



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Avaliação da precipitação estimada por sensor orbital no Pantanal Mato-Grossense

Yngrid Nantes Henriques Schuartz¹, Victor Hugo de Moraes Danelichen², Osvaldo Alves Pereira³ e Ramon Felipe Bicudo da Silva⁴

¹ Mestre em Ciências Ambientais, Universidade de Cuiabá, Campus Barão, 222, CEP 78005-300, Cuiabá, Mato Grosso. (65) 3363-1729. yngrid.nantes@yahoo.com.br. ² Professor doutor e Pesquisador, Mestrado em Ciências Ambientais, Universidade de Cuiabá, Campus Barão, 222, CEP 78005-300, Cuiabá, Mato Grosso. (65) 3363-1729. danelichen@fisica.ufmt.br (autor correspondente). ³ Professor doutor e Pesquisador, Mestrado em Ciências Ambientais, Universidade de Cuiabá, Campus Barão, 222, CEP 78005-300, Cuiabá, Mato Grosso. (65) 3363-1729. osvaldoalvesfu@gmail.com. ⁴ Professor doutor e Pesquisador, Centro de Estudos e Pesquisas Ambientais, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, CEP 13.083-867, Campinas – SP. (14) 997989050. ramonbicudo@gmail.com.

Artigo recebido em 15/04/2020 e aceito em 23/04/2021

RESUMO

Neste trabalho foi realizada uma análise comparativa entre dados de precipitação observados e dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM, com o objetivo de avaliar a eficiência da precipitação estimada pelo sensor orbital em três sítios experimentais do bioma Pantanal mato-grossense localizadas próximas à Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Sesc Pantanal, no município de Barão de Melgaço, considerada a maior reserva particular natural do Brasil, distante 160 km de Cuiabá, MT. Foram utilizados para o desenvolvimento do projeto, dados de precipitação de torres meteorológicas (pluviômetro) e o sensor orbital Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) produto 3B43. A avaliação dos dados foi realizada por meio de alguns indicadores: exatidão – índice de Willmott (d); erro quadrático médio (EQM), erro médio absoluto (EMA), coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (R^2). Os resultados obtidos indicam a existência de boa correlação entre os dados de precipitação observados e do sensor TRMM. Tais resultados mostram a eficiência da utilização do satélite TRMM 3B43.

Palavra-chave: Processamento de imagens, Satélites, Índices de vegetação.

Evaluation of precipitation estimated by an orbital sensor in the Pantanal Mato-Grossense

ABSTRACT

In this work a comparative analysis was carried out between observed precipitation data and precipitation data estimated by the TRMM satellite with the objective of evaluating the precipitation efficiency estimated by the orbital sensor at three experimental sites in the Pantanal biome of Mato Grosso located near the Private Reserve of the Natural Heritage (RPPN) Sesc Pantanal, in the municipality of Barão de Melgaço considered the largest private nature reserve in Brazil, 160 km away from Cuiabá, MT. Precipitation data from meteorological towers (pluviometer) and the orbital sensor Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) product 3B43 were used for the development of the project. Data evaluation was performed using some indicators: accuracy - Willmott index (d); mean squared error (MSE), mean absolute error (MAE), correlation coefficient (r) and determination coefficient (R^2). The results obtained indicate the existence of a good correlation between the observed precipitation data and the TRMM sensor. These results show the efficiency of using the TRMM 3B43 satellite.

Keywords: Image processing, Satellites, Vegetation indexes.

Introdução

O Pantanal é a maior planície inundável da Terra. Ele representa uma extensa planície, situada na bacia hidrográfica do Alto Paraguai, com uma área total de 496.000 km² dos quais 360.000 km² situam-se no Brasil (Silva et al., 2017; Danelichen & Biudes, 2020). De acordo com Silva e Abdon (1998), espalha-se por cerca de 140.000 km², entre o Brasil, Bolívia e Paraguai. Em áreas brasileiras, representa 1,8% do território nacional, situando-se nos estados do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso (Vigano et al., 2018).

Trata-se de um ponto de acesso à biodiversidade, composto por inundações sazonais, decorrente dos fenômenos climáticos e da topografia da região, funcionando, como um depósito de armazenamento de águas pluviais provenientes do planalto durante a estação chuvosa do verão, provocando transbordamento dos rios e inundando a planície, depois a água desloca-se lentamente para as partes mais baixas do rio Paraguai (Salis et al., 2013; Andrade et al., 2017; Mendes et al., 2019).

Diante disso, o estudo do regime de chuvas de uma região é tradicionalmente realizado a partir de dados de postos pluviométricos (Dallacort et al., 2011; Pedreira Junior et al., 2021). A variabilidade de pequena escala e outras características do padrão de chuvas requerem observações com uma frequência temporal e uma amostragem espacial que não são adequadamente atendidas a partir de medições em superfície, quando se trata de regiões remotas, em desenvolvimento e áreas oceânicas (Evans et al., 2010; Soares et al., 2016; Santos et al., 2020).

Nesse cenário encontra-se a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Sesc Pantanal que é uma Unidade de Conservação (UC) de domínio privado, de propriedade do Serviço Social do Comércio (SESC) e de uso sustentável, considerada a maior reserva particular natural do Brasil, com 1.076 km² (Hofmann et al., 2010; Danelichen et al., 2020). A RPPN foi criada em julho de 1997, sendo 107.996 ha de área protegida pelo SESC no Pantanal (Danelichen et al., 2019).

