

ALGORITMO DE MAPEAMENTO ESPECTRAL DE CICATRIZES DE QUEIMADAS NA CAATINGA ATRAVÉS DE DADOS ORBITAIS MODIS E OLI

JOSÉ GALDINO DE OLIVEIRA JÚNIOR¹, JADIENE MOURA DOS SANTOS²,
LANDSON CARLOS DA SILVA³, PABRÍCIO MARCOS OLIVEIRA LOPES⁴,
GEBER BARBOSA DE ALBUQUERQUE MOURA⁵, CRISTINA RODRIGUES
NASCIMENTO⁶

¹ Engº Agrícola e Ambiental, Mestrando PGEA – DEAGRI / UFRPE, Recife – PE, (81) 3320-6276, dinojr95@gmail.com

² Graduanda em Engenharia Florestal, DCFL / UFRPE, Recife – PE

³ Graduando em Agronomia, DEPA / UFRPE, Recife – PE

⁴ Meteorologista e Físico, Profº Associado, DEPA / UFRPE, Recife – PE

⁵ Meteorologista, Profº Titular, DEPA / UFRPE, Recife – PE

⁶ Engª Agrônoma, Profª Adjunta, DEPA / UFRPE, Recife – PE

Apresentado no
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

RESUMO: A mesorregião do Sertão Pernambucano apresenta condições climáticas que afetam diretamente a produção agrícola, pois apresenta um clima quente, seco e com regime pluvial irregular. Em função dessas características, o bioma predominante da região, a Caatinga, torna-se mais vulnerável à ocorrência de queimadas. Com a premissa de mapear e monitorar a incidência de focos de calor nessa mesorregião durante o período de oito anos (2010 – 2017), este artigo teve como objetivo caracterizar o perfil de cicatrizes de queimadas e acompanhar o processo de regeneração natural da superfície vegetal ao longo do tempo. Baseando-se nos resultados originados pelos softwares “ENVI” e “WEKA” – através do processamento digital conjunto das imagens de satélite (produtos MCD64A1, MOD13A3 e LANDSAT 8/OLI), de dados de precipitação mensal local e de arquivos vetoriais dos focos de calor –, encontrou-se uma correlação de 0,792 entre estes dados indicando que as áreas susceptíveis ao fogo variaram numa faixa espectral de NDVI de 0,39 a 0,61. Quanto à validação desses dados encontrados, o mapeamento alcançou valores médios relevantes de eficácia de detecção (48,92%) e de erro de omissão local (51,08%) para as áreas de queima. Em relação à capacidade de regeneração vegetal, esta somente ocorreu em uma escala bimensal atrelada a uma precipitação crítica de 50,55 mm.

PALAVRAS-CHAVE: focos de calor, índices pluviométricos, sensoriamento remoto.

SPECTRAL MAPPING ALGORITHM FOR BURNING SCARS IN CAATINGA THROUGH MODIS AND OLI ORBITAL DATA

ABSTRACT: The Sertão Pernambucano mesoregion has climatic conditions that directly affect agricultural production, as it has a hot, dry climate with irregular rainfall. Due to these characteristics, the region's predominant biome, the Caatinga, becomes more vulnerable to burning. With the premise of mapping and monitoring the incidence of hot spots in this mesoregion during the period of eight years (2010 - 2017), this article aimed to characterize the profile of scars from burning and to accompany the process of natural regeneration of the plant surface along the over time. Based on the results originated by the “ENVI” and

“WEKA” software - through the joint digital processing of satellite images (MCD64A1, MOD13A3 and LANDSAT 8/OLI products), local monthly precipitation data and vector files of heat -, a correlation of 0.792 was found between these data indicating that the areas susceptible to fire varied in a spectral range of NDVI from 0.39 to 0.61. As for the validation of these data, the mapping reached relevant average values of detection efficiency (48.92%) and local omission error (51.08%) for the burning areas. Regarding the plant regeneration capacity, this only occurred on a bimonthly scale linked to a critical rainfall of 50.55 mm.

