

# Análise espacial e temporal da Potência Radiativa do Fogo (FRP) de focos de calor em Minas Gerais no ano de 2019 utilizando o variograma marcado

Rodrigo Ferreira de Abreu<sup>1</sup>, João Domingos Scalon<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Estatística – Universidade Federal Lavras (UFLA)  
Caixa Postal 3037 – 37200-000 – Lavras – MG – Brazil

rodrigo.10mega@gmail.com, scalon@ufla.br

**Abstract.** *Every year, many hot spots are identified by satellite imagery around the world and one information that can be found next to each hot spot is Radiative Fire Power (FRP), which is a technique for quantifying a burnt biomass using remote sensing data. This work aimed to analyze the spatial and temporal behavior of hot spots in relation to FRP in the state of Minas Gerais from January to August 2019 using the marked variogram as a tool. It was found that the region of the triângulo mineiro has the largest number of outbreaks and also the highest FRP values, which may mean that the largest fires occurred in this region. Analysis with marked variogram showed that for close points in space and time FRP values are very different, which may mean that large fires occur near smaller fires and that the variability in FRP decreases with increasing distances.*  
**Keywords:** FRP, point pattern, fires

**Resumo.** *Todos os anos, muitos focos de calor são identificados por imagens de satélite em todo o mundo e uma informação que pode ser encontrada junto a cada foco de calor é a Potência Radiativa do Fogo (FRP), que é uma técnica para quantificar uma biomassa queimada usando dados de sensoriamento remoto. Procurou-se nesse trabalho analisar o comportamento espacial e temporal de focos de calor, com relação à FRP no estado de Minas Gerais no período de janeiro a agosto de 2019 utilizando como ferramenta o variograma marcado. Verificou-se que a região do triângulo mineiro é a que possui maior quantidade de focos e também os maiores valores de FRP, podendo significar que os maiores incêndios ocorreram nessa região. A análise com variograma marcado mostrou, que para pontos próximos no espaço e no tempo os valores de FRP são muito distintos, o que pode significar que incêndios de grandes proporções ocorrem próximos de incêndios menores e que a variabilidade na FRP diminui com o aumento nas distâncias.*

**Palavras-chave:** FRP, padrões pontuais, incêndios.

## 1. Introdução

Todos os anos, muitos focos de calor são identificados por imagens de satélite sobre a vegetação em todo o mundo e uma informação que pode ser encontrada junto a cada foco de calor é a Potência Radiativa do Fogo (FRP).

A FRP é uma medida da energia radiante liberada por unidade de tempo da queima da vegetação [Roberts et al. 2005] e é, de acordo com [Costa and Fonseca 2017], uma

técnica para quantificar uma biomassa queimada usando dados de sensoriamento remoto. A FRP é assim uma medida que pode contribuir para que se tenha uma compreensão da gravidade de um incêndio.

No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) faz um monitoramento constante de focos de calor por imagens de satélite, e todas as informações podem ser consultadas facilmente pela página da internet <<http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>>. Conforme informações do INPE, a relação entre focos e queimadas não é direta pelas imagens do satélite, considerando a capacidade de resolução dos sensores atuais dos satélites. Em um pixel, que é um elemento de resolução da imagem, pode haver uma ou varias queimadas e se uma queimada é muito extensa, ela pode ser detectada em mais de um pixel e pode ainda, uma mesma queimada ser detectada por mais de um satélite, de modo que pode-se ter informações repetidas. Contudo, apesar das limitações, pode-se obter informações importantes que permitem por exemplo, verificar tendências espaciais e temporais nas ocorrências dos focos.

Neste trabalho, o objetivo foi analisar o comportamento espacial e temporal de focos de calor, com relação à FRP no estado de Minas Gerais no período de janeiro a agosto de 2019.

Para isso, considerou-se as técnicas da Estatística Espacial, em especial o variograma marcado [Cressie 1992], para verificar a dependência espacial e temporal da FRP à medida que os focos de calor se tornam mais distantes.

