

Validação do Produto de Evapotranspiração MOD16 para uma cultura de Arroz Irrigado em Cachoeira do Sul - RS

Validation the Product of Evapotranspiration (MOD16) for a Culture Rice Irrigated in Cachoeira do Sul – RS

Vanessa de Arruda Souza¹, Débora Regina Roberti², Rita de Cássia Marques Alves³, Marcelo Bortoluzzi Diaz⁴ e Jônatan Dupont Tatsch⁵

v.arruda.s@gmail.com; debora@ufsm.br; rita.cma@terra.com.br; marbdiaz@gmail.com; jdtatsch@gmail.com

¹Mestre, Programa de Pós-graduação em Sensoriamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – CEP SRM, Porto Alegre, Brasil

^{2,5}Doutor, Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil

³Doutor, Departamento de Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – CEP SRM, Porto Alegre, Brasil

⁴Mestre, Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil.

Resumo

O processo de Evapotranspiração (ET) é o segundo principal componente do ciclo hidrológico, estando ligado diretamente com a quantidade de vapor d'água presente na atmosfera. Determinar a ET para grandes áreas de arroz irrigado é um fator limitante devido ao alto custo dos equipamentos e mão de obra especializada. A utilização de dados provenientes de sensores remotos vem servindo como técnica alternativa para o monitoramento da ET sobre extensas áreas. Desta forma, este trabalho tem como objetivo validar os dados de ET (MOD16) para uma cultura de arroz irrigado em Cachoeira do Sul - Brasil. Os dados utilizados neste estudo compreendem o período de outubro de 2013 a setembro de 2014. A comparação entre a ET-MODIS do pixel central com a ET observada (estimada pela técnica de Covariância dos Vórtices Turbulentos) mostrou valores estatísticos de RSME = 15,87, PBIAS -29,2. Para os pixels com mesma cobertura vegetal também foram extraídos os valores médios de ET-MODIS e comparados com a torre de fluxo, apresentando RSME = 14,59, PBIAS = -40,3. A maior diferença entre os dados observados com o MOD16 ocorreu durante o cultivo de arroz que ocorre entre a primavera/verão, não acompanhando a variabilidade da ET.

Palavras-chave: Evapotranspiração, arroz irrigado, MOD16, Brasil, fluxo.

Abstract

The process of evapotranspiration (ET) is the second major component of the hydrological cycle, being connected directly with the amount of water vapor in the atmosphere. Determine the ET for large areas of irrigated rice is a limiting factor due to the high cost of equipment and skilled labor. Using data from remote sensors has been serving as an alternative technique for monitoring ET over large areas. The aim of this study is to evaluate the ET (MOD16) for a rice paddy in the Cachoeira do Sul - Brazil. The data used in this study cover the period from October 2013 to September 2014. The comparison between the ET-MODIS central pixel with the observed ET (estimated by technique Eddy Covariance) showed statistical values of RSME = 15.87, PBIAS -29.2. For the same pixels with vegetation were also extracted from the average values of ET-MODIS flow and compared with the tower, showing RSME = 14.59, PBIAS = -40.3. The biggest difference between the observed data with the MOD16 occurred during the rice cultivation that takes place between the spring/summer, not following the variability of ET.

Keywords: Evapotranspiration, rice irrigated, MOD16, Brazil, flux.

1 Introdução

O Arroz (*Oryza sativa* L.) está entre os grãos mais produzidos no mundo, principalmente no continente asiático. O Brasil encontra-se entre os dez países com maior produção de Arroz, ocorrendo a semeadura do grão uma vez ao ano (durante as estações primavera/verão), diferentemente do que ocorre nos países asiáticos, com dois cultivos anuais. Em geral, o cultivo de arroz se dá pelo sistema de irrigação por inundação, demandando um grande volume de água, afetando diretamente o balanço hídrico da região do cultivo.

O Processo de Evapotranspiração (ET) está entre os principais componentes do ciclo hidrológico, representando a taxa evaporativa da superfície e a transpiração das plantas. Além disso, é uma importante variável climatológica e ambiental, apresentando complexidade na mensuração devido à grande variabilidade na escala de tempo e espaço, dependendo da cobertura vegetal, clima, topografia, propriedades do solo, entre outros fatores (Allen et al., 1998; Mu et al., 2007).

A ET está relacionada diretamente com a taxa de vapor d'água na atmosfera podendo alterar o regime de chuva na região, e também com o balanço de energia, ambos associados ao fluxo de calor latente (LE). Para a conversão da água líquida para o estado gasoso, o processo de ET consome grande quantidade de energia que chega a superfície. Em cultivos agrícolas sob a forma de sistema irrigado, a ET consome cerca de 60 a 80% do saldo de radiação na fase de crescimento vegetativo (Suyker & Verna, 2009).