KEYWORDS: heat sources, rainfall indexes, remote sensing.

INTRODUÇÃO: A mesorregião do Sertão Pernambucano está inserida em uma região com predominância do bioma Caatinga. Este tipo de vegetação caracteriza-se por representar o clima Semiárido: quente, seco e de regime pluvial irregular. Devido a essas condições meteorológicas e climáticas, essa região torna-se mais suscetível à ocorrência de queimadas, principalmente, nos períodos anuais onde são observados os menores índices pluviométricos. Silva & Baptista e Sousa et al. (2015) relataram que através de ferramentas de geoprocessamento, como a mineração de dados e o Sensoriamento Remoto, é possível analisar diretamente o grau de degradação ambiental e os efeitos posteriores causados por queimadas. Pois, estes são capazes de fornecer informações espaço-temporais que possibilitam a caracterização dos efeitos ecológicos, climáticos e químicos da atmosfera gerados por tal evento (FERNANDES et al., 2016). Portanto, o objetivo do artigo foi identificar a área efetivamente afetada pelo fogo e acompanhar o processo de regeneração natural da superfície vegetal tomando como referência os padrões com que as cicatrizes das queimadas ocorreram no campo e a influência da precipitação local sob tal processo, a partir da análise espectral de dados orbitais de baixa e alta resolução geométrica simultaneamente.

MATERIAL E MÉTODOS: A mesorregião do Sertão Pernambucano encontra-se localizada entre as coordenadas geográficas 37°42'30" O a 40°43'30" O e 7°32'30" S a 9°3'0" S, onde representa aproximadamente 39% da área total do estado (38.477 km²), com uma população estimada de 1.039.733 de habitantes.

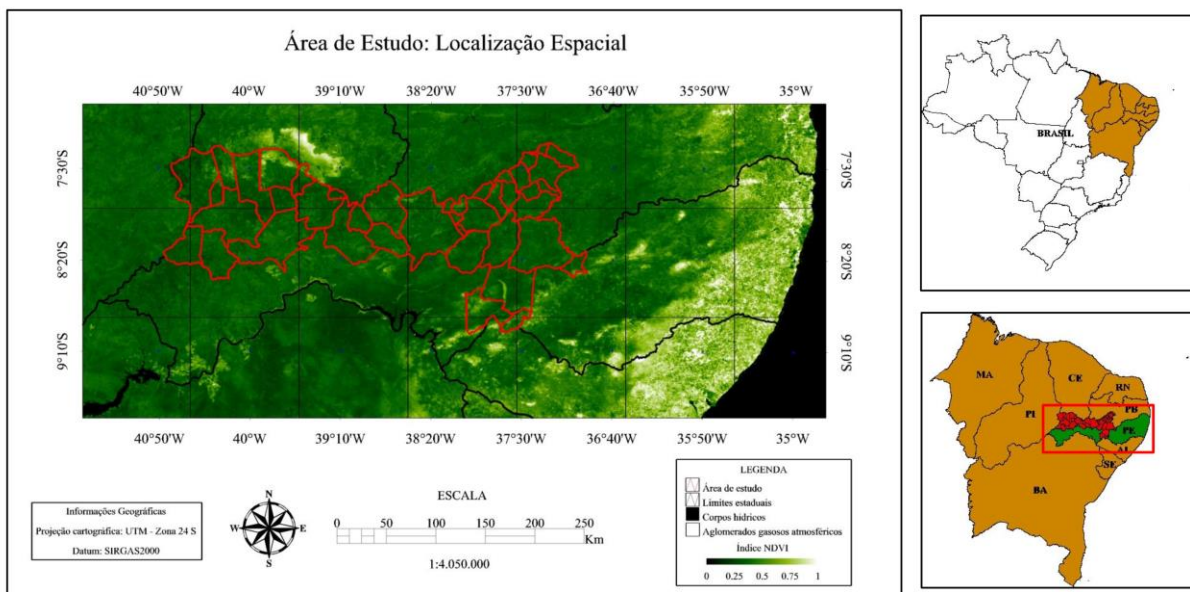


FIGURA 1. Localização Espacial da mesorregião do Sertão Pernambucano em uma imagem MOD13A3 do mês de outubro de 2012.

