

Estudo com soja para avaliação dos efeitos direcionais sobre o NDVI e IAF do MODIS

Fábio Marcelo Breunig¹
Lênio Soares Galvão¹
Antonio Roberto Formaggio¹
José Carlos Neves Epiphanyo¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{breunig, lenio, formag, epiphanyo}@dsr.inpe.br

Abstract. When using large field-of-view (FOV) instruments, directional effects introduce variability in surface reflectance and in vegetation indices or empirical biophysical estimates (e.g., leaf area index - LAI). The objectives of this study were to evaluate the impacts of directional effects on Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) reflectance, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and LAI for soybean. Four farms located at the municipality of Querência, state of Mato Grosso (Brazil), were selected. MODIS collection-5 surface reflectance (MOD09GA and MOD09GQ products) and NDVI and LAI data (MOD15 product) were used. Pairs of backscattering and forward scattering reflectance and NDVI images acquired at consecutive days were compared as function of soybean phenological stages. In order to evaluate LAI estimates, two empirical models were tested: one based on the relationships between NDVI and LAI, proposed by Knyazikhin et al. (1999), named global model; and the other locally derived from MODIS LAI estimates from radiative transfer model and NDVI values (local model). The results showed that backscattering reflectance was higher than forward scattering in all soybean stages and that directional effects decreased with soybean canopy closure. The forward scattering NDVI were always higher than the backscattering one. Empirical LAI estimates from global and local models presented differences up to 3.2 and 1.5, respectively, due to directional effects. Because the peak of soybean development is also coincident with the highest frequency of cloud cover, care is necessary if one considers using MODIS LAI estimates because they are generally derived from the empirical backup algorithm.

Palavras-chave: remote sensing, leaf area index, viewing geometry, sensoriamento remoto, índice de área foliar, geometria de visada.

1. Introdução

O uso de imagens de satélite para o monitoramento de áreas agrícolas é uma forma quantitativa para acompanhar cultivos agrícolas. Além disso, dependendo do sensor utilizado, permite um acompanhamento em escala sinótica a um custo financeiro relativamente mais baixo e com um tempo de revisita adequado. Em áreas tropicais, a alta frequência de cobertura de nuvens dificulta a obtenção de imagens por sensores como o Thematic Mapper (Landsat 5 TM). Assim, uma potencial alternativa são os imageadores com alta resolução temporal e amplo campo de visada, como o Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), que permitem uma revisita quase diária, aumentando a probabilidade de obter imagens livres de nuvens (Shabanov et al., 2005). Contudo, devido à sua ampla faixa de cobertura (~2.200km), os efeitos direcionais associados aos ângulos zenitais de visada são acentuados.

Sensores orbitais como o MODIS permitem obter imagens com ângulo zenital de visada nominal de até 55° na direção do espalhamento frontal (predominância de sombra) e do retroespalhamento (maior presença de alvo iluminados). Estas imagens são utilizadas para gerar produtos como reflectância de superfície (ex. MOD09), índices de vegetação (MOD13) e estimativas de Índice de Área Foliar - IAF (MOD15). As estimativas de IAF geradas a partir do MODIS são feitas através da inversão de um modelo de transferência radiativa e de parâmetros tabelados para oito grandes biomas do globo (Knyazikhin et al., 1998; Myneni et al., 2002; Privette et al., 2002; Tan et al., 2005). Os parâmetros de cada bioma são discutidos por Knyazikhin et al. (1999). Contudo, quando o modelo de transferência radiativa falha, um

modelo empírico (“algoritmo backup”), baseado na relação entre IAF e o índice de vegetação por diferença normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), é utilizado (Knyazikhin et al., 1999; Myneni et al., 1997).

Estudos conduzidos por Epiphanyo e Huete (1995) e Walter-Shea et al. (1997) com dados de campo e de laboratório, respectivamente, mostraram que a reflectância e os índices de vegetação variam de acordo com a geometria de iluminação e de visada e com o nível de cobertura do solo pelo dossel, o qual é função do estágio fenológico das culturas. Em geral, a reflectância é maior na direção do retroespalhamento e menor na direção do espalhamento frontal para o infravermelho próximo (IVP). Em relação ao NDVI, os resultados de Epiphanyo e Huete (1995) mostraram que este índice de vegetação tende a ser maior na direção do espalhamento frontal. Os resultados mostraram ainda que os efeitos direcionais são dependentes do estágio fenológico das culturas agrícolas. À medida que o dossel fecha (próximo a 100%), os efeitos direcionais tendem a ser atenuados com a vegetação assumindo características mais isotrópicas.

