

## **ANÁLISE DA ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO PELO INTEGRATED MULTISATELLITE RETRIEVALS FOR GPM NO SISTEMA PRODUTOR CANTAREIRA**

**Walison de Carvalho<sup>(1)</sup>**

Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos; Especialista em Geoprocessamento pela PUCMG; Especialista em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para e Gestão Municipal de Recursos Hídricos. Analista de Planejamento Ambiental na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Costa Carvalho, 300 - Pinheiros – São Paulo - SP - CEP: 20000-000 - Brasil - Tel: +55 (11) 94110-3091 - e-mail: walisoncarvalho@sabesp.com.br.

### **RESUMO**

A análise espaço-temporal da precipitação é fundamental para o entendimento do ciclo global da água e do balanço de energia. Estações meteorológicas e radares fornecem dados valiosos, mas possuem limitações. Como alternativa, o sensoriamento remoto por satélites tem se mostrado uma ferramenta eficiente para estimar precipitação em escala global. Este estudo compara dados de precipitação observados por estações telemétricas com as estimativas obtidas pelo algoritmo IMERG do programa *Global Precipitation Measurement* (GPM). Para isso, foi utilizado o método ponto a pixel, comparando os dados das estações pluviométricas com os pixels mais próximos do satélite GPM. As métricas estatísticas, como coeficiente de determinação ( $R^2$ ), coeficiente de eficiência de Nash-Sutcliffe (NS) e índice de concordância de Willmott (IC), indicam alta precisão das estimativas por satélite. Apesar de algumas discrepâncias pontuais, os resultados sugerem que os dados de precipitação por sensoriamento remoto são consistentes e podem ser utilizados para monitoramento de recursos hídricos, especialmente em áreas de difícil acesso.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento remoto; IMERG. Estimativa de precipitação; Sistema Cantareira

### **INTRODUÇÃO**

A análise espaço temporal da precipitação desempenha um papel importante na melhoria da compreensão do ciclo global da água e do balanço de energia (KIDD; HUFFMAN, 2013; LIU, 2017). Estimativas precisas de precipitação são necessárias para a maioria dos modelos operacionais hidrológicos, climáticos ou meteorológicos como a entrada principal para fins de assimilação, calibração e validação. Além disso, observações de precipitação de também são usadas por pesquisadores em uma miríade de outros campos de estudo (AGHAKOUCHAK et al. 2011). Todos os tipos de sensores usados atualmente para estimar a precipitação têm seus pontos fortes e limitações no delineamento das características temporais e espaciais da precipitação, onde, tradicionalmente, as redes de monitoramento do clima, são a fonte mais confiável de observações de chuva e são usadas na maioria dos estudos como uma referência para comparar e validar os dados de estimativas de precipitação por satélite (TAPIADOR et al., 2012). No entanto, as redes de medição podem não capturar perfeitamente todos os detalhes de um evento em decorrência de diversas limitações, dentre elas podem ser citadas a baixa resolução espacial, problemas técnicos na geração de relatórios de dados e a falta de um sistema integrado de medidores (AGHAKOUCHAK et al., 2011; SKOFRONICK-JACKSON et al., 2017).

Como alternativa as redes de medição, os radares meteorológicos podem fornecer o quantitativo de precipitação em tempo real em altas resoluções, mas eles também têm seus próprios tipos de erros, que podem afetar a precisão de seus produtos, como super/subestimação das quantidades de chuva, erros de truncamento e falta de redes de radar em escala global (SATGÉ et al., 2017). Estimativas baseadas em satélites podem superar algumas dessas limitações por sua capacidade de capturar quantidades de precipitação e relatar dados continuamente para a maior parte do globo, especialmente aquelas áreas onde não é possível a instalação de redes de medição ou radares (LIU; XIE, 2017; CHEN; LI, 2016). No entanto, estes produtos também precisam ser calibrados e validados antes de serem usados operacionalmente (KIDD et al., 2020). Atualmente, a gestão sustentável dos recursos hídricos vem enfrentando desafios substanciais em todos os níveis, desde a escala local até a global. A comunidade climática internacional, por

meio do *World Climate Research Programme*, identificou sete grandes desafios que deverão ser enfrentados nas próximas décadas, principalmente em relação ao nosso entendimento e capacidade de nos adaptarmos às mudanças climáticas.

