

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS QUEIMADAS NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA (MG), ENTRE 1984 E 2017

Cassiano Gustavo Messias

Universidade Estadual de Campinas – Unicamp
Instituto de Geociências, Campinas, SP, Brasil
cassianomessiaslavras@gmail.com

Marcos César Ferreira

Universidade Estadual de Campinas – Unicamp
Instituto de Geociências, Campinas, SP, Brasil
macferre@lge.unicamp.br

RESUMO

Desde os últimos 32 mil anos o fogo tem contribuído para a evolução do Cerrado. Contudo, queimadas muito frequentes, especialmente de natureza antrópica, podem levar à redução da vegetação nativa, tornando-se um problema para a longevidade de Unidades de Conservação. O objetivo geral deste trabalho é analisar a distribuição espacial das queimadas ocorridas no Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais, Brasil, entre 1984 e 2017. O mapeamento visual das cicatrizes foi realizado em Sistemas de Informações Geográficas, por meio de produtos Landsat, e foi gerado o mapa de recorrência de queimadas, que mostra a frequência de queimadas nesse intervalo de tempo. Os resultados mostram que o Chapadão da Babilônia é a área mais atingida, pois não é regularizado. No Chapadão da Canastra, por mais que as características dos ambientes sejam semelhantes ao Chapadão da Babilônia, as queimadas são menos frequentes, devido à regularização e ao desenvolvimento de ações de combate e prevenção de incêndios. Na zona de amortecimento as queimadas atingem áreas inferiores, pois são áreas menos propícias à propagação do fogo, mas o número de cicatrizes é muito superior aos Chapadões. A regularização fundiária é essencial para a redução do fogo no Chapadão da Babilônia.

Palavras-chave: Incêndios florestais. Unidades de Conservação. Cerrado. Recorrência de queimadas. Análise espacial.

ANALYSIS OF FIRE SPATIAL DISTRIBUTION IN THE SERRA DA CANASTRA NATIONAL PARK (MG), BETWEEN 1984 AND 2017

ABSTRACT

Spontaneous fire events have contributed to the evolution of the Brazilian Savanna (Cerrado) biome for the last 32,000 years. However, very frequent anthropogenic fires have reduced the natural vegetation cover areas and have become a great problem for the Conservation Units longevity. The aim of this work is to analyze the spatial distribution of fire events that have occurred in the Serra da Canastra National Park, Minas Gerais, Brazil, between 1984 and 2017. The visual fire mapping was created by Geographic Information Systems from Landsat images, and the fire frequency map, for this period of time, was generated. The results show that the Chapadão da Babilônia is the most affected area by fires, because it has not been regularized. In the Chapadão da Canastra, although the characteristics are similar to the Chapadão da Babilônia's, the forest fires are less frequent due to regularization and development of fire combat and prevention. In the buffer zone the affected areas by fire are small, but the number of fire polygons is higher than the Chapadão da Canastra's and that of Babilônia's. Land regularization is essential to reduce the frequency of forest fires in the Chapadão da Babilônia.

Keywords: Fire Parks. Conservation Units. Brazilian Savanna. Fire Frequency. Spatial Analysis.

INTRODUÇÃO

As queimadas são importantes processos naturais em algumas áreas silvestres e, sem elas, estas não seriam verdadeiramente naturais (PARSON, 2000). O fogo dá forma aos ecossistemas do mundo, influenciando na distribuição de espécies animais e vegetais (AVITABILE *et al.*, 2013). Os ambientes mais inflamáveis são os campos naturais e savanas, que apresentam secas sazonais severas e presença de vegetação herbácea, que fornece combustível fino abundante próximo ao solo, oxigenado pelo vento (NEPSTAD *et al.*, 1999).

O fogo no Cerrado é datado de 32 mil anos, apresentando, de maneira geral, queimadas de superfície, as quais consomem a vegetação do estrato herbáceo (MIRANDA *et al.*, 2004). Após a invasão das Américas pelos europeus, o equilíbrio que existia entre as comunidades indígenas e o meio ambiente foi rompido, iniciando um processo de destruição, que transformou florestas em áreas agrícolas (LEONE *et al.*, 2003). O fogo faz parte deste processo, pois é uma ferramenta utilizada no manejo e na conversão das paisagens tropicais (MISTRY e BIZERRIL, 2011).

Um dos temas mais controversos ao se tratar do Cerrado são as queimadas. A proteção total e absoluta contra o fogo no Cerrado é uma utopia, e as queimadas são, em partes, benéficas para este domínio (COUTINHO, 2002). As queimadas são tão antigas no Cerrado, que praticamente todas as espécies de plantas têm evoluído para tolerar ou depender das mesmas (COUTINHO, 1990). Exemplo disso é que setenta por cento da biomassa de campo sujo se recupera após o evento (MIRANDA *et al.*, 2004). As queimadas promovem a rebrota de várias espécies do estrato herbáceo e agem como estimulante da floração (CONTI e FURLAN, 2011). Além disto, as políticas de supressão total do fogo podem levar ao aumento da carga de combustível morto, ocasionando incêndios futuros mais severos (RISSI *et al.*, 2017). Sendo assim, o Cerrado depende do fogo para manter sua estrutura, biodiversidade e funcionamento (DURIGAN e RATTER, 2015).

Porém, a ocorrência frequente de incêndios no Cerrado brasileiro tem influenciado na estrutura do ecossistema, dinâmica de nutrientes e partículas na atmosfera (KAUFFMAN *et al.*, 1994). Com a ocupação do Cerrado para fins agropastoris, o regime natural da queima tem sofrido alterações, com intervalos muito curtos entre um evento e outro (MIRANDA; SATO, 2005). Queimadas frequentes podem levar à redução da biomassa total e ao empobrecimento do estoque de nutrientes (MIRANDA *et al.*, 2004). A perturbação pelo fogo pode também mediar a invasão de espécies exóticas (STEVENS e BECKAGE, 2009). Ademais, os incêndios florestais podem destruir fitofisionomias arbóreas (CONTI e FURLAN, 2011) e a queima de vegetação nativa está entre as principais fontes de emissões de gases de efeito estufa no Brasil (PIVELLO, 2011).

Em Minas Gerais, onde o Cerrado ocupa 57 % do estado, os focos ativos se concentraram na estação seca, especialmente entre julho e novembro (ALVARADO *et al.*, 2017). Este período é chamado de estação do fogo, sendo a época mais suscetível às queimadas (FAO, 1986). Na estação seca, há a senescência de muitas espécies herbáceas, aumentando a disponibilidade de combustível morto (RISSI *et al.*, 2017). Quanto mais combustível acumulado, mais desastroso poderá ser um incêndio florestal (JACQUES, 2003). Por isto, o fogo que ocorre na estação seca, com frequência e intensidade elevadas, pode provocar perda de diversidade biológica e possui grande potencial de alastramento (MMA *et al.*, 2017).

Este artigo tem como objetivo geral analisar a distribuição espacial das queimadas ocorridas no Parque Nacional da Serra da Canastra (PNSC), importante Unidade de Conservação (UC) do Cerrado, localizada a Sudoeste de Minas Gerais, Brasil. Serão cartografadas as queimadas anuais, em um intervalo de tempo que se estende de 1984 a 2017, e será gerado o mapa de recorrência de queimadas, que apontará o número de repetições destes eventos nos diferentes ambientes do parque. Além do mais, valores anuais de área queimada, número de manchas e

área máxima atingida, serão discutidos conforme as zonas de planejamento do parque: regularizadas, não regularizadas e zona de amortecimento.

REVISÃO DA LITERATURA

AS QUEIMADAS NO PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA

Os registros de queimadas na região da Serra da Canastra são antigos e, provavelmente, têm ocorrido desde o período pré-colonial, quando os indígenas já utilizavam o fogo como manejo. Há registros descritivos de naturalistas do século XVII, os quais narraram que o Chapadão da Canastra era despovoado e utilizado como pastagem para animais (MMA e IBAMA, 2005). Em 1819, Auguste de Saint-Hilaire registrou focos de queimadas ativas na Serra da Canastra, ateados por caravanas de viajantes, e relatou que a queima das pastagens era comum nas partes baixas pelos fazendeiros, como prática de manejo e menos comum nas mais elevadas (SAINT-HILAIRE, 1937).

Antes da criação do parque, o Chapadão da Canastra era utilizado para pastagem do gado, porém, devido à criação do PNSC, em 1972, houve o fim das atividades de pastoreio neste local. O fogo é considerado hoje como um dos principais elementos indutores de alteração da paisagem na região da Serra da Canastra. Frequentemente encontra-se associado à agropecuária, e muitas vezes atinge o interior do parque. Outros motivos que levam os indivíduos a atear fogo no PNSC são a insatisfação com a UC, devido a problemas fundiários ou desinformação sobre a importância da conservação dos recursos naturais (MMA e IBAMA, 2005).

Estudos de Medeiros e Fiedler (2004) e Magalhães *et al.* (2012) avaliaram o perfil dos incêndios no PNSC. As análises mostraram que a principal causa dos incêndios tem origem antrópica, seguida pelos raios e causas não identificadas. Os incêndios de causa antrópica ocorrem, principalmente, durante a estação seca, com maior frequência entre junho e outubro (MAGALHÃES *et al.*, 2012; MMA e IBAMA, 2005). A maior parte das queimadas antrópicas é causada por incendiários, em seguida por causas indefinidas e pela queima da pastagem para a limpeza dos pastos (MEDEIROS e FIEDLER, 2004). Um fato preocupante é que a média de queimadas no PNSC é muito superior a outras UC do Brasil (MAGALHÃES *et al.*, 2012).

Por outro lado, os incêndios causados por raios ocorrem na estação chuvosa e na transição da seca para a chuva, de setembro a abril (MAGALHÃES *et al.*, 2012; MMA e IBAMA, 2005). Estas queimadas configuram-se como distúrbios naturais, fundamentais para o ecossistema. Geralmente, após iniciar um incêndio causado por raios, a própria chuva pode extinguir os focos, atingindo pequenas áreas. As queimadas antrópicas, no período seco, encontram condições propícias para se propagarem (vegetação seca, umidade relativa baixa, ventos fortes), podendo atingir grandes extensões. Desta forma, os incêndios de maior intensidade ocorrem no auge da estação seca, enquanto os de menor intensidade, na estação chuvosa (MEDEIROS e FIEDLER, 2004).

