

Análise comparativa dos padrões de reflectância bidirecional em função da hora de aquisição das imagens

Fábio Marcelo Breunig¹
Vandoir Bourscheidt²

¹ Universidade de Federal de Santa Maria – UFSM
Caixa Postal 73 - 98400-000 – Frederico Westphalen - RS, Brasil
fabio-breunig@gmail.com

² Universidade Federal de São Carlos - UFSCar
Rodovia Washington Luís, s/n - Jardim Guanabara, São 13565-905– São Carlos - SP, Brasil
vandoir@gmail.com

Abstract. Wide field of view sensors allows to adequately timely monitoring forest and agricultural areas, and increase the probability to cloud free scenes. Thus, we are committed to evaluate the differences of bidirectional surface reflectance as a function of the acquisition hours. For that, we defined a study area comprising the Misiones region (Argentina) and the Parque Estadual do Turvo (Brazil). We used daily data from Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) aboard Terra and Aqua satellites (MOD09GA e MYD09GA). The MODIS products were processed using the Google Earth Engine. The original data were filtered to mask low quality and cloudy pixels throughout the period of 2000-2016. To evaluate the acquisition hour effect, only data acquired at nadir ($\pm 5^\circ$ in the forward scattering and backscattering directions) were used. For each pixel, we calculated the series average for each MODIS band and derived the vegetation indices: NDVI and EVI. The results demonstrated that red band did not present clear differences between Terra and Aqua MODIS sensors reflectance. Conversely, the near infrared allowed monitoring the annual cycle of the forest and solar zenith variation. By contrasting the near infrared bands, a positive linear adjustment was obtained for Terra and Aqua. The red band did not present correlations. Considering the vegetation indices, the NDVI presented high dependence on red band. The EVI covariate more with the near infrared band as expected, and allowed to evaluate the annual dynamics of the forest.

Palavras-chave: MODIS Terra, MODIS Aqua, forest dynamics, time series, MODIS Terra, MODIS Aqua, dinâmica florestal, séries temporais.

1. Introdução

O uso do sensoriamento remoto tem provado ser bastante eficiente para o estudo da vegetação (Sticksel et al., 2004). O uso dessa técnica é alavancado pelo baixo custo (financeiro e de tempo) para obter informações espacialmente contínuas e em escalas local, regional ou continental. Ademais, é possível gerar estimativas de parâmetros biofísicos da vegetação com base em modelos físicos e empíricos (Gibbs et al., 2007; Goetz et al., 2009; Sánchez-Azofeifa et al., 2009) e fazer avaliações não destrutivas da vegetação com uma frequência temporal adequada (Baret et al., 2007). Para viabilizar uma alta repetitividade na aquisição dos dados, muitos sistemas sensores lançam mão do uso de amplos campos de visada ou mesmo, visadas laterais, levando a uma influência acentuada dos efeitos direcionais e angulares (Breunig et al., 2015; Galvão et al., 2011).

Os efeitos causados pela geometria de visada e iluminação podem ainda estar associados a hora da aquisição dos dados. Nesse sentido, dois sensores quase idênticos do *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites Terra e Aqua, podem ser utilizados para entender a variabilidade diurna da reflectância e índices de vegetação. Os sensores MODIS adquirem imagens em 36 bandas espectrais, com resolução espacial que varia de 250 m a 1000 m (Xiong et al., 2005; Xiong e Barnes, 2005; Friedl et al., 2000; Hill et al., 2011; Luch e Lewis, 2000; NASA, 2009). O MODIS/Terra adquire as imagens pela manhã (aproximadamente 10:30 h – hora local). O MODIS/Aqua faz o imageamento no início da tarde (aproximadamente 13:30 h – hora local). Assim, com uma diferença temporal de aproximadamente 3 horas, é possível obter imagens sob diferentes condições de

visada/iluminação (ângulos azimutais e zenitais) e fisiológicas da vegetação (por exemplo, concentração de clorofila).

Dada a grande quantidade de dados diários gerados pelo MODIS (Terra e Aqua), faz-se necessário utilizar plataformas de análise e processamento de *big data* eficientes. A plataforma Google Earth Engine (Google Inc., 2016) é uma plataforma de análise de dados em escala global, baseada no processamento da nuvem (*cloud-based platform*). Através dessa plataforma e sua respectiva API (*Application Programming Language*) é possível acessar os produtos MODIS (dentre outros) e aplicar uma série de filtros que colocam a disposição do usuário final toda a capacidade de processamento do Google, com vista a aplicações acadêmicas. Isso otimiza o tempo e viabiliza uma série de análises não possíveis anteriormente dado o volume de dados (Google Inc., 2016).

