

# INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE VISADA SOBRE O NDVI OBTIDO A PARTIR DE DADOS DE REFLECTÂNCIA APARENTE E SUPERFÍCIE

## VIEW ANGLE EFFECTS ON NDVI DERIVED FROM APPARENT AND SURFACE REFLECTANCE DATA

Veraldo Liesenberg 1 , Lênio Soares Galvão 2 , Flávio Jorge Ponzoni 2

1 Bolsista DTI-7F/CNPq; 2 Pesquisador Titular, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 - São José dos Campos, SP, Brasil  
e-mail: vlberg@ltid.inpe.br; lenio@ltid.inpe.br; flavio@ltid.inpe.br

### RESUMO

As variações do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada, do inglês *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), foram analisadas para cinco fitofisionomias do bioma Cerrado (*Floresta Estacional semi-decídua*, *Floresta Estacional decídua*, *Floresta Pluvial*, *Cerrado stricto sensu* e *Cerrado Ralo*). Dados do sensor *Multi-angle Imaging SpectroRadiometer* (MISR)/TERRA foram analisados em quatro datas (Novembro de 2003; Abril, Julho e Outubro de 2004) cobrindo um ciclo sazonal. A área de estudo localiza-se na porção noroeste do Estado de Minas Gerais. Efeitos atmosféricos e do ângulo de visada nos valores de NDVI foram investigados em 1800 espectros (10 pixels, 5 fitofisionomias e 9 ângulos de visada) em cada data, usando reflectância aparente (sem correção atmosférica) e reflectância de superfície (com correção atmosférica; Fator de Reflectância Bidirecional). Como resultado, diferenças estatísticas foram encontradas entre perfis espectrais de reflectância aparente e de superfície, especialmente nas bandas espectrais do visível e para extremos ângulos de visada devido aos efeitos de espalhamento atmosférico. Efeitos direcionais não foram removidos com o cálculo do NDVI, e tais efeitos foram dependentes da geometria de aquisição e da fitofisionomia analisada. Dados do NDVI de ambos os produtos mostraram diferenças significativas entre as visadas do nadir e os ângulos de  $-26.1^\circ$  e  $+26.1^\circ$ , respectivamente. Nas condições desta investigação, mostra-se que é importante considerar os efeitos do ângulo de visada e dos efeitos atmosféricos em análises quantitativas do NDVI em estudos temporais.

**Palavras-chave:** Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR), ângulo de visada, efeitos direcionais, e NDVI.

### ABSTRACT

Variations in Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were analyzed for five physiognomies of the Cerrado biome (*Floresta Estacional semi-decídua*, *Floresta Estacional decídua*, *Floresta Pluvial*, *Cerrado stricto sensu* and *Cerrado Ralo*). Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR)/TERRA data were analyzed in four dates (November, 2003; April, July and October, 2004) covering a seasonal cycle. The study area is located in the northwest portion of the Minas Gerais state. View angle and atmospheric effects on NDVI determination were investigated for 1800 spectra (10 pixels, 5 physiognomies, and 9 view angles) using apparent reflectance (without atmospheric correction) and surface reflectance (with atmospheric correction; Bidirectional Reflectance factor). Results showed statistical differences between apparent and surface reflectance profiles, especially for the MISR visible bands and large view angles due to scattering atmospheric effects. Directional effects were not removed after NDVI determination, and such effects were dependent on the geometry of data acquisition and on the vegetation type under analysis. Statistically significant differences for NDVI values calculated from both datasets were also observed at nadir,  $-26.1^\circ$ , and  $+26.1^\circ$ . Results demonstrate the importance of taking into consideration view angle and atmospheric effects in multi-temporal studies using NDVI.

**Key-words:** Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR), view angle, directional effects and NDVI.

## INTRODUÇÃO

A anisotropia é uma importante característica espectral da vegetação e ela tem sido explorada em estudos conduzidos em nível de laboratório, de campo, aerotransportado e orbital (KIMES et al., 1984; 1994; LEROY e ROUJEAN, 1994; VERBRUGGHE e CIERNIEWSKI, 1995; ASNER et al., 1998; GALVÃO et al., 2004). Em geral, estes estudos concluem que as mudanças espectrais do sinal coletado pelo sensor são dependentes da geometria de aquisição, do comprimento de onda e do tipo de vegetação estudado.

