

R. Ra'e Ga  
Curitiba, v.47, n.1. p.99-119, Jul/2020

DOI: 10.5380/raega  
eISSN:2177-2738



**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL,  
NO ANO DE 2016**

**SPATIAL-TEMPORAL ANALYSIS OF FIRES IN MATO GROSSO, BRAZIL, IN 2016**

Renata Spolti Leão<sup>1</sup>, Gustavo da Silva Ferreira<sup>2</sup>, Julia Celia Mercedes Strauch<sup>3,4</sup>

**Resumo**

O Programa Queimadas e Incêndios Florestais (INPE) dissemina os dados de focos de queimadas e de incêndios florestais detectados por satélites que operam na faixa das bandas termais e do infravermelho. Este trabalho teve por objetivo analisar a distribuição espaço-temporal das ocorrências destes eventos no estado de Mato Grosso, nos meses do ano de 2016, observando os municípios e as seguintes tipologias: biomas, terras indígenas, unidades de conservação e uso e ocupação do solo. Para isso foram efetuadas análises descritivas e espaciais de modo a explorar a variação da intensidade de ocorrência dos eventos na região de estudo. O resultado demonstrou que o bioma Amazônico foi o mais afetado. No período de seca (agosto, setembro e outubro), ocorreram mais eventos do que em todos os demais meses do ano, havendo evidência de um padrão de agregação de focos de queimadas e incêndios. Ressalta-se ainda que as terras indígenas tiveram 21,2% dos eventos, as unidades de conservação 2,67% e que na área de floresta ocorreram 39,9%. Este tipo de análise contribui para a tomada de decisão em ações de planejamento na alocação de recursos e de políticas públicas para a educação em relação ao manejo agrícola do fogo no Estado.

**Palavras chave:** Eventos pontuais, Kernel, Função k

**Abstract**

The Burning and Forest Fires Program (INPE) disseminates data on outbreaks of fires and forest fires detected by satellites operating in the thermal and infrared bands. This paper aimed to analyze the spatial-temporal distribution of the occurrences of these events in the state of Mato Grosso, in the months of the year 2016, taking on account the municipalities and the following typologies: biomes, indigenous lands, conservation units and land use and occupation. For this, descriptive and spatial analyzes were carried out to explore the variation in the intensity of occurrence of events in the study region. The result demonstrated that the Amazon biome was the most affected. In the dry season (August, September, and October), more events occurred than in all other months of the year, with evidence of a pattern of aggregation of outbreaks of fires and fires. The result also showed that the indigenous lands had 21.2% of the events, the conservation units 2.67% and that in the forest area, 39.9% occurred. This kind of analysis contributes to decision making in planning actions in the allocation of resources and public policies for education in relation to agricultural fire management in the State.

**Keywords:** Fire, Kernel, k Function

Recebido em: 04/04/2019

Aceito em: 21/05/2019

<sup>1</sup> Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE). Email: [rspolti@hotmail.com](mailto:rspolti@hotmail.com)

<sup>2</sup> Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE). Email: [gustavo.ferreira@ibge.gov.br](mailto:gustavo.ferreira@ibge.gov.br)

<sup>3</sup> Escola Nacional de Ciências Estatísticas (ENCE). Email: [julia.strauch@ibge.gov.br](mailto:julia.strauch@ibge.gov.br)

<sup>4</sup> Departamento de Análise Geoambiental, Instituto de Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense

## ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016

### 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a partir da década de 1970, quando ocorreu a expansão da fronteira agrícola nas Regiões Centro-Oeste e Norte, o fogo tornou-se um instrumento de manejo agrícola por ser uma prática acessível e eficaz (GONÇALVES *et al.*, 2012). Segundo Ramos e Mendes (1995), no Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais, denominado PREVFOGO, instituído pelo Decreto Federal no. 97.635 de 10 de abril 1989, distingue-se dois tipos de fogo: o incêndio florestal e a queimada. O incêndio florestal é aquele sem controle que incide sobre qualquer forma de vegetação, sendo provocado por processos naturais ou por ações antrópicas, enquanto a queimada decorre da prática florestal ou agropastoril utilizada de forma controlada, operando como um fator de produção.

Fogo causado por processos naturais é originado geralmente por descargas elétricas na atmosfera (MEDEIROS e FIEDLER, 2004). As ações antrópicas, sejam intencionais ou por negligência, são decorrentes de diversas práticas realizadas pelo homem, que variam desde um cigarro lançado à mata causando incêndio até o seu uso como prática agroflorestal. Na literatura, vários autores apontam o manejo agrícola do fogo como uma prática amplamente utilizada (ABREU e SOUZA, 2016; DIAZ *et al.*, 2002; VELHO, 2009), inserida no processo produtivo rural em diferentes culturas, visando a conversão do uso da terra (da floresta em pastagens e de pastagens em lavouras), o preparo para o plantio, o controle de pragas, a geração de estímulo para a rebrota da pastagem em áreas rurais de menor tecnificação e também para a expansão da fronteira agrícola (NEVES *et al.*, 2018).

Uma vez iniciado um incêndio, as condições meteorológicas, como elevadas temperaturas, períodos de estiagem, baixa umidade relativa do ar e vento, ajudam a espalhar as chamas contribuindo para ocorrência de extensas áreas queimadas, com a fauna e flora destruídas e, em muitos casos, acidentes e perda de benfeitorias (TORRES *et al.*, 2011). No contexto local causam o empobrecimento do solo, reduzem a penetração de água no subsolo e provocam a erosão (REDIN *et al.*, 2011). No contexto regional e global, promovem alterações na composição química da atmosfera, liberam gases de efeito estufa, causando também efeitos sobre a saúde das pessoas (FEARNSIDE, 2002; RODRIGUES *et al.*, 2010, MENDONÇA *et al.*, 2004). Entretanto, cabe

destacar também os efeitos ecológicos do fogo natural na fisionomia do bioma Cerrado que proporciona uma rápida rebrota após o fogo, atraindo herbívoros em busca de forragem, bem como a germinação de sementes neste bioma que necessitam do choque térmico do fogo para quebra de sua dormência vegetativa (NASCIMENTO, 2001; SANTANA *et al.*, 2019).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2017), desde 1987, vem desenvolvendo e aperfeiçoando metodologias e sistemas para efetuar o monitoramento de incêndios via imagens diárias de satélites. Atualmente, o Programa Queimadas e Incêndios Florestais efetua: i) o monitoramento operacional de focos de queimadas e de incêndios florestais detectados por satélites; e, ii) a previsão do risco de fogo da vegetação. Trata-se de um instrumento para o monitoramento ambiental cujos dados são disseminados diariamente no portal <http://www.inpe.br/queimadas>. Para obtenção destes dados, o INPE utiliza as imagens AVHRR/3 (*Advanced Very-High-Resolution Radiometer*) dos satélites polares americano do NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) e do programa europeu METOP (*Meteorological Operational satellite Programme*), MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*), AQUA (Água em latim) e VIIRS (*Visible Infrared Imaging Radiometer Suite*) e as imagens dos satélites geoestacionários, GOES (*Geostationary Operational Environmental Satellite*) e MSG (*Meteosat Second Generation*) que possuem sensores óticos operando na faixa das bandas termais e do infravermelho médio, entre 3,7  $\mu\text{m}$  e 4,1  $\mu\text{m}$ . Os satélites em órbita polar produzem pelo menos dois conjuntos de imagens por dia e os geoestacionários geram várias imagens por hora. As recepções são feitas nas estações de Cachoeira Paulista (SP) e de Cuiabá (MT), sendo processadas mais de 200 imagens por dia pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (INPE, 2017).

Cabe destacar que, para estes dados, a relação foco de calor e queimada não é obtida diretamente nas imagens de satélite e que há certa imprecisão na localização do foco. Um foco indica a existência de queimada ou incêndio em uma região representada por um elemento de resolução da imagem (*pixel*), que varia de 1 km x 1 km até 5 km x 4 km (INPE, 2017), isto significa que apesar de em um *pixel* haver um ou vários e incêndios distintos associados, a indicação será de

## ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016

um único foco. Se uma queimada for muito extensa, ela será detectada em alguns *pixels* vizinhos. De acordo com a metodologia do INPE (2017) a imprecisão na localização do foco está relacionada às condições que impedem ou prejudicam a detecção das queimadas, como por exemplo, fogo com menos de 30 m de extensão, fogo apenas no chão de uma floresta densa, sem afetar a copa das árvores e nuvens cobrindo a região. Ainda de acordo com o INPE (2017), para os pixels com resolução de 01 km até 6 km, trabalhos de validação indicam que o erro de localização dos focos de queimadas e de incêndios florestais na média é de aproximadamente 400 m, com erro padrão de aproximadamente 3 km e cerca de 80% dos focos estão em um raio de 1 km das coordenadas indicadas. Ressalta-se que detalhes precisos do que está queimando e quanto queimou ainda são informações que não são possíveis de se obter com os sensores atuais devido ao alto custo.

Diagnosticar qual o período, os locais que são mais frequentes a ocorrência de focos de queimadas e incêndios florestais durante o ano e sua distribuição em uma região é fundamental para a criação de políticas públicas de educação em relação ao fogo no manejo agropastoril (MARTAROLE *et al*, 2015; RIBEIRO *et al.*, 2015; ABREU e SOUZA, 2016). Estas informações também são relevantes para gestores tomarem decisões quanto ao planejamento de ações e alocações efetivas de recursos para o gerenciamento eficaz de queimadas e incêndios.

