

## Caracterização espectro-angular de fitofisionomias do Cerrado a partir de dados multitemporais do sensor MISR/EOS-AM1

Veraldo Liesenberg<sup>1</sup>  
Lênio Soares Galvão<sup>2</sup>  
Flávio Jorge Ponzoni<sup>2</sup>

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

<sup>1</sup> Pós-graduação em Sensoriamento Remoto – Bolsista do CNPq-Brasil

<sup>2</sup> Divisão de Sensoriamento Remoto

Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil

{vlberg, lenio, flavio}@dsr.inpe.br

**Abstract.** Angular variations of the Bidirectional Reflectance Factor (BRF) and of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) were analyzed for five savanna physiognomies from data collected at the dry and rainy seasons by the Multiangle Imaging Spectroradiometer (MISR/EOS-AM1). Results showed that the savanna vegetation types depicted more symmetric angular profiles in the rainy season than in the dry season, when scattering both backward and forward directions. The angular dependence of the NDVI values increased from grasslands to savanna woodland, which presented increasing NDVI values from nadir to extreme viewing. Preliminary results indicated the need to evaluate better the use of multiangular data in the discrimination of savanna vegetation types with spectral similarity in reflectance data at nadir viewing.

**Palavras-chave:** Multiangle remote sensing, BRF, MISR/EOS-AM1, savannas, cerrado, NDVI.

### 1. Introdução

Diante da necessidade do monitoramento global da vegetação para a compreensão de seu papel nas atuais mudanças climáticas, novos sensores têm sido propostos, desenvolvidos e lançados para adquirir dados com uma melhor qualidade temporal, espacial, espectral e radiométrica (Deschamps et al., 1994; Sandmeier e Itten, 1999; Defries e Belward, 2000; Hautecoeur e Leroy, 2000). O lançamento do EOS/AM1 (Earth Observation System – satélite Terra) em dezembro de 1999, com cinco sensores iniciaram uma nova era no sensoriamento remoto da vegetação.

O objetivo geral do programa EOS é a predição de mudanças ambientais naturais ou resultantes de atividades antrópicas (King e Greenstone, 1999). Graças às características espaciais, angulares, radiométricas e temporais dos dados gerados pelos sensores do satélite Terra, diversos modelos climáticos existentes para a caracterização dos diferentes biomas puderam ser aperfeiçoados (Sellers et al. 1996).

A identificação, classificação e o monitoramento dos diferentes biomas, são atividades relevantes por várias razões, especialmente porque constituem uma informação essencial para o estudo dos ciclos geoquímicos globais e do impacto resultante das atividades antrópicas (Vitousek et al. 1997). Além disso, o desenvolvimento de algoritmos para estimar as variáveis biofísicas da superfície a partir de dados orbitais, requer o uso de mapas de vegetação para reduzir as incertezas de modelos climáticos (Knyazikhin et al. 1998a, b; Friedl et al., 2000; Hansen et al., 2000). Entretanto, o mapeamento da vegetação de alguns biomas, ainda é considerado um desafio.

O Cerrado Brasileiro possui fitofisionomias que muitas vezes não são facilmente distinguíveis em imagens de satélite, devido em parte as suas propriedades fenológicas, incluindo as formações campestres até as fitofisionomias de porte florestal. Atualmente este bioma sofre uma rápida mudança em sua cobertura vegetal, em função do crescimento da

fronteira agrícola. Isto tem levado os órgãos ligados ao meio ambiente e a sociedade civil a buscarem a criação de medidas para a sua preservação e conservação. Dados de sensoriamento remoto em nível orbital surgem como uma boa alternativa para a realização de estudos que visam estudar a vegetação deste bioma. Nesse sentido, o sensor MISR (Multiangle Imaging Spectroradiometer), que é um dos cinco instrumentos a bordo do satélite Terra, adquire dados multiespectrais e multiangulares em nove câmeras ou ângulos de visada, e seus dados podem oferecer uma excelente oportunidade para avaliar o uso potencial da visada fora do nadir na discriminação das diferentes fitofisionomias do Cerrado Brasileiro.