A ocorrência do fogo no PNSC está também relacionada à regularização fundiária. No Chapadão da Babilônia, local em que o grau de regularização é baixo, é comum o uso de queimadas controladas no manejo das pastagens, e também ocorrem incêndios de natureza criminosa. O Chapadão da Canastra, área do parque onde as terras são de domínio da União, não ocorrem queimadas controladas, ainda que os incêndios criminosos sejam recorrentes. De modo geral, o regime de fogo nos dois Chapadões é similar, mas a ocorrência de queimadas no Chapadão da Babilônia é mais intensa, pois grande parte de suas terras não são regularizadas (MMA e IBAMA, 2005; MMA *et al.* 2018).

IDENTIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DE CICATRIZES DE QUEIMADAS A PARTIR DE PRODUTOS DE TELEDETECÇÃO

Considerando-se que todas as características da superfície têm padrões de resposta espectral particulares, é possível identificar queimadas a partir do uso de produtos de sensores orbitais (SUNAR e ÖZKAN, 2001). A vegetação reflete fortemente a radiação solar no infravermelho

próximo. Quando ocorre uma queimada, há uma redução considerável da reflectância nesta faixa, devido à carbonização, aparecendo escuras em composições coloridas falsa-cor que utilizam esta faixa do espectro. Estas composições mostram as áreas queimadas com alto contraste em relação aos arredores, o que facilita sua identificação em imagens de satélite (JAISWAL *et al.*, 2002).

Para a identificação de queimadas ativas e pretéritas, Liu (2006) propõe o uso de produtos de sensores orbitais de alta e média resolução espacial, tais como IKONOS, QuickBird, SPOT e Landsat. Segundo este autor, em Sistema de Informação Geográfica (SIG), a partir de uma composição 7R/5G/4B, gerada por imagem Landsat 7/ETM+, as queimadas podem ser visualizadas em cores marrom intenso, marrom, cinza, laranja vermelha e vermelha pálida, o que depende do estágio do evento. Avitabile *et al.* (2013) utilizaram imagens Landsat MSS, TM e ETM+, para realizar o mapeamento do fogo entre 1972 a 2007, na região de Murray Mallee, Nova Gales do Sul, Austrália. Os autores afirmam que, a partir de diferentes composições falsa-cor, as queimadas podem ser distinguidas, a partir das cores e pelos padrões geométricos, e identificaram 1.060 cicatrizes.

Bastarrika *et al.* (2011) mapearam áreas queimadas em seis cenas Landsat, de regiões do Mediterrâneo. Primeiramente tratou-se da determinação de pixels pós-fogo, baseada em um método de critério de decisão iterativa, usando o banco de dados de amostras queimadas e não queimadas. Foram obtidos 70.000 pixels queimados, mostrados em forte cor magenta nas composições 7R/4G/1B. Na segunda fase, foram aplicados algoritmos de crescimento de regiões, a fim de se incorporarem propriedades espaciais para a discriminação de manchas de queimadas. Os autores inferem que foi possível obter um mapeamento automático preciso na obtenção de queimadas.

Chuvieco (1999) mensurou mudanças na paisagem após um grande incêndio na costa mediterrânica da Espanha. Para a execução do trabalho, foram utilizadas imagens multitemporais Landsat 5/TM e NOAA/AVHRR, com as quais foi calculado o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Constatou-se que os índices de vegetação são reduzidos após o incêndio, devido à diminuição do teor de clorofila. Miller e Thode (2007) estudaram 14 incêndios ocorridos na Serra Nevada, Estados Unidos, aplicando o *Normalized Burn Ratio* (NBR). Em seguida, calculou-se a diferença entre o NBR em uma imagem pré-fogo e NBR e em outra pós-fogo, avaliando a severidade da queimada. Por fim, desenvolveram um índice relativo (RdNBR), o qual permite maior precisão no mapeamento de categorias de maior severidade em paisagens heterogêneas.

Para reconstruir o histórico de incêndios no Parque Nacional da Serra do Cipó e na APA Morro da Pedreira, Minas Gerais, Brasil, Alvarado *et al.* (2017) utilizaram produtos Landsat TM, entre 1984 e 2014. Para cada ano, foram utilizadas todas as imagens possíveis, entre junho e dezembro. As queimadas foram identificadas por meio de interpretação visual em composições falsa-cor 5R/4G/3B (TM e ETM+) e 6R/5G/3B (OLI). As queimadas de cada ano foram convertidas em imagens binárias e somadas, tendo como produto o mapa de frequência de incêndios.

MATERIAL E MÉTODOS

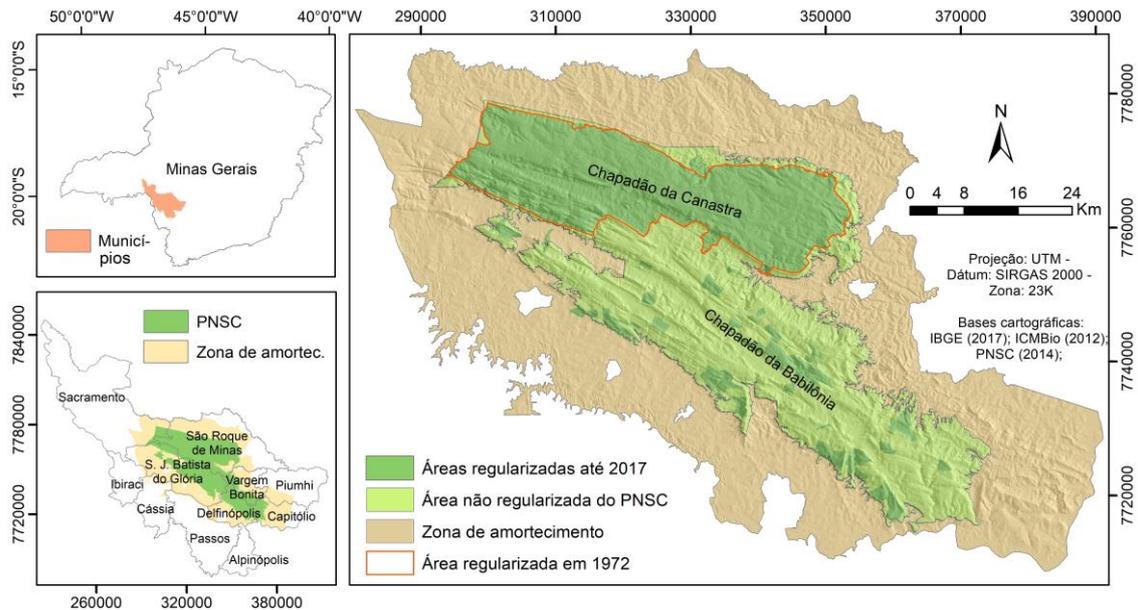
ÁREA DE ESTUDO

O PNSC se localiza a Sudoeste do estado de Minas Gerais, Brasil, nos municípios de Delfinópolis, São Roque de Minas, São João Batista da Glória, Sacramento, Vargem Bonita e Capitólio. Além destes municípios, a zona de amortecimento abrange Piumhi, Cássia, Passos, Ibiraci e Alpinópolis. (Figura 1). O parque foi criado pelo decreto nº 70.355, de 3 de abril de 1972, sendo estabelecida uma área de 197.787 ha. Contudo, apenas a área do Chapadão da Canastra foi regularizada neste momento, delineando 71.525 ha. Atualmente, em torno de 82.000 ha são regularizados, abrangendo o Chapadão da Canastra e também polígonos dispersos pelo Chapadão da Babilônia.

O PNSC está inserido no domínio do Cerrado. O clima, correspondente ao tipo Cwb de Köppen, possui sazonalidade, com chuvas no verão e inverno seco, sendo que a temperatura

no período frio é inferior a 18° C e no mês mais quente é próxima de 22° C. A pluviosidade anual varia entre 1.000 e 1.500 mm. A rede de drenagem no parque é constituída por rios pertencentes às bacias hidrográficas dos rios São Francisco, Grande e Paranaíba, e no Parque estão localizadas as nascentes dos rios São Francisco e Araguari. O Parque é formado por Chapadões, que podem atingir 1.500 m, e zonas menos elevadas, que variam entre 600 e 1.000m (MMA e IBAMA, 2005).

Figura 1 – Localização da área de estudo em escala estadual, municipal e local.



MATERIAL UTILIZADO

Um pré-levantamento relacionou artigos, livros, dissertações e relatórios disponíveis em sites especializados em publicações acadêmicas e bibliotecas. Além disto, estruturou-se um banco de dados cartográfico e de produtos de teledetecção, formado por imagens multiespectrais Landsat e arquivos vetoriais de delimitação da área de estudo (Tabela 1).

Tabela 1 – Material cartográfico e produtos de teledetecção utilizados na pesquisa.

Material cartográfico e produtos de teledetecção	Articulação ou órbita / ponto	Resolução	Ano	Fonte
Limites do PNSC	–	–	2012	ICMBio
Limites da zona de amortecimento	–	–	2014	PNSC
Limites das zonas regularizadas em 1972	–	–	2017	PNSC
Limites das zonas regularizadas em 2017	–	–	2017	PNSC
Imagens Landsat 5 (TM)	219/74 e 220/74	30m	1984 / 2011	USGS
Imagens Landsat 7 (ETM+)	219/74 e 220/74	30m	1999 / 2003	USGS
Imagens Landsat 8 (OLI)	219/74 e 220/74	30m	2014 / 2017	USGS
Malhas municipais de Minas Gerais	-	-	2017	IBGE

– Não se aplica ou não há informação.

Para realizar a identificação e o mapeamento das queimadas no PNSC, foram obtidos produtos dos sensores orbitais Landsat TM, ETM+ e OLI, em um intervalo de tempo que se estende de 1984 a 2017. Foram adquiridas entre três e sete imagens de cada ano (a depender da disponibilidade, devido à interferência de nuvens), entre abril a novembro, época do ano que abrange o período seco e início do chuvoso, períodos mais propícios à ocorrência de

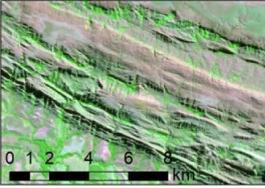
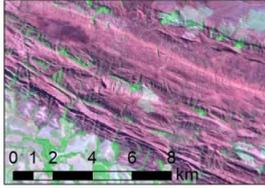
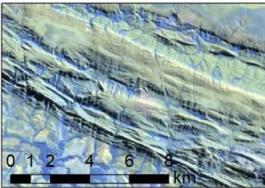
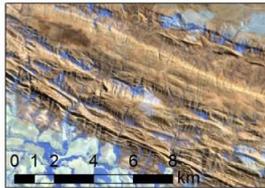
queimadas. Os anos de 2003 e 2012 não foram trabalhados, visto que as imagens possuem demasiada cobertura de nuvens.

