ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DAS ESTIMATIVAS DE PRECIPITAÇÃO DO GPM/IMERG NA ÁREA DE CAPTAÇÃO DO SISTEMA CANTAREIRA

José Otávio de Almeida Bueno, Vandoir Bourscheidt

Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Washington Luis, km 235, 13565-695 – São Carlos, SP, Brasil
tvnalmeida@gmail.com; vandoir@ufscar.br

RESUMO

O regime hidrológico e as características dos mananciais influenciam a quantidade de água disponível para os diferentes usos. Assim, o monitoramento do regime pluviométrico é de grande importância. Nesse sentido, o estudo buscou analisar a aplicabilidade de dados remotos de precipitação, através do produto GPM/IMERG, em grandes sistemas de captação, tendo como modelo o Sistema Cantareira. Os resultados obtidos indicam boa correlação entre os dados de superfície e os de satélite quando considerado um intervalo temporal mensal. Na perspectiva espacial, a distribuição da pluviometria também se mostrou similar para os dados de superfície e remotos. Por fim, a análise espaço-temporal indica que nos últimos anos o volume de chuva tem se distribuído gradualmente ao longo do Sistema Cantareira, com maior concentração na porção sul.

Palavras-chave **—** Precipitação, IMERG, pluviômetros, Sistema Cantareira.

ABSTRACT

The hydrological regime and the characteristics of the water sources influence the amount of water available for the different uses. Thus, the monitoring of the rainfall regime is of great importance. In this sense, the study analyzes the applicability of remote precipitation data, through the product GPM/IMERG, in large reservoirs, using Cantareira Supply System as example. The results indicate a consistent correlation between the surface and satellite data, when considering a monthly time interval. In the spatial perspective, the rainfall distribution was also similar for surface and remote data. Finally, the spatial-temporal analysis indicates that in recent years the volume of precipitation is well distributed along the Cantareira System, with greater concentration in the southern portion.

Keywords **—** *Precipitation, IMERG, rain gauges, Cantareira Supply System.*

1. INTRODUÇÃO

Em grandes bacias hidrográficas ou sistemas de grande porte tais como o Sistema Cantareira, a medição da precipitação costuma ser realizada por pluviômetros ou, de forma mais ampla, por satélites e radares meteorológicos. O pluviômetro capta a precipitação de forma pontual, extrapolando tais medidas, por meio de estimativas, para as áreas mais distantes dos pontos de medição, enquanto os radares e imagens de satélites apresentam estimativas em um contínuo espacial, tornando-os propícios para serem interpolados com a precipitação obtidas nos locais onde estão instalados os pluviômetros [1].

Os pluviômetros e pluviógrafos são efetivos nos parâmetros de intensidade e duração da chuva, porém não possuem representatividade espacial, visto sua pontualidade. As limitações de representatividade ocorrem principalmente para chuvas convectivas, com células da ordem de 10 km [2].

Os dados obtidos a partir de radares possuem fontes de erro maiores que os pluviômetros, porém permitem uma amostragem eficiente de forma temporal e espacial para se estimar a taxa de precipitação [1]. Informações obtidas através de radares meteorológicos, no entanto, não estão disponíveis para todas as regiões. Nesse sentido, informações por meio de satélites vêm buscando diminuir as limitações de cobertura, fornecendo dados com uma precisão razoável (10 km) em períodos que permitem boas estimativas dos totais precipitados sobre grandes bacias hidrográficas (até 30 minutos), como é o caso do GPM/IMERG [3], que é utilizado neste trabalho. Vale ressaltar que os melhores resultados para estimativa de precipitação por satélite são obtidos pela integração de dados de satélites orbitais e geoestacionários [4].

Por serem estimativas, estes dados (radar e satélite) normalmente precisam passar por processos de validação em relação as medidas consideradas reais, obtidas através dos pluviômetros. Diversos trabalhos abordam esta temática, tanto para a relação com radares meteorológicos [5], [6] como para produtos oriundos de satélites [7], [8], [9] e [10].

