

## Quantificação e análise espacial dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina - BA

Thaiane Bonfim Silva<sup>1</sup>  
Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha<sup>2</sup>  
Michele Fúlvia Angelo<sup>3</sup>

Universidade Estadual de Feira de Santana - UEFS  
Programa de Pós-graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente  
Br 116, km 03, 44431-460 - Feira de Santana - Bahia, Brasil  
thaiane.thay@hotmail.com<sup>1</sup>  
wrocha@uefs.com.br<sup>2</sup>  
mfangelo@ecomp.uefs.br<sup>3</sup>

**Abstract.** Fires in vegetation are pointed out as one of the main factors that impact and threaten the conservation of biodiversity in environmental systems. In Brazil, in the state of Bahia, Chapada Diamantina is one of the most affected region by constant burning, requiring huge investment of financial resources to fight the fires. Hotspots data detected by satellite sensors have been used to identify areas of occurrence of fires. From these data, estimates are made about the possible location and extent of affected areas, highlighting the temporal / spatial dynamic of fires. This study aimed to analyze the spatial behavior of hotspots between the years 2000 to 2011 in the National Park of Chapada Diamantina, in order to identify the areas of greatest intensity of fire occurrence obtained with the aid of Kernel intensity estimation. To this end, was made a survey of georeferenced hotspots existing into the park, organized a database, and then, in a GIS environment, modeled the distribution pattern of the set of points. According to the analyzed data, about 439 hotspots were detected by sensors aboard NOAA satellites - NOAA 12 and - 15 in the last 12 years within the park boundaries. It was found that the year of higher incidence of hot spots in the park was in 2008, when 243 focuses were detected. The number of hotspots recorded in 2008 represents about 55% of the total. It was found that 245 of the 439 spots detected were in the east border of the city of Mucugê (about 56%).

**Palavras-chave:** Fires in vegetation, Density estimator (Kernel), Remote Sensing, Modelling of georeferenced data, Incêndios na vegetação, Estimador de Densidade (*Kernel*), Sensoriamento Remoto, Modelagem de dados georreferenciados.

### 1. Introdução

Incêndios na vegetação são considerados em diversos estudos como sendo umas das principais ameaças às unidades de conservação, devido às mudanças físicas, biológicas, e químicas que produz no ambiente, gerando consequências sobre o solo, a vegetação, a fauna e o ar atmosférico (MIRANDA et. al., 1996).

Estima-se que mais de 100 milhões de toneladas de aerossóis provenientes das fumaças sejam lançados na atmosfera, dos quais 80% ocorrem em regiões tropicais do globo ((HAO e LIU, 2000). No Brasil, calcula-se que mais de 300.000 incêndios na vegetação ocorram anualmente (FLORENZANO, 2007). Na Bahia, a Chapada Diamantina é uma das regiões que mais são assoladas por constantes queimadas, demandando grande quantidade de recursos financeiros no combate e controle dos incêndios.

A disponibilidade de informações detalhadas e atualizadas sobre a localização e extensão das áreas queimadas é fundamental para avaliar perdas econômicas e efeitos ecológicos, monitorar mudanças no uso e cobertura da terra e elaborar modelos atmosféricos e de impactos climáticos devidos à queima de biomassa.

O Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) representam ferramentas particularmente úteis para obter essas informações, principalmente em extensas áreas afetadas pelo fogo e/ou de difícil acesso (PEREIRA et al., 1997). Os dados de focos de calor, extraídos de imagens de satélites, para identificação das áreas de ocorrência de incêndios, contribuem de forma eficaz na prevenção, no monitoramento e combate destes eventos. A partir destes dados, informações e estimativas sobre localização, período e

frequência dos incêndios são geradas, evidenciando sua dinâmica espaço/temporal na área de ocorrência.

