

Análise da confiabilidade dos dados MODIS e do seu potencial para a discriminação de cobertura de terras no Oeste da Bahia

Elane Fiúza Borges^{1,2}
Edson Eyji Sano^{2,3}

¹ Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS
Caixa Postal 44 - 036-900 - Feira de Santana - BA, Brasil
elaneborges@gmail.com

² Universidade de Brasília - UnB/IG
Caixa Postal 70910-900 - DF, Brasil

³ Embrapa Cerrados
BR-020 km 18 Caixa Postal 08223 – CEP: 73301-970 - Planaltina - DF, Brasil
edson.sano.@gmail.com

Abstract. This study was conducted in the western Bahia State with the aim to analyze the MODIS pixel reliability data and to analyze the potential of the MODIS EVI2 time series (2001-2010) to discriminate representative land use and land cover classes of the study area. We conducted a pixel-per-pixel based analysis of the reliability of entire temporal series. For the analysis of land use and land cover discrimination capability, the following classes were considered: shrub Cerrado (Campo Sujo), Cerrado shrubland (Cerrado Ralo, Cerrado Típico and Cerrado Denso), cropland, pastureland and reforestation. Representative samples of EVI2 values were collected for each class. The potential of discrimination capability was analyzed statistically through the cluster analysis. The cluster analysis included: a) time series of EVI2 itself; b) cumulative EVI2 (sum of individual EVI2 values one-by-one); c) cumulative, normalized EVI2 (EVI2 time series normalized by moving average and summed one-by-one). Overall, MODIS data set presented high reliability: 84% of data were rated as good. In terms of seasonality, 96% of dry-season data (April-September) and 69% of wet-season data (October-March) were rated as good. The analysis of time series of EVI2 (simple and cumulative) demonstrated that each land use and land cover class present overall distinct temporal signatures and that the cumulative EVI2 image has better discrimination capability than any other individual EVI2 image. Cluster analysis results indicated that the normalized and cumulative EVI2 data set presents the best capability to discriminate representative land use and land cover classes of the study area.

Palavras-chave: remote sensing, vegetation index, cerrado, time series, sensoriamento remoto, índice de vegetação, cerrado, série temporal.

1. Introdução

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), acoplado às plataformas Terra e Aqua, gera uma série de dados que são disponibilizados por meio de produtos prontos para serem utilizados (*ready-to-use*, termo em inglês). Um desses produtos é o *Pixel Reliability* que permite uma avaliação da confiabilidade dos dados produzidos. Os principais condicionantes que reduzem a confiabilidade dos dados são as nuvens, geleiras e neves. Segundo Colditz et al. (2002), as imagens de *Pixel Reliability* são utilizadas atualmente para mascarar nuvens na coleção C5 (versão 4) dos dados MODIS. Outro produto disponível do MODIS são os índices de vegetação NDVI (índice de vegetação normalizado pela diferença) e o EVI (índice de vegetação realçado) (Huete et al. 2002). Um terceiro índice de vegetação, desenvolvido mais recentemente, é o EVI2, muito similar ao EVI, mas que não envolve a utilização da banda na faixa espectral do azul. Outra característica particular do MODIS é a sua série temporal de dados relativamente longa de mais de 10 anos (março/2000-hoje), adquirida a cada 15 dias. Um sistema de consulta aos dados multitemporais do MODIS EVI2 de todo o país foi desenvolvido por Freitas et al. (2011) e está disponível na rede mundial de computadores.

Teoricamente, a análise das assinaturas multitemporais do sensor MODIS pode permitir melhor separação da vegetação e dos tipos de uso do que a análise de dados provenientes de uma única data, principalmente em regiões com elevada sazonalidade climática e grande dinâmica de ocupação de terras, como é o caso do Cerrado. Conforme ressaltaram Nascimento et al. (2010), pesquisas têm revelado dificuldades na discriminação de fitofisionomias do Cerrado a partir de imagens ópticas monotemporais, apontando como uma das causas, os efeitos da sazonalidade climática marcantes neste bioma. Asner (1998) afirmou que a vegetação de Cerrado apresenta espectros com intensa variação entre os períodos de seca e de chuva, tanto em nível de constituintes biofísicos, como bioquímicos. Carvalho Júnior et al. (2008), por exemplo, realizaram um estudo para identificar e classificar as fitofisionomias de Cerrado no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, a partir de assinaturas temporais do NDVI. As assinaturas multitemporais podem auxiliar ainda na detecção dos períodos de mudanças da paisagem, por exemplo, na determinação de quando um Cerrado natural foi convertido para pastagem cultivada.

