

Análise da precipitação estimada por satélite para a bacia hidrográfica do Rio Doce

Franciane Lousada Rubini de Oliveira Louzada¹

Alexandre Cândido Xavier¹

José Eduardo Macedo Pezzopane¹

¹ Universidade Federal do Espírito Santo – Centro de Ciências Agrárias CCA/UFES
Alegre - ES, Brasil.

francianelouzada@yahoo.com.br, xavier@cca.ufes.br,

pezzopane2007@yahoo.com.br

Abstract. Precipitation is a climatological elements very important for agriculture. Products from satellites have been used to observe the variability of rainfall in many parts of the world, especially the Tropical Rainfall Measuring Mission - TRMM. The objective of this study is to analyze monthly rainfall estimated by TRMM - 3B43 and compare it with rain gauge data to the watershed of the Rio Doce over the course of 15 years. The average annual precipitation for the basin showed a difference of 97 mm (7.8%). The months that have higher percentages of error are in the dry season, with the months of June, July and August and the lowest is in the months between September and January. The TRMM shows a tendency to overestimate the average rainfall in this basin seasonality and climate where the dry season rainfall is low and the rainy season is high following the variations of the rain gauge. In analyzing the point-to-point showed good correlation.

Palavras-chave: remote sensing, orbital images, rainfall, sensoriamento remoto, imagens orbitais, precipitação.

1. Introdução

A precipitação é um dos elementos climatológicos de grande importância para a agricultura. São monitorados por estações meteorológicas automáticas, convencionais (manual) e radares meteorológicos com amostragens diárias. As estações de superfícies estão distribuídas na superfície terrestre e coletam informações para uma pequena área onde está localizada. Monitorar extensas áreas é preciso uma densa rede, o que às vezes é inviável devido ao custo e também ser áreas de difícil acesso. Estes dados podem ser adquiridos como, por exemplo, pelos postos do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Agência Nacional das Águas – ANA, Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas – CIIAGRO, Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência técnica e extensão rural – INCAPER e empresas particulares.

As medições em campo de boa qualidade e sem falhas são de difícil aquisição (Bertoni e Tucci, 2004). Os dados possuem erro de amostragem, que podem ser desde erros no manuseio do equipamento pelo pessoal de campo aos impactos meteorológicos sobre as medições (Bertoni e Tucci, 2004; Franchito et al., 2009). Outros problemas identificados são a má distribuição e baixa densidade de postos meteorológicos existentes. Isto pode gerar um problema de representatividade da área.

As imagens de satélites orbitais têm sido ferramentas extremamente úteis e uma alternativa para monitorar os elementos climatológicos espacialmente e temporalmente. Os estudos vêm crescendo nas últimas décadas devido à disponibilidade de aquisição e melhor cobertura espacial com menores custos, tornando-se uma ferramenta importante principalmente para regiões que não possuem estações meteorológicas.

O satélite TRMM é uma parceria entre a NASA (National Aeronautics and Space Administration) e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA) com objetivo principal de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global (Kummerow et al., 2000). Foi lançado em 27 de novembro de 1997 com tempo de vida estimado de três anos, no entanto, continua em atividade até o presente

momento com previsão de término em fevereiro de 2016, mas pode mudar dependendo da atividade solar (TRMM, 2014). É composto com cinco instrumentos, sendo: imageador de microondas, radar de precipitação, sensores no visível e infravermelho, sensor para o imageamento de relâmpagos e sensor de energia radiante e de nuvens (Leivas et al., 2009; Huffman et al., 2007; TRMM, 2014).

