

A QUALIDADE DA PRECIPITAÇÃO OBTIDA PELO SATÉLITE TRMM E SUAS REPERCUSSÕES NA MODELAGEM HIDROLÓGICA

Guilherme Santiago Carrijo Cabral Souza¹ & Dirceu S. Reis Jr.²

Resumo – Este artigo investiga a qualidade das estimativas de precipitação por sensoriamento remoto obtidas pelo Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) e identifica como as incertezas envolvidas no processo são propagadas na simulação de séries de vazões empregando modelos hidrológicos. O estudo se restringe à precipitação média na bacia, com foco nas escalas diária e mensal, empregando métricas categóricas (tabelas de contingência 2x2), e métricas tradicionais de análises de séries contínuas. Os resultados para a bacia hidrográfica contribuinte à estação fluviométrica de Iguatú, no Ceará, baseados em 7 anos de dados do TRMM, mostram que as estimativas de precipitação TRMM podem ser utilizadas de forma adequada em regiões onde a rede de monitoramento é esparsa ou inexistente. Na escala mensal, a proporção de acertos (PC) da chuva foi acima de 90%, independente do limite de precipitação, enquanto que a taxa de acertos (H) foi praticamente de 100%, embora com uma tendência à superestimativa. As vazões mensais simuladas com a chuva obtida pelo TRMM ficaram bem próximas daquelas simuladas com a chuva observada, com coeficiente de Nash-Sutcliff (NS) de 0.91 e coeficiente de correlação (ρ) de 0.96. Na escala diária, o desempenho é inferior, com NS de 0.61 e ρ de 0.84.

Palavras-Chave – Sensoriamento remoto, TRMM, precipitação.

THE QUALITY OF TRMM PRECIPITATION ESTIMATION AND ITS REPERCUSSIONS IN HYDROLOGIC MODELING

Abstract – This paper investigates the quality of TRMM precipitation estimates, and verify how the uncertainties in these estimates are propagated into the simulation of streamflow series by hydrologic models. The study deals only with average-basin precipitation in both monthly and daily time scales. It employs categorical and non-categorical verification metrics. Results for the Iguatu streamflow gage basin, located in the state fo Ceará, based on 7 years of data, show that TRMM precipitation estimates adequately represents observed precipitation data, and could be used in regions with sparse or none moitoring network. On the monthly time scale, the proportion of correct (PC) were greater than 90%, regerdless of the precipitation threshold, whereas the Hit Rate (H) were basically 100%, although there is a presence of positive bias. Monthly streamflows simulated with TRMM precipitation estimates were very close to those simulated with observed rainfall, with Nash-Sutcliff efficiency coefficient (NS) equal to 0.91 and coefficnet of correlation (ρ) of 0.96. On the daily tim escale, the performance was inferior with NS = 0.61 and ρ = 0.84.

Keywords – Remote sensing, TRMM, precipitation.

¹ Bolsista de Iniciação Científica, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília – UnB, guilhermesccs@gmail.com.

² Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos - PTARH, UnB, dirceu.reis@gmail.com.

1- INTRODUÇÃO

Precipitação é um componente primordial do ciclo hidrológico, e seu registro ao longo do tempo é uma informação imprescindível em vários tipos de estudos nas mais diversas áreas, tais como, agricultura, abastecimento humano, energia hidrelétrica, defesa contra inundações, convivência com a seca, entre outros.

Informações sobre as características da chuva numa dada região podem ser obtidas de várias formas, por meio de sistemas de observação *in situ*, baseados na operação de pluviômetros ou pluviógrafos, por meio de radares instalados na superfície, e até mesmo por meio de sensores passivos e ativos instalados em satélites. Entretanto, em termos operacionais, pluviômetros e pluviógrafos são ainda os instrumentos mais comuns para se medir a precipitação, e são geralmente empregados para corrigir ou calibrar algoritmos de estimativa de chuva, obtidas por sensores em radares e satélites. Apesar do custo relativamente baixo de instalação, a manutenção de uma rede convencional de pluviômetros e pluviógrafos não é uma tarefa fácil, e tampouco barata, tendo como consequência vastas áreas do território brasileiro com uma densidade baixa de aparelhos, acarretando incertezas em suas estimativas sobre grandes áreas.