Uma outra abordagem para analisar séries temporais é por meio do acúmulo (somatória) de dados individuais, isto é, adquiridos em datas específicas. Pesquisas como os de Ratana et al. (2005) e França e Sano (2011) demonstraram que a análise integrada de dados multitemporais apresenta melhor capacidade de discriminação de coberturas vegetais naturais e/ou antrópicas. Esses autores utilizaram a somatória de reflectâncias obtidas de imagens MODIS e Landsat de diferentes datas de passagem para aumentar a capacidade de discriminação de diferentes classes de cobertura vegetal do Cerrado. No trabalho conduzido por Hermuche e Sano (2011), o método da análise da reflectância acumulada apresentou maior capacidade para discriminar as fitofisionomias de Floresta Estacional Decidual do que as cenas individuais.

Desta forma, este estudo buscou primeiramente analisar a confiabilidade dos dados MODIS, a qual consistiu em uma avaliação pixel a pixel da série compreendida entre 2001 a 2010 para verificação das áreas contaminadas por nuvens e outras interferências. A área de estudo selecionada foi a Mesorregião do Extremo Oeste da Bahia (Figura 1), caracterizada pelo clima tropical continental (Aw na classificação de Köppen). O Oeste da Bahia é uma região marcada pelos efeitos da sazonalidade, o que implica em dificuldades quando se trata de identificar fitofisionomias e classes de uso representativas na área de estudo a partir de imagens monotemporais. Esse estudo objetivou ainda analisar o potencial das séries multitemporais do MODIS EVI2, no período de 2001 a 2010, para discriminar as classes de uso do solo (agricultura e pastagem) e das formações vegetais de Cerrado (campestre, arbórea e florestal) da área de estudo.

