

IDENTIFICAÇÃO DAS ASSINATURAS TEMPORAIS NDVI DAS PRINCIPAIS FISIONOMIAS DA REGIÃO DO ECOMUSEU DO CERRADO

**Antonio Felipe Couto Júnior¹, Osmar Abílio de Carvalho Júnior¹,
Éder de Souza Martins², José Imaña Encinas³**

¹ Universidade de Brasília – Departamento de Geografia
Caixa Postal 04357 - 70919-970 - Brasília - DF, Brasil
antoniofelipejr@gmail.com; osmarjr@unb.br

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, CPAC
73301970 - Planaltina – DF, Brasil
eder@cpac.embrapa.br

³ Universidade de Brasília – Departamento de Engenharia Florestal
Caixa Postal 04357 - 70919-970 - Brasília - DF, Brasil
imana@unb.br

Recebido 02 de junho de 2007, revisado 15 de agosto, aceito 12 de setembro

RESUMO – A Savana brasileira, conhecida como Cerrado, é o principal tipo de vegetação no Brasil Central, cobrindo aproximadamente 23% do território nacional. É formado por um mosaico de coberturas como campestres, arbustiva e florestal, e apresenta uma fenologia típica, resultante da variação pluviométrica e alta dependência geobotânica nesta região. Imagens adquiridas na mesma área em tempos diferentes representam uma valiosa fonte de informação para o monitoramento regular da superfície terrestre, permitindo descrever a evolução da cobertura da terra, fenologia da vegetação entre outros. Desta forma, o objetivo deste trabalho é identificar as assinaturas temporais do cerrado na região do Ecomuseu do Cerrado através do processamento de série temporal de imagens MODIS. A metodologia pode ser subdividida nas seguintes etapas: (a) elaboração do cubo das imagens de NDVI, onde o perfil “Z” corresponde à assinatura temporal do NDVI, (b) eliminação do ruído utilizando a transformação Minimum Noise Fraction (MNF), e (c) análise da assinatura temporal do NDVI. O estudo concluiu que o NDVI é útil na diferenciação entre os tipos de vegetação do Cerrado. A formação

florestal apresentou os maiores valores de NDVI entre os perfis temporais, além da menor variação entre as estações.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, NDVI, série temporal, savana, noise.

ABSTRACT – The Brazilian Savanna, known as Cerrado, is the main vegetation type in Central Brazil, covering approximately 23% of the national territory. The Cerrado is formed by a mosaic of land cover types such as grassland, shrubland and woodland, and shows a typical phenology, due to the pluviometric variation and high geobotanical dependence. Images acquired on the same area at different times represent a valuable source of information for a regular monitoring of the earth's surface that enables to describe the land-cover evolution, vegetation phenology, among others. Thus, the scope of the paper is to identify temporal signatures of the Cerrado in the Ecomuseu do Cerrado region by image processing of MODIS time series. The adopted methodology may be subdivided into the following steps: (a) elaboration of the NDVI images cube, where the z profile corresponding to NDVI temporal signature, (b) noise elimination using the Minimum Noise Fraction (MNF), and (c) NDVI temporal signature analysis. The study concluded that the NDVI series is useful in differentiation among Cerrado vegetation types. The forest formation showed the higher NDVI values among the temporal profiles and lower variation between seasons.

Keywords: remote sensing, NDVI, temporal series, savanna, noise.

INTRODUÇÃO

O Cerrado é considerado a savana mais diversa do mundo, caracterizando-se por uma heterogeneidade nas suas paisagens naturais (Ratter *et al.*, 1997; Silva e Bates, 2002; Silva *et al.*, 2006). Este bioma ocupa por volta de dois milhões de quilômetros quadrados, o que equivale a mais de um quinto da área do país.

