

# UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE TENDÊNCIA À OCORRÊNCIA DE FOCOS DE CALOR NA DEFINIÇÃO DE ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA O MONITORAMENTO E COMBATE À INCÊNDIOS NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DIAMANTINA- BAHIA

Cândida Caroline Souza de Santana Leite,<sup>1,2</sup> Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha<sup>1</sup>, Liana Oighenstein Anderson<sup>2</sup>, Leonardo Bacelar Lima Santos<sup>2</sup>, Sarah Moura Batista dos Santos<sup>3</sup>, Roger Torlay<sup>4</sup> and Soltan Galano-Duverger<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana-Ba, candidaleite.geo@gmail.com e wrocha@uefs.br; <sup>2</sup>Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais, São José dos Campos-SP, liana.anderson@cemaden.gov.br e santoslbl@gmail.com; <sup>3</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Salvador - BA, saamoura@gmail.com, <sup>4</sup> Prefeitura Municipal de Ilhabela - SP, rogetorlay@gmail.com; <sup>5</sup>Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, solkan1201@gmail.com

## ABSTRACT

A region with many incidents of forest fires, the Chapada Diamantina National Park needs criteria for management in order to mitigate these fires in the area. We present here the identification of areas with increasing trends of fires based on remote sensing data and cloud processing by the Google Earth Engine platform. The trend values were grouped into 6 classes and the results show that more than 50% of the occurrences are located in the attention zone. The maximum class alert is observed in the southern portion of the region, known as Gerais do Machobongo, with 48% of the hot spots identified in this class. The results and discussions presented here can contribute to the decision making in the prioritization of monitoring areas, as well as direct critical areas to study the impacts on the fauna and flora of the affected sites.

**Key words** — Burned; Forest fires; Trends; Identification of priority areas; Caatinga.

## 1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais são causa de impactos frequentes à diversos ecossistemas e tendem a ocorrer desde pequenas chamas, que podem ser controladas rapidamente, até episódios de grandes proporções com perdas de espécies da fauna e flora, além da contaminação do ar atmosférico (FRANCA-ROCHA et al., 2017; ARAGÃO et al., 2018).

O Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD) tem sido historicamente assolado por incêndios devastadores, os quais são atestados por estudos como os de Gonçalves et al. (2011), Silva, Rocha e Ângelo (2013) e Santos et al. (2017).

Esta Unidade de conservação (UC) está entre as UCs que apresentam as maiores quantidades de focos de incêndio do país, podendo ocasionar perdas da diversidade vegetal por conta da alta frequência desses episódios em alguns pontos do Parque (IBAMA, 2008; NEVES e CONCEIÇÃO, 2010).

Ao trabalhar com o tema nesta área de estudo Gondim (2013) aplicou a metodologia de processo hierárquico análico, semelhante aos trabalhos de Chuvieco e Congalton (1989) e Chuvieco et al. (2010), a partir da junção de variáveis que influenciam o comportamento do fogo no PNCD, elaborando modelos para os anos de 2007 a 2011.

Além disso, este autor, ao mapear as áreas de risco à ocorrência de incêndios no PNCD constatou que estas apresentam constante risco de queima, ressaltando a necessidade de monitoramento permanente.

Dentro dessa perspectiva, Anderson et al. (2017) calcularam a tendência de focos de calor para o Estado do Acre a fim de, juntamente com outros fatores, auxiliar a Sala de Situação local a identificar as áreas prioritárias para monitoramento.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a tendência da ocorrência de focos de calor no PNCD. Assume-se aqui que estes focos são *proxy* para a ocorrência de queimadas e incêndios florestais. Especificamente, busca-se aqui quantificar a tendência da ocorrência dos focos ao longo dos anos e identificar áreas prioritárias. A geração destas informações espacialmente explícitas pode auxiliar na tomada de decisões com relação ao monitoramento, combate e a prevenção de queimadas e incêndios florestais.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área de estudo

O Parque Nacional da Chapada Diamantina (Figura 1) compreende uma área de aproximadamente 152 mil hectares, localizada na porção central do Estado da Bahia, ao longo da Serra do Sincorá, abrangendo os municípios de Lençóis, Palmeiras, Andaraí, Ibicoara, Itaetê e Mucugê, sendo que esta última compreende 47,6% da área deste.