Ao longo das última décadas observou-se um avanço enorme na capacidade de se observar variáveis meteorológicas de forma remota, por meio de sensores instalados em satélites. Kidd *et al.* (2010) fornece uma descrição detalhada desse processo histórico. A utilização de produtos de estimativa de precipitação por sensoriamento remoto parece uma alternativa promissora no futuro, em especial naquelas regiões onde a densidade de estações é baixa, ou onde simplesmente a rede inexistente. Um dos produtos disponíveis hoje em dia é aquele proveniente da missão TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), que foi lançado em 1997, tendo sido projetado única e exclusivamente para a estimativa de precipitação.

Neste artigo foram usados dados provenientes da missão TRMM, equipada com 5 sensores: Radar Imageador de Micro-ondas, Escaneador de luz visível e de infra-vermelho, sensor de energia radiante das nuvens e da superfície terrena, e um sensor de relâmpagos (Collischonn, 2006; Fekete, 2004). O produto de estimativa de precipitação com base no satélite TRMM procura combinar duas fontes de informação, uma proveniente de sensores passivos na faixa do infra-vermelho (IR), localizados em satélites geoestacionários, que apresentam uma alta resolução, e sensores de micro-ondas (MW), localizados em satélites de órbita polar, e que fornecem uma estimativa melhor de precipitação, mas que costumam passar apenas uma ou duas vezes por dia numa dada região (Asadullah, 2008).

O objetivo desse estudo é avaliar a qualidade das estimativas de precipitação obtidas pela missão TRMM através de comparações com os dados de superfície medidos por meio de pluviômetros, e avaliar como as incertezas desse produto se propagam na simulação de vazões obtidas com o uso de um modelo hidrológico conceitual e concentrado, que vem sendo utilizado nas previsões de vazão na escala climática em diversas bacias do estado do Ceará (Reis *et al.*, 2007).

2- METODOLOGIA

Os dados utilizados na análise foram aqueles obtidos pelo satélite TRMM (produto 3B43 V6) e os observados pela rede de monitoramento da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), que consiste de valores médios na bacia contribuinte ao posto fluviométrico Iguatu, calculados pelo método de Thiessen. A análise foi realizada nas escalas diária e mensal, entretanto, por limitação de espaço, este artigo apresenta apenas a análise a nível mensal. O período analisado foi de sete anos, de 1 de janeiro de 2004 a 31 de dezembro de 2010, num total de 2557 pares de dados. Entretanto, no caso da precipitação, a análise se limitou aos meses de outubro a junho, já que no período restante as precipitações são praticamente nulas.

A metodologia para a verificação da qualidade dos dados obtidos pelo satélite TRMM, assim como sua influência na modelagem hidrológica, consiste de uma combinação de métricas empregadas em estudos de verificação de sistemas de previsões de chuva e de vazão (Wilks, 2006; Gebremichael, 2010). As métricas utilizadas são divididas em dois grupos: (a) métricas categóricas, utilizadas na avaliação das estimativas de precipitação, baseadas numa tabela de contingência, que no caso desse artigo é de 2x2, onde os valores de precipitação são divididos em duas categorias, podendo estar abaixo de um limite pré estabelecido, ou acima deste limite, conforme pode ser observado na Tabela 1, e (b) métricas contínuas, utilizada para avaliar as repercussões nas estimativas de vazão simulada por um modelo hidrológico, neste caso o coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe, bastante popular em hidrologia.

Tabela 1 - Tabela de contingência 2x2 para um dado limite de chuva

		P_{obs}	
		$> P_{lim}$	$< P_{lim}$
P_{TRMM}	$> P_{lim}$	a	b
	$< P_{lim}$	c	d

A utilização de métricas categóricas pressupõe a definição de um limite de chuva, a partir do qual são definidas as duas categorias, acima e abaixo desse limite. Os valores escolhidos para esses limites, na escala mensal, foram o primeiro, segundo e terceiro quartis da amostra observada. Como essas métricas não são tão conhecidas na comunidade hidrológica, as mesmas são descritas na sequência

A razão de bias indica se, em média ao longo do período de análise, a estimativa de chuva obtida pelo TRMM está na mesma classe da chuva observada. Não é possível afirmar se nos dias em que o TRMM estimou chuva superior ao limite, observou-se de fato uma precipitação também superior ao limite. Quando $B = 1$, o sistema é considerado não tendencioso, ou seja, na média ele não superestima ($B > 1$) e tampouco subestima ($B < 1$) os valores observados de precipitação.