Este trabalho apresenta alguns resultados preliminares sobre a resposta espectro-angular de diferentes fitofisionomias do Cerrado. Variações angulares em duas épocas distintas (estações seca e chuvosa) do Fator de Reflectância Bidirecional (BRF) das bandas do vermelho e do infravermelho próximo (bandas 3 e 4), e do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – Rouse et al., 1973), são apresentadas e discutidas para subsidiar uma investigação em andamento sobre a influência da geometria de visada na discriminação das diferentes fitofisionomias do Cerrado brasileiro.

## **2. O Instrumento MISR/EOS-AM1**

O sensor MISR adquire imagens usando nove distintas câmeras que obtêm dados com os seguintes ângulos de visada:  $0^\circ$  (An),  $\pm 26.1^\circ$  (Af, Aa),  $\pm 45.6^\circ$  (Bf, Ba),  $\pm 60.0^\circ$  (Cf, Ca),  $\pm 70.5^\circ$  (Df, Da). Os sinais positivos e negativos indicam respectivamente a visada das câmeras para frente e para trás ao longo da linha de vôo. Cada câmera adquire dados em quatro bandas centradas nos seguintes comprimentos de onda: 446nm, 558nm, 672nm e 866nm (Diner et al., 1998).

Portanto, o sensor MISR adquire um conjunto de 36 medidas (nove câmeras vs. quatro bandas) fornecendo informações espectrais e angulares da superfície terrestre. A resolução espacial dos dados fornecidos pelo MISR depende da câmera, da banda e do nível de processamento dos dados. Para o nível 2, que contém dados do Fator de Reflectância Bidirecional (BRF) que foram utilizados neste trabalho, todas as câmeras e bandas apresentam uma resolução espacial de 1,1km.