A RPPN foi estabelecida com o objetivo de proteger e preservar uma parcela do bioma Pantanal, sendo o bioma nacional com menor porcentagem de áreas protegidas em unidades de conservação federais, 0,2% (Cordeiro et al., 2002; Stape et al., 2011). Possui clima do tipo “Aw” (clima tropical úmido com inverno seco) (Souza et al., 2013).

De acordo com Almeida (2015), obter o conhecimento e apropriação do fenômeno natural

de precipitação torna-se fundamental para que se possa realizar um planejamento estratégico dos recursos hídricos, subsidiando estudos associados ao balanço hídrico, controle de inundações, irrigação de culturas, modelagem hidrológica, monitoramento de seca e de geada e caracterização climatológica.

Nesse sentido, o sensoriamento remoto consiste na obtenção de características de objetos sem haver necessidade de contato físico entre esses objetos e quem os está analisando (Velasque et al., 2018; Danelichen et al., 2019).

Para isso, metodologias que estimam a precipitação através de imagens de satélite vêm sendo propostas. Estas metodologias se baseiam em imagens feitas por vários satélites, em diversas bandas do espectro eletromagnético (Shepherd et al., 2002; Collischonn et al., 2007; Duarte et al., 2018; Santos et al., 2020; Pedreira Junior et al., 2021). Destacam-se os satélites da série GOES (Geostationary Operational Environmental System), e o satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), este último com o objetivo específico de medição de precipitação nos trópicos (Danelichen, et al., 2013; Machado et al., 2015; Brasil Neto et al., 2021).

Propor alternativas novas de estimativa de precipitação em regiões que não possuem uma rede de estações meteorológicas se torna viável para compor ausência de dados de modelos de previsão climática. Nesse sentido, a validação dos dados de sensoriamento remoto traz uma possibilidade de espacialização da precipitação em regiões de difícil acesso (Souza et al., 2018; Novais et al., 2019).

Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo geral avaliar as estimativas de precipitação pluvial do sensor orbital com dados pluviométricos de superfície provenientes de torres meteorológicas no Pantanal Mato-grossense.

Material e métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado em três localidades próximas à Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Sesc Pantanal (Figura 1), considerada a maior reserva particular natural do Brasil, com 1.076 km², localizada entre os rios Cuiabá e São Lourenço, no município de Barão de Melgaço, no sul do estado de Mato Grosso (MT), Brasil, distante 160 km de Cuiabá (MT), com coordenadas 16° 30' 50,10" S e 56° 22' 35,84" O.

A primeira área localiza-se em uma região de floresta de Acuri, localizada aproximadamente

2 Km da RPPN, com coordenadas de 16° 30' 14,67" S e 56° 24' 7,44" O. A segunda área conhecida como Carrapatal está localizada dentro RPPN, com coordenadas de 16° 34' 26,40" S e 56° 16' 56,40" O. E a terceira área (Baía das Pedras) está localizada aproximadamente 3 Km da RPPN, com coordenadas de 16° 29' 53,52" S e 56° 24' 46,23" O (Figura 1).

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima das regiões é do tipo "Aw" (clima tropical úmido com inverno seco), apresentando duas estações bem definidas, uma úmida com precipitação pluvial no verão (outubro-março) (estação chuvosa) e outra seca no inverno (abril-setembro) (estação seca) (Souza et al., 2013). A precipitação pluvial anual varia entre 1.000 e 1.500 milímetros, com máxima em janeiro e mínima em agosto. As temperaturas oscilam entre 22°C e 32°C (Hasenack et al., 2003).

A topografia da planície de inundação é praticamente plana, causando alagamento, 1–2 m (Nunes Da Cunha & Junk, 2004). O solo é classificado como GLEISSOLO HÁPLICO Ta

Distrófico (Vourlitis et al., 2011). A precipitação anual e temperatura da região é, em média, 1.400 mm e 26,1°C com uma estação seca pronunciada que se estende de maio a setembro (Danelichen et al., 2019).

Dados medidos

Para comparação e validação dos dados obtidos pelo TRMM foram utilizados dados de precipitação (PPT) dos 3 sítios experimentais (Carrapatal, Baía das Pedras e Acurí) onde encontram-se instaladas torres meteorológicas. O acúmulo mensal em cada área de estudo foi medido por um pluviômetro (TB4 Campbell Sci., Logan, UT, USA). Os dados foram armazenados em médias a cada 30 min em um registrador eletrônico (CR1000, Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA). Os dados de PPT foram obtidos entre os anos de 2013 a 2015 para a área do Acuri (a), entre 2011 a 2016 para área Baía das Pedras (b) e 2010 a 2014 para a área do Carrapatal (c) (Figuras 2, 3 e 4).

