

**PRECIPITAÇÕES ESTIMADAS PELA MISSÃO TRMM E OBSERVADAS EM SUPERFÍCIE NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**Marcelo Crestani Mota¹, Rodrigo Rizzi², Fabrício Pereira Härter³ & Rita de Cássia Fraga Damé⁴

1 - Engenheiro agrícola, doutorando do PPG-CLIAMB do INPA/UEA, Manaus-AM, crestanimota@gmail.com

2 - Engenheiro agrônomo, professor da Universidade Federal de Pelotas (UFPe), Pelotas-RS, rodrigo.rizzi@ufpel.edu.br

3 - Meteorologista, professor da UFPe, Pelotas-RS, fabricio.harther@ufpel.edu.br

4 - Engenheira agrícola, professora da UFPe, Pelotas-RS, ritah2o@hotmail.com

Palavras-chave:Estatísticas agrícolas
Dados meteorológicos
Soja**RESUMO**

Dada a importância da soja para a economia brasileira e a consequente necessidade de monitorar as safras agrícolas, com este trabalho objetivou-se comparar os dados de precipitações gerados pelo sistema *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) frente àqueles observados em superfície de estações meteorológicas convencionais para o estado do Rio Grande do Sul. Para isso, empregaram-se dados de três safras de soja (2006/2007 a 2008/2009) para comparação e geração de um modelo de ajuste e de três safras subsequentes (2009/2010 a 2011/2012) para validação. Os dados de precipitações obtidos do TRMM para as safras de ajuste apresentaram alto coeficiente de correlação (0,83) diante daqueles observados nas estações de superfície, com superestimativa média de 11%. O modelo de ajuste não melhorou a estimativa de precipitação e diminuiu a amplitude dos valores estimados para as safras ajustadas. Ademais, o modelo de ajuste pouco alterou os coeficientes de correlação entre ambas as variáveis para todas as safras (mesmo reduzindo o RMSE para duas das três safras analisadas). Dessa forma, quando os dados de precipitações em superfície não estiverem disponíveis, recomenda-se a utilização dos dados originais do TRMM em modelos de estimativa de produtividade da soja.

Keywords:Agricultural statistics
Meteorological data
Soybean**PRECIPITATION ESTIMATED BY THE TRMM MISSION AND OBSERVED AT SURFACE IN THE RIO GRANDE DO SUL STATE****ABSTRACT**

Due to the importance of soybean for the Brazilian economy and the consequent need to monitor crop yield, this study aimed to compare rainfall data derived from the *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) system versus data observed by conventional weather stations in Rio Grande do Sul State, Brazil. This way, we used rainfall data from three crop years (2006/07 to 2008/09) for comparison and generation of an adjustment model, and data from the three subsequent crop years (2009/10 to 2011/12) for validation. The TRMM rainfall data for adjustment crop years showed high correlation coefficient (0.83) when compared to those observed by conventional stations, with average overestimation of 11%. The adjustment model did not improve the estimated data and also decreased their amplitude for all validation crop years. Besides, the adjustment model barely changed the correlation coefficients between both variables for all crop years (even though it reduced the RMSE for two of the three crop years). Thus, when surface precipitation data are not available, we recommend the use of the original TRMM data in agronomic models for soybean yield estimation.

INTRODUÇÃO

Na safra de 2015/2016, foram cultivados cerca de 58 milhões de hectares de grãos no Brasil, com uma produção em torno de 186 milhões de toneladas. Especificamente para a soja, o estado do Rio Grande do Sul contribuiu com cerca de 16% para toda a produção nacional, com uma área cultivada de 5,4 milhões de hectares (CONAB, 2016).

O conhecimento das variáveis climáticas que interferem na produtividade agrícola é extremamente importante, sobretudo a temperatura do ar, a radiação solar e, principalmente, a precipitação (CONCEIÇÃO *et al.*, 2017). O impacto dessas variáveis pode variar consideravelmente dependendo da espécie/cultivar, do estágio fenológico, da duração do ciclo e da classe de solo, entre outros fatores (FARIAS *et al.*, 2009), podendo provocar perdas significativas nas safras de grãos e alterar a geografia da produção agrícola (CERA *et al.*, 2017).

Desse modo, estudos que visam à realização do monitoramento das condições climáticas sobre grandes regiões e seu impacto sobre a produtividade de cultivos agrícolas são essenciais, principalmente quando as informações geradas são empregadas em modelos agronômicos (RIZZI & RUDORFF, 2007; SANTOS *et al.*, 2014). Os modelos agronômicos podem representar, ainda que de forma simplificada, as relações existentes entre a resposta fisiológica das plantas e as variáveis ambientais e suas interferências durante os diferentes estádios fenológicos (BERKA *et al.*, 2003; MARTINS *et al.*, 2014). Além disso, tais modelos quando acoplados aos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) (HARTKAMP *et al.*, 1999; VENTRELLA *et al.*, 2012), permitem o acompanhamento espacial das condições definidoras da produtividade, possibilitando apontar os períodos e as regiões em que estas foram adversas ao cultivo (RIZZI *et al.*, 2006).

