

Uso do produto LAI/MOD15A2 em modelo agrometeorológico-espectral para estimativa da produtividade do café na região Sul/Sudoeste de Minas Gerais.

Viviane Gomes Cardoso de Faria¹
Mauricio Alves Moreira¹
Bernardo Friederich Theodor Rudorff¹
Marcos Adami¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{vivian, mauricio, bernardo, adami}@dsr.inpe.br

Abstract: The South-Southwestern region of Minas Gerais is the most relevant coffee crop production in Brazil. Environmental and agricultural factors have a significant impact on coffee crop and their effect on yield formation is difficult to be quantified. Remote sensing images seem to be an alternative to estimate crop biophysical parameters such as LAI (leaf area index) for input in agrometeorological crop yield models. The objective of this work was to use the LAI, from the MOD15A2 product version 5 of the MODIS sensor, as one of the input parameters in an agrometeorological-spectral model to estimate coffee crop yield for the crop years 2005/06, 2006/07 and 2007/08. The model estimates were compared to the official agricultural statistics of coffee crop yield and production provided by the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). Relative differences between coffee crop yields estimated by the proposed model and by IBGE for the entire region were 5.9% and 4.9% for the crop years 2005/06 and 2006/07, respectively. The correlation coefficients between coffee crop productions estimated by the proposed model and by IBGE for the municipalities comprised in the analyzed region were equal to 0.60 and 0.78 for the crop years 2005/06 and 2006/07, respectively. The proposed model estimated a 21% reduction in the potential of coffee crop production for the 2007/08 crop year which was not reported in the official estimate.

Palavras-chave: coffee crop yield, agrometeorological-spectral model, leaf area index, produtividade do café, modelo agrometeorológico-espectral, índice de área foliar.

1. Introdução

A produção de café é altamente dependente de fatores fisiológicos, tratos culturais e ambientais. Dos fatores ambientais, o clima exerce um importante papel, uma vez que as condições meteorológicas como temperaturas mínimas e máximas do ar durante os estádios fenológicos críticos, interferem na produtividade da cultura. Do mesmo modo, uma limitação hídrica, na fase de granação, é capaz de elevar em 45% o índice de grãos mal formados (chochos). Além de reduzir significativamente o crescimento vegetativo e a produção do ano seguinte (Camargo et al., 1984 e Fernandes et al., 1998). Dos fatores fisiológicos, a característica de bienalidade da cultura do café, explicada pela ocorrência simultânea das funções vegetativas e reprodutivas no mesmo ramo torna o volume da produção proporcional ao número de nós ou gemas formadas na estação vegetativa anterior. Isto ocasiona anos de baixa e alta produtividade (Rena e Maestri, 1985).

Uma forma indireta de monitorar os efeitos de altas temperaturas e déficit hídrico em culturas agrícolas é através do uso do índice de vegetação, obtido a partir de dados coletados por sensores remotos. Esses índices, além de reduzir a dimensão das informações espectrais e minimizar o impacto das condições de iluminação e visada, permitem modelar mais facilmente os dados espectrais em conjunto com as variáveis biofísicas da vegetação (Rizzi et al., 2006), tais como o IAF (Índice de Área Foliar).

O IAF, que expressa a relação funcional existente entre a área foliar e a área do terreno ocupada pela cultura têm sido muito utilizado em estudos relacionados com produtividade agrícola. A importância da área foliar de uma cultura é amplamente conhecida por ser um parâmetro indicativo de produtividade, pois o processo fotossintético depende da taxa fotossintética por unidade de área foliar e da interceptação da radiação solar, as quais, entre outros aspectos, são influenciadas pelas características da arquitetura da copa e da dimensão do sistema fotoassimilador (Leong et al., 1980). O IAF pode ser obtido a partir de medições em campo ou indiretamente através de índices de vegetação, tais como o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), provenientes de imagens de satélite. Atualmente, o produto MOD15A2, gerado a partir de dados coletados pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo do satélite Terra e Aqua fornece estimativas de IAF em âmbito global.