Mato Grosso tem sido um dos estados com os maiores índices de queimadas e desmatamentos no Brasil, colocando-o em evidência quanto à sua contribuição às mudanças regionais e globais do clima. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo analisar o comportamento espacial e temporal dos focos de queimadas incidentes no estado do Mato Grosso em 2016, identificando as áreas e os períodos de maior intensidade de possível ocorrência de incêndios, bem como possíveis relações com o uso e ocupação da terra. Para isso foram efetuadas análises descritivas e espaciais considerando as tipologias de biomas e o mapa de uso e ocupação da terra, os municípios, as aldeias indígenas e as unidades de conservação. Cabe destacar que segundo GOLDEN GATE WEATHER SERVICES (2016), o ano de 2015-2016 teve o fenômeno do *El Nino* que se iniciou no final do mês de maio de 2015 e se intensificou ao longo do ano de 2016, sendo o mais forte dos últimos 19 anos.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados neste trabalho dados sobre os focos de queimadas e incêndio registrados no estado de Mato Grosso. A análise foi executada em três etapas, conforme o esquema da Figura 1.

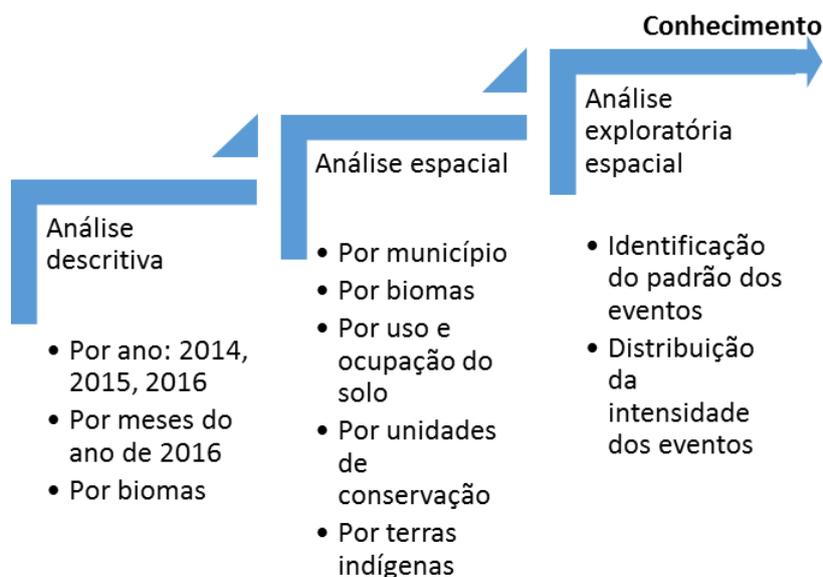


Figura 1 - Esquema das análises efetuadas.

## ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016

Na primeira etapa efetuou-se uma estatística descritiva dos focos de queimadas e incêndios florestais no ano, inclusive observando os dois anos anteriores de modo a averiguar se houve e de quanto foi a variação anual no número de ocorrências. Na segunda procedeu-se à análise da distribuição espacial dos dados de queimadas e incêndio empregando operações de junção espacial e efetuando contagem por tipologia de biomas, terras indígenas (TI), unidades de conservação ambiental e uso e cobertura da terra.

Na terceira etapa realizou-se uma análise espacial da distribuição dos eventos na área de estudo para todos os meses do ano de 2016. Nessa última análise, os focos de queimadas e incêndios florestais registrados no estado do Mato Grosso foram tratados como processos pontuais analisando-se os efeitos de primeira e segunda ordem nas intensidades de ocorrência. Segundo Bailey e Gatrell (1995), os efeitos de primeira ordem estão associados as variações na superfície média de ocorrências dos eventos sobre a região e os efeitos de segunda ordem estão associados com interações entre as ocorrências dos eventos. Os métodos empregados enfatizam a visualização gráfica dos dados realçando suas características na forma de mapas e gráficos de modo a identificar se o padrão do processo pontual é aleatório, regular ou de agregação espacial.

### 2.1. Dados e programas utilizados

Os dados obtidos no Portal do Programa de Monitoramento de Queimadas e Incêndios

Florestais do INPE são adquiridos em uma planilha contendo os seguintes dados: data e hora da imagem, nome do satélite, nome do estado, nome do município, nome do bioma, número de dias sem chuva, última precipitação, risco de fogo, latitude e longitude. O risco de fogo é calculado essencialmente pelo histórico da precipitação nos últimos 120 dias e as coordenadas utilizadas são referidas ao Sistema de Referência para América do Sul - Sirgas 2000. Como foram utilizadas técnicas de espacialização que requerem coordenadas métricas, todos os dados foram transformados para o Sistema de Projeção Cônica Conforme de Lambert para a América do Sul, com os seguintes parâmetros: meridiano central no meridiano de 55°30'W, e os paralelos de secância de 10°30'S e 13°30'S.

A pesquisa utilizou o mapa de uso e cobertura da terra do Mato Grosso em formato digital vetorial (*shape*), para a escala de referência de 1:250.000, elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esse mapa é resultado da interpretação de imagens de satélite de 2014 com resolução de 25m e 30m, com apoio de levantamentos de campo, complementados por informações estatísticas e textuais (IBGE, 2016). Ele apresenta três níveis de detalhamento, e nesse trabalho foi utilizada a tipologia mais geral (Nível I) e uma mais detalhada (Nível II), de uso e cobertura da terra (Quadro 1). A Figura 2 ilustra o mapa de uso e cobertura da terra no Nível II.

Quadro 1 - Níveis de descrição do mapa de uso e cobertura da terra.

Nível I	Nível II
<b>1 Áreas Antrópicas não Agrícolas</b>	1.1 Áreas Urbanizadas 1.2 Áreas de Mineração
<b>2 Áreas Antrópicas Agrícolas</b>	2.1 Culturas Temporárias 2.2 Culturas Permanentes 2.3 Pastagens 2.4 Silvicultura 2.5 Uso Não Identificado
<b>3 Áreas de Vegetação Natural</b>	3.1 Área Florestal 3.2 Área Campestre
<b>4 Águas</b>	4. Águas Continentais
<b>5 Outras áreas</b>	5. Áreas Descobertas

O estado de Mato Grosso apresenta em seu território três biomas: Amazônia, Cerrado e Pantanal, onde se encontram demarcadas terras indígenas e unidades de conservação. Mapas dos

biomas e das terras indígenas foram adquiridos no sítio do IBGE e das unidades de conservação ambiental foram adquiridos no sítio do Ministério do Meio Ambiente (Figura 3).

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016**

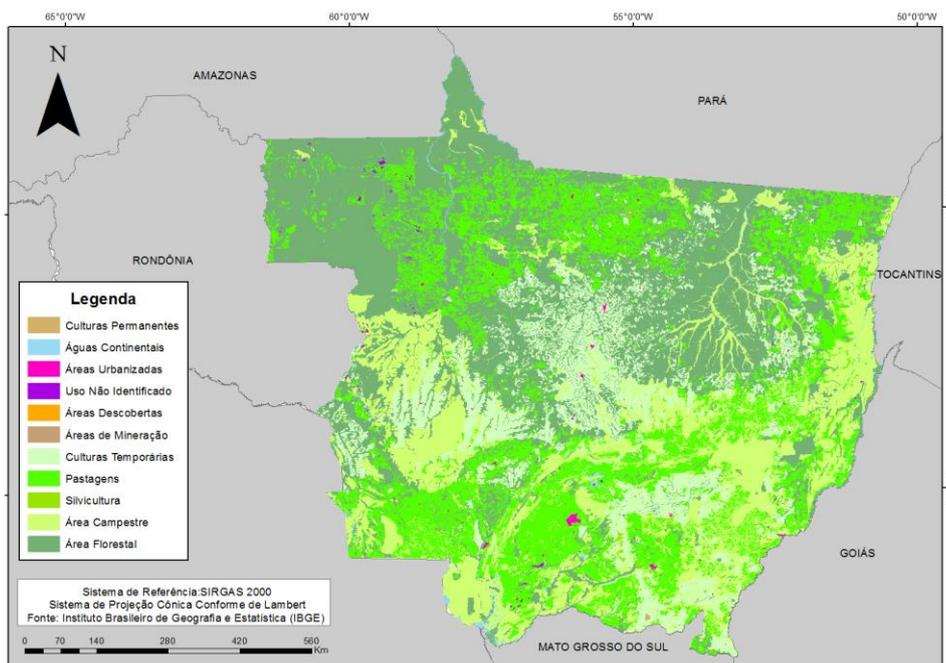


Figura 2 - Mapa de uso e cobertura da terra - tipologia no nível II. Fonte: IBGE (2016).

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados o programa ArcGIS versão sob licença acadêmica da Escola Nacional de Ciências Estatísticas (Ence/IBGE) e o software R *Development* (R Core Team, 2017) versão 3.4 empregando os seguintes pacotes e funções: (a) Pacote spatstat (BADDELEY *et al*, 2015): funções

*quadrat.test* e *intensity* para calcular os *quadrats* e estimar a intensidades dos eventos e o padrão, respectivamente; e (b) Pacote *splancs* (ROWLINGSON e DIGGLE, 2017): funções *kernel2d* para calcular a intensidade pelo método *kernel* e *lhat* para avaliar a intensidade de segunda ordem pela função K de Ripley.