O objetivo deste trabalho consiste na avaliação dos efeitos de iluminação/visada sobre a reflectância e índices de vegetação em função do horário de aquisição dos dados. Para tal, a floresta de Misiones, no nordeste da Argentina, e o Parque Estadual do Turvo (PET) no sul do Brasil foram utilizados como áreas de estudo, dada sua grande abrangência espacial.

2. Metodologia

2.1 Área de estudo

A área de estudo é formada por um amplo maciço florestal no nordeste da Argentina no sul do Brasil (Figura 1). A região é conhecida como o corredor verde de Misiones. No estudo, foi delimitada uma região de 1.814 km², selecionando apenas regiões de floresta. No Brasil, foi selecionada a região de floresta nativa do Parque Estadual do Turvo (PET, conhecido como parque do Yucumã). A cobertura florestal da região é predominantemente formada por Floresta Subtropical Decidual, com perda de folhas no inverno por parte de algumas espécies de maior porte (SEMA, 2005; Ruschel et al., 2005; Ruschel et al., 2007; Breunig et al., 2015; Balbinot et al., 2016).

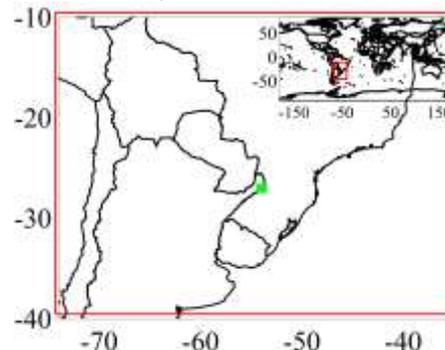


Figura 1. Localização da área de estudo (corredor verde de Misiones), no nordeste da Argentina e sul do Brasil. O retângulo verde identifica a área de estudo.

A região abrange uma área de florestas subtropicais, sendo os maiores fragmentos de floresta nativa do sul do Brasil (PET) e cobrem uma área superior a 10.000 km² na província de Misiones na Argentina (Guadagnin, 1994; Bulfe, 2008; Rosa et al., 2013). Toda essa área é pouco estudada em termos da dinâmica da vegetação, especialmente do ponto de vista da aplicação de imagens de satélite. Ademais, a característica decidual da floresta incorpora novos desafios na análise das imagens, dado o efeito acoplado da perda de folhas no inverno e maior ângulo zenital solar no mesmo período.

A área de estudo apresenta um clima do tipo Cfa (clima subtropical úmido) de acordo com a classificação de Koppen Geiger. Os solos são em boa parte derivado do rochas basálticas, resultado em uma variedade de latossolos. O relevo da região é formado por áreas

planas e regiões de relevo recortado, com encostas íngremes (SEMA, 2005). A altitude de aproximadamente 100 m a 500 m.

2.2 Aquisição das imagens e dados de campo

Para o estudo foram utilizadas imagens adquiridas pelo sensor MODIS Terra e Aqua, para o período de 2000 a 2016. Dentre os diversos produtos disponíveis, foram utilizados os produtos adquiridos em base diária (Satélite Terra – MOD09GA - Surface Reflectance Daily L2G Global 1km and 500m e; Satélite Aqua - MYD09GA - Surface Reflectance Daily L2G Global 1km and 500m). Desses produtos, foram extraídas as informações de reflectância de superfície (*sur_refl_*), dados da geometria de iluminação e visada e condições de cobertura de nuvens (mascara elaborada a partir dos bits 0-1 - *cloud state* da camada *State_1km: Reflectance Data State QA*). Todos os processamentos foram realizados na interface da API do Google Earth Engine (<https://code.earthengine.google.com/>), mediante a elaboração e ajuste de algoritmos de aquisição, análise e exportação dos resultados.

Dada a grande influência da geometria de visada sobre a reflectância de superfície, foi aplicado um filtro para garantir que apenas observações adquiridas ao nadir fossem incluídas na análise. Assim, o ângulo zenital de observação (ou visada) foi limitado para -5 e +5 (retroespalhamento e espalhamento frontal, respectivamente). O mesmo procedimento foi aplicado para os dados do MODIS Terra e Aqua. Assim, foram geradas séries de reflectância apenas com pixels ao nadir e sem contaminação por nuvens.