Para a identificação do período mensal mais seco do ano (aquele que apresentaria um maior potencial para eventos de queimadas), foram utilizados dados de precipitação mensal da série temporal de 2010 a 2017, de dez municípios distribuídos espacialmente na mesorregião do Sertão Pernambucano. Após essa classificação climatológica, foram utilizados os seguintes dados para a análise e monitoramento das áreas de queimadas: Imagens do produto MCD64A1 (GIGLIO et al., 2018); Arquivos vetoriais relacionados à ocorrência de focos de calor disponibilizados pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE); Imagens do produto MOD13A3 (DIDAN et al., 2015); e Imagens LANDSAT 8/OLI (SCHROEDER et al., 2016; ZHU et al., 2017; GIGLIO et al., 2018). As imagens referentes aos meses mais secos da série temporal estudada foram analisadas levando-se em consideração os seguintes parâmetros: Quantidade mensal de focos de calor e de área queimada, menor presença de nuvens e o comportamento da vegetação antes, durante e após a ocorrência do fogo mensalmente. O processamento digital das imagens de satélite e dos arquivos vetoriais foi realizado no software *ENVI (Environment for Visualizing Images)* – versão 4.2. Para caracterização espectral das áreas susceptíveis à queima, foi utilizado o algoritmo de classificação “REPTree” (lotado dentro do software de mineração de dados – *Waikato Environment for Knowledge Analysis* – versão 3.9.2) na busca de padrões nos pixels correspondentes às áreas de queima considerando as informações do índice NDVI e da precipitação ocorrida no local (SOUSA et al., 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Baseando-se na metodologia proposta por Xavier & Xavier (1999), foi executada a técnica de *Quantis* numa série de dados de 30 anos (1985 – 2015) de valores médios de precipitação anual observados em três municípios (Arcoverde, Ouricuri e Triunfo) para, posteriormente, aplicá-la nos dados apresentados na Tabela 1. Esses valores foram divididos em períodos “SECOS” (aqueles em que os totais de precipitação foram menores ou iguais a frequência acumulada de ocorrência de 25% - intervalo de valores inferiores ou iguais a 543,3 mm), “NORMAIS” (com probabilidade maior que 25% e inferior a 75% - superiores a 543,3 mm e inferiores a 855,4 mm), e “CHUVOSOS” (com probabilidade igual ou maior que 75% - iguais ou superiores a 855,4 mm).

TABELA 1. Classificação a partir da técnica de *Quantis* da série temporal de 2010 a 2017.

Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PMA (mm)	1031,8	1007,2	327,2	641,1	668,1	593,7	434,7	430,3
Classe	C	C	S	N	N	N	S	S

*Onde: PMA – Precipitação Média Anual, “C” – Ano chuvoso, “N” – Ano normal, “S” – Ano seco.

Delimitações probabilísticas de valores semelhantes aos presentes na Tabela 1, foram encontrados também por Monteiro et al. (2012) quando analisaram durante o mesmo intervalo de tempo (30 anos – 1980 a 2009), a região do baixo curso do Rio Apodi localizado no município de Mossoró/RN, também com clima semiárido. Após essa análise climática, foi avaliada a associação dos pontos de calor (vetores) com a área queimada nas imagens MCD64A1. A Figura 2 apresenta a imagem MCD64A1 do mês de novembro de 2011, onde em destaque pode-se notar os pixels que representam potencial de pertencerem a uma área queimada no campo (em branco), se coincidirem com a posição dos focos de calor (em vermelho).