Os produtos provenientes de satélites têm sido utilizados para observar a variabilidade da precipitação em diversos lugares do mundo. São realizadas análises de validação com as estações de superfície, verificando que estes produtos possuem boa correlação, principalmente o produto TRMM-3B43 em escala mensal, apresentando menores erros e maiores correlações com medições em estações meteorológicas. Isto pode ser observado em diversos estudos. Asykur et al. (2013) comparou o TRMM-3B43 com 5 estações no arquipélago da Indonésia e encontrou $r = 0.98, 0.90, 0.98, 0.95, \text{ e } 0.85$. Feidas (2010) analisou dados de precipitação mensal na Grécia oriundos de seis produtos de satélites (TRMM 3A12-TMI, TRMM 3B32, TRMM 3B43, GPCP-1DD, GPCP-SG, CMAP), em três resoluções espaciais diferentes ($0,5^\circ, 1^\circ \text{ e } 2,5^\circ$) em relação às estações de superfície e o TRMM 3B43 apresentou o melhor desempenho nos três grupos. Dinku et al. (2007) avaliaram 10 diferentes produtos de satélites (GPCP-MS, GPCP-SG, CMAP, TRMM-3B43, REF, ARC, GPCP one-degree-daily, TRMM-3B42, TAMSAT e CMORPH) com as estações da Etiópia divididos em dois grupos, e observaram que o TRMM-3B43 e o CMAP no grupo 1 com resolução espacial de $2,5^\circ$ e temporal mensal, apresentaram melhor desempenho.

O produto TRMM-3B32, produto de escala temporal diária, quando avaliado em escala mensal, também apresenta melhor correlação linear com as estações meteorológicas, como observado por Li et al. (2013) com o coeficiente de correlação (R^2) de 0,88, sendo em escala diária R^2 de 0,45. Li (2012) também observou melhor correlação com os pluviômetros ($R^2 = 0.81 \text{ a } 0.89$) e com a média da área ($R^2 = 0.83$). As análises de correlação foram realizadas com observação de gráficos de dispersão, mostrando a boa correlação linear.

Vários trabalhos vêm aplicando estes dados do TRMM em diversas áreas como no monitoramento de seca (Li et al., 2013), produtividade (Silva, 2011), como entrada em modelos hidrológicos (Li et al., 2012), balanço hídrico (Mahmud, 2014), déficit hídrico (Volpato et al., 2013) e estimativa de evapotranspiração (Mateos et al., 2013). Estes estudos possibilitam o planejamento e gerenciamento da produção, reduzindo os prejuízos.

O objetivo deste trabalho é analisar a precipitação mensal estimada pelo satélite TRMM produto 3B43 (TRMM-3B43) e compará-la com os dados das estações meteorológicas para a bacia hidrográfica do Rio Doce.

2. Metodologia

A bacia hidrográfica do Rio Doce está localizada na Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste do Brasil entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo nos paralelos $17^\circ 45'$ e $21^\circ 15'$ de latitude sul e os meridianos $39^\circ 30'$ e $43^\circ 45'$ de longitude oeste. Será utilizado neste estudo o limite da bacia adotado no Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Doce (Souza et al., 2010) que engloba também a bacia do rio Barra Seca para efeito de gestão. Possui uma área de drenagem com cerca de 83.069 km^2 , sendo 86% pertencem ao Estado de Minas Gerais (71.778 km^2) e 14% ao Estado do Espírito Santo (11.291 km^2) (Maranhão, 2005) (Figura 1a).

Os dados do produto TRMM-3B43 versão 7 foram comparados com os dados observados das estações Meteorológicas de superfície (Instituto Nacional de Meteorologia – INMET; Agência Nacional das águas – ANA e Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência técnica e extensão rural - INCAPER) período entre 1998 e 2012. Foi verificada a necessidade do preenchimento de falhas nas estações com os dados das estações vizinhas por meio do método da ponderação regional e análise de consistência (BERTONI e TUCCI, 2004).

Os dados do TRMM são disponibilizados em arquivos no formato ASCII (NASA, 2013) com grade regular de pontos (grid-point) pelo endereço eletrônico http://disc2.nascom.nasa.gov/Giovanni/tovas/TRMM_V7.3B43.2.shtml. Foram adquiridos dados referentes ao quadrante que cobre todo o limite da bacia e posteriormente excluídos os externos a este limite totalizando 150 pixels (Figura 1b).

