

Avaliação do produto TRMM 3B42 diário sobre a Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia até o reservatório de Tucuruí-PA.

Marcelo Pedroso Curtarelli¹
Enner Herenio de Alcântara²
José Luiz Stech¹
João Antônio Lorenzetti¹
Milton Kampel¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/DSR
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{mpedroso, stech, loren, milton}@dsr.inpe.br

² Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP/FCT
Caixa Postal 467 - 19060-900 - Presidente Prudente - SP, Brasil
enner@fct.unesp.br

Abstract. This study aimed to evaluate the estimates of precipitation obtained through TRMM 3B42 daily v6 algorithm on Tocantins Araguaia River Basin until Tucuruí Hydroelectric Reservoir. To determine this, we selected six regions of interest along the South-North profile of the basin, where TRMM 3B42 daily estimates were compared to the reference precipitation obtained with in situ measurements. The time series used in this study included the period between January 1, 2000 and July 30, 2011. The precipitation estimates of TRMM 3B42 daily algorithm were evaluated by calculating the Pearson product-moment coefficient, the Bias and the Root-Mean-Square Error (RMSE). The results showed that TRMM 3B42 daily product was able to reproduce the precipitation regime of the basin and represent the seasonal variability of rainfall. Despite this, TRMM 3B42 daily product tended to overestimate the precipitation by about 64% (Bias=2.6 mm day⁻¹) over the study area and presented a weak linear correlation with in situ data (r=0.15). The RMSE analysis suggested that the estimates of TRMM 3B42 have low reliability on the study area. However, the differences observed between the estimated precipitation using TRMM 3B42 daily product and the in situ data should not be overrated, since there are uncertainties associated with rain gauge data that were not considered in this evaluation.

Palavras-chave: remote sensing, daily precipitation, evaluation, Tocantins-Araguaia, sensoriamento remoto, precipitação diária, avaliação, Tocantins-Araguaia.

1. Introdução

O regime hidrológico de uma região é determinado por suas características físicas, geológicas, topográficas e por seu clima, tendo a precipitação como o principal fator climático (BERTONI; TUCCI, 2007). Desta forma, a quantificação acurada da precipitação, no espaço e no tempo, é tarefa fundamental na maioria dos estudos hidrológicos. Entretanto, para que esta quantificação seja confiável é necessário que a região em estudo tenha uma rede de monitoramento densa, com pluviômetros distribuídos regularmente por toda sua área.

Com raras exceções, o Brasil possui uma rede de monitoramento deficiente, com um número insuficiente de postos pluviométricos, distribuídos de maneira irregular por seu território (ANA, 2012). Neste contexto, as estimativas da precipitação utilizando dados coletados por sensores remoto surgem como uma alternativa para locais com ausência de dados coletados *in situ* e de uma rede de monitoramento apropriada.

As estimativas da precipitação utilizando dados de sensoriamento remoto apresentam como vantagens a repetitividade e coleta sistemática dos dados, frequência de amostragem superior ao da rede convencional de postos pluviométricos, além de fornecer informação sobre a distribuição espacial da precipitação (PAZ; COLLISCHONN, 2011). Contudo, este é um método considerado menos preciso do que o convencional, sendo de grande importância a avaliação e validação destas estimativas antes de sua utilização (FRANCHITO et al., 2009).

O satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), resultante de uma parceria entre a Agência Espacial Norte Americana (NASA) e a Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA), tem como objetivo monitorar e estudar o comportamento da precipitação em regiões tropicais e subtropicais do globo terrestre (KUMMEROW et al., 1998). A partir dos dados coletados pelo TRMM diversos produtos são fornecidos gratuitamente, dentre eles o produto TRMM 3B42, capaz de fornecer estimativas de precipitação a cada 3 horas.

Atualmente, a validação das estimativas de precipitação obtidas pelo produto TRMM 3B42, bem como sua aplicabilidade para a modelagem hidrológica, tem sido o tema de diversas pesquisas no Brasil, evidenciando a importância deste dado em um país carente de informação hidrológica (COLLISCHONN et al., 2006; COLLISCHONN et al., 2007; NÓBREGA et al., 2008; VIANA, et al., 2008).

