

# PADRÕES ESPACIAS MENSAIS DE FOCOS DE CALOR A PARTIR DE ESTIMATIVA DE DENSIDADE DE KERNEL, NA RESERVA DO NIASSA - MOÇAMBIQUE

*Eufrásio João Sozinho Nhongo<sup>1</sup>, Denise Cybis Fontana<sup>2</sup>, Laurindo Antônio Guasselli<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup>Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto – PPGSR/UFRGS

Avenida Bento Gonçalves 9500 - 91501-970 - Porto Alegre - RS, Brasil

<sup>1</sup>eufraionhongo@yahoo.com, <sup>2,3</sup>{dfontana, laurindo.guasselli}@ufrgs.br

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar os padrões espaciais de densidade focos de calor (acumulado mensal) na reserva do Niassa, entre os anos 2001-2015, a partir de dados MODIS, produto de fogo ativo, utilizando o método de estimador de densidade de Kernel (Método Fixo). Foram utilizadas ferramentas de análise espacial do ArcGis 10.1, e gerados mapas de densidades mensais. Os resultados revelaram que há uma dinâmica mensal dos focos de calor de leste para oeste da reserva. A área central e oeste da reserva apresentaram maior densidade mensal de focos de calor, com maior ocorrência nos meses de agosto a outubro. Este padrão é dependente do tipo de cobertura vegetal.

**Palavras-chave** - MODIS, Padrões dos incêndios, Regime dos incêndios, Risco a incêndio.

## ABSTRACT

The objective of this work was to study the fire hotspot patterns (monthly accumulated) in Niassa, from 2001-2015, from MODIS data, an active fire product, using the Kernel Density Method (Fixed Method). ArcGIS 10.1 spatial analysis tools were used, and monthly density maps were generated. The results revealed that there is a monthly dynamics of the fire hotspot from east to west of the reserve. The central area and the west of the reserve is of higher monthly intensity of fire hotspots, with higher incidence in the months of august to october. This pattern is dependent on the type of Vegetation Cover.

**Key words** - MODIS, Fire patterns, Fire regime, Risk of fire.

## 1. INTRODUÇÃO

As savanas africanas, onde as florestas de Miombo estão inseridas, são propensas ao fogo e o fogo é parte importante na determinação da composição e estrutura desses ecossistemas [1]. Estudos recentes desenvolvidos na Reserva do Niassa, tem indicado que há aumento de recorrência de incêndios florestais [2], os quais causam

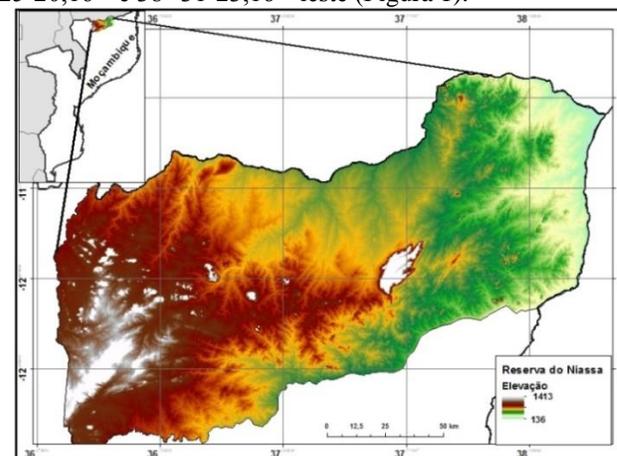
sérios impactos na estrutura e composição das espécies vegetais e, portanto, na biodiversidade. Neste sentido, o conhecimento dos padrões espaciais, representa uma importante contribuição para a gestão dos incêndios florestais [3], permitindo saber onde e quando iniciam os incêndios e qual a sua dinâmica.