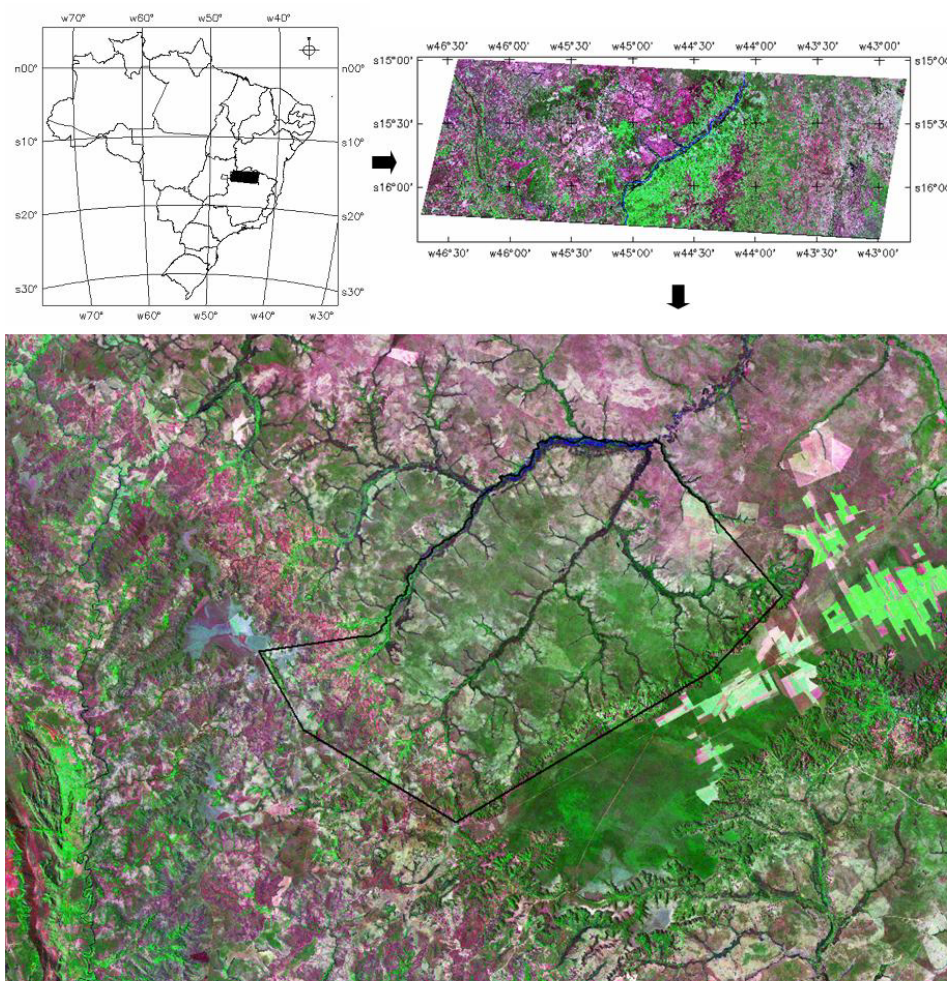
## **3. Metodologia de Trabalho**

A área de estudo inclui principalmente o Parque Nacional Grande Sertão Veredas (PARNA), localizado na porção Noroeste do Estado de Minas Gerais (**Figura 1**). O PARNA ocupa uma área de 230.000 hectares e a alteração da área desta unidade de conservação tem sido discutida recentemente (Brasil 2004).

Imagens MISR do nível 2, que incluem os dados BRF, coletadas em duas datas distintas (06/03/2003 e 12/07/2003), foram analisadas. Estas datas correspondem às estações chuvosa (06/03/2003) e seca (07/12/2003). A prévia análise destas imagens, a realização de campanhas de campo na região e dados de estudos prévios realizados no PARNA por Miranda et al. (2001) possibilitaram a identificação de cinco distintas fitofisionomias mais predominantes na área de estudo. Foram consideradas as classes: campo limpo, campo sujo, cerrado ralo, cerrado sensu-stricto e cerrado denso. Estas fisionomias foram caracterizadas por valores espectrais médios de BRF extraídos para as bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho próximo) do MISR a partir de conjuntos de 5 pixels.

Além disso, variações angulares do índice de vegetação NDVI também foram analisadas em função do ângulo de visada. Os dados de BRF e NDVI foram normalizados em relação à

resposta do nadir para facilitar a análise da dependência espectral-angular de cada fitofisionomia.



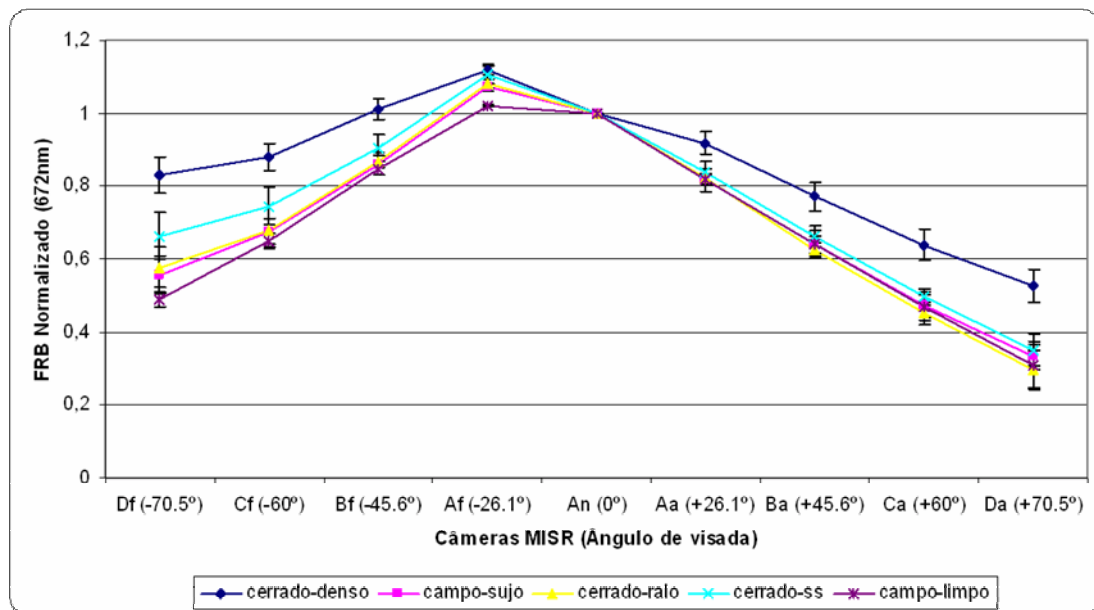
**Figura 1** – Localização do Parque Nacional Grande Sertão de Veredas dentro dos contextos nacional, regional e local. As bandas 2 (vermelho), 4 (verde) e 7 (azul) do sensor TM/Landsat 5 foram utilizadas na composição colorida.