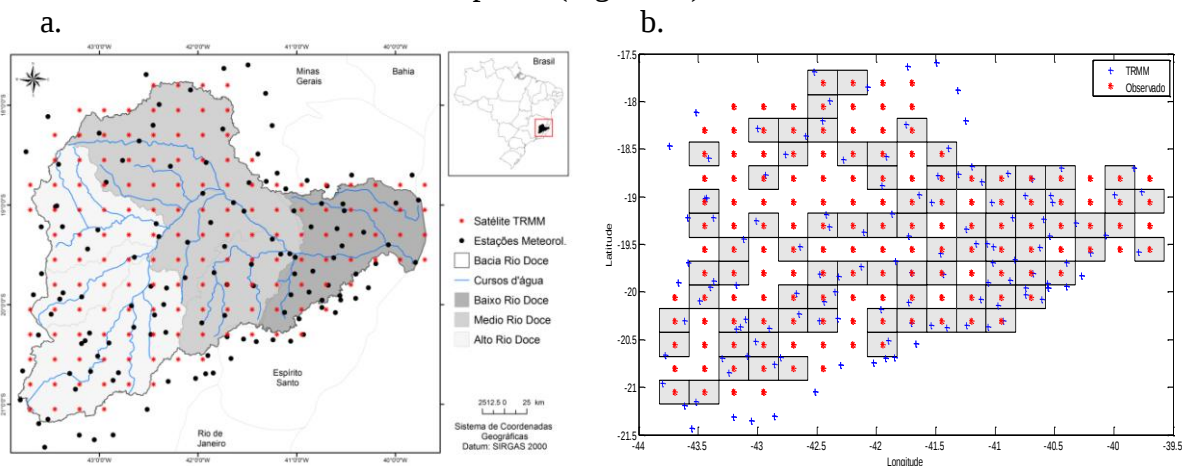


Figura 1. a) Área da bacia hidrográfica do rio Doce. b) estações meteorológicas em azul e o ponto central dos pixels do satélite TRMM em vermelho, os polígonos cinza referem-se aos pixels do TRMM que possuem estações meteorológicas em sua área de abrangência.

Foram realizados dois tipos de análise: média da bacia e outra análise ponto-a-ponto (As-syakur, et al., 2011; (Prasetia et al. 2013), ou seja, por estação.

A análise da média dos totais anuais e totais mensais da precipitação para a área da bacia hidrográfica do rio Doce foi mensurada por meio de dados de todas as Estações Meteorológicas localizadas na bacia e utilizando o método de interpolação do polígono de Thiessen (Li, 2012).

A análise ponto-a-ponto foi realizada somente com os pixels do TRMM que havia estações Meteorológicas de superfície em sua área de abrangência. Portanto foram selecionados 84 pixels do TRMM e 105 estações. A comparação é realizada com cada pixel da grid estimado pelo satélite com a média entre os pluviômetros que estão dentro de sua área de abrangência de resolução espacial de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, pois deste modo a média da precipitação dos pluviômetros podem representa melhor a estimativa da precipitação na área de um pixel, conforme observado por (Viana et al. 2010). A análise da série histórica mensal refere-se aos totais mensais ao longo do período (jan. de 1998 a dez. de 2012). A média dos totais mensais é referente a média de cada mês e a dos totais anuais referentes ao acúmulo de precipitação em cada ano.

Para comparar quantitativamente o produto TRMM-3B43 com as observações pluviométricas de superfície, foram utilizadas as estatísticas mais comuns neste tipo de estudo, sendo, coeficiente de correlação de Pearson (CC), erro médio absoluto (MAE), Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), Viés e porcentagem do erro (As-syakur et al., 2011; Feidas, 2010).

3. Resultados e Discussão

A média da precipitação para a bacia hidrográfica do rio Doce foi comparado com os dados do satélite TRMM produto 3B43 (Tabela 1 e Figura 2). A média dos totais anuais é de **1232 mm** apresentando grande variação entre as estações meteorológicas, de 837 a 1935 mm. Em 2007, 2012 e 2003 ocorreram os menores médias de precipitação e em 2004, 2005 e 2009 os maiores, sendo 894, 974, 1111, 1544, 1533 e 1494 mm, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Total anual e total mensal da precipitação para a bacia hidrográfica do rio Doce, período de 1998 a 2012 e seus respectivos valores de erro.