A estimativa da ET pode ser dada através de métodos diretos, medidas realizadas através de equipamentos como o lisímetro, e por métodos indiretos calculada a partir de equações empírico-teóricas que utilizam variáveis meteorológicas. No entanto, esses métodos restringem-se a pequenas áreas de estudo, sendo limitados para grandes plantações de cultivos agrícolas.

Técnicas de sensoriamento remoto utilizando imagens espectrais vem sendo bastante

utilizadas para determinar a ET em grandes áreas do globo, sendo as principais: SEBS (Surface Energy Balance System), SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm over Land) e METRIC (Mapping EvapoTranspiration at high Resolution with Internalized Calibration).

Mu et al. (2007) desenvolveram o algoritmo global de ET do MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), chamado de produto MOD16, a fim de facilitar as observações da variabilidade temporal e espacial da Evapotranspiração. Entretanto, este produto foi validado a partir de 19 estações pertencentes ao American Flux, onde grande parte desses sítios experimentais localizam-se sobre a América do Norte. Ramoelo et al. (2014), utilizando duas estações micrometeorológicas sobre o sul da África do Sul, validou o produto MOD16, encontrando discrepância nas observações in situ com as estimadas a partir dos dados orbitais.

Dentro deste contexto, o objetivo principal deste trabalho é avaliar o produto global de ET MOD16, utilizando dados de Covariância dos Vórtices Turbulentos (*Eddy Covariance*) obtidos a partir de uma Torre de Fluxo localizada sobre uma extensa área de Arroz Irrigado no sul do Brasil. Os dados de fluxo de calor latente (LE) foram adquiridos a cada 30 minutos e convertidos a ET.

2 Materiais e Métodos

2.1 Sítio Experimental

As medidas foram coletadas em uma área de aproximadamente 1000 ha de Arroz Irrigado. O sítio experimental está localizado na cidade de Cachoeira do Sul (30°16'37.59"S, 53° 8'52.25"O, 40,5 m), no estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1 e 2). O clima é do tipo subtropical úmido, bem como nas demais zonas de arroz irrigado do estado. Grande parte da água utilizada para irrigação da lavoura provém de rios presentes na região.

O período de estudo foi de 1 de outubro de 2013 a 30 de setembro de 2014, sendo o arroz semeado em 15 de novembro de 2013 e colhido no final do mês de março. Durante o período de

pousio, a superfície permaneceu coberta pela palha seca do arroz e gramíneas silvestres, como por exemplo, *Heterenthera reniformis*, *Echinochloa crusgalli*, *Brachiaria plantaginea*, *Digitaria sp.*, and *Luziola peruviana*.

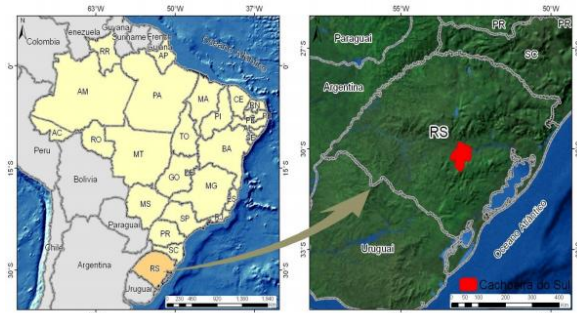


Figura 1: Localização do município de Cachoeira do Sul - RS.



Figura 2: Área experimental com cultivo de arroz irrigado em Cachoeira do Sul - RS.

2.2 Dados meteorológicos e de Covariância dos Vórtices Turbulentos

Os fluxos de calor sensível e calor latente foram estimados através da técnica de Covariância dos Vórtices Turbulentos, a partir de medidas de alta frequência (10 Hz) da temperatura, velocidade do vento e concentração de água, sendo que, os sensores utilizados nesta pesquisa foram o anemômetro sônico (CSAT3; Campbell Scientific Inc., Logan, Utah) a 3 m de altura medindo u , v , w e temperatura virtual; analisador de gás infravermelho (LI-7500/LI-COR) a 3 m medindo concentrações de CO_2 e H_2O ; pirgeômetro e piranômetro (CGR3/ Kiip&Zonen) instalados a 5 m de altura medindo radiação de onda longa incidente, onda longa refletida, onda curta incidente e onda curta refletida; pluviômetro (TB4 Rain Gage/Hydrological Services Pty. Ltd.) instalado a 6 m medindo precipitação.

