

## Análises estatísticas da similaridade entre dados agrometeorológicos de superfície e obtidos por sensores remotos orbitais

Mírian Paula Medeiros André Pinheiro<sup>1</sup>  
Thiago Ramires<sup>1</sup>  
Rodrigo Lilla Manzione<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”  
Fazenda Lageado - 18610-307 – Botucatu - SP, Brasil

medeirosmmirian@yahoo.com.br; thiramires@gmail.com.br; rlmanzione@gmail.com.br

**Abstract.** In agriculture, monitoring of rainfall and evapotranspiration are important for a good agricultural planning, as they are the main forms of input and output water plant-water-soil system. weather surface stations are the traditional way to obtain this information. However, with the advancement and popularization of remote sensing is much discussion about how these products can help the activities within agricultural areas. This work studied the application of meteorological stations data and TRMM and MODIS satellites to precipitation and evapotranspiration estimates, respectively, in the Ecological Station of Avare (EEcAv). The study area is located in the city of Avare-SP, located in the state southwest region, with a land area of approximately 709 ha. Two sets of data monitored between January 2004 to December 2013 were analyzed statistically as the similarity of their distributions through scatter plots, linear correlation analysis, distribution functions of probability and simple linear regression. The results show that the data acquired by the TRMM satellite and the MOD16 sensor offer a good agreement with surface data, and their differences acceptable for land planning purposes for irrigation and drainage control in agricultural areas. For specific management practices, such as applications of irrigation water, one should be cautious in adopting certain data, taking into account the type of rainfall, climate conditions and size of the property.

**Palavras-chave:** precipitation, evapotranspiration, TRMM, MOD16, irrigation and drainage, precipitação, evapotranspiração, TRMM, MOD16, irrigação e drenagem.

### 1. Introdução

Na agricultura, o monitoramento das chuvas e da evapotranspiração são fundamentais para um bom planejamento agrícola, pois são as principais formas de entrada e saída da água do sistema planta-água-solo. Já a irrigação é o principal meio de complementar a necessidade hídrica da planta, controlando, dessa forma, a produtividade da mesma. Dessa forma, a realização de pesquisas utilizando sensoriamento remoto tem assumindo um papel crescente no auxílio da produção agrícola.

O uso de satélites para monitorar o clima está ganhando espaço no cenário acadêmico e agrícola, já que a detecção remota é uma ferramenta útil, especialmente, em regiões com dados imprecisos ou mal controlados (WAGNER et al., 2012). Variáveis como evapotranspiração e precipitação vêm sendo acompanhadas, através do monitoramento orbital, e aplicadas em estudos hidrológicos em escala mundial (SZILAGYI e JOZSA, 2013; KIZZA et al, 2012.; FANG e LAKSHMI, 2014).

O satélite escolhido para ser utilizado neste trabalho para a análise da precipitação foi o TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), este foi construído especificamente para monitorar e estudar a precipitação, principalmente nos trópicos, outra funcionalidade é acompanhar a influência do clima em cenário global. Possui uma ampla mistura de instrumentos que são utilizados no algoritmo de cálculo, sendo responsável por gerar vários produtos (estimativas), entre eles está o sensor 3B43 V7, que apresenta resolução temporal mensal e resolução espacial de 0,25 x 0,25 graus, e é uma combinação de estimativas baseadas em imagens no infravermelho com microondas (COLLISCHONN et al., 2016). Sendo este o produto que foi usado na confecção desse trabalho.

Atualmente, a evapotranspiração (ET), em grandes áreas, tem sido monitorada com a ajuda de sensores remotos. Assim, tem crescido o número de estudos com o objetivo de

melhorar as estimativas espaciais e temporais baseados na ET que utilizam dados de sensoriamento remoto (VINUKOLLU et al., 2011; MU et al., 2011).

O MODIS Global Evapotranspiration Project é um das cinco ferramentas presentes no satélite TERRA que foi projetado para estudar três grandes áreas: atmosfera, oceano e terra; possui um total de 36 produtos, distribuídos em 5 categorias: Calibração, Atmosfera, Terra, Criosfera e Oceano (ARAI, 2014). O sensor MOD16 é componente da categoria Terra, e é responsável estimar as evapotranspirações global e potencial e os fluxos de calor latente e potencial (NTSG, 2016). Dessa forma, esse sensor o escolhido para ser usado nesse trabalho para a análise da evapotranspiração.

