

ANÁLISE DA DINÂMICA SAZONAL E SEPARABILIDADE ESPECTRAL DE ALGUMAS FITOFISIONOMIAS DO CERRADO COM ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DOS SENSORES MODIS/TERRA E AQUA

RESUMO – Composições de 16 dias de índices de vegetação do sensor *MODerate resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), com resolução espacial de 1km, a bordo dos satélites TERRA e AQUA, foram usadas para caracterizar a dinâmica sazonal em 2004 de cinco fitofisionomias de Cerrado e para analisar a sua separabilidade espectral. Os índices *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI), calculados a partir dos dados dos sensores de ambas as plataformas e de uma base comum de pixels, foram comparados entre si. Os resultados obtidos mostraram que: (a) dentre as fitofisionomias estudadas, a Floresta Estacional decídua apresentou uma dinâmica sazonal muito marcante em função da perda de folhas da estação chuvosa para a seca (substancial redução nos índices) e do rápido verdejamento com o início da precipitação no final de outubro (rápido incremento de NDVI e EVI). O NDVI mostrou maior variabilidade entre as classes de vegetação do que o EVI apenas na estação seca; (b) a discriminação entre as fitofisionomias melhorou da estação chuvosa para a seca. O NDVI foi mais eficiente do que o EVI para discriminar as classes de vegetação na estação seca, ocorrendo o contrário na estação chuvosa; e (c) na maioria das datas selecionadas para estudo, não houve diferenças estatisticamente significantes entre os índices de vegetação gerados de ambas as plataformas, apesar das variações na qualidade dos pixels selecionados para as composições de 16 dias e na geometria de iluminação e de visada.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, MODIS, NDVI, EVI, índices de vegetação e Cerrado.

ANALYSIS OF THE SEASONAL DYNAMICS AND SPECTRAL SEPARABILITY OF SOME SAVANNA PHYSIOGNOMIES WITH VEGETATION INDICES DERIVED FROM MODIS/TERRA AND AQUA

ABSTRACT – *MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) 16-day vegetation index composite with 1km of spatial resolution from TERRA and AQUA satellites, were used to characterize the seasonal dynamics in 2004 of five Brazilian savanna physiognomies and to analyze their spectral separability. The *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) and *Enhanced Vegetation Index* (EVI), using data acquired from both platforms and from a common set of pixels, were compared to each other. The results showed that: (a) among the physiognomies under study, *Floresta Estacional decídua* presented the strongest seasonal dynamics as a result of the leaf fall from the rainy to the dry season (strong decrease of indices) and of the fast green up of vegetation with precipitation at the end of October (strong and rapid increase in NDVI and EVI values). NDVI showed greater variability between the vegetation classes than EVI only in the dry season; (b) the discrimination between the physiognomies improved from the rainy to the dry season. The NDVI was more efficient than EVI to separate the vegetation classes in the dry season, but the contrary was observed in the rainy season; and (c) for the majority of the dates under analysis, in spite of the variations in the quality of the pixels select to compose the vegetation index MODIS product and in the Sun-view geometry, no statistically significant differences between the indices generated from both platforms were observed.

Keywords: Remote sensing, MODIS, NDVI, EVI, vegetation indices and Brazilian Savanna.

1. INTRODUÇÃO

A caracterização dos ciclos sazonais da cobertura vegetal desempenha um importante papel em estudos envolvendo investigações do ciclo de carbono (MYNENI et al., 1997). Para obter um conhecimento aprofundado a respeito dos ciclos sazonais da vegetação em biomas que mostram um contraste sazonal como o Cerrado (MYERS et al., 2000), índices de vegetação, calculados a partir de dados de sensoriamento remoto orbital, podem ser utilizados (FERREIRA e HUETE, 2004; SANO et al., 2005; LIESENBERG et al., 2006). Em nível global, observações temporais do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), calculadas a partir de dados do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), são frequentemente usadas para o monitoramento da vegetação (ASNER et al., 2000; BATISTA et al., 1997; DESSAY et al., 2004; FRANÇA e SETZER, 1998; GURGEL e FERREIRA, 2003; POVEDA e SALAZAR, 2004).

Diante da necessidade de monitorar continuamente a vegetação, outros sensores foram desenvolvidos e aperfeiçoados, além da série histórica do AVHRR, para adquirir dados com diferentes resoluções espacial, espectral, temporal e radiométrica. Como exemplo, pode ser citado o sensor *MODerate resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) a bordo dos satélites TERRA e AQUA que foram lançados em 1999 e 2002, respectivamente (JUSTICE et al., 1998). O horário de passagem de ambos os satélites pela linha do Equador é diferenciado (10h30 para o TERRA e 13h30 para o AQUA), o que favorece um imageamento do globo terrestre a cada 1-2 dias, além de permitir o estudo da variabilidade diurna de diferentes objetos e/ou recursos naturais existentes na superfície terrestre (JUSTICE et al., 1998).

O sensor MODIS fornece dados que são processados e distribuídos sob forma de diferentes produtos para cada sensor. Um destes produtos é a composição de 16 dias, o MOD13 e MYD13 para os sensores MODIS/TERRA e AQUA, respectivamente. Ambos produtos consistem em dois índices de vegetação, o NDVI e o *Enhanced Vegetation Index* (EVI). O EVI foi proposto para ser mais sensível à presença da vegetação verde e para minimizar efeitos indesejáveis do substrato e da atmosfera sobre o cálculo do NDVI.

Além destes dois índices de vegetação, para cada pixel selecionado no intervalo de 16 dias para compor o produto, informações sobre a pureza ou contaminação espectral dos pixels por nuvens, o dia de coleta e sobre a geometria de aquisição dos dados são fornecidas.