Para facilitar a interpretação dos resultados derivados das imagens, foram conduzidas atividades de campo no PET para a avaliação da cobertura florestal e obtenção de alguns parâmetros biofísicos da floresta como o índice de área foliar (IAF) através de fotografias hemisféricas. Os trabalhos de campo foram conduzidos entre os anos de 2011 e 2014. Os resultados com a caracterização florística e fitossociológica da floresta estão detalhados em Balbinot et al. (2016).

2.3 Análise dos dados

Os dados de reflectância de superfície de ambos os sensores MODIS, eivados da contaminação por nuvens, foram filtrados para reter apenas dados adquiridos na visada próxima do nadir ($\pm 5^\circ$). Inicialmente esses dados foram utilizados para avaliar a dinâmica temporal da área florestal, comparando de forma qualitativa os padrões obtidos com o MODIS Terra aos do MODIS Aqua. Essa análise foi feita para as bandas do visível e no infravermelho próximo.

Para facilitar o entendimento da dinâmica da floresta, foram calculados dois índices de vegetação: *Normalized difference vegetation index* (NDVI) (Rouse et al. 1973) (Equação 01) e o *enhanced vegetation index* (EVI) (Huete et al. 2002) (Equação 02):

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R) \quad (01)$$

$$EVI = G \cdot [(\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + C_1 \cdot \rho_R - C_2 \cdot \rho_B + L)] \quad (02)$$

onde, *NIR* é a reflectância do infravermelho próximo, *R* é a reflectância no vermelho, *B* é a reflectância na banda do azul dos sensores MODIS. *L* é um parâmetro de ajuste (2,5) e *C1* e *C2* são coeficientes de ajuste das bandas (6 e 7,5, respectivamente) (Solano, 2010).

Como a variação do Sol é diurna e sazonal, foram adotadas duas estratégias: para a avaliação sazonal, foram calculados os valores médios para toda a área de estudo e cada data. Os dados foram filtrados com uma função Savitzky–Golay de ordem sete. Assim, foi aplicada a transformada wavelet (Morlet de ordem 6) aos dados MODIS Terra e Aqua e identificados os padrões derivados de ambas as séries. A análise wavelet foi realizada no Interactive Data

Language Wavelet Toolkit – IDL WV-Applet algorithm (Lau and Weng, 1995; Exelis Vis, 2014; Torrence and Compo, 1998).

Para avaliar a variabilidade diária, foram selecionadas algumas datas com dados MODIS adquiridos pela manhã e tarde. Para essas datas, foram extraídos os espectros de reflectância e a análise comparativa.

3. Resultados e discussões

Apesar de os valores médios (por pixels para 16 anos) mostrarem uma alta variabilidade diária, é possível verificar que existem diferenças nos valores filtrados (Figura 2). A banda do vermelho (Figura 2a) não permite identificar o padrão sazonal da floresta decídua, tanto para o MODIS Terra quanto para o Aqua. A análise da banda do infravermelho próximo permite melhor acompanhar o efeito da perda de folhas por parte da floresta e o aumento do ângulo zenital solar (Figura 2b). Comparando os dados MODIS Terra ao Aqua, na série apenas pequenas variações são destacadas, como por exemplo, a maior reflectância no verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro) do Aqua (tanto no vermelho quando no infravermelho próximo). Isso pode estar associado ao maior retroespalhamento e maior proximidade com o ponto de hot spot. Nos demais períodos do ano há uma equivalência entre a magnitude os valores de reflectância de superfície.