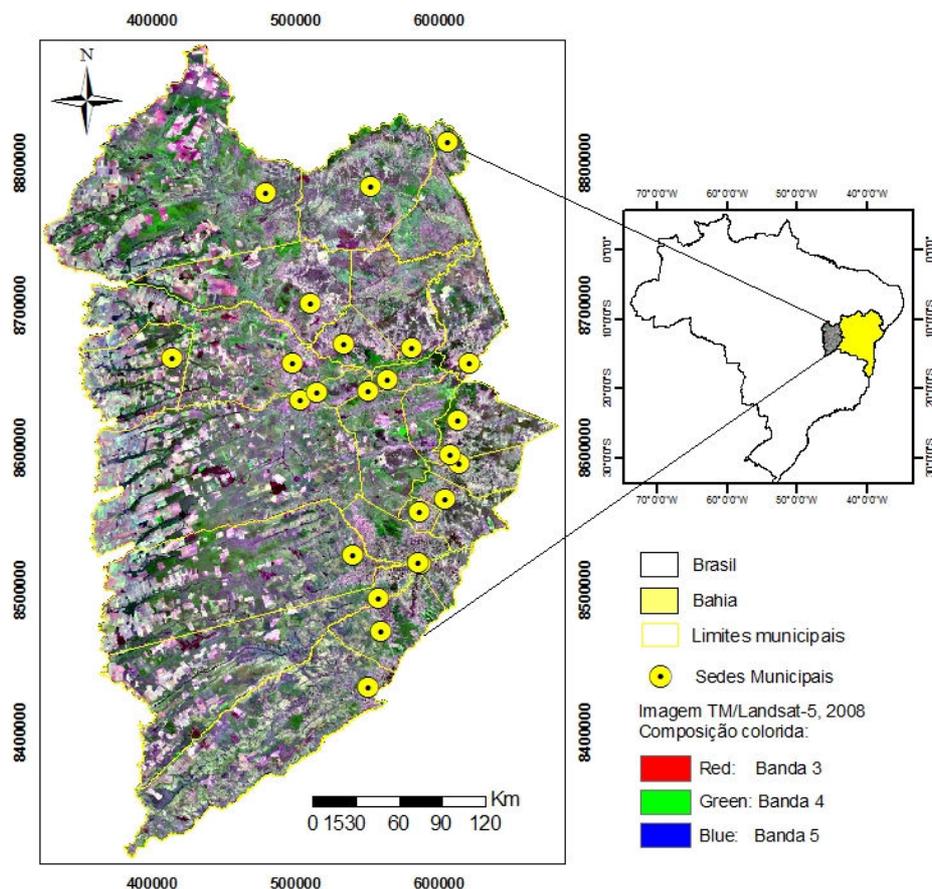


Figura 1. Localização do Oeste da Bahia.

2. Metodologia

2.1. Análise da Confiabilidade

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, utilizou-se o produto MODIS *Pixel Reliability* do período de 2001 a 2010, para toda a região do Oeste da Bahia. Os dados são originalmente disponibilizados (<http://reverb.echo.nasa.gov>) com a projeção sinusoidal e formato HDF (*hierarchical data format*). Estes foram reprojados para o sistema de coordenadas geográficas e *datum* WGS 1984. Os dados MODIS são disponibilizados com algumas etapas do pré-processamento realizadas, tais como correções atmosférica e geométrica.

Os dados de confiabilidade do pixel são produzidos mediante a composição de 16 dias, com resolução espacial de 250 metros e estão disponíveis por meio do produto MOD13Q1. O critério de seleção de imagens a cada 16 dias para calcular e disponibilizar o dado de EVI é com base nos dados que resultam nos maiores valores de EVI, pois se considera que imagens registradas nos dias de chuva, com muita nuvem ou com outros ruídos atmosféricos vão interferir diretamente nos valores de EVI, demonstrando uma tendência à redução destes valores. Já as imagens com boa qualidade tendem a apresentar maiores valores de EVI e maior confiabilidade. Os dados de confiabilidade são definidos em cinco classes, conforme se pode observar no Quadro 1.

Quadro 1. Significado de cada valor do produto *Pixel Reliability*. QA = *Quality Assurance*.

VALOR	CLASSIFICAÇÃO	RECOMENDAÇÃO
-1	Sem Dado	Não Processado
0	Dado Bom	Uso com Confiança
1	Dado Marginal	Utilizável, porém consultar outro QA
2	Neve/Gelo	Alvo coberto com neve/gelo
3	Nuvem	Alvo coberto com nuvens

Dados de *Quality Assurance* e *Pixel Reliability* do MODIS foram utilizados por Moraes e Rocha (2011) para avaliar os pixels para mapeamento e monitoramento de cana-de-açúcar e obtiveram resultados satisfatórios. Os autores consideraram que tais dados mostraram-se de grande importância para separação de pixels bons, agregando, aos valores de índice de vegetação das imagens MODIS (250 m de resolução espacial), segurança quanto à qualidade da sua utilização.

Os dados de confiabilidade foram recortados de acordo o limite da área de estudo e fez-se uma avaliação pixel a pixel de todas as composições de imagens que integram cada ano da série temporal analisada, conforme a classificação anteriormente apresentada no Quadro 1. Por fim, organizaram-se os dados em períodos chuvoso e seco, sendo calculada a confiabilidade dos dados de acordo a sazonalidade.

2.2. Serie temporal de EVI2

A análise da série temporal de EVI2 do MODIS foi realizada a partir dos dados disponíveis no sítio www.dsr.inpe.br/laf/series/mapa.php, o qual permite visualizar os dados a partir de espectro-temporais extraídos de uma plataforma semelhante ao Google Earth.