Levando em consideração o exposto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as estimativas de precipitação diária do produto TRMM 3B42 sobre a Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia (RHTA), comparando com estimativas obtidas por meio de dados medidos em postos pluviométricos convencionais.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Descrição da área de estudo

A RHTA se estende pelas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil, abrangendo os estados de Goiás, Tocantins, Pará, Maranhão, Mato Grosso e o Distrito Federal (Figura 1a e 1b). Possui uma área de drenagem de aproximadamente 967.059 km² (11% do território nacional), sendo seus principais rios o Tocantins e Araguaia (ANA, 2012).

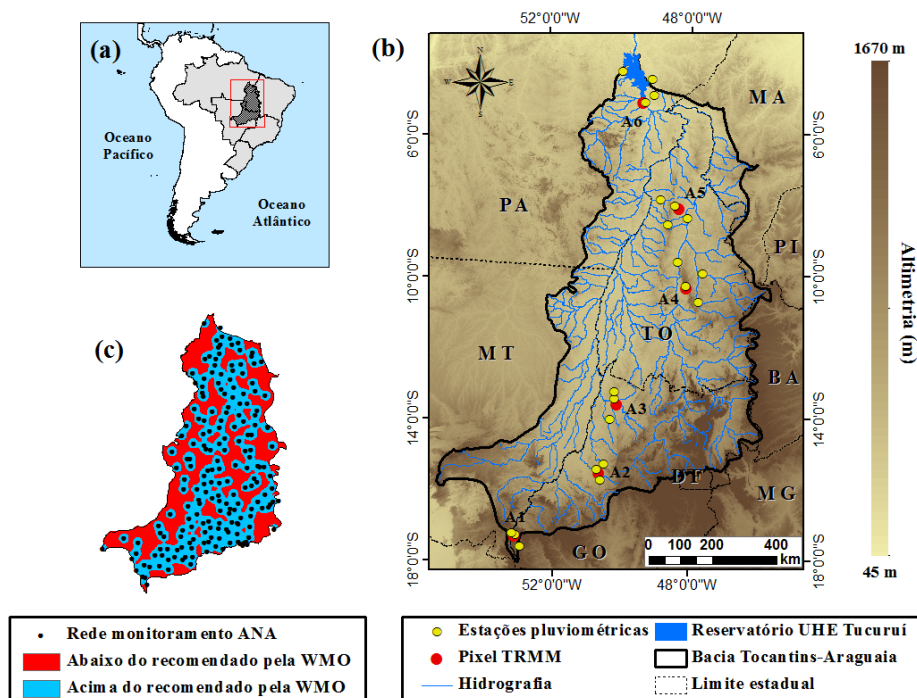


Figura 1. Área de estudo: (a) localização da RHTA em relação à América do Sul e as regiões brasileiras; (b) localização do reservatório de da UHE Tucuruí, altimetria e malha hidrográfica da RHTA. Os pontos amarelos (vermelho) em b indicam a localização das estações pluviométricas (pixels TRMM) selecionadas para este estudo (A1-A6); e (c) densidade de estações pluviométricas na RHTA. As áreas em vermelho (azul) indicam locais com densidade de pluviômetros abaixo (acima) do recomendado pela Organização Mundial de Meteorologia (WMO), $1,7 \times 10^{-4}$ estação km⁻².

O grande potencial hidrelétrico desta região hidrográfica e sua localização frente aos mercados consumidores das regiões Sudeste e Nordeste, colocam a RHTA como prioritária para a implantação de aproveitamentos hidrelétricos (ELETROBRÁS, 2012). É nesta região que se encontra a Usina Hidrelétrica (UHE) de Tucuruí, a maior UHE 100% nacional, com capacidade de geração instalada de 8.370 MW (ELETRONORTE, 2012).