Média															
mm															
Total Mensal	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média anual		
OBS	204.6	114.7	149.2	68.3	31.4	14.6	12.3	17	39.4	91	229.6	259.2	1231		
TRMM	210.9	131.1	165.8	78.1	35.6	20.2	16.2	20.5	42.3	94.8	236.8	275.6	1328		
Erro	6.3	16.4	16.6	9.8	4.2	5.6	3.9	3.5	2.9	3.8	7.2	16.4	97		
% Erro	3.1	14.3	11.1	14.3	13.4	38.4	31.7	20.6	7.4	4.2	3.1	6.3	7.8		
Total															
Anual	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
OBS	1071	1072	1308	1110	1294	1031	1544	1533	1308	894	1346	1494	1162	1327	978
TRMM	1153	958	1456	1223	1429	1132	1672	1703	1437	974	1464	1550	1293	1368	1111
Erro	82	-114	148	113	135	101	128	170	129	80	118	56	131	41	133
% erro	8	-11	11	10	10	10	8	11	10	9	9	4	11	3	14

OBS: Observado nas Estações Meteorológicas; Erro: TRMM-OBS; % erro: $\neq * 100/\text{OBS}$.

A precipitação média do total anual estimada pelo satélite para a bacia é de **1328** mm, apresentando menor variação entre os valores anuais do satélite que nas estações meteorológicas, de 1074 a 1673 mm (Tabela 1). Nos anos de 1999, 2007 e 2012 apresentaram menores índices de precipitação, em 2005, 2004 e 2009 os maiores, sendo 958, 966, 1099, 1703, 1672 e 1550 mm, respectivamente. Observa-se que nos anos de 2004, 2005 e 2009 apresentaram os maiores índices de precipitação tanto nas estações quanto no TRMM e em 2007 e 2012 os menores índices.

O erro dos totais anuais é inferior à 14%, sendo o erro médio 7,8% correspondendo a 97 mm que varia de -114 em 1999 a 179 em 2005, enquanto que nos totais mensais o erro é 8.1 mm, variando de 2.9 a 16.6 mm entre os meses (Tabela 1). Os meses que apresentam maiores porcentagens de erro estão na estação seca, com os meses de Junho, Julho e Agosto e os menores são nos meses entre setembro e janeiro.

Na Figura 2a e 2b apresenta o índice de precipitação observada pelas estações meteorológicas e pelo TRMM-3B43 para a média dos totais mensais e totais anuais, respectivamente. O TRMM tem tendência a superestimar a média da precipitação nesta bacia, exceto para o ano de 1999 onde o TRMM subestimou a precipitação. Li et al. (2012) realizou este estudo na bacia de Xinjiang- China e observaram que o TRMM subestimaram a precipitação mensal.

Observa-se que o TRMM responde a sazonalidades do clima onde na estação seca a precipitação é baixa e na estação chuvosa é alta acompanhando as variações das estações meteorológicas. Um padrão de sazonalidade também foi observado por As-syakur et al. (2013) em estudo no arquipélago da Indonésia.

Os resultados da análise ponto-a-ponto podem ser observados na Figura 3 onde estão os gráficos de dispersão dos dados de precipitação do produto TRMM-3B43 e das Estações Meteorológicas correspondentes. Conforme os resultados observa-se boa correlação (0,91; 0,98 e 0,81) entre o TRMM e as estações. Os resultados das estatísticas realizadas estão descritas nesta figura, sendo RMSE (46.8; 18.6; 213); Viés (8.2; 8.2; 93) e MAE (89.8; 74.3; 250) para a série histórica (período de jan/98 à dez/2012), totais mensais (Jan a dez) e totais anuais (1998 a 2012), respectivamente.