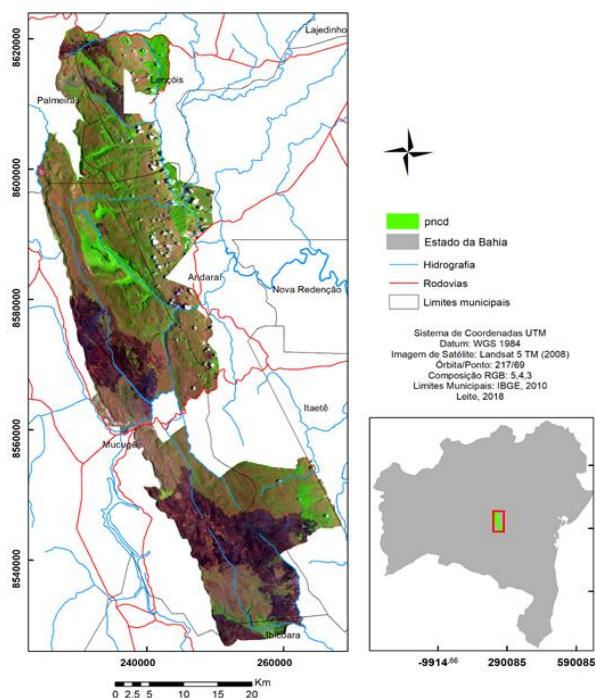


Figura 1. Mapa de localização do Parque Nacional da Chapada Diamantina-Bahia.

## 2.2 Procedimentos metodológicos

Para este estudo, utilizou-se um conjunto de dados de focos de calor correspondentes a uma série temporal de 19 anos entre 1998 a 2017, de modo que o ano de 2006 foi excluído, pois não foram detectados focos neste ano. Os dados foram adquiridos através do programa “Queimadas” do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (<http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>).

As informações contidas nesses focos são oriundas de sensores orbitais a bordo dos satélites NOAA, com passagens diárias, e se baseiam em pontos que contém coordenadas geográficas, data de observação, tipo de satélite, bioma e município (LEITE et al., 2017).

Primeiro, foi realizada uma análise visual das detecções de focos de incêndios por toda a área do Parque e, em seguida, realizou-se o cálculo das tendências de ocorrência destes para o período definido.

A metodologia utilizada aqui seguiu a proposta por Anderson et al. (2017) e neste trabalho foi adaptada para o processamento em nuvem na plataforma *Google Earth Engine* (GEE). A GEE é capaz de medir e monitorar mudanças no ambiente terrestre em escala planetária a partir de um amplo catálogo de dados de observação, possibilitando o usuário executar algoritmos e outros comandos baseados em linguagem Java Script API. Este dispositivo proporciona ao usuário agilidade no processamento, na medida em que utiliza os servidores da Google como suporte (MOORE e HANSEN, 2011).

A princípio, foi feito o *upload* dos dados vetoriais de focos de calor e do recorte da área de estudo para o ambiente do GEE. Em seguida, utilizou-se uma imagem NOAA atual com o intuito de gerar uma grade regular para ser utilizada como base para a resolução dos pixels dos focos.

O cálculo da tendência ( $t$ ) da ocorrência dos focos de calor se dá através da razão entre o ângulo de inclinação da reta ( $b$ ) da regressão linear e o seu respectivo erro padrão (EP), como representa a equação 1, abaixo:

$$(1) \quad t = \frac{b}{EP}$$

De modo que, o ângulo de inclinação da reta ( $b$ ) da regressão linear é calculado a partir da equação 2, onde:

$$(2) \quad b = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{(x-\bar{x})^2}$$

Sendo que  $x$  equivale ao ano específico,  $\bar{x}$  é a média de todos os anos,  $y$ , por sua vez, é quantidade de focos observada e  $\bar{y}$  é a média destes por todos os anos.

O Erro Padrão é dado pela equação 3, de modo que:

$$(3) \quad EP = \frac{\sqrt{\sum(y-\hat{y})^2/n-2}}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2}}$$

onde  $y$  equivale a quantidade de focos do ano estudado,  $\hat{y}$  é o valor estimado deste ano, dado pela equação 4.

$$(4) \quad \hat{y} = bx + a$$

Sendo que,  $a = \bar{y} - b\bar{x}$ .

As fórmulas foram aplicadas nas imagens de focos e, após verificação dos resultados foi realizado o fatiamento da imagem, a partir da ferramenta *Density slice* no software Envi 4.8, para separar os valores de tendência, os quais foram divididos em função da tendência de ocorrência de focos de calor, apresentados na tabela 1.

