

AVALIAÇÃO HIDROLÓGICA DE UM MÉTODO DE COMBINAÇÃO ENTRE CHUVA OBSERVADA E CHUVA ESTIMADA DESDE SATÉLITE

Karena Quiroz J.^{1} & Walter Collischonn²*

Resumo

Neste trabalho se investiga a potencialidade de um novo produto de chuva obtida da combinação de dados de chuva de pluviômetros e de satélite como dado de entrada para um modelo hidrológico de transformação de chuva em vazão. Este processo de combinação está baseado em uma relação linear ponderada pela distância e pelo tipo de informação (pluviômetro ou satélite). As constantes de ponderação junto ao fator do expoente da distância são calculadas por minimização do erro entre a chuva estimada e observada em pontos conhecidos. O novo método de combinação é usado como dado de entrada a um modelo hidrológico para avaliar seu desempenho como fonte potencial em aplicações hidrológicas. A modelagem é feita a passo de tempo diário na bacia do rio Tocantins. Os resultados obtidos com este método são comparados com aqueles obtidos usando outras fontes de chuva por satélite e com dados de pluviômetros, respectivamente. Os testes estatísticos mostraram bons desempenhos em eficiência e em erro no volume.

Palavras-Chave – chuva por satélite, modelo hidrológico.

HYDROLOGIC EVALUATION OF GAUGE-SATELLITE RAINFALL MERGING METHOD

Abstract

This paper investigates the potential of a rainfall product obtained from combining two sources of observation, rain gauges and satellite rainfall, to be evaluated in a hydrological model. This process is based on a weighted linear relationship, where each term represents a relationship of interpolation, which is a function of distance within two points within an area. The factors are calculated by minimizing the error between the observed and estimated rainfall at known points. The method merging is used as input to a hydrological model to evaluate their performance as a potential source for hydrological applications. The modeling is carried out daily time step for the Tocantins River basin in Brazil. The results obtained with this method are compared with those obtained using other sources of satellite rainfall data and rain gauges, respectively. Statistical tests showed good performance in efficiency and error in volume of streamflow, especially in larger drainage areas and some other areas with intermediate drainage. These tests also improved, especially the error of volume and the model parameters were calibrated independently for each source of rain.

Keywords – satellite rainfall, hydrological modeling.

¹ Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental UFRGS-IPH, Porto Alegre/RS, e-mail: karenaquiroz@gmail.com.

² Professor Adjunto UFRGS-IPH, Av. Bento Gonçalves 9500, Porto Alegre/RS, e-mail: collischonn@iph.ufrgs.br.

* Autor Correspondente: Karena Quiroz Jiménez.

INTRODUÇÃO

A chuva é a variável de entrada mais importante em modelos hidrológicos e sua estimativa é fundamental para previsões hidrológicas e para a gestão dos recursos hídricos. Esta variável normalmente é medida com pluviômetros, o que corresponde a uma estimativa pontual. Em regiões de monitoramento escasso, com baixa densidade de postos pluviométricos, outras formas de estimativa de chuva vêm sendo exploradas. Em grande escala, as estimativas de chuva baseadas em satélites podem ser uma importante fonte de dados adicionais.

A estimativa de chuva por satélite está baseada na medição da radiação emitida ou refletida pela atmosfera, detectada pelos sensores a bordo dos satélites. Agências meteorológicas de diversos países disponibilizam, atualmente, produtos de estimativa de chuva baseadas nessas medições indiretas. Os produtos de chuva por satélites mais conhecidos são: O Climate Prediction Center Morphing Technique Product (CMORPH; Joyce, *et al.*, 2004), Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM; Huffman *et al.*, 2007) e Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks (PERSIANN CCS; Hong, *et al.*, 2004).