Para o desenvolvimento desta segunda etapa da pesquisa foram realizadas análises simples e acumulada do espectro-temporal on-line do EVI2 do MODIS. A série temporal utilizada foi filtrada com base na transformada *wavelets* (Freitas et al., 2011). Os procedimentos metodológicos utilizados nesta segunda etapa da pesquisa estão sintetizados no fluxograma apresentado na Figura 2.

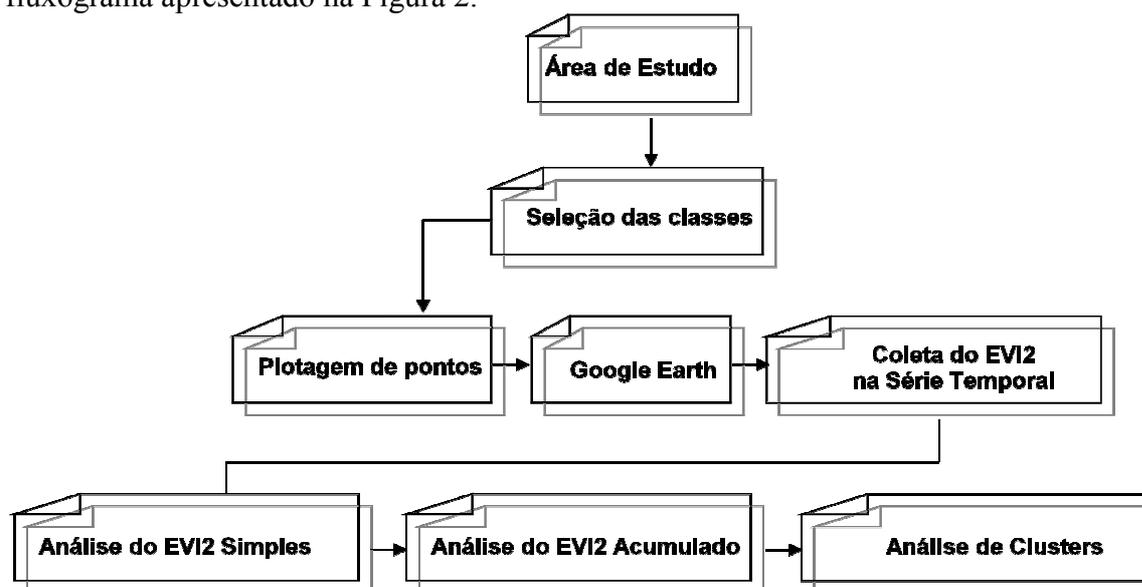


Figura 2. Fluxograma dos procedimentos metodológicos utilizados na segunda etapa da pesquisa.

Foram verificados no campo 85 pontos para caracterização da classe de cobertura vegetal. Desse conjunto de pontos, foi selecionado, randomicamente, um ponto representativo de cada classe para extração do espectro-temporal da série de EVI2. A seleção prévia dos pontos que deveriam ser verificados em campo foi realizada com base na visualização de imagens de alta resolução disponíveis no programa Google Earth™. Desta forma, as coordenadas dos pontos selecionados foram plotadas na plataforma on-line da série temporal de EVI2 do MODIS. Também foi associado ao Google Earth o mapa de cobertura vegetal e uso do solo resultante do Projeto Biodiversidade (PROBIO), na escala de 1:250.000, o que permitiu melhor localização dos pontos para controle de campo.

As classes para as quais se obtiveram os espectros-temporais de EVI2 foram: Campo Sujo, Cerrado Ralo, Cerrado Típico, Cerrado Denso, Cultura agrícola (sequeiro), Pastagens cultivadas e Reflorestamento por Eucalipto. Os pontos para a coleta de dados da série multitemporal de EVI2 foram resultantes do trabalho de campo após a verificação da fitofisionomia ou uso do solo existentes. Desta forma, as coordenadas dos pontos representativos de cada classe foram adicionadas na série multitemporal.

Os espectros-temporais foram analisados de forma simples e acumulada. Posteriormente realizou-se a análise de *cluster* para os dados supracitados e também para os dados de EVI2 acumulados e normalizados pelo desvio padrão dos dados de EVI2 simples.