Dados das variáveis ambientais de temperatura, umidade relativa e radiação solar

global foram utilizados da estação meteorológica do INMet (Instituto Nacional de Meteorologia), localizada em Santa Maria - RS, a fim de complementar as possíveis falhas de coleta de dados da Torre de Fluxo em Cachoeira do Sul - RS.

2.3 Processamento dos dados de Fluxo

Para processamento dos dados de fluxo foi utilizado o software *EddyPro Advanced* (versão 5.1, LI-COR). Após este processamento foi realizada uma filtragem no fluxo de calor latente a fim de descartar possíveis inconsistências nos dados, em que valores de $LE < -50$ ou > 1000 W/m^2 foram desconsiderados da análise. Para o período noturno, ou seja, valores de $R_g \leq 0$, foi desconsiderado os valores de -100 $W/m^2 < LE > 100$ W/m^2 . Além disso, foram excluídos dados de LE quando ocorreu a precipitação. Com todos esses procedimentos de filtragem realizados nos dados de LE, incluindo os dias de mal funcionamento da Torre de Fluxo (problemas de energia ou de manutenção dos sensores), resultou em 19,8% do total de dados filtrados. Esta lacuna de dados é relativamente baixa quando comparada a outros trabalhos como Timm et al. (2014) e Alberto et al. (2011).

Para preenchimento de todas as lacunas faltantes dos dados de fluxo experimentais, foram utilizadas as variáveis de temperatura, radiação solar global, déficit do vapor de pressão (VPD), umidade relativa, fluxo de calor sensível e fluxo de calor latente, como dados de entrada para o processamento e preenchimento final do LE a partir do pacote REddyProc disponível para o software R.

2.4 Produto Global de Evapotranspiração MOD16

O produtor MOD16, criado em 2006, possui dados de ET para toda superfície terrestre representando a transpiração das plantas e evaporação da superfície. Este produto disponibiliza dados de LE, ET potencial e real para o intervalo de 8 dias, mensal e anual, disponível em <http://ntsg.umd.edu/>.

O produto de ET é calculado a cada dia a partir de MOD12 (cobertura da superfície),

MOD15 (Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida, Índice de Área Foliar) e dados meteorológicos do modelo GMAO (Global Modeling and Assimilation Office), com resolução espacial igual a 1 km. O desenvolvimento do algoritmo de ET foi baseado na equação Penman-Monteith adaptada para uso com dados de sensoriamento remoto (Cleugh et al., 2006), maiores detalhes do algoritmo estão descritos em Mu et al. (2007; 2011).

2.5 Análise dos dados

Para comparação dos dados observados com os obtidos de forma remota, primeiramente foi realizada a média diária de LE medido pela Torre de Fluxo, e após calculada a evapotranspiração diária.

A soma dos 8 dias de ET observada foi realizada para avaliar a relação com os dados do produto MOD16. O coeficiente de determinação (R²), erro médio quadrático (RMSE), o viés (BIAS) e PBIAS, foram determinados para apurar a acurácia das estimativas. Estas técnicas estatísticas foram também utilizadas por Ramoelo et al. (2014).

AS equações utilizadas para determinar o RMSE, BIAS e PBIAS são as seguintes:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (ET_{exp} - ET_m)^2}{N}} \tag{1}$$

$$BIAS = \frac{\sum (ET_m - ET_{exp})}{N} \tag{2}$$

$$PBIAS = \frac{Bias}{\left(\frac{1}{N}\right) \sum ET_{exp}} \times 100 \tag{3}$$

onde: *ET_{exp}* representa os dados observados da Torre de Fluxo, *ET_m* os dados do produto MOD16 e *N* é o número de medidas. Quanto mais próximo de zero os valores de RMSE e BIAS, maior a acurácia dos dados modelados com os observados.

3 Resultados e Discussão

3.1 Análise para todo o período

As medidas de ET experimental (*ET_{exp}*) e precipitação foram somadas pelo número de dias que representa cada imagem MODIS. A variabilidade da precipitação juntamente com as medidas de ET é observada na Figura 3. Notamos que o maior pico de precipitação ocorre na segunda quinzena de novembro, onde há uma queda na *ET_{exp}* ligada também, ao período de plantio do cultivo. Durante a segunda quinzena de dezembro até a metade de janeiro verificamos os maiores picos de *ET_{exp}*, com máximo próximo a 54 mm/8-dia, devido a fase de desenvolvimento do arroz irrigado e a maior incidência de radiação solar na superfície. Entretanto, observamos uma inconsistência entre as medidas de *ET_m* com os dados observados para este período.

