

Uso do sensoriamento remoto na obtenção de parâmetros biofísicos em plantios de soja

Ricardo Guimarães Andrade*¹, Luiz Eduardo Vicente*¹,
Antônio Heriberto de Castro Teixeira*¹, Janice Freitas Leivas*¹,
Daniel de Castro Victoria*¹, Samuel Roggia*², Júlio César Franchini*²

¹Pesquisador, Embrapa Monitoramento por Satélite. Av. Soldado Passarinho, 303, CEP 13070-115, Campinas, SP

² Pesquisador, Embrapa Soja. Rod. Carlos João Strass, Distrito de Warta, CEP 86001-970, Londrina, PR

*E-mails: ricardo.andrade@embrapa.br, luiz.vicente@embrapa.br, heriberto.teixeira@embrapa.br, janice.leivas@embrapa.br, daniel.victoria@embrapa.br, saumel.roggia@embrapa.br, julio.franchini@embrapa.br

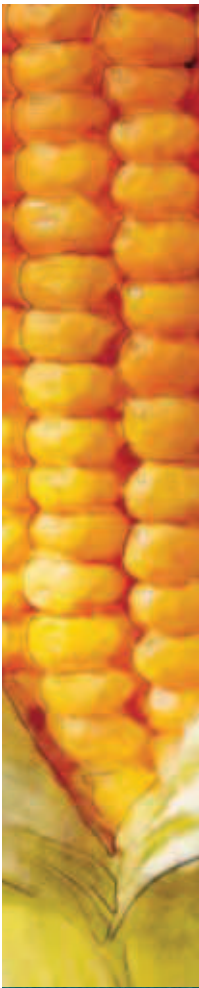
Resumo: Neste trabalho, objetivou-se a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto como ferramenta para obtenção de parâmetros biofísicos em plantios de soja. O estudo abrange a região da fazenda da Embrapa Soja, Londrina, PR. Foram utilizados dados meteorológicos de estação convencional pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e imagem do satélite WorldView-2 do dia 30/01/12. A metodologia foi satisfatória na obtenção de parâmetros biofísicos em plantios de soja e tem uso potencial como ferramenta para o monitoramento e a avaliação das condições de cultivo. Tais resultados podem auxiliar em estratégias mais adequadas para tomada de decisão em larga escala.

Palavras-chave: soja, Worldview-2, monitoramento

Use of remote sensing techniques in obtaining biophysical parameters in soybean plantations

Abstract: This study aimed at applying remote sensing techniques as tool to obtain biophysical parameters in soybean plantations. The study area includes farm of the National Soybean Research Center (Embrapa Soybean), Londrina, Brazil. We used meteorological data from conventional station belonging to the National Institute of Meteorology of Brazil (INMET) and WorldView-2 satellite image from January 30th, 2012. The methodology used was satisfactory in obtaining biophysical parameters in soybean plantations and has potential use as tool for monitoring and evaluating of culture conditions. These results may help in the most appropriate strategies for decision making on large scale.

Keywords: soybean, Worldview-2, monitoring



1. Introdução

O sucesso da soja como cultura agrícola no Brasil deve-se principalmente aos avanços tecnológicos ligados ao uso de cultivares adaptada e de alta produtividade, a mecanização e o conhecimento de estratégias adequadas de manejo cultural e fitossanitário, bem como, a ampliação da área cultivada. Nesse contexto, a soja foi uma das culturas agrícolas que viabilizou a exploração agrícola do Cerrado brasileiro. Este processo foi responsável pelo desenvolvimento de regiões que até alguns anos atrás eram de baixo desenvolvimento econômico e, conseqüentemente, pouco povoadas. Atualmente, muitas dessas regiões se destacam em termos de produção de soja e vem contribuindo para consolidação do país como um dos maiores produtores mundiais de soja.

A produção de soja prevista para safra 2012/2013 é superior a 80 milhões de toneladas, com área cultivada de aproximadamente 28 milhões de hectares (COMPANHIA..., 2013). Dada a relevância da soja para a economia brasileira, torna-se imprescindível a obtenção de informações que auxiliem na tomada de decisão no que se refere ao plantio, manejo e comercialização da produção (RIZZI; RUDORFF, 2005). Nesse contexto, é de primordial importância o desenvolvimento e a aplicação de técnicas que contribuam para a identificação, a quantificação e o monitoramento da produção agrícola tanto na escala local quanto regional (BATISTELLA et al., 2011; ANDRADE et al., 2013).