As fitofisionomias deste bioma variam de ambientes campestres até formações florestais (Ribeiro e Walter, 1998). Os tipos fitofisionômicos no interflúvio são o cerradão, cerrado sentido restrito, campo cerrado, campo sujo, campo limpo; e os associados aos cursos d'água são as matas de galerias e buritizais (Eiten, 1985).

A restrição hídrica sazonal resulta em adaptações ecofisiológica das espécies arbóreas do Cerrado, podendo ser caracterizadas fenologicamente desde espécies perenifolias, ou seja, sempre verde, até espécies decíduas, que perdem as folhas no período seco. (Oliveira, 2005).

Apenas 20% da sua área ainda permanece em condição natural (Ribeiro e Walter, 1998). Além disso, o Cerrado possui um baixo nível de áreas legalmente protegidas, em torno 2,2% de sua extensão (Klink e Machado, 2005).

Portanto, torna-se fundamental o estabelecimento de técnicas eficientes para o monitoramento do Cerrado. Com esse intuito, o sensoriamento remoto permite estender medições da vegetação em diferentes escalas temporais e espaciais. A natureza contínua dos dados espectrais no tempo permite desenvolver estudos envolvendo o comportamento sazonal e as mudanças da composição biofísica e bioquímica de dosséis (Mora & Iverson, 1997; Stone et al., 1994; Sader et al., 1990). Dentre as técnicas de processamento de imagens de satélite os índices de vegetação são constantemente usados para evidenciar a atividade fotossintética, monitoramento da cobertura da terra, detecção de mudanças e análise da fenologia (Price, 2003).

As fisionomias do Cerrado apresentam intensa variação do seu comportamento espectral entre os períodos de seca e de chuva, tanto em relação

aos constituintes biofísicos como bioquímicos (Asner, 1998; Carvalho Júnior, 2003, Carvalho, 2005).

Com finalidade de estabelecer um monitoramento diário as imagens do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) mostram-se adequadas. O sensor MODIS provenientes dos trabalhos liderados pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) foi lançado a bordo das plataformas TERRA e AQUA, no ano de 1999 e 2002, respectivamente, fornecendo um recobrimento global e contínuo diariamente, com resoluções espaciais variadas (Justice et al., 2002). Esse sensor foi concebido para auxiliar o estudo integrado do funcionamento da terra, oceanos e atmosfera considerando o planeta como um só ecossistema inter-relacionado, integrando os seus diversos biomas e ambientes na superfície terrestre. As características de resolução espacial, espectral e temporal das imagens MODIS permitem o monitoramento da cobertura terrestre quase em tempo real (Justice e Townshend, 2002). Entre os produtos gerados por este sensor, incluem-se os índices de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e EVI (Enhanced Vegetation Index) gerados automaticamente e disponibilizados na forma de mosaicos.

O presente trabalho tem como objetivo identificar assinaturas temporais das formações vegetais presentes na região do EcoMuseu do Cerrado. Devido às características fenológicas distintas da vegetação busca-se por processamento digital de imagens multitemporais do sensor MODIS, compreendida entre 2004 e 2006, detectar e descrever a variabilidade fotossintética da vegetação, tanto espacialmente como temporalmente.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é o EcoMuseu do Cerrado que ocupa uma área aproximadamente de 8.000 km² no Estado de Goiás (15°21' a 16°21' S e 48°04' 49°14' W) (**Figura 1**). Esta região é uma das mais ameaçadas com grande importância para a conservação devido à alta diversidade de espécies, principalmente vegetais, e alto grau de endemismo (Mittermeier et al. 2005). Além disso, a área possui nascentes de duas grandes bacias hidrográficas: Bacia do Rio Tocantins ao norte e Rio Paraná ao sul (**Figura 2**).