Várias técnicas de interpolação vem sendo usadas para converter dados de observações pontuais em campos contínuos na análise de risco a incêndio. A Estimativa de Densidade de Kernel (EDK) tem sido extensivamente utilizada ao nível global [4][5][6]. Ao contrário de outros métodos, EDK tem a vantagem de produzir diretamente estimativas de densidade que não são influenciadas pelo tamanho da grade e efeitos de localização [7]. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo analisar os padrões espaciais mensais de incêndios florestais, no período entre 2001-2015, na Reserva do Niassa, usando método EDK (Método Fixo).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Área de estudo

A área de estudo é a Reserva do Niassa (23.040 km<sup>2</sup>), localizada no extremo norte de Moçambique, entre as latitudes: 12°36'46,67" - 11°26'05,83" sul, e longitude: 32°25'20,16" e 38°31'23,16" leste (Figura 1).



**Figura 1.** Localização geográfica e mapa de elevação da Reserva do Niassa, Moçambique.

O clima é tropical sub-úmido seco. A temperatura média anual está entre 20° a 26°C e a precipitação pluvial média anual varia entre 770 a 1.140 mm.

As formações vegetais predominantes são: Floresta Decídua; Floresta Aberta Semi-decídua, Floresta de Montanha, e Floresta Riberinha e de Matagal [8]. O relevo varia entre 136 e 1.413 m, acima do nível médio do mar. A reserva faz parte da bacia hidrográfica de Rovuma.

## 2.2. Dados

### 2.2.1. Produto de fogo ativo MODIS MCD14ML

Os dados foram obtidos dos sensor MODIS anomalias termais, das plataformas Aqua e Terra, com resolução espacial de 1km. Foi utilizada a Coleção 6, no período entre janeiro de 2001 e dezembro de 2015, disponibilizada pela NASA FIRMS (*Fire Information for Resource Management System*) pelo website (<https://earthdata.nasa.gov/firms/>). A localização do fogo corresponde ao centro de um *pixel* de 1x1 km que é sinalizado pelo algoritmo como contendo um ou mais incêndios dentro do *pixel*. Para evitar falsos alarmes (erros de comissão), foram considerados somente *pixels* de incêndio de alta confiabilidade (> 80% de confiabilidade).

## 2.3. Método

### 2.3.1.2. Estimativa de Densidade de Kernel

Para análise do padrão espacial mensal dos focos de calor, aplicou-se a densidade de kernel. O estimador Kernel é um método estatístico não paramétrico que produz uma função de densidade cumulativa suavizada [7], utilizada com eficácia no mapeamento de ocorrências de incêndios [9]. O estimador Kernel é matematicamente definido [10] pela equação 1:

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n k \left\{ \frac{x - x_i}{h} \right\} \quad (1)$$

Em que: n é o número de pontos observados; h é a largura de banda; k é a função Kernel; x é o vetor de coordenada que representa a localização do ponto estimado; e xi é o vetor da i-ésima coordenada que representa cada ponto observado em relação ao estimado.

Um dos passos fundamentais na estimativa de densidade de kernel, é a configuração da suavização dos parâmetros como tamanho da largura de banda, ('raio de pesquisa' no ArcGIS 10.2). A escolha da largura da banda depende do propósito da estimativa de densidade [10]. É muito difícil definir esse valor subjetivamente, o que pode gerar resultados ambíguos, pois os valores dependem da escala adotada e das características específicas da área estudada [9][11]. Existem dois principais métodos utilizados para encontrar o tamanho apropriado da largura da banda: Fixo e Adaptativo. O método fixo é usado em regiões onde os dados são densos e distribuídos homogeneamente, sem evidência de agrupamento [11]. No modo adaptativo, o parâmetro de

suavização, definido usando um número mínimo de observações pontuais encontradas sob o núcleo, varia dependendo da concentração das observações pontuais [12].

Como há uma variabilidade espacial dos dados na reserva, e a distribuição de incêndios mensal é irregular em relação a área total da reserva, os dois métodos poderiam ser adotados. Contudo, por questões de comparação da densidade mensal, utilizou-se largura da banda fixa. Este método também foi usado em áreas com distribuição irregular de focos de incêndios e apresentou bom desempenho [4][5].