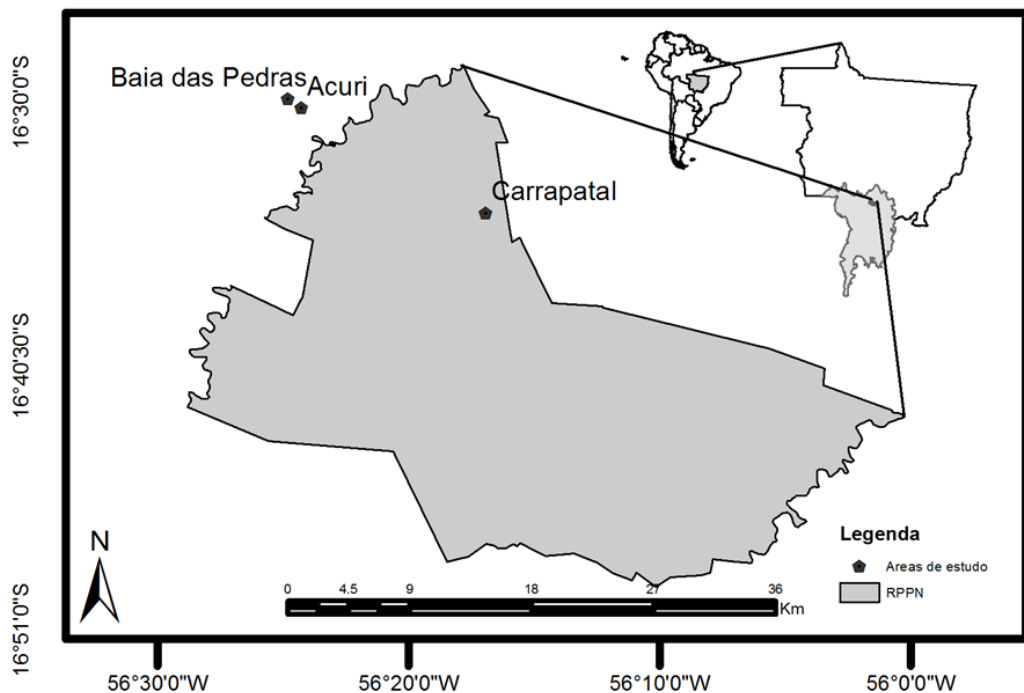


Figura 1. localização da área de estudo.

Dados de Sensores Orbitais

Foram utilizados dados do satélite TRMM (algoritmo 3B43), disponibilizados no site da NASA (<https://disc.sci.gsfc.nasa.gov>). Os dados de precipitação do satélite TRMM foram obtidos no formato NetCDF e processados em linguagem

Python utilizando software ArcGIS (conversão para GeoTiff), com resolução espacial de 0,25°x0,25°, ou seja, aproximadamente 25 km nos trópicos, abrangendo até as latitudes 50° N e 50° S. O produto de precipitação estimadas do satélite TRMM foram obtidas entre o mesmo período dos dados medidos em terra.

Análise Estatísticas dos Dados

A avaliação dos dados foi realizada por meio de alguns indicadores: exatidão – índice de Willmott “d” (Equação 1); erro quadrático médio “EQM” (Equação 2) e o erro médio absoluto “EMA” (Equação 3). A exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados. Matematicamente essa aproximação é dada por um índice designado de concordância que pode ser amplamente aplicado à comparação entre modelos (Willmott et al., 1985). Seus valores variam de zero, com nenhuma concordância, a 1, com concordância perfeita.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (1)$$

em que P_i é o valor estimado, O_i o valor observado e O a média dos valores observados.

O EQM indica quanto a modelo falha em estimar a variabilidade das medidas em torno da média e mede a variação dos valores estimados ao redor dos valores medidos (Willmott & Matsuura, 2005). O menor limite de EQM é 0, o que significa que há plena adesão entre as estimativas do modelo e as medidas.

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (2)$$

O EMA indica o afastamento (desvio) médio absoluto dos valores estimados em relação aos valores medidos. O ideal seria que os valores do EMA e do EQM fossem próximo de zero (Willmott & Matsuura, 2005).

$$EMA = \sum \frac{|P_i - O_i|}{n} \quad (3)$$

Resultados e discussão

A distribuição temporal da precipitação observada e estimada pelo sensor TRMM apresentaram dinâmica similar aos dados obtidos das torres nas três áreas de estudos Acuri, Baía das Pedras e Carrapatal (Figuras 2, 3 e 4). As precipitações medidas pelos pluviômetros nas áreas de estudos apresentaram médias mensais de 123,64 mm (Acuri), 127,54 mm (Baías das Pedras) e 99,00 mm (Carrapatal) em todo período estudado, (Figuras 2, 3 e 4).

O maior acúmulo registrado durante os anos nas áreas de estudos por meio do satélite TRMM foi na área do Carrapatal (401,60 mm) no mês de fevereiro de 2011, enquanto que o maior acúmulo registrado pelos pluviômetros ocorreu na Baías das Pedras, em novembro de 2012 (Figuras 3 e 4).