Todavia, a aplicação desses modelos em grandes regiões é limitada, devido à escassez de estações meteorológicas e à dificuldade de

acesso aos dados coletados em tempo real, principalmente em regiões de fronteira agrícola, o que dificulta sua aplicação para a tomada de decisões em tempo oportuno. Ademais, os dados das estações representam amostras pontuais, geralmente esparsas, e a conseqüente necessidade de interpolação espacial pode gerar informações muito discrepantes em relação ao que ocorre na superfície terrestre.

Dessa forma, diante da escassez de dados coletados em superfície, a utilização de sensoriamento remoto tem sido uma ferramenta importante para estimativa de precipitação pluvial, aumentando a quantidade de informações meteorológicas disponíveis para uma determinada região (SILVA *et al.*, 2013). Nesse contexto, destaca-se o satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), que realiza estimativas de precipitações para as regiões tropicais e subtropicais do globo terrestre (KAWANISHI *et al.*, 2000), em uma resolução espacial de 0,25° x 0,25° (aproximadamente 25 x 25 km) (NASA, 2018a).

A utilização operacional desses dados em modelos agronômicos vai ao encontro da necessidade crescente de informações sobre a variabilidade espacial e temporal da produção agrícola no Brasil, especialmente em regiões suscetíveis à variabilidade no clima, pois se tem observado consideráveis variações interanuais na produtividade dos cultivos, como no estado do Rio Grande do Sul. Com isso, as estimativas geradas pelo sistema TRMM podem ser uma alternativa viável em substituição aos dados coletados pelas estações meteorológicas, principalmente pela sua cobertura espacial contínua sob grandes regiões, fato observado nos trabalhos desenvolvidos por Silva *et al.* (2013) e Silva-Fuzzo *et al.* (2015).

Dessa forma, com o presente trabalho, objetivou-se comparar dados de precipitações gerados pelo sistema TRMM frente aos observados em superfície de estações meteorológicas visando à utilização em modelos agronômicos de monitoramento e estimativa da produtividade agrícola da soja, no estado do Rio Grande do Sul.

MATERIAL E MÉTODOS

A fim de comparar os dados de precipitação gerados pelo sistema TRMM com os observados pelas estações meteorológicas, utilizou-se um conjunto de dados de seis safras agrícolas, de 2006/2007 a 2011/2012 (1º de outubro a 15 de abril), visando abranger todo o calendário agrícola da soja no Rio Grande do Sul. Esse período permite o acompanhamento da soja ao longo dos seus estádios de crescimento e desenvolvimento, tanto para lavouras de semeadura precoce (semeadura em outubro e senescência em fevereiro) quanto tardia (semeadura em dezembro/janeiro e senescência em abril/maio). Foram obtidos dados de precipitações pluviiais de 19 estações meteorológicas convencionais, pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2016). Dezoito estações estão situadas no estado do Rio Grande do Sul e uma em Santa Catarina (município de Chapecó*), cuja localização é próxima à divisa entre os estados (Figura 1; Tabela 1).

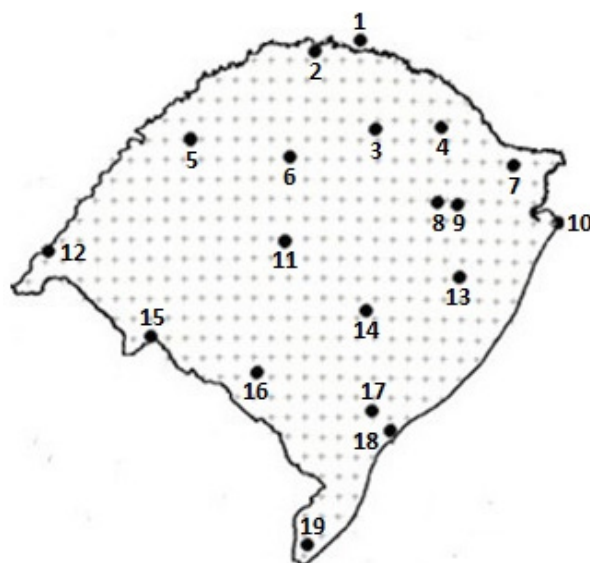


Figura 1. Distribuição espacial das estações meteorológicas de superfície (círculos pretos) e grade regular que representa os dados estimados pelo sistema TRMM ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$) no contexto do estado do Rio Grande do Sul

A precipitação estimada foi obtida a partir do sistema TRMM, do qual foram utilizados os

Tabela 1. Localização geográfica das estações meteorológicas de superfície do INMET

Ponto	Estação	Município	Lat. (°S)	Lon. (°O)
1	83883	Chapecó*	-27,11	-52,61
2	83881	Iraí	-27,18	-53,23
3	83914	Passo Fundo	-28,21	-52,40
4	83916	Lagoa Vermelha	-28,21	-51,50
5	83907	São Luiz Gonzaga	-28,40	-55,01
6	83912	Cruz Alta	-28,63	-53,60
7	83919	Bom Jesus	-28,66	-50,43
8	83941	Bento Gonçalves	-29,15	-51,51
9	83942	Caxias do Sul	-29,16	-51,20
10	83948	Torres	-29,35	-49,73
11	83936	Santa Maria	-29,70	-53,70
12	83927	Uruguaiana	-29,75	-57,08
13	83967	Porto Alegre	-30,05	-51,16
14	83964	Encruzilhada do Sul	-30,53	-52,51
15	83953	Santana do Livramento	-30,83	-55,60
16	83980	Bagé	-31,33	-54,10
17	83985	Pelotas	-31,78	-52,41
18	83995	Rio Grande	-32,03	-52,11
19	83997	Santa Vitória do Palmar	-33,51	-53,35

dados do algoritmo 3B42, versão 07 *daily*, que disponibiliza estimativas diárias de precipitação, sendo os dados adquiridos no formato ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), em mm dia⁻¹ (NASA, 2018 b).