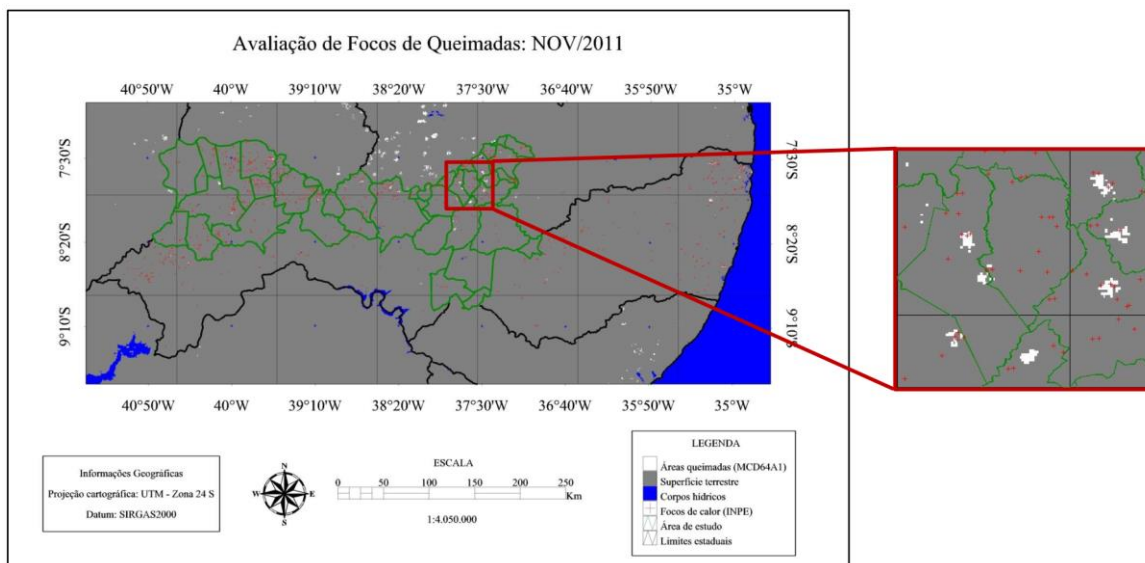


FIGURA 2. Imagem MCD64A1 do mês de novembro de 2011, apresentando em branco (áreas com potencial de pertencerem a áreas de queimadas), e em vermelho (focos de calor ocorridos no mês de novembro de 2011).

Objetivou-se utilizar os vetores dos meses que apresentaram maior incidência de focos de calor, afim de que fossem alcançadas com facilidade maiores áreas de queimadas, propiciando assim, uma melhor análise dos índices de NDVI através das imagens MOD13A3. A Figura 3 apresenta a relação de capacidade de regeneração da vegetação afetada pelo fogo ligada à influência da precipitação ocorrida no local e ao ano de ocorrência desses focos de calor, gerada a partir do processamento digital dos dados orbitais desse produto MODIS relacionados a essas áreas afetadas pelo fogo:

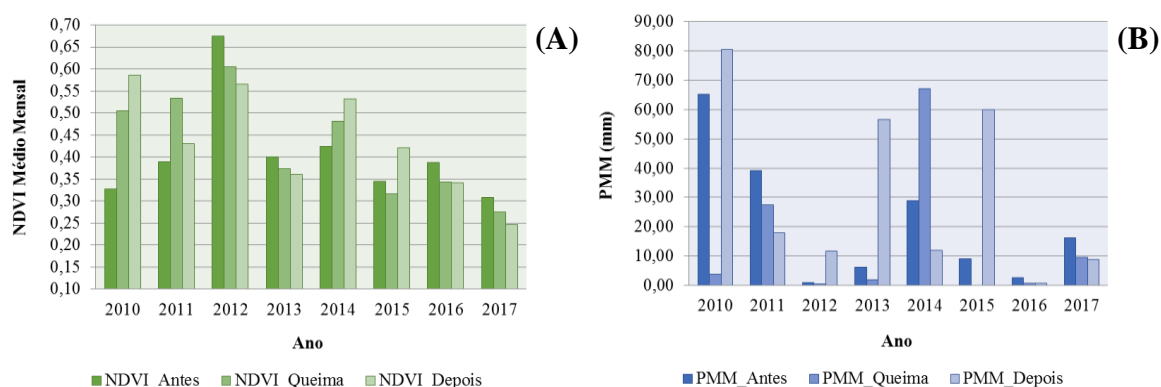


FIGURA 3. Análise dos Índices médios mensais NDVI (A) e pluviométrico (B) para os municípios analisados antes, durante e após a ocorrência dos focos de calor. Onde PMM – Precipitação Média Mensal (mm).

De acordo com a Figura 3, somente o ano chuvoso de 2010 e os anos normais (2014 e 2015) exibiram um comportamento espectral de expressiva progressão no índice NDVI após o processo de queima, devido à precipitação considerável ocorrida no local. Dito isso, foi observado que a precipitação é um fator importante que é capaz de influenciar diretamente, em uma escala bimensal, no processo de regeneração da vegetação na área analisada pelo estudo (PINHEIRO et al., 2017). Através da análise desses dados no software *WEKA*, foi

diagnosticada uma correlação de (0,792) através do cruzamento dos dados do índice NDVI de queima com o índice posterior a ela e o processo de regeneração vegetal. Os valores encontrados no índice NDVI desses pixels pertencentes às áreas de queimadas variaram entre 0,39 e 0,61. Lourenço et al. (2017) classificaram áreas de Caatinga natural através de imagens LANDSAT 5/TM e observaram valores que variaram de 0,13 a 0,67. Tal estudo comprovou que o produto MOD13A3 pode ter superestimado alguns valores de NDVI dentro da série temporal analisada nesse estudo, devido a sua limitação quanto à resolução geométrica (1 km). Em contra partida, foi possível identificar que essas áreas só terão a capacidade de regeneração ao longo do tempo se estiverem em uma faixa de valores entre 0,39 e 0,45, pois, acima disso, o índice NDVI apresentou uma regressão espectral após a queimada (Figura 4A). Em relação ao processo de recuperação e/ou regeneração natural da vegetação local após o evento de queimada (Figura 4B), foi expressa uma correlação expressiva com a precipitação após o evento de queimada ($C = 0,8797$), indicando que a regeneração dessas áreas somente ocorrerá se um valor mínimo de NDVI de 0,41 e a precipitação crítica de 50,55 mm forem alcançados no local.