A agricultura de precisão é uma técnica de grande aplicação para tomada de decisão sobre muitas das práticas de manejo na lavoura. No entanto, essa técnica depende do mapeamento diagnóstico da lavoura e de equipamentos capazes de realizar operações calibradas de amostragem e quantificação de fatores bióticos e abióticos que ocorrem na lavoura. Em alguns casos, dependendo da dimensão da área cultivada esses métodos tradicionais podem se tornar trabalhosos e desestimular o seu emprego. Nesse caso, as técnicas de sensoriamento remoto podem corroborar para a agricultura de precisão com informações em diferentes escalas espaciais e temporais das áreas cultivadas e contribuir para o monitoramento dos fatores bióticos e abióticos

com impactos positivos para a tomada de decisão principalmente em larga escala.

Esta técnica pode auxiliar, por exemplo, na tomada de decisão referente a mão-de-obra nos tratos culturais, no uso de máquinas e de implementos agrícolas e na logística de colheita quanto ao armazenamento e escoamento da produção. Nesse sentido, diversas pesquisas destacam o potencial das técnicas de sensoriamento remoto para obtenção de parâmetros biofísicos de superfície (TEIXEIRA et al., 2009; ANDRADE et al., 2012) e predição da produção das culturas (BASTIAANSEN; ALI, 2003; TEIXEIRA et al., 2012). Diante do exposto, este trabalho objetivou aplicar técnicas de sensoriamento remoto como ferramenta para obtenção de parâmetros biofísicos em plantios de soja.

2. Material e Métodos

O presente estudo abrange a região da fazenda da Embrapa Soja, Londrina, PR (Figura 1). Para obtenção de parâmetros biofísicos em áreas de plantios de soja, utilizou-se de uma imagem do satélite WorldView-2 do dia 30 de janeiro de 2012 e de dados meteorológicos diários provenientes da estação meteorológica convencional instalada no município de Londrina, PR, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O WorldView-2 representa uma nova geração de satélites com sensores capazes de imagear a superfície em altíssima resolução espacial (~ 0,50 m - módulo pancromático), com características multispectrais de 8 bandas dispostas ao longo do visível ao infravermelho próximo (400-1040 nm), tornando-o singular para aplicações em agricultura de precisão.

Inicialmente, a imagem do satélite WorldView-2 passou pelas etapas de correção geométrica e radiométrica. Posteriormente, obteve-se a reflectância no topo da atmosfera (ρ_{TOA}) e a reflectância de superfície em cada banda ao aplicar o método DOS (*Dark Object Subtraction*) proposto por Chavez Junior (1988, 1989) para corrigir os efeitos da atmosférica nos valores de reflectância registrados em cada pixel da imagem.

Em seguida, obteve-se o índice de vegetação ajustado para correção dos efeitos do solo