De acordo com Setzer & Morelli (2011), o monitoramento operacional dos incêndios na vegetação, feito a partir dos dados de focos de calor, é adequado a regiões remotas e sem outros meios de detecção em tempo-real, como ocorre na área de estudo e na maior parte do país.

A frequência, intensidade, proporção e o período de ocorrência determinam as características históricas dos incêndios. Esta caracterização é feita com base na análise de uma série temporal e é extremamente útil, pois especifica a localização das áreas em que o perigo do fogo é maior e a ocorrência de incêndios é mais frequente. De acordo com Silva (1998), diversos países com os Estados Unidos, Espanha e Alemanha, mantêm registro e estatísticas completas sobre a ocorrência de incêndios, visando quantificar e avaliar os danos causados. No Brasil, a partir da década de 1980, dados meteorológicos e referentes aos incêndios passaram a ser organizados e catalogados utilizando produtos de satélites orbitais.

Estudos sobre a dinâmica de ocorrência do fogo na região da Chapada Diamantina, especificamente no Parque Nacional da Chapada Diamantina, tem sido feitos com base em imagens do satélite Landsat 5 (MESQUITA et al., 2011; GONÇALVES et al., 2011). Estes estimaram que de 1973 e abril de 2010, 61 % da área do PNCD foram atingidas por incêndios na vegetação. Discutiu-se também, nestes trabalhos, uma possível relação entre a incidência dos incêndios anuais com fenômenos climáticos globais, o El Niño.

O PNCD é uma Unidade de Conservação Federal de proteção integral criado pelo Decreto Federal nº 91.655, em 17 de setembro de 1985, para proteger os ecossistemas da Serra do Sincorá. Esta localizado na região central do Estado da Bahia, entre as coordenadas geográficas 41°35' - 41°15' W e 12°25' - 13°20' S e abrange os municípios de Andaraí, Ibicoara, Itaeté, Lençóis, Mucugê e Palmeiras.

Em apenas dois meses, na estação seca (outubro e novembro) de 2005, foram queimados cerca de 11.000 ha dentro dos limites do PNCD, o que equivale a quase 10% da área do parque (VERÍSSIMO, 2006). A elevada frequência do fogo na Chapada Diamantina é preocupante, pois é uma região que inclui diversos tipos de florestas, caatingas, cerrados e campos rupestres, cada qual com suas fisionomias características. Tais tipos de vegetação fazem dela um importante centro de diversidade de paisagem do Brasil, com elevado número de espécies de plantas endêmicas.

Diante do exposto, esta pesquisa tem por objetivo analisar o comportamento espacial e temporal dos focos de calor detectados na área do PNCD. Assim, será possível estimar áreas de maior intensidade de ocorrência dos incêndios na vegetação do PNCD. Para tal, será realizada análise exploratória do conjunto de pontos de focos de calor a partir do estimador de densidade *Kernel*.

A utilização do estimador de densidade se faz interessante nesta pesquisa, pois, este fornece uma visão geral da distribuição espacial dos pontos, sendo possível apurar a intensidade pontual dos focos de calor de toda área do PNCD e com isso averiguar regiões críticas dentro desta delimitação para o período abrangido neste trabalho, que vai de janeiro de 2000 a dezembro de 2011.

Buscando ainda compreender a dinâmica de ocorrência dos incêndios na vegetação do PNCD será analisado o padrão de distribuição temporal dos focos de calor, identificando os meses e anos de maior ocorrência através da observação de gráficos, mapas e tabelas que apresentem valores absolutos e relativos representativos desse padrão.

Este estudo trará uma contribuição, aos estudos que abordem a problemática do fogo, pois, serão feitos levantamentos e análises sobre a ocorrência das queimadas no PNCD, buscando identificar características como frequência, intensidade e períodos de maior ocorrência.