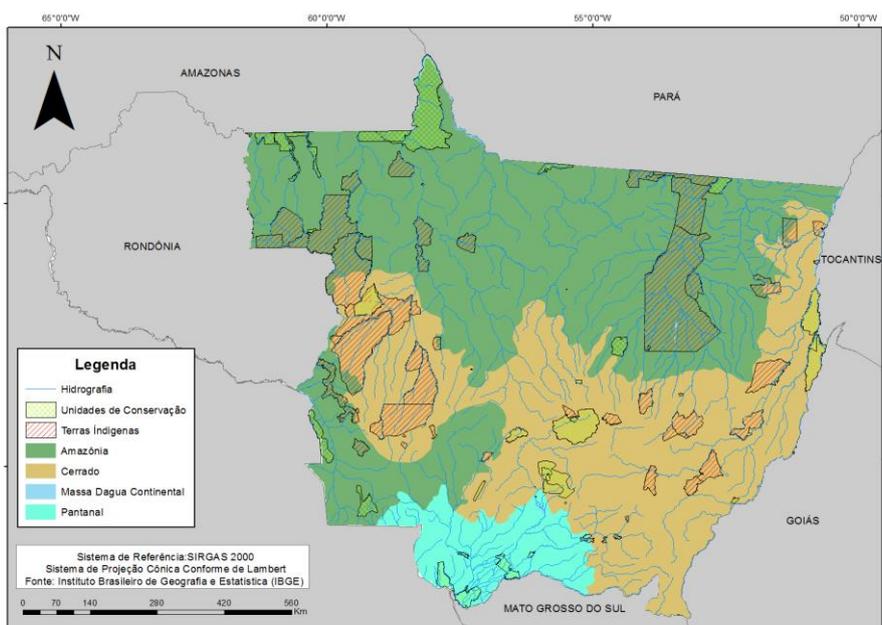


Figura 3 - Mapa de biomas contendo as terras indígenas e unidades de conservação. Fonte: IBGE (2016) e MMA (2017).

## ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016

### 2.2. Métodos empregados na análise exploratória espacial

Na análise exploratória espacial, os focos de queimadas e incêndios florestais foram tratados como um conjunto de pontos cujas localizações são eventos aleatórios e discretos sobre uma região R. Sua representação em mapa é uma realização dentre inúmeras possíveis de um processo estocástico sobre R (DRUCK *et al.*, 2004). Desta forma, de acordo com Bailey e Gatrell (1995), o padrão aleatório é associado à ocorrência de um Processo de Poisson sobre R e sua caracterização pode ser descrita em termos de efeitos de primeira ordem e de segunda ordem.

Os efeitos de primeira ordem estão associados com variações na superfície média de ocorrência dos eventos sobre a região R e são analisados em termos da função intensidade  $\lambda(s)$ , isto é, em termos do número de eventos por unidade de área no ponto s, definido por (1) (CRESSIE, 1993; CÂMARA e CARVALHO, 2004):

$$\lambda(s) = \lim_{\text{Área}_{ds} \rightarrow 0} \left\{ \frac{E[Y(ds)]}{\text{Área}_{ds}} \right\} \quad (1)$$

Onde: ds representa uma pequena região em torno do ponto s; e

$E[Y(ds)]$  valor esperado de eventos na região ds;

Os efeitos de segunda ordem do processo pontual estão associados com interações entre eventos envolvendo o relacionamento de pares de áreas infinitesimais e são definidos da seguinte forma (CRESSIE, 1993; CÂMARA e CARVALHO, 2004):

$$\gamma(s_i, s_j) = \lim_{\text{Área}_{ds_i}, \text{Área}_{ds_j} \rightarrow 0} \left\{ \frac{E[Y(ds_i)Y(ds_j)]}{\text{Área}_{ds_i} \text{Área}_{ds_j}} \right\} \quad (2)$$

Um método para avaliar a intensidade de ocorrência dos eventos em uma região considerando efeitos de primeira ordem é o *quadrats* (CRESSIE, 1993). Trata-se de um método que divide a região R em uma grade regular de células quadradas de modo a contabilizar o número de ocorrências em cada célula (CRESSIE, 1993). Em um padrão aleatório, o número médio de pontos por célula será aproximadamente igual a variância de pontos por células. O teste estatístico faz uso de uma estatística qui-quadrado de aderência envolvendo a razão entre a variância e a média dada pela expressão em (3),

que tem como hipótese nula um processo de Poisson com padrão aleatório de eventos:

$$X^2 = \frac{(m-1)\sigma^2}{\bar{x}} \quad (3)$$

Onde: m representa o número de quadrats desejado;

$\bar{x}$  e  $\sigma^2$  são a média e a variância do número de pontos nos quadrats, respectivamente. Sob a hipótese nula, a estatística  $X^2$  possui distribuição assintótica qui-quadrado com (m-1) graus de liberdade.

Visando identificar o padrão do processo pontual é calculado o Índice de Tamanho de Cluster (ICS) dado pela expressão (4) (BAYLEY e GATRELL, 1995). Um ICS menor que 0 indica regularidade espacial, se próximo de zero indica um padrão aleatório e se for maior que zero um padrão de agregação espacial dos eventos.

$$ICS = \frac{\sigma^2}{\bar{x}} - 1 \quad (4)$$

Para explorar a variação da intensidade de ocorrência de eventos na região de estudo é aplicado o suavizador *kernel*. Trata-se de um método que oferece facilidade de uso e interpretação. O método ajusta uma função bidimensional sobre os eventos considerados, formando uma superfície cujo valor será proporcional à intensidade de eventos por unidade de área. Esta função ( $\hat{\lambda}(s)$ ) realiza uma contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse, assumindo a forma geral dada pela expressão (5) (BAYLEY e GATRELL, 1995):

$$\hat{\lambda}_\tau(s) = \frac{1}{\delta_\tau(s)} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\tau^2} k\left(\frac{s-s_i}{\tau}\right) \quad (5)$$

Onde:  $k(\cdot)$  é um *Kernel* de uma função de densidade de probabilidade apropriada, no caso, uma função quártica, simétrica em torno da origem que pondera mais os pontos mais próximos e o seu decréscimo é gradual; e

$\tau > 0$  é o raio de influência conhecido como amplitude de banda e determina o grau de suavização de  $\hat{\lambda}(s)$ . O raio de influência define a área centrada no ponto de estimação s que indica quantos eventos contribuem para a estimativa da função intensidade  $\lambda(s)$ . Um raio muito pequeno

## ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016

gera uma superfície pouco suave; enquanto um raio muito grande gera uma superfície muito suavizada. No trabalho foi usado um raio de 50km.

Para analisar os efeitos de segunda ordem, isto é, associados com interações entre eventos, são utilizados a Função K de Ripley, a respectiva função L e os envelopes de confiança baseados na técnica de Monte Carlo (RIPLEY, 1977). A Função K de Ripley é uma ferramenta exploratória para comparar a estimativa empírica e a resultante de um processo espacial de padrão de pontos aleatórios. Essa função é dada pela expressão (6):

$$\hat{K}(h) = \frac{1}{\lambda^2 Area_R} \sum_{i \neq j} \sum (I_{[d_{ij} \leq h]}(d_{ij})), \quad h > 0 \quad (6)$$

Onde:  $\lambda$  é a intensidade ou número médio de eventos por unidade de área;

$d_{ij}$  representa a distância do i-ésimo ao j-ésimo eventos observados;

$h$  é a distância calculada; e

$I(.)$  é uma função indicadora.

Como o gráfico da função K não tem uma fácil interpretação, a alternativa é compará-la com a função K proposta por Ripley (1977). Esta função permite verificar se o processo pontual é completamente aleatório (*Complete Spatial Randomness - CSR*). Desta forma, para analisar os resultados é então plotado a função  $\hat{L}(h)$  definida como (BAYLEY e GATRELL, 1995):

$$\hat{L}(h) = \sqrt{\frac{K(h)}{\pi}} - h \quad (7)$$

Para processos pontuais com padrão espacial de agregação, espera-se que a função definida em (7) assuma valores positivos, isto é,  $\hat{L}(h) > 0$ . Por outro lado, sob um padrão de regularidade espacial, espera-se que  $\hat{L}(h) < 0$ , sobretudo para distâncias  $h$  pequenas. Valores de  $\hat{L}(h)$  próximos de zero indicam um padrão aleatório de ocorrência de eventos no espaço.

Para analisar a significância dos resultados é comparado o gráfico da função

empírica  $\hat{L}(h)$  com a função teórica  $L(h)$ , sob a hipótese de que processo pontual é completamente aleatório (CSR), utilizando a abordagem baseada em envelopes de confiança. Estes envelopes são obtidos a partir de  $m$  independentes simulações de  $n$  eventos em R sob um modelo de completa aleatoriedade espacial, a partir das seguintes expressões (BAYLEY e GATRELL, 1995):

$$Sup(h) = \max_{i=1, \dots, m} \{\hat{L}_i(h)\} \quad (8)$$

$$Inf(h) = \min_{i=1, \dots, m} \{\hat{L}_i(h)\} \quad (9)$$

De acordo com Bayley e Gatrell (1995), na interpretação deve-se considerar que em caso dos valores da função  $\hat{L}(h)$  do processo pontual observado estejam acima do limite superior, têm-se evidências de agregação espacial; ou que no caso dos valores da função  $\hat{L}(h)$  do processo pontual observado estejam abaixo do limite inferior, especialmente para valores pequenos de  $h$ , têm-se evidências de regularidade espacial.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Análises Descritiva e Espacial

Os dados adquiridos para o ano de 2016 foram em nível de Brasil. Isto possibilita analisar o país por região e unidades da federação. Observa-se, portanto, que nesse ano a Região Norte concentrou o maior número de queimadas e incêndios, registrando 42% dos eventos, seguida das regiões Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul registrando 25,0%, 24,4%, 5,9% e 3,1%, respectivamente. No ano de 2016, Mato Grosso foi o estado com maior número de eventos (16,39%), seguido do Pará (14,26%), Maranhão (12,52%) e Tocantins (10,12%).