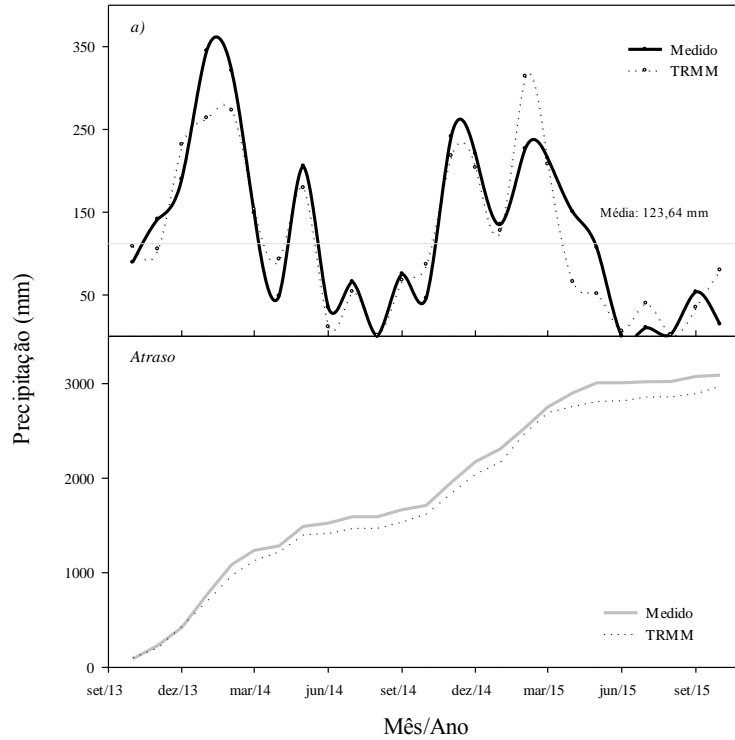


Figura 2. Variabilidade mensal da precipitação (superior) e intervalo de tempo entre as chuvas medidas e estimadas (inferior) na área de Acuri de outubro de 2013 a outubro de 2015.

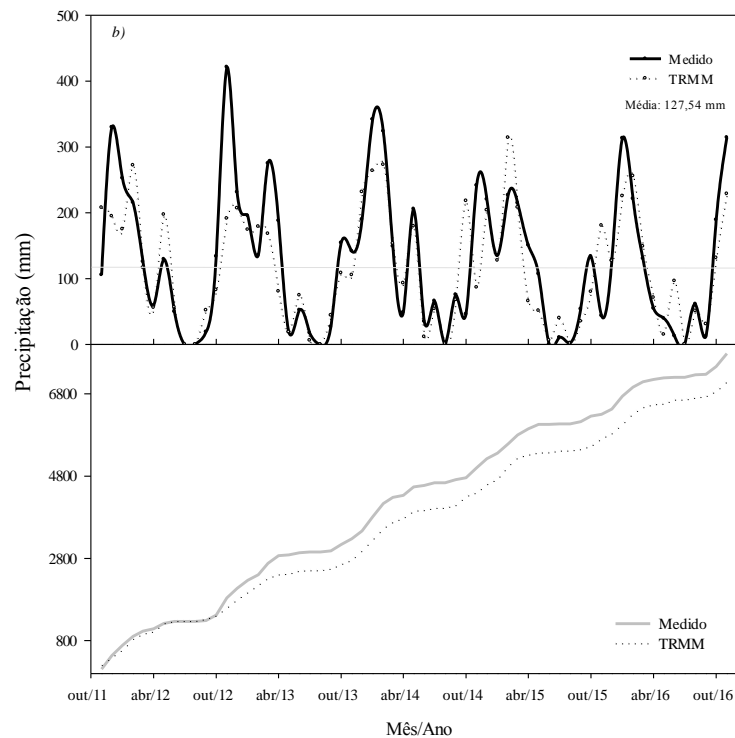


Figura 3. Variabilidade mensal da precipitação (superior) e intervalo de tempo entre as chuvas medidas e estimadas (inferior) na Baía das Pedras de novembro de 2011 a novembro de 2016.

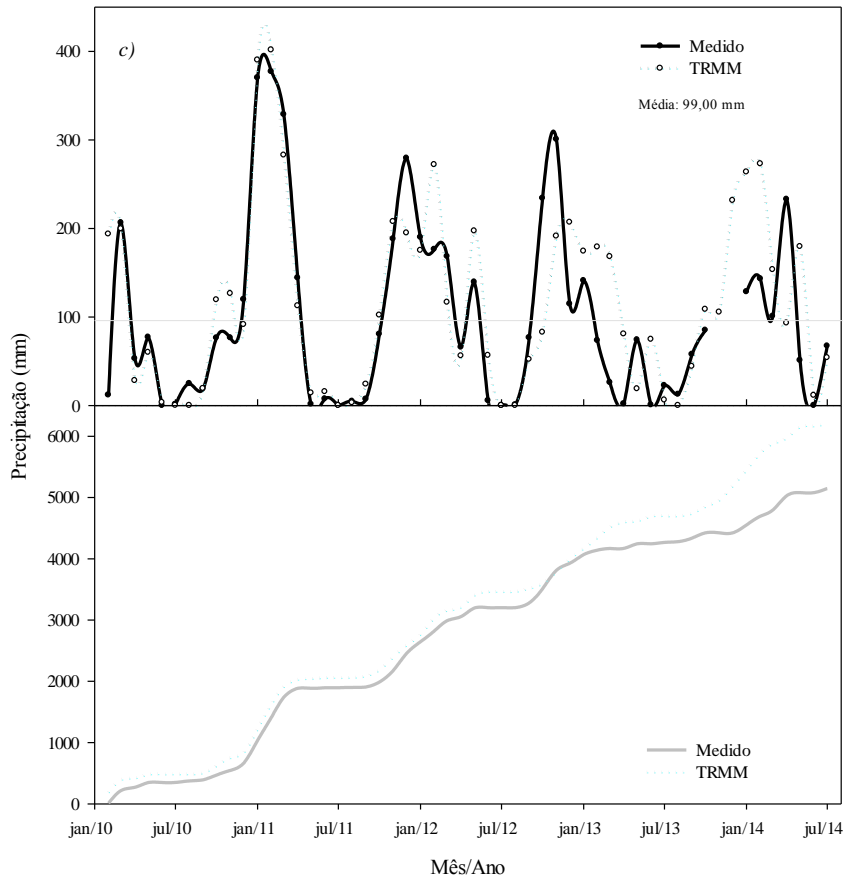


Figura 4. Variabilidade mensal da precipitação (superior) e intervalo de tempo entre as chuvas medidas e estimadas (inferior) no Carrapatal de fevereiro de 2010 a julho de 2014.