Muitas pesquisas e projetos de inter-comparações já foram realizadas para validar os produtos mencionados anteriormente, sendo a vantagem de um produto para outro relacionado à região e sua aplicação na hidrologia. Trabalhos com estes produtos como dados de entradas em um modelo hidrológico distribuído aplicadas à bacia do rio Amazonas foram realizadas em Collischonn *et al.* (2008) e Quiroz *et al.* (2011). Neste último trabalho, os resultados mostraram diferenças e inconsistências, em regiões com maior influência topográfica e em regiões com processos de chuva de ar úmido e quente. Dessa forma, usar diretamente tais fontes em modelos hidrológicos pode acrescentar inconsistências nas vazões calculadas.

Uma alternativa interessante para obter estimativas de chuva é a combinação das informações de satélite e as informações obtidas em pluviômetros. Rozante *et al.* (2010) e Vila *et al.* (2009) desenvolveram produtos de combinação de chuva pluviômetro-satélite sobre toda América do Sul com passo de tempo diário. No trabalho de Rozante *et al.* (2010) foi desenvolvida uma técnica de interpolação para grades regulares, usando o método de análise objetivo de Barnes. Já no trabalho de Vila *et al.* (2009) foi desenvolvida uma combinação linear ponderada de duas diferentes distorções da estimativa da chuva por satélite na forma aditiva e proporcional. Os resultados obtidos em ambos os trabalhos foram testados usando validação cruzada, sendo a nova metodologia de combinação, proposta por Vila *et al.* (2009), superior ao produto original de chuva por satélite, quando essas são comparadas com a chuva observada. Em Velasco-Forero *et al.* (2009) foi elaborado uma combinação de chuva obtida desde radar-pluviômetro usando vários métodos geostatísticos, os resultados mostraram que o método de krigagem com tendência externa foi o melhor método de combinação chuva-radar porque conseguiu aproximar campos quantitativos de chuva comparado com os obtidos desde pluviômetros e campos de distribuições espaciais obtidos desde radar.

Aplicações das estimativas de chuva baseadas em combinação de dados de satélites e pluviômetros tiveram sucesso nos trabalhos apresentados por Jiang *et al.* (2012) e Gebregiorgis e Hossain (2011), onde os métodos de combinação usados sempre foram superiores a aqueles obtidos a chuva por satélite. No primeiro trabalho, utilizou-se um método de análise bayesiana no sul da China sobre uma rede densa de pluviômetros, e no segundo trabalho foi estimado um campo de chuva obtida da combinação linear de três fontes de chuva por satélite disponíveis na área de estudo. Sendo os pesos estimados como a inversa da variância do escoamento superficial utilizando dados de pluviômetros e de satélite para a bacia do rio Mississippi nos Estados Unidos.

No presente trabalho é explorado um método de combinação entre os dados pluviométricos observados em pluviômetros da ANA e estimativas de chuva obtidas por satélite em tempo real (produto TRMM 3B42RT), obtendo-se assim, os campos de chuva em grade regular para a bacia do rio Tocantins.

AREA DE ESTUDO E BASE DE DADOS

A bacia hidrográfica do rio Tocantins tem uma área de 300.000 km² até o posto fluviométrico Descarreto, localizado próximo à cidade de Imperatriz, no Maranhão. A precipitação na bacia está concentrada nos meses de novembro a maio, respectivamente. Os dados observados de chuva e vazão foram obtidos da Agencia Nacional de Águas (ANA), no período de 2003 a 2009. Foram usados dados de 288 postos pluviométricos, com menos de 30% de falhas nas séries temporais, além de dados de 36 estações fluviométricas. Dados de normais climatológicas de outras variáveis (temperatura, insolação, velocidade do vento e umidade relativa do ar) foram obtidos de 15 estações.

Os algoritmos para estimar a chuva desde o satélite TRMM usam medições de instrumentos como o sensor de micro-ondas (TMI), radar de precipitação (PR), radiômetro no visível e no infravermelho (VIRS). O produto 3B42RT, usado neste trabalho, usa estimativas de chuva baseadas em imagens na faixa de micro-ondas do sensor TMI, corrigidas através de medições feitas sobre a estrutura vertical das nuvens, as quais são obtidas do sensor PR, e não apresenta correções com chuva observada em terra. O interesse pelo produto 3B42RT é que este produto é disponibilizado com apenas 6 horas de atraso, em relação ao tempo atual, com resolução temporal de 3 horas e com resolução espacial de 0.25°. Para os efeitos de acumulação, a chuva diária do produto foi obtida somando arquivos individuais de 3 horas desde 12 UTC de um dia até 12 UTC do dia seguinte. Além disso, foram usados dados do produto de estimativa de chuva MERGE, disponibilizado pelo CPTEC (Rozante *et al.*, 2010) em grade de 0.20° e em intervalo de tempo diário para toda América do Sul.