Ainda no Portal do Programa de Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais do INPE, foram analisados os anos anteriores com finalidade de avaliar a evolução anual. Isto posto, observa-se que no estado de Mato Grosso, de 2014 para 2015, houve um aumento de 89% e de 2015 para 2016 um acréscimo de 9%, conforme descrito na Tabela 1.

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016**

Tabela 1 - Focos de queimadas e incêndios em 2014, 2015 e 2016, em Mato Grosso.

Estatísticas	2014	2015	2016
<b>Total anual</b>	167.503	316.743	345.757
<b>Média</b>	13.958,5	26.395,2	28.813,0
<b>Desvio padrão</b>	17.827,8	36.276,2	36.906,3
<b>Variação anual</b>		89%	9%

Segundo Marcuzzo *et al.* (2013), o estado de Mato Grosso tem padrões climáticos sazonais apresentando duas estações com base nas chuvas: estação úmida de novembro a abril e estação seca de maio a setembro. Os eventos de queimadas e incêndios florestais ocorreram no estado de Mato Grosso em todos os meses pesquisados conforme

ilustrado no gráfico da Figura 4. Nessa figura, o período crítico com maior número de eventos registrados nos anos de 2014, 2015 e 2016 ocorreu nos meses de seca, isto é, julho, agosto, setembro e outubro, com destaques para os meses de agosto e setembro.

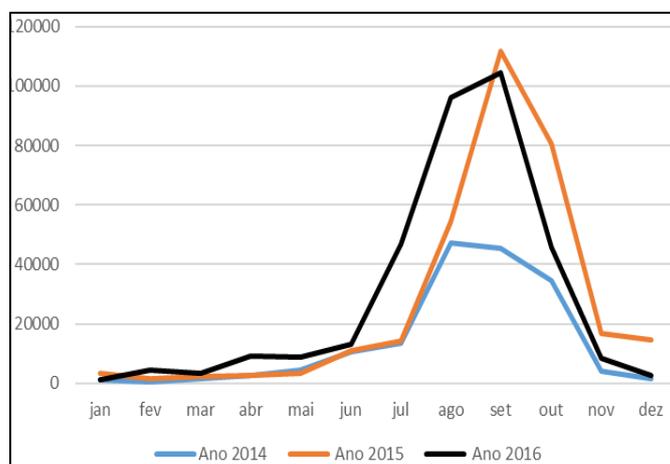


Figura 4. Distribuição mensal dos eventos em 2014, 2015 e 2016 em Mato Grosso.

Observando-se na Figura 5 a distribuição espacial mensal dos eventos de focos de queimadas e incêndios florestais, em 2016, verifica-se que mesmo nos meses de seca há áreas em que não ocorrem eventos. Estas áreas se encontram em terras indígenas, principalmente dos grupos étnicos Cinta Larga, Enauwen-Naw e Nambikwara a oeste de Mato Grosso e dos grupos

étnicos Mentuktire e Suy no Parque Indígena do Xingu, localizado a leste do Estado, conforme destacado no mapa da Figura 5, nos meses de abril e setembro, por círculos. Todavia no mês de setembro, mesmo nessas áreas, ocorrem eventos.

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016**

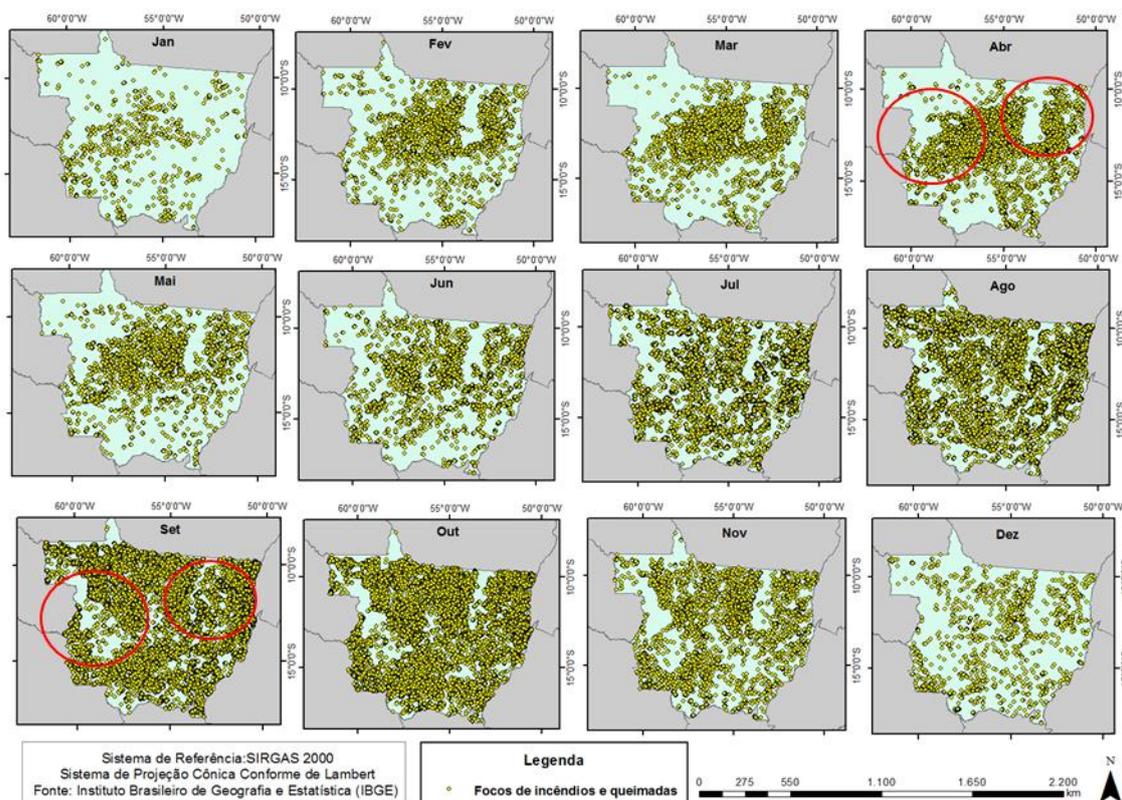


Figura 5 - Distribuição de focos por meses (2016) em Mato Grosso. Fonte de dados de Queimadas e Incêndios: Portal do Programa de Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais do INPE.

Na Tabela 2 são apresentadas estatísticas descritivas sobre o valor da precipitação acumulada no dia até o momento da detecção do foco de queimadas e de incêndios florestais, onde

se observa que os meses com os menores valores ocorrem nos meses de seca, em junho, julho e agosto.

Tabela 2 - Precipitação acumulada no dia até o momento da detecção do foco de queimadas e de incêndios florestais por mês.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Mínimo</b>	10,7	8,8	0	0	0	0	0	0	0	1	2,1	0
<b>Máximo</b>	685	339,1	343,5	171,6	92,4	88,1	23,3	99,1	133	167,4	316,4	220,4
$\bar{x}$	134,3	96,2	89,9	37,8	8,6	5,7	0,1	4,3	17,4	42,8	77,4	51,9
$\sigma$	79,1	53,1	71,1	29,8	10,7	9,3	0,5	10,6	19,2	27,5	46,3	43,7

Onde:  $\bar{x}$  é a média;  $\sigma$  é o desvio padrão.

A Tabela 3 apresenta uma síntese do número de dias sem chuva até a detecção do foco de queimadas e de incêndios florestais. Nessa tabela verifica-se que o máximo de dias sem chuva ocorreu em agosto. Observando

este dado na base de dados verifica-se que ele ocorre nos municípios a nordeste do Estado, principalmente em Luciara, Santa Terezinha, Porto Alegre do Norte e Canabrava do Norte.

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL,  
NO ANO DE 2016**

Tabela 3 – Número de dias sem chuva até a detecção do foco.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
<b>Mínimo</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Máximo</b>	7	6	31	35	36	57	88	114	98	13	5	4
$\bar{x}$	1,3	0,9	0,4	3,7	7,5	13,1	38,2	40,4	5,5	1,7	0,9	0,3
$\sigma$	1,5	1,1	1,4	3,9	6,2	10,1	16,7	29,6	6,4	1,7	1,2	0,7

Onde:  $\bar{x}$  é a média;  $\sigma$  é o desvio padrão.

Analisando a ocorrência mensal dos focos de queimadas e incêndios florestais por município, identificam-se na Tabela 4 os cinco primeiros municípios que apresentaram mais ocorrências dos eventos por mês. Observa-se ainda nessa tabela que em todos os meses os cinco municípios que acumularam mais eventos, descritos na Tabela 5 por Perc 5,

representam um percentual sobre o total entre 21% e 27%. Cabe destacar ainda que os dez primeiros municípios com mais eventos (Perc 10) representam entre 33% e 49% do total de eventos no mês e os quinze primeiros municípios com mais focos de incêndios (Perc 15) contém entre 43% e 58% dos eventos no Estado por mês.

Tabela 4 - Municípios de Mato Grosso com maiores porcentagens de focos de queimadas e incêndios florestais em 2016.