Quatro desses desafios estão relacionados diretamente à água presente na atmosfera, seja através de nuvens, circulação e sensibilidade climática, eventos climáticos extremos, água para a produção de alimentos e previsão do clima a curto prazo (SKOFRONICK-JACKSON et al., 2017). Três questões básicas colocadas sob esses desafios são: como a disponibilidade de água doce mudará nas próximas décadas, qual é a previsibilidade das mudanças na frequência e intensidade dos eventos extremos, e como a convecção molda as respostas das nuvens? No centro dessas questões está a necessidade de melhores medições de precipitação, desde a observação de padrões globais até escalas locais, onde tem o impacto social mais profundo. Diante do acima exposto, este trabalho tem como objetivo a comparação dos dados de precipitação observado através de estações telemétricas com as estimativas de precipitação por satélite.

A utilização de satélites na estimativa de precipitação tem se tornado uma importante ferramenta para suprimir as limitações encontradas com o uso de pluviômetros ou estações meteorológicas (SKOFRONICK-JACKSON et al., 2017; TEODORO et al., 2020). Estas estimativas podem ser utilizadas para caracterizar mudanças no ciclo da água da Terra, quantificar fluxos e reservatórios de água doce e avançar na capacidade de previsão de desastres naturais e eventos climáticos extremos. Estas informações devem ser usadas sinergicamente com observações complementares para obter insights físicos sobre as complexas interações entre a água e outros componentes do sistema terrestre (KUCERA et al., 2013; LIU; XIE, 2017). Lançado em 1997, o *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) foi o primeiro projeto de monitoramento de precipitações com a utilização de satélites, fruto da parceria entre a *National Aeronautics and Space Agency* (NASA) e a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), onde o objetivo específico do projeto era o monitoramento e estudo das precipitações nas regiões tropicais e subtropicais, além de verificar a influência de tais eventos no clima global (KUMMEROW et al., 2000).

Em decorrência do sucesso do programa TRMM, houve a necessidade em manter as estimativas de precipitação através de sensoriamento remoto, uma vez que o TRMM foi encerrado em 2005 (LEMONS et al., 2017). Para suprir tal demanda, foi lançado em 2014 o programa Global Precipitation Measurement (GPM), formado NASA e JAXA, que desenvolveram o *GPM Core Observatory* (GPM-CO) e também por um consórcio de agências espaciais internacionais, incluindo o *Centre National d'Études Spatiales* (CNES), a *Indian Space Research Organization* (ISRO), a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e a *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT) (DEZFULI et al., 2017; KID et al., 2020).

A fim de aumentar a capacidade de medição do programa GPM, o GPM-CO foi equipado com um radar de precipitação de dupla frequência (DPR) de banda Ku de 13,6 GHz e banda Ka de 35,5 GHz e um imageador de micro-ondas (GMI) de 13 canais, mais duas bandas de alta frequência adicionais em 165,5 GHz e 183,31 GHz (KIDD et al., 2020). O GPM-CO é parte fundamental da missão GPM, sendo utilizado como padrão de referência de calibração e unificação dos dados de uma constelação internacional com aproximadamente 10 de satélites, como o indo-francês Megha-Tropiques, o europeu MetOp e os americanos DMSP, POES, Suomi NPP e o JPSS, que combinando as informações, melhoram a estimativa dos dados de precipitação (CHEN; LI, 2016; HOU et al., 2014; HUFFMAN et al., 2015).

A abordagem integrada, pela qual os produtos de precipitação estão relacionados a aplicações específicas para determinar os erros e incertezas associados, incluem a estimativa e medição da distribuição do tamanho da gota por diferentes sensores, buscando reconciliar as diferenças, a partir da compreensão física da precipitação e dos processos associados, e das diferenças nas técnicas de observação, através da identificação e redução de erros e incertezas na modelagem hidrológica (BRINGI et al., 2015; LIAO et al. 2014). Os produtos IMERG são disponibilizando em formato de grade de 0,1°, com diferentes resoluções temporais, de acordo com o produto final escolhido. Os dados IMERG Early, Late e Final Run são disponibilizados em vários formatos de dados com diferentes tipos de processamento, de modo que possa atender às necessidades da comunidade de usuários de dados hidrometeorológicos (ADHIKARI et al., 2019; CHEN et al., 2017; PRAKASH et al., 2016; TANG et al., 2016).