Apesar da grande importância da RHTA para a economia brasileira, principalmente no setor energético, esta região possui uma rede de monitoramento hidrológico deficiente, o que inviabiliza estudos mais acurados sobre a sua disponibilidade hídrica. Especificamente, a rede de monitoramento pluviométrico conta com um total de 201 estações (ANA, 2012), sendo que partes da RHTA apresenta densidade de estação abaixo do valor mínimo recomendado pela WMO (WMO, 1994) (Figura 1c).

2.2 O produto TRMM 3B42 diário

O objetivo do algoritmo 3B42 é estimar a taxa de precipitação nas regiões tropical e subtropical do planeta, utilizando dados coletados por sensores a bordo do satélite TRMM e também dados auxiliares coletados por sensores a bordo de outros satélites (HUFFMAN et al., 2007). O produto TRMM 3B42 diário fornece estimativas de precipitação acumulada em 24 horas (mm dia^{-1}), com uma resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Maiores informações sobre o algoritmo 3B42 podem ser obtidas em <<http://trmm.gsfc.nasa.gov/3b42.html>>. Neste trabalho foi utilizado a versão 6 do produto TRMM 3B42 diário, obtido gratuitamente através do portal <<http://www.dsr.inpe.br/hidrosfera/balcar/>>.

2.3 Dados de precipitação *in situ*

Para a validação do produto TRMM 3B42 diário foram utilizados dados de precipitação coletados por 21 estações de monitoramento sob a responsabilidade da Agência Nacional das Águas (ANA) (ver Figura 1b). Estes dados foram obtidos por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas (SNIRH/ANA) via *download* pela *internet*, disponível em <<http://portalsnirh.ana.gov.br/>>.

2.4 Avaliação do produto TRMM 3B42 diário

A seleção dos locais para avaliação dentro da RHTA considerou a disponibilidade de dados coletados *in situ* em um período superior a 8 anos, entre janeiro de 1998 e dezembro de 2011 (mesmo intervalo de dados TRMM disponível). Para cada um dos locais selecionados, a precipitação estimada em um *pixel* TRMM foi comparada com a precipitação média obtida a partir de um número variável de estações pluviométricas (entre 3 e 4 pluviômetros) de forma a minimizar a diferença entre a área coberta por um único pluviômetro, $O(10^{-1}\text{m}^2)$, e o tamanho do *pixel* TRMM ($\sim 625 \text{ km}^2$) (VILLARINI; KRAJEWSKY, 2007). As avaliações foram realizadas visualmente, comparando as séries temporais obtidas com os dados *in situ* e com o produto TRMM 3B42, e a partir do cálculo do Viés (Equação 1), coeficiente de correlação linear (r) (Equação 2) e RMSE (Equação 3):

$$\text{Viés} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{3B42_i} - P_{ANA_i}) \quad (1)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n P_{3B42_i} P_{ANA_i} - \sum_{i=1}^n P_{3B42_i} \sum_{i=1}^n P_{ANA_i}}{\sqrt{\left[n \sum_{i=1}^n P_{3B42_i}^2 - \left(\sum_{i=1}^n P_{3B42_i} \right)^2 \right] \left[n \sum_{i=1}^n P_{ANA_i}^2 - \left(\sum_{i=1}^n P_{ANA_i} \right)^2 \right]}} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{3B42} - P_{ANA})^2} \quad (3)$$

onde, n é o número de amostras utilizadas para a validação; P_{ANA} é a precipitação diária de referência, medida pelos postos pluviométricos da ANA (mm); e P_{3B42} é a precipitação diária estimada pelo produto TRMM 3B42 diário (mm). Para o cálculo do Viés, r e do RMSE optou-se por desconsideradas as datas que apresentavam falhas/ausência de registro pluviométrico nas estações, de forma a não inserir erros devido ao preenchimento de falhas na análise.