## **2. Materiais e métodos**

### **2.1. O conjunto de dados**

O conjunto de dados analisados foi retirado do Banco de Dados de Queimadas do INPE e é referente a 2961 ocorrências de focos de calor e os respectivos valores de FRP, captadas pelo satélite AQUA, no estado de Minas Gerais no período de 01 de janeiro a 28 de agosto de 2019.

### **2.2. Metodologia**

Um processo pontual espacial é um processo estocástico que gera um conjunto contável de pontos  $\{\mathbf{s}_i : i = 1, \dots, n\}$ , em que  $\mathbf{s}_i \in S \subset \mathbb{R}^2$ .

Um processo pontual é dito marcado quando, além da localização espacial dos eventos há uma informação adicional (marca) anexada a cada evento. um processo pontual marcado em  $\mathbb{R}^d$  pode ser considerado como uma sequência aleatória  $\Psi = \{(\mathbf{s}_i, m_i)\}$ , em que os pontos  $\mathbf{s}_i$  juntos constituem o processo pontual não marcado em  $\mathbb{R}^d$ , e os valores  $m_i$  são as marcas correspondentes a cada ponto  $\mathbf{s}_i$ . Considerando aqui  $d = 2$  e que as marcas pertencem a espaço das marcas  $\mathcal{M}$ , o estudo de processos pontuais marcados é dado em  $\mathbb{R}^2 \times \mathcal{M}$ .

No caso de um processo pontual marcado temporal a definição é análoga, mas agora tem-se  $\{(t_i, m_i)\}$ , com  $t_i \in T \subset \mathbb{R}_+$ .

A respeito da natureza das marcas, elas podem ser variáveis contínuas ou discretas/categóricas. Um exemplo de variável contínua é o diâmetro à altura do peito de uma

determinada espécie de árvore, em um talhão de floresta e no caso discreto, tipos de crime ocorridos em uma grande cidade.

No caso de marcas contínuas, como é o caso da FRP, uma ferramenta para a análise dos dados é o variograma marcado que pode ser definido por

$$\gamma(r) = \frac{1}{2} \mathbb{E} \left[ (m_i - m_j)^2 \mid \|\mathbf{s}_i - \mathbf{s}_j\| = r \right], \quad (1)$$

em que  $m_i$  e  $m_j$  são as marcas dos pontos  $\mathbf{s}_i$  e  $\mathbf{s}_j$ , respectivamente. Temos então que  $2\gamma(r)$  é a diferença quadrática esperada entre os valores de duas marcas cujos pontos correspondentes estão separados por uma distância  $r$ .

Pode-se definir de modo análogo, o variograma marcado temporal, como

$$\gamma(t) = \frac{1}{2} \mathbb{E} \left[ (m_i - m_j)^2 \mid |t_i - t_j| = t \right], \quad (2)$$

em que  $m_i$  e  $m_j$  são as marcas de  $t_i$  e  $t_j$ , respectivamente, e  $2\gamma(t)$  é a diferença quadrática esperada entre os valores das marcas cujos pontos correspondentes estão separados por um intervalo de tempo  $t$ .

O variograma marcado mede o grau de correlação entre as marcas de um processo marcado espacial (ou temporal), à medida que os pontos se tornam mais distantes. Informações importantes que o variograma marcado fornece incluem a rapidez com que a correlação entre marcas diminui, qual é o alcance dessa correlação, se pontos próximos tendem a ter marcas parecidas ou não, ou mesmo se não há correlação nenhuma.