Os resultados entre as estimativas por radar e satélite e as medidas obtidas com pluviômetros costumam variar, mas de um modo geral, se evidenciam as limitações de cada técnica. O radar, por exemplo, depende da relação entre a altura do feixe, relevo, distância e a altura das nuvens. As estimativas também costumam variar sazonalmente e com a intensidade da chuva, superestimando e subestimando os valores sistematicamente [5], [10] e [6]. Outra observação recorrente é a melhora na estimativa de precipitação quando do aumento do intervalo de tempo usado na integração das informações [11]. Ainda existem trabalhos específicos que se utilizam das próprias medidas obtidas através de radares

de superfície para avaliar as estimativas obtidas por satélites [12].

Este estudo teve como principal intuito avaliar a aplicabilidade dos dados pluviométricos obtidos por meio de sensoriamento remoto considerando grandes sistemas de captação de água, neste especificamente para o Sistema Cantareira, avaliando a relação entre esses dados e dados de superfície (pluviômetros), de forma temporal e espacial.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo, Sistema Cantareira (Figura 1) possui aproximadamente 228 mil hectares (227.949,22 ha) e está localizado no Estado de São Paulo, com 125.787,2 hectares, no qual abrange 8 municípios – Bragança Paulista, Caieiras, Franco da Rocha, Joanópolis, Mariporã, Nazaré Paulista, Piracaia e Vargem – e no Estado de Minas Gerais, com 102.162,1 hectares, abrangendo 4 municípios – Camanducaia, Extrema, Itapeva e Sapucaí-Mirim [13].

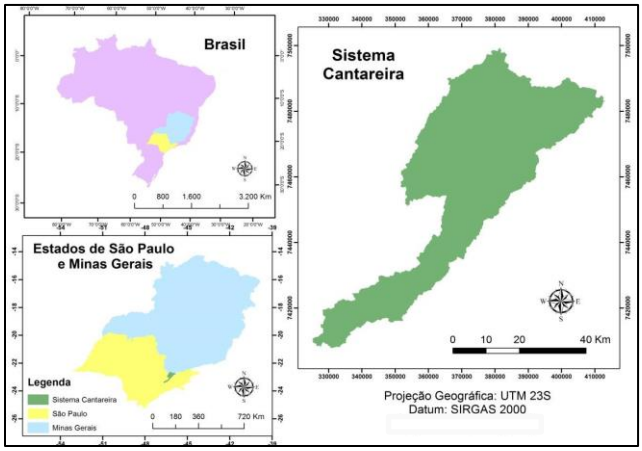

Figura1. Localização geográfica da área de estudo.

Três conjuntos de dados foram utilizados neste trabalho: estimativas de precipitação por ssatélite; dados de pluviômetros do CEMADEN (Centro nacional de Monitoramento de Desastres Naturais) e INMET (Instituto Nacional de Meteorologia); e informações de precipitação ocorrida na área do Sistema Cantareira, disponibilizados pela SABESP.

Os dados de satélite foram obtidos da missão Global Precipitation Measurement (GPM – NASA), através do produto IMERG, uma missão da NASA que consiste em uma rede de satélites que detectam informações na faixa espectral do infravermelho (IR) e de micro-ondas (PMW), fornecendo informações e observações globais sobre a precipitação de chuva e neve [14]. O conceito do GPM se baseia na implantação de um satélite principal ("core") que carrega e transporta um sistema de radar e radiômetros para medir a precipitação a partir do espaço, que funciona como referência para unificar as medições de precipitação a partir de outros satélites operacionais [14] e [15]. Este satélite principal é o único com radar de dupla frequência, capaz de criar perfis em 3D e estimativas de intensidade com variação para neve e gelo. Além disso, ele é uma extensão dos instrumentos da TRMM (Tropical Rainfall Mesurement Mission). Os dados são coletados a cada três horas, compilados posteriormente em séries diárias, a cada 3 dias, a cada 7 dias e, por fim, mensalmente [15]. Sua resolução temporal permite, no entanto, obter dados a cada meia hora.

A série de dados do satélite GPM/IMERG que foram utilizadas tem início em março/2014. Os dados do GPM possuem resolução espacial de aproximadamente 10 km (0.1°) e temporalmente, para este trabalho, foram utilizados dados de produtos mensais até dezembro/2017.