## 2. Metodologia de trabalho

Foi realizado o levantamento dos dados de focos de calor, em formato *shapefile*, existentes para o PNCD, e, organizada uma base de dados geográficos. Estes dados constituem-se de pontos que possuem informações básicas sobre os focos de calor. Cada ponto possui as seguintes variáveis: Coordenadas geográficas (latitude e longitude), data da observação do foco de calor (dia, mês e ano), tipo de satélite e município. Estas variáveis são organizadas em uma tabela no banco de dados, denominada tabela de atributos.

Junto a este banco de dados foram inseridas informações sobre divisão político-administrativa, área e limite do PNCD, rede de drenagem e rede viária, oriundas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados de focos de calor, utilizados nesta pesquisa, foram provenientes de sensores a bordo dos satélites NOAA -12 e NOAA 15, ambos com detecção noturna, computados e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do Banco de Dados de Queimadas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), disponível no endereço eletrônico <http://www.cptec.inpe.br/queimadas>.

Em seguida, em ambiente SIG, foi modelado o padrão de distribuição do conjunto de pontos, utilizando-se o estimador de densidade *Kernel*. Este interpolador é comumente utilizado para gerar uma superfície contínua através de dados amostrais, geralmente pontos.

Este tipo de operação é feito pelo ajuste de uma função bidimensional aos eventos considerados, onde, esta função realiza uma contagem de todos os pontos dentro de uma área de influência. Estes pontos são ponderados pela distância de cada um até o ponto que está sendo estimado (DRUCK et al., 2004). Este processo possibilita uma visão qualitativa dos focos de calor na região de interesse.

Para fins de melhor representação e análise dos resultados da interpolação, foram definidas 5 classes de densidade: 1) muito baixa, 2) baixa, 3) média, 4) alta e 5) muito alta. O *software* utilizado neste processamento foi o ArcGIS 10 e a sua extensão *Spatial Analyst*.

## 3. Resultados e discussão

O PNCD tem sido atingido anualmente com a ocorrência de frequentes eventos de fogo. De acordo com os dados analisados, nos últimos 12 anos, cerca de 439 focos de calor foram detectados pelos sensores a bordo dos satélites NOAA - 12 e NOAA - 15 dentro dos limites do PNCD. Os mapas de distribuição dos focos (Figura 1) revelam o comportamento espacial destes na área de estudo ao longo do recorte temporal analisado, a partir destes pode ser analisado a recorrência dos eventos de fogo em determinada região. De forma geral, verifica-se que os focos de calor apresentam-se dispersos pelo PNCD, a exemplo dos anos 2003 e 2007, representados no mapa de distribuição, onde, não se observa um padrão claro.

Foi estruturada uma tabela com o número de focos anuais para cada mês (Tabela 1), verificou-se que os anos de maior incidência de focos de calor no PNCD são 2008, com 243 focos detectados, seguido de 2004 e 2007, com 46 e 35 números de focos respectivamente. O total registrado em 2008 representa cerca de 55% do total de focos de calor, este fato pode ser relacionado aos fenômenos meteorológicos ocorridos neste período, como longo período de estiagem. Os anos onde se registraram uma redução nos números de focos de calor foram 2009, com apenas um único foco detectado, 2011, com 4 focos e 2006, com 8 focos.



Figura 1. Mapas de distribuição espacial dos focos de calor detectados pelos sensores do satélite NOAA - 12 e NOAA - 15 para os anos de 2000 a 2011.  
Fonte: IBGE, 2009/ CPTEC - INPE

Tabela 1 - Focos de calor detectados entre 2000 e 2011 no PNCD pelo satélite NOAA -12 e NOAA - 15.