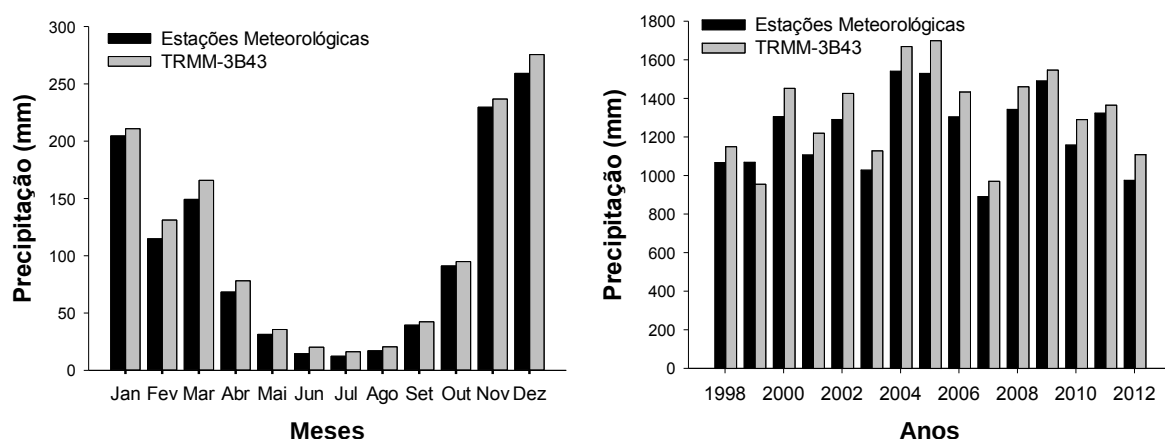


Figura 2: Média da precipitação dos totais mensais (mm/mês) e dos totais anuais (mm/ano) observados pelas estações Meteorológicas e pelo satélite TRMM (produto TRMM-3B43) para a bacia hidrográfica do Rio Doce, período entre 1998 e 2012.

