

Estudo da sazonalidade da Caatinga com dados do sensor MODIS

Kionara Sarabella Turíbio e Silva¹

André Lima²

Adriana Monteiro de Almeida¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN/CB)

Caixa Postal 1524 - 59072-970 - Natal - RN, Brasil

kionara@hotmail.com; adrianam@cb.ufrn.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil

andrerr@dsr.inpe.br

Abstract. Caatinga is a semiarid region in northeastern Brazil with a strong seasonality presenting a long drought period lasting up to nine months and a humid season ranging from 3-4 months. Caatinga vegetation presents various adaptations to drought and many species are endemic. Human activities in the last two centuries degraded this biome and most is threatened now. The present study used MODIS images to compare vegetation cover in humid and dry seasons in 2010. An image containing the entire biome was composed using the EVI (Enhanced Vegetation Index). This index was developed specifically for applications using the MODIS sensor, with resulting reduced sensitivity to soil and atmospheric effects and higher sensitivity to green vegetation density. Classified images from the two seasons showed a strong difference in vegetation cover with 65% vegetation in the wet season and 35% vegetation cover in the dry season. We suggest that part of the vegetation cover in the dry season is composed of irrigated crops. This work is will be soon complemented with more precise analyzes using other aspects geographical and climatological characteristics, such as hydrograph, relief, land use and land cover, ground truth, and also other recent studies that have information about different places in a Caatinga and other data that are reliable.

Palavras-chave: EVI (Enhanced Vegetation Index), heterogeneidade espacial, sazonalidade, spatial heterogeneity, seasonality.

1. Introdução

O bioma Caatinga, composto por florestas sazonalmente secas em virtude de um regime de chuva irregular e vegetação arbustivo-espinhosa (Leal *et al.*, 2005), possui uma área aproximada de 844,453 km² (IBGE, 2004), correspondente a aproximadamente 10% do território nacional. Apesar de ser o único bioma genuinamente brasileiro, poucas ações de proteção são desenvolvidas, pois aproximadamente de 50% desse ambiente foi degradado em virtude das atividades humanas, especialmente a pecuária, agricultura e o corte de madeira para lenha que estão modificando a paisagem natural desse ecossistema (IBAMA/MMA, 2010). Atualmente, o bioma apresenta menos de 1% de sua área protegida em unidades de conservação de proteção integral, não contemplando todos os tipos de formações da caatinga, assim como suas riquezas (Leal *et al.*, 2005).

É uma região caracterizada por altas taxas de evapotranspiração, ocorrências de período de seca, solos rasos e reduzida capacidade de retenção de água. Todos esses fatores refletem a fragilidade desse ecossistema (Silva *et al.*, 2009). No entanto, este possui um alto poder de resiliência, refletido quando da ocorrência de chuvas, que mesmo em baixas intensidades, produzem uma rápida resposta na vegetação nativa, que, de seca, torna-se revigorante e verde. Isso ocorre em virtude de adaptações evolutivas que essas espécies vegetais passaram ao longo do tempo para sobreviver em um ambiente com condições tão estressantes.

A caatinga é um ambiente pouco estudado, especialmente na perspectiva do sensoriamento remoto. O uso dessas técnicas mostra-se muito relevante, uma vez que permite uma eficiente obtenção de dados em uma área com uma grande extensão e pouca informação

de campo (Kazmierczak, 1996 *apud* Silva *et al.*, 2009). O sensoriamento remoto permite encontrar importantes fontes de informação que possibilitam um melhor entendimento do funcionamento e dos processos ecossistêmicos, bem como dos padrões de degradação que precisam ser detectados para adoção de medidas de controle e até mesmo restauração.

Alguns elementos naturais da caatinga como substratos rochosos associados a relevos acidentados com pouca vegetação, pastagens naturais, região de dunas, dentre outros, possuem respostas espectrais similares a áreas antropizadas (IBAMA/MMA, 2010), o que dificulta a análise qualitativa de sua superfície. Além disso, sua heterogeneidade espacial gera uma grande mistura espectral que precisa ser analisada com bastante cuidado.

