

MODELAGEM AGROMETEOROLÓGICA PARA ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE DE SOJA PARA O VALE DO MÉDIO PARANAPANEMA-SP

**DANIELA FERNANDA DA SILVA-FUZZO¹ ; ANGELICA PRELA-PANTANO² E
MARCELO BENTO PAES DE CAMARGO³**

¹ Faculdade de Engenharia Agrícola – Feagri UNICAMP (LabGeo) silva.danielaf@gmail.com

^{2, 3} Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica, Instituto Agrônômico, Campinas, SP
angelica@iac.sp.gov.br, mcamargo@iac.sp.gov.br

1 RESUMO

Modelos agrometeorológicos de estimativa de safra utilizam dados climatológicos coletados em estações convencionais de superfície. A precipitação é o elemento meteorológico que apresenta maior variabilidade espacial, e desta forma com o intuito de obter uma maior cobertura e disponibilidade de dados de precipitação pluvial vem sendo utilizados dados estimados por satélite. Com isso melhora a qualidade das estimativas de produtividade da cultura da soja no Estado de São Paulo. O objetivo foi estimar a produtividade da cultura da soja, para a região do Vale do Médio Paranapanema-SP, utilizando dados de temperatura e precipitação de estações meteorológicas convencionais e dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o período de 1998 a 2008, por meio de modelagem agrometeorológica. O modelo de estimativa de produtividade utilizado levou em consideração tanto deficiência hídrica como o excedente hídrico e apresentou desempenho satisfatório e melhoria significativa com a inserção dos dados do satélite TRMM, com valores de índice de concordância ‘d’ variando de 0,80 a 0,90.

Palavras-chave: Precipitação pluvial, variabilidade climática, TRMM.

**SILVA-FUZZO,D.F.; PRELA-PANTANO, A.; CAMARGO,M.B.P.
AGROMETEOROLOGICAL MODELING TO ESTIMATE SOYBEAN YIELD IN
THE VALLEY OF THE MIDDLE PARANAPANEMA-SP**

2 ABSTRACT

Agrometeorological models to estimate harvest use climatological data collected in conventional surface stations. Precipitation is the weather parameter which presents the highest spatial variability. Therefore, in order to achieve greater coverage and rainfall data availability, data estimated by satellite have been used, and consequently, better estimates of soybean crop yield have been found in São Paulo state. The objective of this study was to estimate crop yield of soybean in the Valley of the Middle Paranapanema-SP, using data of temperature and precipitation from conventional meteorological stations and precipitation data estimated by the TRMM satellite in the period from 1998 to 2008 using agrometeorological modeling. The estimation model of productivity considered both water stress and water surplus, and using data of the TRMM satellite caused a significant improvement with values of concordance index ‘d’ of Willmott ranging from 0.80 to 0.90.

Keywords: Rainfall, climatic variability, TRMM.

3 INTRODUÇÃO

A agrometeorologia é o estudo dos processos físicos na atmosfera e sua relação com a agricultura. Os modelos de estimativas de produção auxiliam na previsão de produtividade utilizando dados meteorológicos associados à agrometeorologia. Com isso, modelos agrometeorológicos podem colaborar para uma melhor interpretação quantitativamente os efeitos da variabilidade climática sobre a produção vegetal.

Esses modelos visam representar de forma simplificada as relações existentes entre a resposta fisiológica das plantas e as variáveis ambientais e suas interferências durante os diferentes estádios fenológicos de uma cultura. PICINI et al. (1999) afirmaram que esses modelos consideram que cada fator climático exerce determinado controle na produtividade da cultura, sendo um fator de eficiência e que os métodos podem estabelecer a relação planta-clima, e que podem variar desde a simples correlação até modelos mais complexos, nos quais diferentes parâmetros são considerados.

Modelos agrometeorológicos para estimativa de produtividade têm sido utilizados visando caracterizar os efeitos das variações climáticas sobre a produtividade como por exemplo os desenvolvidos por CAMARGO, BRUNINI e MIRANDA (1986); FONTANA e BERLATO (1998); BERKA e RUDORFF (2003); RIZZI e RUDORFF (2005); ROJAS et al. (2005); JOHANN (2012).

Com intuito de aprimorar a estimativa de produtividade de soja, com auxílio de modelos agrometeorológicos, vem sendo utilizados dados meteorológicos estimados, por satélite, e nesse caso dados de precipitação pluvial, com o objetivo de se obter uma maior área de cobertura.

O satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) é uma parceria entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a JAXA (*Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial*), e seu objetivo específico é monitorar e estudar a precipitação em áreas tropicais (COLLISCHONN et al., 2007). O satélite possui órbita oblíqua não-heliossíncrona bastante baixa (inicialmente 350 km, desde 2001 cerca de 403 km), de forma que o período de translação é bastante curto (91 minutos), permitindo resoluções espacial e temporal comparativamente altas. A órbita deste satélite foi calculada para se ter uma capacidade máxima de amostragem diurna e os dados são estimados a cada 3 horas com uma resolução de 0,25° desde 50° N a 50° S.

Alguns trabalhos já desenvolvidos comprovaram acurácia satisfatória das estimativas de precipitação oriundas do satélite TRMM, como HUFMMAN (2010); DUBREUIL et al. (2007); GARCIA e KAYANO (2009); e BARDIN et al. (2010).

Deste modo, o objetivo desse estudo foi estimar a produtividade da cultura da soja, para a região do Vale do Médio Paranapanema-SP, utilizando modelagem agrometeorológica com dados obtidos em estações convencionais e dados estimados pelo satélite TRMM.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A região do Vale do Médio Paranapanema, está localizada no sudoeste paulista, e encontra-se entre as coordenadas geográficas de 22°00' a 23°00' S e 51°00' a 50°00' W,

aproximadamente (Figura 1). A escolha da região se deu devido à importância no cenário agrícola, pois representa a principal região produtora de soja do estado de São Paulo (CATI, 2010).

A temperatura média anual da região fica em torno de 20,6° C e a precipitação pluvial anual 1.217 mm. Segundo a classificação climática de Köppen baseado em dados mensais térmicos e pluviométricos o tipo dominante na maior área é o “Cwa” (definido como mesotérmico de inverno seco), porém a região se encontra em uma área de transição climática para “Cfa” (mesotérmico e úmido), segundo PRADO et al.(2003).

Para a análise e teste dos modelos agrometeorológicos foram utilizados dados de produtividade de soja (kg ha⁻¹) do banco de dados do Instituto de Economia Agrícola (IEA), referentes aos anos agrícolas de 1998/99 a 2007/08 para seis município da região (Tabela 1).

Tabela 1. Municípios da Região do Vale do Médio Paranapanema com as coordenadas geográficas, altitude média e tipo de solo.

Local	Longitude		Altitude (m)	Solos*
	Latitude (S)	(W)		
Assis	22°40'	50°26'	563	LV
Campos Novos Paulista	22°35'	50°00'	460	NV
Cândido Mota	22°46'	50°24'	472	LV
Florínea	22°55'	50°45'	420	LV
Ibirarema	22°50'	50°04'	471	LV
Ourinhos	23°00'	49°54'	566	LV

*LV: Latossolo Vermelho, *NV: Nitossolo Fonte: EMBRAPA (2009)

Foram utilizados dados decendiais de temperatura máxima e mínima do ar e precipitação pluvial, observados nos postos meteorológicos selecionados para a região de estudo, obtidos junto ao banco de dados do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) do Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agrônômico (IAC).

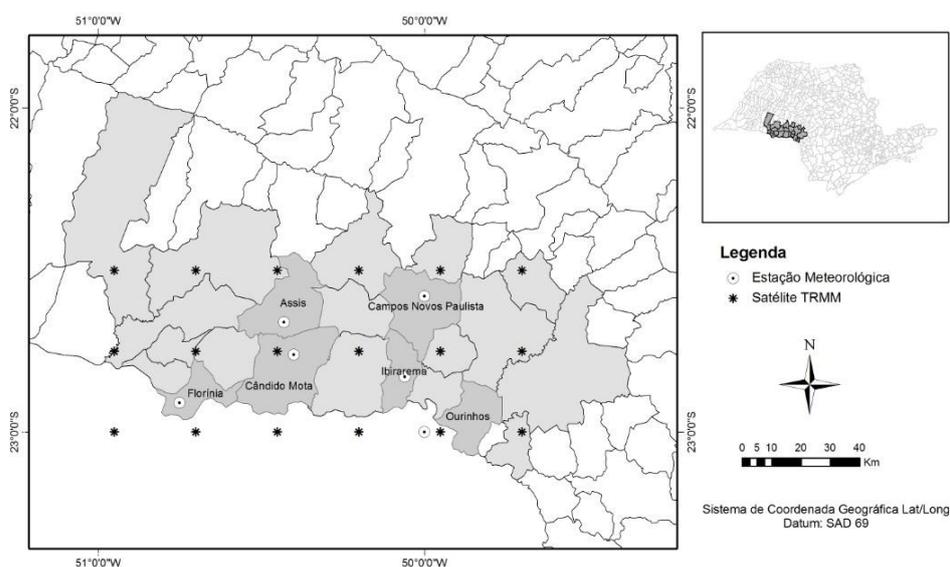
A região do Vale do Médio Paranapanema apresenta reduzido número de postos meteorológicos, e com o intuito de melhorar a análise, ampliou-se este número de pontos de coleta, utilizando-se dados estimados pelo satélite TRMM, pelo sensor PR (radar de precipitação). Os pontos estão representados na Figura 1.