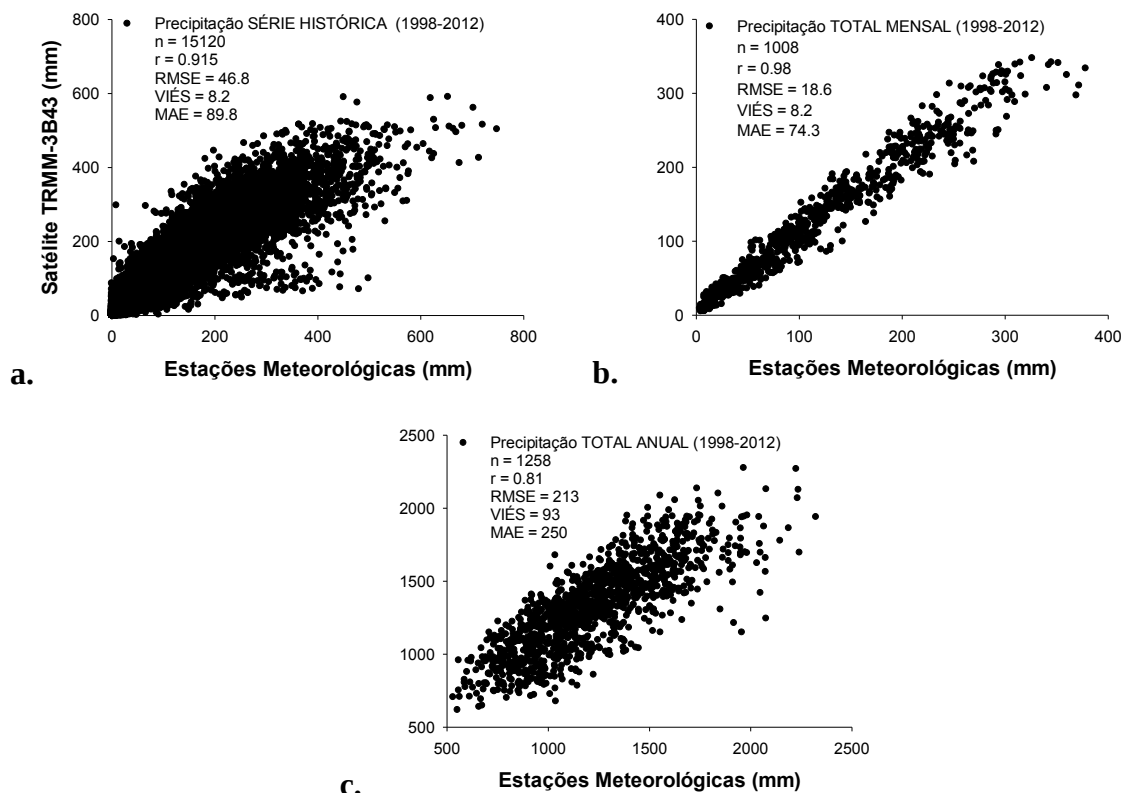


Figura 3: Gráfico de dispersão dos dados de precipitação do produto TRMM3B43 e das Estações Meteorológicas de superfície do período de 1998 a 2012. **a.** série histórica ($R=0.914$, $n=15120$); **b.** média do total mensal ($R=0.983$, $n=1008$); **c.** média do total anual ($R=0.809$, $n=1260$).

Na tabela 2 está o resumo da comparação estatística entre a precipitação do TRMM-3B43 e as estações com o coeficiente de correlação, R^2 , RMSE, Viés, MAE, precipitação máxima, mínima e média das estações e do TRMM.

Tabela 2. Comparações estatísticas entre a precipitação estimada pelo produto TRMM3B43 e as observadas pelas Estações Meteorológicas de superfície.

série histórica dos totais mensais											
	r	R2	RMSE	BIAS	MAE	máx. prec. OBS	máx. prec. TRMM	mín. prec. OBS	mín. prec. TRMM	méd. prec. OBS	méd. prec. TRMM
max	0.95	0.91	68.34	23.24	114.60	748.3	590.8	1.9	7.4	144.4	139.4
min	0.80	0.63	35.39	-18.85	69.71	334.33	380.1	0.0	0.0	72.0	89.5
média	0.92	0.84	46.45	8.22	88.22	494.5	465.0	0.1	0.3	102.1	110.3
média totais mensais											
	r	R2	RMSE	BIAS	MAE	máx. prec. OBS	máx. prec. TRMM	mín. prec. OBS	mín. prec. TRMM	méd. prec. OBS	méd. prec. TRMM
max	0.999	0.998	26.92	23.24	103.90	378.1	347.6	52.4	47.5	144.4	139.4
min	0.92	0.85	4.50	-19.62	43.14	186.4	203.9	3.4	5.2	72.0	89.5
média	0.99	0.98	17.73	8.20	74.67	260.7	271.4	13.3	17.1	102.0	110.3
totais anuais											
	r	R2	RMSE	BIAS	MAE	máx. prec. OBS	máx. prec. TRMM	mín. prec. OBS	mín. prec. TRMM	méd. prec. OBS	méd. prec. TRMM
max	0.93	0.87	325.91	278.85	313.13	2322.6	2275.67	1296	1215.64	1732	1673
min	0.54	0.29	109.70	-226.19	175.38	1121.5	1480.41	455	617.844	864	1074
média	0.82	0.68	207.45	98.70	236.83	1680.6	1780.58	820	890.949	1225	1323

r= coeficiente de correlação; R2= coeficiente de determinação; RMSE= raiz quadrada do erro médio ; Bias = viés, desvio, erro; MAE= erro médio absoluto; Max= máximo; min.= mínimo; méd. = médio; OBS= estações meteorológicas, observado; TRMM= precipitação por satélite

Observa-se que existe boa correlação entre as estações e o satélite (0.92; 0.99 e 0.82), com viés menor que 25 mm (média de 8.22 mm) no conjunto de dados da série histórica e média dos totais mensais e para os totais anuais apresentou viés de 98.7 mm (-226.19 a 278.85 mm).

4. Conclusões

A média de precipitação anual para a bacia apresentou diferença de 97 mm (7.8 %) entre os dados da estação meteorológica e o TRMM-3B43. Os meses que apresentaram maiores porcentagens de erro foram na estação seca, meses de Junho, Julho e Agosto e os menores nos meses entre setembro e janeiro. O TRMM-3B43 apresenta tendência a superestimar a média da precipitação nesta bacia e sazonalidades do clima acompanhando as variações das estações meteorológicas.

Na análise ponto-a-ponto observamos que existe boa correlação na maioria das estações meteorológicas com o TRMM-3B43 e é recomendada sua utilização principalmente em regiões onde as estações meteorológicas são poucas e mal distribuídas.