Desta forma, considerando a dependência do NDVI em relação aos supracitados aspectos de geometria de aquisição (iluminante x cultura agrícola x sensor), o objetivo do presente trabalho foi avaliar o impacto do ângulo zenital de visada quando imagens orbitais do sensor MODIS são utilizadas sobre: a) a reflectância de superfície; b) o NDVI e c) as estimativas de IAF realizadas a partir de modelos empíricos.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Área de estudo e dados agronômicos

A área de estudo selecionada está localizada no município de Querência-MT, Brasil, centrada na latitude S $12^{\circ}48'44''$ e longitude de O $52^{\circ}24'11''$ (Figura 1), compreendendo quatro fazendas (Alvorada, Anta, Mutum e Tanguro) que totalizam aproximadamente 25 mil hectares. A vegetação da área compreende uma transição de cerrado para floresta tropical amazônica. O clima da região é tropical, com temperatura média anual de 26°C e precipitação de 1850 mm, distribuída em duas estações bem definidas: o período chuvoso (de outubro a abril) e o período seco (de maio a setembro). O relevo é plano, com altitude média de 350 m e com predominância do solo tipo Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (Corrêa, 2002).

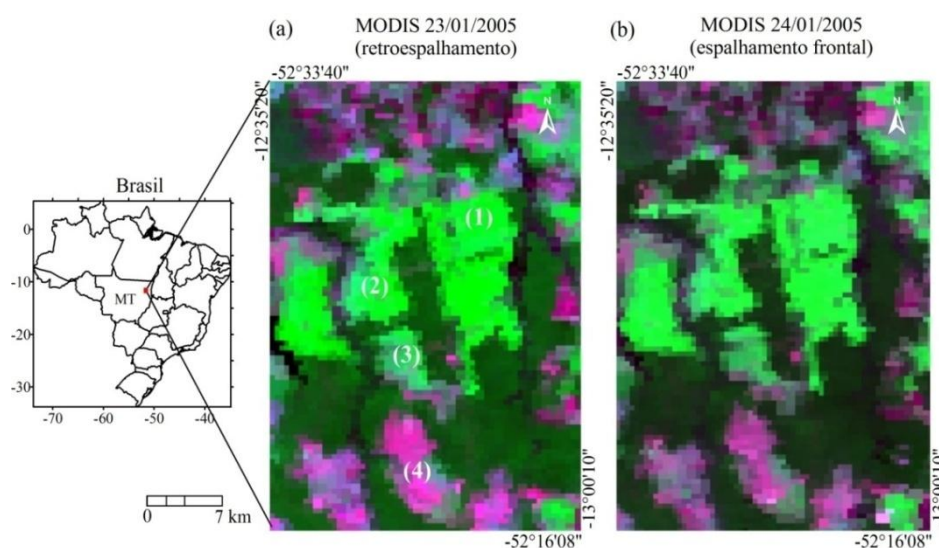


Figura 1. Localização da área de estudo na composição colorida falsa-cor com as bandas MODIS posicionadas em 645 (R), 856 (G) e 466 nm (B). As imagens são reflectância de superfície obtidas nas direções de: a) retroespalhamento e b) espalhamento frontal. Os números identificam as fazendas: (1) Tanguro, (2) Alvorada, (3) Anta e (4) Mutum.

2.2. Produtos MODIS

Todos os dados MODIS utilizados no trabalho foram da coleção cinco, obtidos do Warehouse Inventory Search Tool (WIST) (EOSDIS, 2009). No total, 71 imagens de reflectância de superfície (MOD09GA e MOD09GQ) foram utilizadas. O MODIS Reprojection Tool (MRT) (Dwyer e Schmidt, 2006) foi utilizado para converter os dados para coordenadas planares (UTM). Para avaliar os efeitos direcionais mantendo o estágio fenológico constante, foram utilizadas 13 cenas obtidas em ângulos opostos (retroespalhamento e espalhamento frontal) com uma defasagem temporal de um ou dois dias.

