

Análise comparativa entre estimativas de precipitação do GPM e de estações pluviométricas no Vale do Itajaí- Santa Catarina/Brasil

Barbara Hass Miguel¹
Camilo Daleles Rennó¹
André Luis da Silva Bertoncini¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
barbara.miguel@inpe.br; camilo@dpi.inpe.br, andre.sbertoncini@gmail.com

Abstract: Rainfall is one of the main components of the hydrological cycle, and most of the activities related to water management need assessments of the amount of rainfall that occurred on the watersheds. However, rainfall is the weather variable that has the greatest spatiotemporal variability among other variables considered in hydrological studies. In recent decades, there has been an increase of remote sensing use for estimating rainfall in a given area, allowing the calculation of rainfall estimates in areas where the data from the rainfall stations are scarce or unevenly distributed. This study evaluates interpolation methods for precipitation recorded by rainfall gauges in the *Itajaí Mirim* and *Itajaí do Sul* watersheds, in Santa Catarina State, Brazil, basins known to the high rainfall rates. In addition, it analyzes the GPM product behavior in relation to measurements recorded by rain gauges in the same study area, for October 2015. This analysis was the inference of systematic error (bias) of rainfall interpolated from gauge stations based on GPM estimates. The results indicate that estimates of rainfall provided by GPM are consistent both in spatial and temporal scale. The combination of the two approaches of estimating rainfall can assist in the generation of consisted and reliable rainfall database for future studies.

Palavras-chave: hydrology, rainfall, remote sensing, watershed, hidrologia, precipitação, sensoriamento remoto, bacia hidrográfica.

1. Introdução

A hidrologia, no contexto de bacias hidrográficas, busca conceituar e modelar diferentes processos em condições ambientais variáveis no espaço e no tempo. Grande parte das atividades relacionadas à gestão dos recursos hídricos necessita de avaliações da quantidade de precipitação ocorrida sobre as bacias hidrográficas. Por isso, os estudos sobre estimativas de precipitação são essenciais para a previsão de respostas hidrológicas das bacias hidrográficas (Tucci e Collischonn, 2003).

Devido à sua grande variabilidade espaço-temporal, a precipitação é uma das variáveis atmosféricas mais difíceis de ser medida e estimada. Os pluviômetros são instrumentos instalados em estações meteorológicas, distribuídos pela superfície terrestre que coletam informações precisas da quantidade de precipitação. Entretanto, as medidas dos pluviômetros são pontuais, representado uma pequena área no entorno do dispositivo, e fatores como a baixa densidade de pluviômetros e a distribuição irregular das estações em áreas mais remotas dificultam a realização de um monitoramento detalhado, principalmente sobre áreas extensas e em áreas de difícil acesso como a floresta Amazônica e regiões montanhosas (Kidder e Haar, 1995).

Nesse contexto, o uso de sensores remotos na estimativa de precipitação tornou-se uma ferramenta muito importante. Nos últimos anos, houve avanços consideráveis no desenvolvimento de satélites ambientais, aumentando a quantidade e a qualidade das informações disponíveis (Jensen, 2009). Dentre as missões lançadas em órbita recentemente, destaca-se a constelação de satélites GPM (*Global Precipitation Measurement*). GPM é uma missão internacional de satélites especificamente projetada para estabelecer um novo padrão para a medição de precipitação do espaço e para fornecer uma nova geração de precipitação global e observações de neve em todas as partes do mundo a cada 3 horas. O conceito GPM centra-se na implantação de um satélite "Core" com um sistema avançado de radar e

radiômetros, buscando um padrão de referência para unificar as medições de precipitação. O satélite Core Observatory foi lançado no dia 28 de fevereiro de 2014, em parceria da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) (Hou et al., 2014).