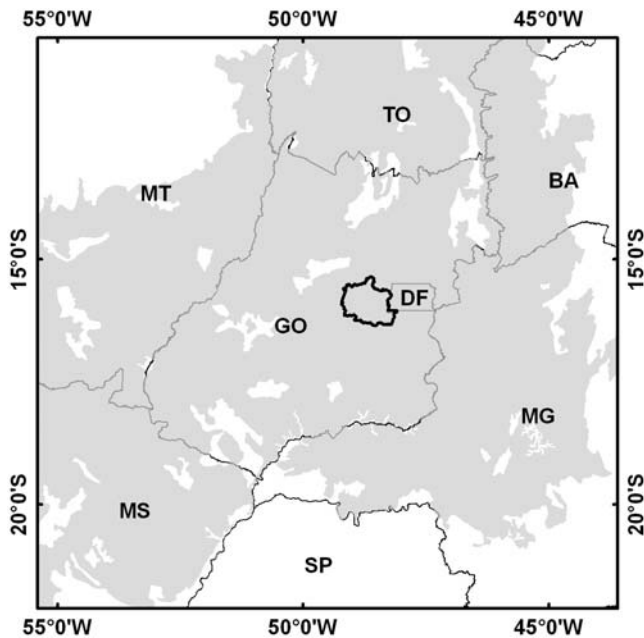


Figura 1 - Localização do EcoMuseu do Cerrado, em preto, dentro do Bioma Cerrado (cinza).

O EcoMuseu do Cerrado teve sua origem em iniciativas de movimentos sociais a partir de 1997, tendo a participação de instituições públicas e

particulares, como: Instituto HUAH do Planalto Central, Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, além de órgãos municipais e estaduais. Sua criação ocorreu em 1998, abrangendo o território de sete municípios do estado de Goiás, localizados no entorno do Distrito Federal (Instituto HUAH, 2002). O seu planejamento considera o conceito de gestão biorregional desenvolvida por Miller (1997), que objetiva construir uma unidade social dos municípios integrantes visando o uso sustentável, distribuição equitativa de suas riquezas, conservação natural e cultural.

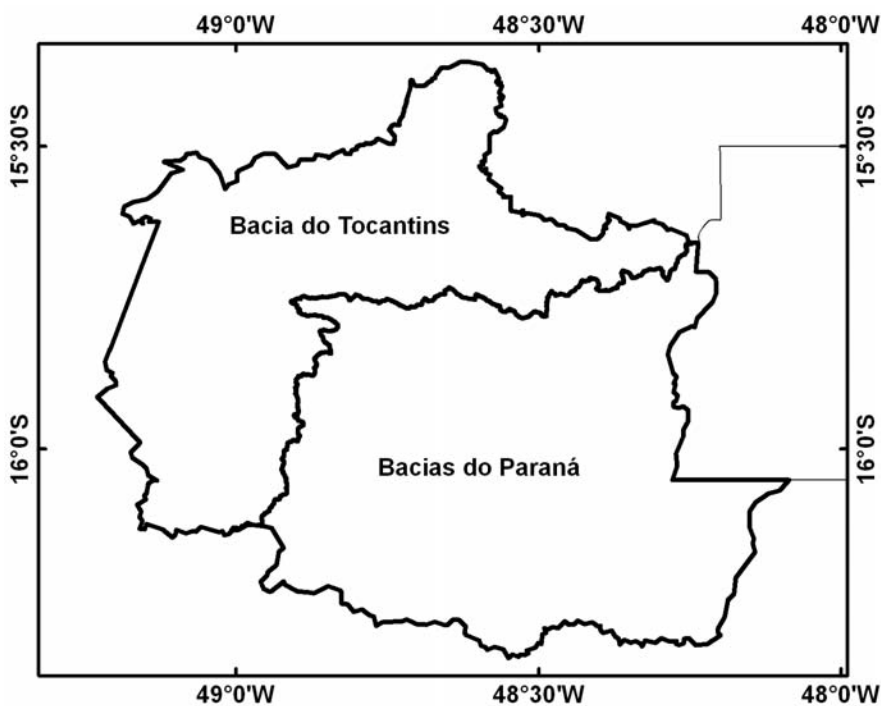


Figura 2 - Duas grandes bacias hidrográficas dentro da área do EcoMuseu do Cerrado.