3. Resultados e Discussão

A avaliação dos dados MODIS demonstrou alta confiabilidade, conforme se pode observar na Figura 3. Exceto para o ano de 2009, todos os 10 anos analisados apresentaram confiabilidade superior a 80% (média = 84%). Para os períodos seco e chuvoso, a confiabilidade média foi de 96% e 69%, respectivamente. Este elevado desempenho deve estar associado às características climáticas já mencionadas acerca da área de estudo, como a estiagem relativamente prolongada. Os pixels considerados marginais foram eventuais e dispersos, sem apresentar nenhum padrão temporal ou espacial.

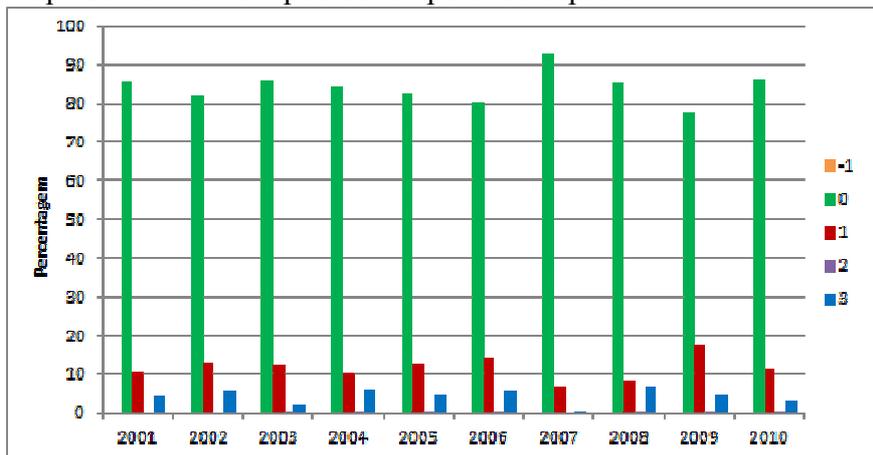


Figura 3. Resultado de confiabilidade dos dados MODIS para os anos de 2001 a 2010, no Oeste da Bahia.

Quanto aos resultados dos espectros-temporais utilizados para discriminar as classes de cobertura de terras do Oeste da Bahia, estes demonstram algumas diferenças quando analisados de forma simples em relação à acumulada, revelando que este último permite melhor separabilidade entre as classes, conforme pode se observar nas Figuras 4a e 4b.

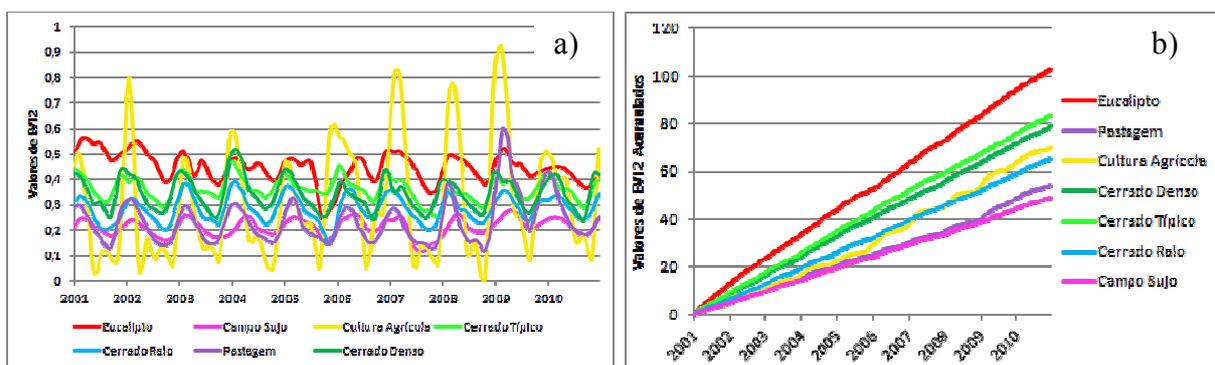


Figura 4. Assinaturas espectro-temporais simples (a) e acumulada (b) de EVI2 de coberturas de terras representativas da área de estudo.