O *Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) é o principal instrumento da plataforma Terra e Aqua do *Earth Observing System* (EOS) da NASA que foi viabilizado para realização de estudos multidisciplinares com o intuito de avaliar o crescente impacto da atividade antrópica e monitorar as mudanças na superfície e na atmosfera terrestre. Uma das principais características desse sensor é a sua disponibilização na forma de produtos, tendo as etapas de pré-processamento praticamente concluídas (Soares *et al.*, 2007).

Dentre os seus produtos, têm-se os índices de vegetação, que resumem informações espectrais contidas em duas ou mais bandas com o intuito de realçar as propriedades da vegetação e permitir uma comparação temporal e espacial das atividades terrestres fotossintéticas e das variações estruturais da cobertura (Huete *et al.*, 2002). Os índices *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e *Enhanced Vegetation Index* (EVI) são disponibilizados no produto MOD13 do MODIS. Este último é apropriado ao uso em regiões semi-áridas, pois foi desenvolvido especificamente para reduzir a sensibilidade do solo e os efeitos atmosféricos (Huete *et al.*, 2002; John *et al.*, 2008; Oliveira *et al.*, 2009; Jenerette *et al.*, 2010). Muitos estudos apontam problemas de erros no índice NDVI em regiões de vegetação esparsa, por ser fortemente influenciado pela reflectância do solo (Ishiyama *et al.*, 1997; Elmore *et al.*, 2000). Logo, a vegetação esparsa da caatinga deve ser levada em consideração em um produto do sensoriamento remoto que minimize o brilho do solo, bem como os efeitos atmosféricos, sendo este, portanto, o EVI. Com o intuito de difundir novas fontes de informação e conciliá-las com as carências apresentadas pelo bioma caatinga, o objetivo desse trabalho é promover um estudo do comportamento sazonal da vegetação da caatinga através de dados do sensor MODIS.

2. Metodologia do Trabalho

A área de estudo compreende todo bioma caatinga e suas delimitações foram definidas a partir do mapa de biomas do IBGE (2004). Esses limites são apresentados na Figura 1. Para o estudo, foram utilizados quatro *Tiles* do sensor MODIS (h13v9, h13v10, h14v9 e h14v10) do tipo MOD13Q1, que se refere aos índices de vegetação, disponibilizados gratuitamente, pré-processadas e mosaicadas no sítio do Laboratório de Agricultura e Floresta do INPE (<http://www.dsr.inpe.br/laf/modis>).