Para avaliar a relação entre os dados na perspectiva temporal, os valores de precipitação diária foram obtidos junto ao site da Sabesp, para as áreas dentro de cada reservatório, no período entre maio de 2014 e dezembro de 2017. Esta pluviometria dos reservatórios é obtida através de pluviômetros distribuidos ao longo de todo o sistema (pertencentes a diferentes instituições, como o DAEE e o próprio CEMADEN). As precipitações foram acumuladas mensalmente e os valores transformados em volume para cada reservatório. Os dados foram comparados com as estimativas de precipitação obtidas com o IMERG. Para este, com base na estimativa de cada reservatório, foram extraídas as médias de precipitação e posteriormente calculados os volumes para cada mês.

Para se verificar, espacialmente, a relação entre os dados de superfície e remotos, foi tomado como base o mês de janeiro de 2015, com valores de precipitação obtidos das estações do CEMADEN e do INMET. Este mês foi escolhido em função da grande ocorrencia de falhas observadas nos dados, resultando que apenas este mês apresentou maior disponibilidade de estações com dados completos. A distribuição espacial das estações foi feita utilizando o método de interpolação (IDW). No caso do IMERG, o próprio produto mensal já fornece uma distribuição espacial da pluviometria para o período.

Complementando a análise, também foram obtidas as distribuições espaciais da pluviometria para o período anual, utilizando a soma de produtos mensais do IMERG, com a ferramenta Weighted Sum no ArcGIS 10.4. A ferramenta permite somar os produtos entre si e ainda multiplicar separadamente cada um deles por um fator específico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na comparação entre os dados da Sabesp e IMERG (convertidos em volume, Figura 2) para os reservatórios Atibainha, Cachoeira, Jaguari/Jacareí e Juqueri, foram encontradas correlações significativas para todos os casos, sendo, da ordem de maior para menor valor de R^2, respectivamente: 0.878 (Jaguari/Jacareí), 0.87 (Cachoeira), 0.862 (Juqueri) e 0.86 (Atibainha). Essas observações sugerem que o dado mensal do IMERG pode ser

considerado como confiável para se realizar distribuições espaciais da chuva para períodos mais longos.

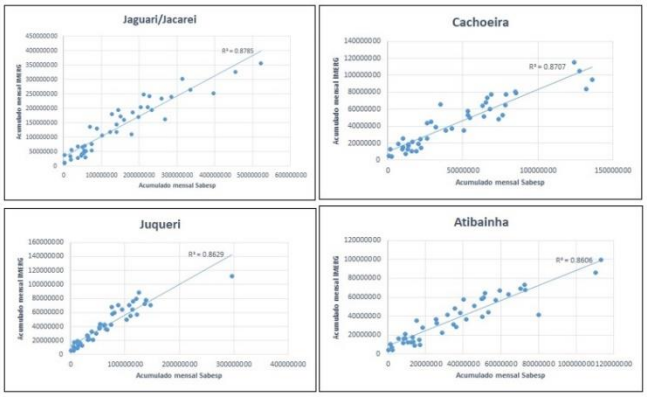

Figura 2. Gráficos de dispersão para os quatro reservatórios com os maiores (cima) e menores (baixo) valores de R^2 para o período de precipitação acumulada mensal da Sabesp e do IMERG.

Como os valores dos pluviômetros de toda a região são integrados para esta análise, não é possível observar as variações espaciais associadas, o que necessita de dados específicos de todos os pluviômetros. Esta análise pode ser vista através da Figura 3, onde são apresentados os dados do mês de janeiro de 2015. É possível notar uma similaridade, nas distribuições espaciais da pluviometria, do CEMADEN e INMET com o IMERG. Na região nordeste sentido região central estão localizadas (salvo exceções de alguns picos na figura 3a em que provavelmente ocorreram chuvas torrenciais e pontos com precipitações muito baixas) as menores precipitações com uma tendência de aumento da quantidade de chuva quando se segue para a região sudoeste de ambas as figuras, onde estão localizados os maiores valores de precipitação para o período em análise.