#### 4. Resultados e discussão

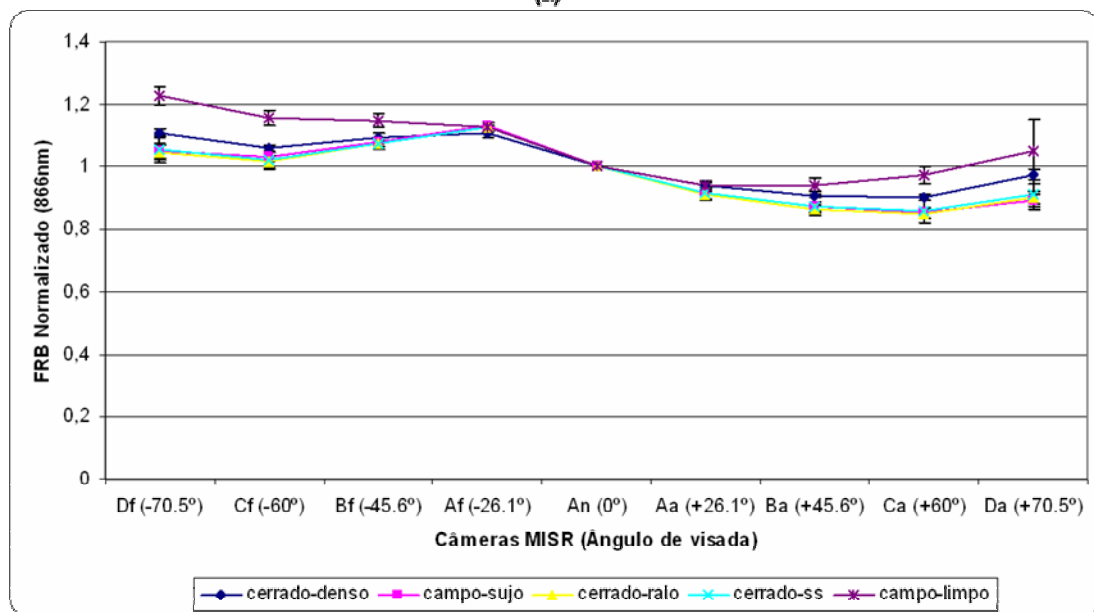
A **Figura 2** mostra variações dos valores de reflectância das bandas do vermelho e do infravermelho próximo do sensor MISR para a estação chuvosa (março de 2003). Conforme mencionado anteriormente, os dados foram normalizados em relação aos valores de BRF obtidos ao nadir.

Na **Figura 2a**, a reflectância da banda 3 (vermelho) aumentou da câmera do nadir para a câmera Af para todas as fisionomias de vegetação analisadas, diminuindo em seguida com o aumento do ângulo de visada nas direções de retroespalhamento (câmeras f) e o espalhamento frontal (câmeras a). A maior variabilidade angular na banda do vermelho foi observada para campo limpo, enquanto que a menor variabilidade foi verificada para o cerrado denso. Na **Figura 2b**, em relação ao nadir, a reflectância da banda do infravermelho próximo aumentou na direção do retroespalhamento (maior quantidade de componentes do dossel iluminados vista pelo sensor) e diminuiu na direção do espalhamento frontal (maior quantidade de

componentes sombreados vista pelo instrumento). Na direção do retroespalhamento, a maior variabilidade angular relativa foi observada para o campo limpo.