Os pontos referentes ao satélite TRMM apresentam maior cobertura espacial (25 km por 25 km), em relação às estações meteorológicas convencionais, que são pontuais e que representam cobertura média de 5 km por 5 km (CAMARGO et al., 2005). Com o uso dos dados estimados pelo satélite foi possível obter uma maior cobertura em relação a precipitação na região de estudo.

Foram calculados dados decendiais acumulados de precipitação (mm) a partir de dados registrados pelas estações meteorológicas (CIIAGRO-IAC) e também dados estimados pelo satélite TRMM. Os dados foram atribuídos a cada localidade por meio das coordenadas geográficas e correlacionada com os pontos mais próximos das estações meteorológicas de superfície, para o período compreendido entre janeiro de 1998 a dezembro de 2008.

A validação do modelo foi realizada com resultados dos balanços hídricos considerando dados de precipitação pluvial obtidos nas estações meteorológicas existentes. Após, foram realizados testes dos modelos considerando os dados estimados pelo satélite TRMM.

Figura 1. Pontos de coleta de dados meteorológicos e pontos estimados pelo satélite TRMM, na região do Vale do Médio Paranapanema – SP



O balanço hídrico utilizado foi baseado no método de THORNTHWAITE e MATHER (1955), em escala decenal, o qual fornece estimativas de evapotranspiração real (ET_r), armazenamento de água no solo (ARM), deficiências (DEF) e excedentes hídricos (EXC). Foi considerado o valor do coeficiente de cultura (K_c) unitário para todo o ciclo da cultura na aplicação dos modelos agrometeorológicos e o valor da capacidade máxima de água disponível (CAD) foi de 100 mm, (MORAES et al., 1998; e PEREIRA, ANGELOCI e SENTELHAS, 2002) em função das características do tipo de solo predominante na região, latossolo vermelho.

O modelo agrometeorológico (Eq.1) utilizado é conhecido como “multiplicativo”, (DOORENBOS e KASSAM, 1979) e foi modificado por CAMARGO, BRUNINI e MIRANDA (1986), o qual leva em consideração um fator relacionado à penalização por excedente hídrico, denominado fator excedente (f_e) proposto por BRUNINI et al. (1982) e adotado por CAMARGO, BRUNINI e MIRANDA (1986) e MORAES et al. (1998) para a cultura da soja. O objetivo da introdução desse fator é melhorar o desempenho do modelo, visto que períodos com excesso de chuva, especialmente durante o florescimento até a maturação, também resultam em considerável redução na produtividade de grãos (FUKUI e OJIMA, 1957), não apenas o déficit hídrico.

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{i=1}^4 \left[1 - ky_i \left(1 - \frac{ET_r}{ET_p} \right) * [1 - ke_i (1 - fs_i)] \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo que, \prod significa produto; ky é o coeficiente de penalização da produtividade por deficiência hídrica para cada estágio fenológico, ou seja, a penalização aumenta de acordo com a necessidade hídrica da planta, com valores de 0,2 para desenvolvimento vegetativo, 0,8 florescimento, 1,0 enchimento de grãos e 0,2 para maturação; a relação entre ET_r/ET_p é obtida por meio do balanço hídrico climatológico; ke é o coeficiente de penalização da produtividade por excedente hídrico, proposto por CAMARGO, BRUNINI e MIRANDA

(1986), com valores de 0,0 para o estágio do desenvolvimento vegetativo e de 0,1 para os estádios do florescimento, formação de vagens e enchimento de grãos e maturação. O fator excedente (f_e) é a relação entre o excedente do balanço hídrico (EXC) e a ET_p em períodos decendiais (Eq. 2), a única condição é que o EXC deve ser superior ou igual à ET_p . Quando a ET_p for maior que o EXC, o f_e será igual à unidade, independente do resultado (BRUNINI et al., 1982). Da seguinte forma:

$$f_e = \left[1 - \frac{(EXC - ET_p)}{EXC} \right] \quad (\text{Eq. 2})$$

O cálculo da Produtividade Potencial (Y_p) depende do nível tecnológico aplicado à lavoura, assim, um valor máximo é estabelecido para as condições de cultivo desde que não ocorra restrição climática. Dessa forma, é acrescido 10% ao valor da maior produtividade da soja obtida na série, com o objetivo de eliminar qualquer efeito do ambiente que pudesse interferir sobre o potencial de produtividade (MORAES et al., 1998; CARVALHO et al., 2005).