No entanto, um problema enfrentado por pesquisadores que trabalham com ET é a precisão no monitoramento do ciclo hidrológico por conta da grande diversidade da superfície da Terra e dos vários fatores de controle pertencentes ao processo, como diversidade biológica e metabólica das plantas, variações climatológicas, topografia e variações nos tipos de solo, umidade edafoclimática, entre outras, além dos obstáculos óticos e termais gerados por frequência na obtenção de imagens, cobertura de nuvens e fatores de escala (RUHOFF, 2015).

Neste trabalho foram utilizadas séries de dados de estações meteorológicas da rede CIIAGRO e dos satélites TRMM e MODIS para estimativas de precipitação e evapotranspiração, respectivamente, e comparadas suas respectivas distribuições de frequência para verificar a similaridade dos dados e sua utilização considerando fins de irrigação e drenagem agrícola.

## 2. Metodologia do Trabalho

### 2.1 Caracterização da área de estudo

A Estação Ecológica de Avaré (EEcAv), está localizada no município de Avaré/SP, situada na região sudoeste paulista, Latitude (22°1'31" a 22°59'39" Sul) e Longitude (48°47'54" a 48°50'21" Oeste). Possui uma extensão territorial de aproximadamente 709 ha. O clima presente no local é o mesotérmico de inverno seco e verão quente (Cwa) e a temperatura anual média gira em torno de 26,5°C (INSTITUTO FLORESTAL, 2016).

Está situado, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) – 17 Médio Paranapanema. Tem como limites territoriais o Rio Novo ao Sul, Rodovia João Mellão (SP-255) ao Oeste e propriedades rurais ao Norte e ao Leste.

### 2.2 Análise dos dados

A série de dados analisados de precipitação e evapotranspiração foram observados, mensalmente, no período de janeiro de 2004 a dezembro de 2013.

Para formação da base de dados foram utilizadas informações disponíveis na base CIIAGRO (Centro Integrado de Informação Agrometeorológicas) sobre a estação meteorológica de Avaré.

Os dados de precipitação do satélite TRMM são disponibilizados na plataforma GIOVANNI (<http://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>) e os dados de evapotranspiração do MODIS em NTSG\_Products/MOD16 (<http://www.ntsg.umd.edu/project/mod16>).

Para os conjuntos de dados foram calculadas as respectivas médias ( $\bar{x}$ ), medianas ( $\tilde{x}$ ), desvio padrão ( $\sigma$ ), usando as seguintes fórmulas:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (1)$$

$$\tilde{x} = \frac{(n+1)}{2} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (3)$$

Para verificar a similaridade das distribuições dos dados foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho$ ) (SOUSA, 2012; CALLEGARI-JACQUES, 2003), juntamente com a reta de regressão linear e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para avaliar a relação entre as séries de dados. O coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho$ ) pode ser descrito como a quantificação da relação linear existente entre as duas ou mais variáveis.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é um indicativo da qualidade do ajuste obtido do modelo, ou seja, quantifica a variabilidade dos dados através do modelo de regressão ajustado.

Também foi aplicado o teste não paramétrico de ajustamento Kolmogorov-Smirnov (D) para duas amostras (TRIOLA, 2008), além do cálculo da função de distribuição de probabilidade acumulada (WILKS, 2006). O Teste de Kolmogorov-Smirnov é uma averiguação entre a distribuição de um grupo de dados amostrais e uma determinada distribuição teórica. Ou seja, há uma comparação entre as distribuições de frequências acumulada que precisaria ocorrer sob a suposta distribuição teórica (sob  $H_0$ ) com a distribuição de frequências acumuladas dos dados observados (amostrais).

Assim, o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov é a maior diferença de todas as diferenças é posta em módulo e chamada desvio máximo.

Então,  $D > D_T$ ,  $H_0$  é rejeitado;  $D < D_T$ ,  $H_0$  é aceito, onde  $D_T$  é o valor tabelado do teste de Kolmogorov-Smirnov.