A resolução temporal adotada foi de 15 dias, sendo os dados de precipitações somados quinzenalmente, perfazendo o total de 13 quinzenas (ciclo completo da soja no Rio Grande do Sul, desde a implantação da cultura até a sua senescência). Posteriormente, os dados foram distribuídos espacialmente na região de estudo em grades regulares de 0,25° x 0,25° (Figura 1).

Tanto os dados estimados pelo sistema TRMM quanto os observados pelas estações meteorológicas foram inseridos no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SIG SPRING (CÂMARA *et al.*, 1996), no formato “modelo numérico do terreno” do tipo “amostral” (Figura 1). Nesse modelo, o SPRING armazena a localização espacial da amostra (coordenadas x e y), a qual corresponde à localização geodésica da estação meteorológica ou da informação oriunda do TRMM e atrela a essa localização um valor que condiz com uma determinada informação numérica em formato real (coordenada z), representando, assim, a precipitação.

Como as estações meteorológicas encontram-se distribuídas espacialmente de maneira esparsa e em função dos dados do TRMM apresentarem-se em uma resolução espacial de 0,25° x 0,25°, houve a necessidade de compatibilizar tais informações no espaço. Para tanto, utilizou-se o método de interpolação *vizinho mais próximo*, para gerar grades retangulares em uma resolução espacial única (1 x 1 km). Através desse método, para cada ponto (x, y) dessa nova grade (pixel), o sistema atribui a cota da amostra (estação meteorológica ou local do ponto estimado pelo TRMM) mais próxima ao ponto, mantendo os valores das cotas sem gerar valores intermediários (Figura 1).

Para avaliação da comparação entre os dois conjuntos de dados (TRMM e de superfície), primeiramente realizaram-se análises de regressão linear, obtendo-se o coeficiente de determinação

(r^2). Para tanto, foram utilizadas as três primeiras safras em conjunto (2006/2007 a 2008/2009; denominadas de “safras de ajuste”), de modo a gerar um modelo matemático de ajuste para os dados de precipitação. Esse modelo foi aplicado aos dados estimados do TRMM das três últimas safras (2009/2010 a 2011/2012; denominadas de “safras de validação”), a fim de produzir novos valores (“ajustados”) de precipitação para essas safras.

As avaliações foram realizadas comparando os dados observados das estações meteorológicas com os originais estimados pelo TRMM e também para aqueles ajustados a partir do modelo. O procedimento fundamentou-se na plotagem dos diagramas de dispersão entre os valores estimados e ajustados do TRMM e os observados pelas estações, objetivando medir a intensidade ou grau de relacionamento linear entre eles, a partir do cálculo do coeficiente de correlação linear (r) (Equação 1).

Além da utilização da análise de regressão linear, foram realizados testes de significância dos valores obtidos por meio do teste de t-Student (Equação 2) (WILKS, 2006), tanto para o conjunto das safras usadas na geração do modelo de ajuste (2006/07 a 2008/09) quanto para as três safras ajustadas em separado (2009/2010 a 2011/2012). Empregaram-se ainda o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) (ZHANG *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2008) (Equação 3), a Raiz do Erro Médio Quadrático (RMS, do inglês, *Root Mean Square*) (Equação 4) e o Erro Relativo Médio Quadrático (RMSE, do inglês, *Root Mean Square Error*) (Equação 5). O RMS é normalizado a partir dos valores médios dos dados ajustados do TRMM (WILKS, 2006). Realizaram-se ainda os cálculos de super ou subestimativa média, do r e do desvio padrão (σ) (Equação 6), calculados para as safras de validação (2009/2010 a 2011/2012). A análise do σ justifica-se pelo fato deste ser um bom estimador da amplitude dos dados (indica a variação de um conjunto de elementos), que é uma informação relevante para as estimativas dos dados gerados pelo sistema TRMM.

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n (P_i e P_{i^*} O_i) - (\sum_{i=1}^n P_i e P_{i^*}) (\sum_{i=1}^n O_i)}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n P_i^2 e P_{i^*}^2 - (\sum_{i=1}^n P_i e P_{i^*})^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n O_i^2 - (\sum_{i=1}^n O_i)^2}} \quad (1)$$

$$t = \frac{r \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (2)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_{i^*})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (3)$$

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i e P_{i^*} - O_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$RMSE = \frac{RMS}{O_i} .100 \quad (5)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i, P_i e P_{i^*} - \bar{O}_i, \bar{P}_i e \bar{P}_{i^*})^2}{n-1}} \quad (6)$$

em que,

r = intensidade da associação linear entre os dados observados/estimados e observados/ajustados, variando de -1 a 1;

RMS = magnitude dos dados de precipitação observados, estimados e ajustados, mm;

$RMSE$ = diferença relativa (dispersão) entre os dados de precipitação observados/estimados e observados/ajustados em torno da reta 1:1, %;