Verifica-se uma tendência generalizada do satélite estar atrasando em relação aos pluviômetros nas áreas de Acuri e Baía das Pedras (Figuras 2 e 3) e adiantando na área do Carrapatal (Figura 4). Esta defasagem entre a estimativa do satélite e as medições nas áreas de estudos já havia sido observada por estudos realizados por Collischon (2006) em análises feitas nas bacias do São Francisco e Tapajós. Mesmo ainda não completamente explicado a causa desta defasagem, ela pode ser possivelmente relacionada a algum erro de processamento, tanto de leitura dos pluviômetros como geração das estimativas de satélite, ou como uma tendência do satélite “prever” a precipitação antes que ela aconteça, (Nobrega et al., 2008; Mendes, et al., 2019).

Conforme evidenciado por Leivas et al. (2009), os dados de precipitação estimado pelo TRMM tem boa acurácia em relação aos dados medidos, apesar de ser evidenciado alguns picos, onde satélite superestimou a precipitação e em

outros subestimou. Essa diferença entre as curvas pode ser devida à variabilidade espacial das chuvas e/ou erros instrumentais ou ainda podem ser inerentes da resolução espacial do sensor (25 km).

Outros autores mostraram e confirmaram que os dados mensais do satélite TRMM são semelhantes aos dados de estações pluviométricas (Leivas et al., 2009; Santos et al., 2020) e que os dados do TRMM podem ser utilizados em modelos hidrológicos, substituindo observações locais (Collischon et al., 2007; Pedreira Junior et al., 2021).

Com relação à precipitação acumulada anual média no período em estudo, nos três sítios, o TRMM estimou em Acuri um total de 1.606,70 mm e o medido foi de 1.754,34 mm (Figura 2). Já na Baía das Pedras o estimado foi de 1.340,12 mm e o medido de 1.468,91 mm (Figura 3). E no Carrapatal, o TRMM estimou um total de 1.578,13 mm e o medido foi de 1.631,34 mm (Figura

É possível identificar nas três áreas de estudos, os valores se mantiveram bem próximos aos dados medidos com o TRMM. Em Carrapatal houve uma tendência de precipitação estimada pelo TRMM esteve à frente da medida (Figura 4). Esta anomalia (adiantamento) foi observada por Danelichen et al. (2013) nas principais cidades da região centro-oeste do país. Conforme Sanchez-Moreno et al. (2014), as estimativas de precipitação pelo produto TRMM detectam a tendência geral da série de dados e a direção das nuvens de chuva, ou seja, pode ter acontecido nesse intervalo de tempo, porém a precipitação não foi forte o suficiente para atingir a superfície e, conseqüentemente, não sendo registradas pelos pluviômetros.

Quanto maior o período de acumulação de precipitação para análise, mais facilidade e maior a chance que a estimativa pelo TRMM gere valores próximos do observado, pois quanto menor o

período de acumulação, a estimativa de chuva está mais sujeita à grande variabilidade temporal desse fenômeno (Soares et al., 2016; Brasil Neto et al., 2021).

O coeficiente de determinação (R^2) da regressão linear entre as séries de precipitação observadas e estimadas variou-se entre os três sítios estudados (Figura 5). Na área de Acuri o R^2 foi de 0,82, de forma que 82% da variável dependente consegue ser explicada pelos regressores presentes no modelo, demonstrando um bom ajuste entre as amostras. Os resultados para as áreas da Baía das Pedras e Carrapatal mostram que as estimativas de precipitações entre o observado e o estimado apresentaram um decaimento nos coeficientes, com valores de R^2 igual a 0,62 (Figura 5b c 5c).

Tabela 1: Análise estatística, com o erro médio absoluto (EMA), erro quadrático médio (EMQ), índice de concordância de Willmott (d), coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (R^2) das áreas de estudo mediante a comparação entre as séries de precipitação observadas e estimadas.

ÁREA DE ESTUDO	EMA	EMQ	d	r	R^2
<i>Acuri</i>	4,32	40,88	0,98	0,91	0,83
<i>Baía das Pedras</i>	11,09	66,07	0,95	0,79	0,61
<i>Carrapatal</i>	19,84	74,76	0,93	0,79	0,62

Os resultados médios das métricas para todos os dados, mostram que o erro médio absoluto (EMA), variou-se de 4,32 em Acuri, 11,09 em Baía das Pedras e de 19,84 em Carrapatal (Tabela 1). Neste sentido, seu valor ideal seria igual a zero. Assim, o erro médio tende a ser pequeno na medida em que os erros negativos e positivos se compensem.

Os valores do erro quadrático médio (EMQ) variaram-se de 40,88 a 74,76, sendo em Acuri 40,88, Baía das Pedras 66,07 e Carrapatal 74,76 (Tabela 1). Conforme Willmott e Matsuura (2005), quanto mais próximo de zero, significa que

há plena adesão entre as estimativas do modelo e as medidas.