Analisando o comportamento do pixel central (*ET_{pc}*) com a média dos pixels contendo a mesma cobertura vegetal da área (*ET_{media}*), verificamos que *ET_{pc}* apresenta os maiores valores durante os meses de janeiro e fevereiro, chegando a aproximadamente 63 mm/8-dia, diferentemente do que ocorre com as medidas in situ. Cabe salientar que durante os máximos de *ET_m* ocorre frequente taxa precipitação, mesmo que em pequenos volumes. Somente a partir do mês de abril que ambas medidas de *ET_{exp}* e MODIS apresentam um comportamento semelhante.

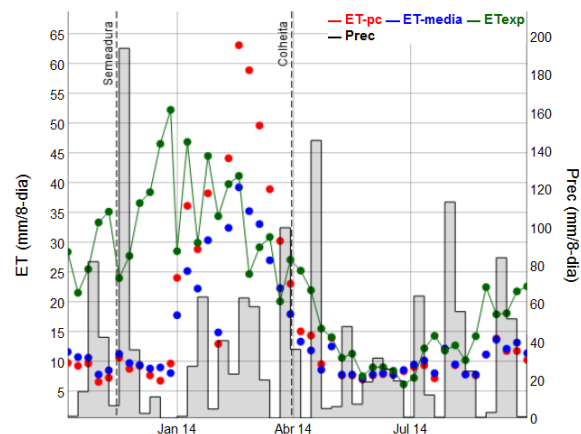


Figura 3: Comparação da Evapotranspiração observada, MOD16 e da Precipitação somadas a cada 8 dias em Cachoeira do Sul - RS.

A estatística para todo o período é apresentada na Tabela 1. Verificamos que a ET-media apresentou maior R^2 e menor RMSE quando comparada a ET-pc. No entanto, o menor viés da evapotranspiração em relação aos dados observados foi encontrado em ET-pc, com uma diferença de aproximadamente 10% em relação a ET-media.

Tabela 1: Comparação dos dados observados de ET observada com o produto MOD16.

	R^2	RMSE (mm/ 8 dias)	BIAS (mm/ 8 dias)	PBIAS (%)
ET-pc	0,18	15,87	-6,95	-29,2
ET-media	0,22	14,59	-9,58	-40,3

O gráfico de dispersão contendo as medidas estimadas a partir do sensor MODIS com os dados de ETexp estão representados pela figura 4. Observamos que para valores inferiores a 20 mm/8-dia a ET-pc e ET-media são representativas quando comparadas a ETexp. Entretanto, para valores superiores a 20 mm/8-dia, notamos inconsistência entre as medidas.

Ramoelo et al. (2014), avaliou os dados de ET do produto MOD16 para a Savana Africana utilizando dados para o período de dez anos, onde encontraram melhores valores de R^2 e menores RMSE, quando comparado aos dados apresentados neste trabalho. No entanto, é importante salientar, que aqui estamos tratando de uma área agrícola (arroz) que é alagada. Embora os pixels estando na área do cultivo, este não se dá de forma homogênea no terreno, tendo diferenças no plantio e colheita que podem chegar a quase 1 mês.