Uma vez que os dados obtidos junto ao IEA não relatam datas de semeadura, florescimento e colheita, adotou-se como data de semeadura o primeiro decêndio de novembro, para um ciclo médio de 130 dias, de acordo com ALFONSI et al. (1995), segundo os autores, cultivos com semeaduras nesta época possuem as melhores condições hídricas nas fases fenológicas consideradas críticas evidenciando menor risco climático para o desenvolvimento da cultura da soja.

Para a avaliação dos resultados, foram utilizadas as análises de regressão linear relacionando dados estimados com os observados e encontrou-se valores de R^2 , d , EMA, Es, Ea e c , sendo que: o coeficiente de determinação (R^2) indica o quanto da variável dependente foi explicado pela variável independente, o índice de concordância “ d ” (WILLMOTT, ACKLENSON e DAVIS, 1985), avalia o ajuste do modelo em relação aos dados observados (Eq. 3), considerando o erro médio absoluto (EMA) que é a medida da magnitude média das diferenças dos valores estimados com os observados; o erro médio sistemático (Es) e erro médio aleatório (não sistemático) (Ea), de acordo com a seguinte equação:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde, P_i é o valor estimado, O_i o valor observado e O a média dos valores observados. O coeficiente “ d ” é mais consistente que o R^2 , com relação a valores extremos, medindo com mais eficiência se os valores estão próximos da reta 1:1 em um gráfico de dispersão entre dados estimados e observados.

O índice de confiança “ c ” (Eq. 4) indica o desempenho do modelo, reunindo os índices de precisão e exatidão, sendo expresso por:

$$c = R^2 * d \quad (\text{Eq. 4})$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados analisados referentes à produção da soja e área cultivada nas safras de 1998/99 a 2007/08 (Figura 2 e 3), variaram de 1200 a 3000 kg ha⁻¹, sendo que as maiores produtividades foram observadas nas safras de 1998/99 e 2000/01 em Campos Novos Paulista e Florínea. Nas safras de 2001/02 em Campos Novos Paulista, Cândido Mota e Florínea, e 2007/08 em Florínea. As menores produtividades foram observadas em 1999/00, sendo 1200 kg ha⁻¹ em Ourinhos, e em 2004/05, 1560 kg ha⁻¹, em Assis, 1680 kg ha⁻¹, Campos Novos Paulista e 1290 kg ha⁻¹, Cândido Mota.

Quando utilizados os dados de precipitação pluvial decendial observados nas estações meteorológicas de superfície para elaboração dos balanços hídricos decendiais, foram observados baixos valores de $R^2 = 0,21$ e $0,25$ e de índice $d = 0,47$ para o modelo considerado. Isto pode ser atribuído ao fato de que os valores tratam da relação entre dados pontuais (estações meteorológicas) com os dados regionais de produtividade agrícola da soja.

Figura 2. Produtividade Estimada (kg ha^{-1}) com dados a) Observados e b) Estimados, no período de 1998/99 a 2007/08.