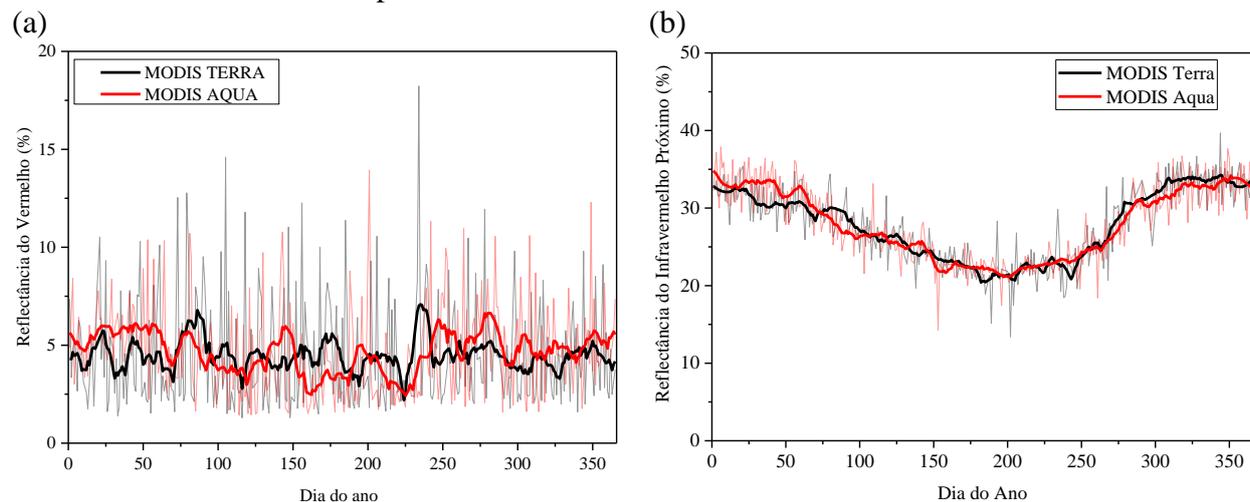


Figura 2. Variação anual da reflectância de superfície para as bandas do (a) vermelho e (b) infravermelho próximo (b) do MODIS Terra e Aqua para o período de 16 anos. A análise da média foi realizada pixel-a-pixel e incluiu apenas dados adquiridos com visada ao nadir.

Quanto a reflectância de superfície é comparada para uma mesma banda e mudando a hora de imageamento (Terra para Aqua, 10:30hs para 13:30hs, respectivamente), verifica-se que para a banda do infravermelho próximo existe uma boa relação (1:1) (Figura 3a). Quanto a banda do vermelho, não foi identificada nenhuma reciprocidade entre os imageamento feitos no período da manhã com o da tarde (Figura 3b). Isso mostra a forte dependência do vermelho da geometria de iluminação. Isso mostra a importância de conhecer os dados utilizados, visto que podem introduzir uma grande variabilidade em métricas fenológicas muitas vezes erroneamente atribuídas a vegetação.

Dado o padrão de variação diária dos dados de reflectância, foram calculados dois índices e vegetação clássicos: NDVI e EVI (Figura 4). Os resultados mostram a alta dependência do NDVI da banda do vermelho (Figura 4a) e a covariância do EVI com o infravermelho próximo (Figura 4b). Em geral, ambos os índices são sensíveis aos efeitos da variação da

iluminação solar diurna, contudo, os resultados sugerem que o EVI possa capturar de forma mais adequada as variações sazonais da vegetação.