σ = medida de dispersão dos dados observados, estimados e ajustados em relação às médias dos valores de precipitação amostrados, mm;

t = significância estatística das correlações a partir de um valor crítico de “t” (valor tabelado);

n = número de amostras para a validação;
 O_i = precipitação observada em superfície nas estações, mm;

\bar{O}_i = precipitação média das estações, mm;

P_i = precipitação estimada do TRMM, mm;

\bar{P}_i = precipitação média estimada do TRMM, mm;

P_{i^*} = precipitação ajustada do TRMM, mm;

\bar{P}_{i^*} = precipitação média ajustada do TRMM, mm;

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quanto à evolução temporal dos valores de precipitação quinzenal para as safras de ajuste, destaca a tendência dos dados do sistema TRMM em superestimar os observados em superfície nas estações (Figura 3). Esse comportamento foi mais acentuado na safra de 2006/2007, quando a diferença entre os dados estimados (TRMM) e os observados foi de aproximadamente 18% (14 mm), enquanto que nas safras de 2007/2008 e 2008/2009 as diferenças foram de 10% (6,4 mm) e 3% (1,3 mm), respectivamente.

Quando analisados os dados das três safras de ajuste em conjunto, os valores estimados (TRMM), em média, superestimaram em 11% (7 mm) aos observados em superfície. Essas superestimativas condizem com os resultados reportados por Adeyewa e Nakamura (2003), Collischonn *et al.* (2007), Nóbrega *et al.* (2008) e Rozante *et al.* (2010), os quais observaram que as precipitações estimadas pelo TRMM tenderam a superestimar ligeiramente os valores observados.

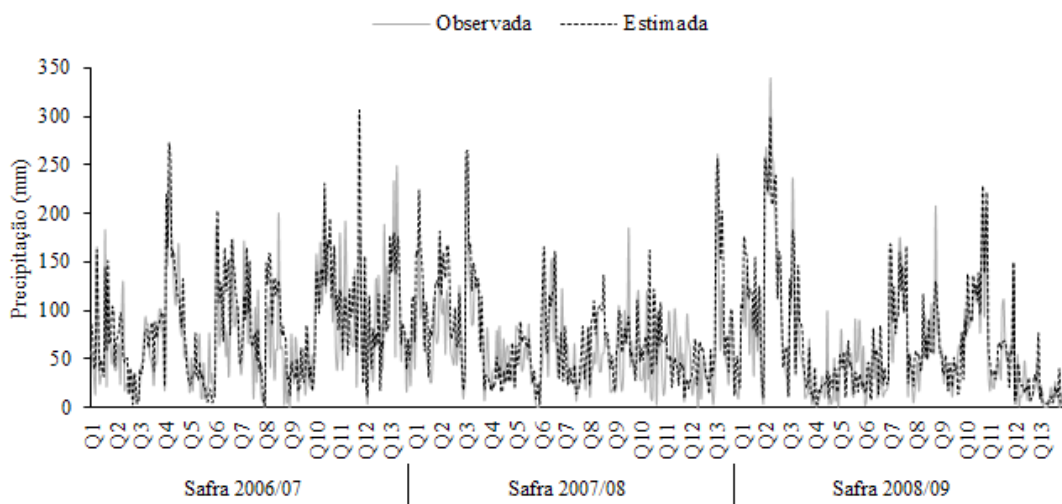
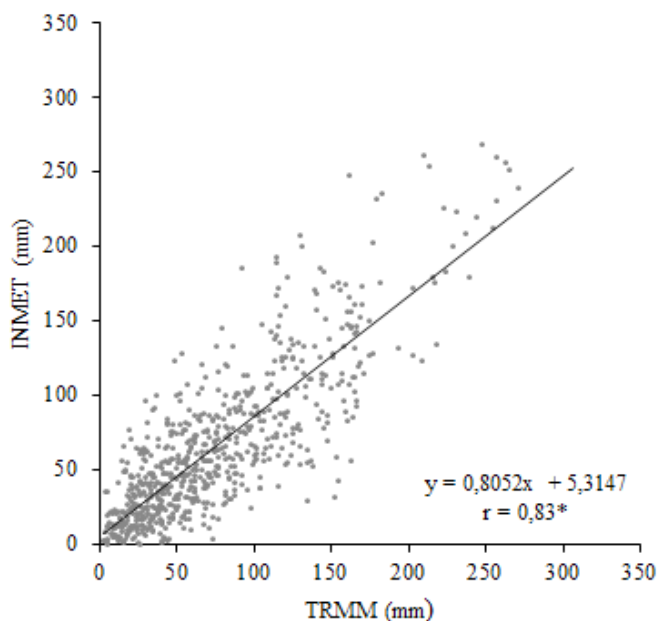


Figura 3. Variação dos valores de precipitação observados (INMET) e estimados (TRMM) para as safras utilizadas na geração dos modelos de ajuste (2006/2007 a 2008/2009); os símbolos de Q1 a Q13 referem-se às quinzenas em ordem cronológica (1ª quinzena de outubro a 1ª quinzena de abril)

Como a precipitação (mais especificamente a disponibilidade hídrica) é o principal fator definidor da produtividade dos cultivos agrícolas, sua superestimativa incorre, invariavelmente, na superestimativa dos valores de produtividade obtidos a partir de um modelo agrônomico. Esse fato alentou a geração de um modelo de ajuste dos dados do TRMM para que estes melhor representassem os valores observados em superfície nas estações. A utilização das três safras

em conjunto resultou em coeficiente de correlação superior (0,83) para duas (2006/2007 e 2007/2008) das três safras aplicadas no ajuste, sendo o mesmo significativo a 99% de probabilidade pelo teste de t-Student (Figura 4).