Atualmente alguns autores têm se dedicado ao uso do IAF estimado por sensoriamento remoto, em um modelo agrometeorológico-espectral, a fim de obter de forma objetiva, a produtividade de culturas agrícolas (Rizzi et al., 2006; Picoli, 2006; Rosa, 2007). Este modelo agrometeorológico-espectral baseia-se no procedimento apresentado no relatório nº. 33 da FAO (*Food and Agriculture Organization*), de Doorenbos e Kassam (1979). Inicialmente foi escrito em linguagem FORTRAN por Rudorff (1985) e mais tarde implementado por Berka et al. (2003) no SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas). O modelo tem por base penalizar a produtividade potencial em função da deficiência hídrica. Esta penalização se dá através do somatório da relação entre a evapotranspiração real e a potencial (ER/EP) e de um fator de resposta à produtividade (ky) que relaciona a deficiência hídrica com a demanda de água pela cultura nos diferentes estádios fenológicos.

Sendo assim o objetivo deste trabalho foi estimar a produtividade da cultura do café para a região Sul/Sudoeste do Estado de Minas Gerais a partir do modelo agrometeorológico-espectral para os anos agrícolas 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008 na região Sul/Sudoeste utilizando o índice de área foliar do produto MOD15A2.

2. Material e métodos

A metodologia foi aplicada para a mesorregião geográfica Sul/Sudoeste do Estado de Minas Gerais localizada entre os paralelos 20°11' e 23°00' S e os meridianos 43°59' e 47°20' O. Essa mesorregião é responsável por 46% da produção de café de todo o Estado (IBGE, 2008).

De acordo com a divisão fenológica determinada por Camargo e Camargo (2001) o cafeeiro apresenta seis fases fenológicas (duas vegetativas e quatro reprodutivas) num período total de dois anos até completar o seu ciclo de produção. Para aplicar o modelo agrometeorológico-espectral foi considerado apenas o período reprodutivo do cafeeiro.

O modelo agrometeorológico-espectral utilizado neste trabalho baseia-se no procedimento apresentado no relatório nº. 33 da FAO (*Food and Agriculture Organization*), de Doorenbos e Kassam (1979) conforme equação 1.

$$P_{est} = P_m \left[1 - k_y \left(1 - \frac{E_r}{E_p} \right) \right] \quad (1)$$

em que: P_{est} = produtividade estimada pelo modelo; P_m = produtividade máxima potencial; k_y = fator de resposta à produtividade e E_r/E_p = evapotranspiração relativa.

O modelo foi aplicado para os anos agrícolas 2005-2006 (alta produtividade), 2006-2007 (baixa produtividade) e 2007-2008 (alta produtividade). A resolução temporal utilizada foi de 16 dias e a espacial de 1 km. Para tanto, todos os dados de entrada foram compatibilizados com as mesmas resoluções.

As variáveis de entrada do modelo para o cálculo do balanço hídrico são: temperatura média do ar (°C), velocidade do vento a 2 m de altura (m dia⁻¹), umidade relativa do ar (%), insolação (horas.dia⁻¹) ou radiação solar (cal.cm⁻².dia⁻¹) e precipitação pluvial (mm.dia⁻¹). Estes dados foram obtidos a partir das previsões do modelo regional ETA (Chan, 1996), cedidos pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Os cálculos para adequação das previsões às variáveis de entrada basearam-se no trabalho de Rizzi et al. (2006). Outros dados necessários ao modelo para o cálculo do balanço hídrico foram: altitude, capacidade de armazenamento de água disponível no solo (CAD) e profundidade do sistema radicular (D). A altitude foi obtida do modelo digital de elevação *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) disponibilizado na Internet pelo *United States Geological Survey* (USGS). A CAD foi estimada com base num mapa de classificação de solos, na escala de 1:1.000.000, cuja digitalização encontra-se disponível em Geominas (1996), em que os valores de CAD (50, 70 ou 100 mm) foram atribuídos para cada classe pedológica, de acordo com Embrapa (1999). A profundidade do sistema radicular (D) foi definida como sendo de 1 m com base no trabalho de Franco e Inforzato (1946).

O valor do coeficiente da cultura (kc) utilizado neste trabalho foi igual à unidade considerando que o balanço hídrico foi feito para o cafeeiro adulto (Camargo e Pereira, 1994). Os valores do fator de resposta à produtividade (ky) para a cultura do café foram determinados por Santos e Camargo (2006) em propriedades rurais no Estado de São Paulo.

