



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

## **Modelo agrometeorológico modificado pelo método do triângulo simplificado para estimativa de produtividade da soja<sup>1</sup>**



*Daniela F. Silva-Fuzzo<sup>2</sup>; Angélica Praela-Pantano<sup>3</sup>; Jansle Vieira Rocha<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Trabalho apresentado no XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 23 ago. a 28 ago. 2015

<sup>2</sup> Geógrafa, Dra. em Sensoriamento Remoto pela Faculdade de Engenharia Agrícola- FEAGRI, Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP, Fone: (19)3521-1113, Email: silva.danielaf@gmail.com;

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup> Agr<sup>a</sup> Pesquisadora Científica, Instituto Agronômico de Campinas, , Email: angelica@iac.sp.gov.br

<sup>4</sup> Prof. Dr<sup>o</sup>. Adjunto pela Faculdade de Engenharia Agrícola – FEAGRI, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Email: jansle.rocha@agr.unicamp.br

**RESUMO :** A agricultura é uma atividade econômica de alta dependência das condições do tempo e do clima e quando associada às geotecnologias e modelagem agrometeorológica, podem otimizar a estruturação de sistemas mais eficientes e dinâmicos para estimativa da produtividade agrícola em escala regional e nacional. O objetivo deste trabalho foi testar o modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade agrícola da soja proposto por Doorenbos e Kassam (1979), utilizando somente dados espectrais como variável de entrada no modelo, obtido pelo método triângulo simplificado, nos municípios de Campo Mourão, Jaguariaíva e Toledo, estado do Paraná, para os anos-safras de 2002/03 a 2011/12. O modelo apresentou resultados estatísticos com valores de  $d_1$  (“d” de Willmott modificado) acima de 0,9, ou seja, uma alta exatidão entre os dados, o RMSE que indica a acurácia do modelo mostrou que em média houve variação entre 30,81 kg/ha a 51,85 kg/ha. Podemos afirmar que imagens de sensoriamento remoto podem ser utilizadas como ferramentas na ausência de informações de superfície, servindo como entrada de dados para auxiliar em modelagem agrometeorológica de estimativa de produtividade agrícola da soja.

**PALAVRAS-CHAVE:** imagens de satélite, evapotranspiração, índice de vegetação

### **Agrometeorological model modified by the simplified triangle method for soybean yield estimate**

**ABSTRACT:** Agriculture is an economic activity with high dependence on weather and climate conditions and when combined with geotechnology and agrometeorological modeling, can optimize the structure more efficient and dynamic systems to estimate agricultural productivity in regional and national scale. The objective of this study was to test the estimate agricultural yield for agrometeorological model of soy proposed by Doorenbos and Kassam (1979), using only spectral data as an input variable in the model, obtained by the simplified triangle method in the city of Campo Mourao, and Jaguariaíva Toledo, state of Paraná, for the crop years 2002/03 to 2011/12. The model results showed statistical values  $d_1$  ("d" modified Willmott) greater than 0,9, i.e. a high accuracy of the data, the RMSE indicates the accuracy of the model showed that on average there was variation between 30,81 kg/ha to 51,85 kg/ha. We can say that remote sensing images can be used as tools in the absence of surface information, serving as input data to assist in agrometeorological modeling agricultural productivity estimate of soybean.

**KEY WORDS:** satellite images, evapotranspiration, vegetation index

## **INTRODUÇÃO**

As geotecnologias aplicadas à agricultura apresentam grande potencial, por meio de técnicas de sensoriamento remoto é possível obter informações sobre, estimativa de área plantada, produção agrícola e vigor vegetativo, em nível de município, estado ou país. Com isso, o objetivo de estudos em

sensoriamento remoto são as estimativas de variáveis espectrais relacionadas às condições de cultivo, que podem posteriormente serem inseridas em simulações de modelos de produtividade (Huang et al., 2002).