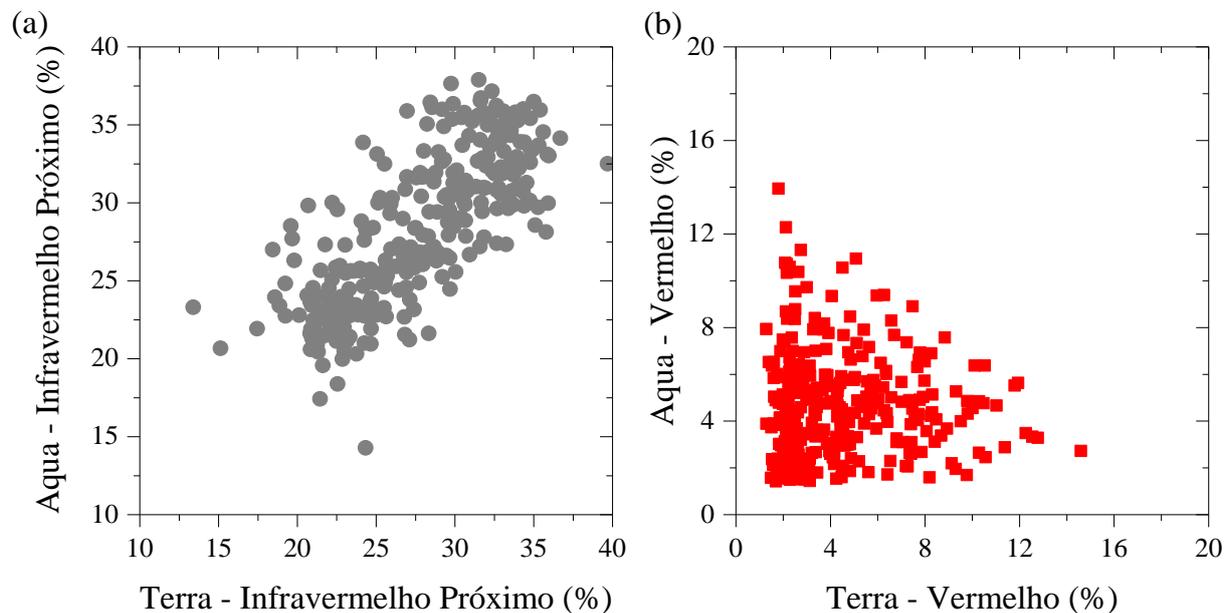


Figura 3. Relação entre a reflectância medida pelo MODIS Terra e MODIS Aqua para as bandas do (a) infravermelho próximo e (b) vermelho. Foram avaliados os dados médios de 16 anos (pixel-a-pixel), considerando apenas pixels capturados com visada ao nadir e com boa qualidade (QA flags).

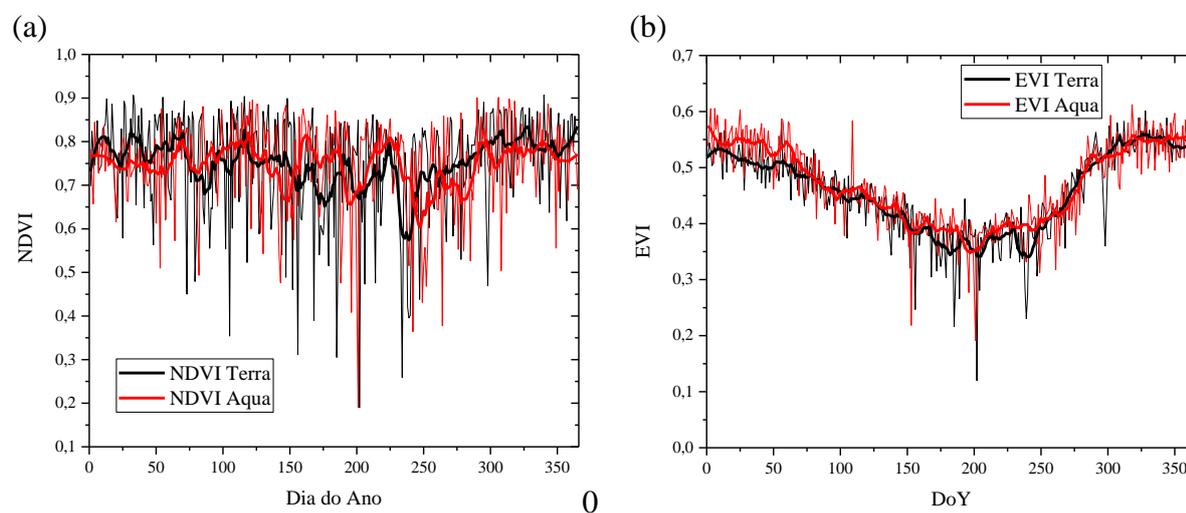


Figura 3. Variação anual do (a) NDVI e (b) EVI considerando os dados médios do MODIS Terra e Aqua de 16 anos. A análise da média foi realizada pixel-a-pixel e incluiu apenas dados adquiridos com visada ao nadir.

4. Conclusões

Os resultados mostraram que existem diferenças importantes a serem observadas quando dados diários do MODIS Terra e Aqua são utilizados de forma conjunta. A reflectância do MODIS Aqua é maior no infravermelho próximo nos meses de verão e nos demais meses, não é possível identificar um padrão sazonal.

Não foi encontrada correlação entre as bandas do vermelho dos sensores MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua. Para o infravermelho foi identificada uma relação linear positiva.

Em relação aos índices de vegetação, devido a alta sensibilidade do NDVI a banda do vermelho, não foi possível identificar variações sazonais. O EVI permitiu avaliar melhor das mudanças da floresta associadas a redução do IAF (deciduidade).