A proporção de acertos representa a proporção de dias ou meses nos quais o TRMM estima valores de precipitação na mesma classe das precipitações observadas. Se $PC = 1$, pode-se dizer que

o TRMM estimou valores de chuva na mesma classe da chuva observada ao longo de todo o período de análise.

A taxa de acerto (H) é uma probabilidade condicional. Ela indica se o TRMM estimou chuva numa dada classe, dado que a chuva observada foi de fato nesta classe. Neste estudo, a classe em questão é sempre aquela localizada acima do limite pré-estabelecido.

A taxa de alarme falso (F) é outra probabilidade condicional, que procura expressar o quão frequentemente o TRMM estima chuvas acima do limite pré-estabelecido, dado que a chuva observada tenha sido abaixo desse limite.

As métricas contínuas, por já serem bastante conhecidas na comunidade hidrológica, são apenas listadas aqui: tendenciosidade (B_c), raiz quadrada do erro médio quadrático (RMSE) e coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliff (NS).

Tabela 2: Métricas categóricas e contínuas empregadas na análise.

Métricas	Fórmulas
Razão de <i>Bias</i>	$B = \frac{a + b}{a + c}$
Proporção de Acertos	$PC = \frac{a + d}{a + b + c + d}$
Taxa de Acerto	$H = \frac{a}{a + c}$
Taxa de Alarme Falso	$F = \frac{b}{b + d}$
Tendenciosidade	$B_c = \frac{\sum P_{TRMM_i}}{\sum P_{obs_i}}$
Raiz Quadrada do Erro Quadrático Médio	$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\sum (P_{TRMM_i} - P_{obs_i})^2}$
Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliff	$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^T (Q_{TRMM_i} - Q_{Pobs_i})^2}{\sum_{i=1}^T (Q_{Pobs_i} - \bar{Q}_{Pobs})^2}$

3- RESULTADOS

3.1 Precipitação

A Tabela 3 mostra os resultados das métricas de verificação utilizadas para analisar a proximidade entre a precipitação mensal estimada pelo TRMM e a precipitação mensal observada. A proporção de acertos foi acima de 92% para os três limites analisados, enquanto que o *Bias* ficou

em torno de 6%, considerando o limite de precipitação de 9.5 mm, e subindo a até 25% para o limite equivalente ao terceiro quartil. Os resultados mostram uma tendência a superestimativa das precipitações mensais, pelo menos em termos categóricos. Os resultados mostram também que a tendenciosidade (B_c), quando se analisa o problema de forma contínua, é da ordem de 6 mm, enquanto que o erro médio padrão, baseado na raiz quadrada do erro médio quadrático, é da ordem de 16 mm. O gráfico (a) da Figura 1 apresenta as séries temporais de precipitação observada e a obtida do TRMM, onde pode-se observar a proximidades entre as duas séries, enquanto o gráfico (b) plota os valores da duas séries, uma contra a outra, fornecendo uma forma alternativa de comparação entre as duas.

Tabela 3: Resultados da avaliação da estimativa de chuva a nível mensal.

Métricas Categóricas			
	1º quartil (9.5 mm)	Mediana (44.9 mm)	3º quartil (107.4 mm)
PC	0.92	0.94	0.94
F	0.25	0.13	0.09
H	0.98	1.00	1.00
B	1.06	1.13	1.25
Métricas Contínuas			
B_c	6.3 mm		
MSE	266.9 mm ²		
$RMSE$	16.3 mm		