Modelos matemáticos sofisticados e complexos estão sendo cada vez mais usados para fornecer representações dos processos físicos que caracterizam as interações da superfície terrestre. As tentativas de descrever estes processos físicos e mecanismos com maior realismo levaram ao desenvolvimento de sistemas de modelagem da superfície da terra, proposto para serem utilizados, como por exemplo, a partir de imagens de temperatura de superfície (Ts) e cobertura vegetal fracionada (Fr), para fornecer teor de umidade no solo (Mo), e evapotranspiração (EF), através de uma metodologia conhecida como “Método do Triângulo”. A abordagem do método do triângulo é baseada em uma interpretação contextual de um gráfico de dispersão derivado da relação entre temperatura de superfície (Ts) e índice de vegetação (IV).

Variações ao longo da borda inferior do triângulo, assume-se que esta reflete os efeitos combinados de umidade do solo e variações topográficas entre as áreas de solo exposto, enquanto em seu topo (ápice) equivale ao estado da cobertura vegetal total (expressa pelo valor mais alto IV). Os pontos restantes no espaço triangular correspondem a pixels com diferentes coberturas vegetais, em algum lugar entre o solo descoberto e vegetação densa. O objetivo desse trabalho foi: testar o modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade proposto por Doorenbos e Kassam (1979) para a cultura da soja, substituindo a variável evapotranspiração relativa (ETr/ETp) obtida do balanço hídrico climatológico (Thorntwaite e Mather 1955), por evapotranspiração, obtida por meio do método do triângulo simplificado.

## MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo foram os municípios de Campo Mourão, Jaguariaíva e Toledo localizados no estado do Paraná. Foram utilizadas as imagens do sensor MODIS, produto MOD13A2 e MOD11A2 do “Tile”, h13v11. Destes produtos, foram usadas as composições de imagens de 16 dias do índice de vegetação NDVI e imagens de 08 dias com o índice de temperatura de superfície, respectivamente, com resolução espacial de 1 km. Essas imagens podem ser obtidas do site da NASA <<https://wist.echo.nasa.gov/api/>>. Foram feitas as operações matemáticas alterando os valores digitais dos pixels das imagens, dos produtos MOD11A2 (Eq 1 e 2) e dos produtos MO13A2 ( Eq. 3).

$$T(K) = \text{MOD11A2} \times 0,002 \quad (1)$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = TK - 273,15 \quad (2)$$

$$\text{NDVI} = \text{MOD13A2} / 10.000 \quad (3)$$

Em seguida, foram realizadas as extrações dos valores de NDVIs e NDVIo das imagens de NDVI; e de Tmax e Tmin das imagens de Ts. Desta forma, foram escalonados os valores de NDVI para Fr e de temperatura de superfície para T\*, como mostra as seguintes equações 4 e 5.

$$T^* = \{(T_{ir} - T_{min}) / (T_{max} - T_{min})\} \quad (4)$$

$$Fr = \{(\text{NDVI} - \text{NDVIo}) / (\text{NDVIs} - \text{NDVIo})\}^2 \quad (5)$$

Os valores mais altos de NDVIs são obtidos a partir de pixels que apresentam 100% de cobertura vegetal e o NDVIo em pixels com solo exposto. Os valores de Tmax são obtidos em pixels com solo nu ou área urbana e Tmin em regiões com densa vegetação e solos bem úmidos. O método do triângulo pode ser calculado de maneira simples, puramente geométrico, de modo a melhorar a sua aplicação prática sem a utilização de modelos complexos (Carlson, 2013), desta forma o denominamos como método do triângulo simplificado (Eq. 6 e 7).

$$Mo = 1 - T^* (\text{pixel}) / MF_{(\text{potencial})} \quad (6)$$

$$EF_{\text{total}} = EF_{\text{solo}} * (1 - Fr) + Fr (\text{pixel}) * EF_{\text{veg}} \quad (7)$$

em que  $MF$  = é a razão para transpiração potencial da planta igual 1,0;  $EF_{\text{solo}} = Mo$  e  $EF_{\text{veg}} = MF (= 1)$ .