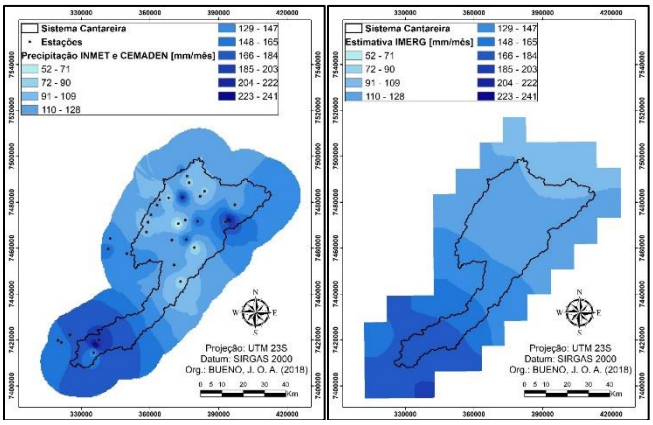

Figura 3. Distribuição espacial da chuva pelo CEMADEN e INMET (a, esquerda) e pelo IMERG (b, direita). Os dados IMERG foram refinados (~400 metros) para a melhor comparação com os dados CEMADEN.

As distribuições espaciais da pluviometria foram feitas para os anos de 2014, 2015, 2016 e 2017 (Figura 4a, b, c e d respectivamente) apenas com base nos dados do produto mensal do IMERG. Para este caso não foi usado o processo de interpolação. Observa-se que, no período, os menores volumes de precipitações se encontram nas regiões norte e nordeste do Sistema Cantareira, na bacia hidrográfica do Jaguari.

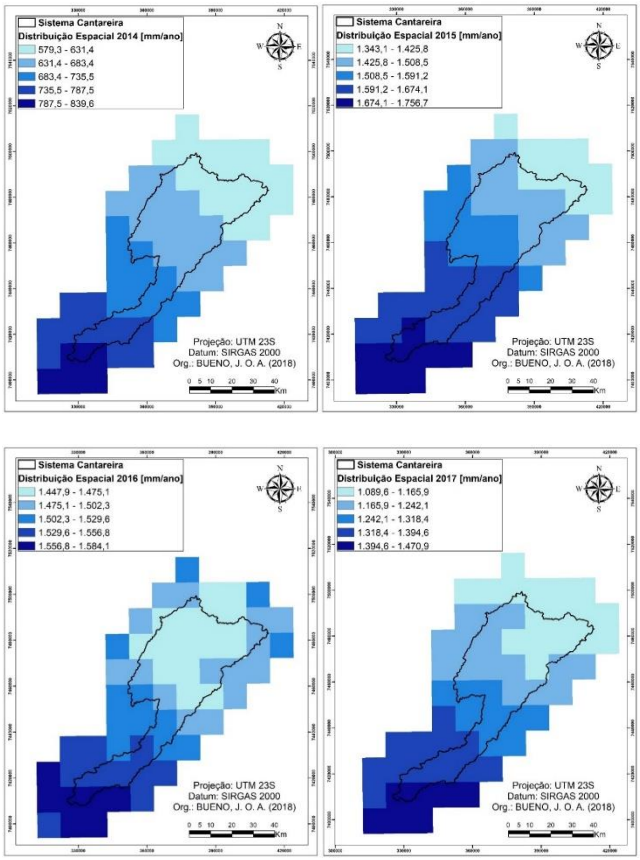

Figura 4. Distribuição espacial anual da chuva na região do Sistema Cantareira para o ano de 2014 (A); 2015 (B); 2016 (C) 2017 (D).

Nas regiões centrais do Sistema, as quais abrangem as bacias hidrográficas do Jacareí, Cachoeira e Atibainha são regiões onde ocorreram volumes médios de precipitações em comparação com as demais bacias. Já na região sudoeste do sistema, na região da bacia hidrográfica do Juquery (já no estado de São Paulo), ocorreram os maiores volumes de precipitações. Em termos do total precipitado, observa-se maiores valores de precipitação em 2015 e 2016, com redução em 2017. Para o ano de 2014 essa análise não pode ser realizada por se tratar de um período mais curto de dados disponíveis, tendo em vista o inicio da série do IMERG.

É provável que a redução do volume precipitado em 2016 e 2017 tenha influenciado na redução do volume útil do Sistema observado atualmente.