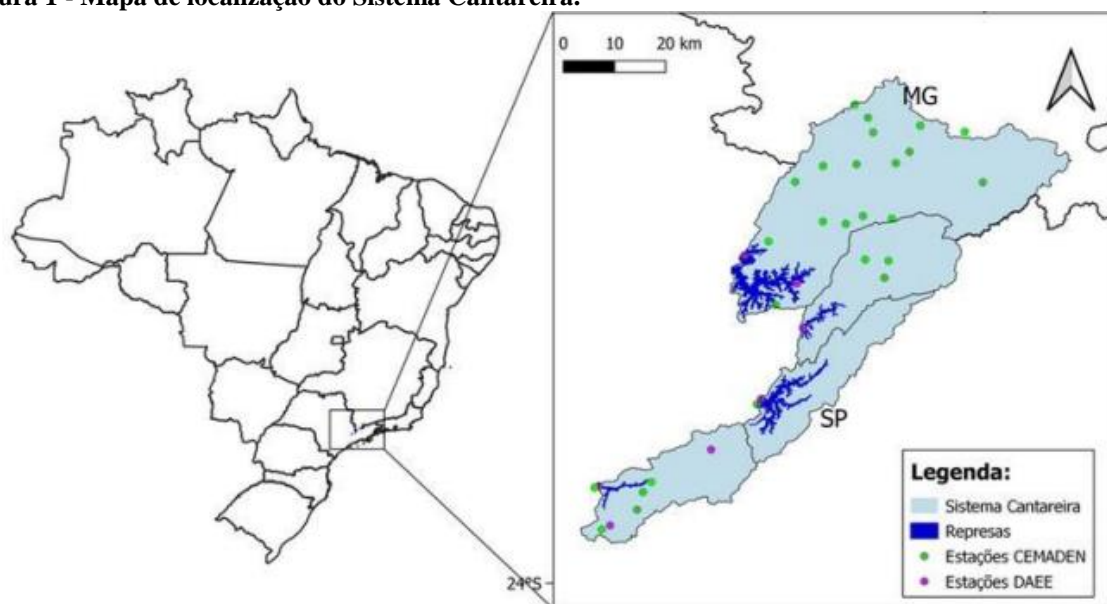
O IMERG-GPM integra várias recuperações de multissatélites do programa TRMM, como a calibração intersatélite e o ajuste de medição, além de diversas técnicas de estimativa de precipitação, como a NOAA *Climate Prediction Center Morphing Technique*, o *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks* (PERSIANN) da Universidade da Califórnia, que utiliza sensores de infravermelho calibrado por micro-ondas utilizando redes neurais artificiais; e o Sistema de Processamento de Precipitação da NASA (HUFFMAN et al., 2015a,b; TAN; SANTO, 2018). O IMERG contém estimativas de precipitação de sensores passivos de micro-ondas

que estão a bordo de vários satélites da constelação GPM e os campos de infravermelho intercalibrados com correção do ângulo do zênite fundidos a partir de vários satélites geoestacionários (JANOWIAK et al., 2001). As estimativas de precipitação por sensores passivos de micro-ondas são calculadas usando a versão 2014 do algoritmo de perfil de Goddard (KUMMEROW et al., 2014; LIU, 2016).

## METODOLOGIA

O Sistema Cantareira (Figura 1) está localizado ao norte da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), sendo a maior parte da sua área situada na bacia dos rios Piracicaba-Capivari-Jundiá (PCJ), fora dos limites da RMSP. O Sistema Cantareira possui um total de seis reservatórios, integrados por meio de túneis ou bombeamento e regularizados através de barragens, sendo cinco delas na região das nascentes da bacia do PCJ e um na bacia do Alto Tietê (Fontão; Zavattini, 2019). Dos 39 municípios que formam a RMSP, 31 pertencem ao Sistema Integrado Metropolitano (SIM) operado pela Companhia de Saneamento Básico de São Paulo (SABESP) e composto por sete sistemas produtores, sendo eles o Cantareira, Taiaçupeba, Alto Cotia, Guarapiranga, São Lourenço, Rio Claro, Rio Grande (ANA 2010; BAPTISTELLI et al., 2018).

**Figura 1 - Mapa de localização do Sistema Cantareira.**



Fonte: Cemaden/MCTI

Para a comparação dos dados de precipitação estimada e observada, foi utilizado o método de ponto a pixel, propostos por Uddin et al., (2008) e Chen et al., (2013). Tal metodologia consiste em comparar a precipitação observada nas coordenadas geográficas das estações pluviométricas, com o pixel do GPM mais próximo a essa coordenada.