3. Resultados e Discussão

Após uma análise cuidadosa dos dados disponibilizados pelo SNIRH/ANA foi possível definir seis áreas ao longo do perfil sul-norte da RHTA (denominadas A1, A2, A3, A4, A5 e A6, ver Figura 1) que atendessem o critério de disponibilidade de dados (séries completas superior a 8 anos). Nas áreas A1, A2 e A3 foram utilizados 3 pluviômetros enquanto que nas demais áreas foram utilizados 4 pluviômetros para a avaliação do produto TRMM 3B42. O período definido para a análise foi entre 01/01/2000 e 30/06/2011 (~11 anos).

De maneira geral, o produto TRMM 3B42 foi capaz de reproduzir de forma confiável a variação sazonal da precipitação sobre a RHTA, captando a alternância entre período seco (inverno no hemisfério sul) e chuvoso (verão no hemisfério sul). No entanto, nota-se que, as estimativas TRMM 3B42 apresentam uma tendência de superestimar a precipitação nos meses chuvosos e subestimar nos meses secos (Figura 2). Além disso, visualmente, a diferença entre a precipitação estimada pelo produto TRMM 3B42 diário e os dados *in situ* parecem ser menores nos meses secos do que nos meses chuvosos, ou seja, as estimativas 3B42 e obtidas com dados *in situ* apresentam maiores diferenças durante o verão. Outro fato relevante foi de que o produto TRMM 3B42 foi capaz de estimar a ausência de chuva de maneira razoável nas 6 áreas analisadas (em média em 61% das ocorrências).

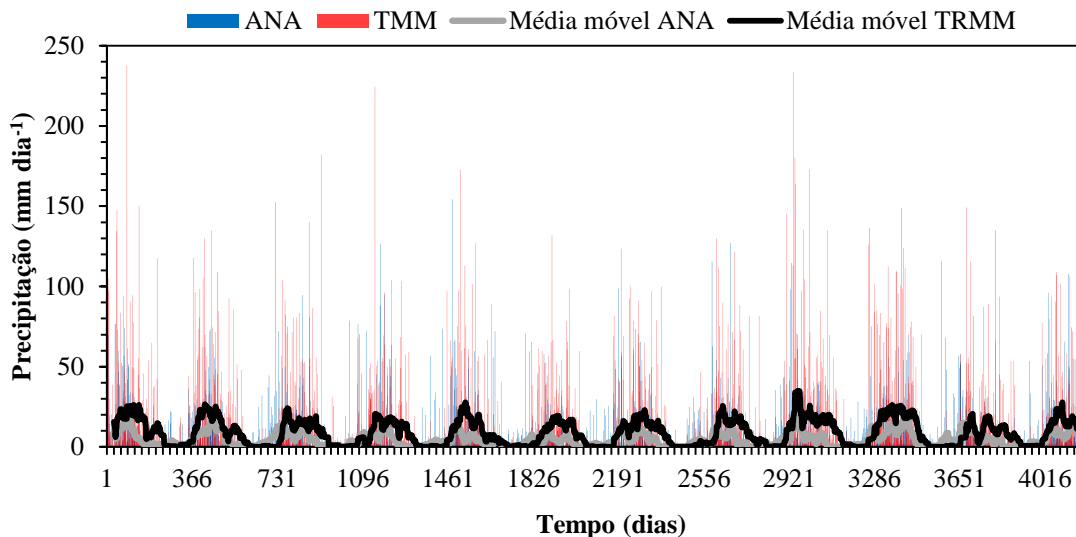


Figura 2. Série temporal de precipitação obtida com o produto TRMM 3B42 e com os dados de precipitação *in situ* na área A6.

Uma baixa correlação linear foi observada entre a precipitação estimada pelo produto TRMM 3B42 e com os dados *in situ* (Figura 3). O valor de r médio para a RHTA foi de 0,15, variando entre 0,10 e 0,25. Vale destacar que os valores de r observados sobre a RHTA foram menores do que os valores observados em outras regiões do Brasil (COLLISCHONN et al.,

2007; NOBREGA, et al., 2008; VIANA et al., 2010). O grande espalhamento observado na Figura 3 pode ser em parte explicado devido ao fato de que o produto 3B42 não representa de fato o acumulado diário de precipitação, e sim a soma de taxas de precipitação instantâneas, convertidas para acumulado diário, coletadas pelo TRMM durante um dia (8 vezes) (VILLARINI; KRAJEWSKY, 2007).