Ao analisar-se a Figura 5, em todas as safras ajustadas (2009/2010 a 2011/2012) os dados do TRMM, quando ajustados, passam a apresentar menores valores de precipitação, aproximando-se dos valores observados.



*Significativo a 99% de probabilidade pelo teste de t-Student.

Figura 4. Modelo de ajuste (y) desenvolvido a partir dos dados de precipitação estimados (TRMM) e observados em superfície nas safras 2006/2007 a 2008/2009

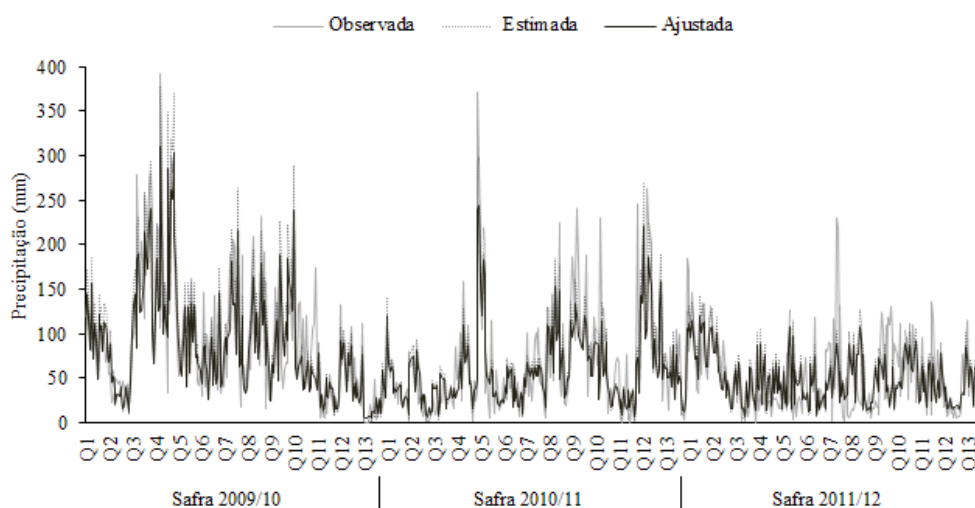


Figura 5. Variação entre os dados de precipitação observados (INMET), estimados e ajustados (TRMM) para as safras de 2009/2010 a 2011/2012; os símbolos de Q1 a Q13 referem-se às quinzenas estudadas em ordem cronológica (1ª quinzena de outubro a 1ª quinzena de abril)

Os valores estimados de precipitação média do TRMM apresentaram superestimativas de 8,1, 3,0 e 11,7% para as safras 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente (Tabela 2). Após o ajuste, tais dados passam a subestimar os observados em superfície em 7,1 e 8,8% e a superestimar em 0,8%. O ajuste provocou a redução dos valores dos desvios padrões de cada uma das safras. Tais valores, que antes do ajuste eram ligeiramente superiores aos dos valores observados, foram consideravelmente reduzidos. Isso indica que o ajuste realizado nos dados do TRMM, embora tenha aproximado os valores médios de precipitação do TRMM em relação aos do INMET, promoveu uma diminuição na amplitude dos valores.

As correlações entre os dados ajustados (TRMM) e os observados originaram coeficientes de correlações de 0,88, 0,84 e 0,51 para as safras 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012, respectivamente, mostrando um bom grau de relacionamento entre os valores de precipitações (Tabela 3; Figura 6). A menor correlação para a safra 2011/2012 deve-se à menor precipitação

média das seis safras analisadas, apenas 49,2 mm na quinzena. Constatação semelhante foi realizada por Almeida *et al.* (2015), os quais verificaram, entre os municípios em estudo, em Eirunepé-AM obtiveram-se os menores coeficientes de correlação entre os dados observados (pluviômetros) e os estimados (TRMM) nos anos de baixa precipitação.

Contudo, os coeficientes de correlação dos dados ajustados foram superiores aos estimados para duas das três safras analisadas. Quando as três safras de validação são analisadas conjuntamente, o valor de coeficiente de correlação foi o mesmo antes e depois do ajuste (82%).

Com relação ao modelo de ajuste para tais dados, este reduziu a diferença de 5 mm (7,3%) de superestimativa para 4 mm (5,8%) de subestimativa dos dados do TRMM frente aos dados de superfície, quando considerada a média para as três safras ajustadas. Porém, a amplitude dos dados ajustados que era em torno de 3 mm menor (também para a média das três safras) ficou 13,3 mm menor em relação aos dados observados.