Os dados de precipitação estimada foram obtidos no portal Interactive Online Visualization and Analysis Infrastructure (GIOVANNI) do Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center, através do programa Global Precipitation Measurement no endereço eletrônico <https://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. Os valores de precipitação estimada foram decorrentes do produto IMERG Final run versão 6, com resolução espacial de 0,1° e resolução temporal de 30 dias. A data inicial dos dados de estimativa foi ajustada para janeiro de 2015 e a data final para setembro de 2020, sendo selecionada a área de drenagem do Sistema Produtor Cantareira.

Os dados de precipitação observados foram fornecidos pela Sabesp, através do Sistema de Suporte a Decisão (SSD), que monitora diariamente as principais variáveis hidrológicas nos mananciais do Sistema Produtor de Água da RMSP. Os shapefiles dos reservatórios foram obtidos no portal da ANA (<https://metadados.snirh.gov.br/>); as bases cartográficas dos mananciais no portal de Infraestrutura de dados espaciais do Estado de São Paulo (<http://www.metadados.idesp.sp.gov.br/catalogo/srv/eng/catalog.search/#/home>) e também no portal do IBGE (<https://www.ibge.gov.br/geociencias>). Para o processamento das imagens foi utilizado o software QGIS 3.3, onde as imagens salvas no formato netCDF (Network Common Data Form) foram convertidas em camada vetorial pelo

algoritmo r.to.vect, obtendo deste modo, os pontos com os valores que representam o volume pluviométrico em cada pixel da imagem.

Para a análise dos dados, foram empregados os métodos estatísticos de precipitação estimada recomendados pela International Precipitation Working Group (IPWG), sendo eles o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe (NS), o Índice de Concordância de Willmott (IC) e o Erro Relativo ao Volume Precipitado (ERVP). O Coeficiente de Determinação (Equação 1) é definido como a relação que mede a proporção da variação total da variável dependente que é explicada pela variação independente. O  $R^2$  é sempre um número positivo entre zero e um, que quanto maior for o  $R^2$ , melhor será o poder de explicação da reta de regressão.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}$$

equação 1

O NS (Equação 2) foi proposto inicialmente por Nash e Sutcliffe (1970) para a avaliação do desempenho de modelos hidrológicos, sendo posteriormente utilizado na calibração de modelos de precipitação estimada por satélite e averiguação da eficiência das duas estimativas de precipitação, onde os resultados podem variar de  $-\infty$  a 1, sendo o valor 1, indicativo de um perfeito ajuste (GUILHON; ROCHA, 2007; KID et al., 2003). De acordo com Silva et al. (2008), quando o valor de NS for menor que 0,75, o desempenho do modelo é considerado bom, para valores entre 0,36 - 0,75, o modelo é considerado aceitável, enquanto que valores abaixo de 0,36, indicam que o modelo é considerável inaceitável. Conforme proposto por Serrão et al. (2016), valores acima de 0,90 indicam que o modelo pode ser considerado excelente.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (GPM - SSD)^2}{\sum_{i=1}^n (GPM - \bar{SSD})^2}$$

equação 2

O IC (Equação 3) proposto por Willmott (1982) e permite a avaliação dos desvios entre os valores de precipitação encontrados nos pluviômetros e a estimada pelos satélites. Este índice varia de 0 a 100%, onde, quanto menor o desvio, melhor será o desempenho do modelo avaliado.

$$IC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (GPM - SSD)^2}{\sum_{i=1}^n (|GPM - \bar{SSD}| + |\bar{SSD} - SSD|)^2}$$

equação 3

O ERVP (Equação 4) mede o quanto os dados observados e estimados estão próximos, sendo que o valor do ERVP menor que zero, indica que os dados estão subestimados e os valores acima de zero, que os dados estão superestimados.