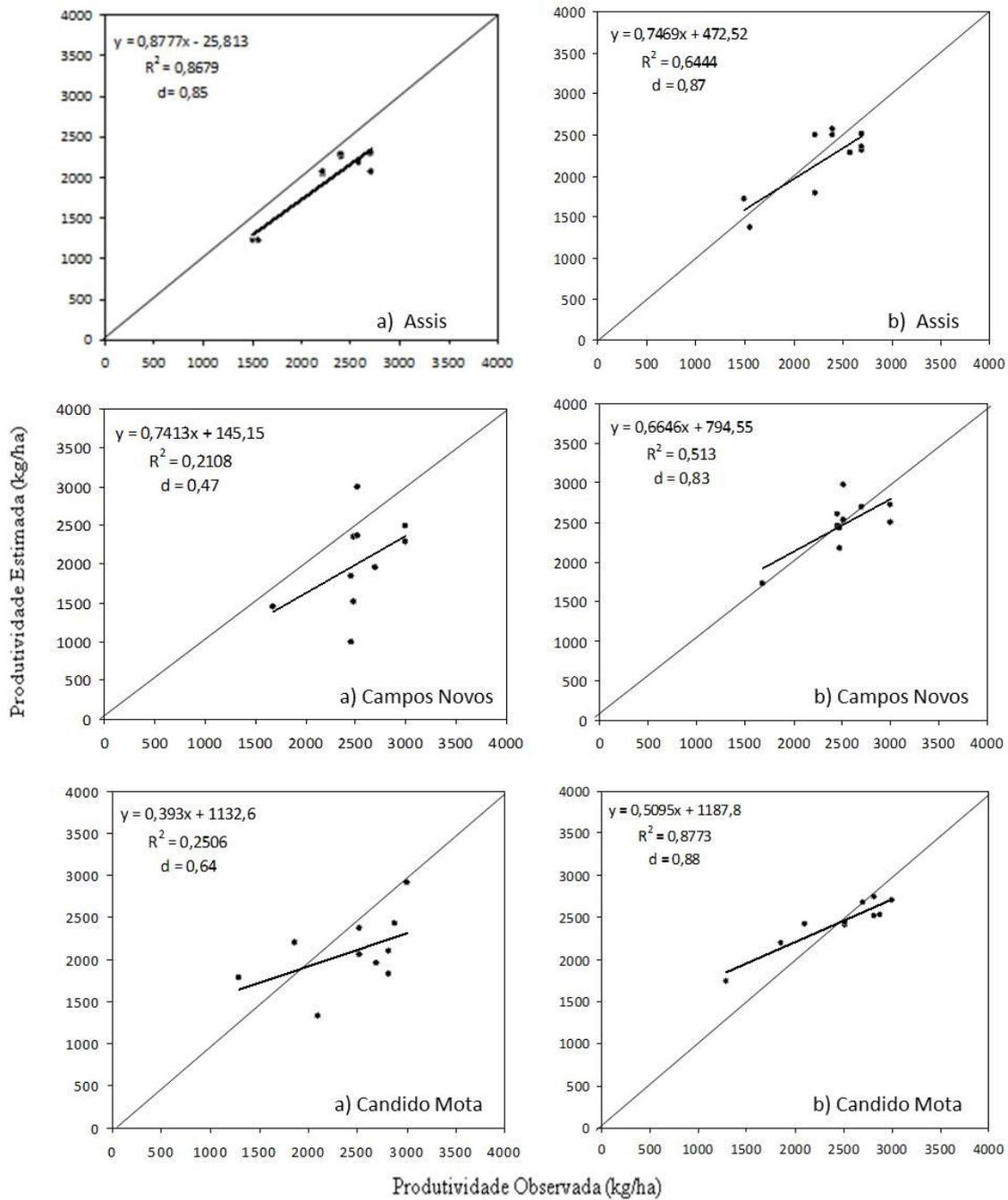
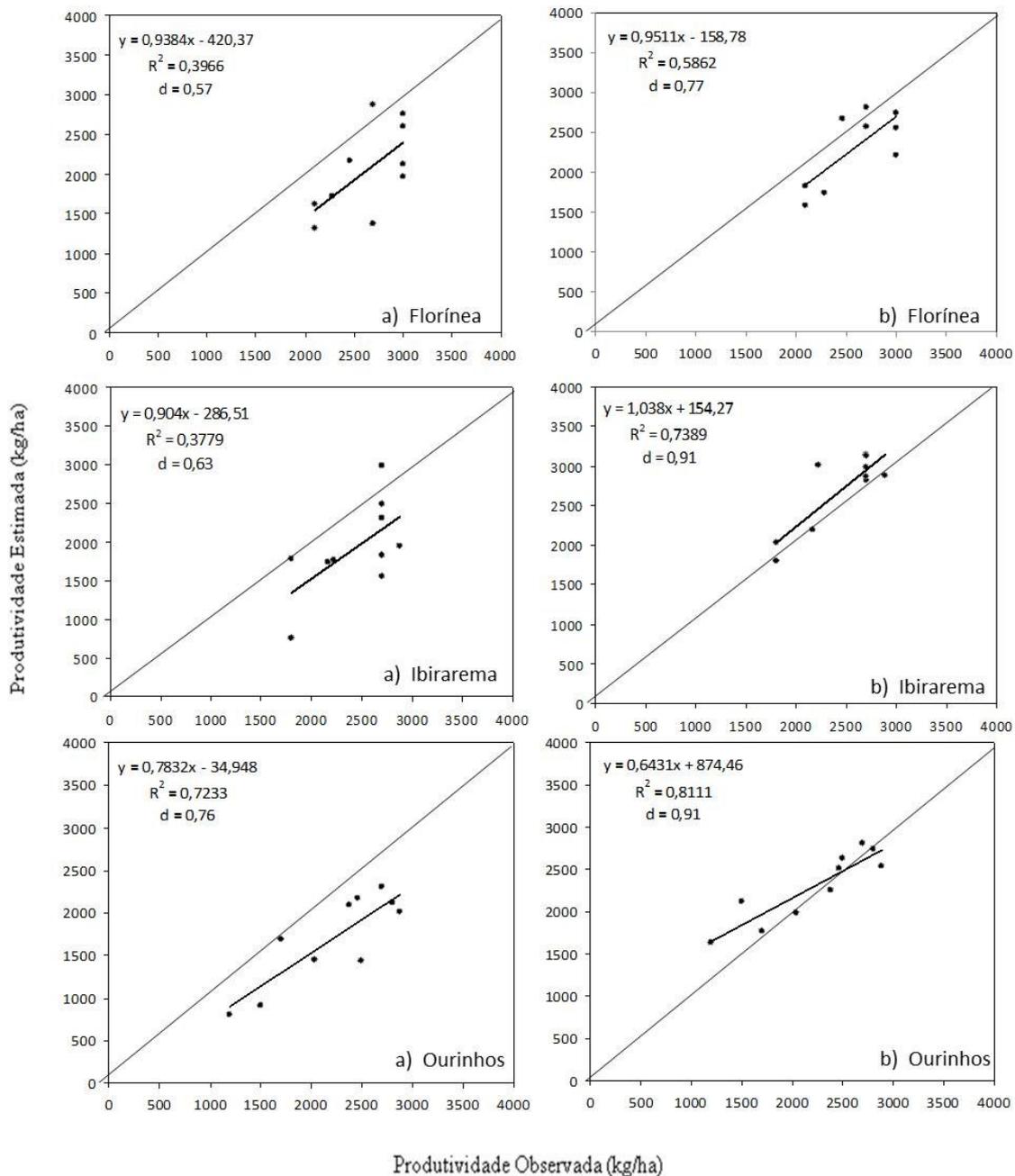