MAPEAMENTO DAS CICATRIZES DE QUEIMADAS

Imagens Landsat apresentam resolução espacial adequada para o mapeamento de queimadas, sendo que estas feições podem ser facilmente identificadas, além de a resolução temporal permitir análises anteriores e posteriores ao evento (SEVER, 2012). Na faixa espectral do vermelho (banda 3 no TM e 4 no OLI), a vegetação densa apresenta baixa reflectância, pois, os pigmentos de clorofila *a* e de clorofila *b*, absorvem os comprimentos de onda do visível para realizar a fotossíntese. No infravermelho próximo (banda 4 no TM e 5 no OLI) a vegetação sadia tem alta reflectância, pois, se ela absorvesse toda essa energia, poderia ter suas proteínas danificadas, mostrando altos valores de nível de cinza na imagem. O infravermelho médio I (banda 5 no TM e 6 no OLI) e o infravermelho médio II (banda 7 no TM e OLI) são sensíveis ao teor de umidade das plantas, sendo que, quanto maior umidade, menor a reflectância (JENSEN, 2009).

Foram avaliadas, visualmente, diferentes composições coloridas, e foram identificadas aquelas que melhor destacam as áreas queimadas. As composições selecionadas foram: Falsa Cor 7R/4G/3B e 7R/5G/4B (para produtos TM e ETM+) e 7R/5G/4B e 7R/6G/5B (no caso de produtos OLI); e Cor Verdadeira 3R/2G/1B (para produtos TM e ETM+) e 4R/3G/2B (para OLI). A composição Falsa Cor 7R/4G/3B (TM e ETM+) foi a mais utilizada no processo, sendo que destaca as queimadas em tonalidades próximas do magenta. Foi gerada uma chave de interpretação para o mapeamento e identificação de cicatrizes de queimadas (Quadro 1).

Quadro 1 – Chave de interpretação para o mapeamento de cicatrizes de queimadas.

Elementos de identificação de queimadas	Feições visualizadas em produtos Landsat 5 (TM)
<p>Cor e tonalidade: 3R/2G/1B: variações de tons de cinza. 7R/4G/3B: variações de tons de magenta e roxo. 7R/5G/4B: variações de tons de marrom e laranja.</p> <p>Forma: <i>Irregular:</i> cicatrizes relacionadas a fitofisionomias campestres (campos sujos e campos limpos), geralmente provenientes de queimadas naturais ou queima não controlada (criminosa). <i>Regular:</i> cicatrizes relacionadas a áreas de pastagem, geralmente provenientes da queima controlada.</p> <p>Tamanho: <i>Grandes áreas:</i> geralmente relacionadas a fitofisionomias campestres. <i>Pequenas áreas:</i> geralmente relacionadas a culturas agrícolas e pastagem.</p> <p>Textura: moderadamente rugosa.</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Antes do fogo</p> <p>3R/2G/1B</p>  <p>0 1 2 4 6 8 km</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Depois do fogo</p> <p>3R/2G/1B</p>  <p>0 1 2 4 6 8 km</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>7R/4G/3B</p>  <p>0 1 2 4 6 8 km</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>7R/4G/3B</p>  <p>0 1 2 4 6 8 km</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>7R/5G/4B</p>  <p>0 1 2 4 6 8 km</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>7R/5G/4B</p>  <p>0 1 2 4 6 8 km</p> </div> </div>

Aplicou-se a técnica de contraste linear 2%, a fim de se melhorar o contraste cromático e a qualidade das imagens para a análise visual. Posteriormente, foi realizado o recorte da área de estudo, considerando os limites da ZA. O ajuste geométrico das imagens dos sensores TM e ETM+ foi realizado a partir de pontos de controle extraídos de produtos OLI, visto que as

imagens deste sensor, disponibilizadas pelo Earth Explorer, são georreferenciadas, ortorretificadas (BOLFE *et al.*, 2014) e reprojetaas para o hemisfério Sul. Os valores de erro quadrático médio encontrados foram inferiores a 0,5 pixel e a amostragem foi realizada por meio do interpolador vizinho mais próximo. Não foi realizada a correção atmosférica, visto que os efeitos atmosféricos não influenciaram a análise visual.

No ArcGIS 10.2, foram criados diferentes documentos para cada ano da série histórica, e, em cada um deles, foram inseridas as imagens Landsat pré-processadas, que se referem aos meses de abril a novembro de cada ano. Em arquivos vetoriais, também anuais, digitalizaram-se as cicatrizes de queimadas que foram identificadas nas imagens de cada ano, em escala aproximada de 1:15.000. Este mapeamento foi realizado com o auxílio de grades regulares de 5 km x 5 km, as quais foram analisadas detalhadamente no sentido Sul-Norte. Buscando visualizar *in loco* as cicatrizes de queimadas identificadas e verificar a qualidade do mapeamento, realizou-se trabalho de campo no PNSC, entre 18 e 20 de novembro de 2017.

GERAÇÃO DO MAPA DE RECORRÊNCIA DE QUEIMADAS

Os arquivos vetoriais de queimadas, de cada ano, foram convertidos em formato matricial, e foi atribuído valor 1 para pixels em que houve queimada, e 0 para não queimados. Buscando identificar os locais em que mais houve repetição de queimadas nos últimos trinta e dois anos, foi gerado o mapa de recorrência de queimadas. Pelo *raster calculator*, foi realizada a soma dos trinta e dois mapas binários. O produto gerado poderá apresentar valores entre 0,0, em pixels nunca queimados, e 32,0, em pixels em que houve queimadas em todos os anos. Foram atribuídos intervalos de classes por desvio padrão, aplicando o tamanho dos intervalos de dados em 1 desvio padrão (1σ). Este método procura eliminar a interferência subjetiva do pesquisador, sendo que considera a distribuição estatística da variável (FERREIRA, 2014).

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS QUEIMADAS POR ZONAS DE PLANEJAMENTO

A análise da distribuição espacial das queimadas foi realizada com base nas três zonas de planejamento do PNSC: zonas regularizadas (ZR), zonas não regularizadas (ZNR) e zona de amortecimento (ZA). Através do ArcGIS 10.2, os arquivos vetoriais de cada ano, que contêm as áreas queimadas, foram recortados pelas três zonas de planejamento. Na sequência, através da aplicação da função *Statistics* pela tabela de atributos destes subprodutos, foram extraídos dados da distribuição das queimadas, tais como: 1) área queimada (área total atingida pelo fogo em um determinado ano); 2) número de manchas de queimadas (quantidade de polígonos mapeados naquele ano); 3) área máxima atingida pelas queimadas (área do maior polígono mapeado naquele ano).

O LibreOffice Calc foi utilizado na conversão dos valores de área queimada por zona em hectares (ha), em percentuais da zona atingidos pelo fogo. Para isto, foram atribuídos os seguintes valores de área das zonas de planejamento: 1) 71.221,66 ha (ZR); 2) 126.826,78 ha (ZNR); 3) 269.599,70 ha (ZA); 4) 467.381,15 ha (total das três zonas). Nesta pesquisa, considerou-se como zona regularizada apenas o Chapadão da Canastra. A regularização de pequenos polígonos espalhados pelo Chapadão da Babilônia foi tardia, após 2013, já no fim da série temporal trabalhada. Além do mais, esses polígonos estão isolados entre áreas não regularizadas e o PNSC ainda não consegue geri-las de forma adequada (MMA *et al.* 2018). Foram gerados também gráficos de linhas, relacionados aos dados de distribuição das queimadas por zonas.

O *software* estatístico MedCalc foi utilizado na geração de gráficos e obtenção de informações estatísticas das amostras. O aplicativo *Histogram* foi utilizado para criar histogramas de frequência das áreas de queimadas anuais por zonas. A ferramenta *Summary statics* permitiu obter parâmetros estatísticos da distribuição das amostras, por zonas de planejamento. Foram também gerados diagramas de caixas (ou *box-plot*), pela ferramenta *Multiple variable graphs*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS QUEIMADAS NO PNSC

A ocorrência de incêndios florestais é comum em toda a área de estudo. A cada ano, diferentes ambientes do PNSC são afetados pelas queimadas, mas os eventos variam em intensidade,

área afetada e local de ocorrência. Os eventos concentram-se, principalmente, no interior dos Chapadões da Canastra e da Babilônia, mas ocorrem também em trechos da ZA. Nas ZR e ZNR, pode-se perceber manchas contínuas de áreas afetadas pelo fogo, enquanto na ZA as manchas são menores. Os mapas apresentados nas figuras 2 e 3 mostram a evolução temporo-espacial das queimadas na área estudada.

Figura 2 – Localização espacial das queimadas ocorridas no PNSC entre 1984 e 1999.