2.3. Análise dos dados

Os resultados foram avaliados de acordo com o estágio fenológico da soja, considerando a reflectância de superfície diária das sete primeiras bandas do MODIS, o NDVI e os IAF derivados das imagens de reflectância de superfície. Os dados foram analisados para os pares de dias consecutivos com ângulos zenitais de visada opostos. Os espectros de reflectância para diferentes estágios fenológicos foram elaborados e interpretados concomitantemente aos gráficos de espalhamento entre as bandas.

O NDVI foi avaliado a partir de uma série de imagens obtidas em ângulos opostos ao longo do ciclo da soja. A partir do NDVI, foi calculado o IAF através de um modelo empírico global baseado nas equações apresentadas por Knyazikhin et al. (1999) para o bioma 3 (broadleaf crops). Um modelo empírico local, obtido a partir do ajuste de uma série de dados de IAF estimados pelo modelo de transferência radiativa do MODIS e o NDVI, foi derivado e interpretado (Breunig et al., 2010). Os resultados das estimativas de IAF, bem como as diferenças entre os modelos, foram espacializados para a fazenda Mutum.

3. Resultados e Discussão

3.1. Efeito do ângulo zenital de visada na reflectância diária da soja

Os efeitos dos ângulos zenitais de visada podem ser claramente vistos nos espectros de reflectância da variedade Perdiz (fazenda Tanguro, ano safra 2004-2005) em diferentes estágios fenológicos representados pelos dias após o plantio (Figura 2). A anisotropia dos dosséis de soja é representada pelas diferenças na reflectância do infravermelho próximo (IVP), superiores a 15% para os pares de imagens de fevereiro de 2005. A reflectância na direção do retroespalhamento é dada especialmente pelo dossel iluminado, enquanto que na direção do espalhamento frontal predomina a sombra (Breunig et al., 2011). No mês de dezembro de 2004, o dossel da soja ainda não estava completamente fechado. Portanto, a reflectância no IVP foi menor, enquanto a do vermelho foi maior. As diferenças apresentadas na Figura 2 podem também ser vistas nas respectivas imagens mostradas nas Figuras 1a e 1b. A primeira imagem, obtida na direção do retroespalhamento, apresenta maior reflectância e brilho, enquanto que a segunda (espalhamento frontal) é mais escura. Isso é bastante nítido, especialmente, nas áreas florestais.

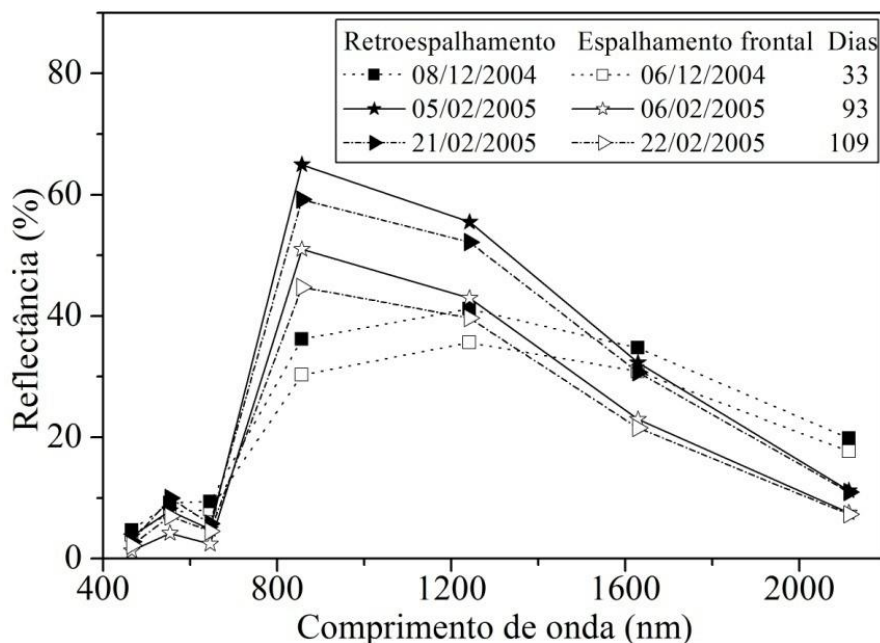


Figura 2. Efeitos do ângulo zenital de visada na reflectância de superfície diária do MODIS, para a variedade de soja Perfiz, cultivada na fazenda Tanguro no ano safra 2004-2005, para três períodos de dias após o plantio.