MÉTODO DE COMBINAÇÃO CHUVA-SATÉLITE

O método de combinação proposto aqui (denominado CHUVSAT) para estimar a chuva diária em forma de grade de 0.25° com intervalo de tempo diário sobre uma região, é baseado em um método de interpolação da potencia da distancia. A estimativa de chuva em um ponto é uma ponderação dos dados de pluviômetros e de satélite na proximidade do ponto considerado, conforme descrito pela equação 1.

$$\hat{P}_k = \left(\frac{\alpha}{\alpha \sum_{i=1}^{np} w_i^p + \beta \sum_{j=1}^{ns} w_j^s} \right) \sum_{i=1}^{np} w_i^p P_i + \left(\frac{\beta}{\alpha \sum_{i=1}^{np} w_i^p + \beta \sum_{j=1}^{ns} w_j^s} \right) \sum_{j=1}^{ns} w_j^s S_j \quad (1)$$

onde

$$w^{p,s} = \frac{1}{d_k^\gamma} \quad (2)$$

e onde, \hat{P}_k é o valor de chuva estimada pelo método pluviômetro-satélite, k é a posição onde a chuva é combinada em um intervalo de tempo a ser calculado, α e β são pesos relacionados a chuva de pluviômetro e satélite, respectivamente, γ é a constante que representa o expoente da distancia, $w^{p,s}$ representam os pesos que dependem da distancia entre dois pontos, P_i e S_j são valores da chuva medida em pluviômetros e estimada por satélite, respectivamente. O total dos pontos pluviométricos e os centros de grades do satélite são representados por np e ns , respectivamente dentro da região de influência. As constantes α, β e γ são obtidos mediante um método de otimização baseado na minimização da função dos erros entre a chuva observada e os novos valores calculados pelo método de combinação.

APLICAÇÃO DO MÉTODO EM UM MODELO DE SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

O método de combinação CHUVSAT foi feito em duas etapas, em uma primeira se calcula as constantes que representam os pesos de cada fonte e o expoente da distancia; em uma segunda etapa se realiza a substituição desses valores na Eq.(1) para gerar um campo de chuva regular. No processo de interpolação foram considerados todos os dados de chuva de satélite e de pluviômetro dentro de um círculo de 100 km de raio. Com base na otimização foram obtidos os seguintes valores para os parâmetros do método de interpolação: $\alpha = 175.0$; $\beta = 25.0$ e, $\gamma = 1.31$. Usando estes valores foram gerados campos de chuva em uma região mais ampla do que os limites da bacia, em intervalo de tempo diário.

O método de combinação CHUVSAT foi avaliado através da utilização dos dados como entrada no modelo hidrológico MGB-IPH (Collischonn e Tucci, 2001). O MGB-IPH é um modelo distribuído, desenvolvido para grandes bacias, e utiliza uma discretização da bacia em unidades irregulares denominadas mini-bacias, definidas a partir de dados do relevo de um Modelo Digital de Elevação (MDE). As mini-bacias que compõem a bacia hidrográfica são subdivididas em Unidades de Resposta Hidrológicas (URH), que são áreas de comportamento hidrológico similar. Os parâmetros calibráveis do modelo hidrológico MGB-IPH estão associados às URHs, e são aqueles para os quais o modelo é mais sensível. O cálculo destes parâmetros pode ser obtido por calibração manual (procedimento de tentativa e erro) ou por calibração automática. Este último é feito pelos métodos avançados de algoritmos genéticos de otimização multiobjectivo.