Uma forma de avaliar a concordância ou acurácia entre os valores estimados ou previstos de chuva e os valores observados é comparar as estimativas de precipitação por sensores remotos com dados de pluviômetros. Contudo, as estimativas de precipitação através de sensores remotos são constituídas por valores médios de precipitação sobre a área de cada elemento da grade, sendo assim, a comparação pontual com dados de pluviômetros é prejudicada pela própria variabilidade espacial da precipitação sobre determinada área (Kummerow et al., 2000; Kurtzman et al., 2009).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo é avaliar a acurácia dos dados de precipitação estimados pelo GPM através de comparação com os dados de superfície medidos por pluviômetros distribuídos sobre as bacias hidrográficas dos rios Itajaí Mirim e Itajaí do Sul, em Santa Catarina. Essa comparação consistiu na inferência do erro sistemático (*bias*) para as estimativas do GPM em relação à precipitação registrada pelos pluviômetros.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo é compreendida por duas bacias hidrográficas, a do Rio Itajaí-Mirim e do Rio Itajaí do Sul (Figura 1). Ambas estão localizadas na região do Vale do Itajaí, em Santa Catarina, entre as latitudes $26^{\circ}53'17,1''$ e $26^{\circ}56'05,1''$ Sul e as longitudes $48^{\circ}40'57,8''$ e $48^{\circ}44'12,4''$ Oeste. Essas bacias pertencem a Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí-Açu, que corresponde a uma área de 15 mil km², cerca de 16% do território catarinense (Riffel & Beaumord, 2002).

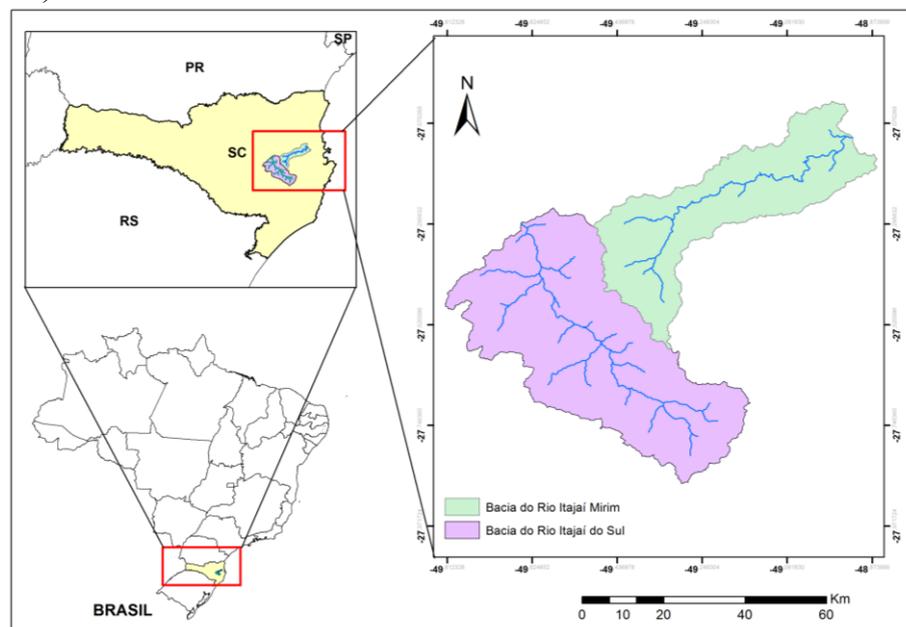


Figura 1. Mapa da área de estudo.

A bacia do Rio Itajaí Mirim apresenta uma área de drenagem estimada em 1.208km², uma densidade de drenagem de 1,6 km/km², um coeficiente de forma de 0,054 e compacidade de 2,03, o que atribui um aspecto alongado, com grande probabilidade de ocorrência de inundações decorrentes de precipitações curtas porém intensas (Riffel & Beaumord, 2003).

Essa bacia engloba integralmente os municípios de Brusque e Guabiruba, que têm suas atividades econômicas voltadas para o setor secundário, com alto grau de industrialização,

Vidal Ramos, Presidente Nereu, Botuverá, que se caracterizam por apresentar o setor primário como sua principal atividade econômica, além de parcialmente os de Itajaí, Camboriú, Ilhota e Gaspar (Riffel & Beaumord, 2002).

A bacia do Rio Itajaí do Sul apresenta uma área de 1.968 km². O rio Itajaí do Sul encontra o rio Itajaí do Oeste, na cidade de Rio do Sul, constituindo o rio Itajaí-Açu. A região onde essa bacia está localizada, nos patamares do Vale do Itajaí, faz fronteira com os contrafortes do Planalto Meridional Brasileiro, na Serra Geral e na Serra dos Espigões, apresentando altitudes que variam entre 400 a 1700 metros (Comitê do Itajaí, 2010).

2.2 Análise da precipitação

Os dados de precipitação utilizados nesse trabalho foram obtidos no portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA) (hidroweb.ana.gov.br/), compreendendo em dados de séries históricas de precipitação diária. Na Figura 2, são apresentadas as estações pluviométricas pertencentes as bacias Itajaí Mirim e Itajaí do Sul e as estações localizadas próximas a essas bacias, totalizando em 17 pontos de medição.