METODOLOGIA

No presente trabalho é utilizado o produto MOD13 referente ao índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Esse produto MODIS já apresenta correção dos efeitos atmosféricos (nuvens, aerossóis, etc.) e a disponibilidade de dados georreferenciados. O período analisado compreende os anos de 2004 e 2006.

A metodologia para identificar às assinaturas espectrais das formações vegetais na região do Ecomuseu do Cerrado que pode ser subdividida nas seguintes etapas: (a) confecção do cubo composto pela série de imagens temporais do índice NDVI, (b) tratamento do ruído presente utilizando o método Minimum Noise Fraction (MNF) e (c) análise assinatura temporal NDVI.

CONFECÇÃO DO CUBO DE IMAGENS TEMPORAIS NDVI

Para obter os espectros de NDVI, as imagens relativas aos anos de 2004-2006 devem ser unidas, formando um cubo de imagens temporais (Carvalho et al., 2006). Desta forma, o cubo apresenta nos eixos “x” e “y” as coordenadas geográficas e no eixo “z” o espectro temporal NDVI. Os espectros temporais são ordenados no cubo 3D utilizando a seqüência dos dias do ano em ordem crescente.

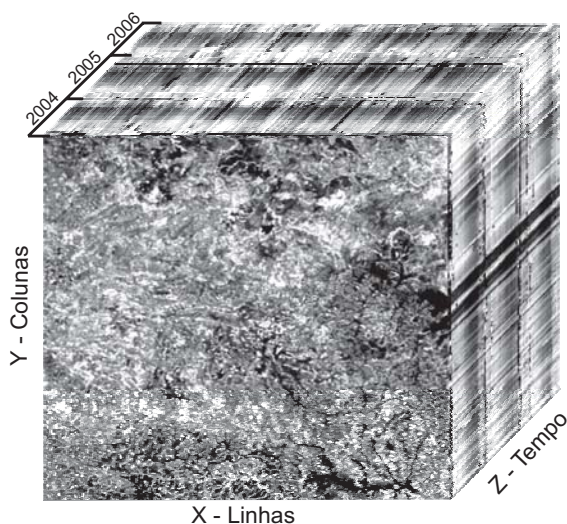


Figura 3 - Cubo de imagens temporais NDVI.

REDUÇÃO DO RUÍDO

O espectro temporal dos índices de vegetação apresenta uma forte interferência de ruídos (nuvens, interferências atmosféricas, entre outros), que prejudicam a análise espectral. Para a eliminação de ruídos foi utilizada a transformação MNF (Minimum Noise Fraction) proposta por Green et al. (1998) para imagens hiperespectrais e adequadas por Carvalho et al. (2006) para o processamento de imagens multi-temporais.

O MNF é um procedimento estatístico no âmbito da Análise de Principais Componentes (APC) que concilia tanto os procedimentos de segregação da componente ruído como também de redução da dimensionalidade dos dados (Green et al., 1988; Carvalho Júnior et al., 2002). O procedimento para eliminar os ruídos pelo método MNF possui as seguintes etapas: (a) efetuar a transformação MNF na imagem, (b) identificar pela qualidade da imagem e

pelo gráfico de autovalores as bandas relativas ao sinal e ao ruído, e (c) efetuar a transformação inversa do MNF utilizando somente as bandas relativas ao sinal.

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA SÉRIE TEMPORAL

A análise dos histogramas é uma das formas mais comuns de se representar a distribuição dos valores de uma imagem (Crosta, 1992). Para a série temporal, os histogramas permitiram obter informações de quantos pixels possuem cada intervalo de valores NDVI e qual sua frequência ao longo do ano.