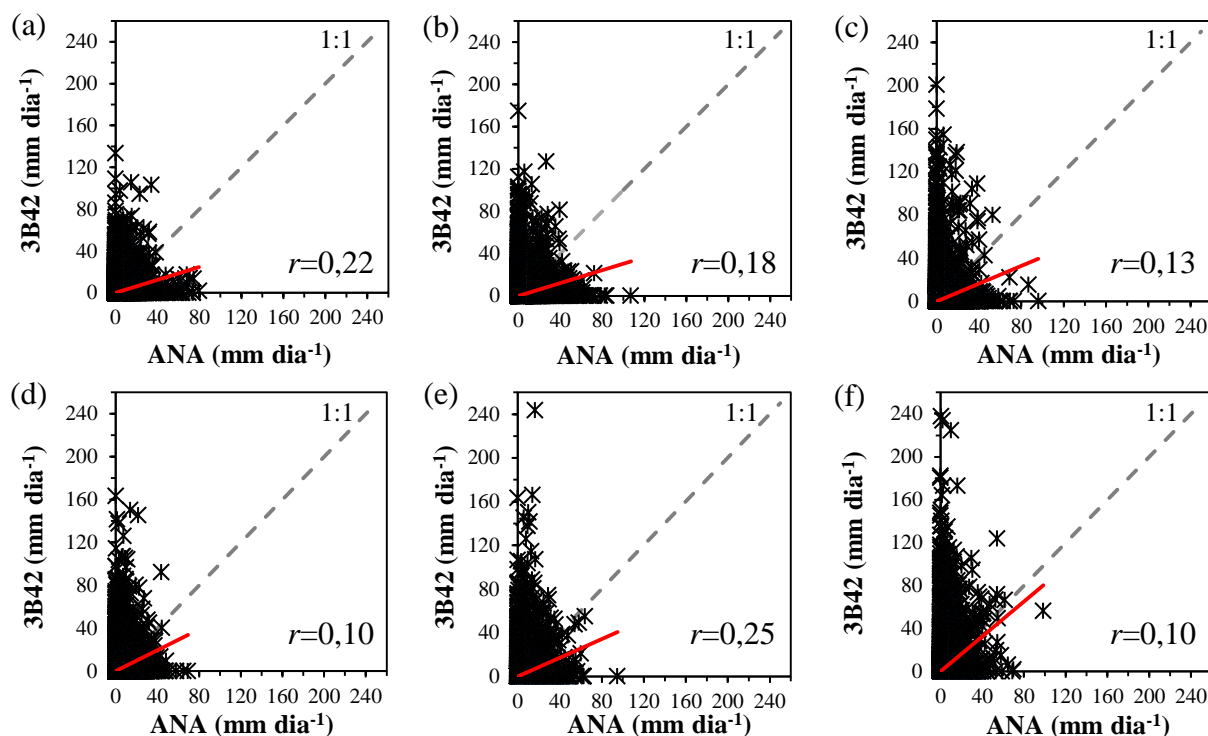


Figura 3. Scatter-plot entre a precipitação estimada com os dados pluviométricos da ANA e com o produto TRMM 3B42 diário: (a) A1; (b) A2; (c) A3; (d) A4; (e) A5; e (f) A6.

Os valores Viés e RMSE calculados para cada uma das 6 áreas selecionadas para análise são apresentando da Tabela 1.

Tabela 1. Resumo da avaliação do produto TRMM 3B42 diário.