Segundo HUETE et al. (2002), as composições de dados de 16 dias do sensor MODIS permitem análises regulares da vegetação em nível global, incluindo avaliação de aspectos fenológicos e a detecção de mudanças.

Inseridos neste contexto, os objetivos deste trabalho foram: (1) utilizar os índices de vegetação NDVI e EVI gerados pelo sensor MODIS para caracterizar a dinâmica sazonal no ano de 2004 de cinco fitofisionomias do Cerrado em uma área de estudo localizada nos Estados de Minas Gerais e Bahia; (2) analisar a separabilidade espectral das mesmas com os índices de vegetação; e (3) comparar o desempenho dos índices oriundos das plataformas TERRA e AQUA para caracterizar esta dinâmica. Visto que a aquisição de dados por ambas as plataformas representam condições distintas de geometria de visada e de iluminação, esta comparação é importante para verificar se estas condições afetam a detecção da dinâmica sazonal das fitofisionomias pelos sensores MODIS/TERRA e AQUA.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da área de estudo

A área de estudo está localizada no noroeste do Estado de Minas Gerais (MG) e sudoeste da Bahia (BA), próximo à divisa do Estado de Goiás (GO). A Figura 1 mostra a localização da área de estudo no contexto nacional. Em relação à cobertura vegetal, há cinco fitofisionomias predominantes. De acordo com o sistema brasileiro de classificação da vegetação (IBGE, 1992), as fitofisionomias são Floresta Estacional semi-decídua, Floresta Estacional decídua, Floresta Pluvial, Savana Arborizada e Savana Parque. Segundo o sistema de classificação do Cerrado proposto por RIBEIRO e WALTER (1998), as fitofisionomias Floresta Estacional decídua, Savana Arbórea e Savana Parque são equivalentes a Mata Seca, ao Cerrado stricto sensu, e ao Cerrado ralo, respectivamente.

(Figura 1)

A deciduidade na estação seca varia de 20% a 50% para a Floresta Estacional semi-decídua, e é maior do que 50% para a Floresta Estacional decídua. A Floresta Pluvial ocorre em áreas próximas ao rio São Francisco e abrange uma variedade de tipologias. As fisionomias Savana Arbórea e Savana Parque apresentam pequenas palmeiras, arbustos

retorcidos e inclinados sobre um substrato de gramíneas, enquanto que a Savana Arbórea mostra um estrato arbóreo dominante e um maior percentual de cobertura de copas do que a Savana Parque. Para demonstrar melhor as diferenças biofísicas entre as fitofisionomias sob análise, o Quadro 1 apresenta os dados do produto *Vegetation Continuous Field* (HANSEN et al., 2002) que foi obtido através de processamentos de dados do sensor MODIS durante o período de Novembro a Dezembro do ano de 2001 (início da estação chuvosa). De acordo com os resultados deste quadro, o percentual de cobertura de dosséis decresce em ordem da Floresta Estacional decídua e semi-decídua para Savana Arbórea, Floresta Pluvial e Savana Parque. A fisionomia Savana Parque apresentou a maior proporção de cobertura herbácea, enquanto que a Savana Arbórea e a Savana Parque apresentaram reduzidas proporções de solo exposto.

(Quadro 1)

O clima da região é caracterizado por uma estação chuvosa bem definida, ocorrendo entre os meses de Novembro a Abril e estação seca ocorrendo entre Maio e Outubro. A Figura 2 mostra a média mensal pluviométrica da área de estudo baseada em oito estações pluviométricas, considerando uma média histórica de 30 anos e durante o período de aquisição dos dados orbitais sob análise. De acordo com esta figura, pode-se observar que, em geral, a média anual de precipitação é de 925mm, e um percentual superior a 85% concentra-se na estação chuvosa. Percebe-se também que o ano de 2004 foi atípico em relação à média histórica de 30 anos, em que a precipitação foi menor de Janeiro a Março e maior de Setembro a Dezembro.

(Figura 2)

2.2 Aquisição dos dados MODIS

Foram utilizados um conjunto de dados contendo 23 datas dos produtos MOD13A2 (MODIS/TERRA) e MYD13A2 (MODIS/AQUA), respectivamente, correspondentes ao ano de 2004. Os dados incluem dois índices de vegetação com 1-km de resolução espacial, e quatro bandas espectrais radiometricamente calibradas, geo-retificadas e espacialmente co-registradas entre si: azul (459-479nm), vermelho (620-670nm), infravermelho próximo (841-876nm), e infravermelho de ondas curtas (2105-2155nm).

O algoritmo usado para gerar os produtos MOD13 e MYD13 opera com uma base de pixels e requer múltiplas observações (16 dias) do produto reflectância de superfície (Fator de Reflectância Bidirecional - MOD09 para TERRA e MYD09 para AQUA, respectivamente) como dado de entrada para gerar os índices NDVI e EVI. Os produtos MOD09 e MYD09 já são corrigidos dos efeitos atmosféricos (espalhamento molecular, absorção por ozônio e aerossóis). Em função da sobreposição espacial promovida pelo largo campo de imageamento do sensor MODIS, múltiplas observações podem ser feitas para um determinado pixel no mesmo dia. Em teoria, segundo HUETE et al., (1999) um total de 64 observações podem ser feitas sobre o período considerado, dependendo evidentemente da latitude considerada.