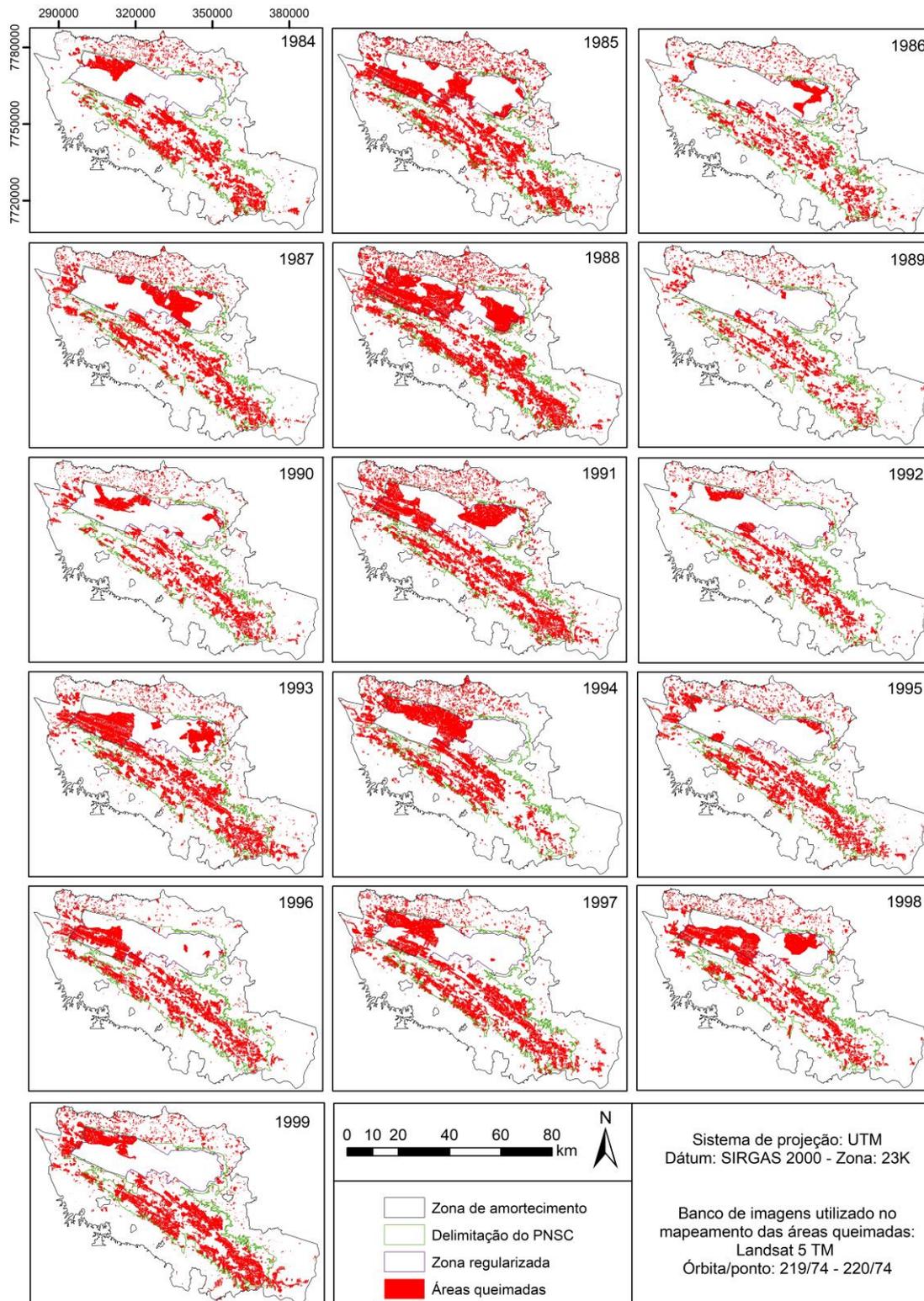
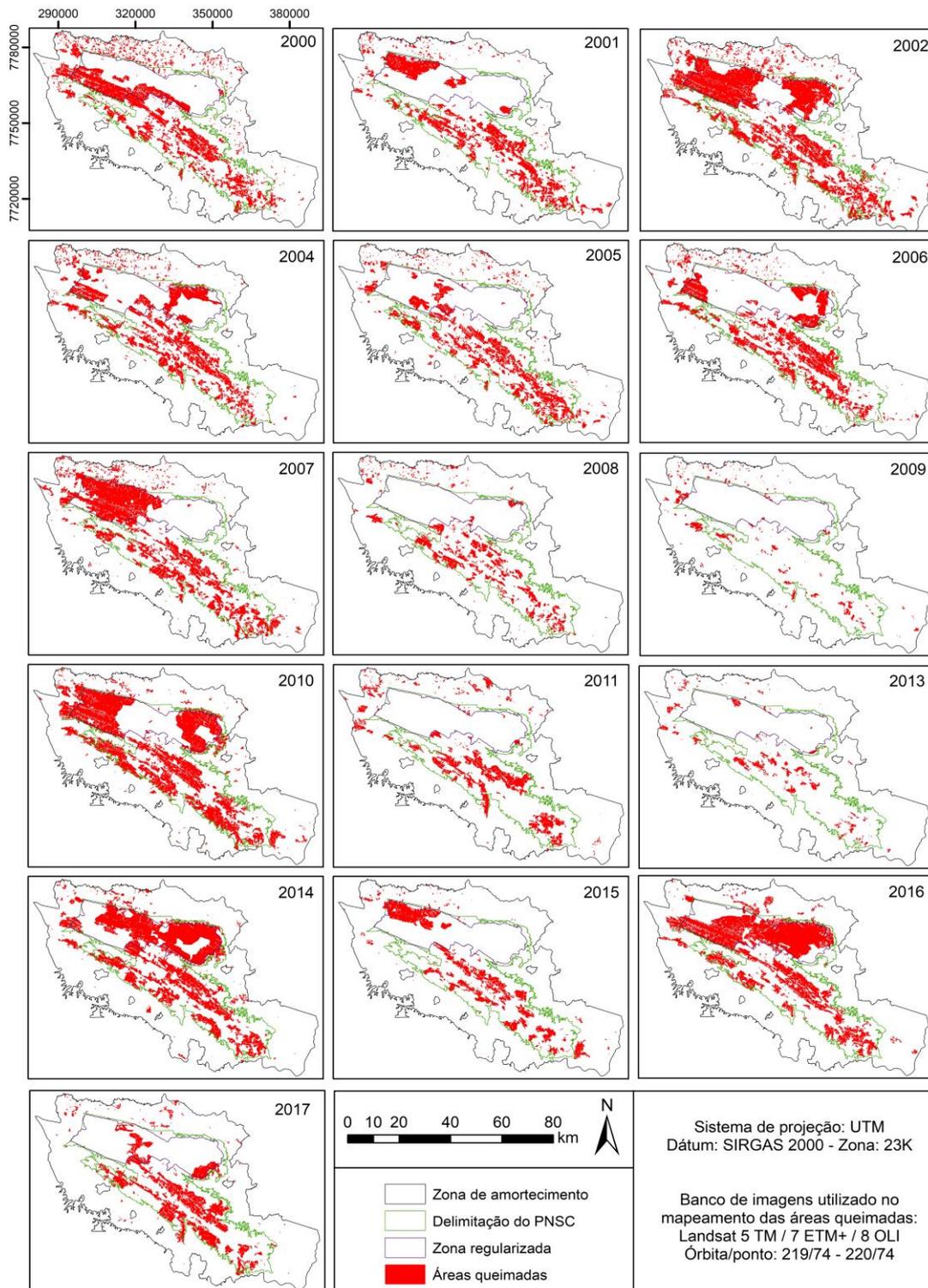


Figura 3 – Localização espacial das queimadas ocorridas no PNSC entre 2000 e 2017.



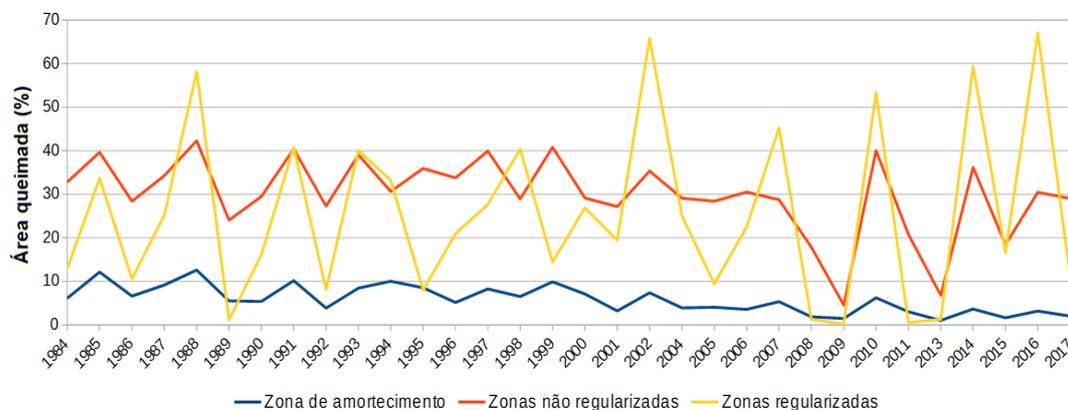
Os dados quantitativos referentes às queimadas anuais, distribuídas por zonas de planejamento, possibilitam compreender a distribuição e dinâmica do fogo no PNSC (Tabela 2). A área estudada abrange uma superfície de 467.381,15 ha, que engloba as zonas regularizadas, não regularizadas e zona de amortecimento. Considerando as três zonas de forma conjunta, em média 72.010,12 ha são anualmente atingidos pelo fogo, ou seja, 15,40 % de sua superfície.

Tabela 2 – Áreas atingidas por queimadas no PNSC, por zonas de planejamento.

Ano	Área queimada por zona (ha)				Área queimada por zona (%)			
	ZA	ZNR	ZR	Todas	ZA	ZNR	ZR	Todas
1984	16.517,24	41.626,00	9.216,65	67.359,88	6,13	32,82	12,94	14,41
1985	32.729,30	50.277,84	23.984,17	10.6991,30	12,14	39,64	33,68	22,89
1986	17.850,35	36.020,45	7.539,87	61.410,67	6,62	28,40	10,59	13,14
1987	24.698,25	43.466,17	17.957,36	86.121,77	9,16	34,27	25,21	18,43
1988	33.974,30	53.636,65	41.433,99	129.044,94	12,60	42,29	58,18	27,61
1989	14.875,90	30.498,35	812,79	46.187,05	5,52	24,05	1,14	9,88
1990	14.538,96	37.418,64	11.456,04	63.413,63	5,39	29,50	16,09	13,57
1991	27.382,30	51.249,09	29.052,99	107.684,38	10,16	40,41	40,79	23,04
1992	10.406,99	34.590,12	5.778,97	50.776,09	3,86	27,27	8,11	10,86
1993	22.781,26	49.557,32	28.547,56	100.886,13	8,45	39,07	40,08	21,59
1994	27.032,55	38.885,14	23.647,67	89.565,35	10,03	30,66	33,20	19,16
1995	23.022,36	45.587,67	5.707,16	74.317,19	8,54	35,94	8,01	15,90
1996	13.923,24	42.841,31	14.923,94	71.688,50	5,16	33,78	20,95	15,34
1997	22.261,23	50.623,01	19.684,75	92.569,00	8,26	39,92	27,64	19,81
1998	17.579,53	36.682,98	28.781,54	83.044,05	6,52	28,92	40,41	17,77
1999	26.678,44	51.739,29	10.284,14	88.701,87	9,90	40,80	14,44	18,98
2000	19.169,97	36.990,53	19.162,15	75.322,65	7,11	29,17	26,90	16,12
2001	8.688,79	34.445,44	13.850,90	56.985,13	3,22	27,16	19,45	12,19
2002	19.912,94	44.843,91	46.860,62	111.617,47	7,39	35,36	65,80	23,88
2004	10.522,61	36.904,67	17.840,40	65.267,67	3,90	29,10	25,05	13,96
2005	10.950,38	36.039,01	6.700,35	53.689,75	4,06	28,42	9,41	11,49
2006	9.636,77	38.694,62	16.032,50	64.363,89	3,57	30,51	22,51	13,77
2007	14.397,27	36.467,67	32.229,91	83.094,85	5,34	28,75	45,25	17,78
2008	5.014,82	22.641,35	904,76	28.560,94	1,86	17,85	1,27	6,11
2009	3.959,45	5.780,70	150,23	9.890,38	1,47	4,56	0,21	2,12
2010	16.816,73	50.770,92	38.024,13	105.611,78	6,24	40,03	53,39	22,60
2011	8.177,01	26.384,18	384,85	34.946,04	3,03	20,80	0,54	7,48
2013	2.804,30	8.647,42	918,07	12.369,79	1,04	6,82	1,29	2,65
2014	9.828,81	45.898,67	42.331,48	98.058,96	3,65	36,19	59,44	20,98
2015	4.428,80	23.396,91	11.808,90	39.634,62	1,64	18,45	16,58	8,48
2016	8.577,66	38.643,33	47.814,30	95.035,29	3,18	30,47	67,13	20,33
2017	5.454,83	36.830,84	7.827,31	50.112,98	2,02	29,04	10,99	10,72
□	15.768,54	38.065,01	18.176,58	72.010,12	5,84	30,01	25,52	15,40
σ	8.237,31	11.051,40	13.800,33	28.152,85	3,15	8,99	19,99	6,21