3.2. Efeito do ângulo zenital de visada no cálculo do NDVI e na obtenção do IAF

Para avaliar os efeitos da geometria de visada sobre o NDVI, foi elaborado um espectro temporal dos valores deste índice de vegetação, para a variedade Emgopa 313, considerando pares de imagens obtidas com visadas opostas ao longo do ciclo fenológico dessa variedade (Figura 3a). Em função do ângulo zenital de visada, o NDVI calculado para a direção do espalhamento frontal sempre foi superior, devido à maior influência da sombra sobre a banda do vermelho (Leblon et al., 1996). Considerando as composições temporais de imagens baseadas na seleção do pixel de maior valor (ex. 16 dias), verifica-se a tendência de extrair pixels das imagens do espalhamento frontal, com predominância de sombra. Os efeitos direcionais são mais intensos nos estágios iniciais e reduzidos quando o dossel da soja fecha devido à redução da anisotropia (Epiphanyo e Huete, 1995; Meyer et al., 1995; Walter-Shea et al., 1997). Como o NDVI é amplamente utilizado para caracterizar cultivos agrícolas e estimar a produtividade (Doraiswamy et al., 2005; Karlsen et al., 2008; Alexandridis et al., 2008; Ren et al., 2008), os efeitos do ângulo zenital de visada devem ser adequadamente considerados.

Meyer et al. (1995), trabalhando com dados do Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) do satélite NOAA e estudando composições de até 10 dias, observaram diferenças de NDVI de até 0,15 atribuídas aos efeitos dos ângulos de visada, estudando composições de até 10 dias. No presente estudo, obtivemos diferenças da ordem de 0,13 para as imagens adquiridas 23 dias após a data de plantio. Devido ao caráter exponencial da maioria dos modelos empíricos baseados na relação entre o NDVI e IAF, pequenas variações no NDVI poderão então causar grandes distorções nas estimativas empíricas de IAF. Isto é mostrado nas Figuras 3a e 3b, onde se verifica que, apesar da maior diferença entre os NDVI ocorrer a cerca de 23 dias após o plantio, as maiores diferenças de IAF foram observadas para as imagens obtidas 48 dias após o plantio. Foi identificada uma faixa crítica de valores de NDVI entre 0,70 e 0,85, em que as estimativas dos modelos empíricos apresentam as maiores diferenças devidas à geometria de visada (Figura 4). A Figura 3b mostra que, em função do ângulo zenital de visada, as estimativas de IAF podem apresentar diferenças de até três unidades, como ocorreu aos 48 dias após o plantio, com valores

aproximados de 2 e 5 para os IAF estimados. Como o NDVI ou o IAF são parâmetros básicos de entrada em diversos modelos biofísicos (p.ex., Rizzi e Rudorff, 2007; Povh et al., 2008 para produtividade agrícola), incertezas nas suas estimativas podem causar variações substanciais nos resultados dos modelos.