Uma vez que todos os dados do período de 16 dias são coletados, o algoritmo aplica um filtro nos dados com base na qualidade, cobertura de nuvens e geometria de visada. Pixels contaminados e advindos de visadas extremas (off-nadir) são considerados apenas em condição de extrema falta de dados, sendo classificados como de baixa qualidade. Um pixel livre de nuvens, próximo do nadir e sem resíduo de contaminação atmosférica é classificado como de boa qualidade. Assim, dependendo da disponibilidade de dados, os pixels são selecionados com base na sua qualidade para constituir a composição, corrigindo-se posteriormente as variações angulares e solares de acordo com a função de distribuição da reflectância bidirecional (HUETE et al., 1999). Em geral, o número de pixels aceitáveis sobre o período de 16 dias é tipicamente menor do que dez, e varia frequentemente entre um e cinco, especialmente quando considera-se uma cobertura global média de nuvens de 50 a 55%. Entretanto, este percentual pode ser maior em determinadas áreas da Floresta Amazônica (ASNER, 2001), e do Cerrado (SANO et al., 2006). O objetivo principal deste produto é que cada pixel represente a melhor aquisição durante o período particular de 16 dias.

Segundo HUETE et al. (2002), os índices NDVI e EVI dos produtos MOD13 e MYD13 são designados para monitorar padrões temporais e espaciais da atividade fotossintética globalmente. De acordo com esses autores, o NDVI é usado para permitir significativas comparações de variações sazonais, interanuais e de longo prazo da estrutura da vegetação, fenologia e parâmetros biofísicos. O NDVI pode ser obtido pela equação:

$$NDVI = \left(\frac{\rho_{(IVP)} - \rho_{(Vermelho)}}{\rho_{(IVP)} + \rho_{(Vermelho)}} \right) \quad [\text{adimensional}] \quad \text{Eq. 2.1}$$

onde:

- $NDVI$ = Normalized Difference Vegetation Index;
 $\rho_{(Vermelho)}$ = Fator de reflectância bidirecional na banda do vermelho; e
 $\rho_{(IVP)}$ = Fator de reflectância bidirecional na banda do IVP.

Por outro lado, o EVI foi desenvolvido para otimizar a resposta da vegetação melhorando a sensibilidade para as variações estruturais e arquitetônicas do dossel de fitofisionomias com maior densidade de biomassa em relação ao NDVI e reduzindo as influências atmosféricas e influência do solo (HUETE et al., 2002). O EVI pode ser obtido da equação:

$$EVI = \left(\frac{\rho_{(IVP)} - \rho_{(Vermelho)}}{\rho_{(IVP)} + C_1 \rho_{(Vermelho)} - C_2 \rho_{(Azul)} + L} (G) \right) \quad [\text{adimensional}] \quad \text{Eq. 2.2}$$

onde:

- EVI = Enhanced Vegetation Index;
 $\rho_{(Azul)} \cdot \rho_{(Vermelho)}$ e $\rho_{(IVP)}$ = Fatores de reflectância bidirecional nas bandas espectrais do azul, vermelho e IVP, respectivamente;
 C_1 e C_2 = Coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera para a banda do vermelho e azul, respectivamente;
 L = Fator de ajuste para o solo;
 G = Fator de ganho.

Segundo HUETE et al. (1994) e HUETE et al. (1997) os coeficientes para os sensores MODIS são $L=1$, $C_1=6$, $C_2=7.5$ e $G=2.5$.

2.3 Seleção de Pixels e análise de dados

Um conjunto comum de pixels foi selecionado nos produtos MOD13 e MYD13 em cada data analisada e em áreas homogêneas e representativas das cinco fitofisionomias. Esta seleção foi baseada na análise de mapas de vegetação (IBGE, 2004) e na execução de campanhas de campo para a caracterização e para a seleção de áreas representativas de cada fitofisionomia estudada.

Para cada fitofisionomia, 10 pixels foram selecionados e considerados para cada uma das 23 datas de ambos sensores (TERRA e AQUA). Os valores médios dos índices NDVI e EVI foram extraídos e plotados em função da data juliana de aquisição com seus respectivos

desvios padrões. Perfis espectrais de diferentes datas e representando condições extremas de sazonalidade também foram plotados em função do comprimento de onda. Considerando que as imagens são constituídas por pixels registrados em diferentes datas e condições angulares de aquisição (iluminação e de visada), essas variações também foram consideradas neste trabalho.

O teste *t* de Student foi empregado para verificar se as diferenças encontradas entre os índices de vegetação de ambas as plataformas (TERRA e AQUA) foram significativamente diferentes. Assim, pôde-se avaliar se a caracterização espectral de uma dada fisionomia é diferenciada pela adoção de dados de uma ou outra plataforma.

Na última etapa do trabalho, calculou-se a distância Euclideana entre pares de fitofisionomias usando os índices de vegetação NDVI e EVI. Quanto menor a Distância Euclideana, menor o potencial do índice para discriminar o par de fitofisionomias analisado. A distância Euclideana pode ser obtida da equação:

$$DE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad [\text{adimensional}] \quad \text{Eq. 2.3}$$

onde:

- DE = Distância Euclideana;
- x_i = valor do índice de vegetação para a classe *x* no pixel *i* (enumeração completa);
- y_i = valor do índice de vegetação para a classe *y* no pixel *i* (procedimento amostral); e
- n = número de variáveis.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra os perfis de NDVI e EVI, obtidos a partir da plataforma TERRA, para as cinco fitofisionomias estudadas. A dinâmica sazonal da vegetação é evidente nestes perfis, com a estação seca (Maio a Outubro) produzindo os menores valores de NDVI e EVI e a estação chuvosa (Novembro a Abril) os maiores valores destes índices. Na estação chuvosa, as fitofisionomias com dosséis mais densos (Floresta Estacional decídua e semi-decídua, e a Floresta Pluvial) mostraram maiores valores de NDVI e EVI do que a Savana Arbórea e a Savana Parque. Do final da estação chuvosa para a estação seca, todas as fitofisionomias mostraram sensível decréscimo nos índices de vegetação. Para algumas fitofisionomias, esta tendência está associada à perda de folhas na estação seca. A Floresta Estacional decídua, por exemplo, com perda quase total de folhas, mostrou uma forte redução nos valores de NDVI de

$0,86\pm 0,03$ (estação chuvosa – dia juliano 65, 5 de março) para $0,41\pm 0,04$ (estação seca – dia juliano 289, 15 de outubro) (Figura 3a).