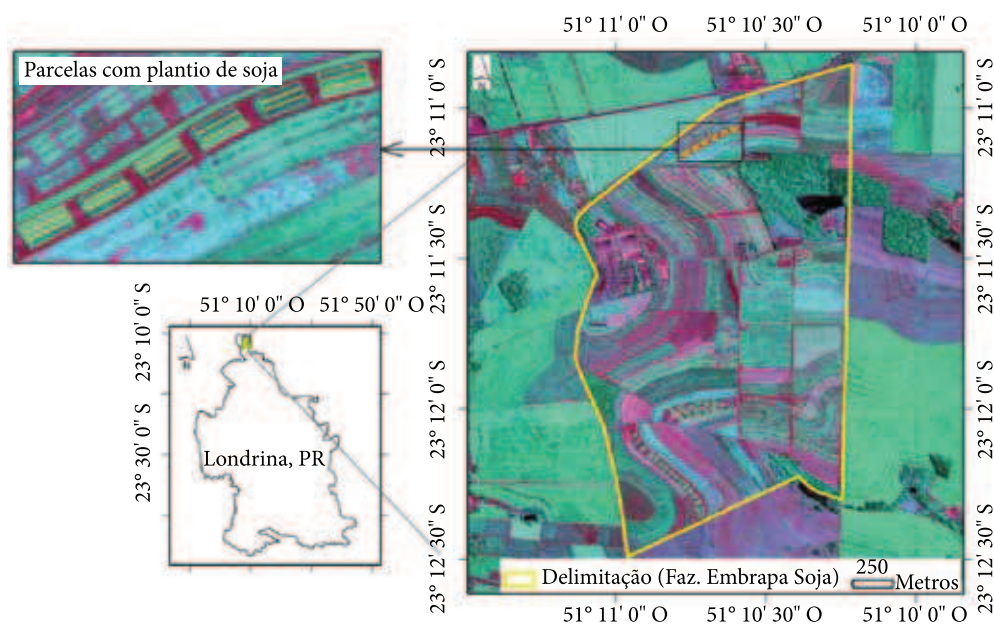


Figura 1. Localização da área de estudo. A linha amarela se refere à delimitação da fazenda da Embrapa Soja, Londrina, PR, e no canto superior esquerdo da figura podem ser visualizadas parcelas com plantio de soja. No plano de fundo, imagem WorldView-2 na composição RGB.

(Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI), conforme Huete (1988):

$$SAVI = \frac{(I+L) \times (\rho_{IVP} - \rho_{VERM})}{(L + \rho_{IVP} + \rho_{VERM})} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde, L representa o grau de fechamento do dossel variável de 0 a 1, sendo utilizado o valor médio de 0,5. Já os parâmetros ρ_{IVP} e ρ_{VERM} são as reflectâncias de superfície nas bandas do infravermelho próximo e do vermelho, respectivamente. O SAVI foi utilizado na estimativa do índice de área foliar (IAF) ao aplicar a equação (ALLEN et al., 2002):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad \text{Eq. (2)}$$

A próxima etapa foi o cálculo do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) conforme equação 3 de (ROUSE et al., 1973):

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_{VERM})}{(\rho_{IVP} + \rho_{VERM})} \quad \text{Eq. (3)}$$

De posse dos valores de NDVI foi possível aplicar o modelo de regressão linear simples

proposto por Kamble, Kilic e Hubbard (2013) para estimativa do coeficiente da cultura (K_c):

$$K_{C_{NDVI}} = 1,457 \times NDVI - 0,1725 \quad \text{Eq. (4)}$$

Para estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c , dada em mm dia^{-1}) empregou-se a equação 5:

$$ET_c = K_{C_{NDVI}} \times ET_o \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde, ET_o é a evapotranspiração de referência, dada em milímetros por dia, estimada por meio do método Penman-Monteith, detalhado no boletim da FAO N° 56 (ALLEN et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0,408 \times (R_n - G) + \left[\gamma \times \left(\frac{900}{T + 273} \right) \times u_2 \times (e_s - e_a) \right]}{\Delta + \gamma \times (1 + 0,34 \times u_2)} \quad \text{Eq. (6)}$$

Onde, R_n é a radiação líquida à superfície da cultura ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), G é a densidade de fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$), T é a média diária da temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), u_2 é a velocidade do vento a 2 metros de altura (m s^{-1}), e_s é a pressão de vapor de saturação do ar (kPa), e_a é a pressão de vapor atual do ar (kPa), $e_s - e_a$ é o déficit de pressão de vapor de saturação do ar (kPa), Δ é a declividade da curva de pressão de vapor do ar na atmosfera ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) e γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

A biomassa da vegetação foi estimada por meio da equação 7:

$$BIO = \sum (\varepsilon_{max} \times E_f \times APAR \times 0,864) \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde, BIO é o acúmulo de biomassa da vegetação (kg ha^{-1}), ε_{max} é a máxima eficiência do uso da radiação, considerou-se o valor de $2,5 \text{ g MJ}^{-1}$ (BASTIAANSEN; ALI, 2003), E_f é a razão entre o fluxo de calor latente (λE , em W m^{-2}) e o saldo de radiação (W m^{-2}) (TEIXEIRA et al., 2012). Nesse caso, obteve-se λE da cultura por meio dos valores de ET_c ao transformar a unidade mm dia^{-1} para W m^{-2} . Já o saldo de radiação foi estimado a partir dos dados oriundos da estação meteorológica. O parâmetro APAR é a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (W m^{-2}) e foi estimada por meio da equação 8 (TEIXEIRA et al., 2009):

$$APAR = (-0,161 + 1,257 \times NDVI) \times 0,44 \times R_G \quad \text{Eq. (8)}$$

Onde, R_G é a radiação solar global incidente (W m^{-2}) e o escalar 0,44 representa a porcentagem da R_G referente à radiação fotossinteticamente ativa (PAR).