5. CONCLUSÕES

As estações meteorológicas de superfície apresentam dados reais de precipitação acumulada, todavia não estão disponíveis para boa parte dos territórios e, por estarem sujeitas a uma série de falhas nos seus dados, podem não atingir um nível de eficiência desejado dependendo do tipo de estudo. Nesse sentido, os dados de precipitação estimada através de sensores remotos, como o GPM/IMERG, são mais consistentes e tornam-se uma opção viável quando se tratando de estudos em que não se é possível ter estações na superfície, principalmente em áreas de difícil acesso.

Sendo assim, pode-se sugerir a utilização desses produtos para serem empregados em estudos e projetos que pretendem utilizar estimativas de precipitação por satélite, podendo também contribuir significativamente com o monitoramento do nível de grandes sistemas de captação. Destaca-se que sua aplicação no curto prazo pode não ser efetiva, sendo mais apropriado para perídos mensais ou maiores.

Quando se analisa as variações espaciais da precipitação, o produto do IMERG é similar à obtida pela interpolação dos pluviômetros do CEMADEN e INMET. É notório o fato de que nos últimos anos o volume de chuva tem se distribuído de forma não uniforme no Sistema Cantareira, de modo que as bacias hidrográficas situadas a norte e nordeste do Sistema receberam um menor volume de precipitação, ao passo que esse volume vai aumentando a medida que se aproxima das bacias localizadas mais a sudoeste do sistema. Assim, a precipitação direta contribuí mais significativamente para o aumento do nível das bacias das regiões central e sudoeste do sistema.

6. REFERÊNCIAS

[1] SANTOS, I. dos, et al. *Hidrometria aplicada*. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001.

[2] CALVETTI, L.; BENETI, C.; PEREIRA FILHO, A. J. Integração do radar meteorológico Doppler do SIMEPAR e uma rede de pluviômetros para a estimativa da precipitação. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 11, p. 1137-1144, 2003.

[3] NASA (NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION). *The IMERG multi-satellite precipitation estimates reformatted as 2-byte TIFF files for display in Geographic Information Systems (GIS)*. 2016.

[4] SAPIANO, M. R. P.; ARKIN, P. A. An intercomparison and validation of highresolution satellite precipitation estimates with 3-hourly gauge data. *Journal of Hydrometeorology*, v. 10, n. 1, p. 149-166, 2009.

[5] CALVETTI, L.; et al. Validação de estimativas de precipitação por radar e satélite: análise de relações ZR e integração com pluviômetros. *XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Campo Grande, MS, 2009.

[6] BRINGI, V. N.; RICO-RAMIREZ, M. A.; THURAI, M. Rainfall estimation with an operational polarimetric C-band radar in the United Kingdom: comparison with a gauge network and error analysis. *Journal of Hydrometeorology*, v. 12, n. 5, p. 935-954, 2011.

[7] COLLISCHONN, B. et al. 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.

[8] 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: *Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMet)*, XVI. 2010.

[9] HOU, A. Y. et al. The global precipitation measurement mission. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 95, n. 5, p. 701-722, 2014.

[10] SOHN, B. J.; HAN, Hyo-Jin; SEO, Eun-Kyoung. Validation of satellite-based high-resolution rainfall products over the Korean Peninsula using data from a dense rain gauge network. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 49, n. 4, p. 701-714, 2010.

[11] ANTONIO, M. D. A. Comparação de precipitação por radar e pluviógrafo em função do tempo de integração. *III Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Belo Horizonte: 389-397 p. 1984.

[12] CIACH, G. J. et al. Radar rainfall estimation for ground validation studies of the Tropical Rainfall Measuring Mission. *Journal of Applied Meteorology*, v. 36, n. 6, p. 735-747, 1997.

[13] WHATELY, M., CUNHA, P. Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da região metropolitana de São Paulo. São Paulo, *Instituto Socioambiental*, 2007.

[14] KUMMEROW, C., et al.. Global Precipitation Measurement (GPM) mission. *Algorithm Theoretical Basis Doc*., version 1.4, 46 pp, 2014 [Available online at http://rain.atmos. colostate.edu/ATBD/ATBD_GPM_Aug1_2014.pdf.

[15] HUFFMAN, G. J. et al. NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG). *Algorithm theoretical basis document*, version, v. 4, 2013.