Para o cálculo da produtividade máxima ou potencial (Yp), Rizzi (2004) adaptou ao modelo agrometeorológico a variável espectral ao utilizar os valores de IAF para estimar o parâmetro denominado fator de compensação do crescimento (Fcc), de acordo com as Equações 2 e 3. Uma alternativa para este parâmetro de entrada é o uso do IAF obtido pelo produto MOD15A2. Sendo assim, foi feita uma pré-análise do perfil temporal do IAF em áreas cafeeiras para o ano 2006/07.

Posteriormente os valores de IAF foram utilizados no cálculo do fator de compensação do crescimento cuja equação 2 foi ajustada por Sugawara (2002) com base em dados tabulares apresentados em Doorenbos e Kassam (1979).

$$F_{cc} = 0,515 - e^{(-0,664 - (0,515 * IAF))} \quad (2)$$

em que: F_{cc} = fator de compensação do crescimento; IAF = índice de área foliar.

Assim, a produtividade máxima ou potencial foi calculada a partir da equação 3 (Doorenbos e Kassam, 1979).

$$Y_p = F_{cc} * Fr * F_{pa} * ND * PMB \quad (3)$$

em que: Y_p = produtividade máxima potencial (kg ha⁻¹); F_{cc} = fator de compensação do crescimento; Fr = fator de respiração; F_{pa} = fator de produtividade agrícola; ND = número de dias da quinzena; PMB = produção de matéria seca bruta do grupo da cultura (Rudorff, 1985).

Outro parâmetro requerido pelo modelo agrometeorológico-espectral é o fator de produtividade agrícola (FPA) que relaciona a quantidade de matéria seca produzida pela cultura com os grãos de café. De acordo com Doorenbos e Kassam (1979) a base de cálculo da matéria seca produtiva leva em consideração a taxa de produção em kg/ha/hora em diferentes temperaturas. Entretanto, para culturas perenes, o Boletim da FAO (nº 33) apresenta apenas a taxa de produção para citros, classificada como cultura de verão com taxa de produção inferior a 20kg/ha/hora. Diante da semelhança das culturas citros e café foram adotados os mesmos parâmetros apresentados para esse grupo. No entanto, Rosa (2007) observou que os valores de FPA diferem para anos de alta produtividade e baixa produtividade, uma vez que a relação entre a matéria seca e a quantidade de grãos produzidos é influenciada pela bienalidade da cultura. Assim, foram adotados os valores 0.032 para ano de baixa produtividade e 0.048 para ano de alta produtividade (Rosa, 2007).

A estimativa da produtividade pelo modelo agrometeorológico-espectral na área de estudo foi feita somente para as lavouras de café utilizando-se para tais mapas temáticos contendo a distribuição espacial da área de café (2005, 2006 e 2007) gerados por Moreira et al., (2007).

Os resultados de produtividade foram comparados com a produtividade divulgada pelo IBGE. Para os municípios, além de comparar a produtividade foi realizada a estimativa de produção calculada com base na área de café mapeada por Moreira (2007) cujo resultado foi comparado com a estimativa de produção do IBGE.

3. Resultados e Discussão

Ao analisar os IAF de áreas de café nos produtos MOD15A2, constatou-se que havia valores espúrios próximos a 25 no IAF. Como estes valores não condizem com o encontrado na literatura (Favarin et al., 2002), foram excluídos da análise e conseqüentemente do cálculo da produtividade máxima, uma vez que o valor de Fcc estabiliza em 0,5 para valores de IAF maior ou igual a 5 (Doorenbos e Kassam, 1979). Assim, a Figura 1 apresenta a média e o desvio padrão dos valores de IAF/MOD15A2 para uma amostra de 2420 pixels completamente ocupados pela cultura do café, excluindo os valores espúrios.