A Figura 2 apresenta o fluxograma das etapas realizadas na obtenção dos parâmetros biofísicos em áreas de plantios de soja.

3. Resultados e Discussão

Nas Figuras 3a e 3b são respectivamente apresentados os mapas do NDVI e do SAVI para a área de estudo que abrange a fazenda experimental da Embrapa Soja, Londrina, PR. Nota-se que os valores de NDVI variaram de -0,81 a 0,97, com valor médio de 0,29. Já o SAVI que é um índice que busca minimizar os efeitos do solo, teve variações entre -0,71 a 0,69, com média de 0,23. Como esperado, esses índices apresentaram os valores mínimos principalmente em pixels que representam áreas de corpos d'água. Valores altos ($NDVI > 0,7$ e $SAVI > 0,5$) se destacaram mais (cor verde) em grandes áreas agrícolas ao redor da fazenda da Embrapa Soja. Porém, ressalta-se que em parcelas experimentais cultivadas com soja em estágio superior a 80 dias (Figura 1), foram observados valores de NDVI entre -0,13 e 0,70, com média de $0,46 \pm 0,17$ (Figura 3a). Já os valores de SAVI nessas parcelas variaram de -0,18 a 0,58, com média de $0,36 \pm 0,15$ (Figura 3b).

A Figura 4a mostra a distribuição espacial do coeficiente de cultura (Kc) estimado a partir do modelo de regressão linear simples proposto por Kamble, Kilic e Hubbard (2013) e que tem como base uma relação geral do NDVI com Kc em diferentes tipos de manejo e estádios das culturas. Os valores de Kc variaram conforme o vigor da vegetação e o percentual de fechamento

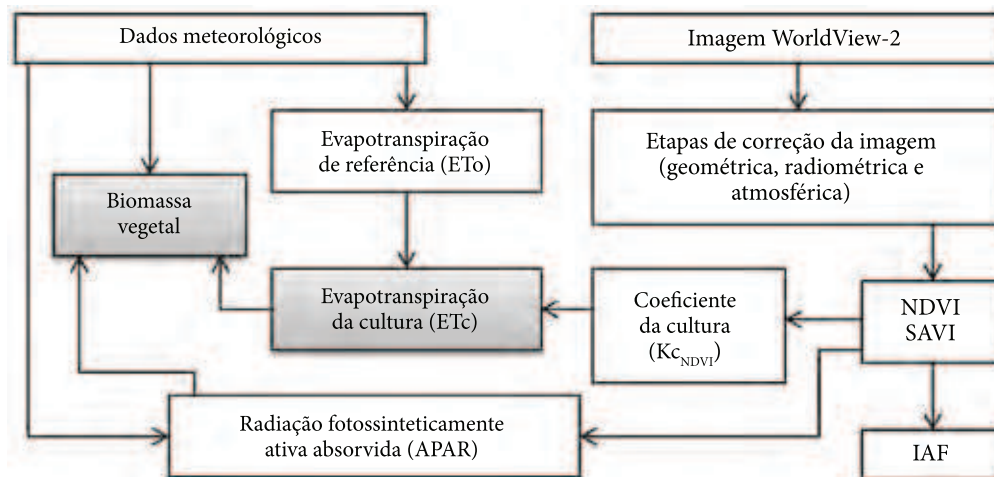


Figura 2. Fluxograma das etapas para obtenção dos parâmetros biofísicos em plantios de soja.