Como demonstram as Figuras 4a e 4b, é possível discriminar as fitofisionomias e os tipos de usos da área de estudo por meio de assinaturas espectro-temporais. Há uma nítida resposta das assinaturas temporais dos diferentes alvos aos efeitos da sazonalidade, os quais são marcantes na área de estudo. A análise dos dados de EVI2 na forma simples (Figura 4a) permite inferir que cada classe possui uma assinatura espectro-temporal distinta. Visualmente os espectros que apresentaram maior semelhança entre si foram o Cerrado Denso e o Cerrado Típico. Todavia, é possível notar que o centro do pico do espectro-temporal de EVI2 do Cerrado Denso diferencia-se um pouco do Cerrado Típico, apresentando, de forma geral, maiores valores de EVI2.

A assinatura espectro-temporal referente à Cultura agrícola de sequeiro é a que se apresentou de forma mais distinta em relação aos demais, compreendendo os valores mais baixos de EVI2 e também os mais elevados. Isto ocorre justamente por variar entre os extremos, que é solo exposto durante a estação seca e o ápice de biomassa da cultura agrícola no período chuvoso. É possível perceber ainda que a assinatura espectro-temporal da Cultura agrícola é heterogênea durante todo o período analisado, isto é, os picos de valores de EVI2 máximo e mínimo são distintos de acordo com o ciclo da cultura analisado (por exemplo, acentuado em 2008-2009, menos acentuado em 2003-2004). Uma das inferências para esse fenômeno é o plantio de pelos menos dois tipos de culturas agrícolas distintas com densidades de cobertura vegetal diferentes.

O Campo Sujo, como já era esperado, apresentou o menor valor de EVI2, entre todas as classes analisadas. Tal comportamento está associado ao fato dessa vegetação possuir um estrato basicamente herbáceo, com presença rarefeita de arbustos, o que permite a interferência maior do solo na resposta de reflectância desta classe e justificam os valores encontrados neste índice de vegetação. O reflorestamento por Eucalipto não apresentou efeitos marcantes da sazonalidade, pois, devido às suas propriedades fitofisiológicas, não sofre tanta interferência da sazonalidade climática anual, mesmo na ausência da precipitação. É a classe que possui menor variação de EVI2 entre os períodos de seca e o chuvoso, apresentando, de forma geral, valores elevados.

A Pastagem, caracterizada preponderantemente como pastagem cultivada, é a que apresentou menor valor de EVI2 no período de seca, pois o solo exposto começa a interferir nesta relação, mediante o estresse hídrico do capim. No período chuvoso, apresenta valores relativamente maiores, mas não chega ultrapassar os valores das fitofisionomias naturais, exceto para o Cerrado Ralo. Este apresentou menor valor de EVI2, comparado às outras fitofisionomias de Cerrado, mesmo durante o período chuvoso e também apresentou características de estresse hídrico no período seco.

A análise dos valores de EVI2 acumulados (Figura 4b) para as coberturas de terras representativas da área de estudo demonstrou maior separabilidade entre as classes. As áreas de Reflorestamento por Eucalipto, conforme descrita anteriormente, consiste em uma das classes analisadas que menos sofre com efeitos da sazonalidade; por isso, os valores de EVI2 acumulados para esta classe tende a ser bem maiores em relação às demais, pois, em geral, o eucalipto apresenta alta densidade de biomassa fotossinteticamente ativa durante todo o ano. Assim, o acúmulo desta proporciona alta separabilidade entre as fitofisionomias dos tipos de vegetação e usos investigados.

Classes como as de Pastagem cultivada e Campo Sujo apresentaram índices de vegetação acumulados bastante semelhantes, o que pode estar relacionado com o fato dessas duas classes serem preponderantemente gramíneas. Quanto ao tipo de cultura agrícola, como este provavelmente variou durante o período analisado, notou-se uma mudança de padrão, então a separabilidade desta classe em relação as demais não fica muito clara, ora se aproximando mais da vegetação do tipo gramínea, como o Campo Sujo e Pastagem, ora mais semelhante ao Cerrado Ralo, provavelmente após a alteração do tipo de cultura (Figura 4b).