Área	n	Viés		RMSE	
		mm dia ⁻¹	%	mm dia ⁻¹	%
A1	3836	2,07	48,61	14,62	343,35
A2	4106	2,65	63,68	17,57	421,92
A3	4124	3,64	92,37	20,59	522,16
A4	3885	1,20	27,31	15,51	352,85
A5	4103	0,83	16,98	16,55	336,70
A6	3744	5,22	134,01	22,46	576,80
Média	-	2.60	63.83	17.88	425.64

A análise do Viés aponta que o produto TRMM 3B42 diário tende a superestimar a precipitação sobre a RHTA. Esta mesma tendência foi observada em outras regiões do Brasil, tais como, na bacia do Alto Paraguai, uma bacia localizada na Amazônia Ocidental e na região Sul do Brasil (COLLISCHONN et al., 2007; NOBREGA, et al., 2008; VIANA et al., 2010). Vale ressaltar que os valores calculados de Viés para a RHTA foram superiores aos

das demais regiões supracitadas, apresentando valor médio de 2,60 mm dia⁻¹ (64%), mínimo de 0,83 mm dia⁻¹ (17%) e máximo de 5,22 mm dia⁻¹ (134%).

O RMSE médio obtido foi de aproximadamente 18 mm dia⁻¹ (425%), variando entre 14,6 mm dia⁻¹ (343%) e 22,7 mm dia⁻¹ (577%). Estes valores são consideravelmente superiores aos encontrados por Viana et al. (2010) para região Sul do Brasil, de cerca de 9,9 mm dia⁻¹ (213%). A análise do RMSE sugere que as estimativas do produto TRMM 3B42 diário possuem baixa confiabilidade sobre a RHTA, uma vez que para todas as seis áreas analisadas apresentaram valor superior a 50% (FRANCHITO et al., 2009).

3.1 Variação do RMSE com a latitude e altitude da RHTA

A Figura 4 apresenta a variação RMSE em função da latitude (Fig. 4a) e da altitude do terreno (Fig. 4b). O RMSE apresentou uma correlação linear negativa relativamente forte tanto com a latitude ($r=-0,51$) como com a altitude ($r=-0,83$) da RHTA, isto é, o RMSE aumenta no sentido sul-norte da RHTA. Este comportamento foi oposto ao observado por Viana et al. (2010) sobre a região Sul do Brasil, onde o RMSE apresentou uma relação positiva com a latitude. Entretanto, tanto na RHTA como na região Sul do Brasil o RMSE aumentou no sentido do gradiente de precipitação, ou seja, em ambos os locais os maiores valores de RMSE foram observados em regiões com maior índice pluviométrico.

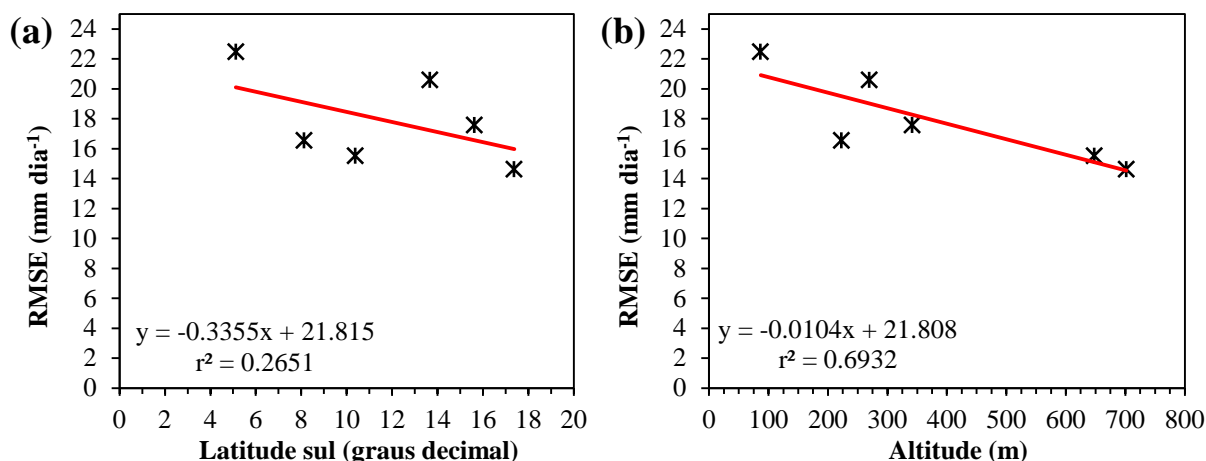


Figura 4. Variação do RMSE em função da latitude (a) e da altitude (b) da RHTA.