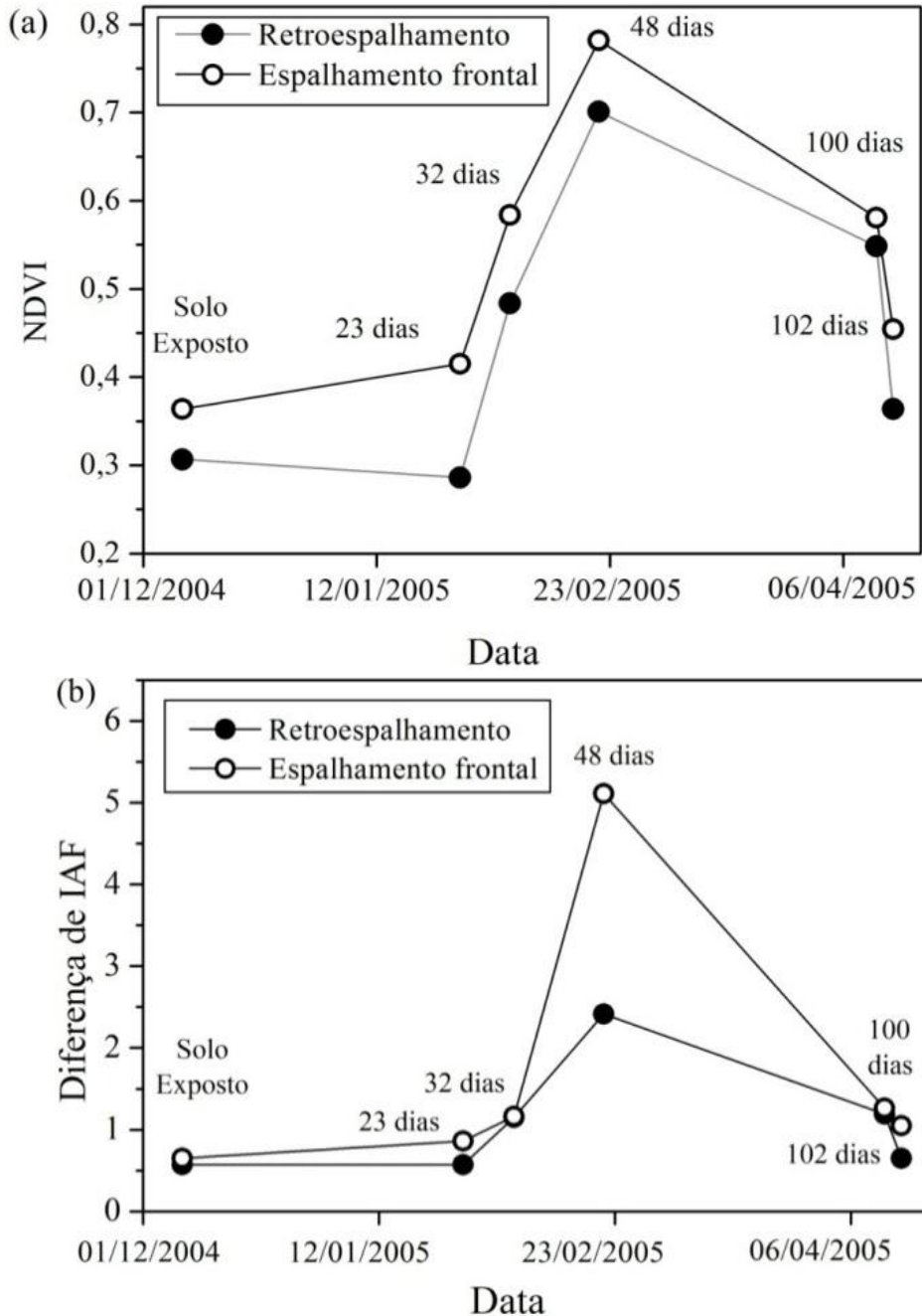


Figura 3. Efeito do ângulo zenital de visada sobre o (a) NDVI e o (b) IAF obtidos de imagens MODIS de reflectância de superfície diária. Os resultados são da variedade Emgopa 313 cultivada na fazenda Mutum no ano safra de 2004-2005. Os dias após o plantio estão indicados.

A espacialização do IAF estimado através do modelo empírico global (algoritmo backup do MODIS) mostra que, para a direção do retroespalhamento, o IAF sempre é inferior, ocorrendo o contrário na direção do espalhamento frontal (Figura 5a, b, respectivamente). A subtração do IAF estimado do retroespalhamento do IAF estimado da direção do

espalhamento frontal através do modelo empírico global mostra que em algumas regiões da fazenda Mutum, as estimativas podem apresentar diferenças de até três unidades de IAF, dependendo dos valores de NDVI utilizados para estimar o IAF (Figura 5c). Quando o modelo empírico local (Breunig et al., 2010) foi utilizado, as diferenças foram reduzidas para menos de 1,5 unidade de IAF. Contudo, os efeitos estão presentes e devem ser considerados (Figura 5d).