A função de distribuição de probabilidade acumulada ou cumulativa agrega a cada dado de uma análise uma probabilidade, ou seja, cada dado tem uma probabilidade de uma variável casual. A função de distribuição da variável casual  $X$  é uma função que a cada número real  $x$  associa o valor  $F(x) = P(X \leq x)$ ,  $x \in R$ .

Para determinar os valores da equação ( $y = \alpha + \beta x$ ) da curva de regressão, foi utilizado Método dos Mínimos Quadrados, que estima valores para a variável  $y$  a partir da variável  $x$ .

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Estações climatológicas e TRMM

Ao analisarmos os dados da Tabela 1, podemos perceber que os parâmetros relacionados à estatística básica ( $\bar{x}$ ,  $\sigma$  e  $\tilde{x}$ ) entre o CIIAGRO e o TRMM, mostram valores relativamente próximos. Assim, é interessante observar os demais parâmetros, pois estes confirmam a correlação existente entre os dados fornecidos pelo satélite e os observados na estação.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos calculados para o CIIAGRO e o TRMM, em mm, para a variável precipitação, no período de 2004 a 2013.

Parâmetro	TRMM	CIIAGRO
$\bar{x}$	131,1	129,2
$\sigma$	81,36	103,23
$\tilde{x}$	120	99,3
$\rho$		0,8711
$R^2$		0,7589
$\beta$		1,105
$\alpha$		-15,71
D		0,0902

Os dados apresentam um coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho$ ) de 87%, concordando com o resultado encontrado por Ramires et al. (2015), e segundo Sousa (2012); Callegari-Jacques (2003) possuem uma forte correlação positiva.

No teste de Kolmogorov-Smirnov obteve-se  $D < D_T$  que indica  $H_0$  foi a hipótese aceita, indicando que as amostras estão em uma mesma distribuição na população, assim como ocorrido com os resultados entre o CIIAGRO e MOD16.

Na Figura 1 encontra-se o gráfico da curva de regressão linear, exibindo a distribuição dos dados, sendo possível perceber o adensamento dos pontos próximo a linha de tendência, assim como  $\beta$  e  $\alpha$  significativos, sendo possível afirmar que os dados estão em concordância.

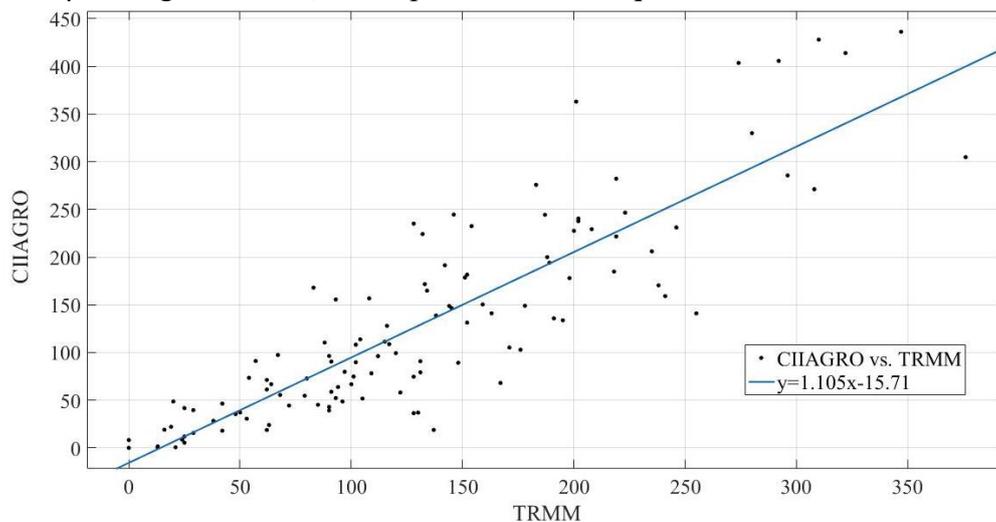


Figura 1. Curva de regressão linear entre o CIIAGRO e o TRMM para a variável Precipitação, no período de 2004 a 2013.