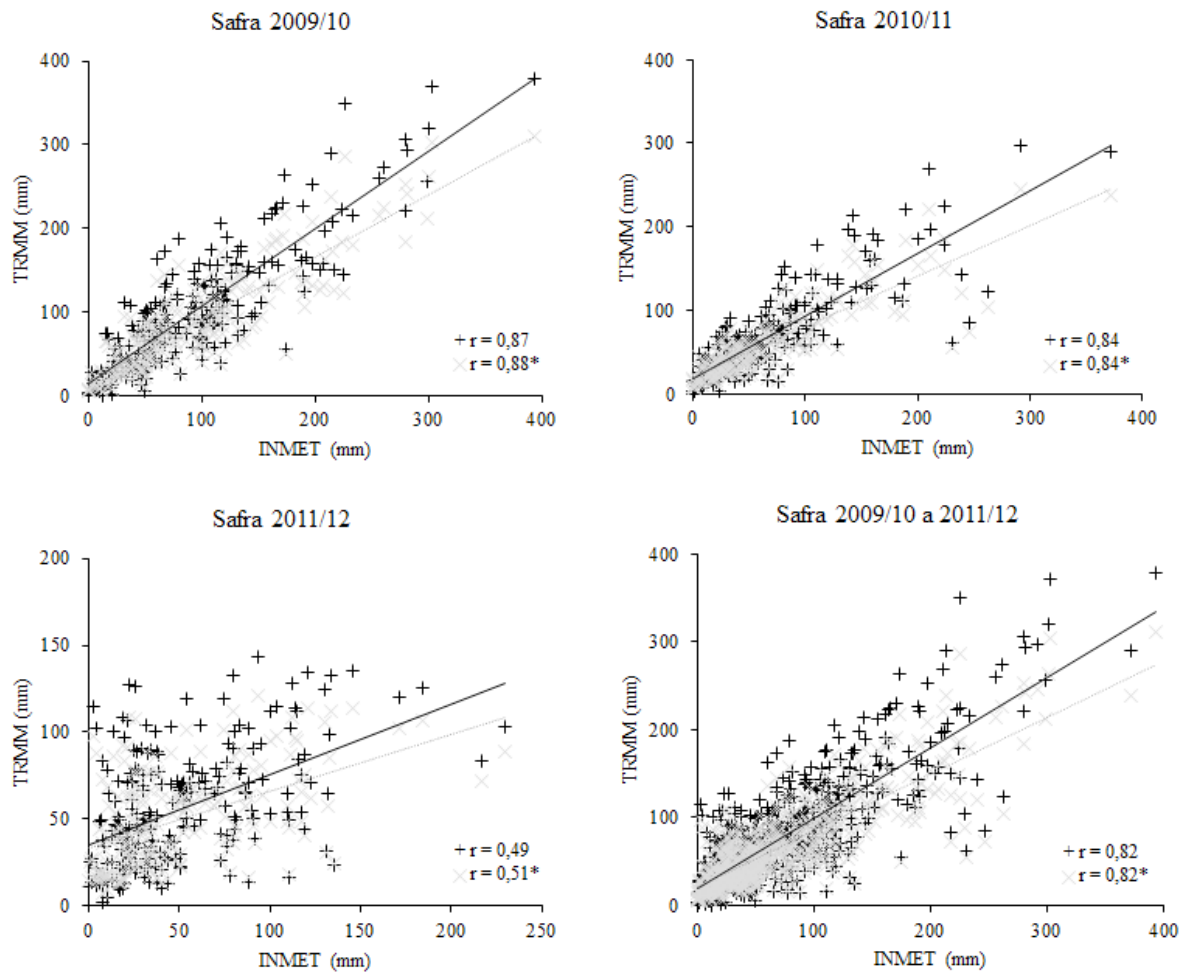
Tabela 2. Precipitações pluviais médias observadas em superfície e estimadas e ajustadas pelo TRMM, com os respectivos desvios padrões (σ) para as safras 2009/2010 a 2011/2012

Precipitação média (mm)						
Safra	INMET	σ	TRMM Estimado	σ	TRMM Ajustado	σ
2009/10	91,1	68,8	98,5	73,3	84,6	59,0
2010/11	65,4	59,0	67,4	52,7	59,6	42,4
2011/12	49,2	40,1	55,0	33,3	49,6	26,8
Média	68,6	56,0	73,6	53,1	64,6	42,7

Tabela 3. Safras e modelo de ajuste, coeficiente de determinação (r^2), safras ajustadas e coeficiente de correlação linear (r) para a precipitação entre os dados do TRMM estimados e ajustados frente aos dados de superfície

Safras de Ajuste	Modelo de Ajuste	r^2	Safras Ajustadas	r Estimado	r Ajustado
2006/07 a 2008/09	$y = 0,8052x + 5,3147$	0,6931	2009/10	0,87	0,88*
			2010/11	0,84	0,84*
			2011/12	0,49	0,51*
			2009/10 a 2011/12	0,82	0,82*

*Significativo a 99% de probabilidade pelo teste t-Student.



*Significativo a 99% de probabilidade pelo teste de t-Student.

Figura 6. Diagrama de dispersão entre os dados de precipitação observados em superfície nas estações e do sistema TRMM estimados (+ e linha preta) e ajustados (x e linha cinza), para as safras 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012

De acordo com a Tabela 4, percebe-se que o modelo de ajuste pouco alterou os valores de RMS e RMSE dos dados estimados, reforçando o baixo desempenho do modelo de ajuste em melhorar as estimativas de precipitação pluvial do sistema TRMM.