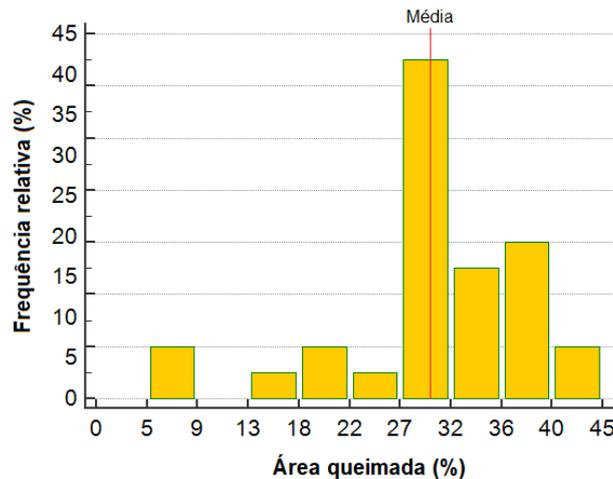
Avaliando-se os dados pelas zonas de planejamento, nota-se que as zonas não regularizadas são as mais afetadas pelas queimadas, seguidas pelas zonas regularizadas e pela zona de amortecimento. A Figura 4 permite visualizar a variação dos percentuais das zonas atingidos pelo fogo, ao longo da série temporal trabalhada.

Figura 4 – Distribuição dos percentuais das zonas de planejamento do PNSC atingidos por queimadas.



Com uma área de 126.826,78 ha, em média 38.065,01 ha das zonas não regularizadas são queimados anualmente, ou seja, 30,01 % da zona. O histograma da Figura 5 permite avaliar a frequência relativa dos percentuais de área queimada, nos trinta e dois anos estudados ($n = 32$). Neste histograma, constata-se que o valor médio ($\bar{x} = 30,01\%$) se encontra dentro de um intervalo de grande concentração de áreas queimadas, entre 27 e 32 %. Além do mais, as classes de área queimada que variam entre 32 e 45 %, que estão acima da média, apresentam também frequências representativas. As classes que estão abaixo da média, entre 0 e 27 %, associadas a queimadas de menores extensões, são menos frequentes.

Figura 5 – Frequência relativa dos percentuais anuais queimados, em trinta e dois anos, nas zonas não regularizadas do PNSC.

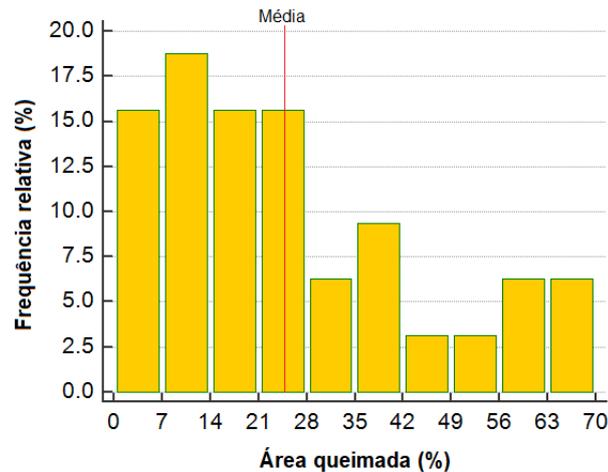


As ZNR localizam-se dentro dos perímetros do PNSC, no Chapadão da Babilônia. Contudo, após a criação da UC, não houve desapropriação das propriedades particulares. A não regularização permitiu que a população permanecesse residente neste local, levando ao desenvolvimento de atividades conflitantes, tais como agricultura, pecuária, mineração e livre acesso pelas estradas (MMA e IBAMA, 2005). Há registros de que cerca de 50 % das queimadas ocorridas no parque são de natureza antrópica, podendo ser criminosas ou causadas pelo uso do fogo como manejo agropecuário de forma inadequada (MEDEIROS e FIEDLER, 2004).

As zonas regularizadas, que estão localizadas no Chapadão da Canastra, incendeiam-se, em média, 18.176,58 ha ao ano, em uma área de 71.221,66 ha. Ou seja, em média 25,52 % da superfície da zona é queimada anualmente. Este valor é menor que o percentual estimado para a ZNR, porém, é superior ao percentual médio das três zonas conjuntamente ($\bar{x} = 15,40\%$). O histograma da Figura 6 mostra que o percentual médio de área queimada na ZR ($\bar{x} = 25,52\%$) se encontra dentro de um intervalo de classes de alta frequência, entre 21 e 28 %. Além do mais, as classes abaixo da média também apresentam alta frequência. Desta maneira, pode-se constatar que, nas ZR, as queimadas se concentram nas classes em que os eventos não chegam a atingir grandes extensões. Contudo, há anos em que os incêndios podem atingir até 67,13 % da zona, mas isto é menos frequente.

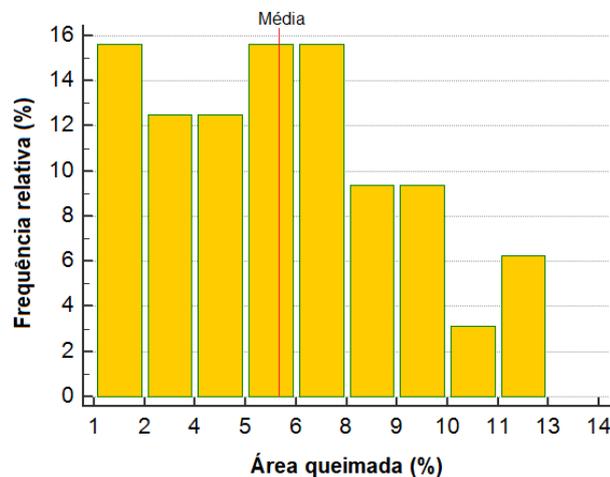
De modo geral, o regime de fogo e as características geoambientais dos dois Chapadões são similares, mas o agravamento no Chapadão da Babilônia ocorre por não contar com atividades sistemáticas de prevenção e combate a incêndios florestais (MMA e IBAMA, 2005). No Chapadão da Canastra, são realizadas ações pela brigada de incêndios florestais e há a proteção de áreas prioritárias, havendo a detecção e o combate precoces do fogo. No Chapadão da Babilônia o combate ocorre quando possível, pois, a força de trabalho disponível, não é suficiente para combater nos dois Chapadões concomitantemente. Além disto, muitas vezes as queimadas que ocorrem nas ZR são provenientes das ZNR ou tem causas criminosas (MMA *et al.* 2018).

Figura 6 – Frequência relativa dos percentuais anuais queimados, em trinta e dois anos, nas zonas regularizadas do PNSC.



Por sua vez, a zona de amortecimento apresentou a menor média em área anual queimada. Dos 269.599,70 ha, apenas 15.768,54 ha são queimados por ano em média, ou seja, 5,84 % da superfície da zona. O histograma da Figura 7 nos permite perceber que, o valor médio de área queimada ($\bar{x} = 5,84\%$), está localizado em uma classe de alta frequência (entre 5 e 6 %). As classes abaixo da média concentram frequências consideráveis. Por outro lado, à medida que se afasta da média, em direção aos mais altos percentuais de área queimada, há uma tendência de redução da frequência. Deste modo, em grande parte dos anos da série, as queimadas na ZA atingem pequenas áreas.

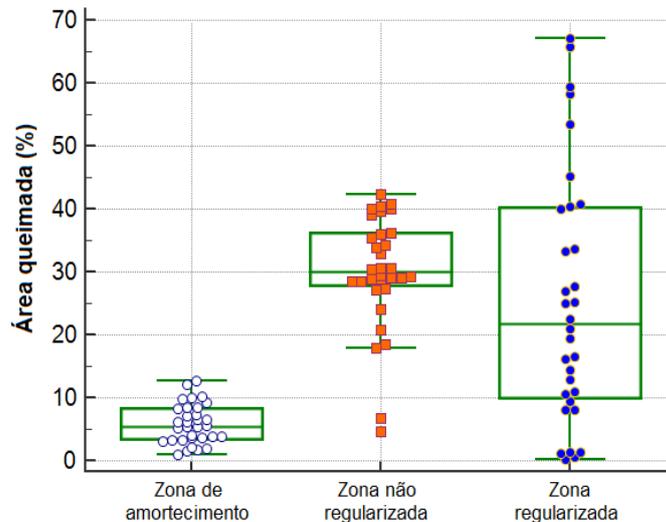
Figura 7 – Frequência relativa dos percentuais anuais queimados, em trinta e dois anos, na zona de amortecimento do PNSC.



A ZA concentra áreas de maior atrativo populacional, densidade de estradas e desenvolvimento de atividades agrícolas e pecuárias. Apesar disto, neste local, ocorrem percentuais de áreas queimadas muito abaixo das ZR e ZNR. Isto advém do fato de que as características geoambientais deste local, diferentes das que são encontradas nos Chapadões, tomam a ZA menos vulnerável à ocorrência e à propagação do fogo (MMA *et al.*, 2018).