ANO \ MÊS	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>Janeiro</b>	0	0	0	3	0	0	2	1	6	0	0	0
<b>Fevereiro</b>	0	2	0	1	0	0	4	1	0	0	0	0
<b>Março</b>	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1	0	1
<b>Abril</b>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Mai</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Junho</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Julho</b>	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2
<b>Agosto</b>	0	0	0	2	2	0	0	3	3	0	1	0
<b>Setembro</b>	0	3	0	0	2	0	1	0	0	0	1	0
<b>Outubro</b>	11	10	4	10	6	41	0	7	45	0	8	0
<b>Novembro</b>	0	7	2	1	13	4	0	23	189	0	0	1
<b>Dezembro</b>	0	4	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<b>Total de focos</b>	<b>11</b>	<b>26</b>	<b>10</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>46</b>	<b>8</b>	<b>35</b>	<b>243</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>4</b>

Fonte: CPTEC – INPE.

No mapa de distribuição de focos totais, de 2000 a 2011 (Figura 2), têm-se espacializado o conjunto total de pontos encontrados para o PNCD por unidade municipal e unidade temporal. Verificou-se que dos 439 focos detectados, 245 ocorreram na faixa leste do município de Mucugê (cerca de 56%), 84 focos ocorreram numa porção sul e outra na oeste de Andaraí (19%), 57 focos foram registrados em Lençóis, numa porção sudoeste (13%), em Ibicoara foram detectados 29 focos (6,5%), em Palmeiras foram encontrados 20 focos (4,5%) numa região a nordeste e outra ao sul do município, Itaeté foi o município onde foram registrados os menores números de focos de calor, 4 (cerca de 0,9%).