Posterior a delimitação das classes foi realizado um buffer de 600 m ao redor dos focos para uma melhor visualização no mapa. Em seguida, elaborou-se o mapa de tendência à ocorrência de focos de calor para o PNCD, com o auxílio do software ArcGis 10.3., em função do histórico de focos de queimadas e/ou incêndios florestais detectados entre os anos de 1998 e 2017.

**Tabela 1.** Fatiamento das classes de ameaça de incêndio, baseado na tendência à ocorrência de focos de calor na UC.

Classes de ameaça	Índice da tendência
1- Sem ameaça	0,0000 ; 0,0000
2- Muito Baixa	-0,0306 ; -0,0150
3-Baixa	-0,0150 ; 0,0000
4- Zona de atenção	0,0001 ; 0,0310
5- Alerta	0,0310 ; 0,0620
6- Alerta máximo	0,0620 ; 0,0932

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do cálculo de tendência à ocorrência de focos de calor, é possível visualizar as áreas com tendências positivas e negativas destes eventos. Aqui sugere-se que as áreas que possuem uma tendência positiva na ocorrência desses focos são áreas que apresentam maior probabilidade de ter novas ocorrências nos anos subsequentes. Por outro lado, as áreas sem tendência ou com tendências negativas apresentam menor probabilidade de ocorrência de incêndios florestais nos anos seguintes.

Dessa forma, o mapa de tendência à ocorrência de queimadas e/ou de incêndios para o PNCD (Figura 2) apresenta 6 classes. Os locais com índices de tendência mais altos foram classificados como de alerta máximo e, opostamente, as áreas onde os índices foram negativos, foram classificadas como baixa e muito baixa probabilidade de incêndios nos anos subsequentes.

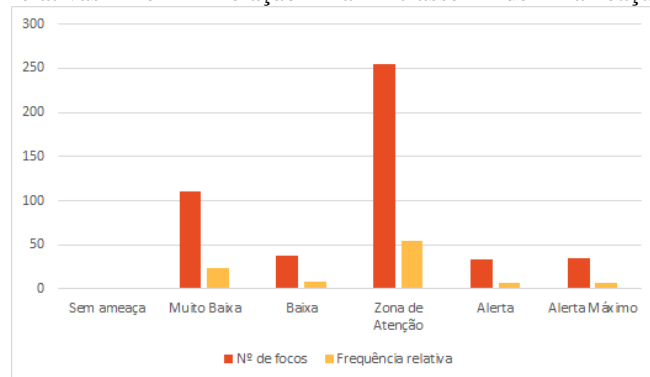
Na figura 2, observa-se que a classe Zona de atenção apresenta a maior quantidade de ocorrências de focos de calor, tendo sido detectados no total 255 focos dispersos por toda a UC. Estes locais apresentam índice de tendência entre 0,0001 e 0,0310, sugerindo que na maior parte do Parque há uma probabilidade moderada para reincidência de episódios de incêndios florestais e queimadas.

Por outro lado, a classe Alerta máximo é observada com uma distribuição pontual, como na porção sul da região, conhecida como Gerais do Machobongo, na qual foi verificado 48% dos focos de queimadas desta classe.

A classe de muito baixa ameaça também se destaca no mapa apresentado, uma vez que esta apresenta grande quantidade de focos de calor, indicando uma redução na frequência de incêndios em muitos locais, em especial nas porções central e norte da área de estudo.

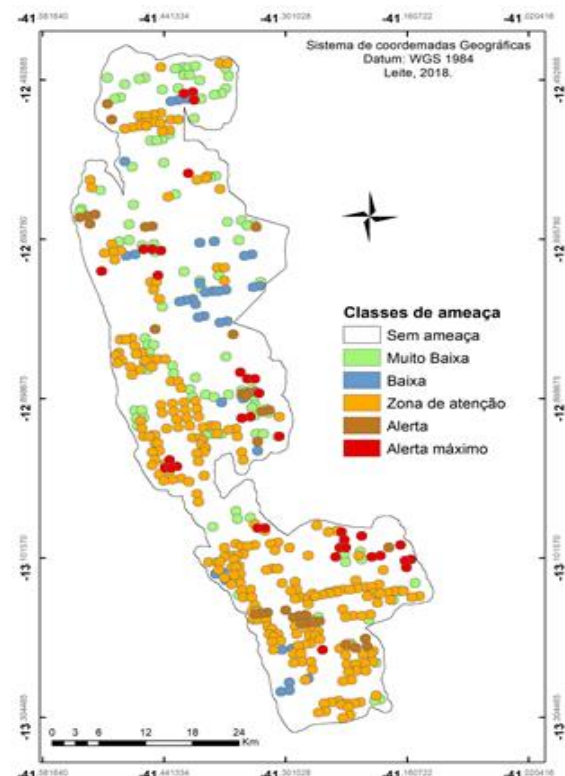
Para uma melhor análise da quantidade dos focos de calor distribuídos nas diferentes classes do índice de tendência, o gráfico 1 apresenta as classes de ameaça e seus respectivos acumulados de focos identificados pelo satélite NOAA.