ANÁLISE DAS ASSINATURAS TEMPORAIS NDVI DAS FISIONOMIAS DE CERRADO

Os alvos de interesse para a caracterização da vegetação presente na área de estudo foram selecionados a partir da integração das informações obtidas pelo trabalho de campo e pela análise da imagem do sensor Landsat ETM+ (referente a junho de 2006). A imagem Landsat ETM+ apresenta melhor resolução espacial facilitando o posicionamento geográfico dos alvos. Desta forma os espectros temporais NDVI foram: extraídos do cubo de imagens temporais, caracterizados pelo comportamento sazonal e comparados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

RESULTADOS DO TRATAMENTO DE RUÍDO

O emprego da transformação MNF na série temporal permitiu a obtenção de assinaturas temporais suavizadas (**Figura 4**). Observa-se que as feições ruidosas (linha tracejada) estão associadas à presença principalmente de nuvens e suas sombras (**Figura 5**).

No entanto, observa-se eventualmente ainda a permanência de alguns ruídos, o que indica a necessidade do emprego método adicional para fins de classificação da imagem que considera todos os pixels presentes. Na presente pesquisa cuja finalidade é a comparação de assinaturas espectrais isoladas na imagem a metodologia mostra-se adequada.

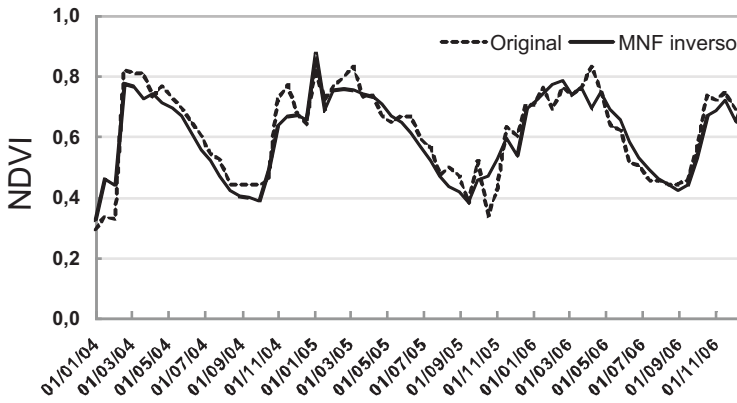


Figura 4 - Perfis temporais, original (tracejado) e após MNF inverso.

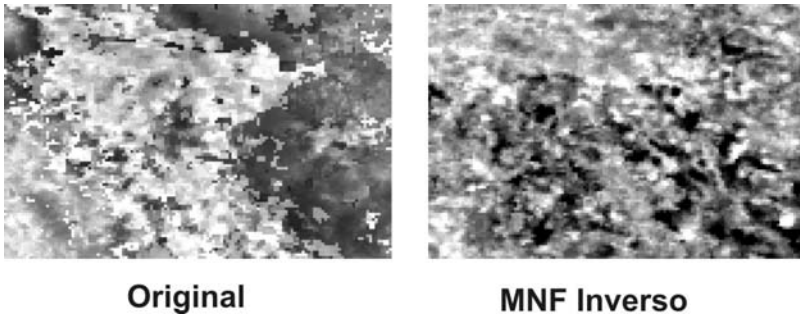


Figura 5 - Nesta imagem, dia 17 de novembro de 2005, é possível visualizar nuvens e o sombreamento causado pelas estas.

ANÁLISE ESTATÍSTICA DA SÉRIE TEMPORAL

A comparação dos histogramas de frequência das imagens NDVI ao longo do ano demonstra a variação sazonal da vegetação. A **Figura 5** descreve o comportamento dos histogramas em dias extremos do período de seca e de chuva. Durante a estação chuvosa tem-se maior disponibilidade hídrica para a vegetação, permitindo uma maior atividade fotossintética que resulta em valores mais altos de NDVI. Em contraposição, durante a estação seca ocorre a redução da disponibilidade hídrica, ocasionando uma queda da atividade fotossintética e uma diminuição dos valores de NDVI. Além disso, no período de seca existe uma menor extensão de áreas cobertas por vegetação, por causa dos plantios ainda estarem sendo preparados. Nesta época fica mais evidente o comportamento diferenciado das florestas relacionadas aos cursos d'água, que por possuírem maior disponibilidade hídrica mantêm valores altos de NDVI. No histograma de frequência as áreas de florestas ficam posicionadas no extremo da porção esquerda.