Jan		Fev		Mar	
Município	%	Município	%	Município	%
Vila Bela da Santíssima Trindade	7,09	Marcelândia	8,31	Nova Maringá	5,92
Cáceres	5,26	Nova Ubiratã	4,82	Nova Ubiratã	5,51
Brasnorte	4,02	Feliz Natal	4,43	Feliz Natal	4,04
Colniza	3,94	Paranatinga	3,92	Gaúcha do Norte	3,69
Poconé	3,87	Brasnorte	3,51	Querência	3,26
<b>*Percentual 5</b>	24,18		24,98		22,42
<b>* Percentual 10</b>	41,05		41,51		39,86
<b>* Percentual 15</b>	52,37		52,97		51,23
Abr		Mai		Jun	
Tangará da Serra	4,97	Feliz natal	6,22	Gaúcha do Norte	6,32
Brasnorte	4,70	Tangará da serra	5,11	Tangará da Serra	5,71
Nova Maringá	4,49	Cláudia	4,67	Feliz Natal	4,84
Querência	3,96	Nova Ubiratã	4,54	São Félix do Araguaia	4,36
Gaúcha do norte	3,58	Paranatinga	4,20	Paranatinga	4,34
<b>*Percentual 5</b>	21,69		24,74		25,57
<b>* Percentual 10</b>	39,80		44,43		45,51
<b>* Percentual 15</b>	51,38		56,00		55,91
Jul		Ago		Set	
Gaúcha do Norte	10,49	Colniza	7,73	Colniza	10,10
Alto Boa Vista	4,34	Gaúcha do Norte	7,67	Gaúcha do Norte	4,26
São Félix do Araguaia	3,70	Nova Nazaré	6,58	Cocalinho	4,14

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL,  
NO ANO DE 2016**

Paranatinga	3,30	São Félix do Araguaia	5,78	Barra do Garças	3,35
Tangará da Serra	3,30	Ribeirão Cascalheira	5,18	Luciara	3,18
<b>*Percentual 5</b>	25,13		32,95		25,03
<b>* Percentual 10</b>	42,01		49,04		42,24
<b>* Percentual 15</b>	51,86		58,94		52,22
<b>Out</b>		<b>Nov</b>		<b>Dez</b>	
Cocalinho	5,99	Feliz natal	4,17	Cáceres	8,14
Novo Santo Antônio	3,31	Marcelândia	4,01	Poconé	6,03
Aripuanã	3,20	Brasnorte	3,71	Marcelândia	4,75
Colniza	3,09	Cáceres	3,64	Feliz natal	4,64
São Félix do Araguaia	2,90	Vila Bela da Santíssima Trindade	3,15	Colniza	4,03
<b>*Percentual 5</b>	18,48		18,69		27,60
<b>* Percentual 10</b>	33,41		34,20		46,05
<b>* Percentual 15</b>	43,66		44,24		57,44

Onde: \*Percentual 5= % do total de eventos dos 5 primeiros municípios com mais eventos; \* Percentual 10= % do total de eventos dos 10 primeiros municípios com mais eventos; \* Percentual 15=C= % do total de eventos dos 15 primeiros municípios com mais eventos.

Analisando-se ainda os municípios por ano, observa-se que os municípios que mais tiveram focos de queimadas e incêndios no ano de 2016 detiveram 21% dos focos, sendo eles Colniza com 6% (20.810), Gaúcha

do Norte com 5,7% (19.597), São Feliz do Araguaia com 3,8% (13.158), Ribeirão Cascalheira com 2,7% (9.797) e Cocalinho com 2,7%(9.394), que estão representados na Figura 6.

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016**

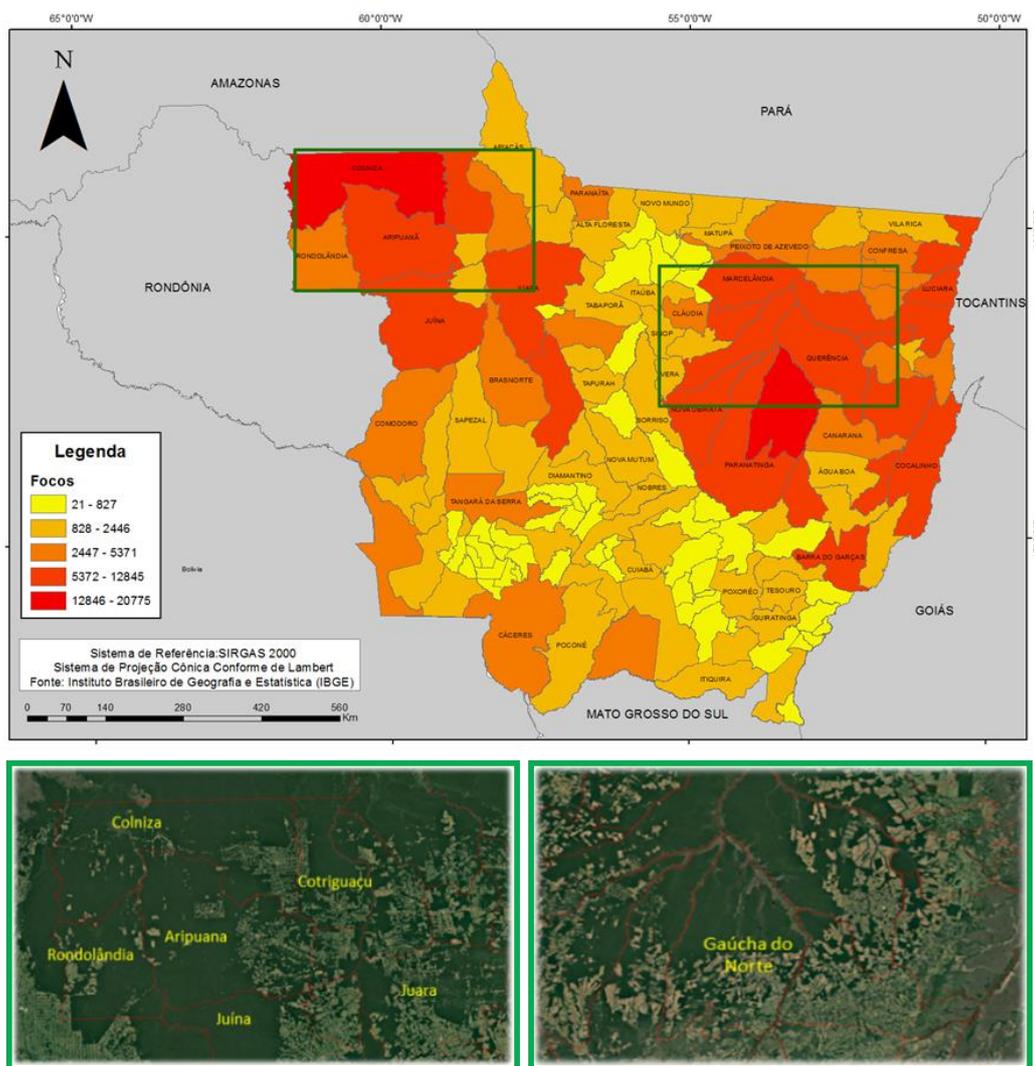


Figura 6 - Municípios com eventos em 2016: destaque para Colniza e Gaúcha do Norte.

O município de Colniza se encontra na fronteira com o estado de Amazonas e observa-se no destaque da Figura 6 a expansão da fronteira agrícola no noroeste do estado. O município de Gaúcha do Norte se encontra no centro do estado e faz fronteira com a unidade de conservação do Parque Indígena do Xingu onde também há uma forte pressão para expansão da fronteira agrícola.

Analisando-se por biomas, observa-se na Tabela 5 que o bioma Amazônico abrange 53,4% da área do estado, sendo também onde ocorre a maioria dos focos (58,4%), mesmo quando se pondera pelo tamanho da área (0,44 focos/km<sup>2</sup>). Cerrado e Pantanal apresentaram 38,9% e 2,7% dos focos, respectivamente. Conforme o gráfico da Figura 7, no Cerrado o maior número de eventos ocorre no mês de agosto enquanto na Amazônia no mês de setembro.

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016**

Tabela 5 - Focos por biomas de Mato Grosso em 2016.

Bioma	Área (km <sup>2</sup> )	% área	Focos	% de focos	Foco/área do bioma
Amazônia	482.000,6	53,4	202.018	58,43	0,44
Cerrado	358.861,6	39,8	134.470	38,89	0,39
Pantanal	610.75,3	6,8	9.269	2,68	0,17
Soma	9.019.37,5	100,00	345.757	100	1

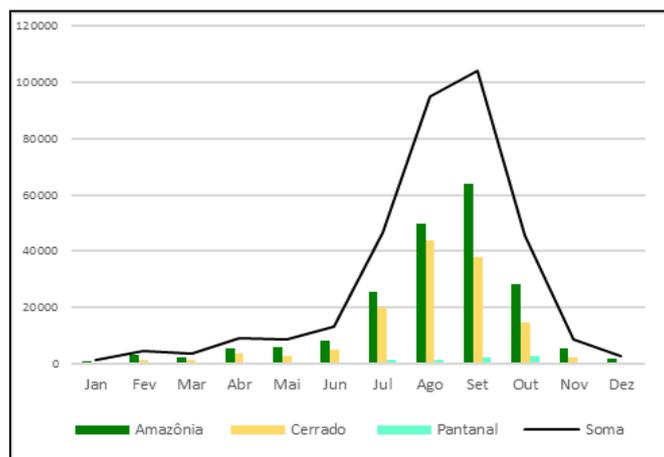


Figura 7 - Focos por bioma nos meses de 2016.