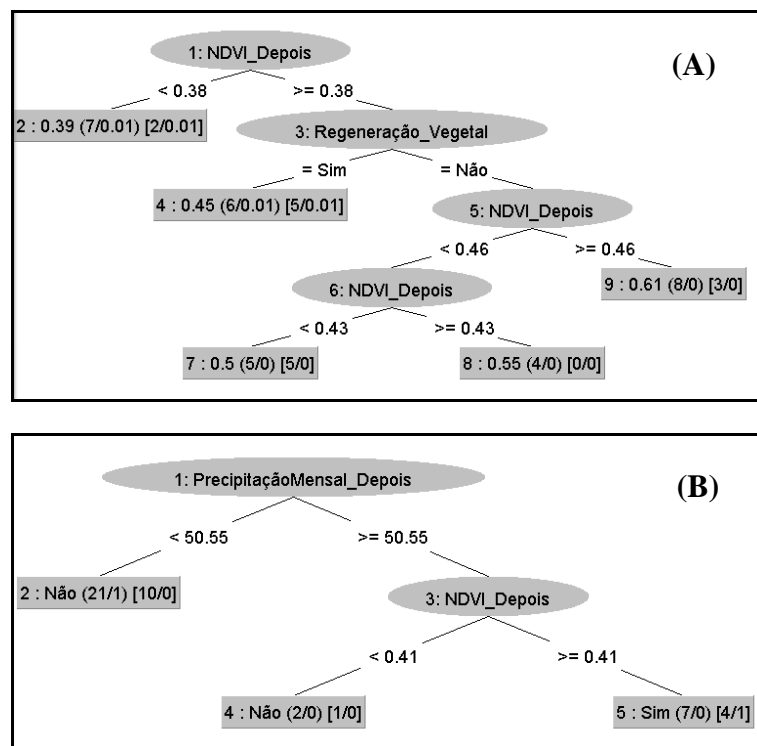


FIGURA 4. Árvores de Decisão: Análises do índice NDVI mensal de queima e da capacidade de regeneração vegetal (itens A e B, respectivamente).

A Figura 5 expressa a fase da validação desse mapeamento das áreas queimadas que se refere ao comparativo quanto à eficiência espacial apresentada pelo algoritmo MODIS em relação às imagens de referência LANDSAT 8/OLI em quatro anos específicos: 2013, 2015, 2016 e 2017 (municípios de Inajá, Triunfo, Flores e Itapetim, respectivamente). Estes anos foram escolhidos entre os demais, devido às limitações temporais (escassez de imagens no banco de dados de origem) e visuais (alta presença de nuvens e ruídos) encontradas em alguns dados orbitais durante o estudo.