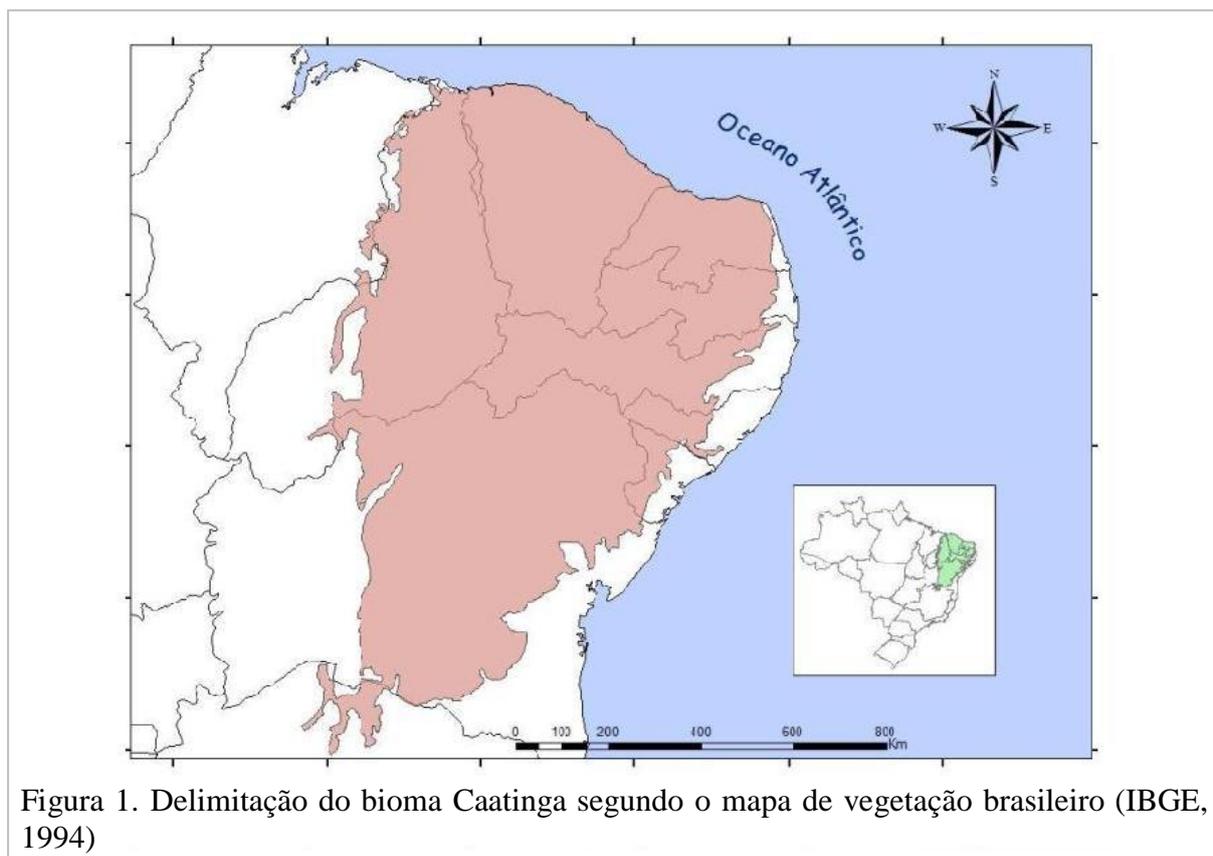


Figura 1. Delimitação do bioma Caatinga segundo o mapa de vegetação brasileiro (IBGE, 1994)

O produto MOD13Q1 consiste em um mosaico dos pixels com maior valor EVI observados nas imagens diárias do sensor MODIS (produto MOD09) durante o período de 16 dias para minimizar a presença de nuvens (Anderson e Shimabukuro, 2007). Possui resolução espacial de 250m, que viabiliza estudos em escala regional com uma alta resolução temporal. No trabalho, foram analisadas duas imagens do índice EVI: uma na estação chuvosa (07 a 22 de abril de 2010) e outra na estação seca (29 de agosto a 13 de setembro de 2010).

Essas imagens foram classificadas com algoritmo de classificação não supervisionada K-médias para a extração de duas classes de cobertura (vegetação e solo - inclui áreas secas, áreas sem vegetação e área urbana) através do *software* ENVI 4.5 (Sulsoft, 2009).

3. Resultados e Discussões

A região conhecida como caatinga apresenta uma grande heterogeneidade quanto à densidade e porte de sua vegetação. Fatores ambientais naturais são responsáveis por esta heterogeneidade como, por exemplo, o déficit hídrico nas áreas de lajedos (afloramentos rochosos) apresentando plantas de menor porte associadas, diferentemente dos vales e regiões serranas com maior umidade e vegetação de mais alto porte (Amorim *et al.* 2005). Além dessa variação natural, o ambiente de Caatinga sofre uma forte pressão antrópica através da agricultura, pecuária, utilização de lenha para combustível, crescimento urbano, dentre outros. Ao observarmos uma imagem no pico da estação chuvosa podemos observar diversas tonalidades de cinza (vegetação) comprovando a variação fisionômica, além das modificações humanas existentes (figura 2 A).