A aplicação do modelo MGB-IPH sobre a bacia do Rio Tocantins foi primeiramente definida considerando 375 mini-bacias e 7 URH. Como dado de entrada o modelo MGB-IPH utiliza informações de precipitação previamente interpoladas para os centroides de cada minibacia.

O modelo foi calibrado inicialmente utilizando apenas os dados de pluviômetros. Com o conjunto de parâmetros obtido nesta calibração inicial o modelo foi aplicado utilizando dados de três outras fontes: produto de estimativa de chuva por satélite 3B42RT; produto MERGE (Rozante *et al.*, 2010); e o produto CHUVSAT, descrito no presente artigo. Posteriormente o modelo foi novamente calibrado utilizando os dados de chuva estimada por satélite 3B42RT, e foi calibrado uma terceira vez utilizando os dados dos campos de chuva obtidos pelo método CHUVSAT, descrito no presente artigo.

Os resultados foram avaliados utilizando o coeficiente de eficiência de Nash & Sutcliffe (*ENS*) e o erro no volume (ΔV) entre as vazões calculadas e observadas em cada posto fluviométrico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho foi feito um novo método de combinação de pluviômetros-satélite, chamado CHUVSAT. Este método foi avaliado em termos de vazão calculada obtida a partir do modelo hidrológico MGB-IPH. Os resultados obtidos foram comparados com série de vazões calculadas usando outras fontes de chuva por satélite, 3B42RT e MERGE. A Figura 1 (lado esquerdo) mostra o mapa das estações pluviométricas consideradas no cálculo do método de combinação chuva-satélite. Na mesma figura, no lado direito, são mostradas as estações fluviométricas com dados de vazão observada. Cabe salientar que estações fluviométricas influenciadas pela regularização dos reservatórios para as usinas não foram consideradas na análise de comparação.

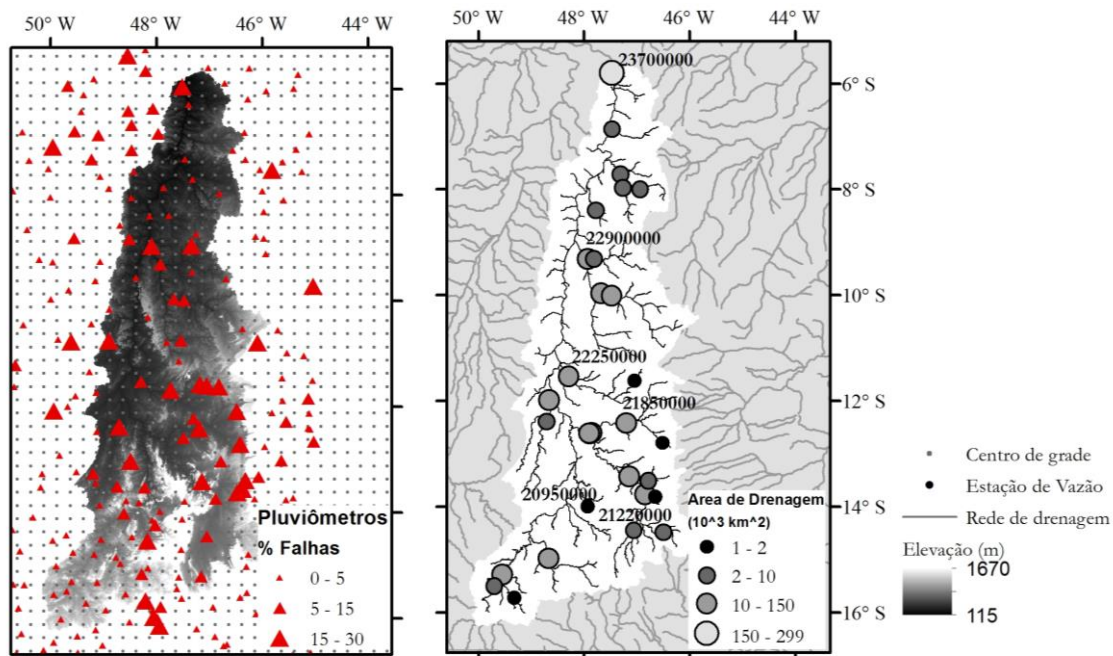


Figura 1 – Bacia do rio Tocantins. (Esquerda) Distribuição dos postos pluviométricos em base ao número de falhas e centros das grades do produto 3B42RT, 0.25°. (Direita) Rede de drenagem e seleção de estações com dados de vazão observada em função à área de drenagem.