Para tal utilizou-se o método da distância média aleatória (local), do inglês: *mean random distance (RDmean)*, para o cálculo da largura da banda, que pode ser analisada pela abordagem local ou global. Definido por [9] como:

$$RDmean = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{A}{N}} \quad (3)$$

Em que: A, é o tamanho total da área de estudo e N é o total de número de Focos de calor.

Os parâmetros utilizados e o resultado da largura da banda é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1: Parâmetros relacionados aos cálculos de largura de banda**

Tamanho total da área de estudo, A	22.953km <sup>2</sup>
Total número de polígonos	3
Total número de fogos ativos, N	21.223
Media do tamanho do polígono	7.651km
Numero médio de fogos ativo por polígono	7.074km <sup>2</sup>
RDmean Local 2x	1039,9m
RDmean Global 2x	1039,9m

Para fins de melhor representação e análise dos resultados da EDK mensal foram gerados mapas na escala de cinza (alto-baixo). Todos os procedimentos foram realizados no ArcGIS 10.2, na extensão *Spatial Analyst*.

## 3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram registrados a partir das imagens um total de 21.223 focos de calor entre 2001 a 2015, uma média anual de 1.414 incêndios. A maior incidência de focos foi no ano de 2015 com 1.774 incêndios detectados. Já o ano com a menor incidência de focos de calor foi 2001, com 725 focos (Tabela 1). Os meses de maior pico foram agosto, setembro e outubro, sendo que 32,62% do total de focos registrados, ocorreu no mês de setembro. Os meses com o menor número de focos de calor, foram maio, junho, novembro e dezembro.

Destaca-se que há uma dinâmica espacial mensal dos focos de calor. Os incêndios iniciam a leste da reserva, nos meses de maio e junho (Figura. 2 A, B), local com predominância de Florestas Aberta Semi-decíduas [8].

Tabela 2: Distribuição mensal e total de focos de calor no período de 2001 a 2015 na Reserva do Niassa, Moçambique.

Ano	Meses								Total	%
	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro		
2001	3	12	51	207	255	132	58	7	725	3,42
2002	0	0	128	156	291	406	164	0	1.145	5,40
2003	34	151	265	219	374	430	41	2	1.516	7,14
2004	3	39	224	351	278	205	20	0	1.120	5,28
2005	5	96	347	361	354	150	82	49	1.444	6,80
2006	1	72	135	133	535	510	28	0	1.414	6,66
2007	1	55	151	304	552	245	78	1	1.387	6,54
2008	1	99	196	349	770	217	43	0	1.675	7,89
2009	36	172	358	222	369	131	7	0	1.295	6,10
2010	5	118	162	279	598	239	35	1	1.437	6,77
2011	0	9	263	370	353	468	53	2	1.518	7,15
2012	0	60	318	366	521	230	23	2	1.520	7,16
2013	11	131	209	444	498	134	123	2	1.552	7,31
2014	0	14	120	376	339	716	136	0	1.701	8,01
2015	0	49	216	455	835	170	44	5	1.774	8,36
<b>Total</b>	100	1077	3143	4592	6922	4383	935	71	21.223	100
<b>%</b>	<b>0,47</b>	<b>5,07</b>	<b>14,81</b>	<b>21,64</b>	<b>32,62</b>	<b>20,65</b>	<b>4,41</b>	<b>0,33</b>	<b>100</b>	