As constatações acima relatadas podem, ainda, serem comprovadas através de diagramas de caixas ou *box-plot* (Figura 8). A ZA apresentou baixo desvio padrão do percentual queimado por ano ($\sigma = 3,15$) e, devido à pequena amplitude entre os valores máximo e mínimo, o diagrama possui caixas pequenas. O tamanho das caixas comprova que, nesta zona, há pequena variação de área queimada a cada ano.

Figura 8 – Diagrama de caixas (*box-plot*) dos percentuais anuais queimados, em trinta e dois anos, das zonas do PNSC.



Na ZR, têm-se valores elevados de desvio padrão ($\sigma = 19,99$), o que sugere que há maior variabilidade de área anual queimada na série temporal. O *box-plot* mostra que, na ZR, a amplitude entre os valores máximo e mínimo é alta, sendo assim, as caixas são longas. Embora a amplitude entre os valores seja alta, percebe-se que a linha da mediana está mais próxima do primeiro quartil, mostrando que a distribuição é assimétrica positiva. Isto sugere que, os percentuais de área queimada anual, estão mais concentrados em valores baixos.

Por sua vez, a ZNR tem desvio padrão menor que a ZR ($\sigma = 8,99$), indicando que há menos variação de área queimada entre os anos da série analisada. Neste sentido, o *box-plot* da ZNR mostra caixas e amplitude menores que as da ZR. Quanto à simetria, a distribuição é assimétrica positiva. Entre a mediana e o primeiro quartil, nota-se grande concentração de eventos com valores semelhantes, o que também foi anteriormente evidenciado no histograma da Figura 5, devido à alta concentração de queimadas com áreas que variam entre 27 e 32 %.

No caso da ZNR ocorreram dois *outliers* (ou pontos fora da curva), fenômeno não observado na ZR e ZA. Os *outliers* são valores discrepantes, com base nos dados amostrais. Estes valores estão relacionados com a área queimada dos anos de 2009 e 2013, que são muito inferiores ao valor médio e mediano dos dados da ZNR. Provavelmente, estes valores, que estão muito abaixo do desvio padrão, não representam as queimadas naqueles anos em sua totalidade, devido à interferência de nuvens nas imagens dos meses de outubro ou de novembro. Nestes meses, podem ter ocorrido grandes incêndios relacionadas ao início do período úmido, quando ainda há vegetação herbácea seca e ocorrem queimadas naturais.

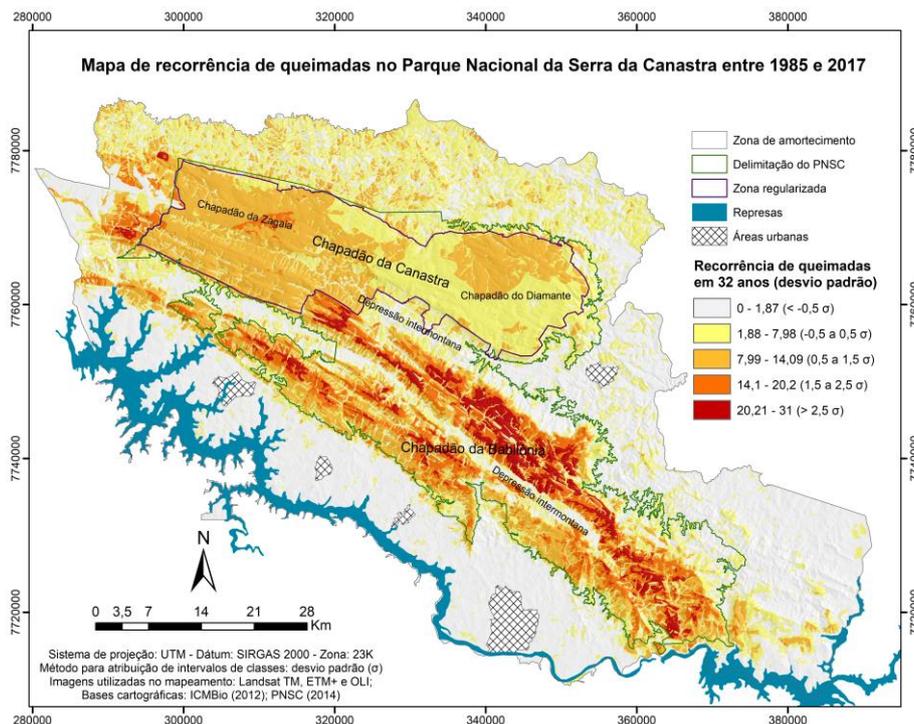
No que diz respeito aos valores de áreas queimadas por zonas, diferentes pesquisas foram realizadas no mapeamento das áreas queimadas no PNSC. Nestes estudos, muitos valores são diferentes aos apresentados neste artigo (MAGALHÃES *et al.*, 2012; MEDEIROS e FIEDLER, 2004; LEMES *et al.*, 2014). Esta divergência ocorre devido a vários fatores, tais como: i) Origem dos dados (mapeamento temático, dados de relatórios); ii) método utilizado para o mapeamento (interpretação visual, classificação supervisionada, classificação orientada a objetos); iii) quantidade de imagens utilizadas e tamanho da série; iv) período do ano considerado (todo o ano, somente o período seco); v) zonas do parque consideradas (apenas zonas regularizadas, regularizadas e não regularizadas, todo o parque considerando a zona de amortecimento).

Análises realizadas por Lemes *et al.* (2014) corroboram com esta afirmativa. Os autores mapearam as queimadas no PNSC do período de 1999 a 2011, pela técnica de árvore de decisão, em imagens Landsat TM. As áreas queimadas foram comparadas com outras pesquisas que utilizaram classificação visual, Registro de Ocorrência de Incêndio (ROI) ou que avaliaram apenas a zona regularizada, constatando que as informações diferem. Moura e Viadana (2012) colocam que, em relação aos dados de ROI do Sistema Nacional de Informações sobre Fogo (SISFOGO) ou outros endereços eletrônicos públicos, há falta de organização e unificação de ocorrências de incêndios em um único local. Isto dificulta o desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao fogo e desincentiva os gestores das UC a relatarem as ocorrências.

MAPA DE RECORRÊNCIA DE QUEIMADAS DO PNSC

O mapa de recorrência de queimadas mostra a síntese espacial das queimadas ocorridas na área do Parque Nacional da Serra da Canastra e sua zona de amortecimento, entre os anos de 1985 e 2017 (Figura 9). Considerando conjuntamente todo o PNSC e sua ZA, os dados estatísticos da distribuição mostram que, em média, 4,92 queimadas ocorreram nos trinta e dois anos. Contudo, o comportamento da distribuição das queimadas é variável, conforme as características dos diferentes ambientes do parque, havendo concentração de queimadas em certos locais, e em outros os eventos ocorrem em menor frequência. Neste sentido, nos trinta e dois anos estudados, há locais que nunca foram atingidos pelo fogo, enquanto em outros os eventos tiveram até 31 reincidências.

Figura 9 – Mapa de recorrência de queimadas no PNSC.



Nas ZNR as recorrências de queimadas variam entre valores muito baixos e muito altos. As depressões intermontanas estão geralmente associadas à classe < -0,5 σ , sendo assim, ocorreram menos de 1,87 queimadas em trinta e dois anos, valor que se encontra abaixo da média de toda a área de estudo. À medida que se eleva a altitude, nas serras que formam o Chapadão da Babilônia, tem-se aumento na reincidência de queimadas. Nas áreas elevadas, próximas das bordas do Chapadão, os índices estão associados à classe 1,5 a 2,5 σ , ou seja, ocorreram entre 14,1 e 20,2 queimadas. O interior e os topos do Chapadão, onde se encontram as maiores altitudes, são as áreas mais críticas de recorrência de queimadas (> 2,5 σ), pois houve entre 20,21 e 31 queimadas.

As ZR apresentam valores de recorrência próximos ou um pouco acima da média, o que comprova que o controle do fogo é mais eficaz no Chapadão da Canastra. Na porção Oeste do Chapadão, chamada de Chapadão da Zagaia, predominam áreas que queimaram entre 1,88 e 7,98 vezes (0,5 a 1,5 σ). No Chapadão do Diamante, porção Leste, há locais em que os valores se situam próximos da média (-0,5 a 0,5 σ) e outros que estão um pouco acima da média (0,5 a 1,5 σ), ou seja, os ambientes foram incendiados entre 1,88 e 14,09 vezes. Vale destacar que, no entorno dos cursos d'água em que há presença de mata ciliar ou em fragmentos de mata, a recorrência reduz, visto que a presença de vegetação densa tende a desacelerar a velocidade de propagação do fogo (MMA e IBAMA, 2005).

Na porção Norte da ZA são observadas, anualmente, pequenas cicatrizes de queimadas. De modo geral, estas queimadas estão associadas ao uso do fogo no manejo das pastagens

(MMA *et al.* 2018) e não reincidentes todos os anos na mesma posição espacial, gerando recorrências nas classes $-0,5$ a $0,5 \sigma$ e $0,5$ a $1,5 \sigma$. Nas proximidades do rio Grande e a leste da ZA são desenvolvidas atividades agrícolas, como café, cana, banana, milho, soja, que não utilizam fogo no manejo (MMA *et al.* 2018) e, por isto, nestes locais, predominam valores de recorrência abaixo da média ($< -0,5 \sigma$). Na parte Oeste da ZA aparecem índices de recorrência variados, que podem estar tanto abaixo da média ($< -0,5 \sigma$), como muito acima ($> 2,5 \sigma$) e também nas classes intermediárias.

Estes resultados corroboram com estudos realizados por Lemes *et al.* (2014), que avaliaram os incêndios florestais no PNSC, entre 1991 e 2011. Os autores constataram que, em um período de dez anos, nas ZR houve incidência de 2 a 4 queimadas em média, enquanto nas ZNR a recorrência variou entre 6 a 8 vezes. Conforme MMA *et al.* (2018), a regularização do Chapadão da Canastra é um fator determinante na redução dos valores de recorrência em relação ao Chapadão da Babilônia.