Agradecimentos

Ao Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) pelo fornecimento das imagens de satélite. Aos Google pela disponibilização da ferramenta Google Earth Engine. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - "National Counsel of Technological and Scientific Development" (processos nº 305914/2014-6 e 478085/2013-3). A equipe de campo pela valiosa contribuição para a coleta dos dados.

Referências

- Balbinot, R., Lambrecht, F. R., Breunig, F. M., Trautemuller, J. W., Galvão, L. S., Denardi, L., & Vendruscolo, R. (2016). Análise fitossociológica de um fragmento de Floresta Estacional Decidual: Parque Estadual do Turvo, RS. *Pesquisa Florestal Brasileira - Brazilian Journal of Forestry Research*, 36(86), 103–113. <http://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.86.837>
- Baret, F.; Houles, V.; Guerif, M. Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. *Journal of Experimental Botany*, v.58, n.4, p.869-880, jan. 2007.
- Breunig, F. M., Galvão, L. S., dos Santos, J. R., Gitelson, A. A., de Moura, Y. M., Teles, T. S., & Gaida, W. (2015). Spectral anisotropy of subtropical deciduous forest using MISR and MODIS data acquired under large seasonal variation in solar zenith angle. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 35, part B, p. 294–304. 2015.
- Bulfe, N.M.L. **Dinâmica de clareiras originadas de exploração seletiva de uma floresta estacional semidecidual na Província de Misiones, nordeste da Argentina**. Thesis, 73p. Curitiba: UFPR. 2008. Available at: <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2008/d490_0684-M.pdf>. Access date: Apr. 20 2014.
- Exelis Visual Information Solutions - Exelis Vis. **ENVI – IDL - v. 5.1**. Boulder CO. 2014. Disponível em: <www.exelisvis.com/envi/>. Access: 8 Feb. 2015.
- Friedl, M. A., Muchoney, D., McIver, D., Gao, F., Hodges, J. C. F., & Strahler, A. H. Characterization of North American land cover from NOAA-AVHRR data using the EOS MODIS Land Cover Classification Algorithm. *Geophysical Research Letters*, v. 27, n. 7, p. 977–980. 2000.
- Galvão, L. S., dos Santos, J. R., Roberts, D. A., Breunig, F. M., Toomey, M., & de Moura, Y. M. On intra-annual EVI variability in the dry season of tropical forest: A case study with MODIS and hyperspectral data. *Remote Sensing of Environment*, v. 115, n. 9, p. 2350–2359. 2011.
- Gibbs, H. K.; Brown, S.; Niles, J. O.; Foley, J. A. Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. *Environmental Research Letters*, v. 2, n. 4, p. 045023, 5 out 2007.
- Goetz, S. J.; Baccini, A.; Laporte, N. T.; *et al.* Mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations: a comparison of methods. *Carbon balance and management*, v. 4, p. 2, jan 2009.
- Google Inc. (2016). **Google Earth Engine API**. Disponível em: <<https://earthengine.google.com/>>. 1600 Amphitheatre Pkwy, Mountain View, CA 94043, Estados Unidos.