Figura 3. Produtividade Estimada (kg ha^{-1}) com dados a) Observados e b) Estimados pelo satélite TRMM, no período de 1998/99 a 2007/08.



O modelo apresentou melhor desempenho quando foram utilizados dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM em substituição aos dados observados nas estações meteorológicas de superfície, sendo visível esse aumento para os municípios de Assis, Campos Novos Paulista, Cândido Mota, Florínea, Ibirarema e Ourinhos (Figuras 2 e 3).

Quando substituiu-se os dados observados pelos dados estimados de precipitação pluvial decenal pelo satélite TRMM, houve considerável aumento nos valores de R^2 para os municípios de Campos Novos, Candido Mota, Florínea, Ibirarema e Ourinhos, ($R^2 = 0,21$ para 0,51, $R^2 = 0,25$ para 0,88, $R^2 = 0,40$ para 0,59, $R^2 = 0,38$ para 0,74 e $R^2 = 0,72$ para 0,81,

respectivamente) com exceção apenas do município de Assis. Os valores de 'd' apresentaram melhoras significativas quando utilizados dados estimados pelo satélite TRMM, com valores acima de 0,8, sendo que o município de Florínea apresentou o menor valor de $d = 0,77$ quando substituído. De acordo com o índice c, o modelo apresentou bom desempenho para todos os municípios analisados (Tabela 2).

Tabela 2. Desempenho do modelo utilizando dados climatológicos das estações convencionais e dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM, 1998/99 a 2007/08.

Municípios	d	R ²	C	ESTAÇÃO CONVENCIONAL		
				EMA	Ea	Es
(kg ha ⁻¹)						
ESTAÇÃO CONVENCIONAL						
Assis	0,85	0,87	0,79	306,9	144,4	311,2
Campos Novos	0,47	0,21	0,22	604,1	498,6	517,0
Cândido Mota	0,64	0,25	0,32	522,0	349,8	472,9
Florínea	0,57	0,40	0,36	618,1	412,5	583,1
Ibirarema	0,63	0,38	0,39	579,3	445,8	521,6
Ourinhos	0,76	0,72	0,65	515,4	266,4	529,0
TRMM						
Assis	0,87	0,64	0,70	260,9	234,0	152,7
Campos Novos	0,83	0,51	0,60	183,8	225,1	128,5
Cândido Mota	0,88	0,88	0,82	233,9	98,0	252,9
Florínea	0,77	0,59	0,59	352,2	284,8	288,1
Ibirarema	0,91	0,74	0,76	198,9	238,9	210,1
Ourinhos	0,91	0,81	0,82	198,4	170,7	213,3