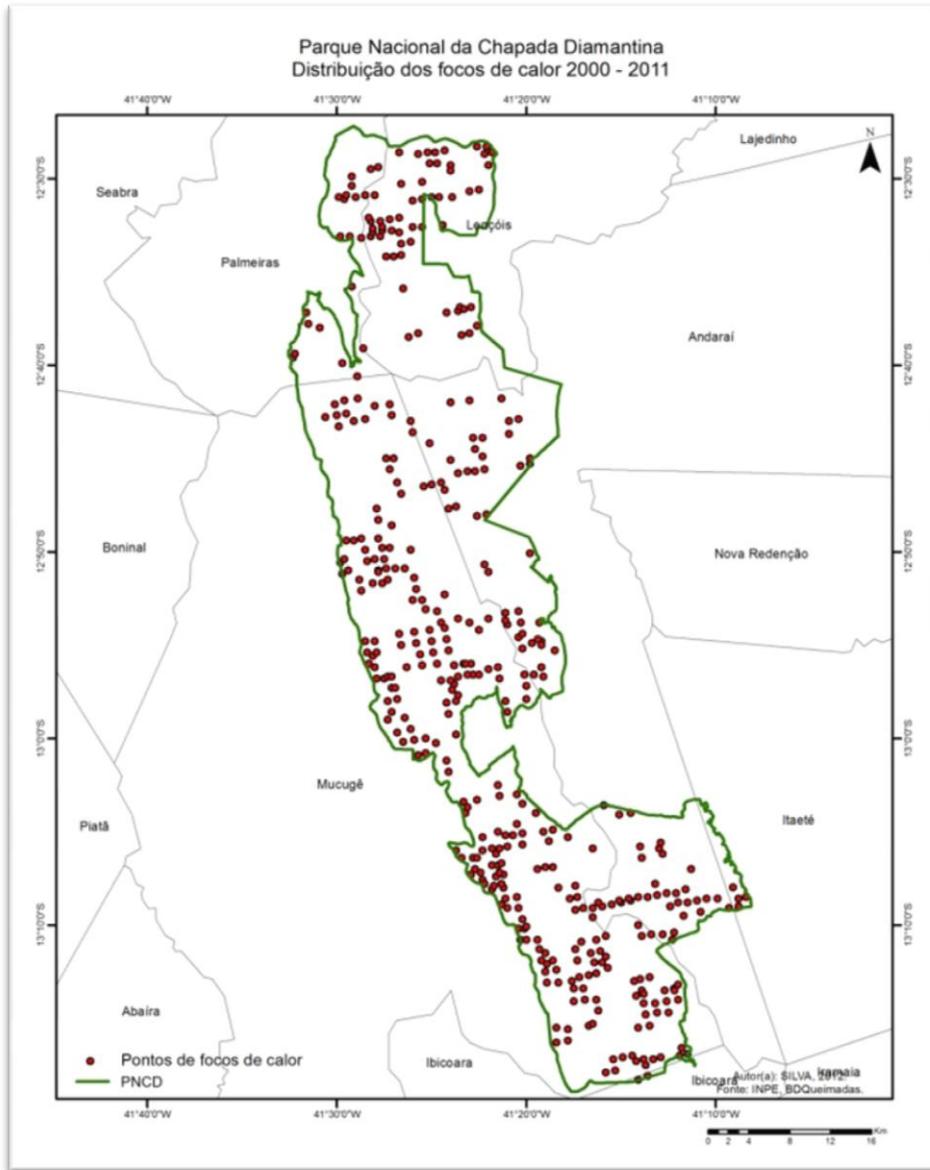


Figura 2. Mapa de distribuição espacial dos focos de calor totais detectados pelos sensores do satélite NOAA - 12 e NOAA - 15 para os anos de 2000 a 2011. Fonte: IBGE, 2009/ CPTEC – INPE.

O mapa de *Kernel* (Figura 3) apresenta o resultado da interpolação dos focos de calor, onde se observa a intensidade pontual destes na área de estudo, estimando-se assim a sua densidade. Manchas com densidade muito alta, em tom de vermelho-amarronzado, foram encontradas restritamente nas regiões norte e sudoeste do PNCD, em específico nas áreas dos municípios de Lençóis e Mucugê, respectivamente. A maior mancha, na classe muito alta, observa-se em Lençóis. A densidade alta, representada por manchas em tom de vermelho, ocorre nas regiões norte e sudoeste do PNCD e também são verificadas em algumas áreas ao centro. Manchas com densidade média, em tom de laranja mais forte, aparecem mais distribuídas ao longo destas mesmas áreas. As classes de densidade baixa e muito baixa, representadas por manchas em tom de laranja claro e amarelo, respectivamente, aparecem distribuídas ao longo de quase toda área do parque, concentrando-se em alguns locais, a exemplo da região norte e sul. Foram encontradas ainda, área sem registro de ocorrências dos focos de calor, estas aparecem na cor branca ao longo da área do PNCD.