As fitofisionomias de Cerrado Denso e Típico, as quais na análise do espectro-temporal simples se apresentavam bastante próximas, no método acumulado de EVI2 podem ser melhor discriminadas. Quando a classe correspondente à vegetal natural ou antrópica não sofrer grandes mudanças durante toda a série temporal analisada, o processo de discriminação é facilitado ao analisar o espectro temporal simples ou acumulado. Quando há mudanças bruscas na série temporal, por exemplo, por meio da conversão de Cerrado natural em antrópico, a análise simples não permite grande separabilidade das classes, devendo-se recorrer, com algumas restrições, à análise multitemporal acumulada.

De modo geral, pode-se inferir que à medida que mais se acumula os valores de EVI2, tem-se maior separabilidade entre as classes analisadas (Figura 4b). Isto permite afirmar que se a série histórica abrangesse um período maior, ter-se-iam melhores condições de discriminação das fitofisionomias e das classes de uso.

A Figura 5 mostra os resultados da análise de agrupamento envolvendo EVI2 simples (Figura 5a), EVI2 acumulado (Figura 5b) e EVI2 acumulado e normalizado pelo desvio padrão (Figura 5c). O dendrograma do EVI2 simples aponta a separação das classes consideradas neste estudo em cinco grupos: Reflorestamento com Eucalipto; Campo Sujo e Pastagem cultivada; Cerrado Típico e Cerrado Denso; Cerrado Ralo; e Cultura agrícola. O agrupamento das classes com valores de EVI2 acumulados demonstra que as classes correspondentes ao Campo Sujo e à Pastagem se apresentam como sendo as que mais se assemelham; na sequência, Cultura agrícola e Cerrado Ralo se comportam como pertencente a outro grupo; o Cerrado Ralo se assemelha mais com o Cerrado Típico gerando um novo grupo; a classe que mais se diferenciou das demais foi a de Reflorestamento com Eucalipto.

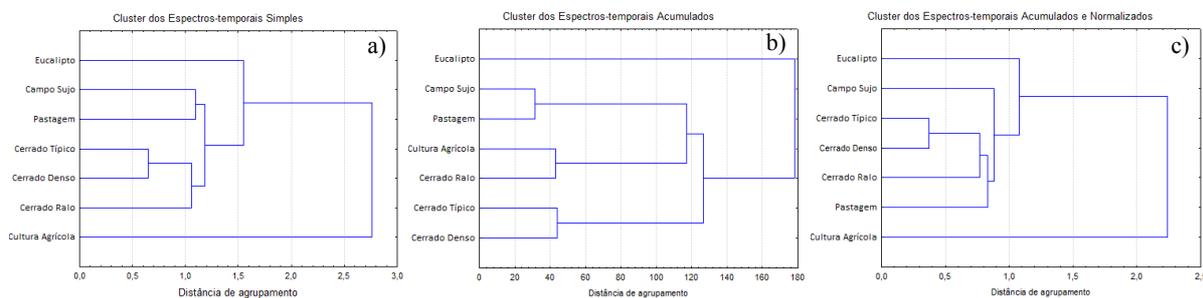


Figura 5: Dendrograma para análise de *clusters* de EVI2 Simples (a), EVI2 Acumulado (b) e EVI2 Acumulado e Normalizado (c).

A despeito da possível discriminação de classes de vegetação e uso do solo a partir de espectros-temporais de EVI2 simples (Figura 4a) e acumulados (Figura 4b) muitas classes foram agrupadas quando se analisou os dendrogramas com dados de EVI2 simples e acumulado (Figuras 5a e 5b, respectivamente). Então partiu-se para a análise do dendrograma com valores de EVI2 acumulados e normalizados pelo desvio padrão (Figura 5c), no qual pôde-se observar melhor discriminação, visto que os valores de média de EVI2 de algumas classes agrupadas são semelhantes, mas o desvio-padrão é bastante distinto, tendo uma maior separabilidade das classes a partir dos dados de EVI2 acumulados e normalizados.