O índice de concordância (d) apresentou bom desempenho, melhor na área de Acuri (0,98), sugerindo confiabilidade nas estimativas referentes aos dados, pois para estas quanto mais próximo de 1, significa concordância perfeita entre os dados, ou seja, o desempenho do dado estimado é muito próximo ao dado medido (Tabela 1).

O índice de correlação linear (r) realizado com as médias das precipitações variaram entre 0,79 e 0,91 indicando correlação satisfatória entre os dados estimados e os dados medidos, ou seja, os dados estimados pelo satélite TRMM forneceram

uma estimativa próxima dos dados medidos em superfície através de pluviômetros. Em Acurí foi observada a maior correlação ($r = 0,91$), já em Baía das Pedras e Carrapatal, ambas com o índice de correlação linear de 0,79 (Tabela 1). Os resultados obtidos corroboram com outros autores que analisaram os dados do TRMM para outros locais, como Dinku et al. (2007) que encontraram valores de 0,92 na validação de produtos de precipitação por satélite sobre a topografia complexa da África Oriental e Viana & Sansigolo (2016), onde os valores de correlação foram de 0,91 na avaliação das estimativas de precipitação do satélite TRMM na Região Sul do Brasil. A análise estatística indica uma boa correlação entre os três sítios experimentais, que apresentaram coeficientes de

correlação satisfatórios, havendo uma relação linear positiva.

Os valores dos dados estatísticos foram semelhantes aos de Almeida et al. (2015), apresentando alta correlação linear ($r = 0,83$), alto índice de concordância ($d = 0,85$) e EMQ satisfatório (66,6).

Conforme Collischonn et al. (2007), os resultados indicam que as estimativas de precipitação pluviométrica fornecidas pelo TRMM são coerentes, porém apresentam alguns erros. As diferenças entre os dados estimados pelo TRMM e medidos nas estações meteorológicas podem ser pela diferença de escala entre eles, pois o pluviômetro é uma estimativa pontual onde pode haver erros humanos na hora da coleta, enquanto o satélite representa uma estimativa média no pixel.

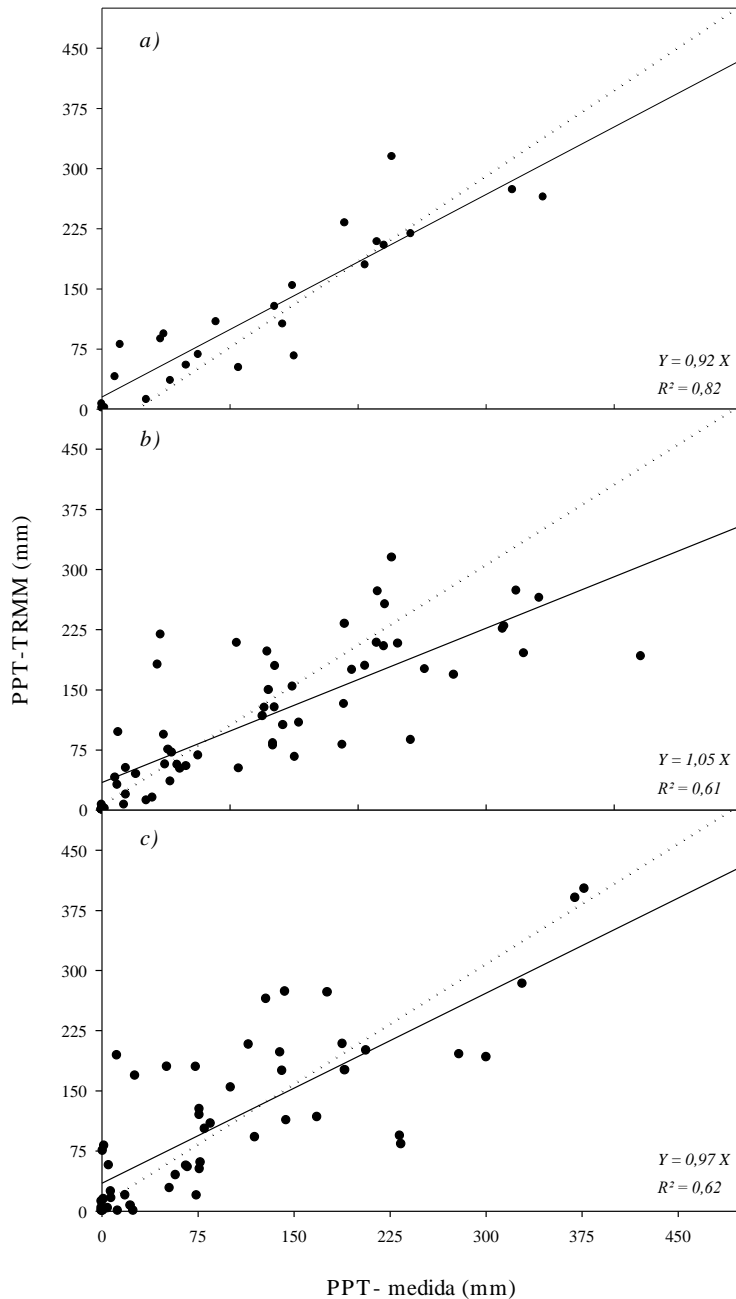


Figura 5. Dispersão entre os valores de precipitação medidos e os estimados pelo produto TRMM nas três áreas de estudos (a-Acuri, b-Baía das Pedras e c-Carrapatal).