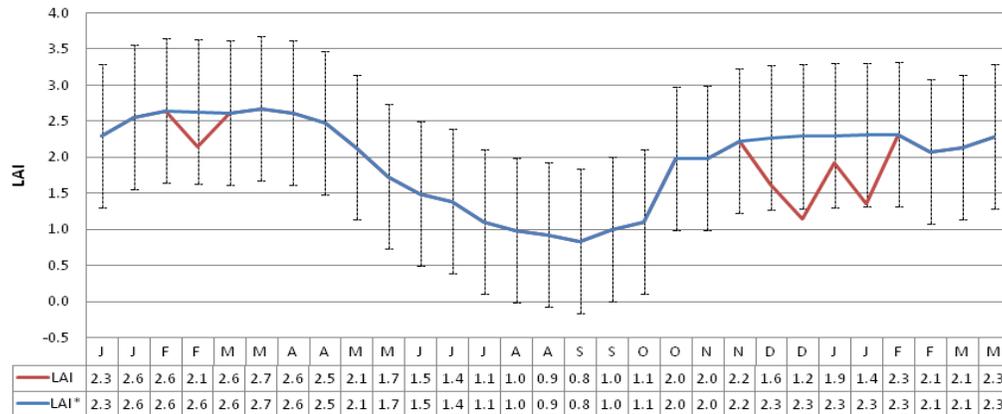


Figura 1. Perfil temporal do comportamento do IAF do produto MOD15A2 para a cultura do café no período de janeiro de 2006 a março 2007.

Nota-se que para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, apresentam quedas nos valores de IAF, incompatíveis com o estágio de desenvolvimento da cultura, que podem ser explicadas pela alta ocorrência de nuvens neste período. Por este motivo, neste período os dados foram interpolados (Lai*). É interessante destacar que menores valores do IAF são encontrados no período entre maio a agosto devido a derriça das folhas em conseqüência da colheita.

As estimativas da produtividade e da penalização calculadas por meio do modelo agrometeorológico-espectral, para os três anos safras, estão contidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados da estimativa do modelo agrometeorológico-espectral.

ANO AGRÍCOLA	IAF	PESTIMADA (kg.ha ⁻¹)	PMAXIMA (kg.ha ⁻¹)	IP (%)	IBGE (kg.ha ⁻¹)	DIF RELATIVA (%)
2005/06	IAF MOD15A2	1230	1327	7	1308	-5.94
2006/07	IAF MOD15A2	777	845	8	817	-4.90
2007/08	IAF MOD15A2	894	1139	21	1137*	-21.41

*Resultados preliminares sujeitos a alterações antes do fechamento.

Em relação a referência (IBGE) verifica-se que as estimativas da produtividade dos anos 2005/2006 e 2006/2007 foram subestimadas, em 5.9% e 4.9% respectivamente.

Para o ano de 2007/08 a produtividade estimada foi atípica ao esperado em ano de alta produtividade, sendo esta igual à 894 kg.ha^{-1} . No entanto, verifica-se que a produtividade máxima, estimada pelo modelo (1139 kg.ha^{-1}) é muito próxima a divulgada pelo IBGE (1137 kg.ha^{-1}). Por outro lado, a produtividade real estimada foi penalizada em 21% considerando os dados preliminares do IBGE. Essa quebra de produtividade pode ser justificada pelo atraso das chuvas no período de floração (setembro) constatado pela deficiência hídrica mostrada no gráfico do balanço hídrico da Figura 2, segundo Thornthwaite e Mather (1955) cujo cálculo e representação gráfica foram cedidos por Camargo e Camargo (2001). É interessante observar que a deficiência hídrica se estende até a primeira quinzena de outubro do ano de 2007 chegando a 50 mm. Neste período normalmente espera-se maior demanda hídrica já que a florada inicia-se cerca de 8 a 15 dias após um aumento do potencial hídrico nas gemas florais maduras (choque hídrico) causados por chuva ou irrigação responsáveis pela acumulação de cerca de 350mm de evapotranspiração potencial Camargo e Camargo (2001). Além disso, temperaturas elevadas (médias acima de 23°C) em outubro e dezembro podem ter antecipado a formação do chumbinho e, conseqüentemente, afetado a qualidade do grão.