Os estudos relacionados ao tema anisotropia se servem de dados radiométricos disponibilizados de diferentes formas, incluindo números digitais originais (ND), ou seja, que não foram convertidos para valores físicos (radiância ou reflectância), e valores de Fatores de Reflectância aparente ou de superfície (BRFapa, BRFsup). Fica evidente, portanto, que os resultados desses estudos são dependentes também do tipo de dado utilizado (ND, BRFapa, BRFsup). Os termos “aparente” e “superfície” referem-se aqui à aplicação ou não de correção dos efeitos da atmosfera sobre os dados. Em outras palavras, aparente refere-se ao dado sem correção (topo da atmosfera) e superfície refere-se ao dado corrigido do efeito da atmosfera.

Embora consagrado na literatura que a determinação de índices de vegetação reduz a influência dos efeitos direcionais, estudos envolvendo a determinação de índices de vegetação a partir de dados não-corrigidos e corrigidos em relação aos efeitos da atmosfera em função do ângulo de visada ainda são necessários.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da geometria de coleta de dados e da interferência atmosférica sobre valores de dados do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), extraído de diferentes fisionomias de cerrado no período de novembro de 2003 a outubro de 2004. Para tanto, foram utilizados valores de BRFapa e de BRFsup, adquiridos pelo sensor *Multi-angle Imaging SpectroRadiometer* (MISR) (DINER et al., 1998) a bordo do satélite TERRA.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização da área de estudo

Em relação à cobertura vegetal da área selecionada para este estudo, localizada no noroeste do Estado de Minas Gerais (MG), há cinco fitofisionomias predominantes. De acordo com o sistema brasileiro de classificação da vegetação (IBGE, 1992), as fitofisionomias são: Floresta Estacional semi-decídua (FESD), Floresta Estacional decídua (FED), Floresta Pluvial (FP), Savana Arborizada (AS) e Savana Parque (SP). Segundo o sistema de classificação do Cerrado proposto por RIBEIRO e WALTER (1998), as fitofisionomias SA e SP são equivalentes ao Cerrado *stricto sensu* e ao Cerrado ralo, respectivamente.

A deciduidade na estação seca varia de 20% a 50% para FESD, e é maior do que 50% para a FED. FP ocorre em áreas próximas ao rio São Francisco e abrange uma variedade de tipologias. SA e SP apresentam pequenas palmeiras, arbustos retorcidos e inclinados sobre um substrato de gramíneas. Entretanto, a SA mostra um estrato arbóreo dominante e um maior percentual de cobertura de copas do que SP. O clima é caracterizado por estações chuvosa (Novembro a Abril) e seca (Maio a Outubro) bem definidas. Em geral, a média anual de precipitação é de 925mm, e um percentual superior a 85% de precipitação concentra-se na estação chuvosa.

### Aquisição de dados do sensor MISR

O sensor MISR adquire dados em nove câmeras com os seguintes ângulos de visada relativos à superfície terrestre: -70.5° (Df), -60° (Cf), -45.6° (Bf), e -26.1° (Af) para frente, 0° (An) ao nadir, e +26.1° (Aa), +45.6° (Ba), +60° (Ca) e +70.5° (Da) para trás. A denominação “f” representa a direção para frente na direção de vôo do satélite, enquanto que a letra “a” indica as câmeras da retaguarda. No presente estudo, as câmeras cujos ângulos de visada são negativos (câmeras para frente) e positivos (câmeras para trás) indicam a região preferencial do retroespalhamento e espalhamento frontal, respectivamente.

Cada câmera adquire dados em quatro bandas espectrais radiometricamente calibradas, georreferenciadas e espacialmente co-registradas nos comprimentos de onda do azul (425-467nm), verde (543-572nm), vermelho (661-683nm) e infravermelho próximo (IVP) (846-886nm) (DINER et al. 1998). A aquisição de todo o conjunto de dados multi-angulares para uma mesma órbita-ponto é de aproximadamente 7 minutos, período em que as condições atmosféricas variam pouco.