O estado tem 94 áreas de terras indígenas totalizando aproximadamente 120.200 km<sup>2</sup> que representam 13,3% da sua área, e 47 unidades de conservação que totalizam 43.733 km<sup>2</sup> e representam 4,8% da área. Observou-se que nas áreas de terras indígenas ocorreram 21,2% dos focos (0,6 focos por km<sup>2</sup>) e nas unidades de conservação apenas 2,7% (0,2 focos por km<sup>2</sup>), com maior concentração nos meses de seca. Analisando os focos de queimadas e incêndios por tipologia de uso e cobertura da terra, observou-se que 45,2% dos eventos no Nível I ocorrem em áreas de vegetação natural, 33,0% em áreas antrópicas agrícolas e 21,2% em áreas alagadas descritas como águas continentais pelo IBGE (2016).

Observando os eventos no mapa de uso e cobertura da terra no Nível II, verifica-se que 39,9% ocorrem em área florestal e 26,3% em área campestre, principalmente nos meses de agosto, setembro e outubro. A maior ocorrência em áreas antrópicas agrícolas ocorre no mesmo período em áreas

de pastagens (23,0%) seguido das áreas de culturas temporárias (9,2%).

### 3.2. Análise exploratória espacial

Embora nos mapas de eventos mensais ilustrados na Figura 5, o padrão de distribuição espacial dos focos de queimada e incêndios florestais não pareça aleatório, essa hipótese deve ser verificada por um teste estatístico. Deste modo, antes da análise espacial dos eventos, verificou-se a existência de evidências de que o processo pontual não foi gerado aleatoriamente. Assim, particionando-se a região de estudo em  $n$  regiões de mesma área (*quadrats*) e calculando a média ( $\bar{x}$ ) e a variância ( $s^2$ ) das contagens em cada *quadrat* calculou-se a estatística  $X^2$  de forma a testar as seguintes hipóteses:

- $H_0$ : o processo pontual segue um modelo completamente aleatório no espaço; e
- $H_1$ : o processo pontual não segue um modelo completamente aleatório no espaço.

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL,  
NO ANO DE 2016**

A região foi particionada para todos os meses em 1.225 *quadrats* (40km x 40km) conforme ilustrado na Figura 8. A escolha do tamanho dos *quadrats* foi efetuada de modo que estes não fossem muito pequenos, uma vez que os *pixels* usados para o registro dos focos variam de 1 x 1km até 5 x 4km. Com uma área estadual de aproximadamente 903.202km<sup>2</sup> tem-se aproximadamente 569 *quadrats*. Apesar da imagem da Figura 8 apresentar uma baixa resolução, uma vez que foi gerada no R, observou-se em todos os meses a concentração de focos de queimadas

e incêndios florestais em áreas distintas. Observou-se ainda que as maiores médias e desvios padrão ocorrem no período de seca, nos meses de agosto e setembro.

Analisando os Índices de Tamanho de Cluster (ICS), conforme descrito na Tabela 6, observou-se que há evidências de um padrão de agregação em todos os meses. Os valores de  $X^2$  indicam a existência de evidência significativa de um padrão de agregação nos focos de queimadas e incêndios florestais para todos os meses (p-valor<0,001).

Tabela 6 - Estatística  $X^2$ .

Meses	ICS	$X^2$	Meses	ICS	$X^2$
Jan	9,9	3080,5	Jul	422,4	121.089,5
Fev	36,8	10806,8	Ago	1.062,3	304.110,1
Mar	23,9	7069,6	Set	782,7	224.122,4
Abr	64,5	18739,6	Out	214,1	61.525,6
Mai	82,7	23984,5	Nov	46,2	13.479,1
Jun	126,3	36379,2	Dez	25,1	7.518,6

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016**

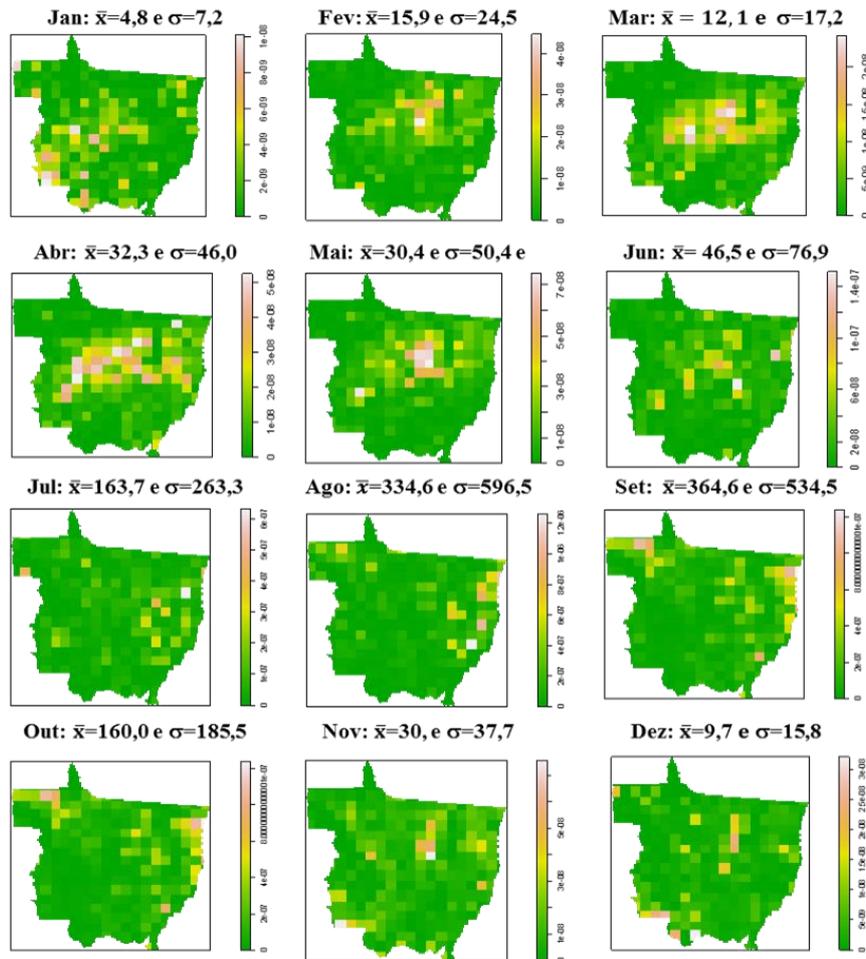


Figura 8 - Intensidade estimada por *quadrats* de 40km x 40km para os eventos de focos de queimadas e incêndios florestais em 2016 em Mato Grosso.

Pressupondo inicialmente que os focos de incêndios e queimadas ocorrem em determinado local devido as características ali existentes e desta forma assumindo efeitos de primeira ordem, é empregado o suavizador Kernel quártico para estimar a intensidade  $\lambda(s)$  em um ponto  $s$ . O suavizador *kernel* quártico possibilita visualizar

espacialmente o padrão de densidade dos eventos convertendo estes em uma superfície contínua através de um grau de suavização dada pela amplitude de banda que no caso utilizou-se um  $\tau$  ótimo de 800m de forma a minimizar o Erro Quadrático Médio Integrado. A Figura 9 apresenta os mapas obtidos para cada mês, efetuando uma análise espaço temporal dos eventos.