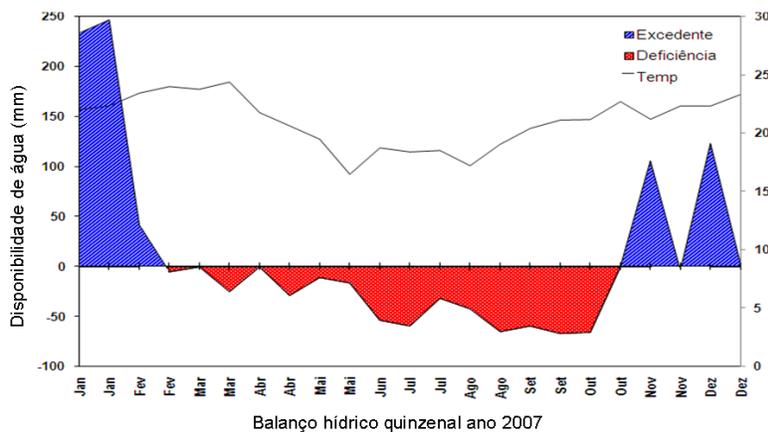


Figura 2 – Balanço Hídrico para o ano de 2007 em áreas cafeeiras.

A Figura 3 apresenta o resultado da produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico-espectral para os anos agrícolas 2005/2006, 2006/2007 e 2007/2008.

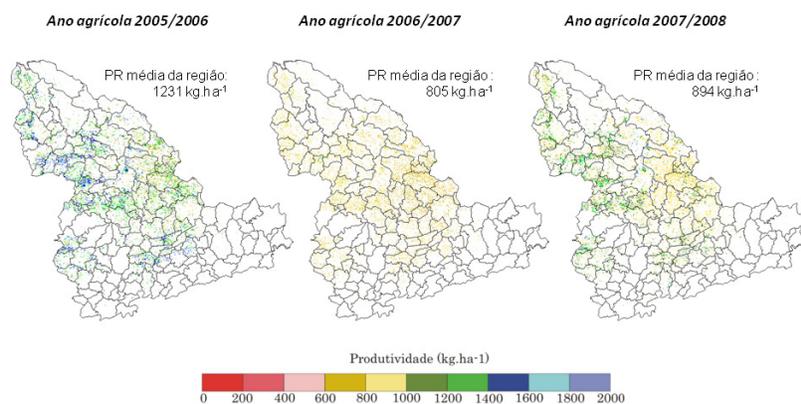


Figura 3 – Produtividade estimada pelo modelo agrometeorológico-espectral.

Pode-se observar que a produtividade estimada para o ano agrícola 2006/2007 foi a menor entre os três anos estudados (805 kg.ha^{-1}) explicada pela característica de bienalidade da cultura,

ou seja, este é um ano de baixa produtividade. Ao observar a espacialização da produtividade do café para os anos 2005/2006 e 2007/2008 (anos de alta produção), nota-se que a produtividade foi bastante afetada no ano de 2007/08. A máxima produtividade na região não ultrapassou 1400 kg.ha⁻¹, enquanto que no ano de 2005/06 a produtividade estimada em alguns municípios chegou a 1600 kg.ha⁻¹. Esse resultado mostra espacialmente os dados da Tabela 1.

A Figura 4 apresenta a espacialização da penalização ocorrida na produtividade em relação à produtividade máxima estimada pelo modelo agrometeorológico-espectral por período fenológico. É interessante observar que no período de florada e expansão dos frutos (setembro a dezembro) a penalização foi maior em todos os anos, comparado aos demais períodos. Tal fato é justificado por ser uma fase de grande comprometimento para o cafeeiro. No ano de 2007/2008 pode-se notar que a penalização atingiu 30 a 40% em grande parte da região neste período. Isso reforça a importância da demanda hídrica para o início da florada e o crescimento dos frutos. Por outro lado, Camargo e Camargo (2001) ressaltam que cafeeiros que receberem muita água neste período podem apresentar florada indefinida. Além disso, temperatura ambiente elevada associada a um intenso déficit hídrico durante o início da florada provoca a morte dos tubos polínicos pela desidratação e, conseqüentemente, o abortamento das flores, o que resulta nas conhecidas “estrelinhas” (Camargo, 2005).