Para a estimação dos variogramas espacial e temporal, respectivamente, foram considerados os estimadores

$$\hat{\gamma}_S(r) = \frac{\sum_{\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2 \in W}^{\neq} \frac{1}{2} (m_1 - m_2)^2 \kappa_\epsilon(\|\mathbf{s}_1 - \mathbf{s}_2\| - r)}{\sum_{\mathbf{s}_1, \mathbf{s}_2 \in W}^{\neq} \kappa_\epsilon(\|\mathbf{s}_1 - \mathbf{s}_2\| - r)} \quad (3)$$

e

$$\hat{\gamma}_T(t) = \frac{\sum_{t_1, t_2 \in T}^{\neq} \frac{1}{2} (m_1 - m_2)^2 \kappa_\delta(|t_1 - t_2| - t)}{\sum_{t_1, t_2 \in T}^{\neq} \kappa_\delta(|t_1 - t_2| - t)} \quad (4)$$

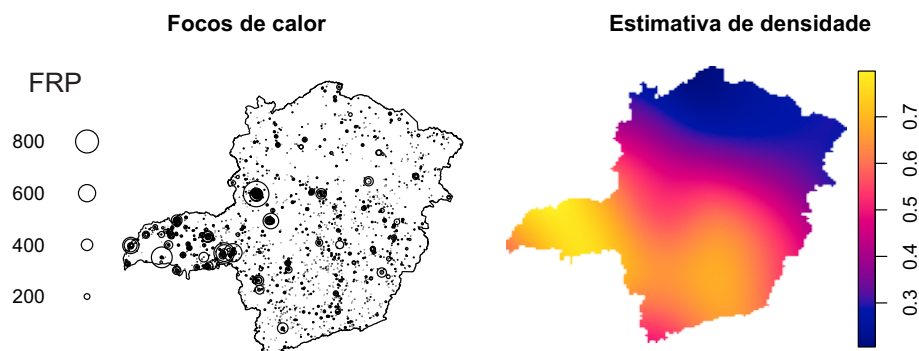
### 2.3. Software

Toda a análise foi executada no *software* R [R Core Team 2018], com auxílio das bibliotecas *sp* [Pebesma and Bivand 2005], *rgdal* [Bivand et al. 2018], *rgl* [Adler et al. 2018], *lubridate* [Grolemund and Wickham 2011] e *KernSmooth* [Wand 2015]

## 3. Resultados

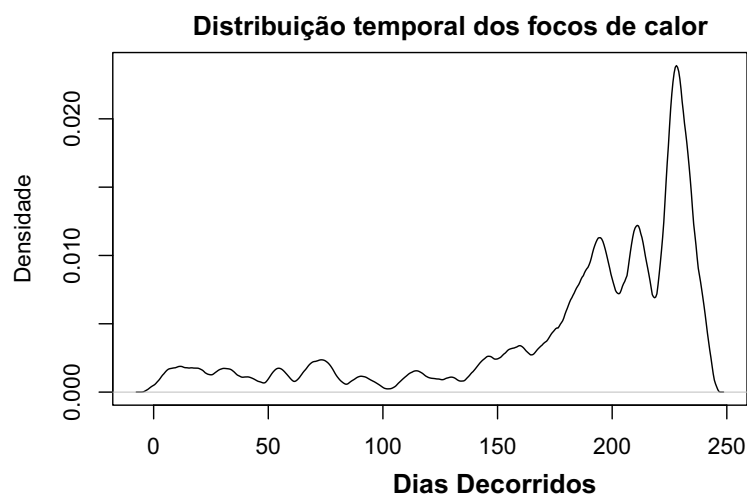
Considerando primeiramente uma análise visual pode-se notar pela figura 1, que os focos de calor se distribuem por todo o estado de Minas Gerais, sendo que a região norte apresenta menor densidade de pontos e o triângulo mineiro a maior intensidade. Nota-se

também que na região do triângulo mineiro é onde se localizam os focos com maior valor de FRP, sendo um indicativo que os maiores incêndios ocorreram nessa região.



**Figura 1. Distribuição espacial dos focos de calor**

Temporalmente, pode-se verificar pela figura 2 que a maioria dos incêndios ocorre após 150 dias do início do ano, ou seja, durante o período de estiagem, tendo maior destaque o mês de agosto.