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016**

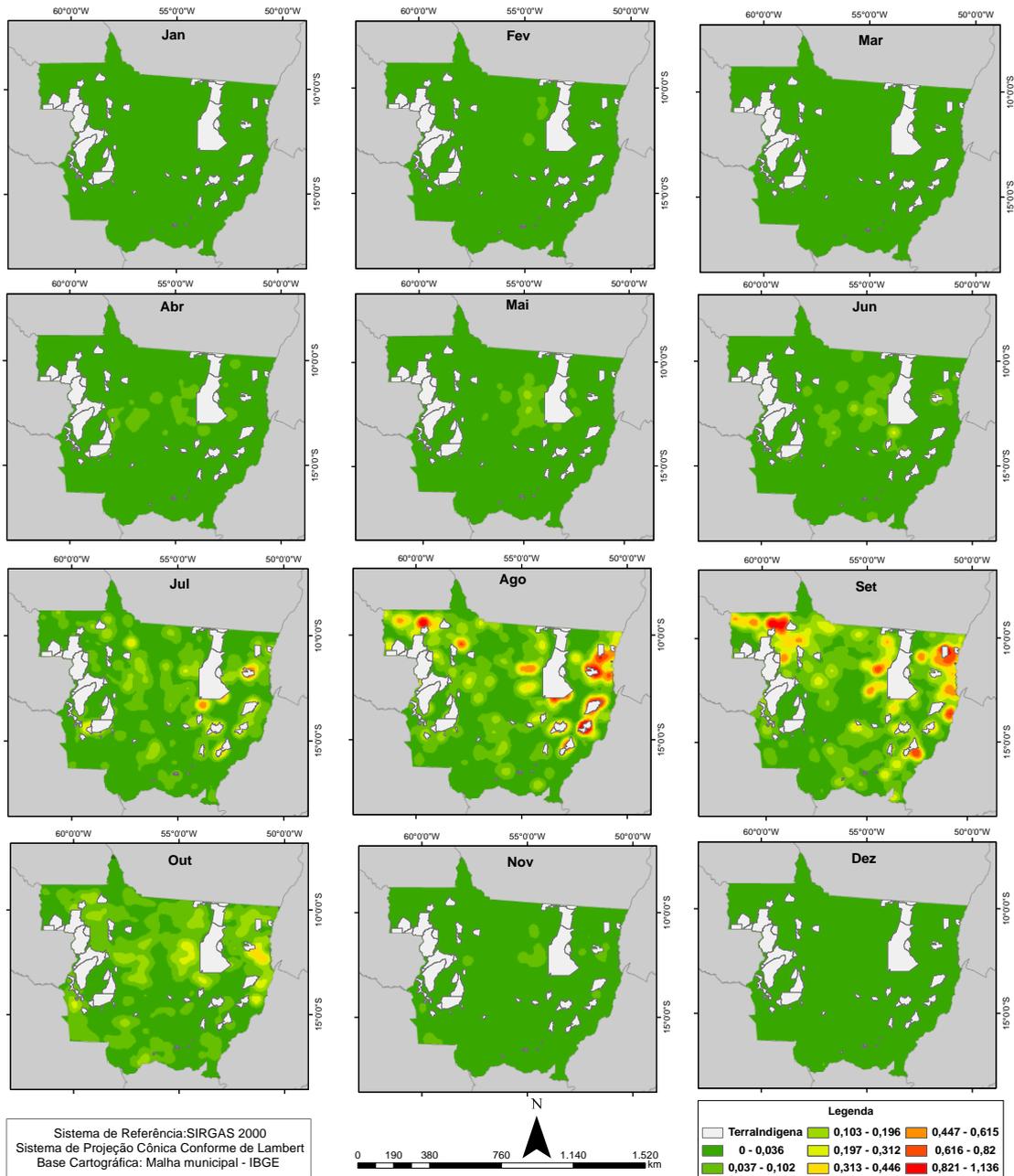


Figura 9 - Distribuição espacial de focos de queimadas e incêndios florestais em 2016 no Mato Grosso.

Para efeito de comparação temporal, todos os mapas da Figura 9 foram elaborados com a mesma atribuição de classes. Para isto utilizou o método de quebras naturais aplicado ao mês de setembro que tem a maior quantidade de focos no estado. Desta forma observam-se na Figura 9, as classes que apresentam maior concentração por mês estão representadas em tons de vermelho e variando pelo amarelo e verde, as classes que

indicam uma concentração menor de eventos. Nessa Figura observa-se que nos meses de abril, maio, junho e novembro os agrupamentos de focos de queimadas e incêndios ocorrem no entorno do Parque Indígena do Xingu e que nos meses de julho, agosto, setembro ocorrem inclusive nesse território.

Com o objetivo de analisar os efeitos de segunda ordem que envolvem a interação

### ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016

entre os eventos de focos de queimadas e incêndios florestais foi usada a função K de Ripley transformada em função L empregando  $h = 50.000\text{m}$ , incremento de  $5.000\text{m}$  e 99 simulações resultando nos gráficos da Figura 10 para todos os meses de

2016. Os valores positivos da curva  $\hat{L}(h)$  confirmam mais uma vez indícios à formação de *cluster* dos eventos de focos de queimadas e incêndios florestais (Figura 10).

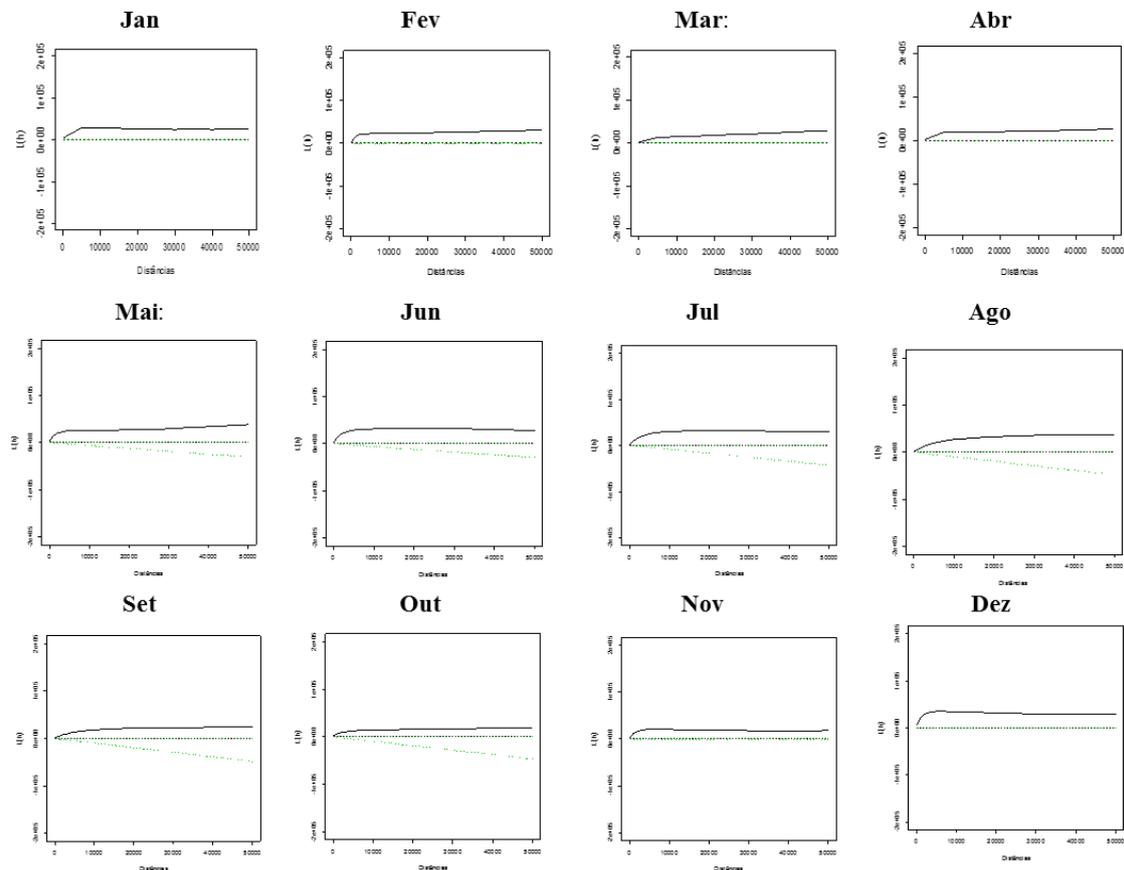


Figura 10 - Envelopes de confiança  $(1-\alpha) = 98\%$  de  $\hat{L}(h)$ .

Observa-se nos gráficos da Figura 9 que apesar de estreitos os envelopes de 98% de confiança, principalmente nos meses de janeiro, fevereiro, março e abril, a função  $\hat{L}(h)$  manteve-se acima do envelope de simulação superior para todos os meses indicando evidências significativas de um padrão de agregação, podendo esta agregação ser causada por interação entre focos.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os efeitos de segunda ordem analisados com a função K de Ripley e sua transformada  $\hat{L}(h)$ , empregando envelopes

de confiança de 98%, mostraram que há fortes evidências de que o padrão do processo de queimadas e incêndios florestais, em todos os meses, em Mato Grosso, seja de agregação. Segundo alguns autores (CÂMARA e CARVALHO, 2004; PEREIRA *et al.*, 2013; GUO *et al.*, 2017) quando há indícios de que a distribuição espacial dos eventos dos focos de queimadas e incêndios difere da aleatoriedade, se faz necessário uma análise desses eventos.

Nesse estudo o padrão de agregação dos eventos de queimadas e incêndios florestais, assim como a ocorrência representativa em períodos de maior

## ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016

umidade, sugere que as ações antrópicas são as principais responsáveis pelos mesmos. Entretanto, fatores climáticos como o período de estiagem, também podem contribuir de forma importante para o aumento do número de focos de calor, fato este corroborado pela relação positiva entre os dias sem chuva e o número de focos, especialmente para os meses mais secos do ano.

Todavia cabe destacar ainda que embora os resultados desta análise indiquem possíveis aspectos da distribuição espacial e temporal dos eventos de focos de queimadas e incêndios, seria importante confrontá-los com dados de área queimada, uma vez que os eventos são indicadores, não representando, necessariamente, uma queimada ou um incêndio (INPE, 2017). Isto possibilitaria conhecer a extensão e localização das áreas efetivamente queimadas.

O estado do Mato Grosso apresenta a porção norte de seu território ocupada pela Amazônia Legal, figurando entre os estados brasileiros que apresentam as maiores taxas de desmatamento no Brasil. No ano de 2015, apresentou um aumento de 89,9% na taxa de desmatamento no período de um ano, deixando o estado na vice-liderança dentre as demais federações que compõem a região Centro-Oeste. Segundo o INPE (2016), em 2015, foram desmatados no estado 1.508 Km<sup>2</sup>.

Segundo Aragão (2009), na Amazônia Legal, o fogo é a forma mais popular e usualmente empregada na conversão do uso alternativo da terra. De acordo com Castro (2005) esse processo consiste na conversão das florestas em áreas pastagens ou outros tipos de uso da terra, como por exemplo, a expansão da produção agrícola da soja, milho e outras culturas adequadas ao clima e ao solo da região.