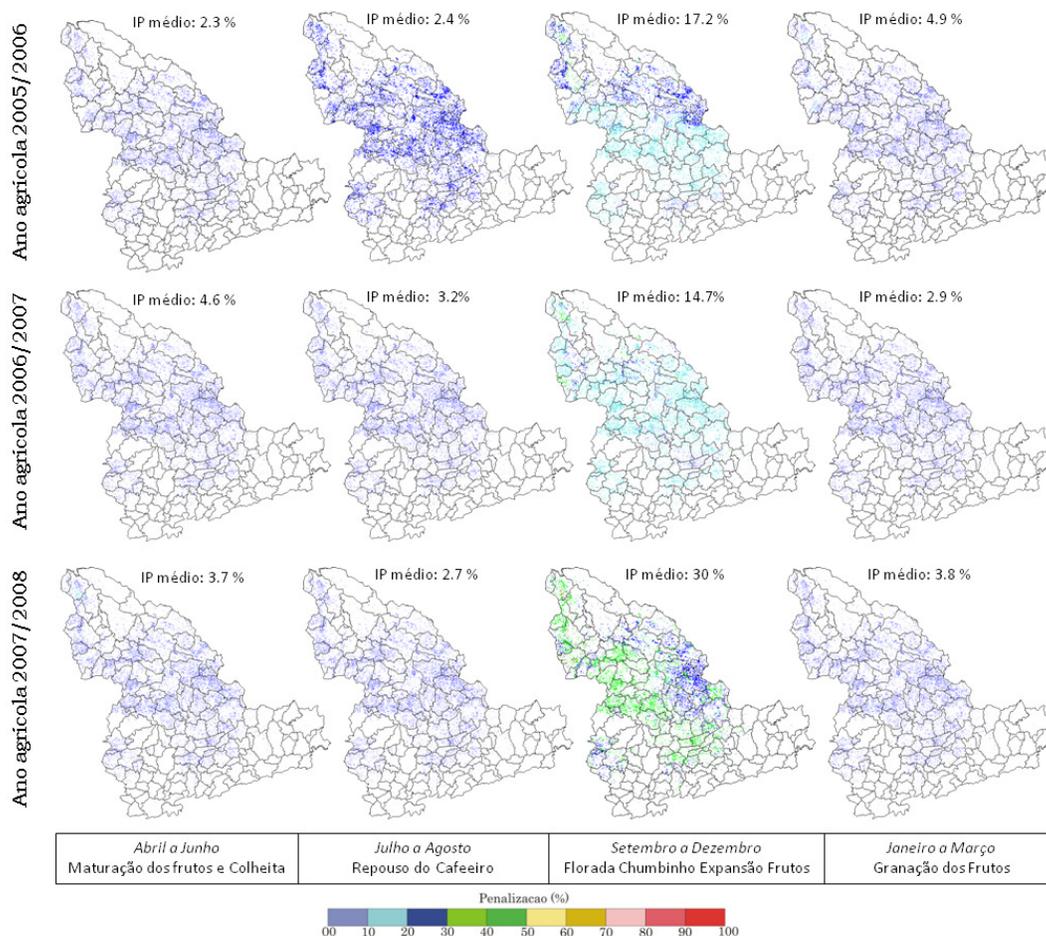


Figura 4 – Penalização estimada para cada período fenológico.

As Figuras 5 e 6 apresentam os resultados das estimativas a nível municipal. Observa-se um maior range de variação na produtividade do IBGE em relação ao modelo. Em 2005/06 a estimativa do IBGE foi de 300 a 2200 kg.ha⁻¹ enquanto que o modelo variou de 400 a 1500 kg.ha⁻¹ e, em 2006/07, os valores do IBGE foram de 300 a 1500 kg.ha⁻¹ e o modelo de 600 a 1000 kg.ha⁻¹ (Figura 5). Essa diferença entre as duas estimativas de produtividade resultou em baixa correlação que pode ser explicada por alguns fatores que não são considerados pelo modelo tais como: diferenças de manejo em lavouras (adensamento e uso de irrigação) que ocasionam maior produtividade em alguns municípios e a variedade e idade das lavouras. Alia-se a isso a forma de levantamento de dados adotada pelo IBGE. Pode-se exemplificar ao observar nos dados do IBGE apresentados na Figura 5, a presença de vários municípios com produtividade média superior a 36 sacas de café beneficiado por ha, o que indicaria um comportamento atípico, já que para isso a maioria das lavouras deveria ser cultivada em regime adensado e com alta produtividade.