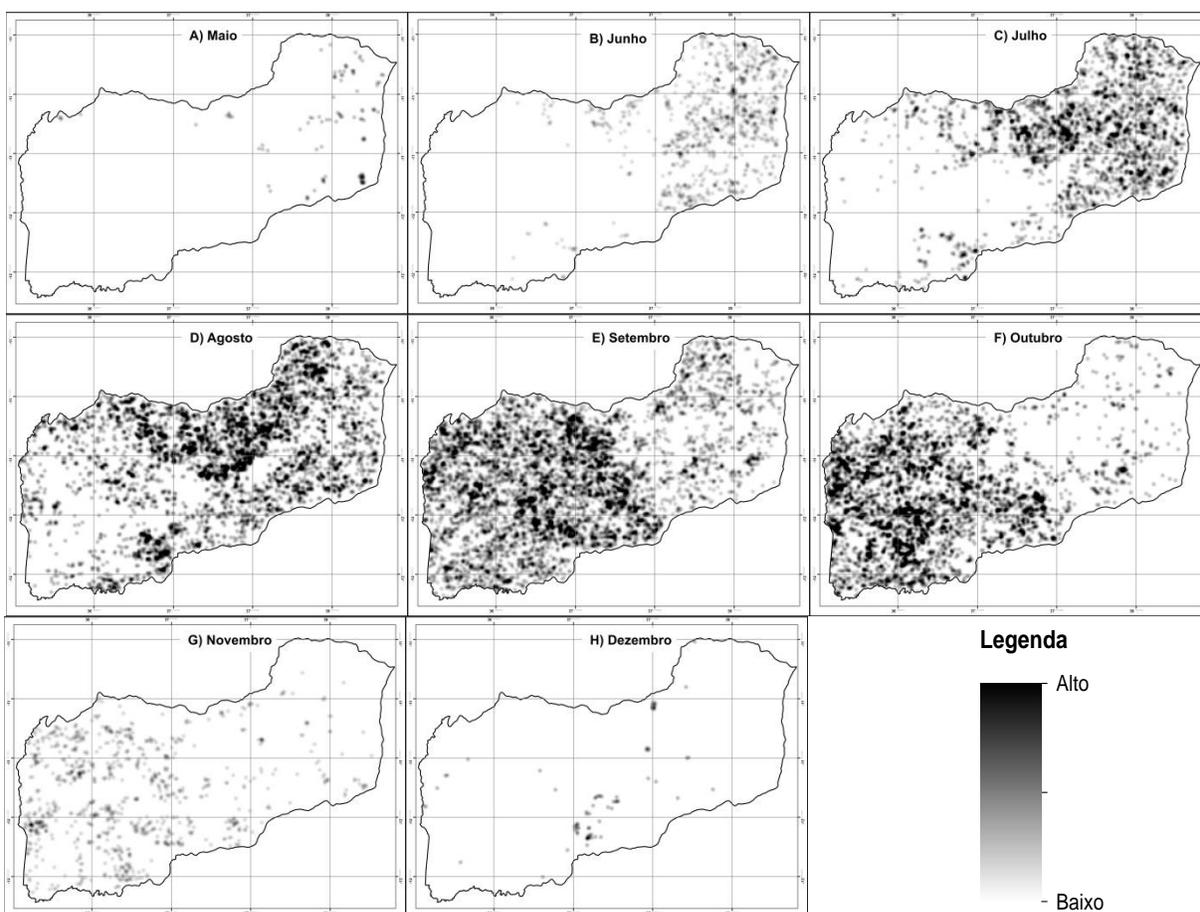


Figura 2: Padrões espaciais de densidade de focos de calor de maio a dezembro, Reserva do Niassa, Moçambique.

Os principais fatores que determinam o início da época de incêndio nesta fitofisionomia é a alta temperatura do ar e a baixa precipitação, sendo esta a primeira que entra no processo de senescência na Reserva do Niassa e consequente maior é risco a incêndio neste período [8].

Os incêndios são limitados pela disponibilidade de combustível fino, sobretudo em Florestas Aberta Semi-decíduas [1]. A baixa quantidade de biomassa seca nas Florestas Aberta Semi-decíduas (leste da reserva), determina a migração gradual dos incêndios para o centro da Reserva, nas florestas decíduas. Sendo assim, no período de junho a agosto há uma migração de focos de calor para as regiões centro-leste, centro e centro-oeste (Figura 2 C, D), onde predominam as florestas decíduas. Neste período, há o início da senescência, e consequente redução do vigor da vegetação nesta fitofisionomia [8].

Com o fim da biomassa seca nas Florestas Decíduas e início de senescência nas Florestas de Montanha, a partir do mês de setembro, ocorre o mesmo processo de migração dos incêndios para Florestas de Montanha a oeste da reserva (Figura 2 F, G, H). Esta região coberta por florestas mais úmidas, e de ciclo fenológico longo, exige mais tempo para que haja condições de inflamabilidade propícias para ocorrência de incêndios florestais. Esta tendência mantém-se nesta região até o mês de dezembro (Figura 2 G, H).