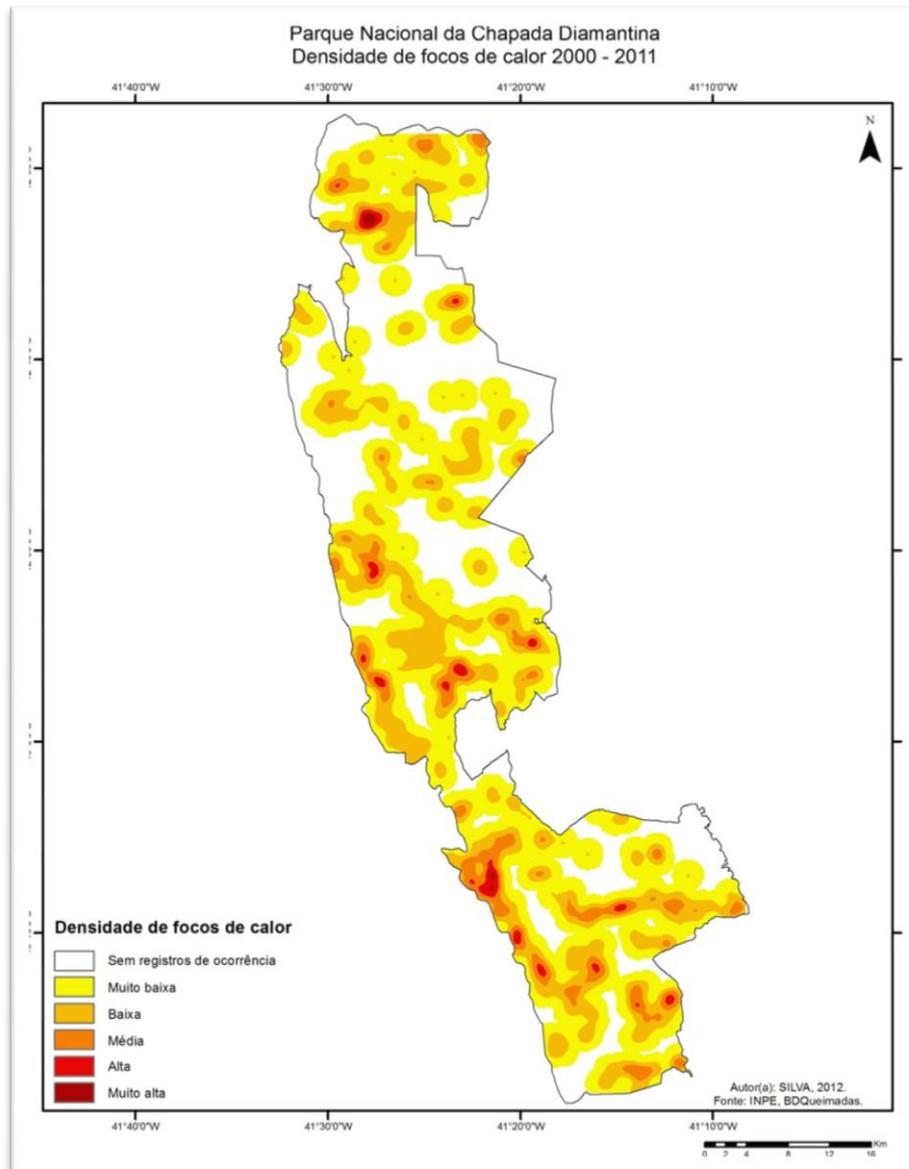


Figura 3. Mapa de densidade dos focos de calor detectados pelos sensores do satélite NOAA - 12 e NOAA - 15 para os anos de 2000 a 2011.

Fonte: IBGE, 2009/ CPTEC – INPE.

Na figura 4 observam-se gráficos de distribuição mensal dos focos de calor para o PNCD entre os anos de 2000 e 2011. Ao ser analisado, estes revelam um padrão desta distribuição ao longo dos meses, onde se verificou uma tendência de crescimento do número de focos entre os meses de outubro e novembro. Neste período do ano o material combustível, como galhos e folhas, depositados no solo, tornam-se altamente inflamáveis, pois há uma redução acentuada nos níveis de umidade deste material. O gráfico de distribuição mensal total dos focos de calor (Figura 5) compreende toda a série histórica estudada, onde têm-se os totais de focos de 2000 a 2011 para cada mês, nele visualiza-se conjuntamente todo o número de focos detectados. Observa-se novamente que a maior quantidade de ocorrência de focos de calor se dá entre os meses de outubro e novembro, com 391 focos detectados (cerca de 89% do total de focos detectados).