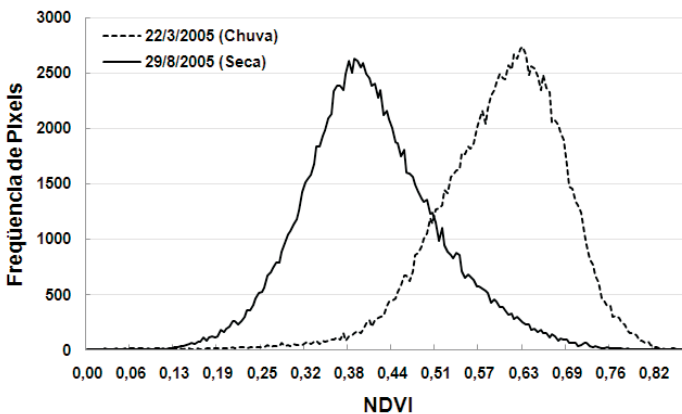


Figura 6 - Histogramas de distribuição de pixels referentes aos dias das estações secas e chuvosas do ano de 2005.

A variação sazonal da vegetação também pode ser observada diretamente pela variação tonal das imagens (**Figura 7**), correspondente aos histogramas apresentados na **Figura 6**.

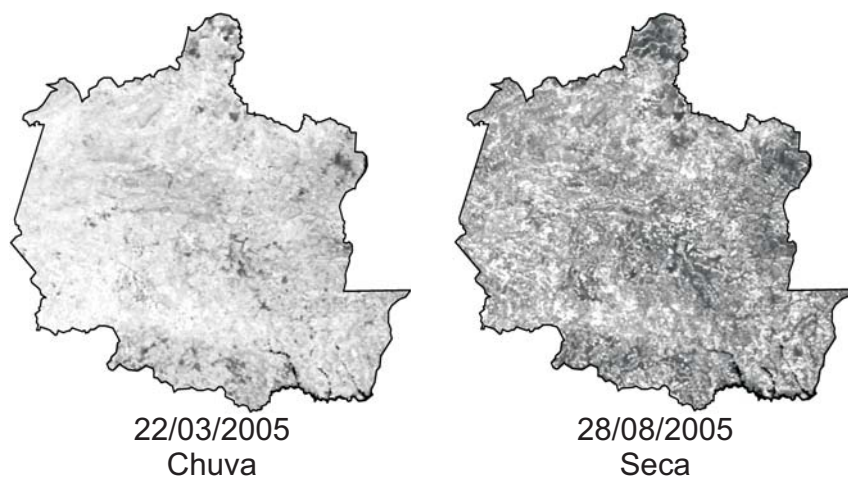


Figura 7 - Imagens referentes aos histogramas aos dias das estações secas e chuvosas do ano de 2005.

ASSINATURAS TEMPORAIS NDVI DAS FISIONOMIAS DO CERRADO

A **Figura 8** apresenta as principais assinaturas temporais NDVI presentes nas fisionomias do Cerrado. As formações florestais apresentam valores de NDVI maiores que as demais fisionomias no decorrer de todo o ano. Os valores médios NDVI são superiores que 0,7. Além disso, a variação entre os valores máximos e mínimos mostra-se menos evidente que as formações savânicas e campestres.

Este comportamento está relacionado à cobertura arbórea, que durante os períodos de seca não perdem as folhas. Ainda na **Figura 8** observa-se a localização de alguns pontos analisados na imagem MODIS e representados no sensor Landsat 7/ETM+.