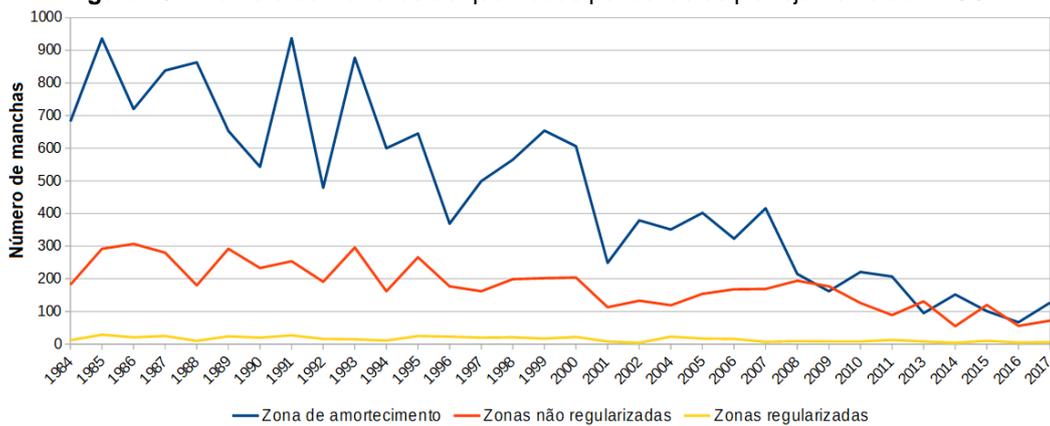
NÚMERO DE MANCHAS E ÁREA MÁXIMA ATINGIDA PELAS QUEIMADAS NO PNSC

Em relação ao número de manchas, que representa a quantidade de polígonos de queimadas mapeados em cada ano, a ZA destaca os maiores valores entre as três zonas (Tabela 3, Figura 10). Foram mapeadas, em média, 466,6 feições por ano na ZA. A ZNR destaca valores menores, sendo que o número médio de polígonos é de 179,8. Por sua vez, a ZR expressa valores bastante inferiores, visto que anualmente são verificadas, em média, 15,1 manchas.

Tabela 3 – Número de manchas e área máxima das queimadas, por zonas de planejamento do PNSC.

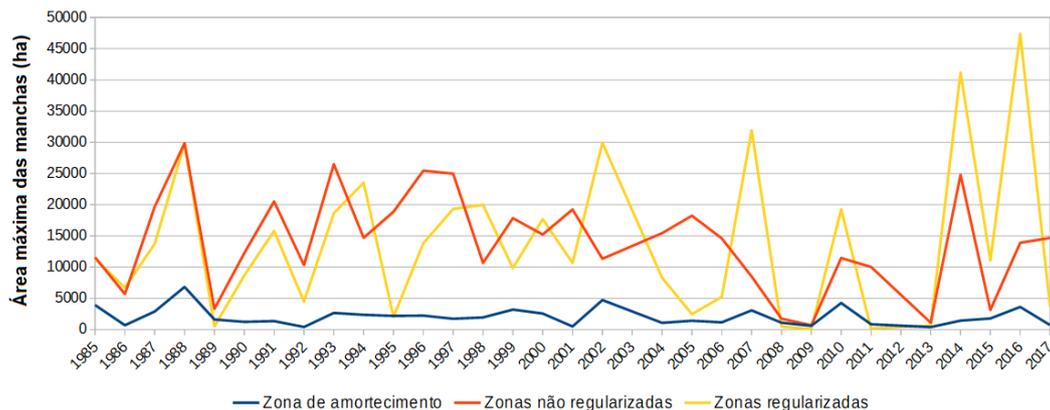
Ano	Nº de manchas			Área máxima atingida (ha)		
	ZA	ZNR	ZR	ZA	ZNR	ZR
1984	682	182	12	719,99	8.663,45	8.537,76
1985	936	292	29	3.936,05	11.589,48	11.334,61
1986	720	307	21	695,91	5.691,34	6.726,29
1987	838	280	25	2.904,5	19.697,91	13.761,69
1988	863	180	10	6.829,12	29.855,96	29.813,13
1989	653	292	24	1.617,15	3.327,29	509,9
1990	543	233	20	1.242,62	12.249,48	8.674,52
1991	937	254	27	1.360,39	20.525,78	15.794,54
1992	479	191	16	415,93	10.348,88	4.493,11
1993	877	296	15	2.667,24	26.495,67	18.642,73
1994	600	162	11	2.367,27	14.705,09	23.540,02
1995	645	266	25	2.193,72	18.875,28	2.031,24
1996	369	177	23	2.239,24	25.456,47	13.854,36
1997	499	162	20	1.738,21	24.978,93	19.329,24
1998	565	199	21	1.949,32	10.681,18	19.995,75
1999	654	202	17	3.202,86	17.851,97	9.851,35
2000	606	204	22	2.570,94	15.228,70	17.698,28
2001	249	113	8	502,21	19.238,55	10.676,60
2002	379	133	4	4.727,00	11.347,38	29.919,52
2004	351	119	23	1.081,92	15.449,20	8.305,63
2005	402	154	17	1.413,28	18.242,02	2.468,32
2006	323	168	16	1.164,13	14.609,59	5.246,64
2007	416	169	7	3.081,98	8.509,93	31.925,56
2008	215	194	9	1.103,53	1.750,02	4.95,72
2009	162	177	8	612,42	690,96	70,00
2010	221	126	8	4.257,80	11.460,32	19.276,85
2011	207	89	13	852,55	10.042,31	186,19
2013	95	131	8	401,22	1.107,65	630,4
2014	152	55	4	1.431,96	24.778,33	41.172,14
2015	101	120	10	1.783,15	3.142,88	11.067,13
2016	67	56	5	3.632,94	13.906,16	47.391,59
2017	127	72	6	718,84	14.685,17	3.681,45
□	466,6	179,8	15,1	2.044,23	13.911,98	13.659,45

Figura 10 – Número de manchas de queimadas por zonas de planejamento do PNSC.



Por outro lado, no que se refere à área máxima atingida pelas manchas de fogo na ZA, os valores observados são baixos, chegando, em média, a 2.044,23 ha ao ano (Tabela 3). Por outro lado, as áreas máximas das feições observadas na ZNR e ZR são superiores, atingindo, em média, 13.911,98 ha e 13.659,45 ha por ano, respectivamente. Desta maneira, pode-se constatar que, de modo geral, os incêndios florestais ocorrem em maior magnitude no interior do parque, mas os valores apresentam grande variação ao longo da série (Figura 11).

Figura 11 – Área máxima alcançada pelas manchas de queimadas por zonas de planejamento do PNSC.



Considerando a média de toda a série temporal, os dados mostraram que a ZA apresenta elevadas quantidades de cicatrizes e, por outro lado, baixos valores de área máxima atingida. As queimadas nesta zona estão concentradas, em sua grande parte, na porção Norte e Oeste, nos municípios de São Roque de Minas e Sacramento, onde predomina a pecuária de leite e corte, que utiliza o fogo como ferramenta de manejo das pastagens (MMA *et al.* 2018). No ano de 2016, São Roque de Minas e Sacramento concentravam um total de 77.805 e 140.898 cabeças de gado, respectivamente (IBGE, 2018). O uso de queimadas controladas é aplicado na limpeza superficial e renovação de pastagens, pois, em curto prazo, produzem de cinzas ricas em nutrientes, melhoram o PH, aumentam a produtividade dos solos, estimulam o crescimento de gramíneas forrageiras (NEPSTAD *et al.*, 1999; LORENZON *et al.*, 2014). Esta prática gera grande quantidade de manchas, mas, na maioria dos casos, os focos são extintos após incendiar a área desejada, atingindo pequenas áreas.

Entretanto, a Figura 10 permite visualizar que o número de manchas de queimadas na ZA tem reduzido com o passar do tempo, o que tem feito com que a curva tenha uma tendência decrescente. Na última década o número de manchas desta zona se assemelha ao da ZNR, diferentemente do início da série. Segundo dados dos Censos Agropecuários (IBGE, 2018), os municípios que abrangem a área de estudo tiveram encolhimento de áreas de pastagem entre 1985 e 2017, especialmente Sacramento e São Roque de Minas, onde estão as maiores

concentrações de queimadas na ZA. Como o fogo é comumente usado na limpeza do terreno ou renovação da vegetação herbácea (RESENDE *et al.*, 2017), a redução de pastagens tende a diminuir o número de manchas de queimadas. Dados da Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2018) mostram que a redução das áreas de pastagens está associada ao crescimento de áreas de cultivos agrícolas, nos quais a utilização do fogo é menos comum.

Quanto ao Chapadão da Babilônia, que possui baixo grau de regularização, desenvolvem-se incêndios de grandes extensões no período seco, maior parte com causas naturais ou criminosos – neste caso, não há intenção do autor em extinguir os focos (MMA e IBAMA, 2005). Utiliza-se também, nestes locais, a queima controlada para fins de pecuária, que gera alto número de polígonos, mas atingem pequenas áreas, pois os focos são extintos após incendiar o local desejado – exceto em casos em que o fogo foge do controle. As características geoambientais desta zona, que propiciam a propagação do fogo, fazem com que a área máxima atingida tenha valores elevados.

Por outro lado, queimadas para fins agropecuários não são realizadas no Chapadão da Canastra, já que há restrições de uso, não há população assentada e há presença institucional, que inibe os riscos de ignição (MMA *et al.* 2018). Por isto, o número de manchas de queimadas nas ZR é baixo, por estarem relacionadas basicamente às queimadas naturais ou criminosas. Entretanto, os focos podem atingir grandes extensões, mesmo que haja controle por parte do ICMBio. A partir da regularização desta zona, com a criação da UC, passou-se a excluir ou reduzir as queimadas e suprimiu-se a prática da pecuária, o que contribui com o acúmulo de material combustível (vegetação herbácea morta). Além disto, a zona é cortada por poucas estradas e não é manejada para agricultura, o que facilita que incêndios tomem grandes proporções rapidamente, por haver poucas barreiras de contenção (MMA *et al.*, 2017).

Estes resultados corroboram com estudos de Bontempo (2006), que avaliou onze parques nacionais e estaduais abertos à visitação, do estado de Minas Gerais (Brasil) e constatou que a regularização fundiária está entre os maiores desafios na prevenção e combate de incêndios florestais. Aximoff e Rodrigues (2011) colocam que, no Parque Nacional do Itatiaia (Minas Gerais e Rio de Janeiro, Brasil), setores de grande potencial para ocorrência de incêndios estão associados à pecuária, promovidas por comunidades em situação fundiária irregular. Do mesmo modo, Fragal e Gasparetto (2017) afirmam que, no Parque Nacional de Ilha Grande (Mato Grosso do Sul e Paraná, Brasil), os impactos causados pela utilização do fogo controlado devem continuar até que haja a regularização fundiária de terras do parque.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Parque Nacional da Serra da Canastra se configura como uma Unidade de Conservação onde os incêndios florestais, por serem numerosos e atingirem grandes extensões, são considerados atividades conflitantes. Entre as zonas de planejamento, as ZNR, localizadas no Chapadão da Babilônia, são as mais atingidas pelo fogo em área total, e os focos chegam a atingir grandes extensões. Além disto, as ZNR concentram locais de elevada recorrência de queimadas, especialmente nas maiores altitudes, onde há o predomínio de fitofisionomias campestres, que propiciam a propagação do fogo no período seco.