(Figura 3)

A comparação entre os perfis das Figuras 3a e 3b mostra que o NDVI apresenta uma maior variabilidade entre as classes de vegetação do que o EVI na estação seca, mas o contrário ocorre na estação chuvosa, em concordância com as observações feitas por RATANA et al. (2005). O efeito de verdejamento abrupto da Floresta Estacional decídua, na transição do final da estação seca para o início da estação chuvosa, é mais pronunciado no perfil de NDVI.

Para ilustrar o efeito de verdejamento das fitofisionomias indicado na Figura 3, a Figura 4 mostra os espectros de reflectância (Fator de Reflectância Bidirecional) fornecidos pelo MOD13. As datas selecionadas para a extração dos espectros foram os dias Julianos: 65 (5 de Março, Figura 4a) por representar a estação chuvosa; 289 (15 de Outubro, Figura 4b) por representar o final da estação seca; e 305 (31 de Outubro, Figura 4c) por representar o efeito de verdejamento.

De acordo com RATANA et al. (2005), o efeito de verdejamento tende a ser menor para as formações herbáceas do que para fitofisionomias de estrato arbóreo devido ao fluxo mais acelerado de crescimento que ocorre com as espécies arbóreas. A comparação das Figuras 4b e 4c confirma o fato da Floresta Estacional decídua ser a fitofisionomia que responde de forma mais rápida ou abrupta ao início da estação chuvosa, em concordância com os resultados dos índices de vegetação (Figura 3). Da Figura 4b para a Figura 4c, há uma redução da reflectância no vermelho (absorção por clorofila), um aumento da reflectância no infravermelho próximo (espalhamento da radiação pela estrutura interna das folhas e componentes do dossel) e uma diminuição da reflectância no infravermelho de ondas curtas (absorção da radiação pela umidade das folhas).

(Figura 4)

De acordo com os espectros da Figura 4, a discriminação entre as fitofisionomias é facilitada no final da estação seca (Figura 4b) que mostra uma maior separabilidade entre as

curvas. Para confirmar esta tendência com índices de vegetação, a Figura 5 mostra as variações da distância Euclideana para cada período de 16 dias usando dados do NDVI e EVI para a discriminação de dois pares de fitofisionomias: Floresta Estacional decídua *versus* semi-decídua (Figura 5a) e Savana Arbórea *versus* Savana Parque (Figura 5b). Os resultados mostrados nestas figuras confirmam o aumento nos valores de distância Euclideana da estação chuvosa para a seca, período em que máxima discriminação entre as fitofisionomias foi observada. Esses resultados corroboram com trabalhos prévios desenvolvidos por FERREIRA e HUETE (2004), RATANA et al. (2005), SANO et al. (2005), LIESENBERG et al. (2006). De uma maneira geral, estes autores concluíram que no final da estação seca, a discriminação entre as fitofisionomias do bioma Cerrado foi maximizada. No presente estudo, embora o EVI tenha sido desenvolvido para otimizar o desempenho do NDVI, os resultados apresentados na Figura 5 indicam que o NDVI mostrou melhor poder de discriminação espectral na estação seca do que o EVI, mas o contrário tende a ocorrer na estação chuvosa, período em que o EVI mostra maior variabilidade do que o NDVI (Figura 3).

(Figura 5)

Os perfis de NDVI e EVI para as cinco fitofisionomias estudadas, obtidos a partir da plataforma AQUA, são apresentados na Figura 6. Uma comparação visual entre os perfis das Figuras 6 (MODIS/AQUA) e 3 (MODIS/TERRA) mostram uma concordância entre os valores médios dos índices NDVI e EVI entre as plataformas. De fato, esta tendência foi confirmada com a aplicação do teste *t* de Student para comparação dos valores médios de NDVI e EVI em nível de 95% de probabilidade. Para o NDVI, de um total de 23 datas, somente o seguinte número de datas apresentou diferenças significativas estatisticamente entre as duas plataformas (TERRA e AQUA): Floresta Pluvial (duas datas), Floresta Estacional decídua (três datas) e semi-decídua (cinco datas), Savana Arbórea (cinco datas) e Savana Parque (duas datas). Portanto, em geral, não houve diferenças estatisticamente significativas na maioria das datas. As poucas datas que mostraram tais diferenças estiveram associadas à estação chuvosa, período em que a qualidade dos pixels selecionados para compor os produtos MOD13 e MYD13 tende a diminuir em função da cobertura de nuvens.