Para Assis os resultados foram considerados medianos sendo: ($d=0,85$, $R^2=0,87$ e $c = 0,79$) e Ourinhos ($d=0,76$, $R^2=0,72$ e $c = 0,65$), e o modelo apresentou desempenho inferior para Campos Novos Paulista ($d=0,47$, $R^2=0,21$ e $c = 0,22$). Desempenho melhor do modelo foi observado quando foram utilizados dados de precipitação decendial do satélite TRMM para Ibirarema ($d=0,91$, $R^2=0,70$ e $c = 0,76$), Ourinhos ($d=0,91$, $R^2=0,80$ e $c = 0,82$) e Cândido Mota ($d=0,88$, $R^2=0,88$ e $c = 0,82$).

Em relação aos valores dos erros (EMA, Es e Ea,) novamente houve uma redução dos valores quando foram utilizados dados do satélite TRMM em relação aos resultados das estações meteorológicas. A margem de erro associado aos dados do modelo justifica-se devido à utilização da temperatura média utilizada para todo o período da região de Assis. Isto porque os dados de temperatura de Assis não apresentam falhas e representam a média da região considerada, o que não apresenta grandes variações altimétricas.

Outro fator que deve ser levado em consideração é que o modelo analisado foi desenvolvido e testado para a região de Ribeirão Preto (MORAES et al., 1998) com dados experimentais de cultura de soja, diferentemente deste trabalho, em que os dados analisados são regionais, em que se buscou caracterizar a variabilidade produtiva da região do Médio Vale do Paranapanema.

Os resultados se justificam por se tratar de dados pontuais (estações meteorológicas) com dados de produtividade agrícola da soja regional, dessa forma quando utilizados os dados estimados de precipitação pluvial decendial do satélite TRMM, houve considerável melhora

no modelo devido os pontos do satélite apresentarem maior cobertura ($0,25^\circ \times 0,25^\circ$) em relação as estações convencionais, que são pontuais e representam cobertura média de 5 km x 5 km (CAMARGO et al. 2005). Estes resultados podem ser considerados devido a uma maior cobertura espacial do TRMM quando correlacionados com dados regionais de produtividade.

6 CONCLUSÕES

O modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade da soja para o Médio Paranapanema apresentou desempenho superior quando utilizados dados de precipitação pluvial estimados pelo satélite TRMM. Os dados de precipitação pluvial estimados pelo satélite TRMM podem ser utilizados como ferramenta no caso de ausência de informações sobre precipitação pluvial, além de servir como entrada de dados para auxílio em modelagem agrometeorológica, monitoramento agrícola, auxílio à pesquisa e para agricultores, por se tratar de dados gratuitos e de fácil acesso.

7 REFERÊNCIAS

- ALFONSI, R.R.; PEDRO JUNIOR, M.J.; CAMARGO, M.B.P.; ORTOLANI, A.A.; BRUNINI, O.; CHIAVEGATTO, O.M.D.P. Zoneamento agroclimático a probabilidade de atendimento hídrico para as culturas de soja, milho, arroz de sequeiro e feijão. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 1995. 8p. (Boletim Científico)
- BARDIN, L.; CAMARGO, M.B.P.; BLAIN, G.C.; SILVA, D.F. Comparação entre dados de precipitação pluvial observados em estações meteorológicas e estimados pelo satélite TRMM para a região cafeeira da mogiana, São Paulo, Brasil. In: XIII REUNIÓN ARGENTINA Y VI LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGÍA, 2010, Bahia Blanca, Argentina. Anais... Bahia Blanca, 2010.
- BERKA, L. M. S.; RUDORFF, B. F. T. Estimativa de área plantada com soja através de imagens Landsat em municípios do norte do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, 2003. p. 27-31. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00017-X. (INPE- 16093-PRE/10696). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.18.18.36>>. Acesso em: 20 set. 2010.
- BRUNINI, O.; MIRANDA, M.A.C.; MASCARENHAS, H.A.; PEREIRA, J.C.V.; SCHIMIDT, N.C. Teste de um modelo agroclimático que relacione o regime pluviométrico com as variações da produtividade agrícola. In: SEGOVIA, R. M., ed. Determinação do efeito da precipitação pluviométrica na produtividade agrícola. Brasília. 1982. p. 21-46.
- CAMARGO, M.B.P.; BRUNINI, O.; MIRANDA, M. A. C. Modelo agrometeorológico para estimativa da produtividade para a cultura da soja no Estado de São Paulo. Bragantia, v. 45, p. 279-292, 1986.