$$ERVP = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (GPM - SSD)}{\sum_{i=1}^n SSD}$$

equação 4

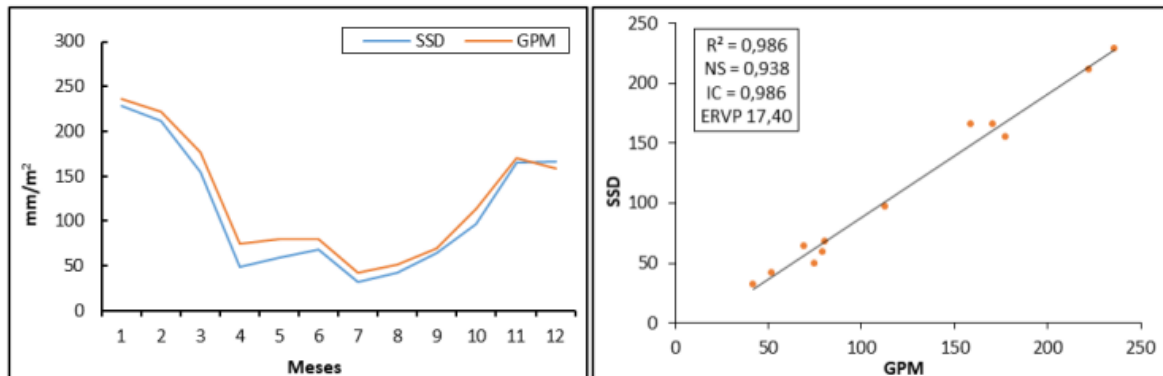
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Sistema Cantareira, os resultados das métricas estatísticas foram classificados como excelente pelos critérios utilizados por Serrão et al. (2016), onde o  $R^2$  ficou em 0,986, o NS em 0,938 e o IC foi de 0,986. O valor de ERVP do GPM foi levemente superestimado quando comparados ao SSD, o que acaba evidenciado pela diferença nos valores de precipitação no mês de abril. Na Figura 2 é possível observar que, embora possam determinar a tendência de variação mensal da precipitação, alguns dos pontos de monitoramento do GPM considerados neste trabalho exibiram erros significativos em comparação com as medições do SSD.

Na região central do Sistema, os quais abrangem as bacias hidrográficas dos rios Jacaré e Atibainha e no reservatório Paiva Castro, é possível verificar a diferença entre os valores de precipitação observado e estimados, já nos reservatórios Jaguari e Águas Claras estes valores foram mais coerentes (Figuras 3a e 3b). A diminuição do volume de precipitação no Sistema Cantareira, foi um dos principais fatores que acarretou a crise hídrica que

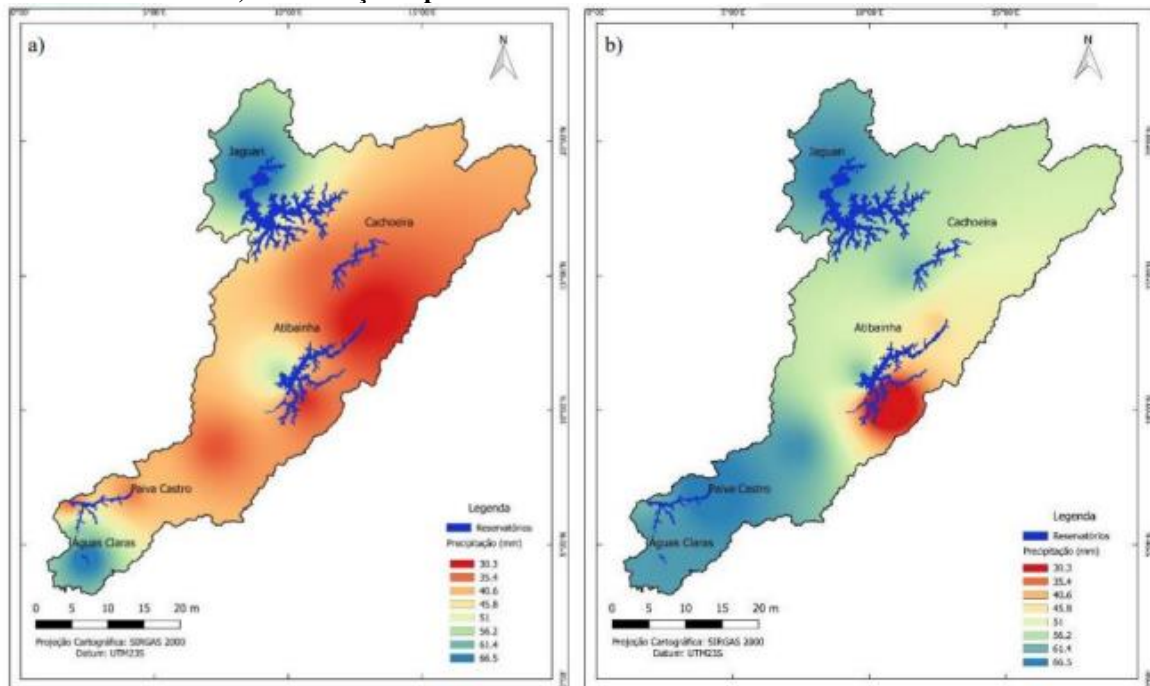
assolou a Região Sudeste nos anos 2014/2015 e influenciou na redução do volume útil do Sistema entre os anos 2016 e 2019, conforme observam Bueno e Bourscheidt (2019) e Costa et al. (2019).