A vegetação nativa da região possui adaptações evolutivas para sobrevivência diante da sazonalidade e irregularidade de chuvas, sendo elas: perda de folhas durante a estação seca (economia de energia); ciclo de vida anual das plantas herbáceas (crescem, reproduzem e morrem no período mais úmido, deixando sementes no solo); e metabolismo que permite a

conservação hídrica da planta, ocorrendo trocas gasosas somente durante a noite através da abertura dos estômatos nesse período (Costa e Araújo, 2003 *apud* Sampaio, 2005). Na estação chuvosa, árvores e arbustos da caatinga rebrotam rapidamente e muitas sementes germinam no solo (Loefgren, 1910 *apud* Costa e Araújo, 2003). A imagem EVI da caatinga na estação seca mostra uma mudança evidente na composição da paisagem em um curto período de tempo (aproximadamente quatro meses) (figura 2 (B)).

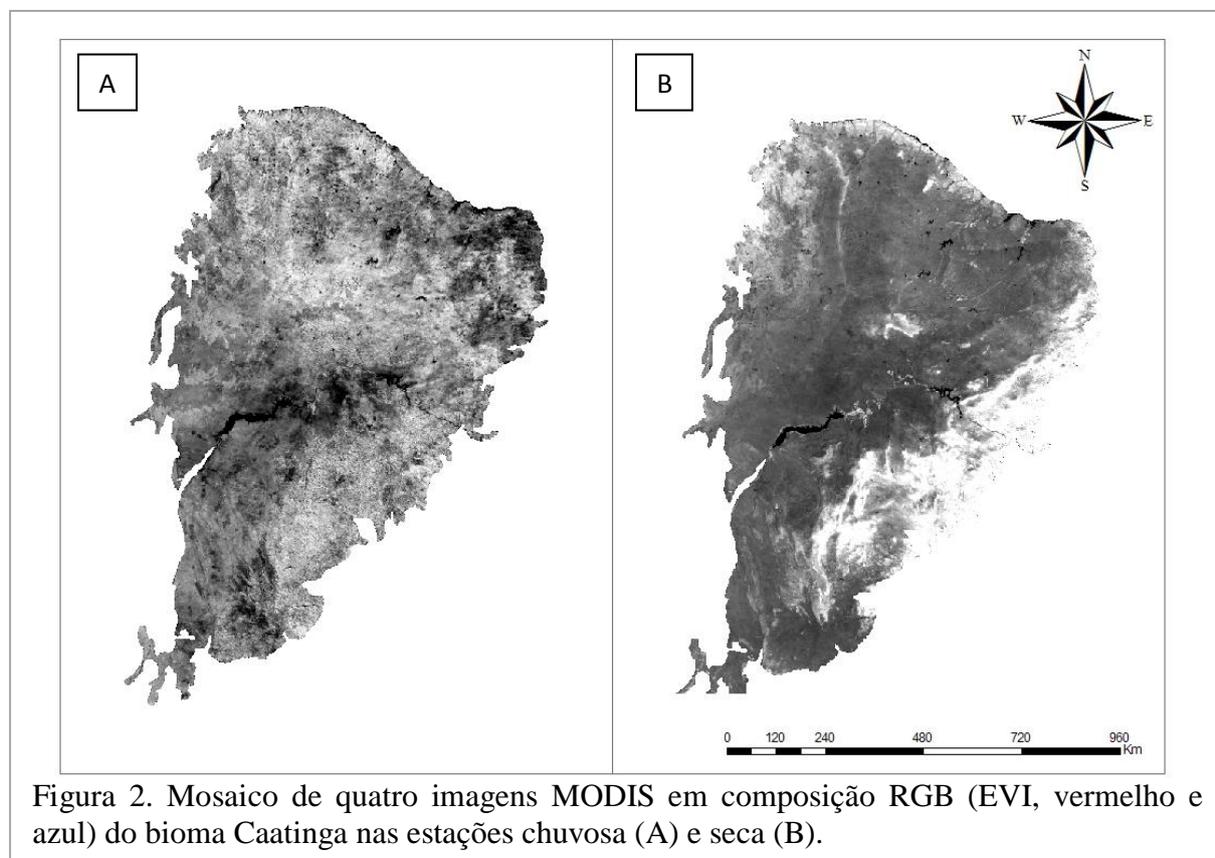


Figura 2. Mosaico de quatro imagens MODIS em composição RGB (EVI, vermelho e azul) do bioma Caatinga nas estações chuvosa (A) e seca (B).

Nas imagens classificadas (figura 3a, b), é possível visualizar forte sazonalidade entre os períodos distintos. A cobertura vegetal na estação chuvosa, no mês de abril, representou 65% do bioma Caatinga, cobrindo 552,101 km². Uma diferença de poucos meses é suficiente para modificar completamente toda a paisagem. Uma segunda imagem obtida na primeira quinzena de setembro do mesmo ano mostra que agora a vegetação cobriu apenas aproximadamente 37% (313,457 km²) de sua paisagem, tendo portanto, neste último período, mais solo exposto, que inclui as áreas com vegetação seca. No entanto, esses valores devem ser observados com ressalva, pois é visível a presença de nuvens na imagem do período chuvoso. Este fato faz com que, na classificação não supervisionada, nuvens tenham sido classificadas como solo exposto, especialmente na região sudeste da Caatinga que apresenta uma cobertura vegetal expressiva no período seco, mas na chuvosa foi classificada como composta por solo exposto. Por isso, a cobertura vegetação na estação chuvosa pode ter um percentual maior.

A área que permanece vegetada nas imagens analisadas na época seca (figs. 2b e 3b), são, em grande parte, utilizadas para agricultura irrigada, prática comum em áreas de agricultura de grande porte na Caatinga. A substituição da vegetação nativa pela cultura irrigada pode levar esse ambiente à desertificação, uma vez que a irrigação aliada à alta evapotranspiração pode levar ao processo de salinização do solo, acelerando o processo de desertificação (Garda, 1996 *apud* Castelletti *et al.*, 2004).