CAMARGO, M.B.P.; BRUNINI, O.; PEDRO JR, M.J. ; BARDIN, L. Variabilidade espacial e temporal de dados termopluiométricos diários da rede de estações agrometeorológicas do Instituto Agrônomo (IAC). *Bragantia*, v. 64, p. 473-483, 2005.

CARVALHO, L.G. de; SEDIYAMA, G.C.; CECON, P.R.; ALVES, H.M.R. Aplicação da análise harmônica por séries de Fourier para a previsão de produtividade da cultura do café no Estado de Minas Gerais. *Engenharia Agrícola*, v.25, p.732-741, 2005.

CATI, Coordenadoria de Assistência Técnica Integral. Disponível em: <http://www.cati.sp.gov.br>. Acesso em 15/11/2010.

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*, v. 59, p. 93-99, 2007.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. Yield response to water. Rome, FAO, 1979. 197p.
DUBREUIL, V.; ARVOR, D.; NÉDÉLEC, V.; MAITELLI, G.T. Comparação entre os dados de TRMM, GOES e SPOT-VGT para a estimativa das chuvas em Mato Grosso. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2º Ed. Rio de Janeiro, RJ. 2009, 412p.

FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A. Modelo agrometeorológico-espectral para a estimativa do rendimento de soja no Rio Grande do Sul: um estudo preliminar. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998, Santos. Anais... São José dos Campos: INPE, 1998. 1 CD ROM.

FUKUI, J.; OJIMA, M. Influence of soil moisture content on the growth and yield of soybean: (V) Changes of carbohydrate and nitrogen in soybean plant as affected by deficient or excessive soil moisture contents at various growing periods. **Japanese Journal of Crop Science**, Tokyo, v. 26, n. 1, p. 40-42, 1957-1958. Disponível em: [≤https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcs1927/26/1/26_1_40/_article>](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jcs1927/26/1/26_1_40/_article). Acesso em: dia mês(abreviado) ano.

GARCIA, S.R.; KAYANO, M.T. Início e fim da estação chuvosa na Bacia Amazônica Central: monitoramento com dados de precipitação estimada pelo satélite TRMM. In: III SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 2009, Canela. Anais... Simpósio Internacional de Climatologia, 2009. p. 18-21

HUFFMAN, G.J.; ADLER, R.F.; BOLVIN, D.T.; GU, G.; NELKIN, E.J.; BOWMAN, K.P.; STOCKER, E.F.; WOLFF, D.B. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear combined-sensor precipitation estimates at fine scales. p. 3-22 In: *Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology*. Gebremichael, Mekonnen; Hossain, Faisal (Eds.) 2010, XIII, 327, 128 p.

JOHANN, J.A. Calibração de dados agrometeorológicos e estimativa de área e produtividade de culturas de verão no estado do Paraná. 2012, 201 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas.

MORAES, A.V.C.; CAMARGO, M.B.P.; MASCARENHAS, H.A.A.; MIRANDA, M.A.C.; PEREIRA, J.C.V.N.A. Teste e análise de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade para a cultura da soja na região de Ribeirão Preto. *Bragantia*, v. 57, p. 393-406. 1998.

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 478p, 2002.

PICINI, A.G.; CAMARGO, M.B.P.; ORTOLANI, A.A.; FAZUOLI, L.C.; GALLO, P.B. Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para a estimativa de produtividade do cafeeiro. *Bragantia*, v. 58, p. 157-170. 1999.

PRADO, H.; MENK, J.R.F.; TREMOCOLDI, W.A.; JORGE, J.A. Levantamento Pedológico detalhado do Pólo Regional de desenvolvimento tecnológico dos Agronegócios do Médio Paranapanema, Assis (SP). Campinas: Instituto Agrônomo: 2003 (Série Pesquisa APTA. Boletim Científico, 07). 19p.

RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T. Estimativa da área de soja no rio grande do sul por meio de imagens Landsat. *Revista Brasileira de Cartografia*, n. 57, v. 3, p. 226-234, 2005.

ROJAS, O., REMBOLD, F., ROYER, A. and NEGRE, T. Real-time agrometeorological crop yield monitoring in Eastern Africa. *Agronomie* 25. 1-15. 2005.

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

TRMM. Tropical Rainfall Measuring Mission. Disponível em: http://trmm.gsfc.nasa.gov/data_dir/data.html. Acessado em 05 de setembro de 2010.

WILLMOTT, C.J., ACKLESON, S.G.; DAVIS, J.J. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geography Research*. v. 90, p. 8995-9005, 1985.