A análise exploratória de focos de queimadas e incêndios florestais no estado de Mato Grosso em 2016 permitiu verificar que os municípios com maior número de eventos são Colniza e Gaúcha do Norte. Nesses

municípios há evidências de uma forte pressão para abertura de novas áreas de ocupação uma vez que o primeiro, fronteiro ao estado de Amazonas, tem grande parte do seu território com vegetação natural e nas imagens de *Google Earth* observa-se a abertura de áreas para novas ocupações e o segundo tem metade de seu território pertencente ao Parque Indígena do Xingu. Cabe ressaltar que desde 2008, os municípios de Colniza, Gaúcha do Norte e São Feliz do Araguaia compõem a lista dos Municípios Prioritários da Amazônia para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento neste bioma instituído pelo Decreto nº 6.321/2007. Atualmente, esta lista inclui 39 municípios. Já o município de Cocalinho, que ocupa posição de destaque neste estudo quanto ao número de focos de calor, compõe a lista dos municípios prioritários do Cerrado instituída em 2012 (Portaria nº 97/2012) (MMA, 2017).

Outra questão neste trabalho é que foi realizada uma análise estadual, entretanto para uma tomada de decisão em ações de planejamento na alocação de recursos e de políticas públicas para a educação em relação ao manejo mais efetivas, a análise mais adequada seria em nível de microrregião ou município. Entretanto para isso seriam necessários dados dispostos em escalas maiores, com maior nível de detalhamento. Isto requer que o Programa Queimadas e Incêndios Florestais empregue imagens orbitais com uma melhor resolução espacial e, conseqüentemente, tenha mais capacidade computacional de processamento e armazenamento. Isto ampliaria a eficiência da análise e a geração de informações em um nível de detalhamento mais apropriado para o direcionamento de esforços de fiscalização da prática do manejo agrícola do fogo em nível de município.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi demonstrado como os dados de focos e queimadas do Programa Queimadas e Incêndios Florestais,

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016**

disseminados pelo Inpe, podem ser utilizados em análises relativamente simples com vistas à elaboração de estratégias de prevenção e combate aos incêndios.

Na análise da intensidade dos focos de queimadas e incêndios florestais no estado de Mato Grosso para o ano de 2016 como um processo pontual de primeira ordem (*Quadrat* e *Kernel*) e de segunda ordem (função K de Rippley transformada em L e envelopes de confiança) ficou evidenciado que os focos de queimadas e incêndios apresentam um padrão de agregação, isto é, há efeitos de atração, sendo em sua maioria relacionados provavelmente às ações antrópicas agravados pelas condições de estiagem no período mais seco do ano.

**6. REFERÊNCIAS**

ABREU, F. de A.; SOUZA, J. do S. A. Dinâmica espaço-temporal de focos de queimadas em duas terras indígenas do estado de Mato Grosso: uma abordagem geoespacial sobre a dinâmica do uso do fogo por Xavantes e Bororos. 2016. **Floresta e Ambiente**; 23(1), p. 1-10, 2016.

ARAGÃO, L. E O. C.; SHIMABUKURO Y. E.; LIMA, A.; ANDERSON, L. O.; BARBIER, N.; SAATCHI, S. Utilização de produtos derivados de sensores orbitais para o estudo de queimadas na Amazônia. In: ANAIS XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO; 2009; Natal, Brasil. São José dos Campos: INPE; p. 919-925, 2009.

BADDELEY, A; RUBAK, E.; TURNER, R. **Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R**. London: Chapman and Hall/CRC Press, 2015. Disponível em: <http://www.crcpress.com/Spatial-Point-Patterns-Methodology-and-Applications-with-R/Baddeley-Rubak-Turner/9781482210200/>.

BAILEY, T.; GATRELL, A. **Interactive spatial data analysis**. Essex: Longman Scientific & Technical, 1995.

CÂMARA, G.; CARVALHO M. S. Análise de eventos pontuais. In: Druck, S.; Carvalho,

M.S.; Câmara, G.; Monteiro, A.V.M. (eds), **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6). Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>. Acessado em setembro de 2016.

CRESSIE, N. A. C. **Statistics for spatial data**. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1993.

DIAZ, M. del C. V.; NEPSTAD, D.; MENDONÇA, M. J. C.; MOTTA, R. S. da, ALENCAR, A.; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. **O Prejuízo oculto do fogo: custos econômicos das queimadas e incêndios florestais na Amazônia**. Relatório do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) em colaboração com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) e o Centro de Pesquisa Woods Hole (WHRC). Versão setembro de 2002.

DRUCK, S.; SÁ CARVALHO, M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. **Análise espacial de dados geográficos**. Planaltina, DF. Embrapa Cerrados, 2004.

FEARNSIDE, P. M. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia Brasileira. **Estudos Avançados**. São Paulo, v.16, n. 14, p. 99-123, 2002.

GOLDEN GATE WEATHER SERVICES. El Niño and La Niña Years and Intensities Based on Oceanic Niño Index (ONI). 2016. Disponível em: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>. Acesso em 20 dez 2016.

GONÇALVES, K. dos S.; CASTRO, H. A. de; HACON, S. de S. As queimadas na região amazônica e o adoecimento respiratório. **Ciência & Saúde Coletiva**, 17(6), p. 1523-1532, 2012.

GUO, F.; SU, Z., WANG, G.; SUN, L.; TIGABU, M.; YANG, X.; HU, H. Understanding fire drivers and relative impacts in different Chinese forest ecosystems. **Science of the Total Environment**, 605, p. 411-425, 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em: 07/2017.

INPE -Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Programa de monitoramento de

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL, NO ANO DE 2016**

- Queimadas e Incêndios Florestais. Perguntas frequentes [online]. São José dos Campos: INPE; 2017. Disponível em: <http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/perguntas.html>.
- MARCUZZO, F. F. N.; OLIVEIRA, N. de L.; CARDOSO, M. R. D. Tendência do número de dias de chuva no estado do Mato Grosso. *Ciência e Natura - UFSM*, 34(2), p. 59–82, 2013.
- MARTAROLE, T. de L.; JORDÃO, A. A.; STRAVA, A. C. S. Análise espaço-temporal dos focos de queimadas no Acre nos anos de 2013-2014. In: ANAIS XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- MEDEIROS, M. B., FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: Desafios para a conservação da biodiversidade. *Ciência Florestal*; 14(2), p. 157-168, 2004.
- MENDONÇA M. J. C., DIAZ, M. D. C. V.; NEPSTAD, D.; MOTTA, R. S. da; ALENCAR, A.; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. The economic cost of the use of fire in the Amazon. *Ecological Economic*, v. 49, p. 89–105, 2004.
- MMA - Ministério do Meio Ambiente. Lista de municípios prioritários da Amazônia. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/informma/item/8645-lista-de-munic%C3%ADpios-priorit%C3%A1rios-da-amaz%C3%B4nia>. Acessado em: 07/2017.
- NASCIMENTO, I. V. Cerrado: fogo como agente ecológico. **Territorium: Revista Portuguesa de riscos, prevenção e segurança**. N. 8, p. 25-35, 2001.
- NEVES, L. F. de S.; MARIMON, B. S., ANDERSON, L. O.; NEVES, S. M. A. da S. Dinâmica de fogo no Parque Estadual do Araguaia, Zona de Transição Amazônia-Cerrado. **Revista Ra'eGa**. Curitiba, v.44, p. 85-103, Mai/2018.
- PEREIRA, A. A.; BARROS, D. A. de, JUNIOR, F. W. A., PEREIRA, J. A. A.; REIS, A. A. dos. Análise da distribuição espacial de áreas queimadas através da função K de Ripley. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, 41(100), p. 445-455, 2013.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017, URL <https://www.R-project.org/>.
- RAMOS, P. C.; MENDES A. Sistema Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. ANAIS DO I FORUM NACIONAL DE INCÊNDIOS FLORESTAIS: 29-38, Abril, 1995.
- REDIN, M.; SANTOS, G. de F. dos; MIGUEL, P.; Denega, G. L.; LUPATINI, M.i; DONEDA, A.; SOUZA, E. L. de. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 381-392, abr.-jun 2011.
- REIS, I. A.; ASSUNÇÃO, R. M. Comparando três métodos de amostragem: métodos de distâncias, contagem de quadrats e conglomerado adaptativo. **Scientia Forestalis**, n. 54, p. 119-130, dez. 1998.
- RIBEIRO, H. de F.; RIBEIRO, N. V. Análise sobre o comportamento espacial e temporal dos focos de queimadas no Território Quilombola Kalunga (GO). In: ANAIS DO XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- RIPLEY, B. D. Modelling spatial patterns. **Journal of the Royal Statistic Society**, London, v. 39, n. 2. p. 172-212, 1977.
- RIPLEY, B. D. The second-order analysis of stationary point processes. **Journal of Applied Probability**. V. 13, p. 255–266, 1976.
- RODRIGUES, P.C.O.; IGNOTTI, E.; ROSA, A. M.; HACON, S. de S. Distribuição espacial das internações por asma em idosos na Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Epidemiologia**; 13(3), p. 523-532, 2010.
- ROWLINGSON, B; DIGGLE, P. splancs: Spatial and Space-Time Point Pattern Analysis. R package version 2.01-40, 2017. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=splancs>.
- SANTANA, T. F.; FERNANDES, H. E.; GIONGO, M.; MOURA, W. S.; CABRAL, K. P., SOUZA, P.

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E INCÊNDIOS EM MATO GROSSO, BRASIL,  
NO ANO DE 2016**

B. Influência do fogo na germinação de três espécies do bioma Cerrado. **Biodiversidade**, v. 18, n. 1, p. 18-27, 2019.

SILVERMAN, B. W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. New York: Chapman and Hall, 1986.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. Correlações entre os elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.1, p.143-150, 2011.

VELHO, O. G. **Frentes de expansão e estrutura agrária: estudos do processo de penetração numa área da Transamazônica**. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 172p, 2009.