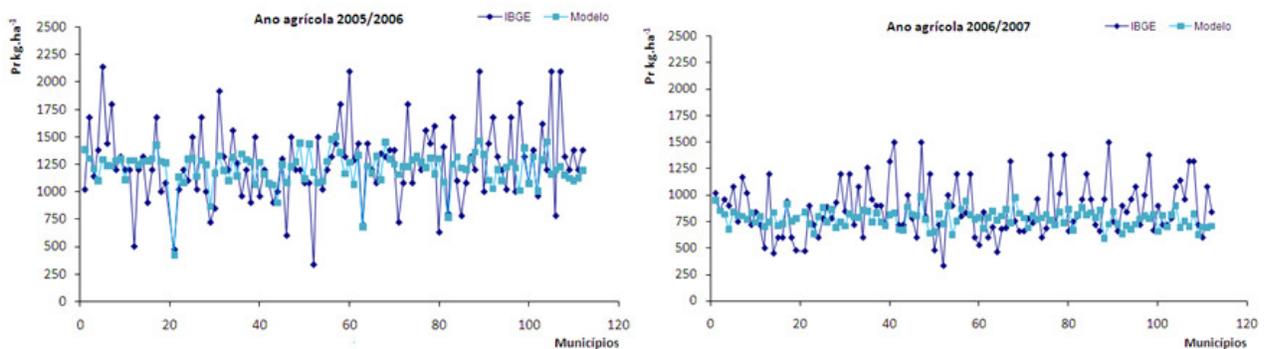


Figura 5 – Comportamento da produtividade estimada em nível de município.

Entretanto, ao analisar os gráficos de produção (Figura 6) observa-se um aumento da correlação entre as estimativas do modelo e do IBGE. Isto indica que a produção por município é mais bem controlada pelo instituto do que a produtividade, o que concorda com Rizzi (2004). Por outro lado, verifica-se a presença de *outliers* (círculos em vermelho, Figura 6) que representam municípios com produção distinta entre a estimada pelo IBGE e a estimada pelo modelo, tais inconsistências podem ser resultado da forma de estimativa de área.

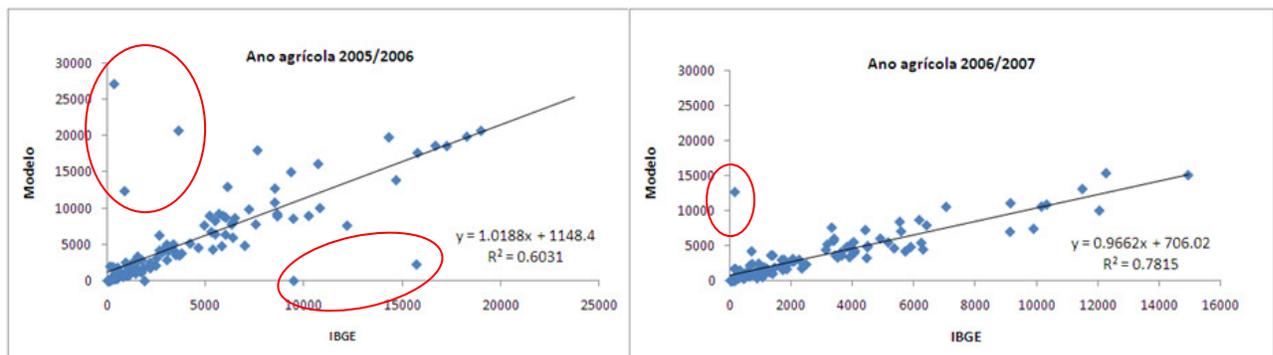


Figura 6 – Correlação entre a produção estimada e a referência.

4. Conclusão e Recomendações

Apesar dos valores espúrios encontrados nos dados de IAF do produto MOD15A2, o dado se mostrou aplicável para o modelo, por ser um produto disponível gratuitamente e pela ausência de trabalhos com medições em campo de IAF para café.

Recomenda-se que sejam o modelo seja aplicado para anos anteriores usando o produto MOD15A2 a fim de estabelecer um melhor ajuste do fator de produtividade agrícola.