Na Figura 2 comprova a boa correlação entre os dados analisados, exibindo as funções de distribuição de probabilidade dos conjuntos de dados. As curvas mostram que para valores baixos de precipitação o satélite TRMM subestima os valores em relação a estação meteorológica e que para valores altos superestima os valores. Entre 130 e 180 mm a concordância entre os valores é maior.

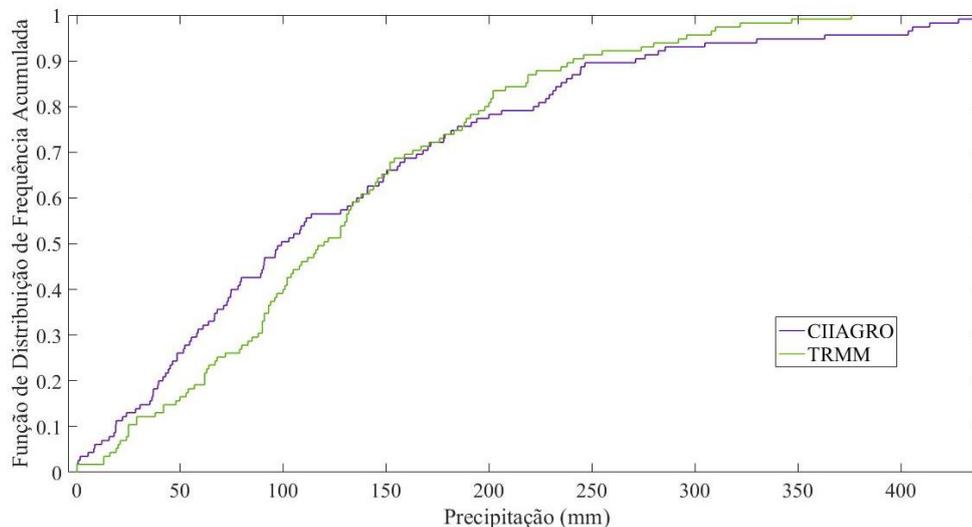


Figura 2. Funções Empíricas de Distribuição de Probabilidade.

Os resultados concordam com obtidos por Diaz et al. (2015) trabalhando com as precipitações estimadas, pelo TRMM, e observadas para a bacia do rio Una, em Pernambuco; por Silva et al. (2014) trabalhando com imagens do referido satélite para quantificar o regime de chuvas no bioma Pantanal; por Leivas et al. (2009) trabalhando em Manaus com precipitações observadas e estimadas pelo mesmo satélite; e por Silva-Fuzzo et al. (2015) trabalhando com modelagem agrometeorológica para estimar a produção de soja no Médio Paranapanema; no entanto, discordam os resultados obtidos por Kurek et al. (2015) trabalhando com a relação entre a estimativa do satélite e as vazões da sub-bacia do rio Guaporé no Rio Grande do Sul.

### 3.2 Estações climatológicas e MODIS (MOD16)

Na Tabela 2 pode-se observar uma comparativa entre os parâmetros relacionados à estatística básica ( $\bar{x}$ ,  $\sigma$  e  $\tilde{x}$ ) para entre o CIIAGRO e o MOD16, exibindo valores relativamente parecidos. Os demais parâmetros mostram que existe uma correlação entre os dados analisados.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos calculados para o CIIAGRO e o TRMM, em mm, para a variável precipitação, no período de 2004 a 2013.

Parâmetro	MOD16	CIIAGRO
$\bar{x}$	70.69	80.25
$\sigma$	26.42	31.95
$\tilde{x}$	71.6	77.5
$\rho$		0.7572
$R^2$		0.5734
$\beta$		0.9157
$\alpha$		15.51
D		0.1018
$D_T$		1.3581

Os dados apresentam um coeficiente de correlação de Pearson ( $\rho$ ) de 75%, e segundo Sousa (2012) e Callegari-Jacques (2003) representam uma correlação linear moderada positiva.

Com o teste de Kolmogorov-Smirnov obteve-se  $D < D_T$  que indica  $H_0$  como a hipótese aceita, ou seja, as amostras pertencem a uma população de mesma distribuição.

A curva de regressão linear é apresentada na Figura 3, esta exhibe a dispersão dos dados, também apresentando  $\beta$  e  $\alpha$  significativos, também é notável um maior espaçamento entre os pontos e a linha de tendência.