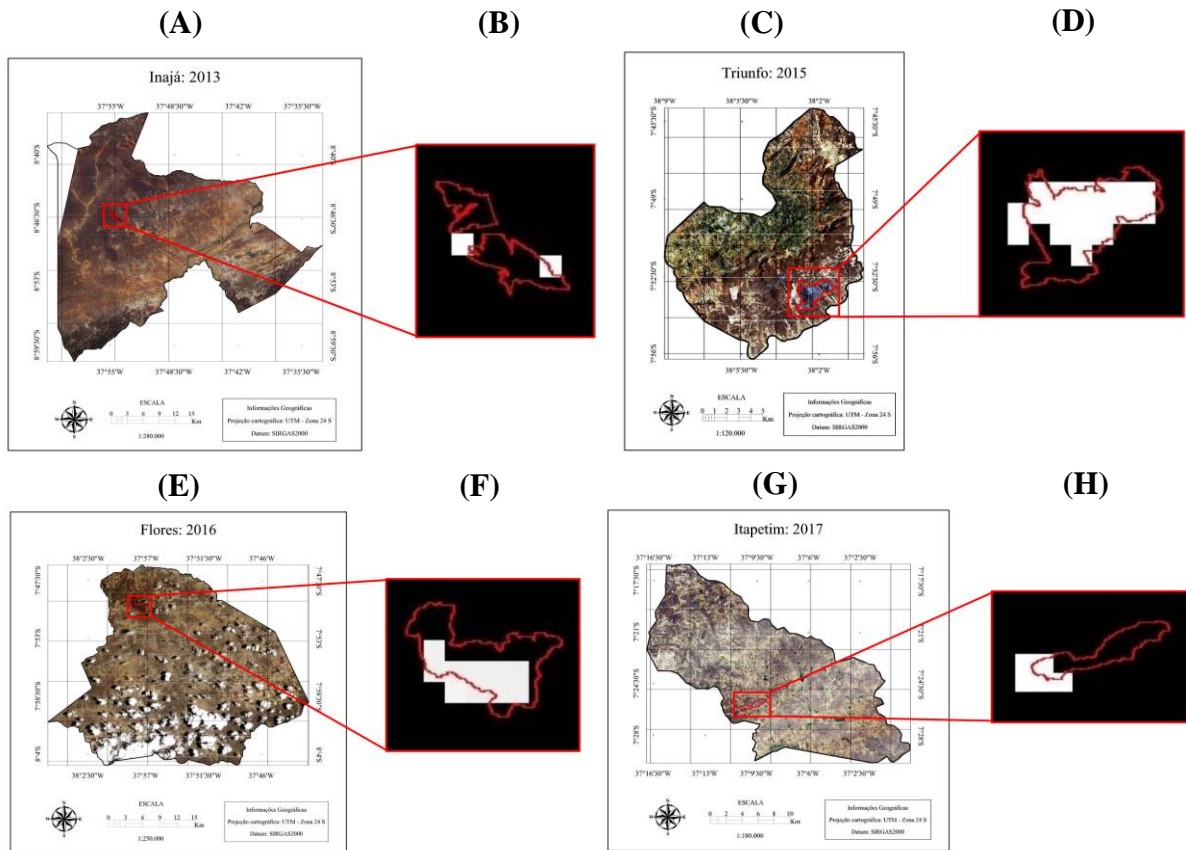


FIGURA 5. Representação espacial das áreas queimadas para os municípios de Inajá (2013), Triunfo (2015), Flores (2016), e Itapetim (2017): Comparação em relação à resolução geométrica das imagens LANDSAT 8/OLI (itens A, C, E e G) e MODIS (itens B, D, F e H).

Através desses dados, foi possível perceber que o produto MCD64A1 apresentou maior precisão espacial à medida que as áreas de queima aumentaram de dimensão territorial (RUIZ et al., 2014; RAMO & CHUVIECO, 2017). Fato este, que é justificado na Tabela 2, onde os altos erros de omissão local (79,99% e 75%) somente se sucederam no município de Inajá no ano de 2013, pois, pôde-se perceber que este produto MODIS não é capaz de identificar com exatidão a progressão espaço-temporal de queimadas que apresentem dimensão territorial aproximadamente inferior a sua resolução espacial: 21,5 ha (ZHU et al., 2017; GIGLIO et al., 2018). Nos demais casos, essa situação se inverteu consideravelmente.

TABELA 2. Eficácia de detecção de áreas queimadas pelo algoritmo gerado através das imagens MCD64A1 em comparação às imagens LANDSAT 8/OLI.

Município	AQ (MODIS)	AQ (LANDSAT)	DO (Focos de calor / INPE)	DFD (MODIS)	DO (LANDSAT 8 / OLI)	ED	EOL
	(ha)	(ha)		(Dias)		(%)	(%)
Inajá	21,5	107,3	19/11/2013	4	10/12/2013	20,01	79,99
Inajá	21,5	85,9	24/11/2013	2	10/12/2013	25,00	75,00
Triunfo	386,4	493,7	30/11/2015	-	07/12/2015	78,26	21,74
Flores	214,7	364,9	11/10/2016	1	22/10/2016	58,83	41,17
Itapetim	107,3	171,7	01/11/2017	-	19/11/2017	62,51	37,49

*Onde: AQ – Área Queimada, ha – Hectares, DO – Data de Obtenção, DFD – Defasagem de dias, ED – Eficácia de Detecção, EOL – Erro de Omissão Local.

CONCLUSÕES: O algoritmo gerado foi capaz de caracterizar o comportamento da vegetação em eventos de queimada para a área em estudo, com eficácia de detecção de 48,92% e erro de omissão local de 51,08% (ambos, valores médios). Foi observado também que a influência da precipitação só ocorre com um intervalo superior a um ou dois meses e que o produto MOD13A3 demonstrou uma pequena limitação operacional quanto à análise espectral das áreas de queima, provavelmente devido a sua baixa resolução espacial e ao fato de que cerca de 80% dos dados obtidos nesse estudo terem sido de anos chuvosos, tornando assim a presença de nuvens mais evidente. Esse percentual elevado também revelou que a influência antrópica atuou diretamente na geração de tal processo de degradação ambiental.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem à UFRPE e ao CNPq (Processo 148852/2018-1) pelos incentivos à pesquisa que viabilizaram a execução desse trabalho.