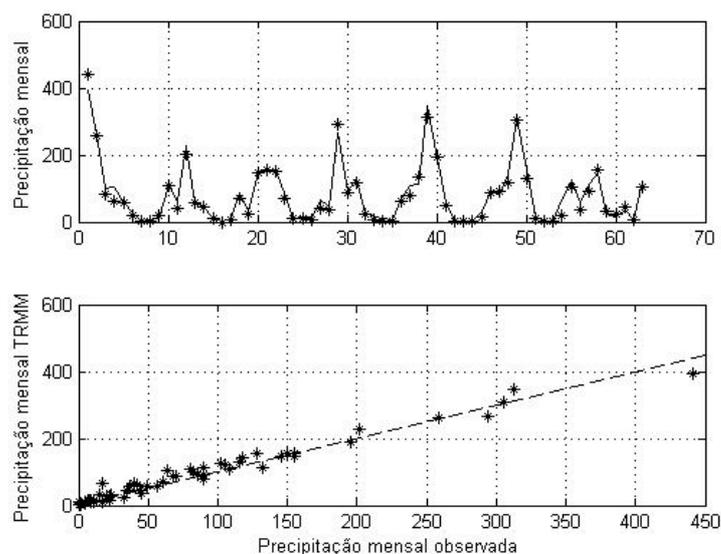


Figura 1: Comparação entre os valores de precipitação estimados pelo TRMM e os observados pela rede de monitoramento (linha tracejada indica reta de 45°).

3.2 Vazão

A Tabela 4 3 mostra os resultados do estudo de verificação dos valores simulados de vazão. As duas séries vazões foram simuladas pelo modelo hidrológico SMAP. Assim podemos ter uma idéia de como a qualidade das estimativas obtidas pelo TRMM influencia a simulação de vazões baseadas em modelos hidrológicos.

Os resultados mostram que as vazões também ficam superestimadas, com $B > 1$ nos três limites considerados. A proporção de acertos foi acima de 90% para vazões acima da mediana e do terceiro quartil, mas de 83% para o primeiro quartil. As taxa de acerto foram bastante elevadas, acima de 95%, mas observou-se taxas de alarme falso um pouco elevadas, principalmente para o primeiro quartil.

Tabela 4: Resultados da avaliação da estimativa de vazão a nível mensal obtida com simulação do modelo SMAP utilizando chuvas observadas e estimadas pelo TRMM.

Métricas Categóricas			
	1º quartil (0.11 m ³ /s)	Mediana (2.0 m ³ /s)	3º quartil (14.3 m ³ /s)
<i>PC</i>	0.83	0.92	0.93
<i>F</i>	0.57	0.17	0.08
<i>H</i>	0.97	1.00	0.95
<i>B</i>	1.16	1.17	1.19
Métricas Contínuas			
<i>Bc</i>	5.1 m ³ /s		
<i>MSE</i>	293.6 (m ³ /s) ²		
<i>RMSE</i>	17.1 m ³ /s		
<i>NS</i>	0.91		

A figura a seguir nos mostra o comportamento da vazão no período analisado. Pode-se notar que a vazão está superestimada, principalmente na faixa de vazoes entre 25 e 150 m³/s, mas nota-se que esta superestimativa é relativamente pequena, podendo-se notar uma proximidade razoável entre as séries de vazões simuladas com a chuva observada e aquelas simuladas com a chuva estimada pelo TRMM. O coeficiente de Nash-Sutcliff obtido foi de 0.91, com uma correlação de 0.96, valores considerados altos, permitindo que se diga que as incertezas nas estimativas de precipitação pelo TRMM resultam em uma pequena perda de qualidade na modelagem hidrológica na escala mensal.

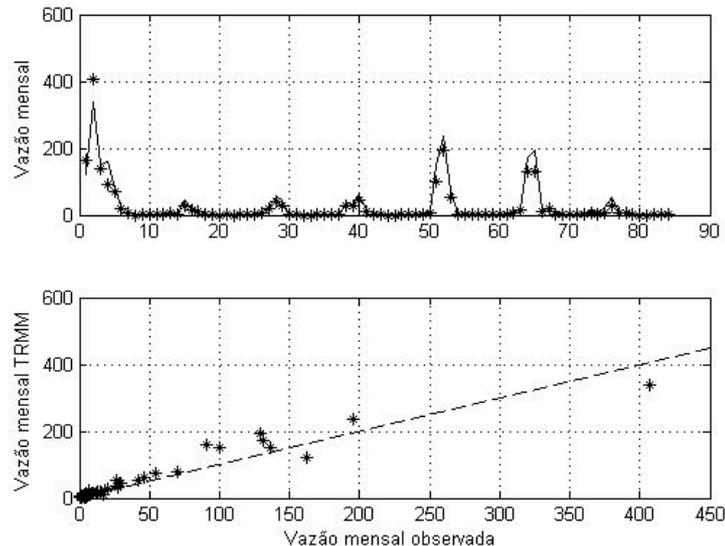


Figura 2: Comparação entre os valores de vazão simulados com chuva estimada pelo TRMM e com a chuva observada (linha tracejada indica reta de 45°).