**Gráfico 1.** Quantidade de focos de calor e as frequências relativas em relação a classe de ameaça.



Ao analisar a figura 2 e o gráfico 1, observa-se que a tendência à ocorrência de focos de calor não está

necessariamente relacionada a quantidade de focos na área de estudo.



**Figura 2.** Mapa de tendência à ocorrência de queimadas e incêndios florestais para o PNCD, em função da detecção de focos de calor analisada entre os anos de 1998 e 2017.

Porquanto, na classe Zona de atenção, onde ocorre o maior número de focos, não é verificada o índice de tendência mais alto, ressaltando a importância de análises temporais como as apresentadas neste trabalho.

Esta correlação é particularmente importante em estudos de impactos do fogo à vegetação, visto que, mesmo que algumas espécies se beneficiem com a ocorrência destes eventos (SCHIMIDT, 2005), a capacidade de rebrota e a densidade arbórea de determinados tipos de plantas são diretamente prejudicados (SILVA et al., 2011).

Gonçalves et al. (2011), de maneira diferente a este trabalho, avaliou a recorrência dos incêndios em áreas do PNCD através da identificação de cicatrizes de incêndios, no intervalo entre os anos de 1985 e 2010, constatando que mais de 50% da extensão do Parque foi atingida em até quatro vezes por esses eventos.

No mapa de tendência à ocorrência de queimadas e/ou incêndios florestais deste estudo não é possível perceber a quantidade de reincidências de focos que um determinado local obteve, no entanto, mas isso não prejudica a percepção de recorrência, uma vez que, as classes de ameaça foram definidas com base no índice de tendência levando em conta o aumento ou redução das incidências de focos no local.

Por outro lado, os modelos de risco elaborados por Gondim (2013), embora tenham sido produzidos a partir de uma metodologia diferente, demonstram grande relação com

as áreas de muito baixa, baixa e zona de atenção aqui definidas.

Fonseca et al. (2016) também utilizou produtos de sensores orbitais para compor um modelo de simulação de ocorrência do fogo, tendo como escala de pesquisa a Amazônia brasileira, utilizando o método de máxima entropia (MaxEnt), de forma que seus resultados mostram que o modelo foi capaz de detectar a variação de focos de calor identificados por satélite ao longo das temporadas de incêndios, compondo um relevante resultado no âmbito da modelagem, assim como a metodologia aplicada neste artigo.

Anderson et al. (2017) por sua vez, ao caracterizar o risco de incêndio florestal no Estado do Acre, também propôs um modelo baseado na análise da tendência à ocorrência de focos de calor, no qual a classe de Atenção 1, equivalente à classe de Zona de alerta aqui proposta, se apresentou maior abrangência, tal como este.

## 5. CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida nesta pesquisa se mostrou bastante eficaz na identificação das classes de ameaça, através do índice de tendência, além de uma forma promissora de auxiliar na tomada de decisões, na medida que foi capaz de verificar com clareza o objetivo proposto.