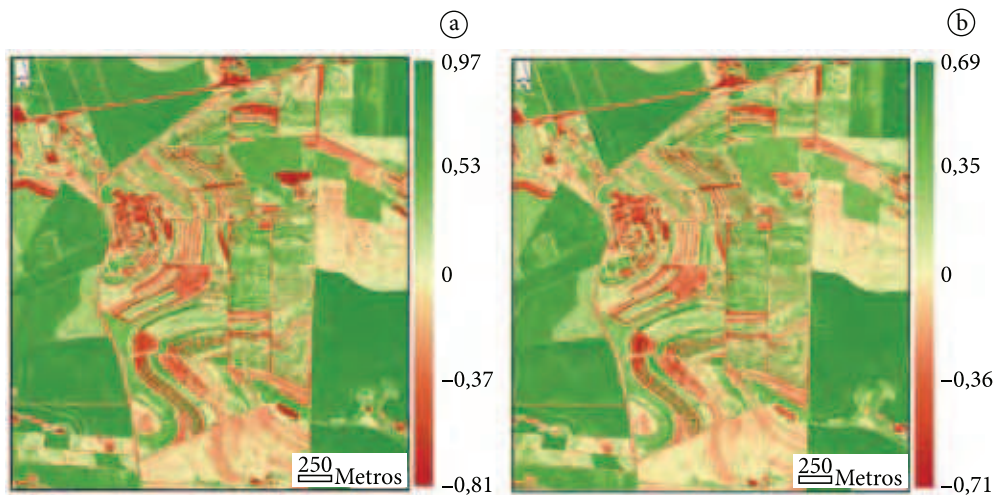


Figura 3. Mapas de NDVI (a) e do SAVI (b) para a área de abrangência da fazenda da Embrapa Soja, Londrina, PR.

do dossel. Além disso, na parcela cultivada com soja e que está destacada na Figura 1, verificou-se que o valor máximo de K_c foi de 0,84, com média de $0,50 \pm 0,23$. Esses valores ficaram entre o K_c do estágio intermediário ($K_{c_{meio}} = 1,07$) e o K_c do estágio final ($K_{c_{final}} = 0,42$) ajustado a partir dos valores tabelados e disponibilizados no boletim da FAO N° 56 (ALLEN et al., 1998). É importante salientar que no mês de janeiro de 2012 choveu 263 mm e que a chuva acumulada dos cinco dias anteriores à passagem do satélite WorldView-2 foi de 19 mm. Nesse caso, o solo está úmido e sem déficit hídrico para as plantas. A alta umidade do solo pode ter influenciado nos resultados obtidos, pois o solo fica mais escuro e afeta diretamente os dados de reflectância da superfície obtidos a partir da imagem do satélite WorldView-2. Essa questão pode ter como respaldo os valores negativos de NDVI e SAVI observados na parcela experimental com plantio de soja (Figuras 1, 3a e 3b).

Na Figura 4b pode ser visualizada a distribuição espacial do índice de área foliar (IAF) da vegetação presente na região da fazenda da Embrapa Soja, Londrina, PR. Valores de IAF igual ou próximos de zero foram observados em áreas com predominância de solo exposto, palhada ou corpos d'água. Os valores de IAF acima de $2,5 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ estão mais distribuídos em grandes áreas de plantio ao redor da fazenda da Embrapa Soja. Porém, para a área como um todo o IAF médio foi de $0,78 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e para a área referente à parcela experimental destacada na Figura 1,

o IAF médio foi de $0,97 \pm 0,41 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e teve valor máximo de $1,82 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Em experimento de campo com a cultivar de soja MG/BR-46 (Conquista), Heiffig et al. (2006) obtiveram valores de IAF que variaram de acordo com o espaçamento entre linhas e o estágio fenológico da cultura. Para 90 dias após o plantio (estádio R_3), os autores observaram valores de IAF oscilando entre $1,7 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e $3,2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para espaçamento entre linhas de 0,7 m e 0,2 m, respectivamente. No entanto, para 85 dias após o plantio, Daughtry et al. (1992) encontraram IAF de $2,2 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e $5,9 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ para espaçamento entre linhas de 0,76 m e 0,18 m, respectivamente.

Nas Figuras 5a e 5b são apresentados os mapas de evapotranspiração (ET, $\text{mm} \text{ mês}^{-1}$) e biomassa vegetal (BIO, $\text{kg} \text{ ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$) da região de estudo. Para o mês de janeiro de 2012, a ET e a BIO tiveram valores superiores a $100 \text{ mm} \text{ mês}^{-1}$ e $4500 \text{ kg} \text{ ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ em grande parte das áreas localizadas próximas das bordas das Figuras 3a e 3b, respectivamente. Para a área como um todo, foram encontrados valores médios de ET e BIO da ordem de $55 \text{ mm} \text{ mês}^{-1}$ e $2935 \text{ kg} \text{ ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$, respectivamente.