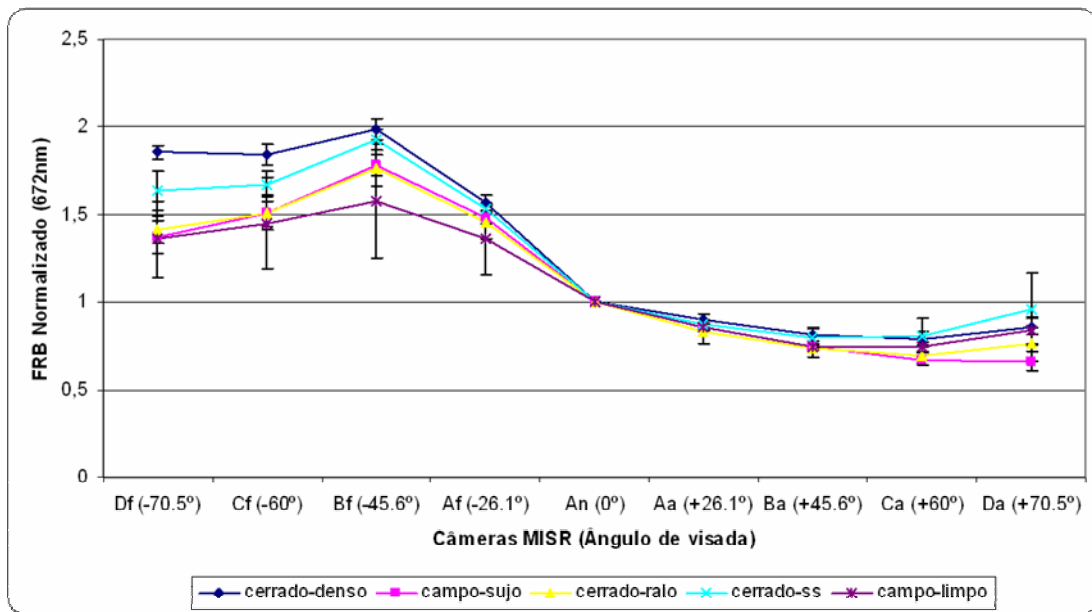
(a)



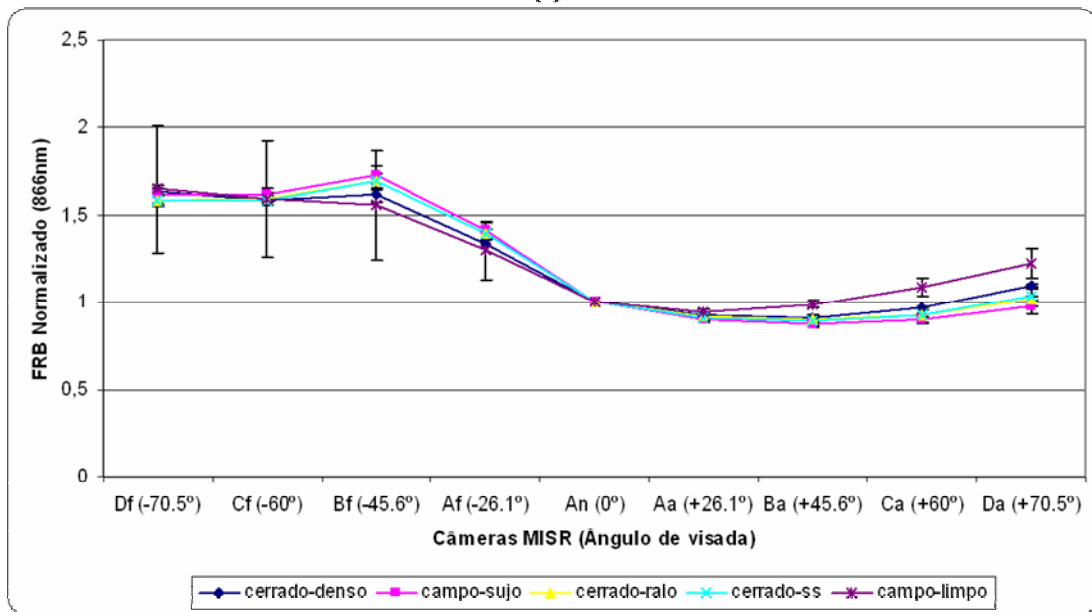
(b)