4. Conclusões

Os dados do MODIS para a região Oeste da Bahia, apresentados por meio do produto MOD13Q1, possuem alta confiabilidade, o que permite afirmar que tais dados podem ser utilizados com segurança para realização de pesquisas na região supracitada. A despeito dos resultados encontrados, é importante salientar que a confiabilidade pode estar muito atrelada às características da região em estudo. Como já discutido anteriormente, a região possui algumas peculiaridades como a predominância de relevo plano e sazonalidade bem definida, o

que pode proporcionar elevada confiabilidade para os dados do MODIS. Esta ressalva ratifica os resultados encontrados, cuja confiabilidade foi maior para o período de seca.

Os dados da série temporal de EVI2 têm grande potencial para o estudo da cobertura vegetal e uso do solo, devendo-se atentar para as formas de análise destes dados. Neste estudo os espectros-temporais de EVI2 simples e acumulados foram importantes para a discriminação das classes naturais, mas quando se tratou de classes antrópicas a discriminação não ocorreu de forma eficiente. Os dendogramas gerados a partir da análise de *clusters* permitiram observar as semelhanças e diferenças por meio de agrupamentos, sendo os dados de EVI2 acumulados e seguidos de normalização os que melhor discriminaram as classes.

Agradecimentos

À Embrapa Cerrados, pelo apoio à realização do trabalho de campo.

Referências Bibliográficas

- ASNER G. P. Biophysical and biochemical sources of variability in canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v.64, p.234-253, 1998.
- CARVALHO JÚNIOR, O. A.; SAMPAIO, C. S.; SILVA, N. C.; COUTO JÚNIOR, A. F.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor MODIS no parque Nacional Chapada dos Veadeiros. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.26, n.4, p.505-517, 2008.
- COLDITZ R. R.; CONRAD, C.; WEHRMANN, T.; SCHMIDT, M., DECH, S. Analysis of the quality of collection 4 and 5 vegetation index time series from MODIS. In: STEIN, A.; SHI, W.; BIJKER, W. (Org.) **Quality Aspects in Spatial Data Mining**. Boca Raton, Florida: Editora CRC Press, 2008, p.161-173.
- FRANÇA, A. M. S.; SANO, E. E. Mapeamento de áreas de Campo Limpo Úmido no Distrito Federal a partir de fusão de imagens multiespectrais. **Sociedade & Natureza**, v.23, n.2, p.197-209, 2011.
- FREITAS, R. M.; ARAI, E.; ADAMI, M.; SOUZA, A. F.; SATO, F. Y.; SHIMABUKURO, Y. E.; ROSA, R. R.; ANDERSON, L. O.; RUDORFF, B. F. T. Virtual laboratory of remote sensing series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. **Journal of Computational Interdisciplinary Sciences**, v.2, p.57-64. 2011.
- HERMUCHE, P. M.; SANO, E. E. Identificação da floresta estacional decidual no Vão do Paranã, estado de Goiás, a partir da análise da reflectância acumulada de imagens do sensor ETM+/Landsat-7. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 63/03, p. 415-425, 2011.
- HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.195-213, 2002.
- MORAES, R. A.; ROCHA, J. V. Imagens de coeficiente de qualidade (Quality) e de confiabilidade (Reliability) para seleção de pixels em imagens de NDVI do sensor MODIS para monitoramento da cana-de-açúcar no estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba, PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p.547-552. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00056-0. Disponível em:<<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.17.27>>. Acesso em: 01 mai. 2012.
- NASCIMENTO, E. R. P.; SANO, E. E. Identificação de Cerrado Rupestre por meio de imagens multitemporais do Landsat: proposta metodológica. **Sociedade & Natureza**, v.22, n.1, p.93-106, 2010.
- RATANA, P.; HUETE, A. R.; FERREIRA, L. Analysis of Cerrado physiognomies and conversion in the MODIS seasonal-temporal domain. **Earth Interactions**, v.9, p.1-22, 2005.
- Séries Temporais Modis. Disponível em:
< www.dsr.inpe.br/laf/series/mapa.php > Acesso em: 20.mai. 2012.