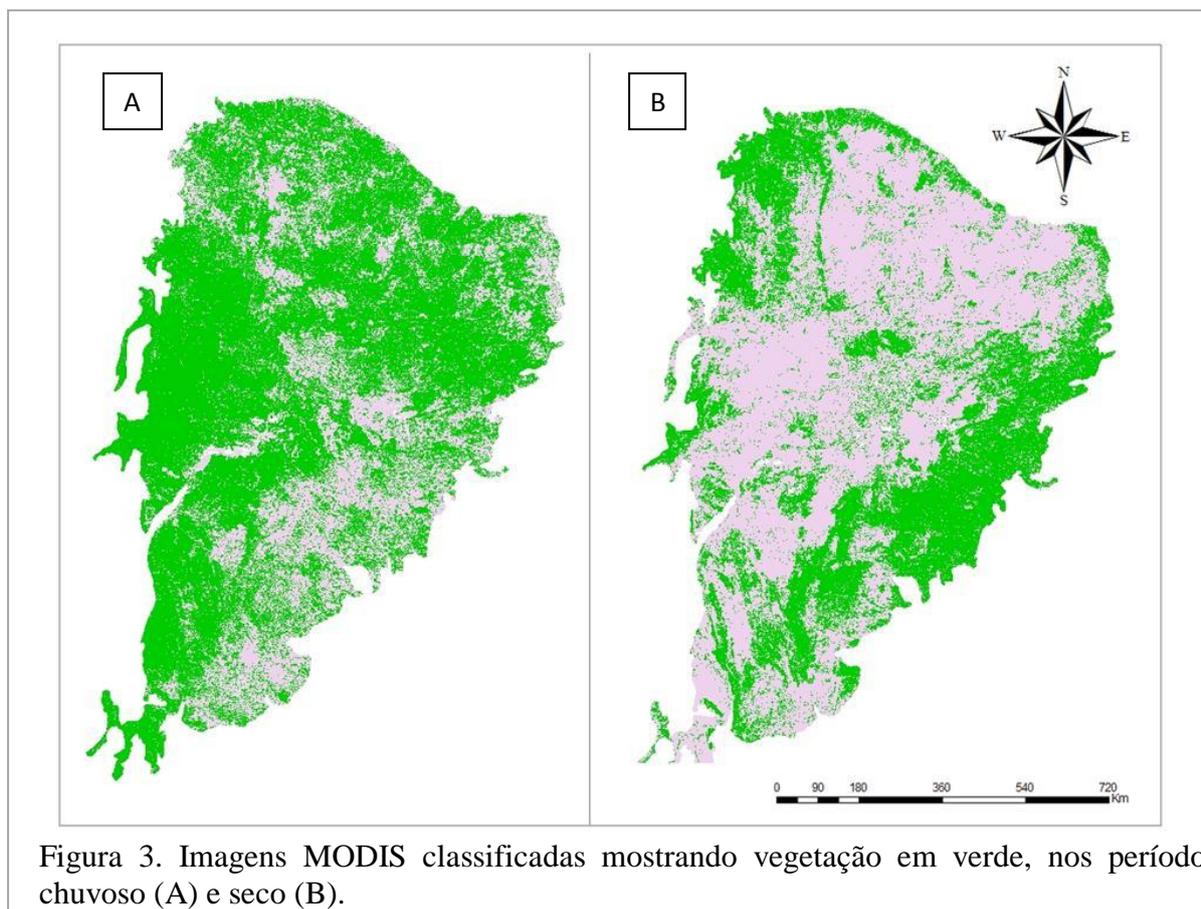


Figura 3. Imagens MODIS classificadas mostrando vegetação em verde, nos período chuvoso (A) e seco (B).

Outro ponto importante é o fato de a agricultura de subsistência provavelmente não ser visualizada nessa imagem, haja visto que os pequenos produtores dependem das chuvas para irrigar seu cultivo. Algumas áreas de caatinga mais úmidas mantêm parte da sua vegetação nativa mesmo na estação seca, como é o caso das áreas serranas, que podem ser identificadas a partir de um mapa de relevo em uma análise mais detalhada.

Além do relevo, o detalhamento do presente trabalho continuará com a análise da hidrografia, tipos de cobertura, uso e ocupação do solo, verdades de campo, imagens de satélites com uma resolução espacial maior. Pontos importantes serão introduzidos, como estudos recentes que trabalharam em escala mais local e identificaram alvos, mapas de Unidades de Conservação, pois através deles será possível obter a resposta espectral da vegetal que foi protegida e é nativa.

4. Conclusões

A realização desse trabalho é o ponto de partida para outros na Caatinga, região que ainda possui biodiversidade e processos ecológicos pouco conhecidos. Trabalhos com o uso de técnicas de sensoriamento remoto disponibilizam, de forma eficiente, informações importantes para implantação, manejo e monitoramento de unidades de conservação em um bioma genuinamente brasileiro e que possui um menor percentual de áreas protegidas. Os dados do sensor MODIS se mostraram eficazes para realização desse estudo, pois permitiu uma análise, em escala regional, da forte sazonalidade do bioma que influencia nas funções e processos ecológicos que precisam ser mais pesquisados.

Agradecimentos

À equipe do Laboratório de Agricultura e Floresta do INPE pela disponibilização das imagens do sensor MODIS mosaicadas, mesmo quando o sítio estava em manutenção, pela colaboração e todos os esclarecimentos que foram dados.

Referências Bibliográficas

Amorim, I. L.; Sampaio, E. V.S.B.; Araújo E. L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Bot. Bras.** São Paulo, v.19, n.3, p. 615-623, 2005.