Conclusões

Dentre os três sítios estudados os valores em Acuri foram os que obtiveram maiores equilíbrios entre os dados medidos com o estimado pelo TRMM.

A precipitação estimada pelo produto 3B43 do satélite TRMM pode ser utilizada como forma alternativa para a obtenção da precipitação,

principalmente em regiões com escassez de postos pluviométricos ou em casos em que haja falhas de dados em series temporais e espaciais, e aliados a estatística contribui para a prevenção de desastres naturais e climatológicos referentes a precipitação, além de representar com significância a variabilidade sazonal da precipitação pluvial no período de estudo.

Nossos resultados demonstram que dados de precipitação estimados a partir de satélites como

o TRMM podem ser uma alternativa eficiente e barata quando comparados a instrumentos no solo, como estações meteorológicas e pluviométricas, que possuem custos mais elevados e necessitam de constante manutenção e aferição.

Referências

- Almeida, C. T.; Delgado, R. C.; Oliveira Junior, J. F.; Gois, G.; Cavalcanti, A. S. 2015. Avaliação das Estimativas de Precipitação do Produto 3B43-TRMM do Estado do Amazonas. *Floresta Ambient.*, Seropédica, 22, 279-286.
- Andrade, R. M., Bolfe, E. L., Victoria, D. C., Nogueira, S. F., 2017. Avaliação das condições de Pastagens no Cerrado por meio de Geotecnologias. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, 7, 34-41.
- Brasil Neto, R. M.; Santos, C. A. G.; Silva, J. F. C. B. C.; Silva, R. M.; Santos, C. A. C.; Mishra, M., 2021. Evaluation of the TRMM product for monitoring drought over Paraíba State, northeastern Brazil: a trend analysis. *Scientific Reports*, 11, 1097.
- Collischonn, B.; Allasia, D.; Collischonn, W.; Tucci, C. E. M. 2006. Estimativas de precipitação por sensoriamento remoto passivo: desempenho do satélite TRMM na bacia do alto Paraguai até descalvados. In: *Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*. Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.47-56.
- Collischonn, B.; Allasia, D.; Collischonn, W.; Tucci, C.E.M. 2007. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. *Revista Brasileira de Cartografia*, 59(01), p.93-99.
- Cordeiro, J. L. P.; Hasenack, H.; Oliveira, L. F. B. 2002. Estrutura e heterogeneidade da paisagem da estância ecológica do SESC Pantanal: evolução da paisagem na RPPN SESC/Pantanal. Barão de Melgaço, MT: terceiro relatório. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Centro de Ecologia, p.37.
- Dallacort, R.; Martins, J. A.; Inoue, H. M.; Freitas, P. S. L.; Coletti, A. J. 2011. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. *Acta Scientiarum Agronomy* 33(2): 193-200.
- Danelichen, V. H. M.; Machado, N. G.; Souza, M. C.; Biudes, M. S. 2013. TRMM satellite Performance in Estimated Rainfall Over the Midwest Region of Brazil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 12, 22-31.
- Danelichen, V. H. M.; Pereira, O. A.; Novais, J. W. Z.; Biudes, M. S.; Nogueira, J. S.; Correia, A. R. 2019. Assessment of Land Use in A Conservation Unit in the Brazilian Pantanal by Remote Sensing. *Australian Journal of basic and Applied Sciences*, 13, 141-150.
- Danelichen, V. H. M.; Biudes, M. S., 2020. Biophysical parameters analysis in the detection of coverage changes and land use in a conservation unit in the Brazilian Pantanal. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, 11, 664-676.
- Dinku, T.; Ceccato, P.; Grover-Kopec, E.; Lemma, M.; Connor, S. J.; Ropelewski, C. F. 2007. Validation of satellite rainfall products over East Africa's complex topography. *International Journal Remote Sensing*, 28, 1503-1526.
- Duarte, B. M.; Almeida França, J. R.; Justo, L. A. J. 2018. The use of CloudSat Data to characterize the microphysical structure of extreme precipitation events over South and Southeast of Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, v.41, p.15-27.
- Evans, T. L.; Costa, M.; Telmer, K.; Silva, T. S. F. 2010. Using ALOS/PALSAR and RADARSAT-2 to Map Land Cover and Seasonal Inundation in the Brazilian Pantanal. *IEEE Journal of elected topics in applied earth observations and remote sensing* 3(4): 560-575.
- Hasenack, H.; Cordeiro, J. L. P.; Hofmann, G. S. O. 2003. *Clima da RPPN SESC-Pantanal*. Porto Alegre, UFRGS, 27 p.
- Hofmann, G. S.; Hasenack, H.; Oliveira, L. F. B.; Cordeiro, J. L. P. 2010. O clima na Reserva Particular do Patrimônio Natural SESC Pantanal. *Serviço Social do Comércio – SESC*, Rio de Janeiro.
- Leivas, J. F.; Ribeiro, G. G.; De Souza, M. B.; Rocha Filho, J. 2009. Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 14., 2009, Natal. *Anais...* São José dos Campos: INPE. p.1611-1616.
- Machado, N. G.; Ventura, T. M.; Danelichen, V. H. M.; Querino, C. A. S.; Biudes, M. S. 2015. Estimation of Rainfall by Neural Network over a Neotropical Region. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 17, p. 41-51.
- Mendes, O. R.; Danelichen, V. H. M.; Pereira, O. A. 2019. Avaliação da temperatura da superfície no Pantanal Mato-grossense por sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12, 1-20.