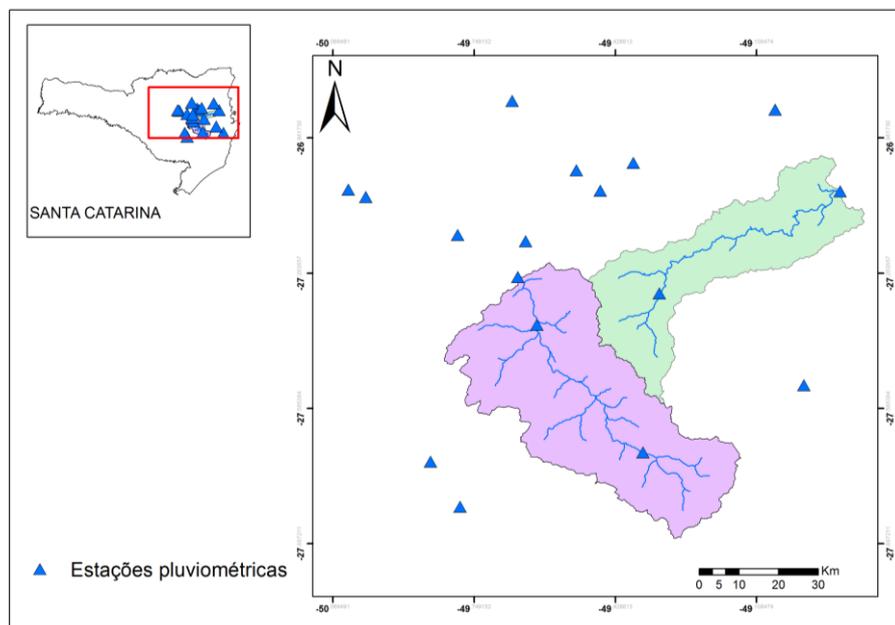


Figura 2. Estações pluviométricas listadas no inventário da ANA para a área de estudo.

As precipitações diárias do mês de outubro de 2015 foram convertidas para precipitação acumulada mensal. Esse mês foi escolhido para a análise, pois apresentou uma elevada precipitação que culminou em inundações sobre diversos pontos da área de estudo, inundando cidades importantes do Vale do Itajaí como a cidade de Brusque.

Para a verificação do comportamento da precipitação acumulada dentro das bacias e em suas proximidades, os dados pontuais das estações pluviométricas foram espacializados, por meio da interpolação dos valores, gerando grades regulares, com espaço celular de 50 m. Para a geração da grade foram testados o desempenho dos interpoladores inverso do quadrado da distância, vizinho natural e spline, sendo estes, baseados em métodos determinísticos.

Os dados GPM apresentam uma resolução espacial de 5 km. Para o presente trabalho, o acumulado mensal de precipitação para o mês de outubro de 2015, referente à área de estudo, foi obtido através de uma álgebra de mapas, onde se somou os valores das grades referentes às precipitações diárias do mês de outubro de 2015 adquiridas na plataforma Giovanni da NASA (disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni).

Para garantir melhores resultados, a abrangência espacial da grade GPM foi extrapolada do limite das estações pluviométricas em alguns poucos quilômetros para a geração da grade. Pelo produto GPM (Figura 3), nota-se a alta pluviosidade ocorrida no interior das bacias e nas áreas adjacentes durante esse período (tons de azul na imagem).