**Figura 2 - Série mensal e regressão linear dos dados estimados pelo GPM e os observados pelo SSD no Sistema Cantareira.**



Fonte: O autor

**Figura 3a - Distribuição espacial da chuva na área do Sistema Cantareira no mês de abril de acordo com os dados do SSD e 3b) Distribuição espacial da chuva com a estimativa do GPM.**



Fonte: O autor

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estações meteorológicas de superfície apresentam dados reais de precipitação acumulada, porém 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 para determinado projeto. Deste modo, os dados de precipitação estimados por satélite ou outros sensores remotos, como o IMERG-GPM, são mais consistentes e tem se tornado uma opção viável quando o local de estudo não possibilita a implantação de estações de monitoramento ou apresenta alguma dificuldade de acesso. Deste modo, pode-se sugerir a utilização desses produtos no desenvolvimento de estudos e projetos que visem utilizar a estimativa de precipitação por satélite, podendo



inclusive contribuir no monitoramento de sistemas de captação de água para o abastecimento, devendo ser realizado em alguns casos a calibração do modelo para determinada região.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADHIKARI, A.; LIU, C.; HAYDEN, L. Uncertainties of GPM microwave imager precipitation estimates related to precipitation system size and intensity. *J. Hydrometeor.*, v. 20, p. 1907-1923, 2019.
2. AGHAKOUCHAK, A.; BEHRANGI, A.; SOROOSHIAN, S. K. HSU. Evaluation of satellite-retrieved extreme precipitation rates across the Central United States. *J. Geophysical Research: Atmospheres* v. 116(D2), 2011.
3. ANA. AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Atlas Brasil. Abastecimento Urbano de água: resultados por estado, v. 2. Brasília, 2010.
4. ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, p. 711-728, 2013.
5. BRINGI, V. N.; THURAI, M.; TOLSTOY, L.; PETERSEN, W. A. Estimation of spatial correlation of rain drop size distribution parameters and rain rate using NASA's S-band polarimetric radar and 2D-video disdrometer network: Two case studies from MC3E. *J. Hydrometeorology*, v. 16, p. 1207-1221., 2015.
6. BUENO, J. O. A.; BOURSCHEIDT, V. Análise espaço-temporal das estimativas de precipitação do GPM/IMERG na área de captação do sistema Cantareira. XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Santos, SP. Abril, 2019.
7. CHEN, Y.; EBERT, E. E.; WALSH, K. J. E.; DAVIDSON, N. E. Evaluation of TRMM 3B42 precipitation estimates of tropical cyclone rainfall using PACRAIN data. *J. Geophys. Res. Atmos.* v. 118, p. 2184-2196, 2013.
8. CHEN, B.; LIU C.; MAPES, B. Relationships between large precipitating systems and atmospheric factors on a grid scale. *J. Atmos. Sci.*, v. 74, p. 531-552, 2017.
9. DEZFULI, A. K. et al. Validation of IMERG precipitation in Africa. *J. of Hydrometeorology*, v. 18, p. 2817-2825, 2017.
10. HUFFMAN, G. J.; BOLVIN, D. T.; BRAITH WAITE, D.; HSU, K.; JOYCE, R.; KIDD, C.; NELKIN, E. J.; XIE, P. NASA global precipitation measurement (GPM) integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG). Algorithm theoretical basis Doc., version 4.5, 26 p. 2015a
11. HUFFMAN, G. J.; BOLVIN, D. T.; BRAIT HWAITE, D.; HSU, K.; JOYCE, R.; KIDD, C.; NELKIN, E. J.; XIE, P. P. Integrated multi-satellite retrievals for GPM (IMERG) technical documentation. NASA Doc., 47 p., 2015b.
12. HUFFMAN, G. J.; STOCKER, E. F.; BOLVIN, D. T.; NELKIN, E. J.; TAN, J. GPM IMERG Precipitation final L3 1 mounth 0,1 grau x 0,1 grau V06, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC).
13. JANOWIAK, J. E.; JOYCE, R. J.; YAROSH, Y. A real-time global half-hourly pixel-resolution infrared dataset and its applications. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, v. 82, p. 205-217, 2001.
14. JENSEN, M. P. et al. The mid-latitude continental convective clouds experiment (MC3E). *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 97, p. 1667-1686, 2016.
15. KIDD, C.; DAWKINS, E.; HUFFMAN, G. Comparison of precipitation derived from the ECMWF operational forecast model and satellite precipitation datasets. *J. Hydrometeorology*, v. 14, p. 1463- 1482, 2013.