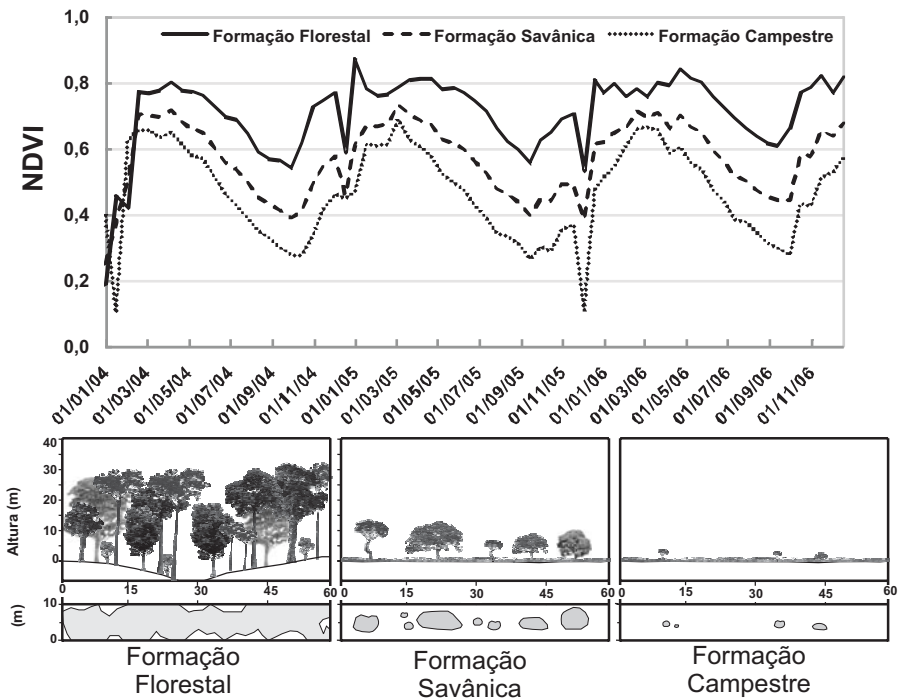


Figura 8 – Assinaturas temporais das principais fitofisionomias e perfil esquemático da formação.

As formações savânicas em relação às formações campestres apresentam valores de NDVI um pouco maiores e uma queda menos pronunciada durante a transição entre os períodos chuvosos e secos. Essa característica é devido às

formações savânicas apresentarem indivíduos arbóreo-arbustivos que ainda mantêm folhas fotossinteticamente ativas, enquanto as formações campestres formadas pelo extrato herbáceo entram rapidamente em senescência.

CONCLUSÃO

No presente estudo a transformação MNF mostrou-se eficiente para amenizar o efeito dos ruídos causados principalmente por nuvens e sombras. No entanto, observa-se a presença eventual de ruídos o que indica a necessidade de implementar métodos adicionais para melhorar a performance visando procedimentos de classificação.