**Figura 2** – Variação relativa ao nadir dos valores do BRF nas bandas do vermelho (a) e do infravermelho próximo (b) do MISR para cinco fitofisionomias do cerrado. Os dados foram obtidos na estação chuvosa (março de 2003). Os valores de desvio-padrão estão indicados para cada câmera.

A **Figura 3** ilustra as variações dos valores de BRF normalizados para a estação seca. Quando comparada com a **Figura 2**, a **Figura 3** apresenta uma maior assimetria no comportamento angular das fisionomias de cerrado na estação seca. A magnitude das variações relativas ao nadir também foram maiores em ambas as bandas na direção do retroespalhamento (câmeras f), conforme indicado pelos valores de BRF normalizados comparativamente mais altos do que os vistos na **Figura 2**.



(a)

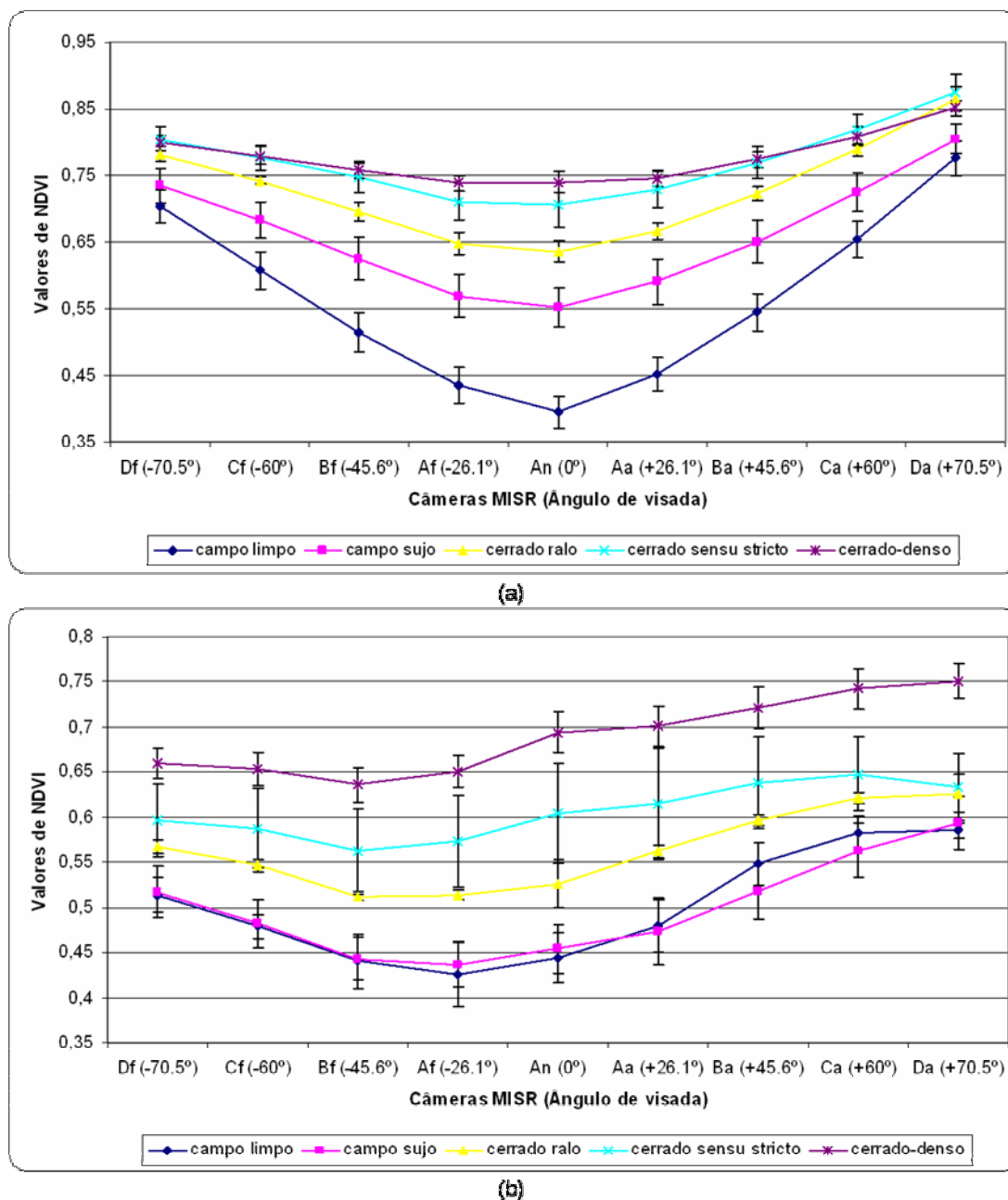


(b)

**Figura 3** - Variação relativa ao nadir dos valores de BRF nas bandas do vermelho (a) e do infravermelho próximo (b) do MISR para cinco fitofisionomias do cerrado. Os dados foram obtidos na estação seca (julho de 2003). Os valores de desvio-padrão estão indicados para cada câmera.

A **Figura 4** apresenta as variações angulares dos valores de NDVI das cinco fitofisionomias de cerrado para as estações chuvosa e seca. Em geral, conforme preconizado pela literatura, os valores de NDVI obtidos ao nadir para as diferentes classes de vegetação diminuíram da estação chuvosa para a estação seca. Na estação chuvosa (**Figura 4a**), os valores de NDVI aumentaram do nadir para a visada extrema nas direções do retroespalhamento e do espalhamento