Ademais, os procedimentos aplicados também apresentaram utilidade em avaliar a recorrência do fogo, etapa crucial na tomada de decisões para áreas prioritárias de monitoramento, bem como auxiliadora no direcionamento estudos de impactos sobre a fauna e a flora das áreas afetadas.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todos que de alguma forma colaboraram para o desenvolvimento desta pesquisa, em especial, a bolsa de iniciação científica cedida ao Cemaden pelo CNPq (processo nº 158703/2018-9). L.O.A. e L.B.L.S também agradecem, respectivamente, ao CNPq pela bolsa de produtividade, processo número 309247/2016-0 e a FAPESP pela bolsa de produtividade, Processo #2015/50122-0 e DFG-IRTG-1740/2.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] Franca-Rocha, W. J. S.; Santos, S. M. B.; Gonçalves, A. J. B.; Ferreira-Leite, F.. Are There Mega Fires in Brazilian Savannas? The National Park of Chapada Diamantina Case (Bahia, Brazil). In: Antônio José Bento Gonçalves; Antônio Avelino Batista Vieira; Maria Rosário Melo Costa; José Tadeu Marques Aranha. (Org.). *Wildfires: Perspectives, Issues and Challenges of the 21st Century*. Ied. Hauppauge, NY: Nova Science Publishers, Inc., 2017, v. 1, p. 1-26.
- [2] Aragão, I.E.O.C.; Anderson, L.O.; Fonseca, M.G.; Rosan, T.M.; Vedovato, L.; Wagner, F.; Silva, C.; Junior, C.; Arai, E.; Aguiar, A.P.; Barlow, J.; Berenguer, E.; Deeter, M.; Domingues, L.; Gatti, L.; Gloor, M.; Malhi, Y.; Marengo, J.; Miller, J.; Phillips, O.; Saatchi, S. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, 9, (536), doi:10.1038/s41467-017-02771-y. 2018.
- [3] Gonçalves, C. N., Mesquita, F. W., Lima, N. R. G., Coslope, L. A., & Lintomen, B. S. (2011). Recorrência dos incêndios e fitossociologia da vegetação em áreas com diferentes regimes de queima no Parque Nacional da Chapada Diamantina. *Biodiversidade Brasileira*, (2), 161-179.
- [4] Silva, T. B., Franca-Rocha, W. J. S., & Angelo, M. F. (2013). Quantificação e análise espacial dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina-BA. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil*, 13, 6969-6976.
- [5] Santos, S. M. B., Bento-Gonçalves, A. J., & de Mello Baptista, G. M. (2017). QUANTIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS FOCOS DE CALOR NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DIAMANTINA E ENTORNO NO PERÍODO DE 2007 A 2016. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(4).
- [6] IBAMA. Parque Nacional da Chapada Diamantina – BA. Relatório de combate ampliado. *IBAMA – PREVFOGO*: Brasília, 2008, 11p
- [7] Neves, S. P. S.; Conceição, A. A. Campo rupestre recém-queimado na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: plantas de rebrota e sementes, com espécies endêmicas na rocha. *Acta Botânica Brasílica*, 24 (3), 2010, p. 697- 707.
- [8] Gondim, T. S. de A.. Processo Hierárquico Analítico como ferramenta para o monitoramento de risco de incêndio no Parque Nacional da Chapada Diamantina. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Estadual de Feira de Santana. 2013.
- [9] Chuvieco, E., & Congalton, R. G. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote sensing of Environment*, 29(2), 147-159. 1989.
- [10] Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, M. P., ... & De La Riva, J.. Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*, 221(1), 46-58. 2010.
- [11] Anderson, L. O., Yamamoto, M., Cunningham, C., Fonseca, M. G., Fernandes, L. K., Pimentel, A., ... & Salazar, N.. Utilização de dados orbitais de focos de calor para caracterização de riscos de incêndios florestais e priorização de áreas para a tomada de decisão. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(1). 2017.
- [12] Leite, C. C. S.S., Franca-Rocha, W.J.S.; Santos, S. M. B., Silva, A.B., Baptista, G. M. ANÁLISE DOS INCÊNDIOS OCORRIDOS NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DIAMANTINA-BAHIA EM 2008 E 2015 COM SUPORTE EM ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(6). 2017.
- [13] Moore, R.T.; Hansen, M.C. "Google Earth Engine: a new cloud-computing platform for global-scale earth observation data and analysis". *American Geophysical Union, Fall Meeting Abstracts*, v. 1, pp. 2. 2011.
- [14] Schmidt, I.B. Etnobotânica e ecologia populacional de *Syngonanthus nitens*: sempre-viva utilizada para artesanato no Jalapão, Tocantins. *Dissertação* (Mestrado em Ecologia). Universidade de Brasília. 125 p. 2005.
- [15] Silva, D. M.; Loiola, P. de P.; Rosatti, N. B.; Silva, I. A.; Cianciaruso, M. V.; Batalha, M. A. Os Efeitos dos Regimes de Fogo sobre a Vegetação de Cerrado no Parque Nacional das Emas, GO: Considerações para a Conservação da Diversidade. *Biodiversidade Brasileira*, I(2), 2011, p. 26-39.
- [16] Fonseca, M.G., Aragão, L.E.O., Lima, A., Shimabukuro, Y.E., Arai, E., & Anderson, L.O.. Modelling fire probability in the Brazilian Amazon using the maximum entropy method. *International Journal of Wildland Fire*, 25(9), 955-969. 2016.