Destaca-se, ainda, que os resultados encontrados se referem a valores acumulados quinzenalmente, o que indica que, apesar dos valores de RMS e RMSE serem elevados, estes são distribuídos ao longo da quinzena. Assim, as diferenças de precipitação ocorridas entre os dados estimados e os observados são de aproximadamente 2,5, 2,1 e 2,5 mm diários, para as safras de 2009/2010, de 2010/2011 e de 2011/2012, respectivamente.

Constata-se, ainda, que a maior diferença

percentual entre os dados estimados e os observados aconteceu justamente na safra de 2011/2012 (RMSE = 109%), possivelmente em virtude da baixa precipitação média ocorrida (49,2 mm), a menor de todas as seis safras analisadas. Em relação ao NS, o modelo matemático de ajuste pouco alterou tais valores para as safras de 2009/2010 e de 2010/2011, atingindo a classificação boa e aceitável (SILVA *et al.*, 2008), respectivamente, frente aos dados observados pelas estações meteorológicas do INMET. Para a safra de 2011/2012, os valores de NS antes (0,10) e depois (0,21) do ajuste ficaram ambos abaixo do aceitável (0,36).

Entretanto, cabe ressaltar que os altos valores de coeficiente de correlação indicam que o sistema TRMM consegue captar a magnitude da variação

Tabela 4. Raiz do Erro Médio Quadrático (RMS), Erro Relativo Médio Quadrático (RMSE) e coeficiente de Nash-Sutcliffe (NS) dos dados estimados e ajustados do sistema TRMM, safras 2009/2010, 2010/2011 e 2011/2012, para a precipitação

Safr	RMS (mm)		RMSE (%)		NS	
	Estimado	Ajustado	Estimado	Ajustado	Estimado	Ajustado
2009/10	36,9	34,2	52	48	0,71	0,75
2010/11	32,1	33,2	67	69	0,70	0,68
2011/12	37,9	35,6	109	102	0,10	0,21

dos dados observados. Ainda que os valores de RMSE sejam altos (especialmente para a safra de 2011/2012), os modelos agronômicos geralmente utilizam os dados quinzenais para efetuar o monitoramento temporal das condições das lavouras. Contudo, para a estimativa dos valores de produtividade final, os dados geralmente são integrados ao longo de todo o ciclo da cultura, embora muitas vezes com diferentes pesos para cada estágio fenológico, o que pode diluir parte dos erros que ocorrem nas estimativas de precipitação do TRMM. Além disso, o menor coeficiente de correlação para a safra de 2011/2012, cujo regime foi o menor das seis safras analisadas, pode ser um indício de que o sistema TRMM não seja muito eficiente em safras de escassez hídrica, quando o monitoramento espacial e temporal da safra agrícola é ainda mais importante.

Por fim, a aplicação do modelo de ajuste não resultou em melhora na estimativa da ordem de grandeza dos valores de precipitação e provocou a diminuição da amplitude dos dados para as safras ajustadas. Além disso, tal abordagem pouco alterou os coeficientes de correlação para todas as safras, embora tenha reduzido o RMSE para duas dessas. Sendo assim, os dados originais do TRMM ainda podem ser mais indicados que os ajustados, visando sua utilização em modelos agronômicos de monitoramento e estimativa da produtividade de cultivos agrícolas.

Mesmo que os instrumentos a bordo do satélite TRMM tenham sido desativados em 8 de abril de 2015, uma nova constelação de satélites, denominada *Global Precipitation Measurement*, está permitindo a geração de dados de precipitação em uma resolução espacial mais fina (0,1° x 0,1°) (CHOU *et al.*, 2014) e possivelmente mais acurada em comparação aos dados do TRMM. Ademais,

a grande vantagem na utilização dos dados de precipitação gerados automaticamente via sensores a bordo de satélites é a sua disponibilidade em nível global em tempo quase real. Isto facilita muito a aplicação dos modelos agronômicos em regiões onde os dados observados têm distribuição esparsa no espaço ou o acesso a tais dados é restrito.

CONCLUSÕES

- Observaram-se altos coeficientes de correlação entre os dados de precipitação estimados pelo sistema TRMM frente aos observados pelas estações do INMET, a exceção da safra de 2011/2012.
- Os dados do TRMM tiveram sua amplitude reduzida quando ajustados pelo modelo e subestimaram, em média, 5,8% os dados observados pelo INMET. Assim, recomenda-se a utilização dos dados do TRMM no formato original em modelos de estimativa de produtividade de cultivos agrícolas no Rio Grande do Sul.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)/Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEYEWA, Z.D.; NAKAMURA, K. Validation of TRMM radar rainfall data over major climatic regions in Africa. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v.42, n.2, p.331-347, 2003.
- ALMEIDA, C.T.; DELGADO, R.C.; JUNIOR,