Na Figura 2 se mostra a medida de eficiência (*ENS*) e erro no volume (ΔV) das vazões observadas e calculadas, usando chuva de satélite 3B42RT, MERGE e CHUVSAT. Nessa figura, os resultados mostrados são obtidos da calibração do modelo hidrológico com parâmetros obtidos com chuva do PLUV. Os resultados mostraram bons ajustes para *ENS* na maioria dos pontos de controle, com áreas de drenagem maiores do que 3.000 km². Em postos fluviométricos com áreas de drenagem menores do que 3.000 km² os resultados do modelo foram relativamente ruins. Os resultados de eficiência usando o produto combinado CHUVSAT indicaram bom desempenho nas vazões máximas, sendo melhores do que os resultados obtidos apenas com os dados dos pluviômetros (PLUV), em alguns casos. Os resultados obtidos usando as estimativas de chuva de satélite 3B42RT e a estimativa combinada do produto MERGE foram um pouco piores.

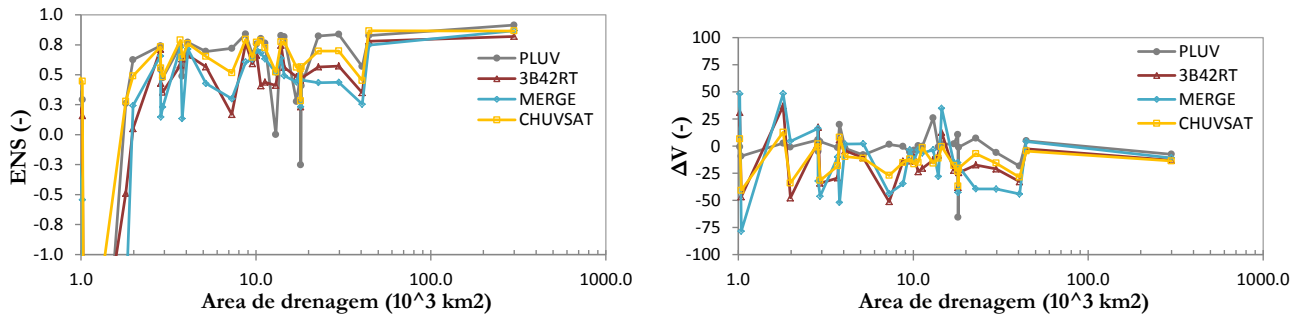


Figura 2 – Medidas de desempenho usando diferentes produtos de chuva por satélite em base ao incremento da área de drenagem para a bacia do rio Tocantins durante o período 2003-2009 com parâmetros calibrados usando dados de chuva observada. (Esquerda) Coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe, (Direita) Erro no volume.

Na Figura 3 e Figura 4 apresentam-se os hidrogramas das vazões observadas e calculadas com diversas fontes de chuva para quatro estações na bacia do rio Tocantins. Os hidrogramas calculados mostram algumas subestimativas em relação ao hidrograma observado, principalmente para o produto 3B42RT.