(Figura 6)

Outros fatores que causam variabilidade nos índices, indicada pelas barras de desvio-padrão nas Figuras 3 e 6, são as variações do ângulo zenital solar e do ângulo zenital de visada. Do período chuvoso para o seco, o ângulo zenital solar varia cerca de 25° . Ele também varia em menor proporção ao longo de uma cena e entre as plataformas em função dos diferentes horários de passagem dos satélites (10h30 para o TERRA e 13h30 para o AQUA). Em relação ao ângulo zenital de visada, pixels que foram vistos pelo sensor com visada fora do nadir estão mais sujeitos aos efeitos atmosféricos e direcionais da vegetação (GALVÃO et al., 2004; XAVIER e GALVÃO, 2005). No presente estudo, como exemplo, 10% dos pixels selecionados para compor o produto MOD13 foram observados com ângulos zenitais de visada superiores a 20° , o que introduz variabilidade na resposta espectral de uma dada fitofisionomia.

4. CONCLUSÕES

- (1) Conforme preconizado na literatura, as cinco fitofisionomias estudadas mostraram perfis de NDVI e EVI consistentes com a dinâmica sazonal da vegetação, com maiores valores de índices na estação chuvosa (Novembro a Abril) e menores valores na estação seca (Maio a Outubro). Entretanto, fitofisionomias como a Floresta Estacional decídua, mostraram uma forte redução nos valores dos índices da estação chuvosa para a seca, em função da forte perda de folhas, e um ganho acentuado nestes índices devido ao rápido verdejamento da vegetação em resposta à precipitação. Quando comparado com o EVI, o NDVI mostrou maior variabilidade entre as classes de vegetação na estação seca e menor variabilidade na estação chuvosa;
- (2) A discriminação entre as fitofisionomias melhorou da estação chuvosa para a seca, período em que se verificou máxima separabilidade espectral. Em termos de separabilidade entre as fitofisionomias, o NDVI apresentou melhor desempenho que o EVI na estação seca, mas o contrário ocorreu na estação chuvosa; e
- (3) Os índices NDVI e EVI não mostraram diferenças estatisticamente significativas entre as plataformas TERRA e AQUA na caracterização da dinâmica sazonal da vegetação. As datas em que foram verificadas diferenças estiveram associadas principalmente ao período chuvoso em que a contaminação por nuvens introduz variabilidade espectral em alguns pixels selecionados para compor as composições de 16 dias.

5. 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 *Distributed Active Archive Center* (DAAC) pelo fornecimento dos dados do sensor MODIS.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASNER, G.P.; TOWNSEND, A.R.; BRASWELL, B.H. Satellite observation of El Niño effects on Amazon forest phenology and productivity. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 7, p. 981-984, 2000.
- ASNER, G.P. Cloud cover in Landsat observations of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 18, p. 3855-3862, 2001.
- BATISTA, G.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; LAWRENCE, W.T. The long-term monitoring of vegetation cover in the Amazonian region of northern Brazil using NOAA-AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 15, p. 3195-3210, 1997.
- DESSAY, N.; LAURENT, H.; MACHADO, L.A.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; BATISTA, G.T.; DIEDHIOU, A. Comparative study of the 1982-1983 and 1997-1998 El Niño events over different types of vegetation in South America. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 20, p. 4063-4077, 2004.
- FERREIRA, L.G.; HUETE, A.R. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1837-1860, 2004.
- FRANÇA, H.; SETZER, A.W. AVHRR temporal analysis of a savanna site in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 10, p. 3127-3140, 1998.
- GALVÃO, L.S.; PONZONI, F.J.; EPIPHANIO, J.C.N.; RUDORFF, B.F.T.; FORMAGGIO, A.R. 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.
- GURGEL, H.C.; FERREIRA, N.J. Annual and interannual variability of NDVI in Brazil and its connections with climate. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 18, p. 3595-3609, 2003.
- HANSEN, M.C.; DEFRIES, R.S.; TOWNSHEND, J.R.G.; MARUFU, L.; SOHLBERG, R. Development of a MODIS tree cover validation data set for Western Province, Zambia. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 320-335, 2002.
- HUETE, A.R.; JUSTICE, C.; LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODIS EOS. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, n. 3, p. 224-234, 1994.
- HUETE, A.R.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K.; van LEEUWEN. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997.
- HUETE, A.R.; JUSTICE, C.; van LEEUWEN, W. **MODIS vegetation Index (MOD13)**. Algorithm Theoretical Basis Document, v. 3, NASA EOS Doc., 142 p., 1999. Disponível em [http://modis-land.gsfc.nasa.gov/pdfs/atbd_mod13.pdf].
- HUETE, A.R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUES, 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, v. 1-2, p. 195-213, 2002.
- IBGE. **Manual técnico da vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1992, 92p.
- IBGE. **Mapa de vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.
- JUSTICE, C.O.; VERMOTE, E.; TOWNSHEND, J.R.G.; DeFRIES, R.; ROY, D.P.; HALT, D.K.; SALOMONSON, V.V.; PRIVETE, J.L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R.B.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S.W.; NEMANI, R.R.; ZHENGMING W.; HUETE, A.R.; van LEEUWEN, W.; WOLFE, R.E.; GIGLIO, L.; MULLER, J.; LEWIS, P.; BRANSLEY, M.J. The Moderate Resolution Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global research. **IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p. 1228-1249, 1998.
- LIESENBERG, V.; GALVÃO, L.S.; PONZONI, F.J. Variations in reflectance with seasonality and viewing geometry: implications for classification of Brazilian savanna physiognomies with MISR/Terra data. **Remote Sensing of Environment**, *aceito para publicação*, 2006.

- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.A., MITTERMEIER, C.G.; FONSECA, G.A.B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 1, p. 124-132, 2000.
- MYNENI, R. B.; KEELING, C. D.; TUCKER, C. J.; ASRAR, G.; NEMANI, R. R. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981-1991. **Nature**, v.386, n.6626, pp.698-702, 1997.
- POVEDA, G.; SALAZAR, L. Annual and interannual (ENSO) variability of spatial scaling properties of a vegetation index (NDVI) in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, n. 4, p. 391-401, 2004.
- RATANA, P.; HUETE, A.R.; FERREIRA, L.G. Analysis of Cerrado physiognomies and conversion in the MODIS seasonal-temporal domain. **Earth Interactions**, v. 9, n. 3, p. 1-22, 2005.
- RIBEIRO, J.F.; WALTER, T.M.B. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Sano, S.M; Almeida, S.P. (Eds.). **Cerrado: Ambiente e Flora**. Brasília: EMBRAPA, p. 89-152, 1998.
- SANO, E.E.; FERREIRA, L.G.; HUETE, A.R. Synthetic Aperture Radar (L-band) and optical vegetation indices for discriminating the Brazilian savanna physiognomies: a comparative analysis. **Earth Interactions**, v. 9, n. 15, p. 1-15, 2005.
- SANO, E. E.; FERREIRA JUNIOR, L. G.; ASNER, G. P; STEINKE, E. Spatial and Temporal probabilities of obtaining Cloud-free Landsat Images over the Brazilian Tropical Savanna. **International Journal of Remote Sensing**, *submetido para publicação*, 2006.
- 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.

LISTA DE QUADROS E FIGURAS

Quadro 1. Valores de Cobertura do Solo (%) obtidos a partir do produto *Vegetation Continuous Field* (HANSEN et. al., 2002).

Table 1. Soil cover values (%) obtained from the *Vegetation Continuous Field* product (HANSEN et. al., 2002).

Percentual de Cobertura	FITOFISIONOMIAS				
	FESD	FED	SA	SP	FP
Arbórea	55,62±10,28	50,70±11,01	39,60±10,37	25,20±9,56	36,85±13,13
Herbácea	44,36±10,26	49,3±11	59,70±10,08	71,66±7,29	63,15±13,13
Solo exposto	-	-	0,7±0,85	3,13±3,87	-

Nota: FESD = Floresta Estacional semi-decídua; FED = Floresta Estacional decídua; SA = Savanna Arbórea; SP= Savanna Parque; e FP = Floresta Pluvial.

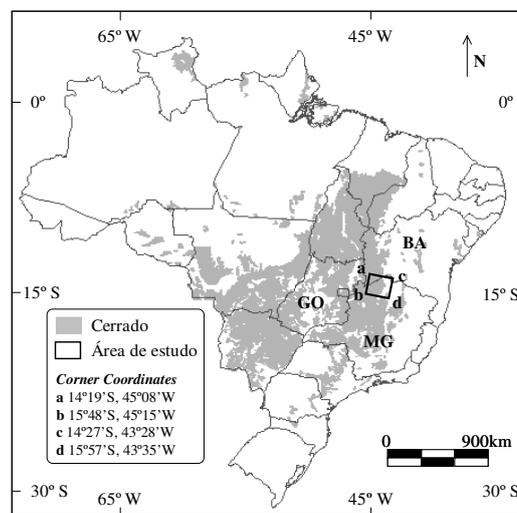


Figura 1. Localização da área de estudo dentro do contexto nacional. A delimitação do bioma Cerrado também é apresentada.

Figure 1. Location of the study area within national context. The delimitation of the Cerrado biome is also presented.

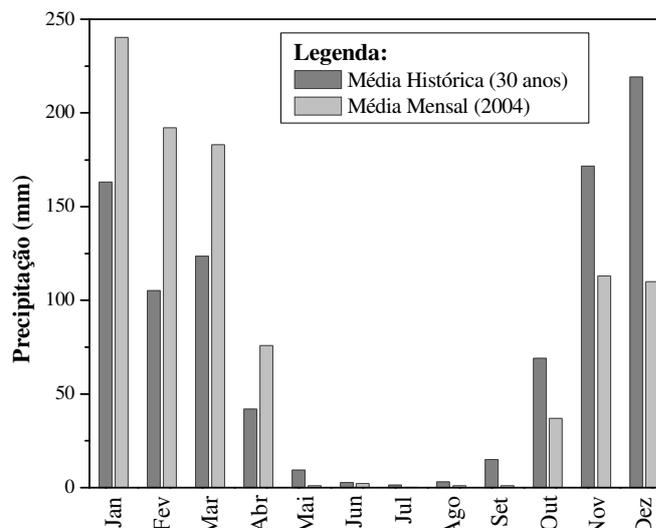


Figura 2. Precipitação média mensal e média histórica de 30 anos.

Figure 2. Monthly average precipitation and 30-Years historic average.