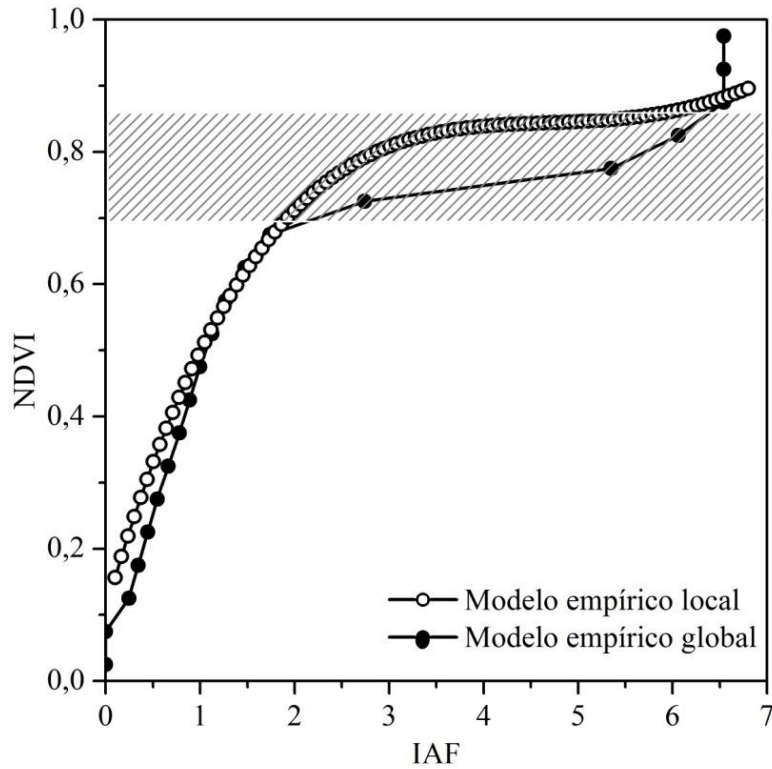


Figura 4. Modelos empíricos local e global (Knyaziklhin et al. 1999), baseado nas relações entre IAF e NDVI. A faixa tracejada indica a região crítica, onde pequenas variações do NDVI podem produzir grandes variações nas estimativas de IAF.