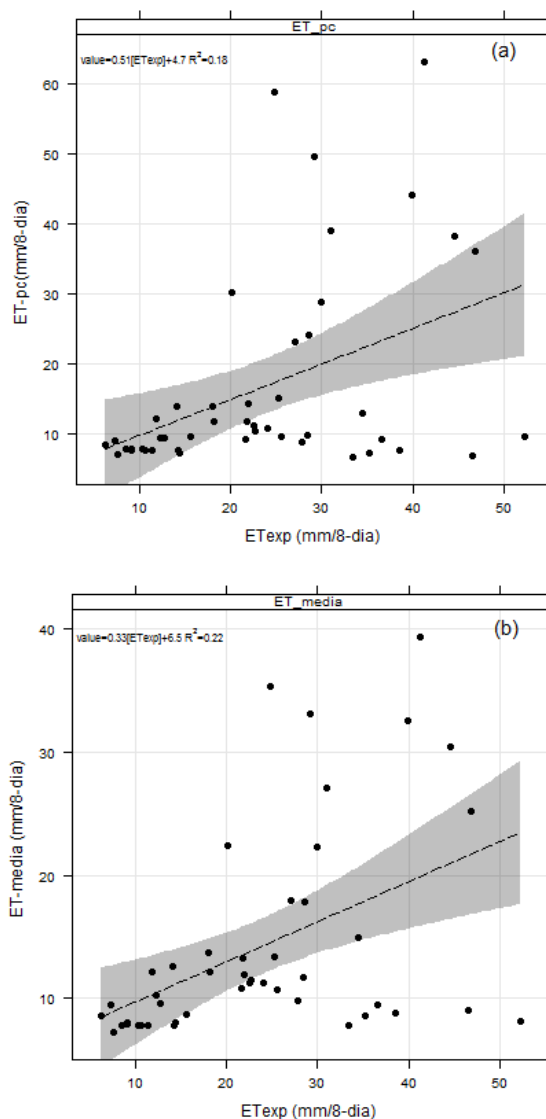


Figura 4: Gráfico de dispersão entre a ET experimental e modelada a partir do produto MOD16. Período de 01 de outubro de 2013 a 30 de setembro de 2014.

3.2 Análise para os diferentes períodos

A fim de quantificar o erro durante o período de Pousio e Arroz, foram separados os dados representativos para cada intervalo, totalizando 28 medidas para o período de pousio e 18 para o período do Arroz. A Tabela 2 demonstra os valores encontrados para cada período, onde podemos observar que em ambos os períodos o coeficiente de determinação foi inferior a 0,15. O menor RMSE ocorreu durante a fase de pousio para a ET-media, entretanto, os maiores valores

de PBIAS restringem-se a este intervalo. A medida que apresentou o maior viés foi a ET-media durante a fase do Arroz chegando a uma diferença de -7,06 quando comparado ao menor viés.

Tabela 2: Comparação dos dados observados de ET observada com o produto MOD16 para o período de Pousio e Arroz.

	R ²	RMSE (mm/ 8 dias)	BIAS (mm/ 8 dias)	PBIAS (%)
<u>POUSIO</u>				
ET-pc	0,05	10,42	-7,06	-42,1
ET-media	0,15	10,0	-6,84	-40,8
<u>ARROZ</u>				
ET-pc	0,01	21,8	-6,77	-19,5
ET-media	0,01	19,71	-13,83	-39,9

4 Conclusões

O presente estudo avaliou a qualidade do Produto Global de ET MOD16 sobre uma extensa área de arroz irrigado no sul do Brasil, onde verificamos baixa acurácia nos dados observados com os modelados a partir do sensor MODIS. Para a análise anual, notamos que a ET-MODIS subestima os valores observados durante grande parte do período, exceto para os meses de fevereiro e março. Vários fatores podem ter influenciado na inconsistência dos dados observados e modelados, sendo eles: parametrização do modelo utilizado pelo MOD16, diferença na área de cobertura entre Torre de Fluxo e o pixel, bem como problemas no fechamento do balanço de energia dos dados observados. Por fim, recomenda-se uma calibração do Produto Global de ET MOD16 para o sul do Brasil.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa no Rio Grande do Sul (FAPERS), Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e

Tecnológico (CNPq), a Fundação de Apoio a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (FAURGS), a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), pelo apoio financeiro.

Referências

- Alberto, Ma. C. R., Wassmann, R., Hirano, T., Miyata, A., Hatano, R., Kumar, A., Padre, A., Amante, M. (2011). Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flood and aerobic rice fields in the Philippines. *Agricultural Water Management*, 98, 1417-1430.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Itália.
- Cleugh, H. A., Leuning, R., Mu, Q., Running, S. W. (2006) Regional Evaporation Estimates from Flux Tower and MODIS Satellite Data. *Remote Sensing of Environment*, 106, 285-304.
- Mu, Q., Heinsch, F. A., Zhao, M., Running, S. W. (2007) Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote Sensing Environment*, 111, 519-53.
- Mu, Q., Zhao, M., Running, S. W. (2011). Improvements to a MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration Algorithm. *Remote Sensing of Environment*, 115, 1781-1800.
- Ramoelo, A., Majozi, N., Mathieu, R., Jovanovic, N., Nickless, A., Dziki, S. (2014). Validation of Global Evapotranspiration Product (MOD16) using Flux Tower Data in the African Savanna, South Africa. *Remote Sensing*, 6, 7406-7423.
- Suyker, A. E.; Verma, S.B. (2009). Evapotranspiration of irrigated and rainfed maize-soybean cropping systems. *Agricultural Forest Meteorology*, 149, 443-452.
- Timm, A. U., Roberti, D. R., Streck, N. A., Gonçalves, L. G. G, Acevedo, O. C., Moraes, O. L. L., Moreira, V. S., Degrazia, G. A.,

Ferlan, M., Toll, D. L. (2014). Energy partitioning and evapotranspiration over a rice paddy in southern Brazil. *Journal of Hydrometeorology*, 15, 1975-1988.