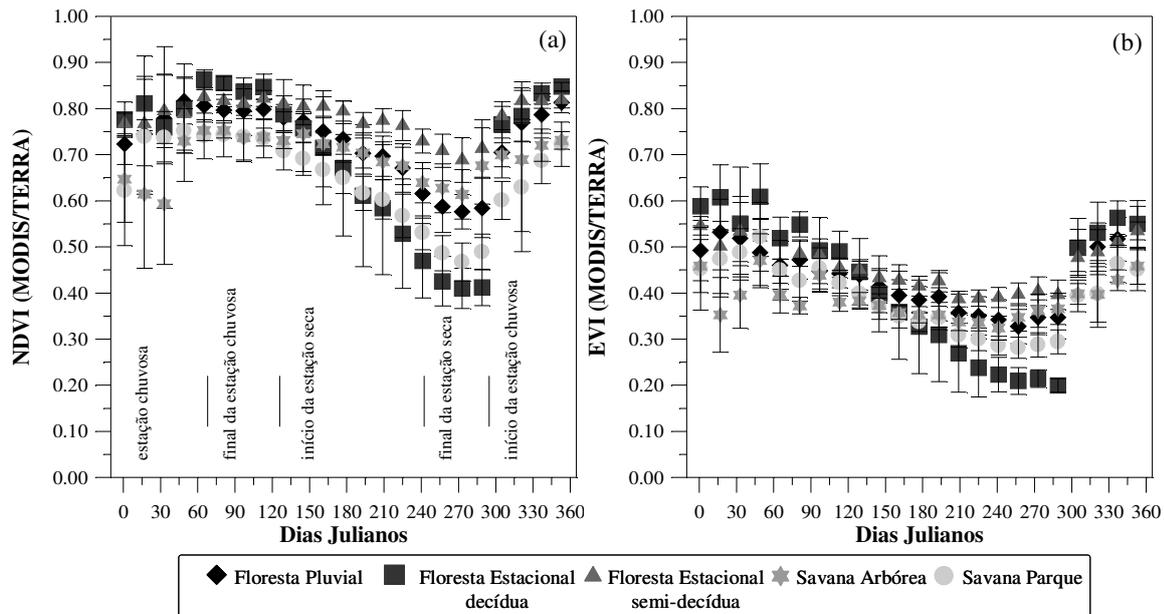


Figura 3. Variações sazonais do (a) NDVI e (b) EVI obtidos do sensor MODIS a bordo da plataforma TERRA. A média e desvio-padrão de 10 pixels são indicados.

Figure 3. Seasonal variations of (a) NDVI and (b) EVI obtained from the MODIS sensor onboard TERRA platform. Average and standard deviation of 10 pixels are indicated.

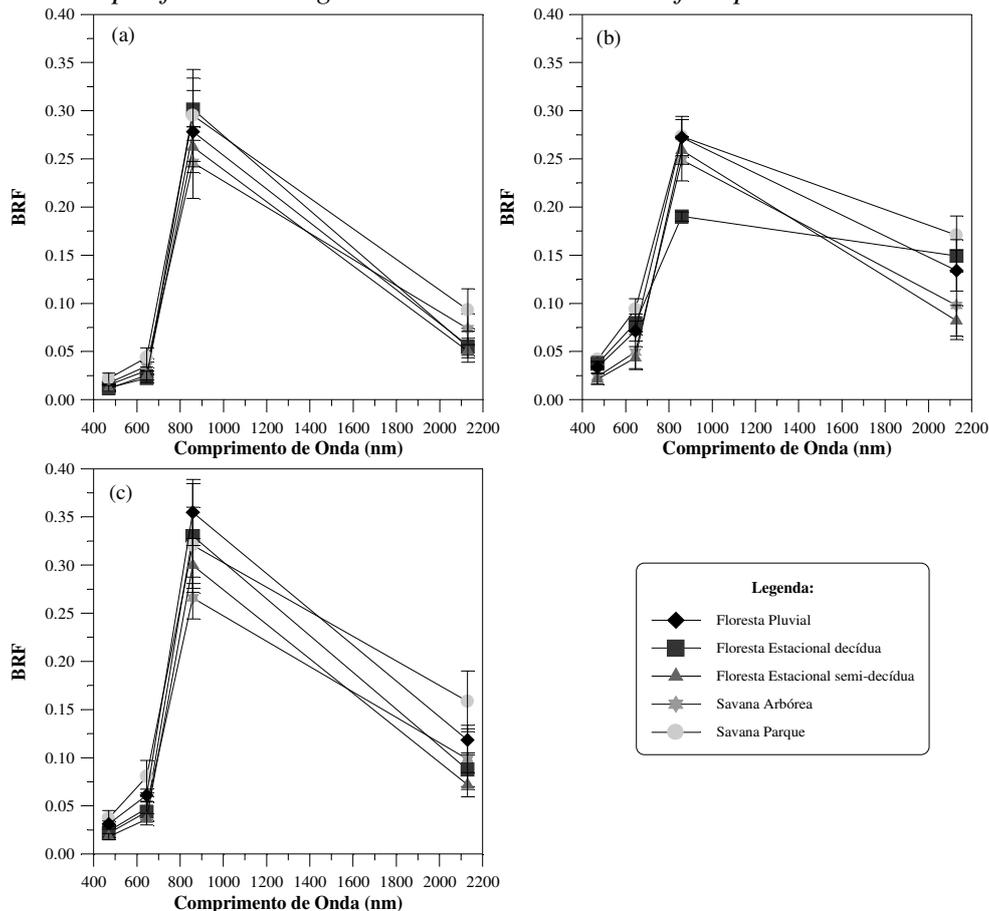


Figura 4. Fator de Reflectância Bidirecional (FRB) de cinco fitofisionomias. Médias e desvio-padrão calculados a partir de 10 pixels para cada classe são indicados. Os dados foram adquiridos em: (a) dia Juliano 65 (5 de Março); (b) 289 (15 de Outubro); e (c) 305 (31 de Outubro). Os símbolos indicam o centro das bandas espectrais do sensor MODIS.

Figure 4. Bidirectional Reflectance Factor (BRF) of five physiognomies. Average and standard deviation values calculated with 10 pixels for each physiognomy are indicated. Data were acquired in: (a) Julian day 65 (March, 5); (b) 289 (October, 15); and (c) 305 (October, 31). The symbols indicated the centre of the MODIS spectral bands.