5. Referências Bibliográficas

- 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, Mar. 2003.
- CAMARGO, A. P.; PEREIRA, A. R. **Agrometeorology of the coffee crop**. Geneva: World Meteorological Organization. WMO/TD. n. 615, 43 p. 1994.
- CAMARGO A. P., CAMARGO M. B. P. Definição das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Agrometeorologia**, Campinas, v. 60, n.1, p. 65-68, Mar 2001.
- CHAN, S.C. Modelo regional ETA. **Climanálise especial, edição comemorativa de 10 anos**. CPTEC/INPE , v.10, Out 1996.
- DOORENBOS, J., PRUIT, W.O. **Crop water requirements**. Roma: FAO. 1977. 144 p. (FAO: Irrigation and Drainage Paper, n. 24).
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa Produção de Informação, p. 412, 1999.
- Favarin, J.L.; Dourado-Neto, D.; Garcia y Garcia, A.; Villa Nova, N.A.; Favarin, M. da G.G.V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.6, p.769-773, 2002.
- Fernandes, A.L.T.; Santinato, R.; Santo, J.E.; Amaral, R. Comportamento vegetativo-produtivo do cafeeiro Catuaí cultivado no oeste baiano sob irrigação por pivô central. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada, 1., 1998, Araguari. **Anais...** Uberlândia: UFU/DEAGO, 1998.p.40-44.
- FRANCO, C. M. e INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**. Campinas, n.6, p. 443-478. 1946.
- GEOMINAS. PRODEMGE - Companhia de Tecnologia da Informação do Estado de Minas Gerais, 1996. **Mapas/Downloads**. Disponível em: < <http://www.geominas.mg.gov.br>>. Acesso em: 13 Out 2005.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades**. [S.l.]. Disponível: <<http://www1.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em: 5 Out 2008.
- LEONG, W. Canopy modification and its effects on the growth and yield of *Hevea brasiliensis* Muell. Arg.1980. 283 p. Thesis (Ph.D.) - Faculty of Agriculture Sciences of Ghent, Ghent.
- MOREIRA, M. A.; BARROS, M. A.; FARIA, V. G. C.; ADAMI, M. Tecnologia de informação: imagens de satélite para o mapeamento de áreas de café de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 28, n. 241, p. 27-37. 2007.
- PICOLI, M. C. A. **Estimativa da produtividade agrícola da cana de açúcar utilizando agregados de redes neurais artificiais**: estudo de caso usina Catanduva. 95 p. (INPE-12271-TDI/983). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2006.
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v. 11, n. 126, 26-40p. 1985.
- RIZZI, R. **Geotecnologias em um sistema de estimativa da produção de soja: estudo de caso no Rio Grande do Sul**. 214 p. (INPE-12271-TDI/983) - Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.
- RIZZI, R.; RUDORFF, B.F.T; FREITAS, R.; FONTANA, D. C. Monitoramento e estimativa da produtividade de soja auxiliados pelo modelo regional de previsão de tempo ETA. **Revista Ambi-Água**, Taubaté, v. 1, n. 2, p. 28-38, 2006.
- ROSA, V. G. C. **Modelo agrometeorológico-espectral para monitoramento e estimativa da produtividade do café na região sul/sudoeste do estado de Minas Gerais**. 2007-04-18. 145 p. (INPE-14791-TDI/1234). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2007.
- Rudorff, B.F.T.; Batista, G.T. Resposta espectral da cana-de-açúcar através de dados multiespectrais do MSS do Landsat-4. In: Reunião da Sociedade de Especialistas Latinoamericanos em Sensoriamento Remoto – Selper, 4, 1984. Chile. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1985. 12p. Publicado como: (INPE-3474-PRE/717).
- SANTOS, M. A.; CAMARGO, M.B.P. Parametrização de modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade do cafeeiro nas condições do estado de São Paulo(1). **Bragantia**, Campinas, v. 65, n.1, p.173-183, 2006.
- SUGAWARA, L. M. **Avaliação de modelo agrometeorológico e imagens NOAA/AVHRR no acompanhamento e estimativa de produtividade da soja no Estado do Paraná**. 2002. 181p. (INPE-8702-TDI/794). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2002.