- Nóbrega, R. S.; Souza, Ê. P.; Souza, F. A. S. 2008. Análise da utilização de dados do satélite TRMM em um modelo hidrológico semidistribuído na bacia do rio Jamari (RO). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 1, . 49-60.
- Novais, J. W. Z.; Danelichen, V. H. M.; Pierangeli, M. A. P.; Andrade, L. P.; Sanches, L.; Sallo, F. S.; Pereira, O. A., 2019. Variation of Leaf Area Index by Remote Sensing and Surface Measurements for a Tropical Savanna. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, p. 29-39.
- Nunes Da Cunha, C.; Junk, W.J. 2004. Year-to year changes in water level drive the invasion of *Vochysia divergens* in Pantanal grasslands. *Applied Vegetation Science*, v.7, p.103-110.
- Pedreira Junior, A. L.; Biudes, M. S.; Machado, N. G.; Vourlitis, G. L.; Geli, H. M. E.; Santos, L. O. F.; Querino, C. A. S.; Ivo, I. O.; Lotufo Neto, N., 2021. Assessment of Remote Sensing and Re-Analysis Estimates of Regional Precipitation over Mato Grosso, Brazil. *Water*,13, 333.
- Salis, S. M.; Fernandes, A. H. B. M.; Soriano, B. M. A.; Cardoso, E. L. 2013. *Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal*. 6. ed. Brasília: Embrapa, 228 p.
- Sanchez-Moreno, J. F.; Mannaerts, C.; Jetten, V. 2014. Applicability of satellite rainfall estimates for erosion studies in small offshore areas: a case study in Cape Verde Islands. *Catena*, 121, 365-374.
- Santos, L. O. F.; Machado, N. G.; Querino, C. A. S.; Pedreira Junior, A. L.; Ivo, I. O.; Lotufo Neto, N.; Biudes, M. S., 2020. Hourly Precipitation Patterns in a Brazilian Tropical City. *Revista Brasileira de Climatologia*, 26, 411-424.
- Shepherd, J. M.; Pierce, H.; Negri, A. J. 2002. Rainfall Modification by Major Urban Areas: Observations from Spaceborne Rain Radar on the TRMM Satellite. *American Meteorological Society. Journal of applied meteorology* 41: 689-701.
- Silva, J. S. V.; Abdon, M. M. 1998. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. *Pesq. Agrop. Bras.*, 33, 1703–1711.
- Silva, M. H. S.; Gradella, F. S.; Decco, H. F. 2017. Estudo Comparativo das variações microclimáticas em distintas unidades da Paisagem no Pantanal do Abobral em Mato Grosso do Sul. *Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros, Seção Três Lagoas*, 26, 186-199.
- Soares, A. S. D.; Paz, A. R.; Piccilli, D. G. A. 2016. Avaliação das estimativas de chuva do satélite TRMM no Estado da Paraíba. *RBRH, Porto Alegre*, 21, 288-299.
- Souza, C. A.; Danelichen, V. H. M.; Biudes, M. S.; Silveira, S. W. G., 2018. Change in Biophysical Parameters from the Creation of a Natural Monument in Mato Grosso. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 11, 2427-2435, 2018.
- Souza, A. P.; Mota, L. L.; Zamadei, T.; Martim, C. C.; Almeida, F. T.; Paulino, J. 2013. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no Estado de Mato Grosso. *Nativa*, 1, 34-43.
- Stape, J. L.; Souza, V. C.; Pablo, V. T.; Rodrigues, L. C. 2011. Estimativas das taxas de sequestro de carbono na Reserva Particular de Patrimônio Natural SESC Pantanal. *Serviço Social do Comercio – SESC*.
- Velasque, M. C. S., Biudes, M. S., Machado, N. G., Danelichen, V. H. M., Vourlitis, G. L., Nogueira, J. S. 2018. Modelling Gross Primary Production of Tropical Forest by Remote Sensing. *Revista Brasileira de Climatologia*, 22, 38-54.
- Viana, D. R.; Sansigolo, C. A. 2016. Monthly and Seasonal Rainfall Forecasting in Southern Brazil Using Multiple Discriminant Analysis. *Weather and Forecasting*, v. 31, p. 1947-1960.
- Vigano, H. H. G., Souza, C. C., Cristaldo, M. F., Neto, J. R. N., Jesus, L., 2018. Incêndios no Pantanal de Corumbá, MS: modelagem e previsão a partir das técnicas de análise multivariada. *Rev. Ambient. Água*. 13, 1-13.
- Vourlitis, G. L.; Lobo, F. A.; Zeilhofer, P.; Nogueira, J. S. 2011. Temporal patterns of net CO₂ exchange for a tropical semideciduous forest of the Southern Amazon Basin. *Journal of Geophysical Research*, .116, .1-15.
- Willmott, C. J.; Ckleson, S. G.; Davis, R. E.; Feddema, J. J.; Klink, K. M.; Legates, D. R.; O'donnell, J.; Rowe, C. M. 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, 90,.8995-9005.
- Willmott, C. J.; Matssura, K. 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, 30, 79-92.