- F.O.; GOIS, G.; CAVALCANTI, A.S. Avaliação das estimativas de precipitação do produto 3B43-TRMM do estado do Amazonas. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.22, n.3, p.279-286, 2015.
- BERKA, L.M.S.; RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y.E. Soybean yield estimation by an agrometeorological model in a GIS. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.60, n.3, p.433-440, 2003.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO, J.; II, F.M. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics, Amsterdam**, v.20, n.3, p.395-403, 1996.
- CERA, J.C.; STRECK, N.A.; FENSTERSEIFER, C.A.J.; FERRAZ, S.E.T.; BEXAIRA, K.P.; SILVEIRA, W.B.; CARDOSO, A.P. Soybean yield in future climate scenarios for the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v.52, n.6, p.380-392, 2017.
- COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v.59, n.1, p.93-99, 2007.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2016/2017: décimo segundo levantamento**. Brasília, set. 2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_09_09_15_18_32_boletim_12_setembro.pdf>. Acesso em: 06 out. 2016.
- CONCEIÇÃO, L.F.C. da; PINTO, L.B.; CUADRA, S.V.; ALMEIDA, I.R. de; STEINMETZ, S. Variáveis meteorológicas e crescimento de arroz irrigado. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, v.2, n.3, p.220-226, 2017.
- FARIAS, J.R.B.; NEUMAIER, N.; NEPOMUCENO, A.L. Soja. In: MONTEIRO, J.E.B.A. Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Brasília: **INMET**, 2009, p.263-277.
- HARTKAMP, A.D.; WHITE, J.W.; HOOGENBOOM, G. Interfacing geographic information systems with agronomic modellings: A review. **Agronomy Journal**, Madison, v.91, n.5, p.761-772, 1999.
- HOU, A.Y.; KAKAR, R.K.; NEECK, S.; AZARBARZIN, A.A.; KUMMEROW, C.D.; KOJIMA, M.; OKI, R.; NAKAMURA, K.; IGUCHI, T. The Global Precipitation Measurement Mission. **American Meteorological Society**, Boston, v.95, n.5, p.701-722, 2014.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Convencional**, 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesAutomaticas>>. Acesso em: 10 jan. 2016.
- KAWANISHI, T.; KUROIWA, H.; KOJIMA, M.; OIKAWA, K.; KOZU, T.; KUMAGAI, H.; OKAMOTO, K.; OKUMURA, M.; NAKATSUKA, H.; NISHIKAWA, K. TRMM Precipitation Radar. **Advances in Space Research**, v.25, n.5, p.969-972, 2000.
- MARTINS, M.A., ALVALÁ, R.C.S., TOMASELLA, J. Modelos de produtividade agrícola aplicados à agricultura de sequeiro: limitações e vantagens para avaliação de colapso de safras. **Agropecuária Científica no Semiárido**, Campina Grande, v.10, n.4, p.41-48, 2014.
- NASA – National Aeronautics and Space Administration. **Mirador: Data access made simple**. Disponível em: <https://mirador.gsfc.nasa.gov/collections/TRMM_3B42_daily__007.shtml>. Acesso em: 11 out. 2018 a.
- NASA – National Aeronautics and Space Administration. **Giovanni: The bridge between data and science** v 4.28. Disponível em: <<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>>. Acesso em: 12 out. 2018 b.

NÓBREGA, R.S.; SOUZA, E.P.; GALVÍNCIO, J.D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental. **Revista de Geografia**, Recife, v.25, n.1, p.6-20, 2008.

RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agrônômico para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.1, p.73-80, 2007.

RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T.; FREITAS, R.M.; FONTANA, D.C. Monitoramento e estimativa da produtividade de soja auxiliados pelo modelo de previsão de tempo ETA. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.1, n.2, p.28-38, 2006.

ROZANTE, J.R.; MOREIRA, D.S.; GONÇALVES, L.G.G.; VILA, D. Combining TRMM and surface observation of precipitation: technique and validation over South America. **Weather and Forecasting**, Boston, v.25, n.3, p.885-894, 2010.

SANTOS, J.S.; FONTANA, D.C.; SILVA, T.S.F.; RUDORFF, B.F.T. Identificação da dinâmica espaço-temporal para estimar área cultivada de soja a partir de imagens MODIS no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.1, p.54-63, 2014.

SILVA, D.F.; PRELA-PANTANO, A.; CAMARGO, M.B.P. Análise de dados de precipitação estimados

pelo satélite TRMM para o Vale do Médio Paranapanema-SP. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.21, n.2, p.138-147, 2013.

SILVA-FUZZO, D.F.; PRELA-PANTANO, A.; CAMARGO, M.B.P. Modelagem agrometeorológica para estimativa de produtividade de soja para o Vale do Médio Paranapanema-SP. **Irriga**, Botucatu, v.20, n.3, p.490-501, 2015.

SILVA, P.M.O.; MELLO, C.R.; SILVA, A.M.; COELHO, G. Modelagem da hidrógrafa de cheia em uma bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.3, p.258-265, 2008.

VENTRELLA, D.; GIGLIO, L.; CHAFERDDINE, M.; LOPEZ, R.; CASTELLINI, M.; SOLLITTO, D.; CASTRIGNANÒ, A.; FOMARO, F. Climate change impact on crop rotations of winter durum wheat and tomato in Southern Italy: yield analysis and soil fertility. **Italian Journal of Agronomy**, Pavia, v.7, n.1, p.100-108, 2012.

WILKS, D.S. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2ed. Oxford: Elsevier, 2006. 627p.

ZHANG, H.G.; FU, S.H.; FANG, W.H.; IMURA, H.; ZHANG, X.C. Potential effects of climate change on runoff in the Yellow River Basin of China. **Transactions of the ASABE**, St. Joseph, v.50, n.3, p.911-918, 2007.