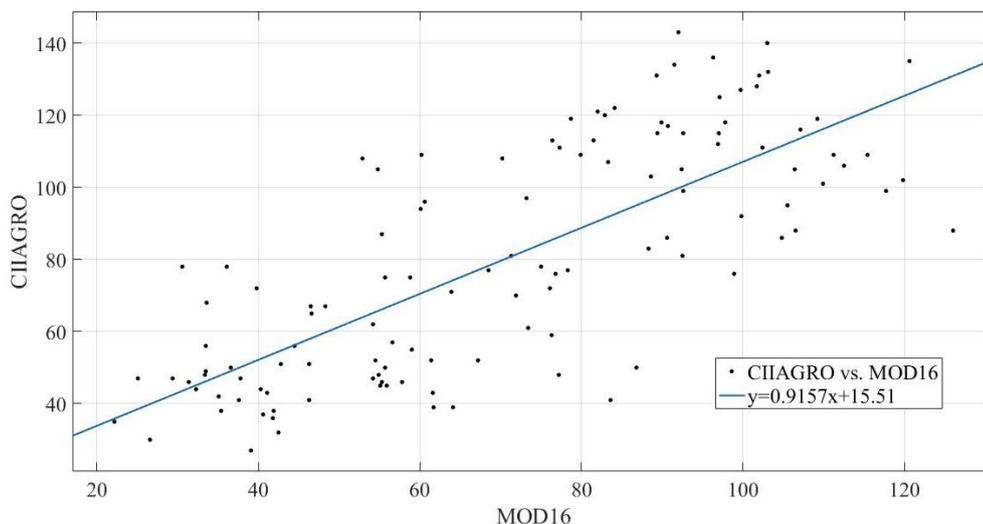


Figura 3. Curva de regressão linear entre o CIAGRO e o MOD16 para a variável Evapotranspiração, no período de 2004 a 2013.

Na Figura 4 comprova a correlação moderada entre os dados analisados, exibindo as funções de distribuição de probabilidade dos conjuntos de dados. De maneira geral, os valores calculados pelo satélite MODIS superestimam os valores de evapotranspiração quando comparados com a estação meteorológica. Entretanto há de se ressaltar que esses valores de evapotranspiração calculados pela estação baseiam-se no método de Camargo (1962) que utiliza apenas temperatura e a latitude local para realizar os cálculos, o que simplifica muito as estimativas.

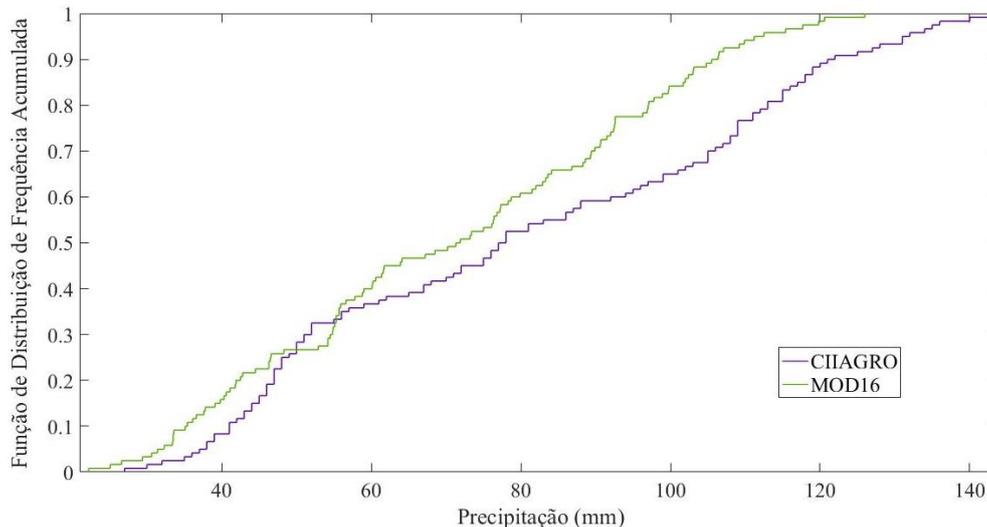


Figura 4. Funções Empíricas de Distribuição de Probabilidade.