Dentre as fisionomias de cerrado as formações florestais foram as que apresentaram maiores valores de NDVI na série temporal e a menor variação entre as estações. Este fato pode ser explicado pela maior cobertura arbórea. As formações savânicas e campestres mostram uma menor diferenças entre os valores de NDVI. No entanto, devido à formação savânica conter árvores e arbusto apresenta valores mais altos de NDVI e uma variação menos brusca entre as estações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido durante a realização deste trabalho das seguintes instituições: Fundação de Empreendimentos Científicos e Tecnológicos (FINATEC) pelo apoio logístico e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento de bolsas de pesquisa ao professor Osmar Abílio de Carvalho Júnior.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALHO, C. J. R.; MARTINS, E. S. (1995) De grão em grão, o Cerrado perde espaço. Brasília: WWF, 66p.
- ASNER, G.P. (1998) Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 64:234–253.
- CARVALHO, A.P.F. (2005) Estudo de características foliares de espécies de lenhosas de cerrado e sua relação com os espectros de reflectância. Dissertação de mestrado, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília, 126 pp.
- CARVALHO JÚNIOR, O.A.; BLOISE, P.L.C.; CARVALHO, A.P.F.; GUIMARÃES, R.F. & MARTINS, E.S (2003) Spectral mixture analysis of aster image in Brazilian savanna. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Toulouse, France, p. 3234-3236.
- CARVALHO JÚNIOR, O.A.; CARVALHO, A.P.F.; MENESES, P.R. & GUIMARÃES, R.F. (2002) Classificação e eliminação dos ruídos em imagens hiperespectrais pela análise seqüencial da transformação por fração de ruído mínima. *Revista Brasileira de Geofísica*, 20(1): 31-41.
- CARVALHO JÚNIOR, O.A.; HERMUCHE, P.M. & GUIMARÃES, R.F. (2006) Identificação regional da floresta decidual na bacia do rio PARANÁ (GO/TO) a partir da análise multitemporal de imagens MODIS. *Revista Brasileira de Geofísica*, 24: 319-332.
- CROSTA, A.P. (1992) Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas-SP, 170p.
- EITEN, G. (1972) The cerrado vegetation of Brazil. *The Botanical Review*, v.38, p.201-341.

- EITEN, G. (1985) Vegetação. In: Novaes Pinto, M. ed. *Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas*. 2 ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1985. p.17-73.
- GREEN, A.A.; BERMAN, M.; SWITZER, P. & CRAIG, M.D.A. (1998) Transformation for ordering multispectral data in terms of images quality with implications for noise removal. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*. v. 26, p.65-74.
- INSTITUTO HUAHDO PLANALTO CENTRAL & INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. (2002) *Almanaque EcoMuseu do Cerrado*. Brasília: 44p.
- KLINK, C.A. & MACHADO, R.B. (2005) Conservation of Brazilian Cerrado. *Conservation Biology*. v.19, p.707-713.
- MILLER, K. (1997) Em busca de um novo equilíbrio: diretrizes para aumentar as oportunidades de conservação da biodiversidade por meio do manejo biorregional. Brasília: Ibama. 94 p.
- MITTERMEIER, R.A.; GIL, P.R.; HOFFMAN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C.G.; LAMOREUX, J. & FONSECA, G.A.B. (2005) Hotspots revisited: earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. 2ed. Boston: University of Chicago Press, 392p.
- MORA, F. & IVERSON, L. R. (1997) Dynamic stratification of the landscape of Mexico: analysis of vegetation patterns observed with multitemporal remotely sensed images. *Geocarto International*, v.12, p.73– 87.
- OLIVEIRA, E.L. (2005) Fenologia, demografia e características foliares de espécies lenhosas em um cerrado sentido restrito no Distrito Federal e suas relações com as condições climáticas. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Ecologia, 134p (Tese de Doutorado).
- RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F. & BRIDGEWATER, S. (1997) The brazilian Cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany*. v.80, p.223-230.

- RIBEIRO, J. F. & WALTER, B. M. T. (1998) Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S. M., Almeida, S. P. ed. *Cerrado ambiente e flora*. Planaltina, DF: EMBRAPA/CPAC, p. 89-166.
- SADER, S.A.; STONE, T.A. & JOYCE, A.T. (1990) Remote sensing of tropical forests: an overview of research and applications using nonphotographic sensors. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.56, p.1343–1351.
- SILVA, F.J.; FARIÑA, M.R.; FELFILI, J.M. & KLINK, C.A. (2006) Spatial heterogeneity, land use and conservation in the Cerrado region of Brazil. *Journal of Biogeography*. v.33, p.536-548.
- SILVA, J.M.C.; BATES, J.M. (2002) Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A Tropical Savanna Hotspot. *Bioscience*, v.52, p.225-233.
- STONE, T.A.; SCHLESINGER, P.; HOUGHTON, R.A., & WOODWELL, G.M. (1994) A map of the vegetation of South America based on satellite imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60: 541– 551.