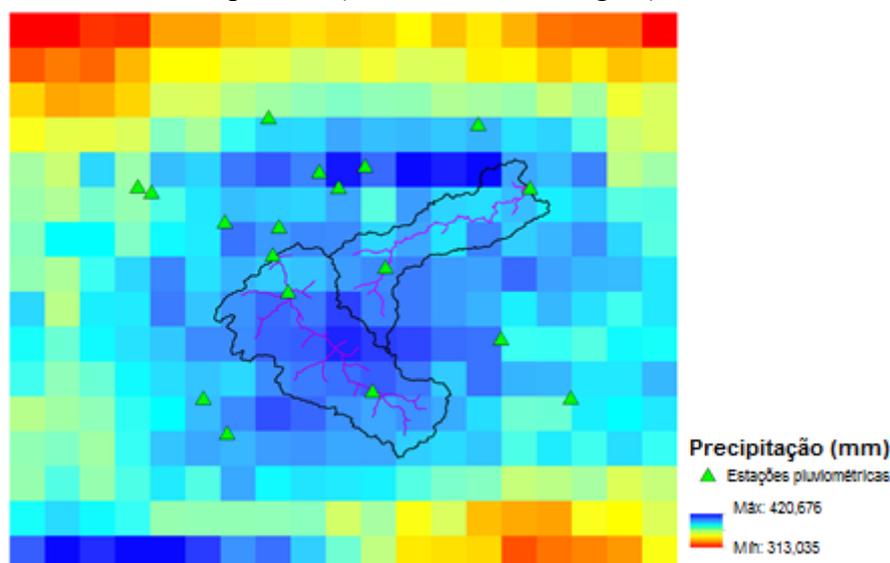


Figura 3. Grade GPM referente à precipitação acumulada no mês de outubro de 2015 sobre a área de estudo.

Interpolação por Inverso Ponderado das distâncias (IDW)

Este método pode ser classificado tanto como um interpolador exato ou como um suavizante, pois faz com que os pesos dos dados sejam avaliados durante o processo de interpolação, tal que a influência de cada ponto é inversamente proporcional à distância do nó da malha (Mazzini e Schettini, 2009). Os pontos amostrados próximos à localização do nó a ser estimado recebem peso maior que os pontos amostrados de localização mais distante ao calcular o valor de um nó. A soma de todos os pesos dados os pontos amostrados vizinhos é igual a 1. O valor interpolado pode ser obtido por:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_i^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_i^\beta}} \quad (1)$$

onde Z é o valor interpolado para o nó da grade regular (Grid), Z_i é o valor do ponto amostrado vizinho ao nó, h_i é a distância entre o nó da grade Z_i , β é o expoente de ponderação (peso), n é o número de pontos amostrados utilizados para interpolar cada nó. Expoentes baixos (0 a 2) destacam anomalias locais, sendo que o expoente igual a 2 é o inverso do quadrado da distância (IDW), o qual foi utilizado no presente trabalho.

Interpolação por vizinho natural

A interpolação com o método do Vizinho Natural cria pesos para cada um dos pontos de entrada com base em sua “área de influência” considerada. Estas áreas são determinadas através da geração de polígonos de Voronoi em torno de cada ponto de entrada (Smith, 2009), os polígonos de Voronoi são construídos a partir da triangulação de Delaunay.

A equação básica utilizada na interpolação do Vizinho Natural nos nós da grade regular é mostrada pela equação:

$$Z(x, y) = \sum_{i=1}^n w_i Z_i \quad (2)$$

onde Z é o valor interpolado para o nó da grade regular (x, y) , w_i são os pesos e Z_i é o valor amostrado vizinho ao subconjunto.

Interpolação por Spline

O método de interpolação spline é um método utilizado para ajuste de uma superfície de curvatura mínima através dos dados pontuais de entrada. Esse método é melhor para superfícies que representam tendências gradativas, como é o caso das chuvas médias na bacia. Não é apropriado se houver grandes intervalos nas superfícies em uma pequena distância horizontal.

2.3. Ajuste entre os dados das estações e o produto GPM

Estatística Zonal

Para a realização do ajuste entre as medidas registradas pelas estações pluviométricas com os valores dos dados GPM, primeiramente houve a necessidade de se aplicar uma estatística zonal, devido a diferença de resolução entre os mapas de precipitação das estações e pelo dado GPM.

Nesse contexto, foi utilizado o programa LEGAL do SPRING (DPI/INPE) para a realização dessa estatística, por meio do operador Média Zonal. Neste trabalho, o campo de precipitações foi gerado utilizando um método para estimar os valores das precipitações nodais da grade regular ou “Grid” sobre a área de estudo. Este método proposto para estimar o erro da precipitação média evita a existência de lacunas, pois sempre haverá um valor médio de precipitação. Neste caso, os métodos de interpolação podem identificar erros e preencher as falhas existentes em dados pontuais com inconsistências.