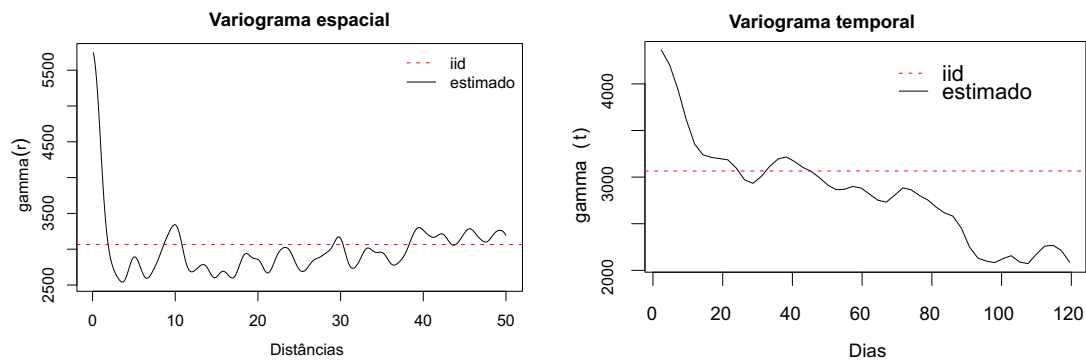
**Figura 2. Distribuição temporal dos focos de calor**

Considerando a análise com o variograma marcado, conforme o gráfico da figura 3, pode-se notar um comportamento de decrescimento da variabilidade das marcas com o distanciamento espacial e temporal dos pontos. Isso significa que para focos próximos tanto no espaço como para focos próximos no tempo, os valores de FRP são muito distintos, podendo significar que no caso de incêndios aqueles de grandes proporções ocorrem próximos de incêndios menores e à medida que as distâncias aumentam a variabilidade na biomassa queimada diminui.

No caso espacial, percebe-se que o comportamento tende a ficar aleatório com o aumento das distâncias. Isso pode ser devido ao fato da maioria das ocorrências de incêndios ser devido ao ser humano e não por causas naturais.

## Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da CAPES.



**Figura 3. Variogramas marcados**

## 4. Referências

### Referências

- Adler, D., Murdoch, D., and others (2018). *rgl: 3D Visualization Using OpenGL*. R package version 0.99.16.
- Bivand, R., Keitt, T., and Rowlingson, B. (2018). *rgdal: Bindings for the 'Geospatial' Data Abstraction Library*. R package version 1.3-6.
- Boulic, R. and Renault, O. (1991). 3d hierarchies for animation. In Magnenat-Thalmann, N. and Thalmann, D., editors, *New Trends in Animation and Visualization*. John Wiley & Sons Ltd.
- Costa, B. S. C. d. and Fonseca, E. L. d. (2017). The use of fire radiative power to estimate the biomass consumption coefficient for temperate grasslands in the atlantic forest biome. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(2):255–260.
- Cressie, N. (1992). Statistics for spatial data. *Terra Nova*, 4(5):613–617.
- Grolemund, G. and Wickham, H. (2011). Dates and times made easy with lubridate. *Journal of Statistical Software*, 40(3):1–25.
- Knuth, D. E. (1984). *The T<sub>E</sub>X Book*. Addison-Wesley, 15th edition.
- Pebesma, E. J. and Bivand, R. S. (2005). Classes and methods for spatial data in R. *R News*, 5(2):9–13.
- R Core Team (2018). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Roberts, G., Wooster, M. J., Perry, G. L., Drake, N., Rebelo, L.-M., and Dipotso, F. (2005). Retrieval of biomass combustion rates and totals from fire radiative power observations: Application to southern africa using geostationary seviri imagery. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 110(D21).
- Smith, A. and Jones, B. (1999). On the complexity of computing. In Smith-Jones, A. B., editor, *Advances in Computer Science*, pages 555–566. Publishing Press.
- Wand, M. (2015). *KernSmooth: Functions for Kernel Smoothing Supporting Wand Jones (1995)*. R package version 2.23-15.