- Guadagnin, D. L. **Zonificación del Parque Estadual do Turvo, RS, Brasil, y directivas para el plan de manejo**. Universidad Nacional de Córdoba. [sp].1994.
- Hill, M. J., Román, M. O., Schaaf, C. B., Hutley, L., Brannstrom, C., Etter, A., & Hanan, N. P. Characterizing vegetation cover in global savannas with an annual foliage clumping index derived from the MODIS BRDF product. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 8) p. 2008–2024. 2011.
- Huete, A.; Didan, K.; Miura, T.; Rodriguez, E.P.; Gao, X.; Ferreira, L.G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.195-213, 2002.
- Lau, K-M.; & Weng, H. Climate Signal Detection Using Wavelet Transform: How to Make a Time Series Sing. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 76, p. 2391–2402. 1995.
- Maeda, E. E., & Galvão, L. S. Sun-sensor geometry effects on vegetation index anomalies in the Amazon rainforest. **GIScience & Remote Sensing**, v. 52, n. 3, p. 332–343. 2015.
- Marsden, C., le Maire, G., Stape, J.-L., Seen, D. Lo, Roupsard, O., Cabral, O., ... Nouvellon, Y. Relating MODIS vegetation index time-series with structure, light absorption and stem production of fast-growing Eucalyptus plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1741–1753. 2010.
- Moura, Y. M., Galvão, L. S., dos Santos, J. R., Roberts, D. A., & Breunig, F. M. Use of MISR/Terra data to study intra- and inter-annual EVI variations in the dry season of tropical forest. **Remote Sensing of Environment**, v. 127, p. 260–270. 2012.
- Pennec, A., Gond, V., & Sabatier, D. Tropical forest phenology in French Guiana from MODIS time series. **Remote Sensing Letters**, v. 2, n. 4, p. 337–345. 2011.
- Rosa, P. A.; Breunig, F. M.; Balbinot, R.; Galvão, L. S. Dinâmica da Floresta do Parque Estadual do Turvo com Índices de Vegetação. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 487–499, 2013.
- Rouse, J. W., R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Paper Presented at the **Third ERTS- 1 Symposium**, Washington, DC, December 10–14 (NASA SP-351, vol. 1, pp. 309–317). 1973.
- Ruschel, A. R., Guerra, M. P., Moerschbacher, B. M., & Nodari, R. O. Valuation and characterization of the timber species in remnants of the Alto Uruguay River ecosystem, southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 217, n. 1, p. 103–116. 2005.
- Ruschel, A. R., Nodari, R. O., & Moerschbacher, B. M. Woody Plant Species Richness in the Turvo State Park, a Large Remnant of Deciduous Atlantic Forest, Brazil. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, n. 6, p. 1699–1714. 2007.
- Sánchez-Azofeifa, G. A.; Castro-Esau, K. L.; Kurz, W. A.; Joyce, A. Monitoring carbon stocks in the tropics and the remote sensing operational limitations: from local to regional projects. **Ecological applications : a publication of the Ecological Society of America**, v. 19, n. 2, p. 480–94, mar 2009.
- Sandmeier, S., Müller, C., Hosgood, B., & Andreoli, G. Sensitivity Analysis and Quality Assessment of Laboratory BRDF Data. **Remote Sensing of Environment**, v. 64, n. 2, p. 176–191. 1998.
- Schaepman-Strub, G., Schaepman, M. E., Painter, T. H., Dangel, S., & Martonchik, J. V. Reflectance quantities in optical remote sensing—definitions and case studies. **Remote Sensing of Environment**, v. 103, n. 1, p. 27–42. 2006.
- Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA) - RS. **O Plano de Manejo do Parque Estadual do Turvo - RS**. Porto Alegre: SEMA, 2005. Disponível em: < www.sema.rs.gov.br/upload/Plano_manejo_PETurvo.pdf >. Acesso em 16 out. 2010.
- Solano, R., K. Didan, A. Jacobson, and A. Huete. 2010. MODIS Vegetation Indices (MOD13) C5 – User'S Guide, 38 pp. Tucson: The University of Arizona.

- Stickel, E., Schächtl, J., Huber, G., Liebler, J., & Mairl, F.-X. Diurnal Variation in Hyperspectral Vegetation Indices Related to Winter Wheat Biomass Formation. **Precision Agriculture**, v. 5, n. 5, p. 509–520. 2004.
- Tan, B., Hu, J., Huang, D., Yang, W., Zhang, P., Shabanov, N. V., ... 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.
- Torrence, C.; & Compo, G.P. A Practical Guide to Wavelet Analysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 79, p. 61-78. 1998.
- Xiong, X., and Barnes, W. Barnes, MODIS calibration and characterization, Earth Science Satellite Remote Sensing. **In: Qu, J.; Gao, W.; Kafatos, M.; Murphy, R.; Salomonson, V. eds., Vol. I, Chapter 4, Springer-Verlag, 2005.**
- Xiong, X.; Barnes, W. MODIS calibration and characterization. **In: Qu, J.; Gao, W.; Kafatos, M.; Murphy, R.; Salomonson, V. Earth Science Satellite Remote Sensing .vol. 2. Berlin: Springer-Verlag, cap. 4, p. 77-97. 2005.**
- Zhang, Q., Cheng, Y.-B., Lyapustin, A. I., Wang, Y., Xiao, X., Suyker, A., ... Middleton, E. M. Estimation of crop gross primary production (GPP): I. impact of MODIS observation footprint and impact of vegetation BRDF characteristics. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 191, p. 51–63. 2014.