Para a área total das parcelas experimentais com plantio de soja (Figura 1), o máximo valor de ET foi de $119 \text{ mm} \text{ mês}^{-1}$, com média de $71 \pm 33 \text{ mm} \text{ mês}^{-1}$ (Figura 5a). Já a BIO teve valor máximo de $8200 \text{ kg} \text{ ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$, com média de $3488 \pm 2440 \text{ kg} \text{ ha}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ (Figura 5b). Em áreas irrigadas, TEIXEIRA et al. (2012) obtiveram

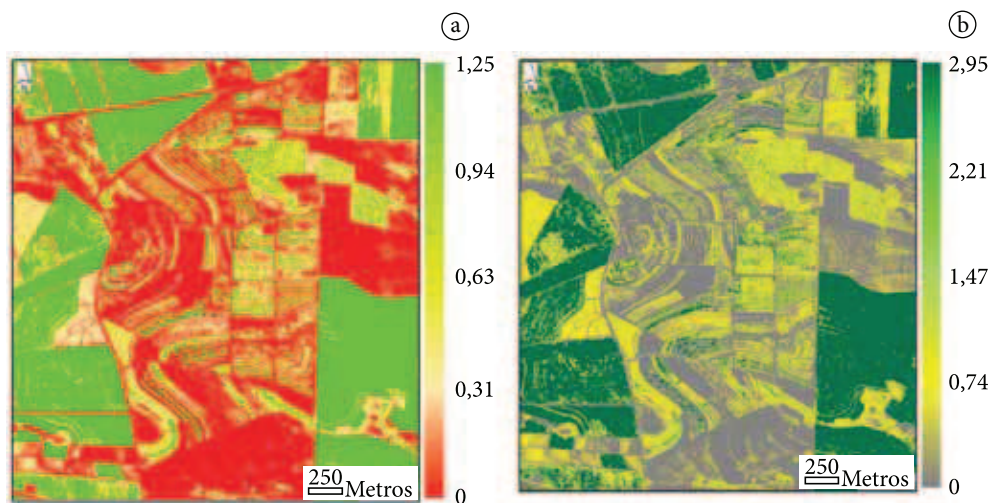


Figura 4. Mapas de coeficiente de cultura (K_c) estimado a partir do NDVI (a) e do índice de área foliar (IAF, $m^2 m^{-2}$) estimado a partir do SAVI (b) para a área de abrangência da fazenda da Embrapa Soja, Londrina, PR.

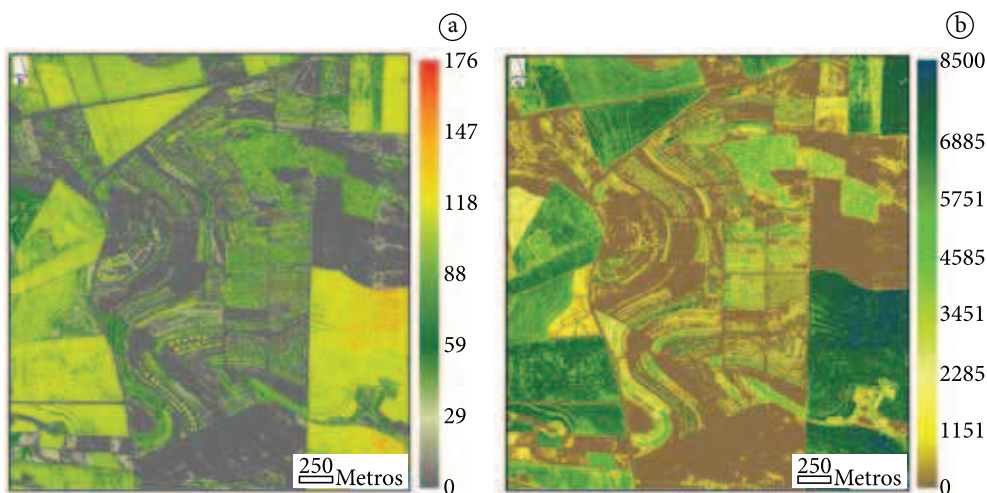


Figura 5. Mapas de evapotranspiração mensal (ET, $mm\ mês^{-1}$) (a) e da biomassa vegetal (BIO, $kg\ ha^{-1}\ mês^{-1}$) para área de abrangência da fazenda da Embrapa Soja, Londrina, PR.

valores médios de ET e BIO variando conforme os meses do ano. Os valores médios de ET estimados pelos autores variaram de $49,5 \pm 29,7\ mm\ mês^{-1}$ a $96,7 \pm 42,1\ mm\ mês^{-1}$. Já os valores médios de BIO oscilaram entre $1300 \pm 1180\ kg\ ha^{-1}\ mês^{-1}$ e $3190 \pm 1620\ kg\ ha^{-1}\ mês^{-1}$.