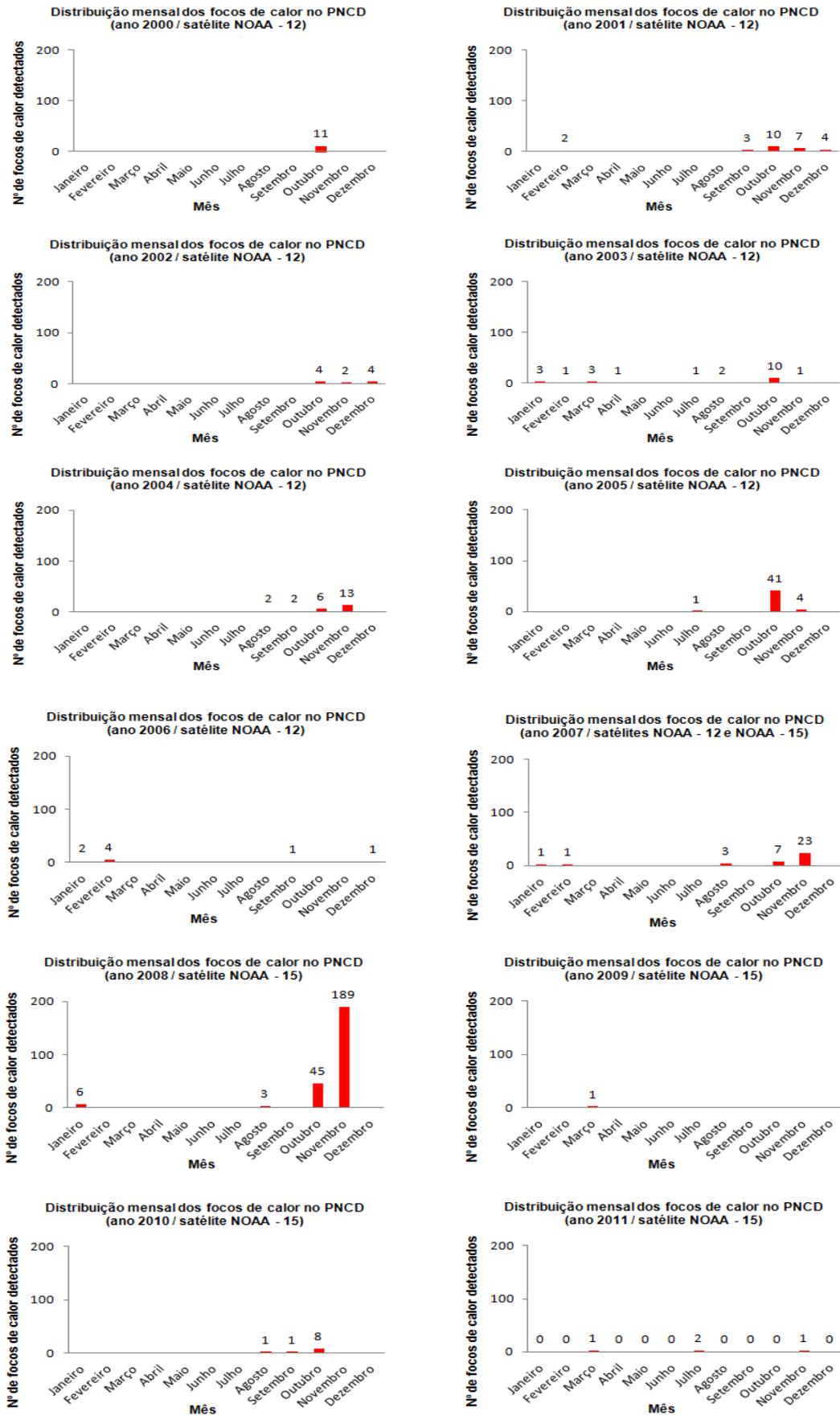


Figura 4. Gráficos de distribuição mensal dos focos de calor detectados pelos sensores do satélite NOAA - 12 e NOAA - 15 para os anos de 2000 a 2011.

Fonte: CPTEC – INPE.