Com os resultados obtidos corroboram com Oliveira & Baptista (2011) que trabalhando para validar a estimativa da evapotranspiração no Piauí, utilizando o modelo de Nagler et al. (2005), constataram que os dados calculados se correlacionam com os dados obtidos na estação meteorológica, mesmo com coeficiente de determinação de 0,39. Filgueiras et al. (2013) trabalhando com estimativa de evapotranspiração utilizando o sensor MODIS para a região norte de Minas Gerais também obtiveram resultados que evidenciaram o potencial deste sensor para aquisição dos valores desse parâmetro de forma regionalizada. Moraes e Oliveira (2015) constataram significativa deficiência desse tipo de informação, prejudicando análises que utilizem a mesma.

Os resultados demonstram que os dados adquiridos pelo satélite TRMM e pelo sensor MOD16 oferecem uma boa concordância com dados de superfície, sendo suas diferenças aceitáveis para fins de planejamento de terras para irrigação e controle da drenagem em áreas agrícolas. Para práticas específicas de manejo, como aplicações de lâminas de irrigação, há de se ter cautela para adoção de certos dados, levando em consideração o tipo de regime pluviométrico, condições climáticas e tamanho da propriedade.

#### 4. Conclusão

Em vista dos resultados obtidos e analisados, permite-se concluir que para variável precipitação há uma boa correlação entre o TRMM e a estação meteorológica, sendo possível ao usuário (produtor ou pesquisador) utilizar a fonte de dados orbital no manejo da irrigação e controle da drenagem em áreas agrícolas, dessa forma, conseqüentemente, no planejamento agrícola. No entanto, para a variável evapotranspiração há correlação foi considerada moderada, entre o satélite MODIS (sensor MOD16) e a estação meteorológica, tornando seu uso não tão confiável quanto à correlação da variável anterior, e tendo como consequência prática um depósito desnecessário de água, que poderá prejudicar o desenvolvimento das plantas e lixiviação de nutrientes, além de um gasto financeiro excessivo por parte do usuário.

#### 5. Referências Bibliográficas

- ARAI, E. Sensor MODIS: descrição e produtos. Sensoriamento Remoto do Clima – SER-311. 2014. Disponível em: < [http://www2.fct.unesp.br/docentes/cartoenner/Processamento%20MODIS/Ser311\\_2014\\_MODIS.pdf](http://www2.fct.unesp.br/docentes/cartoenner/Processamento%20MODIS/Ser311_2014_MODIS.pdf) >. Acesso em 20.jun.2016.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística**: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.
- CAMARGO, A. P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.21, p.163-213, 1962.
- CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. Infiltração, 2006. Disponível em < <http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap5-INF.pdf>>. Acesso em 24.jun.16.
- COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica da bacia do rio São Francisco usando precipitação estimada pelo satélite TRMM: resultados preliminares. Disponível em: < <http://rhama.net/download/artigos/artigo114.pdf> >. Acesso em 15.jun.2016.
- DIAZ, C. C. F.; PEREIRA, J. A. dos S.; NÓBREGA, R. S. Validação de dados de precipitação diária estimados por satélite sobre a bacia do Rio Una. **Anais**: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa/PB, 2015.
- FANG, B.; LAKSHMI, V. Soil moisture at watershed scale: Remote sensing techniques. **Journal of Hydrometeorology**, 516, 258–272, doi:10.1016/j.jhydrol.2013.12.008, 2014.
- FILGUEIRAS, R.; RIBEIRO, R. B.; RODRIGUES, C. N. Estimativa da evapotranspiração a partir de imagens do sensor MODIS aplicada à região norte de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 1067-1078, 2013.
- INSTITUTO FLORESTAL. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Estações Ecológicas. 2016. Disponível em: < <http://iflorestal.sp.gov.br/areas-protegidas/estacoes-ecologicas/avare/> >. Acesso em 15.mai.2016.
- KIZZA, M.; WESTERBERG, I.; RODHE, A.; NTALE, H. K. Estimating areal rainfall over Lake Victoria and its basin using ground-based and satellite data. **Journal of Hydrology**, 464, 401–411, doi:10.1016/j.jhydrol.2012.07.024, 2012.