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

O modelo agrometeorológico utilizado foi o modelo multiplicativo baseado em Doorenbos e Kassam (1979), conforme proposto por Rao et al. (1988) e modificado por variáveis obtidas a partir de imagens de satélites, por meio do método do triângulo:

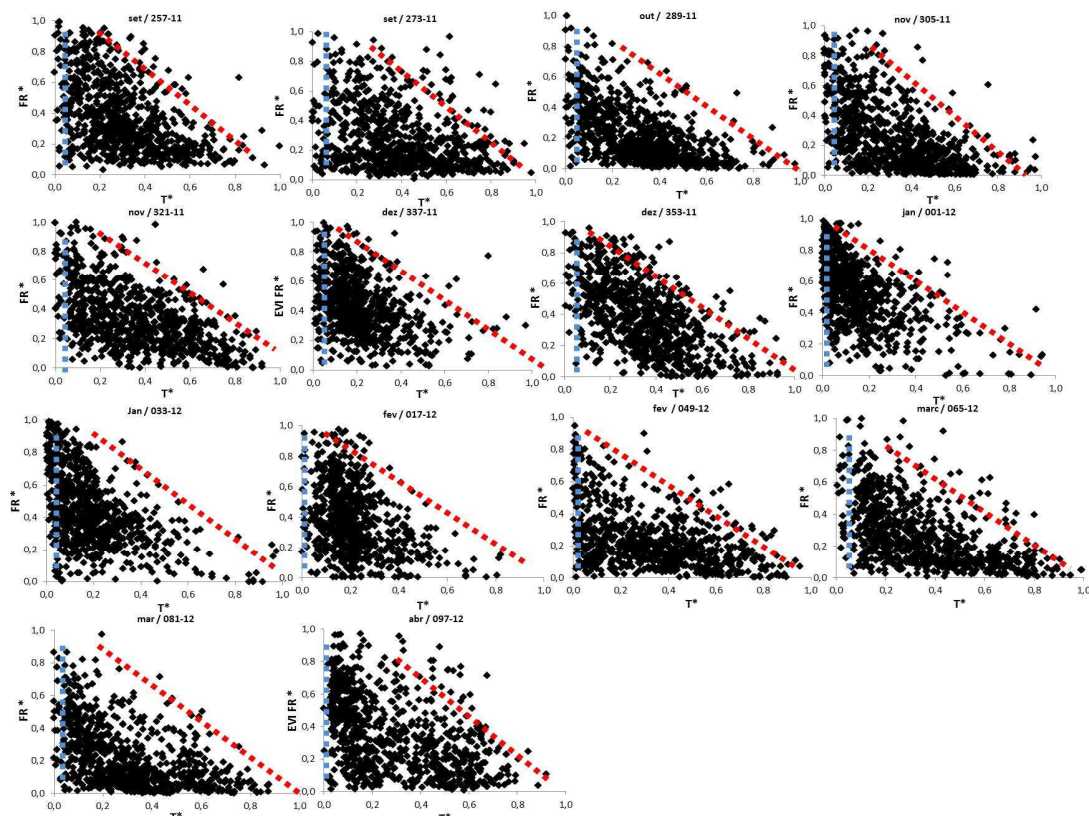
$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{i=1}^4 [1 - k_{y_i} (1 - EF)_i] \quad (8)$$

onde  $\prod$  significa produtório,  $Y_a$  é a produtividade estimada (kg/ha);  $Y_p$ , a produtividade potencial (kg/ha);  $EF$  é a evapotranspiração obtida por meio do método do triângulo (mm); e o  $k_{y_i}$  é o coeficiente de penalização da produtividade por deficiência hídrica para cada estágio fenológico.

Para o cálculo da produtividade potencial ( $Y_p$ ) um valor máximo é estabelecido para as condições de cultivo desde que não ocorra restrição climática. Assim, o valor da mais alta produtividade obtida na série foi acrescido de 10% com o objetivo de eliminar qualquer efeito do ambiente que pudesse interferir sobre o potencial de produtividade, conforme Martins e Ortolani (2006) e Rosa (2007). As datas de semeadura foram obtidas de acordo com Johann (2012). As análises estatísticas foram realizadas a partir dos dados de evapotranspiração estimados pelo método do triângulo, e com valores de  $E_{Tr}/E_{Tp}$  obtidos por meio do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Matter (1955), a partir de dados de estação meteorológica de superfície do Instituto Tecnológico SIMEPAR, visando verificar a exatidão e a precisão dos dados, por meio dos coeficientes  $R^2$ , índice 'd' de Willmott modificado ( $d_1$ ), o erro médio absoluto (EMA), raiz do erro quadrático (RMSE), erro aleatório, erro sistemático e índice 'c' indica o desempenho do modelo, reunindo os índices de precisão e exatidão.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A partir das imagens  $T^*$  e  $F_r$  foram obtidos os gráficos de dispersão para todo o período de 10 anos safras (2002/03 a 2011/12). Como exemplo na Figura 1, o ano safra de 2011/12 mostraram a dispersão dos pixels para cada imagem de satélite, representando o ciclo fenológico da cultura da soja para os municípios.