4. Conclusões

O uso de imagem do satélite WorldView-2 juntamente com observações meteorológicas pode

contribuir para o monitoramento e a avaliação das condições de cultivo. Em geral, a metodologia teve aplicação satisfatória na obtenção de parâmetros biofísicos em plantios de soja. Esses parâmetros podem auxiliar em estratégias mais adequadas para tomada de decisão em larga escala, bem como na qualificação e espacialização direta de características fenológicas dos cultivos, contribuindo diretamente como suporte a outros métodos complementares da agricultura de precisão.

O uso de imagens WorldView-2 devidamente calibradas e corrigidas para os efeitos da atmosfera abre uma nova frente de aplicações para produtos de altíssima resolução, ainda inédita no Brasil, sem os quais não seria possível a aplicação de índices complexos e análises de alto nível como as demonstradas nesse trabalho. Essa abordagem fornece ao dado seu máximo potencial de aplicação no âmbito do mapeamento de características biofísicas intrínsecas aos alvos, indo além do tradicional processamento com resultados de cunho visual.

Agradecimentos

Aos colegas da equipe de pesquisa e desenvolvimento da Embrapa Soja pela parceria e apoio no âmbito do projeto Agspec liderado pela Embrapa Monitoramento por Satélite (<http://www.cnpem.embrapa.br/projetos/agspec/>).

Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 56).
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R.; WATERS, R.; BASTIAANSEN, W. **SEBAL: surface energy balance algorithms for land**. Idaho implementation, advanced training and user's manual. version 1.0. Idaho: University of Idaho, 2002. 98 p.
- ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; PAZ, A. R.; LIMA, E. P.; FACCO, A. G. Geotecnologias aplicadas à avaliação de parâmetros biofísicos do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1227-1234, 2012.
- ANDRADE, R. G.; RODRIGUES, C. A. G.; SANCHES, I. D.; TORRESAN, F. E.; QUARTAROLI, C. F. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 3, p. 234-243, 2013.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; ALI, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 94, n. 3, p. 321-340, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00034-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00034-8)
- BATISTELLA, M.; ANDRADE, R. G.; BOLFE, É. L.; VICTORIA, D. C.; SILVA, G. B. S. Geotecnologias e gestão territorial da bovinocultura no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 251-260, 2011. Suplemento.
- CHAVEZ JUNIOR, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, p. 459-479, 1988.
- CHAVEZ JUNIOR, P. S. Radiometric calibration of Landsat thematic mapper multispectral images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 55, n. 9, p. 1285-1294, 1989.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Safras: Séries Históricas Relativas às Safras 1976/77 a 2012/2013 de Área Plantada, Produtividade e Produção**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>>. Acesso em: 17 jun. 2013.
- DAUGHTRY, C. S. T.; GOWARD, K. P.; PRINCE, S. D.; KUSTAS, W. P. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. **Remote Sensing of Environment**, v. 39, n. 2, p. 141-152, 1992. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(92\)90132-4](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(92)90132-4)
- HUETE, A. R. Soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, n. 3, p. 89-105, 1988.
- HEIFFIG, L. S.; CÂMARA, G. M. S.; MARQUES, L. A.; PEDROSO, D. B.; PIEDADE, S. M. S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, v. 65, n. 2, p. 285-295, 2006.
- KAMBLE, B.; KILIC, A.; HUBBARD, K. Estimating crop coefficients using remote sensing-based vegetation index. **Remote Sensing**, v. 5, n. 4, p. 1588-1602, 2013. <http://dx.doi.org/10.3390/rs5041588>
- 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**, v. 57, n. 3, p. 226-234, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008001200019>
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: SYMPOSIUM OF SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED WITH ERTS-1, 3., 1973. Greenbelt, Maryland. **Proceedings...** Washington: NASA SP-351, 1973. p. 309-317.
- TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part B: Application to the large scale. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, n. 3-4, p. 477-490, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.09.014>
- TEIXEIRA, A. H. C.; SHERER-WARREN, M.; HERNANDEZ, F. B. T.; LOPES, H. L. Water productivity assessment by using MODIS images and agrometeorological data in the Petrolina municipality, Brazil. In: SPIE REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2012, Edimburgo. **Proceedings...** 2012. p. 85310G-1-85310G-10. v. 8531.