Dados do sensor MISR foram adquiridos durante um ciclo sazonal: 17 de Novembro de 2003 (início da estação chuvosa); 25 de Abril (final da estação chuvosa); 30 de julho (estação seca); e 02 de Outubro de 2004 (final da estação seca). De acordo com a inspeção prévia dos dados, os dados MISR de Novembro foram adquiridos próximos ao plano solar ortogonal, os dados de Outubro no plano solar oblíquo, e as demais datas próximas ao plano solar principal.

Neste estudo, foram utilizados dois tipos de dados: a) dados do nível de processamento 1B2 correspondente a BRFPapa, e b) dados do nível 2 contendo o BRFSup. Todos os dados utilizados possuem resolução espacial de 1,1km. De forma complementar, dados do nível 1B1, contendo parâmetros radiométricos e de calibração, e do nível 2, como o índice de área foliar (IAF) (HU et al., 2003), também foram considerados na discussão dos resultados.

### Análise de dados e processamentos

A primeira etapa consistiu na seleção de pixels em áreas homogêneas e representativas de cinco fitofisionomias mencionadas anteriormente. Esta seleção foi baseada na análise comparativa de mapas prévios de vegetação (e.g., IBGE, 2004), classificação não-supervisionada *K*-médias para os dados BRFP adquiridos na visada ao nadir e principalmente de campanhas de campo para a caracterização e seleção de áreas potenciais e representativas de cada fitofisionomia em análise.

Após a definição das áreas representativas de cada fitofisionomia, um conjunto de 10 pixels foi selecionado para cada classe, baseados na representatividade das fitofisionomias e dispersão entre os mesmos. Estes foram usados para a extração dos valores BRFP e de radiância do topo da atmosfera em cada banda espectral, ângulo de visada e produto. Dados de radiância do topo da atmosfera foram convertidos para reflectância aparente (também conhecida como reflectância do topo da atmosfera) usando parâmetros radiométricos auxiliares do sensor MISR. Este procedimento foi empregado para redimensionar as bandas espectrais do vermelho e do IVP em uma mesma escala radiométrica. A conversão para cada banda espectral, ângulo de visada e data foi obtida através da equação:

$$BRF_{apa} = \left( \frac{\pi \times L_{\lambda} \times d^2}{E_{\lambda} \times \cos \theta} \right) \quad \text{[adimensional]} \quad \text{Eq. 2.1}$$

onde:

- $BRF_{apa}$  = Fator de Reflectância Bidirecional do topo da atmosfera;
- $\pi$  = Constante transcendental;
- $L_{\lambda}$  = Radiância espectral física ( $Wm^{-2}sr^{-1}$ );
- $d$  = Distância Sol-Terra em unidades astronômicas;
- $E_{\lambda}$  = Irradiância exo-atmosférica ( $Wm^{-2}$ ); e
- $\theta$  = Ângulo Solar zenital (graus).

Finalmente, para avaliar as variações espectro-angulares das fitofisionomias, o conjunto de dados correspondente às bandas do vermelho e do IVP, adquiridos em diferentes ângulos de visada (câmeras “a” e “f”), foi usado para obter o NDVI para cada câmera, produto e data. Em seguida, perfis espectrais e de NDVI de cada classe foram extraídos e representados para cada produto como uma função do ângulo zenital de visada.

Para subsidiar as inferências a respeito dos perfis temporais do NDVI, os dados foram submetidos aos seguintes testes estatísticos: teste de normalidade de *Kolmogorov-Smirnoff*, igualdade entre as variâncias através da análise de resíduo e o teste *t* de *Student*. O teste *t* de *Student* foi empregado para verificar se as diferenças encontradas nas bandas espectrais de ambos os produtos (BRFP aparente e de superfície) são

estatisticamente diferentes considerando a visada ao nadir. Assim, pode-se subsidiar se a caracterização espectral de uma dada formação vegetal pode ser comprometida. O teste também foi empregado nos valores do NDVI obtidos na visada ao nadir, visando verificar se os valores diferem estatisticamente daquelas obtidas nos demais ângulos de visada de um mesmo produto. Assim, pode-se inferir se o ângulo de visada pode introduzir diferenças estatísticas na determinação deste índice de vegetação. E por último, entre os dados do NDVI de ambos os produtos na visada ao nadir, permitindo avaliar se os procedimentos de correção atmosférica interferem na significância estatística de ambos dados. O NDVI de cada ângulo de visada, produto e data foi obtido através da equação:

$$NDVI = \left( \frac{\rho_{(IVP)} - \rho_{(Vermelho)}}{\rho_{(IVP)} + \rho_{(Vermelho)}} \right) \quad \text{[adimensional]} \quad \text{Eq. 2.2}$$

onde:

- $NDVI$  = Normalized Difference Vegetation Index;  
 $\rho_{(IVP)}$  = BRF da banda do infravermelho próximo; e  
 $\rho_{(Vermelho)}$  = BRF da banda do vermelho.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os perfis espectrais obtidos para os dados do BRFapa resultaram em valores médios maiores nas bandas do visível e sensivelmente menores para a banda do IVP, em comparação aos dados do BRFsup. Esse resultado era esperado em função dos fenômenos de espalhamento e de absorção que ocorrem na região do visível e na região do infravermelho próximo, respectivamente (GOEL, 1988; KIMES et al., 1984; KUMAR, 1972; PONZONI, 2001). Uma análise estatística mostrou que os dados apresentaram uma distribuição normal e igualdade nas variâncias, e o teste *t* de *Student* indicou diferença estatisticamente significativa entre as médias das bandas do visível da câmera ao nadir para BRFapa e BRFsup, a um nível de significância de  $p < 0,05$  para as fitofisionomias em análise. Por outro lado, as bandas do IVP não mostraram diferenças estatísticas. Como exemplo, pode ser citado a FED ( $t = -1,62$ ,  $p = .123$  e  $t = .001$ ,  $p = .999$ ) e SP ( $t = -1,957$ ,  $p = .066$  e  $t = -.036$ ,  $p = .972$ ) nos meses de Outubro e Abril, respectivamente. Em outras palavras, baseado nas análises estatísticas, fica evidente que utilizar dados corrigidos e dados não corrigidos dos efeitos da atmosfera afeta a caracterização espectral da vegetação, especialmente para dados provenientes da região do visível.

Os perfis do NDVI obtidos a partir dos dados do BRFapa em função do ângulo zenital de visada foram ligeiramente inferiores aos BRFsup. Segundo DINER et al. (1999) este comportamento é observado em função da maior contribuição aditiva do espalhamento atmosférico, principalmente na região espectral do vermelho em direção a visadas extremas. O formato de parábola dos perfis obtidos a partir dos dados do BRFapa reflete claramente os efeitos atmosféricos do nadir para as visadas mais extremas em ambas as regiões de espalhamento da radiação solar.

A determinação do NDVI a partir dos dados BRFapa mostrou diferenças estatísticas significativas entre os dados do nadir para as câmeras Af e Aa (ângulo de visada de  $-26,1^\circ$ , e  $+26,1^\circ$ ). A exceção foi encontrada para a fitofisionomia SP na câmera Aa ( $+26,1^\circ$ , direção do espalhamento frontal) calculado a partir do BRFapa para o mês de Outubro ( $t = -2,308$ ,  $p = ,033$ ). Diante destes resultados pode-se afirmar que o ângulo de visada influencia os valores de NDVI. As diferenças estatísticas entre os dados do NDVI para a visada ao nadir, tanto para BRFapa quanto para BRFsup, também mostraram-se significativas em todos os dados analisados a um nível de significância de  $p < 0,05$ .

Mesmo tendo sido calculados a partir de valores de BRFsup, os valores de NDVI não foram isentos dos efeitos angulares da aquisição de dados. Vale salientar que a magnitude dos efeitos direcionais foi dependente da geometria de aquisição e da fitofisionomia em análise. Estas constatações corroboram com os estudos realizados por GALVÃO et al. (2004) e XAVIER e GALVÃO (2004) que observaram um decréscimo na reflectância da banda espectral do vermelho em função do aumento do ângulo de visada.