**Figura 1.** Método do Triângulo, município de Campo Mourão, Ano-Safra 2011-12

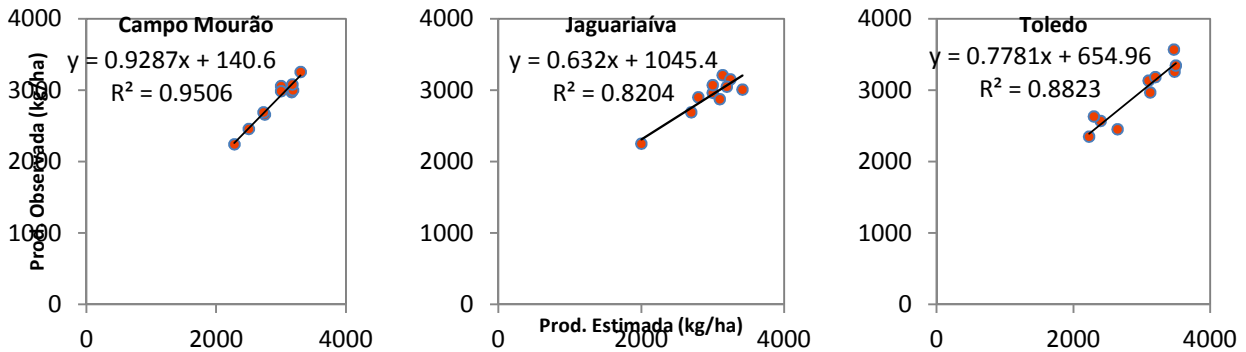
Nos gráficos de dispersão triangular, a linha tracejada em vermelho indicando a borda quente do triângulo, e a linha tracejada em azul, a borda fria. Extremidades frias e quentes, respectivamente, correspondem ao “mais molhado” e “mais secos” pixels (Petropoulos et al, 2009; Garcia et al, 2014). Segundo Carlson (2013), o triângulo inclinado pode significar uma temperatura mais elevada no solo nu do que quando em áreas de maior vegetação. Notamos com os gráficos triangulares que uma maior inclinação é respectiva aos meses que apresentam maior quantidade de solo exposto, ou seja, os meses de semeadura (set/out) e os meses referentes à época da colheita (mar/abril).

Quanto a parte superior do triângulo truncada, ou em forma de um trapézio, essa situação pode indicar menor quantidade de pixels com densa vegetação dentro de o espaço triangular, nos meses onde a cultura da soja ainda não alcançou seu desenvolvimento pleno, ou/e nos meses que a cultura está em fase de colheita ou pós-colheita.

O teste do modelo modificado foi realizado considerando os valores estimados de EF substituindo os valores de ETr/ETp do modelo original. O desempenho do modelo foi avaliado por meio de análises estatísticas apresentadas a seguir, pelos índice “d<sub>1</sub>” de Willmott, coeficiente de determinação R<sup>2</sup>, índice “c”, e os erros EMA, RMSE, Ea e Es (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise estatística do desempenho do modelo agrometeorológico modificado, para os anos safras de 2002/03 a 2011/12.