16. KIDD, C et al. The Global Precipitation Measurement (GPM) Mission. In: LEVIZZANI, V. et al (orgs). Satellite Precipitation Measurement Advances in Global Change Research, v. 67. Springer, Cham., 2020.
17. KIM, J. E.; ALEXANDER, M. J. Tropical precipitation variability and convectively coupled equatorial waves on submonthly time scales in reanalyses and TRMM. *J. Climate*, v. 26, p. 3013- 3030, 2013.
18. LIAO, L.; MENEGHINI, R.; TOKAY, A. Uncertainties of GPM DPR rain estimates caused by DSD parameterizations. *J. Applied Meteorology and Climatology*, v. 53, p. 2524-2537, 2014.
19. LIU, Z. Comparison of Integrated Multisatellite Retrievals for GPM (IMERG) and TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) Monthly Precipitation Products: Initial Results, *J. Hydrometeorology*, v. 17, n. 3, p. 777-790, 2016.
20. LIU, W.T.; XIE, X. Pre-monsoon drought in India observed from space. *J. Hydrometeorology*, v. 18, p. 683-692, 2017.
21. KUCERA, P. A., et al. Precipitation from space: advancing Earth system science. *Bull. American Meteorological Society*, v. 94, p. 365-375, 2013.
22. KUMMEROW, C. et al. Global Precipitation Measurement (GPM) mission. Algorithm Theoretical Basis Doc., version 1.4, 46 p, 2014a.
23. MEI, Y. W.; et al. Error analysis of satellite precipitation products in mountainous basins. *J. Hydrometeorol.* v. 15, p. 1778-1793, 2014.
24. NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. E. River flow forecasting through conceptual models: Part I. A discussion of principles. *J. Hydrology*, v. 10, n. 3, p. 282-290, 1970.
25. OLIVEIRA, R.; MAGGIONI, V.; VILA, D.; C. MORALES. Characteristics and diurnal cycle of GPM rainfall estimates over the central Amazon region. *Remote Sens.*, v. 8, p. 544-550, 2016.
26. PORCÙ, F.; MILANI, L.; PETRACCA, M. On the uncertainties in validating satellite instantaneous rainfall estimates with raingauge operational network. *Atmos. Res.* v. 144, p. 73-81, 2014. PRAKASH, S.; MITRA, A. K.; PAI, D. S.; AGHAKOUCHAK, A. From TRMM to GPM: How well can heavy rainfall be detected from space? *Adv. Water Resour.*, v. 88, p.1-7, 2016.
27. SKOFRONICK-J et al. The Global Precipitation Measurement (GPM) mission's scientific achievements and societal contributions: reviewing four years of advanced rain and snow observations. *Quarterly Journal of the Meteorological Society, Supplement: Advances in remote sensing of rainfall and snowfall*, v. 44., p. 27-48, 2018.
28. TAN, M. L.; DUAN, Z. Assessment of GPM and TRMM precipitation products over Singapore. *Remote Sens.* v. 9, n. p. 720-727, 2017.
29. TAN, M. L.; SANTO, H. Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia, *Atmospheric Research*, v. 202, p. 63-76, 2018.
30. TAN, B.-Z.; et al. Evaluation of global precipitation measurement rainfall estimates against three dense gauge networks. *J. Hydrometeorology*, v. 19, p. 517-532, 2017b.
31. TANG, G.; MA, Y.; LONG, D.; ZHONG, L.; HONG, Y. Evaluation of GPM Day-1 IMERG and TMPA version-7 legacy products over mainland China at multiple spatiotemporal scales. *J. Hydrol.*, v. 533, p. 152-167, 2016.
32. TAPIADOR, F. J.; et al. Global precipitation measurement: methods, datasets and applications. *Atmos. Res.* v. 104-105, p. 70-97, 2012.