Estimativa do Erro (“bias”)

Mesmo com limitações, em alguns casos, um dado experimental é, via de regra, apenas uma amostra de uma população estatística, que pode ser gerada pelo processo de medida com o instrumento (Milani et al, 2010). Para o presente trabalho foi calculado o *bias* entre os valores observados pela grade GPM e os valores estimados pela interpolação da precipitação registrada pelas estações, por meio da equação:

$$\text{bias} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad (3)$$

onde y_i são os valores observados, nesse caso utilizou-se o GPM como referência, \hat{y}_i são os valores estimados (valores da grade interpolada) e n é o número de observações.

3. Resultados e discussão

3.1 Resultados dos métodos de interpolação

A grade gerada pelo interpolador IDW apresentou padrões de mudanças bruscas locais nos valores de precipitação próximos as estações localizadas no interior da bacia, devido à grande variância entre as amostras (Figura 4a). Já na grade gerada pelo método do vizinho natural (Figura 4b), nota-se que a interpolação não abrange toda a área das bacias devido ao número limitado de estações. Entretanto, por definição, esse modelo é o mais adequado para ser utilizado em áreas que apresentam mudanças bruscas de altitude em pequenas distâncias, como é o caso desse estudo (Maune et al, 2001).

O método spline divide a área em blocos de busca das amostras, cada um apresenta uma superfície de tendência. A grade gerada com o interpolador spline (Figura 4c), utilizando o SPRING, apresentou uma melhor suavização da precipitação acumulada.

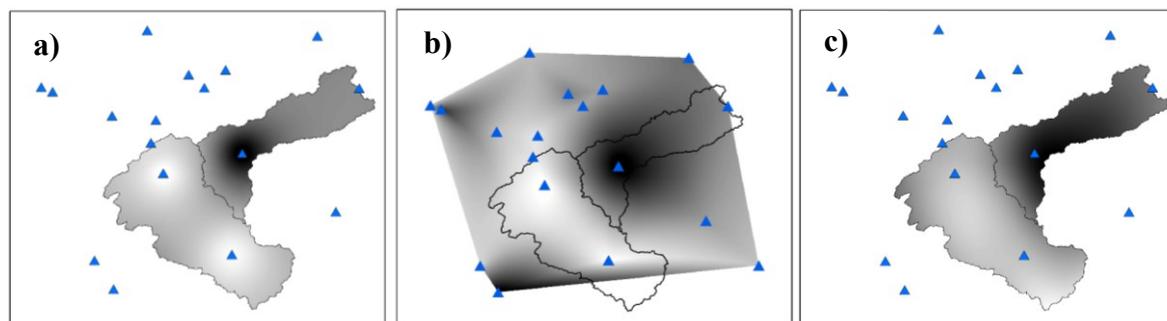


Figura 4. a) Grade gerada pelo interpolador IDW; b) Grade gerada pelo interpolador Vizinho Natural e c) Grade gerada pelo interpolador Spline.

3.2 Validação dos métodos de interpolação

A validação dos interpoladores testados para a precipitação acumulada para o mês de outubro de 2015 das estações apresenta-se na Tabela 1. Pode-se observar que o desvio padrão entre as estimativas de precipitação foi menor para o interpolador IDW, o que faz com que este erre menos em média que os demais interpoladores. Assim, o interpolador IDW foi o escolhido para gerar a comparação entre a precipitação registrada pelas estações com a precipitação do GPM.

Tabela 1. Validação dos métodos de interpolação.

Interpolador	Desvio Padrão
Vizinho Natural	83,34
IDW	47,19
Spline	135,32

3.3 Cálculo da estimativa do erro

Para o cálculo do *bias* que representa o erro sistemático entre os valores registrados pelas estações com os valores do GPM, primeiramente foi gerada uma grade regular com os valores registrados pelas estações, estimados através do interpolador IDW (Figura 5a). Cabe ressaltar que a resolução espacial da grade de interpolação IDW é de 50 m, diferentemente da grade GPM que apresenta 5 km de resolução espacial.

Seguindo o mesmo raciocínio, foi gerada uma grade regular dos valores de precipitação do GPM para a área de estudo (Figura 5b). Por meio do operador média zonal, foi calculada a média dos valores dos pixels para uma resolução espacial de 50 m, a mesma da grade de interpolação IDW.