frontal, em função da diminuição relativamente mais forte da reflectância na banda do vermelho com o aumento do ângulo de visada (**Figura 2a**). Na estação seca (**Figura 4b**), padrão similar foi observado apenas na direção de espalhamento frontal (câmeras a). Portanto, a variação angular do NDVI foi mais simétrica na estação

chuvosa do que na estação seca. Em ambas as estações, a dependência angular do índice aumentou do cerrado denso para o campo limpo, fitofisionomia que exibiu uma maior anisotropia com a variação do ângulo de visada.



**Figura 4** – Variação angular dos valores de NDVI para cinco fitofisionomias de Cerrado nas estações chuvosa (a) e seca (b). Os valores de desvio-padrão para cada câmera estão indicados para cada câmera.



## 5. Conclusões

As fitofisionomias de Cerrado apresentaram uma maior simetria na resposta angular das bandas do vermelho e do infravermelho próximo do MISR e nos valores resultantes de NDVI na estação chuvosa nas direções de retroespalhamento e espalhamento frontal.

A dependência angular das fisionomias aumentou do cerrado denso para campo limpo, que apresentou diferenças de NDVI substancialmente mais altas do nadir para as visadas extremas. Na estação chuvosa, os valores de NDVI aumentaram do nadir para a visada extrema nas direções do retroespalhamento e do espalhamento frontal, em função da diminuição relativamente mais acentuada da reflectância na banda do vermelho com o aumento do ângulo de visada. Na estação seca, o mesmo comportamento foi observado na direção de espalhamento frontal (Câmeras A).