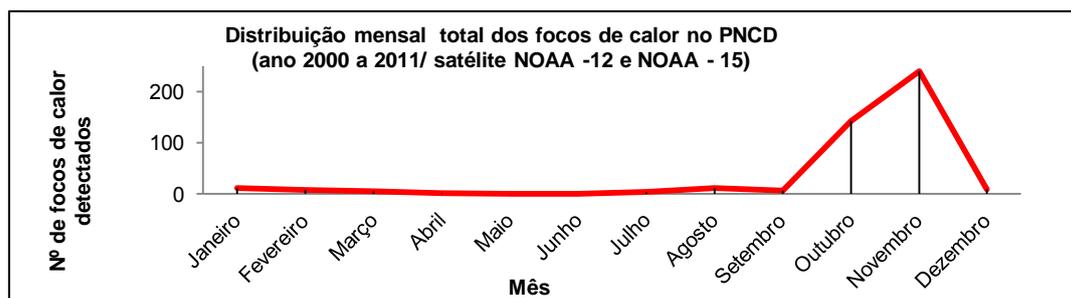


Figura 4. Gráfico de distribuição mensal total dos focos de calor para os anos de 2000 a 2011. Fonte: CPTEC – INPE.

#### 4. Conclusões

Observou-se que os focos de calor concentraram-se nos contrafortes ocidentais da Serra do Sincorá e nas proximidades dos municípios de Mucugê e Lençóis. O município de Lençóis, região norte do parque, foi o que apresentou a maior mancha na classe muito alta, seguido de Mucugê. Na análise do comportamento temporal dos focos, concluiu-se que meses com maior número de focos de calor estão fortemente associados à estiagem regional, são eles os meses de outubro e novembro.

O estimador de densidade *Kernel*, na análise do comportamento espacial dos focos de calor, teve grande relevância, a partir da aplicação dele foi possível obter informações qualitativas sobre a distribuição dos focos na área de estudo e com isso averiguar a existência de áreas críticas para período abrangido por este trabalho. Porém, uma análise mais criteriosa deve ser feita para tentar identificar um padrão de distribuição mais claro, como por exemplo, sobreposições com mapas temáticos de uso e ocupação, vegetação ou relevo.

Cabe por fim ressaltar que os dados de focos de calor são indicadores de queimadas, assim, não fornecem informações diretas sobre a extensão da área queimada. Embora tais produtos representem bem aspectos da distribuição espacial e temporal dos incêndios, é tarefa árdua relacionar os focos de calor com a área realmente queimada. Entender a evolução e o comportamento dos eventos de fogo no PNCD é crítico e requer atenção contínua por parte das autoridades competentes e da comunidade envolvida.

#### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

#### Referências Bibliográficas

- DRUCK, Suzana. et al.. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2004.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 2ª ed. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2007.
- Hao, W.M.; Liu, M.H. Spatial and temporal distribution of biomass burning. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 8, p. 495-503, 2000.
- MESQUITA, F.W.; LIMA, N.R.G.; GONÇALVES, C.N.; BERLINCK, C.N. & LINTOMEN, B.S. Histórico dos incêndios na vegetação do Parque Nacional da Chapada Diamantina, entre 1973 e abril de 2010, com base em imagens Landsat. **Revista Biodiversidade Brasileira**, 2: 228-246, 2011.
- MIRANDA, H. S.; ROCHA E SILVA, E. P.; MIRANDA, A. C. Comportamento do Fogo em Queimadas de Campo Sujo. In: Simpósio sobre Impacto das queimadas sobre os ecossistemas e mudanças globais. **Anais...** Brasília: UnB, 1996.
- PEREIRA, J.M.C.; CHUVIECO, E.; BEAUDOIN, A.; DESBOIS N. Remote sensing of burned areas: a review. In: CHUVIECO, E.; Ed. **A review of remote sensing methods for the study of large wildland fires**. Alcalá de Henares. 1997. p. 127-183.
- SETZER, A.W.; MORELLI, F. Diferenças na quantificação de focos de queima de vegetação conforme o satélite e o sensor do monitoramento. In: 5º. Simpósio Sul-Americano sobre Controle de Incêndios Florestais, Campinas, São Paulo, abril/2011. **Anais...** São Paulo. 264-267 p., 2011.
- SILVA, R. G. da. **Manual de prevenção e combate aos incêndios florestais**. 1998. Disponível em: <<http://www.2.ibama.gov.br/unidades/guiadechefe/guia/anexo10/texto.htm>>. Acessado em 17/08/11.