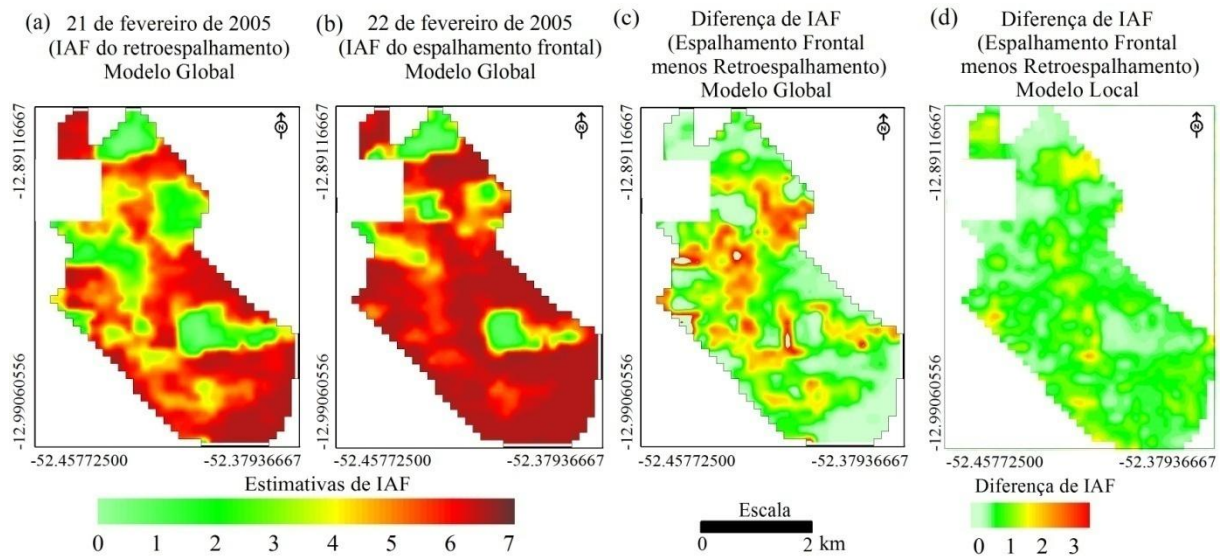


Figura 5. Variação espacial das estimativas de IAF a partir do modelo global com base em imagens de (a) retroespalhamento e (b) espalhamento frontal. (c) Diferença do IAF do modelo global e (d) do modelo empírico local.

4. Conclusões

Considerando diferentes variedades de soja num mesmo estágio fenológico, os valores de reflectância de superfície derivados do sensor MODIS na direção do retroespalhamento (predominância de dossel iluminado) sempre foram superiores aos da reflectância medida na direção do espalhamento frontal (maior presença de sombra) para o infravermelho próximo (IVP), atingindo diferenças superiores a 15%. O NDVI sempre foi maior na direção do espalhamento frontal devido à maior sensibilidade do vermelho à sombra. As maiores diferenças de NDVI associadas aos efeitos direcionais foram verificadas 23 dias após o plantio da soja. Conforme a fração de cobertura do dossel aumentou, as diferenças de NDVI diminuíram.

As estimativas de índice de área foliar (IAF) realizadas através do modelo empírico global sempre foram superiores na direção do espalhamento frontal. Os resultados apresentaram diferenças de até 3,2 unidades de IAF no caso do modelo empírico global e de até 1,5 unidades, quando realizadas pelo modelo empírico local. Os efeitos foram mais fortes na faixa crítica de NDVI entre 0,70 e 0,85. Os impactos de geometria de aquisição foram significativos e devem ser adequadamente considerados, visto que o pico de desenvolvimento da soja no centro-oeste brasileiro é coincidente com a maior frequência de cobertura de nuvens. Consequentemente, os valores de IAF obtidos do produto MODIS são normalmente estimados de relações empíricas entre NDVI e LAI (algoritmo backup) e não necessariamente de modelos de transferência radiativa (algoritmo principal).

5. Referências bibliográficas

- Alexandridis, T.K.; Gitas, I.Z.; Silleos, N.G. An estimation of the optimum temporal resolution for monitoring vegetation condition on a nationwide scale using MODIS/Terra data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, n. 12, p. 3589-3607, 2008.
- Breunig, F.M.; Galvão, L.S.; Formaggio, A.R.; Epiphanyo, J.C.N. 2010. LAI retrievals over Brazilian soybean areas using MODIS/Terra data. In: AGU 2010 the Meeting of the Americas, 2010. Foz do Iguaçu, **Anais...** Washington DC: AGU, v. Biogeosciences (B), n. 848155, 2010.
- Breunig, F.M.; Galvão, L.S.; Formaggio, A.R.; Epiphanyo, J.C.N. Directional effects on NDVI and LAI retrievals from MODIS: A case study in Brazil with soybean. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 13, n. 1, p. 34-42, 2011.
- Doraiswamy, P.C.; Sinclair, T.R.; Hollinger, S.; Akhmedov, B.; Stern, A.; Prueger, J. (2005). Application of MODIS derived parameters for regional crop yield assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 97, n. 2, p. 192-202, 2005.
- Dwyer, J.; Schmidt, G. The MODIS reprojection tool. In Qu, J.J.; Gao, W.; Kafatos, M.; Murphy, R.E.; Salomonson, V.V. (Eds.), **Earth Science Satellite Remote Sensing**. Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2006. Cap. 13, p. 162-177.
- Earth Observing System Data and Information System (EOSDIS). **Earth Observing System ClearingHouse (ECHO) / Warehouse Inventory Search Tool (WIST)** Version 10.X [online application]. Greenbelt, MD: EOSDIS, Goddard Space Flight Center (GSFC) National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2009. Disponível em < <https://wist.echo.nasa.gov/api/> >. Acesso em 18 out. 2010.
- Epiphanyo, J.C.N.; Huete, A.R. Dependence of NDVI and SAVI on Sun/sensor geometry and its effect on fAPAR relationships in alfalfa. **Remote Sensing of Environment**, v. 51, n. 3, p. 351-360, 1995.
- Karlsen, S.R.; Tolvanen, A.; Kubin, E.; Poikolainen, J.; Hogda, K.A.; Johansen, B.; Danks, F.S.; Aspholm, P.; Wielgolaski, F.E.; Makarova, O. MODIS-NDVI-based mapping of the length of the growing season in northern Fennoscandia. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 10, n. 3, p. 253-266, 2008.