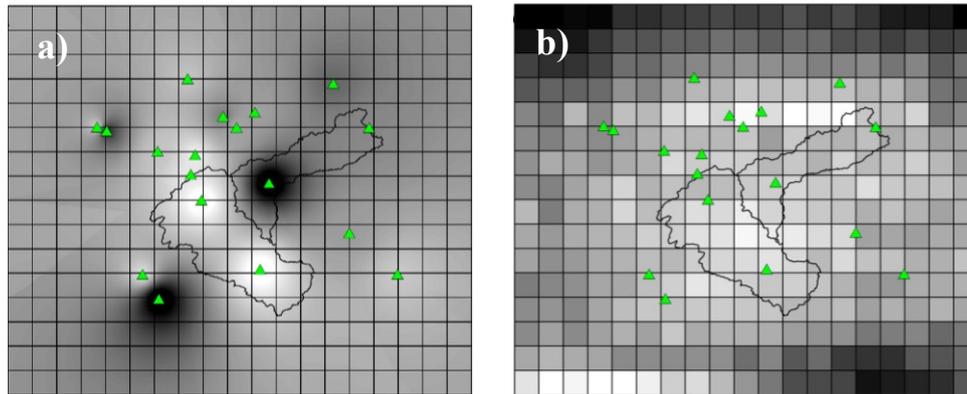


Figura 5. a) Grade regular dos valores registrados pelas estações, estimados através do método de Interpolação IDW e b) Grade regular dos valores de estimativas de precipitação do GPM para a área de estudo.

De acordo com o mapa de erros (Figura 6), o interior da bacia do rio Itajaí Mirim apresenta os maiores valores de erros, fazendo com que as estimativas de precipitação do interpolador IDW para essa área apresentem mais incertezas, em relação as estimativas de precipitação do GPM, para o acumulado no mês de outubro de 2015.

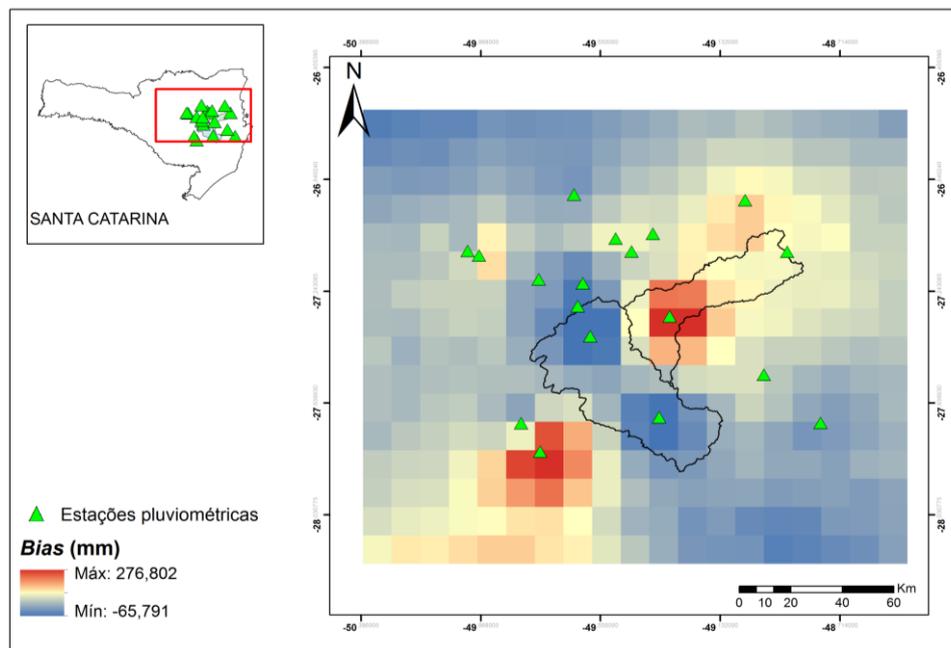


Figura 6. Mapa de erros *bias*.

Os valores do desvio e dos erros das estimativas de precipitação encontram-se na tabela 2.

Tabela 2. Valores do desvio e dos erros.

	Desvio Padrão	Erro Padrão	Erro Mínimo	Erro Máximo
Erro (<i>bias</i>)	50,57	40,47	-65,79	276,8

O erro padrão da estimativa diminui com o aumento do tamanho da amostra, ou seja, quanto maior o número de estações ao longo da área de estudo, maior seria a precisão da estimativa de precipitação das estações em relação a observada pelo GPM. Nesse caso, o desvio e o erro padrão apresentaram valores diferentes, sendo que o desvio padrão foi maior

que o erro padrão, indicando mais precisão do que incertezas entre as estimativas de precipitação.