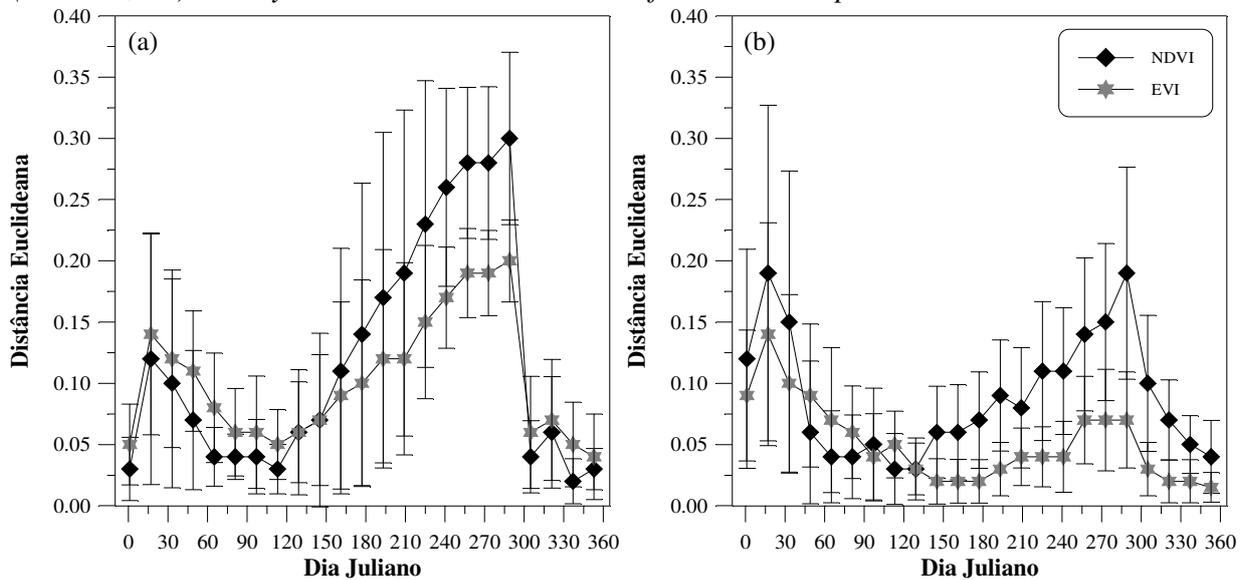


Figure 5. Variações nos valores da distância Euclidean (média e desvios padrões de 10 pixels) em função da sazonalidade e do dia Juliano para a discriminação entre (a) Floresta Estacional decídua e semi-decídua; e (b) Savana Arborizada e Savana Parque.

Figure 5. Variations in Euclidean distance values (Average and standard deviations of 10 pixels) as a function of seasonality and Julian day for the discrimination between (a) Floresta Estacional decídua and semi-decídua; and (b) Savana Arborizada and Savana Parque.

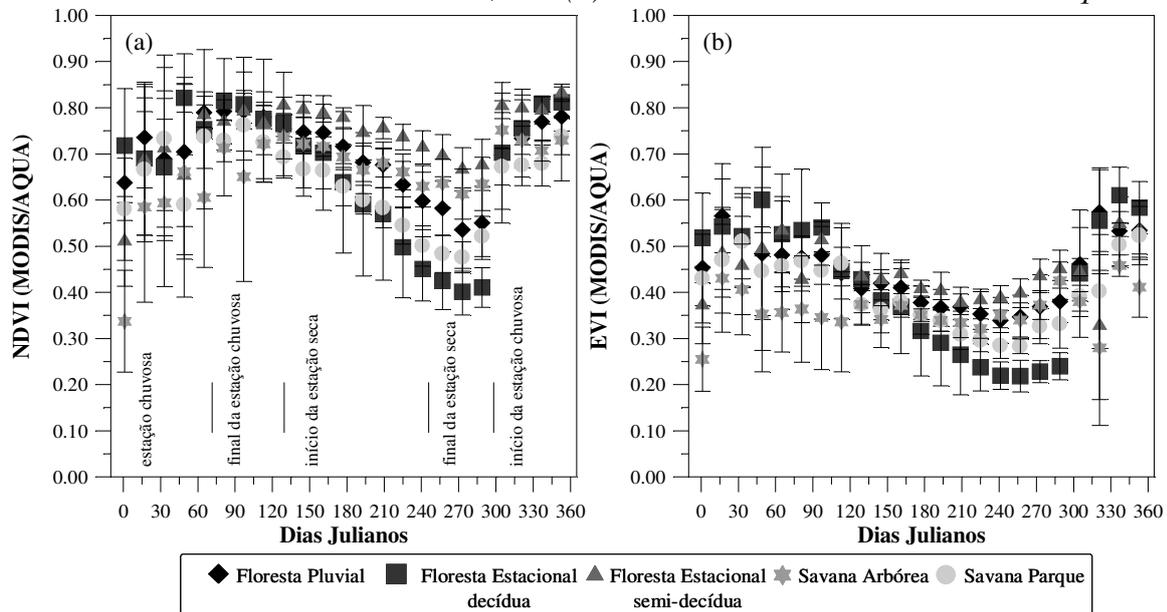


Figura 6. Variações sazonais do (a) NDVI; e (b) EVI obtidos do sensor MODIS a bordo da plataforma AQUA. A média e desvio-padrão de 10 pixels são indicados.

Figure 6. Seasonal variations of (a) NDVI; and (b) EVI obtained from MODIS sensor onboard AQUA platform. Average and standard deviation values of 10 pixels are indicated.