Para os dados coletados na visada ao nadir, e adquiridos nos planos ortogonal solar e oblíquo (Novembro e Outubro), ou seja, com os menores valores do ângulo zenital solar, maiores valores do NDVI em ambas as

regiões preferenciais de espalhamento foram observadas em função da similaridade das condições de iluminação em ambas as regiões de espalhamento. Especificamente para os dados coletados em Novembro, ou seja, adquiridos no plano ortogonal solar, os valores do NDVI obtidos a partir de dados do BRFSup tenderam a ser simétricos próximos à visada do nadir em comparação aos dados adquiridos próximos ao plano principal solar. Entretanto, os efeitos direcionais foram crescentes para fitofisionomias compostas por dosséis densos ou com o decréscimo do LAI da FED ( $LAI_{MISR} 4,74 \pm 0,52$ ), FP ( $3,45 \pm 1,43$ ) e FESD ( $3,27 \pm 1,45$ ) para SA ( $2,31 \pm 0,66$ ) e SP ( $2,03 \pm 1,34$ ). Particularmente, as fitofisionomias SA e SP mostraram diferenças do NDVI de aproximadamente 25 e 40% respectivamente, para as visadas extremas comparadas àquelas obtidas na visada ao nadir.

Estas constatações permitem concluir que fitofisionomias com maior densidade, ou seja, com maiores valores de LAI e rugosidade, apresentaram menores variações do NDVI com o acréscimo do ângulo de visada em ambas as regiões preferenciais de espalhamento. Nas condições desta investigação, estes resultados mostraram que o NDVI é dependente de parâmetros biofísicos do dossel em resposta à alteração da geometria de visada. Estes resultados corroboram com aqueles obtidos nas investigações desenvolvidas por IRONS et al. (1991), RANSON et al. (1994), SPANNER et al. (1994), WALTER-SHEA et al. (1997), KAUFMANN et al. (2000) e com as simulações conduzidas por HOLBEN e FRASER (1984), JUPP e STRAHLER (1991), EPIPHANIO e HUETE (1995) e SANDMEIER e ITTEN (1999).

Na estação chuvosa, as fitofisionomias predominantemente arbóreas ou com maiores valores de LAI (FED, FESD e FP), exibiram maiores valores do NDVI do que as formações arbóreo-arbustivas (SP e SA). Do início para o final da estação chuvosa, um aumento generalizado foi observado nos valores do NDVI para todas as fitofisionomias em boa parte dos ângulos de visada. Conforme esperado, e preconizado na literatura, da estação chuvosa para a seca, houve uma diminuição nos valores do NDVI. Entretanto, a magnitude das variações angulares do NDVI com a sazonalidade foi acentuada para a FED em função de sua extrema deciduidade.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nas condições deste estudo, as seguintes considerações podem ser feitas:

- (1) Os perfis espectrais das bandas do BRFapa mostram diferenças estatísticas significativas em relação às bandas do BRFSup, principalmente para as bandas espectrais do visível;
- (2) Os perfis do NDVI obtidos a partir do BRFapa foram menores do que aqueles obtidos com dados BRF de superfície, e um formato cônico refletiu claramente os efeitos atmosféricos que aumentaram do nadir para as visadas extremas em função da contribuição aditiva do espalhamento atmosférico, especialmente para as bandas espectrais da região do visível;
- (3) A determinação do NDVI a partir do BRFapa e BRFSup mostrou diferenças estatísticas significativas (teste *t*; nível de significância de 0,05) entre o nadir e as câmeras Af e Aa (ângulos de visada de  $-26,1^\circ$ , e  $+26,1^\circ$ ), respectivamente. Diferenças estatísticas também foram encontradas entre os dados do nadir de ambos os produtos, indicando a necessidade de se considerar os efeitos angulares e atmosféricos em dados de sensores com um largo campo de visada e ângulos extremos de aquisição; e
- (4) Efeitos direcionais não foram completamente removidos com a determinação do NDVI, e tais efeitos sempre estiveram associados à geometria de aquisição, sazonalidade e fitofisionomia em análise.

## AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento do trabalho. Agradecimentos também são endereçados ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) pela autorização dos estudos em campo, à Agência Nacional de Águas (ANA) pela

disponibilização dos dados pluviométricos, e a NASA Langley Research Center Atmospheric Sciences Data Center pelo fornecimento dos dados do sensor MISR.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASNER, G.P. et al. Ecological research needs from multi-angle remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, v. 63, n. 2, p. 155-165, 1998.

DINER, D.J. et al. Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR) instrument description and experiment overview. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 36, n. 4, p. 1072-1087, 1998.

DINER, D.J. et al. New directions in earth observing: scientific applications of multiangle remote sensing. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 80, n. 11, p. 2209-2228, 1999.

EPIPHANIO, 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.

GALVÃO, L.S. et al. Sun and view angle effects on NDVI determination of land cover types in the Brazilian Amazon region with hyperspectral data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 25, n. 10, p. 1861-1879, 2004.

GOEL, N.S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. *Remote Sensing Reviews*, v. 4, p. 1-21, 1988.

HOLBEN, B.; FRASER, R.S. Red and Near-Infrared sensor response to off-nadir viewing. *International Journal of Remote Sensing*, v. 5, p. 145-160, 1984.

HU, J.N. et al. Performance of the MISR LAI and FPAR algorithm: a case study in Africa. *Remote Sensing of Environment*, v. 88, n. 3, p. 324-340, 2003.

IBGE. *Manual técnico da vegetação do Brasil*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 1992.

IBGE. *Mapa de vegetação do Brasil*. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2004.

IRONS, J.R. et al. An off-nadir pointing imaging spectroradiometer for terrestrial ecosystem studies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 29, p. 66-74, 1991.

JUPP, D.L.; STRAHLER, A.H. A hotspot model for leaf canopies, *Remote Sensing of Environment*, v. 38, n. 3, p.193-210, 1991.

KAUFMANN, R.K. et al. Effect of orbital drift and sensor changes on the time series of AVHRR vegetation index data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 38, n. 6, p. 2584-2597, 2000.

KIMES, D.S. et al. Optimal directional view angles for remote-sensing missions. *International Journal of Remote Sensing*, v. 5, p. 887-908, 1984.

KIMES, D.S. et al. Extension of off-nadir view angles for directional sensor systems. *Remote Sensing of Environment*, v. 50, p. 201-211, 1994.

KUMAR, R. *Radiation from plants-reflection and emission: a review*. Lafayette: Purdue Research Foundation, (Research Project, n.5543), p. 1-88, 1972.

- LEROY, M.; ROUJEAN, J.-L. Sun and view-angle corrections on reflectance derived from NOAA/AVHRR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 32, p. 3, p. 684-697, 1994.
- PONZONI, F.J. Comportamento espectral da vegetação. In: MENESES, P.R.; MADEIRA NETTO, J.S., *Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais*. Brasília: EMBRAPA, 2001, p. 157-202.
- RANSON, K.J. et al. Multispectral bidirectional reflectance of northern forest canopies with the Advanced Solid-state Array Spectroradiometer. *Remote Sensing of Environment*, v. 47, n. 2, p. 276-289, 1994.
- RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. *Fitofisionomias do bioma Cerrado*. In: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P., *Cerrado: ambiente e flora*. Brasília: EMBRAPA, 1998. p. 89-152.
- SANDMEIER, S.R.; ITTEN, K.I. A field Goniometer System (FIGOS) for acquisition of Hyperspectral BRDF data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 37, n. 2, p. 978-986, 1999.
- SPANNER, M.A. et al. Atmospheric correction algorithm for NOAA-AVHRR products: theory and application. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.30, n.2, 1994.
- VERBRUGGHE, M.; CIERNIEWSKI, J. Effects of Sun and view geometries on cotton bidirectional reflectance. Test of a geometrical model. *Remote Sensing of Environment*, v. 54, p. 189-197, 1995.
- WALTER-SHEA, E.A. et al. Relations between directional spectral vegetation indices and leaf area and absorbed radiation in alfalfa. *Remote Sensing of Environment*, v. 61, p. 162-177, 1997.
- XAVIER, A.S.; GALVÃO, L.S. View angle effects on the discrimination of selected Amazonian land cover types from a principal-component analysis of MISR spectra. *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, n. 17, p. 3797-3811, 2005.