Municípios	d <sub>1</sub>	R <sup>2</sup>	c	EMA	RMSE	Eu	Es
				kg/ha			
Campo Mourão	0,98	0,95	0,93	78,70	30,81	26,22	16,17
Jaguariaiva	0,92	0,82	0,75	142,60	48,54	43,56	21,41
Toledo	0,96	0,88	0,85	149,60	51,85	45,48	24,91



**Figura 5.** Produtividade (kg/ha) observadas e estimadas pelo modelo modificado, período de 2002/03 a 2011/12.

O desempenho do modelo modificado, mostrado na Tabela 01 e de acordo com a Figura 5, apresentou resultados de índice de concordância “d<sub>1</sub>” que mediu a dispersão dos dados em relação à reta 1:1, ou seja, a exatidão dos valores estimados (Modelo Modificado) em relação aos valores de observados (SEAB – Secretaria de Abastecimento) mostrou que os valores ficaram acima de 0,9, ou seja, uma alta exatidão entre os dados. Ao analisar os coeficientes de confiança “c”, os valores foram considerados com altos desempenhos variando entre 0,7 a 0,9. O erro médio aleatório (EMA), constatou-se que na escala municipal os valores foram subestimados em 78,70 kg/ha em Campo Mourão, o RMSE que indica a acurácia do modelo mostrou que em média houve variação entre 30,81 kg/ha a 51,85 kg/ha.

Em relação aos erros aleatórios os valores foram maiores que os dos erros sistemáticos, isso mostra que a exatidão das medidas foram melhores que a precisão, ou seja, os erros aleatórios decorrem de fatores imprevisíveis, que nem sempre são possíveis de identificar a fonte dos seus erros.

## CONCLUSÕES

O modelo agrometeorológico modificado de estimativa de produtividade da soja, estimou produtividade da soja utilizando somente como variável de entrada dados obtidos por imagens de sensoriamento remoto, obtidos a partir do método do triângulo simplificado para estimativa de evapotranspiração. Imagens de sensoriamento remoto, do sensor MODIS - produtos NDVI e Ts, podem ser utilizados como ferramenta na ausência de informações de superfície, além de servir como entrada de dados para auxílio em modelagem agrometeorológica, auxiliando em monitoramento e previsões de safras agrícolas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARLSON, T.N. Triangle Models and Misconceptions. **International Journal of Remote Sensing Applications**. v. 3, n. 3, p. 155-158, 2013

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Rome, FAO, 1979. 197p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

GARCIA, M.; FERNÁNDEZ, N.; VILLAGARCÍA, L.; DOMINGO, F.; PUIGDEFÁBREGAS, J.; SANDHOLT, I. Accuracy of the Temperature–Vegetation Dryness Index using MODIS under water-limited vs. energy-limited evapotranspiration conditions. **Remote Sensing of Environment**, v. 149, p.100–117, 2014.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

GILLIES, R.R. and TEMESGEN, B. **Coupling thermal infrared and visible satellite measurements to infer biophysical variables at the land surface.** In Quattrochi, D.A. and Luvall, J.C., editors, *Thermal remote sensing in land surface processes*, New York: CRC Press, p.160–83, 2000.

HUANG, C.; WYLIE, B.; YANG, L.; HOMER, C.; ZYLSTRA, G. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 8, p.1741–1748, 2002.

JOHANN, J. A. **Calibração de dados agrometeorológicos e agrícolas de verão no estado do Paraná.** 201p Tese. (Doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

MARTINS, A.N.; ORTOLANI, A.A. Estimativa de produção de laranja valência pela adaptação de um modelo agrometeorológico. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 355-361, 2006.

PETROPOULOS, G.; CARLSON, T.N.; WOOSTER, M.J.; ISLAM, S. A review os Ts/VI remote sensing based methods for the retrieval of land surfasse energy fluxes and soil surface moisture. **Progress in Physical Geography**, v. 33, p. 224–250, 2009.

RAO, N.H.; SARMA, P.B.S.; CHANDER, S. A simple dated water-production function for use in irrigated agriculture. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 13, p. 25-32, 1988.

ROSA, V. G. C. F. **Modelo agrometeorologico-espectral para monitoramento e estimativa da produtividade do café na regioao sul/sudoeste do estado de Minas Gerais.** 145f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2007.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance.** In: Centeron, N. J. (ed), 104p. (Publ. in *Climatology*, v. 8, n. 1), 1955.

Willmott, C. J. **ON THE VALIDATION OF MODELS. PHYSICAL GEOGRAPHY**, v.2, p.184-194, 1981.

Willmott, C. J.; Ackleson, S. G.; Davis, J. J.; Feddema, K. M.; Klink, D. R. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, p.8995- 9005, 1985.