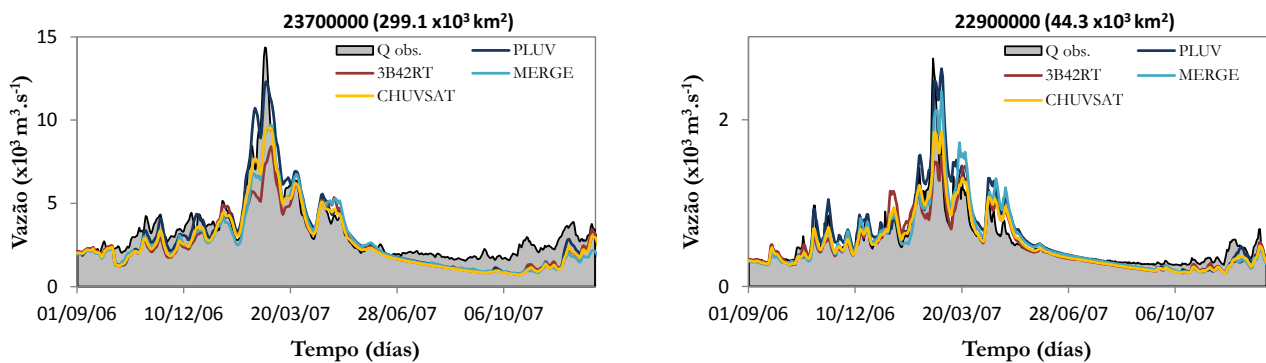


Figura 3 – Comparação dos hidrogramas das vazões observadas e calculadas desde chuva por satélite em duas estações fluviométricas para o período 1/9/2006 - 31/12/2007.

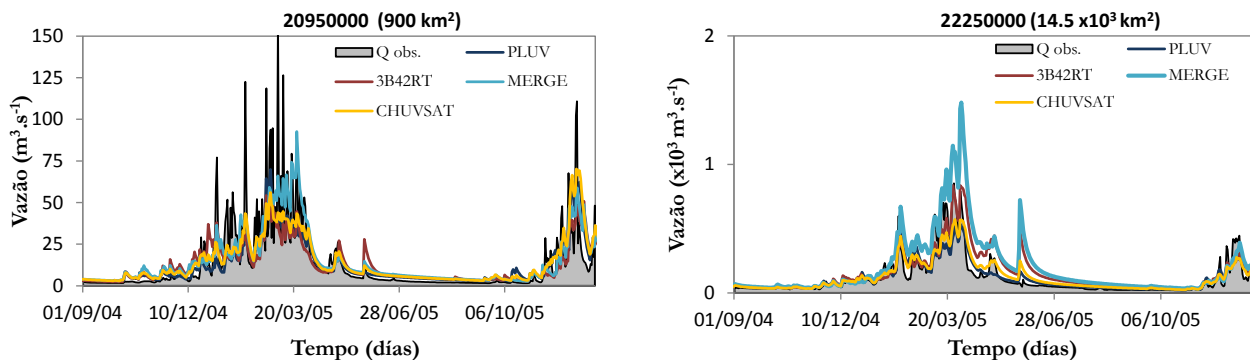


Figura 4 – Comparação dos hidrogramas das vazões observadas e calculadas desde chuva por satélite em duas estações fluviométricas para o período 1/9/2004 - 31/12/2005.

Na Tabela 1 mostra-se os resultados de eficiência e do erro no volume de seis pontos de controle (estações fluviométricas) com dados observados. A coluna com nome: Parâmetro 1, representa os resultados da simulação com parâmetros calibrados usando a fonte de chuva PLU. A coluna de nome: Parâmetro 2, representa os resultados da simulação com parâmetros calibrados de forma independente para as fontes de chuva 3B42RT e CHUVSAT, respectivamente. Uma calibração independente por cada fonte reduziu os erros no volume em algumas estações e em outras melhorou o ajuste nas vazões máximas. Os números marcados em negrito mostram os valores em melhoria do produto CHUVSAT com relação às outras fontes.

Tabela 1– Avaliação de desempenho dos produtos de satélite em alguns postos fluviométricos na bacia do rio Tocantins para o período 2003-2009.