REFERÊNCIAS:

DIDAN, K.; MUNOZ, A. B.; SOLANO, R.; HUETE, A. **MODIS vegetation index user's guide (MOD13 Series)**. Versão 3. 2015. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/public/product_documentation/mod13_user_guide.pdf>. Acesso em: 06 Nov. 2018.

FERNANDES, A. C. G.; COUTINHO, M. A. N.; SANTOS, V. G.; NASCIMENTO, C. R. Utilização de intervalos de índices de vegetação e temperatura da superfície para detecção de queimadas. **Caderno de Ciências Agrárias**, Montes Claros – MG, v. 8, n. 2, p. 30-40, 2016.

GIGLIO, L.; BOSCHETTI, L.; ROY, D. P.; HUMBER, M. L.; JUSTICE, C. O. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product. **Remote Sensing of Environment**, v. 217, p. 72-85, 2018.

LOURENÇO, V. R.; RAMOS, N. N. L. A.; COSTA, C. A. G. Distribuição espaço-temporal do NDVI sob condições de caatinga preservada. **Revista Espaço Aberto**, Rio de Janeiro, v. 6, n. 2, p. 101-110, 2017.

MONTEIRO, J. B.; ROCHA, A. B.; ZANELLA, M. E. Técnica dos Quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980-2009): Baixo curso do Apodi – Mossoró/RN. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 23, p. 232-249, 2012.

PINHEIRO, K.; ALVES, E.; MELO, J. G.; ALVES, E.; GALVÍNCIO, J. Avaliação da sazonalidade através do NDVI na Caatinga. In: NÓBREGA R. S. et al. (Org.). **Reflexões sobre o semiárido**: Obra do encontro do pensamento geográfico [livro eletrônico]. 1. ed. Ananindeua: Itacaiúnas, 2017. Cap. 18, p. 142-148.

RAMO, R.; CHUVIECO, E. Developing a Random Forest algorithm for MODIS global burned area classification. **Remote Sensing**, v. 9, p. 1193-1220, 2017.

RUIZ, J. A. M.; LÁZARO, J. R. G.; CANO, I. A.; LEAL, P. H. Burned area mapping in the North American Boreal Forest using Terra-MODIS LTDR (2001–2011): A comparison with

the MCD45A1, MCD64A1 and BA GEOLAND-2 products. **Remote Sensing**, v. 6, p. 815-840, 2014.

SCHROEDER, W.; OLIVA, P.; GIGLIO, L.; QUAYLE, B.; LORENZ, E.; MORELLI, F. Active fire detection using Landsat-8/OLI data. **Remote Sensing of Environment**, v. 185, p. 210-220, 2016.

SILVA, S. L.; BAPTISTA, G. M. M. Análise do grau de severidade de áreas queimadas na Estação Ecológica de Águas Emendadas por meio de dados do Landsat 8. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 2, p. 431-438, jul. 2015.

SOUSA, G. M.; FERNANDES, M. C.; COSTA, G. A. O. P. da. Classificação da susceptibilidade à ocorrência de incêndios através de mineração de dados e GEOBIA. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 67, n.3, p. 555-567, maio/jun. 2015.

XAVIER, T. M. B. S.; XAVIER, A. F. S. Caracterização de períodos secos ou excessivamente chuvosos no estado do Ceará através da técnica dos quantis: 1964-1998. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos – SP, v. 14, n. 2, p. 63-78, dez. 1999.

ZHU, C.; KOBAYASHI, H.; KANAYA, Y.; SAITO, M. Size-dependent validation of MODIS MCD64A1 burned área over six vegetation types in boreal Eurasia: Large underestimation in croplands. **Scientific Reports**, v. 7, p. 4181-4190, 2017.