4. Conclusões

A comparação entre as estimativas de precipitação observadas pelos pluviômetros e pelo GPM indicou mais precisão do que incertezas, considerando as estimativas de precipitação do GPM como referência. Cabe ressaltar que as estimativas do GPM foram comparadas com dados de 17 estações pluviométricas distribuídas ao longo da área de estudo. Uma quantidade maior de estações sobre a área de estudo seria necessária para a obtenção de um resultado ainda mais preciso e ajustado (o erro padrão e o desvio padrão seriam muito próximos).

O método de interpolação inverso do quadrado das distâncias (IDW) foi o escolhido para ser usado nesse estudo, pois os seus resultados foram melhores em comparação com os outros interpoladores. A comparação entre a precipitação estimada pelo GPM em relação à precipitação observada pelos pluviômetros pode apresentar incoerências espaciais devido a má distribuição das estações pluviométricas sobre a área de estudo. Nesse contexto, o estudo de técnicas de combinação entre precipitação por sensoriamento remoto e postos observados em Terra é relevante, pois permite criar um conjunto de dados útil para aplicações em hidrologia.

Referências Bibliográficas

- Comitê do Itajaí. **Plano de recursos hídricos da Bacia do Itajaí**: para que a água continue a trazer benefícios para todos: caderno síntese. Blumenau: Fundação Agência de Água do Vale do Itajaí, 2010. 80 p.
- DPI/INPE. Classificação de Imagens. Disponível em <dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>
- Hou, A. Y.; Kakar, R. K.; Neeck, Steven; Azarbarzin, A. A.; Kummerow, C. D.; Kojima, M.; Oki, R.; Nakamura, Kenji.; Iguchi, T. The Global Precipitation Measurement Mission. **American Meteorological Society**. p. 701-722, 2014.
- Kidder, S. Q.; Haar, T. H. V. **Satellite meteorology: an Introduction**. San Diego: Academic Press, 1995.
- Kummerow, C.; Simpson, J.; Thiele, O.; Barnes, W.; Chang, A. T. C.; Stocker, E.; Adler, R. F.; Hou, A.; Kakar, R.; Wentz, F.; Ashcroft, P.; Kozu, T. Hong, Y.; Okamoto, K.; Iguchi, T.; Kuroiwa, H.; Im, E.; Haddad, Z.; Huffman, G.; Ferrier, B.; Olson, W. S.; Zipser, E.; Smith, E. A.; Wilhelm, T. T.; North, G.; Krishnamurti, T.; Nakamura, K. The Status of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) after Two Years in Orbit. **Journal of Applied Meteorology**, vol. 39, pp. 1965-1982, 2000.
- Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604p.
- Kurtzman, D.; Navon, S.; Morin, E. Improving interpolation of daily precipitation for hydrologic modelling: Spatial patterns of preferred interpolators. **Hydrological Processes**, v.23, p.3281-3291, 2009.
- Maune, D. F.; Lloyd, C. H.; Guenter, G. C. "DEM User Applications" In **Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual**, edited by D. F. Maune, 367-394. Maryland: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2001.
- Mazzini, P. L. F.; Schettini, C. A. F. Avaliação de metodologias de interpolação espacial aplicadas a dados hidrográficos costeiros quase sinóticos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 13, n. 1, p. 53-64, 2009.
- Milani, S. O.; Chaves, G. J. A.; Gnoli, C.; Mazzocchi, F. Bias in the indexing languages Theoretical approaches about feminine issues. **Paradigms and Conceptual Systems in Knowledge Organization. Wurzburg: Ergon-verlag GmbH**, v. 12, p. 424-429, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/117664>>.
- Riffel, E. & Beaumord, A.C. Identificação das atividades antropogênicas potencialmente poluidoras do Rio Itajaí-Mirim e seus tributários no Município de Brusque, SC. **Anais do I Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**, Itajaí, 2002.
- Riffel, E. & Beaumord, A.C. Caracterização Ambiental do Rio Itajaí-Mirim e seus Tributários, no Município de Brusque, SC. **Anais do II Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**, Itajaí, 2003.
- Smith, M. J.; Goodchild, M. F.; Longley, A. P., **A comprehensive guide to principles, techniques and software tools**, 3ª Edition, 2009.
- Tucci, C. E. M.; Collishonn, W. Previsão de vazão. In: Tucci, C. E. M.; Braga, B. (org.). **Clima e recursos hídricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRH, 2003. p.281-348.