As ZR, associadas ao Chapadão Canastra, também apresentam valores expressivos de área total queimada, porém, aquém aos do Chapadão da Babilônia, devido às restrições de uso e maior controle por parte da UC, que realiza ações de prevenção e combate a incêndios. Os valores de recorrência de queimadas nesta zona são médios, constatando que a frequência de queimadas não é tão alta como nas ZNR, porém, os focos podem atingir grandes dimensões. Por outro lado, o número de cicatrizes é inferior às outras zonas.

Quanto aos incêndios na ZA, a área total queimada é demasiadamente inferior às zonas localizadas no interior do parque, pois esta zona possui características geoambientais que propiciam menos a propagação. Em contrapartida, a quantidade de manchas é muito superior, pois o fogo está geralmente associado ao manejo das pastagens, mas, devido à extinção dos focos após incendiar a área pretendida, atinge pequenas extensões.

Os resultados deixam claro que a regularização fundiária é essencial para que haja a redução das altas recorrências de queimadas no Chapadão da Babilônia. A não regularização desta

zona permite o desenvolvimento de atividades conflitantes, as quais acarretam o início do fogo. É necessário também que haja um apoio financeiro e profissional maior, visto que o número de funcionários não é suficiente para aplicar ações de prevenção e combater o fogo em todo o parque, sendo o Chapadão da Canastra priorizado.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARADO, S. T.; FORNAZARI, T.; CÓSTOLA, A.; MORELLATO, L. P. C.; SILVA, F. S. F. Drivers of fire occurrence in a mountainous Brazilian cerrado savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 270-281, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.02.037>
- AVITABILE, S. C.; CALLISTER, K. E.; KELLY, L. T.; HASLEM, A.; FRASER, L.; NIMMO, D. G.; WATSON, S. J.; KENNY, S. A.; TAYLOR, R. S.; SPENCE-BAILEY, L. M.; BENNETT, A. F.; CLARKE, M. F. Systematic fire mapping is critical for fire ecology, planning and management: a case study in the semi-arid Murray Mallee, south-eastern Australia. **Landscape and Urban Planning**, v. 117, p. 81-91, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.04.017>
- AXIMOFF, I. RODRIGUES, R. C. Histórico de incêndios florestais no Parque Nacional de Itatiaia. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 1, p. 83-92, 2011. <https://doi.org/10.5902/198050982750>
- BASTARRIKA, A. CHUVIECO, E.; MARTÍN, M. P. Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: Balancing omission and commission errors. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 1003-1012, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.005>
- BOLFE, E. L.; OSHIRO, O. T.; TÔSTO, S. G.; VICTORIA, D. C.; RONQUIM, C. C.; CARMELLO, I. D.; FONTOLAN, M. R. Geração do mosaico de Moçambique a partir de imagens Landsat 8. **Circular técnica**, n. 30, p. 1-12, 2014.
- BONTEMPO, G. C. **Ocorrência de incêndios florestais e educação ambiental nos parques abertos à visitação pública em Minas Gerais** (Dissertação de mestrado). Viçosa: UFV, 2006.
- CHUVIECO, E. Measuring changes in landscape pattern from satellite images: Short-term effects of fire on spatial diversity. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 12, p. 2331-2346, 1999. <https://doi.org/10.1080/014311699212056>
- CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. **Geocologia**: o clima, os solos e a biota. *In.*: ROSS, J. L. S. (org.) Geografia do Brasil – 6ª ed. São Paulo: Edusp, 2011. p. 67-198.
- COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian Cerrado. *In.*: GOLDAMMER, J. G. (ed.). **Fire in the Tropical Biota**. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1990. p. 82-105 https://doi.org/10.1007/978-3-642-75395-4_6
- COUTINHO, L. M. O bioma do cerrado. *In.*: KLEIN, A. L. (Org.). **Eugen Warming e o cerrado brasileiro**: um século depois. São Paulo: UNESP, 2002. p. 77-92
- DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, p. 11-15, 2015. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12559>
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. **Wildland fire management terminology**. Roma: FAO, 1986.
- FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial**: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento. Rio Claro: Ed. Unesp, 2014.
- FRAGAL, E. H. GASPARETTO, N. V. L. Parque Nacional de Ilha Grande: caracterização da dinâmica de queimadas entre 1985 e 2016 com base em imagens Landsat. *In.*: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R. R. **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento**. Campinas: UNICAMP, 2017. p. 1022-1033.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 18 ago. 2018.

JACQUES, A. V. A. A queima das pastagens naturais: efeitos sobre o solo e a vegetação. **Ciência Rural**, v.33, n.1, p.177-181, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000100030>

JAISWAL, R. K.; MUKHERJEE, S.; RAJU, K. D.; SAXENA, R. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 4, 2002, p. 1-10. [https://doi.org/10.1016/S0303-2434\(02\)00006-5](https://doi.org/10.1016/S0303-2434(02)00006-5)

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parênteses, 2009.

KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L.; WARD, D. E. Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado. **Journal of Ecology**, v. 82, p. 519-531, 1994. <https://doi.org/10.2307/2261261>

LEMES, G. P.; MATRICARDI, E. A. T.; COSTA, O. B.; LEAL, F. A. Avaliação espaço-temporal dos incêndios florestais no Parque Nacional Serra da Canastra no período de 1991 a 2011. **Ambiência Guarapuava (PR)**, v.10, suplemento 1, p. 247-266, 2014. <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2014.supl.03>

LEONE, V.; KOUTSIAS, N.; MARTÍNEZ, J.; VEGA-GARCÍA, C.; ALLGÖWER, B. The human factor in fire danger assessment. *In.*: CHUVIECO, E (ed.). **Wild fire danger estimation and mapping: the role of remote sensing data**. Danvers, EUA: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2003. p. 143 – 196. https://doi.org/10.1142/9789812791177_0006

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.

LORENZON, A. S.; BRIANEZI, D.; VALDATERO, E. B.; SOUZA, C. M.; MARTINS, S. V.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E.; JACOVINE, L. A. G. Análise química de um solo florestal após a ocorrência de fogo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.4, n.2., p.142-147, 2014. <https://doi.org/10.21206/rbas.v4i2.269>

MAGALHÃES, S. R.; LIMA, G. S.; RIBEIRO, G. A. Avaliação dos incêndios florestais ocorridos no Parque Nacional da Serra da Canastra – Minas Gerais. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 135-141, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000100016>

MEDEIROS, M. B.; FIEDLER, N. C. Incêndios florestais no Parque Nacional da Serra da Canastra: desafios para a conservação da biodiversidade. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 157-168, 2004.

MILLER, J. D.; THODE, A. E. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). **Remote Sensing of Environment**, v. 109, n. 1, p. 66-80, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.12.006>

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N. Efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado. *In.*: SCARLOT, A.; SOUZA-SILVA, J. C.; FELFILI, J. M. (Orgs.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: MMA, 2005.

MIRANDA, H. S.; SATO, M. N.; ANDRADE, S. M. A.; HARIDASAN, M.; MORAIS, H. C. Queimadas do cerrado: caracterização e impactos. *In.*: AGUIAR, L. M. S.; CAMARGO, A. J. A. (eds.). **Cerrado: ecologia e caracterização**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

MISTRY, J.; BIZERRIL, M. Por que é importante entender as inter-relações entre pessoas, fogo e áreas protegidas? **Biodiversidade brasileira**, ano I, n. 2, p. 40-49, 2011.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Plano de Manejo**: Parque Nacional da Serra da Canastra. Brasília: MMA, 2005.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; ICMBIO – INSTITUTO CHICO MENDES DA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE; PNSC – PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA. **Plano operativo de manejo integrado do fogo**. São Roque de Minas: PNSC, 2017.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; ICMBIO – INSTITUTO CHICO MENDES DA CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE; PNSC – PARQUE NACIONAL DA SERRA DA CANASTRA. **O parque Nacional da Serra da Canastra**: breves considerações históricas, logísticas e gerenciais. Processo 02070.000978/2018-19 / SEI 2668224. São Roque de Minas: SEI, 2018.

MOURA, L. C.; VIADANA, A. G. Atuação da Coordenação Geral de Proteção Ambiental – CGPRO na prevenção e combate a incêndios florestais em Unidades de Conservação federais. **Climatologia e estudo da paisagem**, v. 7, n. 1-2, p. 5-21, 2012.

NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. G.; ALENCAR, A. A. **Floresta em chamas**: origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia. Brasília: Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais no Brasil, 1999.

PARSON, D. J. The Challenge of Restoring Natural Fire to Wilderness. **USDA Forest Service Proceedings RMRS**, v. 5, p. 276-282, 2000.

PIVELLO, V. R. The use of fire in the cerrado and amazonian rainforests of Brazil: past and present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24-39, 2011. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>

RESENDE, F. C.; CARDOZO, F. S.; PEREIRA, G. Análise Ambiental da Ocorrência das Queimadas na Porção Nordeste do Cerrado. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 34 p. 31-42, 2017.

RISSI, M. N.; BAEZA, M. J.; GORGONE,-BARBOSA, E.; ZUPO, T.; FIDELIS, A. Does season affect fire behaviour in the Cerrado? **International Journal of Wildland Fire**, v. 26, 427–433, 2017.

SAINT-HILAIRE. **Viagem às nascentes do Rio S. Francisco e pela província de Goyas**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1937.

SEVER, L.; LEACH, J.; BREN, L. Remote sensing of post-fire vegetation recovery; a study using Landsat 5 TM imagery and NDVI in North-East Victoria. **Journal of Spatial Science**, v. 57, n. 2, p. 175-191, 2012. <https://doi.org/10.1080/14498596.2012.733618>

SUNAR, F; ÖZKAN, C. Forest fire analysis with remote sensing data. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 22, n. 12, p. 2265-2277, 2001. <https://doi.org/10.1080/01431160118510>

STEVENS, J. T.; BECKAGE, B. Fire feedbacks facilitate invasion of pine savannas by Brazilian pepper (*Schinus terebinthifolius*). **New Phytologist**, v. 184, p. 365-375, 2009. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02965.x>

Recebido em: 13/09/2018

Aceito para publicação em: 20/03/2019