O Cerrado Brasileiro é um bioma complexo e extenso que vem sofrendo uma rápida mudança em sua cobertura vegetal. A utilização de dados multiespectrais e multiangulares poderá auxiliar o mapeamento de sua cobertura vegetal e a delimitação das áreas mais afetadas nos processos de mudanças. Os resultados deste estudo indicam a necessidade de estudar se as variações angulares apresentadas podem servir de fonte de informação para a discriminação de fitofisionomias de cerrado espectralmente similares, que são de difícil separação com os dados de sensoriamento remoto obtidos ao nadir.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a “NASA Langley Research Center Atmospheric Sciences Data Center” pelo fornecimento das imagens e dados auxiliares do sensor MISR/EOS-AM1; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pelo suporte financeiro deste trabalho.

## Referencias Bibliográficas

- Brasil. **Decreto 97.658, 21 de maio de 2004**. Amplia os limites do Parque Nacional “Grande Sertão Veredas”, criado pelo Decreto 97.658, e dá outras providências. Diário Oficial (da República Federativa do Brasil), Brasília, 24 de maio de 2004.
- Defries, R. S.; Belward, A. S. Global and regional land cover characterization from satellite data: an introduction to the Special Issue. **International Journal of Remote Sensing**, v.21, n.6, p.1083-1092, 2000.
- Deschamps, P.Y., Brèon, F. M, Leroy, M., Podairre, A. Bricaud, A. Buriez, J. C. Seze, G. The POLDER Mission: Instrument characteristics and Scientific objectives. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.32, n.3, p.598-615, 1994.
- Diner, D. J.; Beckert, J. C.; Reilly, T. H.; Bruegge, C. J.; Conel, J. E.; Kahn, R. A.; Martonchik, J. V.; Ackerman, T. P.; Davies, R.; Gerstl, S. A. W.; Gordon, H. R.; Muller, J. P.; Myneni, R. B.; Sellers, P. J.; Pinty, B.; Verstraete, M. M. 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.
- 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.977-989, 2000.
- Hansen, M. C.; DeFries, R. S.; Townshend, J. R. G.; Sohlberg, R. Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach. **International Journal of Remote Sensing**, v.21, n.15, p.1331-1364, 2000.
- Hautecoeur, O.; Leroy, M. An accuracy assessment experiment of the BRDF measured at coarse spatial resolution from space. **International Journal of Remote Sensing**, v.20, n.15, p.2957-2963, 2000.

King, M. D.; Greenstone, R. **EOS Reference Handbook**: Rep. NASA Goddard Space Flight Center, USA: Greenbelt, 1999. 361p.

Knyazikhin, Y.; Martonchik, J. V.; Diner, D. J.; Myneni, R. B.; Verstraete, M. M.; Pinty, B.; Gobron, N. Estimation of vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from atmosphere corrected MISR data. **Journal of Geophysical Research**, v.103, n.32, p. 239-256. 1998a.

Knyazikhin, Y.; Martonchik, J. V.; Myneni, R. B.; Diner, D. J.; Running, S. 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.32, p. 257-275. 1998b.

Ottmar, R. D.; Vihnanek, R. E.; Miranda, H. S.; Sato, M. N.; Andrade, S. M. A. **Stereo Photo Series for Quantifying Cerrado Fuels in Central Brazil** – vol. 1. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-519. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. 2001. 87p.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Third ERTS Symposium, **Proceedings**, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

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.

Sellers, P. J.; Randall, D. A.; Collatz, G. J.; Berry, J. A.; Field, C. B.; Dazlich, D. A., Zhang, C., Collelo, G. D., Bounoua, L. A Revised Land Surface Parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMs. Part I: Model Formulation. **Journal of Climate**, v.9, n.4, p.676-705, 1996.

Vitousek, P. M.; Mooney, H. A.; Lubchenco, J.; Melillo, J. M. Human Domination of Earth's Ecosystems. **Science**, v.277, n.5325, p.494-499, 1997.