Os incêndios migram quando não há mais combustível suficiente para sua sustentabilidade, quando as condições meteorológicas não são propícias a queimadas ou quando se deparam com barreiras topográficas ou antropogênicas ou áreas previamente queimadas [13]. Fica evidente na área da reserva que a inexistência de combustível suficiente para a sua sustentabilidade é fundamental na dinâmica dos incêndios.

### 3. CONCLUSÕES

Há uma dinâmica dos incêndios florestais de leste para oeste da reserva, que é fortemente dependente do tipo de cobertura vegetal e do acúmulo de biomassa seca.

As maiores densidades de risco a incêndios são registradas nos meses de agosto (centro), setembro (centro-oeste) e outubro (oeste).

O estimador de densidade de kernel (Método fixo), mostrou um bom desempenho na estimativa de riscos a incêndio.

### 4. REFERÊNCIAS

[1] Scholes, R.J.; Walker, B.H. 1993. An African Savanna. Synthesis of the Nylsvley Study. Cambridge University Press, Cambridge.

[2] Ribeiro, N. S.; Cangela, A.; Chauque, A.; Bandeira, R. R.; Ribeiro-Barros, A.I. 2017. Spatial and temporal distribution of the fire regime in Niassa National Reserve, northern Mozambique. *Int. J. Wildland Fire* 26, 1021–1029.

[3] Lehmann, C.E.; Anderson, T.M.; Sankaran, M.; Higgins S.I.; Archibald, S.; Hoffmann, W.A.; Hanan, N.P.; Williams, R.J.; Fensham, R.J.; Felfili, J. 2014. Savanna vegetation–fire–climate relationships differ among continents. *Science* 343, 548–552.

[4] Kuter, N.; Yenilmez, F.; Kuter, S. Forest fire risk mapping by kernel density estimation. *CROAT. J. FOR. ENG.* 32, (2), 599, 2011.

[5] Zhang, Z.; Feng, Z.; Zhanga, H.; Zhaoa, J.; Yu, S.; Du, w. Spatial distribution of grassland fires at the regional scale based on the modis active fire products. *INTERNATIONAL JOURNAL OF WILDLAND FIRE*. 2017.

[6] Koutsias, N.; Balatsos, P.; Kalabokidis, K. 2014. Fire occurrence zones: kernel density estimation of historical wild fire ignitions at the national level, Greece. *J. Maps* 10(4), 630–639.

[7] Levine, N. 2002. CrimeStat II: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations (version 2.0). Ned Levine and Associates Annandale, VA and The National Institute of Justice, Washington, DC.

[8] Nhongo, E.J.S.; Fontana, D.; Guasselli, L.A. & Esquerdo, J. Caracterização fenológica da cobertura vegetal com base em série temporal NDVI/MODIS na reserva do Niassa – Moçambique. *Revista Brasileira de Cartografia*. No 69/6: 1175-1187. 2017.

[9] De La Riva, J.; Perez-Cabello, F.; Lana-Renault, N.; Koutsias, N. (2004). Mapping forest fire occurrence at a regional scale. *Remote Sensing of Environment*, 92, 363–369.

[10] Silverman, B. W. 1986. Density estimation for statistics and data analysis (pp. 7 – 94). London, England, Chapman & Hall.

[11] Amatulli, G.; Pérez-Cabello, F.; De La Riva, J. 2007. Mapping lightning/human-caused wildfires occurrence under ignition point location uncertainty. *Ecological Modelling*, 200, 321–333.

[12] Koutsias, N.; Kalabokidis, K.D.; Allgöwer, B. 2004. Fire occurrence patterns at landscape level: beyond positional accuracy of ignition points with kernel density estimation methods. *Natural Resource Modeling* 17 (4), 359 -375.

[13] Stambaugh, M.C.; Guyette R.P. 2008. Predicting spatio-temporal variability in fire return intervals using a topographic roughness index. *For Ecol Manag* 254:463–73.