Anderson, L. O.; Shimabukuro, Y. E. Classificação Espectro-Temporal de formações vegetais. . In: Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007, v.1 , p. 159-171.

Castelleti, C. H. M.; Silva, J. M. C. Tabarelli, M.; Santos, A. M. M. Quanto ainda resta da caatinga? Uma estimativa preliminar. In: SILVA, J.M.; TABARELLI, M.; FONSECA, M.T.; LINS, L.V. (Orgs.) **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Ministério do Meio Ambiente/Universidade Federal de Pernambuco, Brasília, 2004, p. 91-100.

Costa, R.C. & Araújo, F.S. Densidade, germinação e flora do banco de sementes no solo, no final da estação seca, em uma área de caatinga, Quixadá, CE. **Acta botânica basilica**, v. 17, n.2, p. 259-264, 2003.

Elmore, A. J.; Lobell, D. B.; Mustard, J. F.; Manning, S. J. Quantifying vegetation change in semiarid environments: Precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index. **Remote Sensing of Environment**, v. 73, p. 87-102, 2000.

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**, New York, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.

IBAMA; MMA. Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite – Monitoramento do Bioma caatinga 2002 a 2008. Centro de Sensoriamento Remoto – CSR/IBAMA, 2010. Disponível em: <http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/caatinga/relatrio_tcnico_caatinga_72.pdf>. Acesso em: 10 out 2010.

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**. Escala 1:5.000.000. 2004. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso em: 01 set 2010.

INPE/LAF – Laboratório de Agricultura e Floresta do INPE. Pedidos de imagens MODIS. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/laf/modis>>. Acesso em: 27 out 2010.

Jenerette, G. D.; Scott, R. L.; Huete, A. R. Funtional differences between Summer and winter season rain assessed with MODIS-derived phenology in a semi-arid region. **Journal of Vegetation Science**, v. 21, p. 16-30, 2010.

John, R.; Chen, J.; Lu, N.; Guo, K.; Liang, C.; Wei, Y.; Noormets, A.; Ma, K.; Han, X. Predicting plant diversity based on remote sensing products in the semiarid region of Inner Mongolia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 2018–2032, 2008.

Ishiyama, T; Nakajima, Y; Kajiwara, K; Tsuchiya, K. Extraction of vegetation cover in an arid area based on satellite data. **Adv. Space Res.**, v.19, n.19, p. 1375-1378, 1997.

Leal, I. R.; Silva, J. M.; Tabarelli, M.; Lacher Jr.; T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste do Brasil. In: **Conservação Internacional do Brasil** (ed.). Megadiversidade. Belo Horizonte, 2005. V. 1, p. 139-146. Disponível em: <http://www.conservacao.org/publicacoes/files/19_Leal_et_al.pdf>. Acesso em: 10 set 2010.

Oliveira, W. M.; Chaves, I. B.; Lima, E. R. V. Índices espectrais de vegetação de caatinga em um Neossolo Litólicos do semi-árido paraibano. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. **Anais**

XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. Artigos, p. 2103-2110. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.00.32/doc/2103-2110.pdf>>. Acesso em: 10 Nov 2010.

Silva, A. P. N.; Moura, G. B. A.; Giongo, P. R.; Silva, A. O. Dinâmica espaço-temporal da vegetação no semi-árido de Pernambuco. **Revista Caatinga**. Natal, v. 22, n. 4, p. 195-205, 2009.

Soares, J. V.; Batista, G. T.; Shimabukuro, Y. E. Histórico e descrição. In: Rudorff, B. F. T.; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. (Org.). **O sensor MODIS e suas aplicações no Brasil**. São José dos Campos: Editora Parêntese, 2007, v.1, p. 3-21.

SULSOFT PROCESSAMENTO DE DADOS. Guia do ENVI em português versão 4.5. Disponível em: <http://www.envi.com.br>. Acesso em: outubro 2010.