D. B. The TRMM multi-satellite precipitation analysis: Quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scale, **Journal of Hydrometeorology**, Boston, v. 8, n. 1, p. 38–55, 2007. DOI: <https://dx.doi.org/10.1175/JHM560.1>
- LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; DE CASTRO VICTORIA, D.; TORRESAN, F. E.; BOLFE, E. L. Monitoramento da seca 2011/2012 no nordeste brasileiro a partir do satélite SPOT-Vegetation e TRMM. **Revista Engenharia Na Agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 211-221, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.13083/reveng.v22i3.454>
- LI, X.; ZHANG, Q.; YE, X. Dry/Wet Conditions Monitoring Based on TRMM Rainfall Data and Its Reliability Validation over Poyang Lake Basin, China. **Water**, Basel, v. 5, n. 4, p. 1848-1864, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/w5041848>
- LOUZADA, F. L. R. O.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, E. M. Climatological water balance with data estimated by tropical rainfall measuring mission for the doce river basin. **Engenharia Agrícola**, v. 38, p. 376-386, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v38n3p376-386/2018>
- MELO, D. C. D.; XAVIER, A. C.; BIANCHI, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; SCANLON, B. R.; LUCAS, M. C.; WENDLAND, E. Performance evaluation of rainfall estimates by TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis 3B42V6 and V7 over Brazil. **Journal of Geophysical Research Atmospheres**, v. 120, n. 18, p. 9426–9436, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/2015JD023797>
- OLIVEIRA, F. C. de; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS, A. M. M.; SILVA, M. A. S. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 11, p. 1186–1192, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010001100008>
- OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; MORAN, M. S.; GOODRICH, D. C.; WENDLAND, E.; GUPTA, H. V. Trends in water balance components across the Brazilian Cerrado. **Water Resources Research**, v. 50, n. 9, p. 7100-7114, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/2013WR015202>
- PAZ, A. R.; COLLINSCHONN, W. Avaliação de estimativas de campos de precipitação para modelagem hidrológica distribuída. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 109-120, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862011000100010>
- PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; RÜTHER, R. **Brazilian solar energy atlas (atlas brasileiro de energia solar)**. INPE: São José dos Campos, 2006. 66 p.
- 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**, Porto Alegre, v. 18, n. 3, p. 139-148, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v18n3.p139-148>
- PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; Ramos, M. M. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2-3, p. 247-253, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662004000200013>
- QIAO, L.; HONG, Y.; CHEN, S.; ZOU, C. B.; GOURLEY, J. J.; YONG, B. Performance assessment of the successive Version 6 and Version 7 TMPA products over the climate-transitional zone in the southern Great Plains USA, **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 513, pag.446–456, 2014, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.040>
- RODRIGUEZ, R. D. G.; SINGH, V. P.; PRUSKI, F. F.; CALEGARIO, A. T. Using entropy theory to improve the definition of homogeneous regions in the semi-arid region of Brazil. **Hydrological Sciences Journal**,

- Oxford, v. 61, n. 11, p. 2096-2109, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2015.1083651>
- SALDANHA, C. B.; RADIN, B.; CARDOSO, M. A. G.; RIPPEL, M. L.; FONSECA, L. L.; RODRIGUEZ, F. Comparação dos dados de precipitação gerados pelo GPCP vs observados para o estado do rio grande do sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 30, n. 4, 297-308, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620140139>
- SEMARH, Secretaria Extraordinária do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e Minerais, 2010.
- SILVA, D. F.; PANTANO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Análise de dados de Precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Vale do Médio Paranapanema – SP. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 21, n. 2, p. 138-147, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.13083/1414-3984.v21n02a04>
- SZILAGYI, J.; JOZSA, J. MODIS-aided statewide net groundwater-recharge estimation in Nebraska. **Ground Water**, Dublin, v. 51, n. 5, p. 735-744, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.1111/j.1745-6584.2012.01019.x>
- TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazão**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 256 p
- VILA, D. A.; GONÇALVES, L. G. G.; TOLL, D. L.; ROZANTE, J. R. Statistical evaluation of combined daily gauge observations and rainfall satellite estimates over continental South America. **Journal of Hydrometeorology**, Boston, v. 10, p. 533-543, 2009. DOI: <https://dx.doi.org/10.1175/2008JHM1048.1>
- WAGNER, P. D.; FIENER, P.; WILKEN, F.; KUMAR, S.; SCHNEIDER, K. Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 464, p. 388–400. 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.07.026>
- 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 evaluation and comparisons of models. **Journal of Geophysical Research**, Ottawa, v. 90, n. C5. p. 8995-9005, 1985. DOI: <https://dx.doi.org/10.1029/JC090iC05p08995>
- WMO_WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to hydrological practices: Hydrology—from measurement to hydrological information**. 6. ed. Geneva: World Meteorological Organization, 2008. 296 p. (WMO, n. 168)
- ZHONG, L. Comparison of precipitation estimates between Version 7 3-hourly TRMM Multi-Satellite Precipitation Analysis (TMPA) near-real-time and research products. **Atmospheric Research**, v. 153, p. 119-133, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.07.032>