LEIVAS, J. F.; RIBEIRO, G. G.; SOUZA, M. B. de; ROCHA FILHO, J. Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus. **Anais: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal/RN, p. 1611-1616, 2009.

MORAES, E. C.; OLIVEIRA, G. de Utilização de dados MOD16 para análise da evapotranspiração em remanescentes florestais da Mata Atlântica no estado de São Paulo entre 2000 e 2010. **Anais: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, João Pessoa/PB, 2015.

MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W. Improvements to a MODIS Global Terrestrial. Evapotranspiration Algorithm. **Remote Sensing of Environment**. 115, pp. 1781-1800. 2011.

NAGLER, P. L.; CLEVERLY, J.; GLENN, E.; LAMPKIN, D.; HUETE, A. WAN, Z. Predicting riparian evapotranspiration from MODIS vegetation. **Remote Sensing of Environment**, n. 94, p.17-30, 2005.

NTSG. 2016. Disponível em: < <http://www.ntsg.umd.edu/project/mod16> >. Acesso em 10.mai.2016.

OLIVEIRA, M. R. de; BAPTISTA, G. M. de M. Validação do Modelo Espectral de Estimativa de Evapotranspiração na Região de Gilbués, Piauí. **Anais: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba/PR, 2011.

PETERNELLI, L. A. Capítulo 9: Regressão linear e correlação. Universidade Federal de Viçosa. MG. Departamento de Estatística. Disponível em: < <http://www.dpi.ufv.br/~petercelli/inf162.www.16032004/materiais/CAPITULO9.pdf> >, Acesso em 17.mai.2016.

RAMIRES, T; MARTINEZ, V. M.; GONÇALVES, V. F. M.; SANTAROSA, L. V.; NAVA, A.; MANZIONE, R. L.; SILVA, R. de C. F. da. Análise de correlação entre dados de precipitação mensal estimada com informações do satélite TRMM e obtidos em uma estação pluviométrica. **Anais: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Brasília/DF, 2015.

RUHOFF, A. Validação do modelo de estimativa de evapotranspiração MOD16 no estado do Rio Grande do Sul (Brasil). **Anais: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Brasília/DF, 2015.

SILVA, D. P. da; FERREIRA, M. E.; OLIVEIRA, L. C. N. Uso de imagens do satélite TRMM para quantificação do regime de chuvas e nebulosidade no bioma Pantanal. **Anais: 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Campo Grande, MS, p. 680-689, 2014.

SILVA-FUZZO, D. F. da; PRELA-PANTANO, A.; CAMARGO, M. B. P. de. 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.

SOUSA, A. 2012. Coeficiente de correlação de Pearson. Departamento de Matemática. Universidade dos Açores. Portugal. Disponível em: < [http://www.aurea.uac.pt/pdf\\_MBA/coef\\_correl\\_Pearson.pdf](http://www.aurea.uac.pt/pdf_MBA/coef_correl_Pearson.pdf) >. Acesso em 17.mai.2016.

SZILAGYI, J.; JOZSA, J. MODIS-aided statewide net groundwater-recharge estimation in Nebraska, **Ground Water**, 51(5), 735–44,doi:10.1111/j.1745-6584.2012.01019, 2013.

TRIOLA, M. F. Introdução a Estatística, 10 ed, **Editora LTC**, Rio de Janeiro, 2008.

VINUKOLLU, R. K.; WOOD, E. F.; FERGUSON, C. R.; FISHER, J. B. Global estimates of evapotranspiration for climate studies using multi-sensor remote sensing data: Evaluation of three process-based approaches. **Remote Sensing of Environment** 115 (3), pp. 801-823, 2011.

AGNER, P. D.; FIENER, P.; WILKEN, F.; KUMAR, S.; SCHNEIDER, K. Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions, **Journal Hydrometeorology**, 464–465, 388–400, doi:10.1016/j.jhydrol.2012.07.026, 2012.

WILKS, D. S. Statistical methods in the atmospheric sciences. Department of Earth and Atmospheric Sciences. Cornell University. **Academic press**, 2, 85–87. 2006.