Knyazikhin, Y.; Glassy, J.; Privette, J.L.; Tian, Y.; Lotsch, A.; Zhang, Y.; Wang, Y.; Morisette, J.T.; Votava, P.; Myneni, R.B.; Nemani, R.R.; Running, S.W. MODIS leaf area index (LAI) and fraction of photosynthetically active radiation absorbed by vegetation (FPAR) product (MOD15) algorithm. **Theoretical Basis Document**, NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD 20771, USA, 1999.

Knyazikhin, Y.; Martonchik, J.V.; Myneni, R.B.; Diner, D.J.; Running, S.W. Synergistic algorithm for estimating vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from MODIS and MISR data. **Journal of Geophysical Research**, v. 103, n. D4, p. 32.257-32.276, 1998.

Leblon, B., Gallant, L., & Granberg, H. Effects of shadowing types on ground-measured visible and near-infrared shadow reflectances. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 322-328, 1996.

Meyer, D.; Verstraete, M.; Pinty, B. The effect of surface anisotropy and viewing geometry on the estimation of NDVI from AVHRR. **Remote Sensing Reviews**, v. 12, n. 1-2, p. 3-27, 1995.

Myneni, R.B.; Hoffman, S.; Knyazikhin, Y.; Privette, J.L.; Glassy, J.; Tian, Y.; Wang, Y.; Song, X.; Zhang, Y.; Smith, G.R.; Lotsch, A.; Friedl, M.; Morisette, J.T.; Votava, P.; Nemani, R.R.; Running, S.W. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1, p. 214-231, 2002.

Povh, F.P.; Molin, J.P. Gimenez, L.M.; Pauletti, V.; Molin, R.; Salvi, J.V. Comportamento do NDVI obtido por sensor óptico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1075-1083, 2008.

Privette, J.L.; Myneni, R.B.; Knyazikhin, Y.; Mukelabai, M.; Roberts, G.; Tian, Y.; Wang, Y.; Leblanc, S.G. Early spatial and temporal validation of MODIS LAI product in the Southern Africa Kalahari. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 232-243, 2002.

Ren, J.Q.; Chen, Z.X.; Zhou, Q.B.; Tang, H.J. Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 10, n. 4, p. 403-413, 2008.

Rizzi, R.; Rudorff, B.F.T. Imagens do sensor MODIS associadas a um modelo agrônômico para estimar a produtividade de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.1, p. 73-80, 2007.

Shabanov, N.V.; Huang, D.; Yang, W.; Tan, B.; Knyazikhin, Y.; Myneni, R.B.; Ahl, D.E.; Gower, S.T.; Huete, A.R.; Aragão, L.E.O.C.; Shimabukuro, Y.E. Analysis and optimization of the MODIS leaf area index algorithm retrievals over broadleaf forests. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 43, n. 8, p. 1855-1865, 2005.

Tan, B.; Hu, J.; Huang, D.; Yang, W.; Zhang, P.; Shabanov, N.V.; Knyazikhin, Y.; Nemani, R.R.; Myneni, R.B. Assessment of the broadleaf crops leaf area index product from the Terra MODIS instrument. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 135, n. 1-4, p. 124-134, 2005.

Walter-Shea, E.A.; Privette, J.; Cornell, D.; Mesarch, M.A.; Hays, C.J. Relations between directional spectral vegetation indices and leaf area and absorbed radiation in alfalfa. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, n. 1, p. 162-177, 1997.