3.2 Avaliação do produto TRMM 3B42 agregado

A fim de avaliar a confiabilidade do produto TRMM 3B42 em outras escalas temporais, foi realizada a comparação entre os totais de precipitação acumulado semanal, quinzenal e mensal sobre a RHTA, obtidos a partir dos dados *in situ* e do produto TRMM 3B42 diário. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Observa-se que, à medida que os dados são agregados para totais semanais, quinzenais e mensais, o Viés permanece praticamente inalterado nas 6 regiões analisadas, não havendo grande variação nos valores (cerca de 2%). Por outro lado, o valor do RMSE reduziu consideravelmente à medida que os dados foram agregados, sendo que, os melhores resultados foram obtidos com os dados agregados para total mensal (RMSE=155%), alcançando uma redução de aproximadamente 270% se comparado com os dados diários não agregados (RMSE=426%). Entretanto, apesar desta abordagem reduzir o erro entre as estimativas obtidas com o produto TRMM 3B42 e com dados *in situ*, os valores de RMSE ainda continuam superiores a 50%. Vale ressaltar também que o coeficiente de correlação linear entre as estimativas 3B42 e os dados *in situ* apresentaram um aumento considerável, alcançando valores próximos a 0,50 para a precipitação acumulada mensal.

Tabela 2. Resumo da análise do produto TRMM 3B42 agregado para totais semanais, quinzenais e mensais.

Área	n	Viés		RMSE	
		mm semana ⁻¹	%	mm semana ⁻¹	%
A1	553	14,60	49,27	54,86	185,15
A2	585	19,92	66,33	65,57	218,35
A3	587	26,49	92,72	76,14	266,50
A4	553	9,48	31,17	54,66	179,74
A5	587	7,63	22,21	56,40	164,19
A6	533	36,35	133,30	76,43	280,27
Média semanal	-	19,08	65,84	64,01	215,70
Área	n	Viés		RMSE	
		mm quinzena ⁻¹	%	mm quinzena ⁻¹	%
A1	257	30,99	48,70	95,23	149,66
A2	272	42,52	65,95	117,10	181,63
A3	268	56,80	92,78	135,19	220,83
A4	257	19,71	30,23	96,49	148,01
A5	268	16	21,801	95,71	130,41
A6	248	77,58	132,91	132,64	227,24
Média quinzenal	-	40,60	65,40	112,06	176,30
Área	n	Viés		RMSE	
		mm mês ⁻¹	%	mm mês ⁻¹	%
A1	127	59,26	46,28	164,59	128,55
A2	136	82,56	63,69	209,25	161,42
A3	134	110,38	89,20	244,60	197,66
A4	127	39,43	30,10	174,97	133,59
A5	134	30,76	20,78	169,59	114,59
A6	122	154,08	131,20	227,77	193,95
Média mensal	-	79,41	63,54	198,46	154,96

4. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo avaliar as estimativas de precipitação do produto TRMM 3B42 diário sobre a RHTA, através da sua comparação com dados de precipitação obtidos *in situ*. As principais conclusões são:

As estimativas fornecidas pelo produto TRMM 3B42 apresentam fraca correlação linear com as estimativas obtidas com os dados observados *in situ* ($r=0,15$), porém são capazes de reproduzir o regime de precipitação sobre RHTA de maneira razoável. O produto 3B42 se mostrou capaz de captar as variações sazonais da precipitação, bem como estimar a ausência de chuva.