Posto	Área de dren. (1000km ²)	Medida desemp.	PLU	Parâmetro 1			Parâmetro 2	
				3B42RT	MERGE	CHUV SAT	3B42RT	CHUV SAT
20950000	0.9	ENS	0.55	0.40	0.49	0.57	0.44	0.50
		ΔV	-5.46	-19.99	0.014	-1.36	-10.39	-10.52
21220000	7.3	ENS	0.72	0.17	0.3	0.52	0.74	0.80
		ΔV	1.51	-51.26	-43.82	-27.14	3.61	6.08
21850000	13.0	ENS	0.00	0.41	0.52	0.52	0.20	0.58
		ΔV	25.96	-12.77	-3.53	-15.85	14.22	0.26
22900000	44.3	ENS	0.83	0.78	0.75	0.77	0.75	0.84
		ΔV	4.89	-2.61	4.26	-0.46	3.76	4.01
22250000	14.5	ENS	0.82	0.56	0.50	0.84	0.57	0.84
		ΔV	1.96	12.66	34.83	-2.52	9.32	4.36
23700000	299.1	ENS	0.91	0.82	0.87	0.87	0.85	0.91
		ΔV	-7.55	-13.02	-10.93	-13.70	-9.28	-5.71

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um método de combinação de chuva observada por pluviômetros e estimada por satélite para obter um campo de chuva em grade de regular sobre a bacia do rio Tocantins em Brasil e alguns testes preliminares do método na bacia do rio Tocantins. Este novo produto de chuva combinado foi avaliado para ser variável de entrada em um modelo hidrológico e testar sua potencialidade em aplicações hidrológicas. Os resultados por testes de eficiência e erro no volume nas vazões calculadas e observadas mostraram um desempenho promissor motivando novos testes deste método de combinação pluviômetro-satélite.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CNPq, pela ajuda financeira concedida aos autores.

REFERÊNCIAS

- COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. (2008). Daily hydrological modeling in the Amazon basin using TRMM rainfall estimates. *Journal of Hydrology*, v. 360, n. 1-4, p. 207-216.
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. (2001). Simulação Hidrológica de grandes bacias. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 6, n. 1, p. 95-118.
- GEBREGIORGIS, A.; HOSSAIN, F. (2011). How Much Can A Priori Hydrologic Model Predictability Help in Optimal Merging of Satellite Precipitation Products? *J. Hydrometeorol*, v. 12, n. 6, p. 1287-1298.
- HONG, Y.; HSU, K. L.; SOROOSHIAN, S. & GAO, X. (2004). Precipitation Estimation from Remotely Sensed Imagery Using an Artificial Neural Network Cloud Classification System. *J. Appl. Meteor.*, v. 43, n. 12, p. 1834-1853.
- HUFFMAN, G. J. et al. (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of Hydrometeorology*, v. 8, n. 1, p. 38-55.
- JIANG, S.; REN, L.; HONG, Y.; YONG, B.; YANG, X.; YUAN, F. & MA, M. (2012). Comprehensive evaluation of multi-satellite precipitation products with a dense rain gauge network and optimally merging their simulated hydrological flows using the Bayesian model averaging method. *Journal of Hydrology*, 452-453, p. 213-225.
- JOYCE, R. J. et al. (2004). CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *Journal of Hydrometeorology*, v. 5, n. 3, p. 487-503.
- QUIROZ, J., COLLISCHONN, W., LAVADO, W.S.C. (2011). Modelização Hidrológica usando estimaciones de lluvia por satélite en cuenca del río Huallaga, Perú. *Revista Peruana Geo-Atmosférica - RPGA*, v. 3, p. 51-62.
- ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; DE GONCALVES, L. G. G. & VILA, D. A. (2010). Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation over South America. *Wea. Forecasting*, v. 25, n. 3, p. 885-894.
- VELASCO-FORERO, C. A.; SEMPERE-TORRES, D. CASSIRAGA, E. F., GÓMEZ-HERNÁNDEZ, J. J. (2009). A non-parametric automatic blending methodology to estimate rainfall fields from rain gauge and radar data. *Advances in Water Resources*, v. 32, n. 7, p. 986-1002.
- VILA, D. A.; DE GONCALVES, L. G. G.; TOLL, D. L. & ROZANTE, J. R. (2009). Statistical Evaluation of Combined Daily Gauge Observations and Rainfall Satellite Estimates over Continental South America. *J. Hydrometeorol*, v. 10, n. 2, p. 533-543.