4- CONCLUSÕES

Este artigo fornece uma análise quantitativa da qualidade das estimativas de chuva obtidas por sensoriamento remoto, mais especificamente daquelas provenientes do produto 3B43V6 da missão TRMM. As análises foram realizadas com o objetivo de entender as repercussões de se utilizar as estimativas de chuva do TRMM na simulação de vazões com modelos hidrológicos concentrados.

O estudo empregou toda a série de chuva disponível no sítio do TRMM, que vai de 2004 a 2010. A bacia contribuinte à estação fluviométrica Iguatú, localizada no estado do Pará, com aproximadamente 20.000 km², foi utilizada no estudo. O modelo hidrológico SMAP, calibrado com os dados de chuva observada foi utilizado para gerar as séries de vazão.

Os resultados mostram que as estimativas de precipitação obtidas pelo TRMM representam adequadamente as precipitações observadas, embora o desempenho na escala diária seja inferior ao da escala mensal. Observou-se também uma pequena variação entre as vazões simuladas com a precipitação do TRMM e as vazões simuladas com a chuva observada. Estes resultados sugerem que as informações de chuva provenientes do TRMM podem ser empregadas em bacias hidrográficas com rede de monitoramento esparsa, ou sem qualquer medição direta de precipitação, embora acredite-se que o tamanho da bacia possua forte influência nos resultados.

5- AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece ao CNPq pela bolsa de Iniciação Científica concedida por meio do Edital ProIC/DPP/UnB - Pibic(CNPq) 2011/2012. Os autores gostariam também de agradecer a à Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) pelos dados de precipitação média, e ao Msc. Venícius Barros, pesquisador da FUNCEME na época, por ter fornecido os parâmetros calibrados do SMAP nas versões mensal e diária.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRE, A.M.B., MARTINS, E.S., CLARKE, R.T., REIS, D.S. JR. (2005). Regionalização de Parâmetros de Modelos Hidrológicos, In: *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, João Pessoa.

ASADULLAH, A., MCINTYRE, N., KIGOBE, M. (2008). Evaluation of Five Satellite Products for Estimation of Rainfall Over Uganda, *Hydrological Science Journal*, 53 (6), December, 1137-1150.

BARROS, F.V., MARTINS, E.S., NASCIMENTO, L.S., REIS, D.S. JR. (2008). Calibration of Hydrologic Models Using Multiobjective Evolutionary Algorithms, In: *Anais do 13th IWRA World Water Congress*, Montpellier, França.

COLLISCHONN, B. (2006). *Uso de Precipitação Estimada pelo Satélite TRMM em Modelo Hidrológico Distribuído*, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FEKETE, B.M., VOROSMARTY, C.J., ROADS, J.O., WILLMOTT, C.J. (2004). Uncertainties in Precipitation and Their Impacts on Runoff Estimates, *Journal of Climate* (17), 294-304

GEBREMICHAEL, M. (2010). Framework for Satellite Rainfall Product Evaluation. In: Testik, F.Y. & Gebremichael, M. (Eds.), *Rainfall: State of Science*. Geophysical Monograph, 191, American Geophysical Union. Washington, D.C.. doi: 10.1029/2010GM000974.

KIDD, C., LEVIZZANI, V., LAVIOLA, S. (2010). Quantitative Precipitation Estimation from Earth Observation Satellites. In: Testik, F.Y. & Gebremichael, M. (Eds.), *Rainfall: State of Science*. Geophysical Monograph, 191, American Geophysical Union. Washington, D.C.. doi: 10.1029/2010GM000974.

REIS, D.S. Jr., MARTINS, E.S., NASCIMENTO, L.S.V., COSTA, A.A., ALEXANDRE, A.M.B. (2007). Monthly Streamflow Forecasts for the State of Ceara, Brazil, IAHS Publication 313.

WILKS, D.S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. International Geophysical Series. Academic Press. 2a Edição.