De acordo com os resultados, o TRMM demonstra bom desempenho podendo ser utilizado para caracterizar a precipitação média anual e totais anuais para esta bacia hidrográfica. Para a média dos totais mensais pode ser utilizado, porém com cautela para os meses secos, pois apresentou maior erro em relação às estações meteorológicas.

Agradecimentos

Ao programa de Pós Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo e à CAPES – Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela bolsa de estudo.

Referencias Bibliográficas

- As-syakur, A. R. et al. Comparison of TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA) products and daily-monthly gauge data over Bali. *International Journal of Remote Sensing*, v. 32:24, p. 8969-8982, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2010.531784>. Acesso em: 07 jun 2013.
- As-syakur, A. R. et al. Indonesian rainfall variability observation using TRMM multi-satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 34, n.21, p. 7723–7738, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2013.826837>. Acesso em: 03 set. 2013.
- Bertoni, J. C.; Tucci, C. E. M. PRECIPITAÇÃO. In: TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciências e aplicação*. 3.ed. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004. p. 174.
- Dinku, T. et al. Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography. *International Journal of Remote Sensing*, v. 28, p. 1503-1526, 2007.
- Feidas, H. Validation of satellite rainfall products over Greece. *Theoretical and applied climatology*, 99, 2010. 193 -216.
- Franchito, S. H. et al. Validation of TRMM precipitation radar monthly rainfall estimates over Brazil. *J. Geophys. Res.*, 114, D02105, doi:10.1029/2007JD009580., 2009.
- Huffman, G. J. et al. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, February 2007. 38-55.
- Kummerow, C. et al. The status of the tropical rainfall measuring mission (TRMM) after two years in orbit. *JOURNAL OF APPLIED METEOROLOGY*, dez. 2000. 1965-1982.
- Leivas, J. F. et al. 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. 1611-1616.
- 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*, n. 5, p. 1848-1864, 2013.
- Li, X.-H.; Zhang, Q.; Xu, C.-Y. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang lake basin. *Journal of Hydrology*, 2012. 426-427, p. 28-38.
- Mahmud, M. E. Space based observations: A state of the art solution for spatial monitoring tropical forested watershed productivity at regional scale in developing countries. 8th International Symposium of the Digital Earth (ISDE8). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, v. 18, p. 1-6, 2014.
- Maranhão, N. Termo de referência para elaboração do plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce. Anexo 1 - Diagnóstico consolidado da Bacia, versão final., 25 dezembro 2005. Disponível em: <<http://www.riodoce.cbh.gov.br/Diagnostico2005/diagnostico.pdf>>. Acesso em: 25 julho 2013.
- Mateos, L. et al. Monitoring evapotranspiration of irrigated crops using crop coefficients derived from time series of satellite images. I. Method validation. *Agricultural Water Management*, v. 125, p. 81-91, July 2013.
- NASA, N. A. A. S. A. Landsat Data Continuity Mission: Continuously Observing Your World, 2013. Disponível em: <http://ldcm.gsfc.nasa.gov/mission_details.html>. Acesso em: 02 julho 2014.

Praselia, R.; As-syakur, A. R.; Osawa, T. Validation of TRMM Precipitation Radar satellite data over Indonesian region. *Theor Appl Climatol*, v. 112, p. 575–587, 2013.

Silva, D. F. Uso de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade e de risco climático para a soja no Vale do Médio Paranapanema, SP. 2011. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Programa de Pós-Graduação do Instituto Agrônomo, Campinas-SP, 2011.

Souza et al. Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Doce: Relatório final. [S.l.]: CONSÓRCIO ECOPLAN - LUME, v. I, 2010.

TRMM. Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) Home Page. Greenbelt: GSFC, <http://trmm.gsfc.nasa.gov/>, 2014.

Viana, 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: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA. A Amazônia e o clima global, v. 1, n. 1, 2010. p.5.

Volpato, M. M. L. et al. Imagens do Sensor MODIS para monitoramento agrometeorológico de áreas cafeeiras. *Coffee Science*, Lavras, v. 8, n. 2, p. 176-182, abr/jun 2013.