Contudo, as estimativas TRMM 3B42 apresentam uma tendência em superestimar a precipitação durante os meses chuvosos e subestimar nos meses secos. De uma maneira geral superestimam a precipitação em cerca de 64% (Viés=2,6 mm dia⁻¹), apresentando baixa confiabilidade sobre a RHTA (RMSE >50%). No entanto, não se devem desconsiderar as incertezas inerentes aos dados coletados por pluviômetros e ao baixo número de pluviômetros utilizados na análise.

A agregação das estimativas diárias de precipitação TRMM B42 para totais semanais, quinzenais e mensais, melhorou a qualidade das estimativas, apesar de o Viés e RMSE continuarem muito elevados (superior a 50%).

As estimativas de precipitação TRMM 3B42 diário devem ser utilizadas com cautela sobre a RHTA, apenas para uma avaliação qualitativa da variação da precipitação. Para a sua utilização em modelos hidrológicos distribuídos, as estimativas de precipitação TRMM 3B42 devem ser refinadas, utilizando modelos estocásticos para a quantificação das incertezas.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece a ELETRONORTE, projeto “Desenvolvimento de um sistema indicador de qualidade de água específico para a região Amazônica” (contrato n.º 4500075234) pelo fornecimento da bolsa de doutorado.

Referências

Agência Nacional de Águas (ANA). **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**. Disponível em: <<http://portalsnrh.ana.gov.br/>>. Acesso em: 10.ago.2012.

Bertoni, J.C.; Tucci, C.E.M. Precipitação. In: Tucci, C.E.M.; Silveira, A. L. L. (Eds.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2007. cap. 5, p 177-242.

Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRÁS). **Sistema de informações sobre o potencial hidrelétrico brasileiro**. Disponível em <http://www.eletronorte.com.br/EM_Atualizacao_SIPOT/sipot.asp>. Acesso em: 05.ago.2012.

Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE). **Geração**. Disponível <<http://www.eln.gov.br/opencms/opencms/pilares/geracao/estados/>>. Acesso em: 05.ago.2012.

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**, v. 59, n. 1, p. 93-99, 2007.

Collischonn, B.; Collischonn, W.; Tucci, C.E.M. Análise do campo de precipitação gerado pelo satélite TRMM sobre a bacia do São Francisco até Três Marias. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, 1, 2006, Curitiba, PR. **Anais...** Curitiba: ABRH, 2006. Artigos. CD-ROM.

Franchito, S.H.; Rao, V.B.; Vasques, A.C.; Santo C. M. E.; Conforte J. C. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. **Journal of Geophysical Research**, v. 114, D02105, p. 1-9, 2009.

Huffman, G.; Adler, R.; Bolvin, D.; Gu, G.; Nelkin, E.; Bowman, K.; Stocker, E.; Wolff, D. The TRMM multi-satellite precipitation analysis: quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, n. 1, p. 38-55, 2007.

Kummerow, C.; Barnes, W.; Kozu, T.; Shiue, J.; Simpson, J. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. **Journal Atmospheric Oceanic Technology**, v. 15, n. 3, p. 809-817, 1998.

Nóbrega, R.S.; Souza, E.P.; Galvêncio, J.D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia ocidental. **Revista de Geografia**, v. 25, n. 1, p. 6-20, 2008.

Paz, A.R.; Collischonn, W. Avaliação de estimativas de campos de precipitação para modelagem hidrológica distribuída. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, p. 109-120, 2011.

Vianna, D.R.; Ferreira, N.J.; Conforte, J.C. Avaliação das estimativas de precipitação 3B42 e 3B43 do satélite TRMM na região Sul do Brasil. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMET), 16., 2010, Belém, PA. **Anais...** Belém: SBMET, 2010. Artigos. On-line. Disponível em: <http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/787_15704.pdf>. Acesso em: 08.ago.2012.

Villarini, G.; Krajewski, W.F. Evaluation of the research-version TMPA three-hourly $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ rainfall estimates over Oklahoma. **Geophysical Research Letters**, v. 34, L05402, p. 2591-2602, 2007.

World Meteorological Organization (WMO). **Guide to hydrological practices: data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications**. Genebra: WMO, 1994. 770 p.