
Dinâmica da ocorrência dos incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil

Dynamics of Forest Fires in the Chapada Diamantina National Park, Bahia, Brazil

Clarissa Silva Bispo^{1*}, Rebecca Camilly Galvão dos Santos¹, Robson da Silva Magalhães¹, Alex Mota dos Santos¹, Edvaldo Oliveira², Pablo Santana Santos⁴, Gerson dos Santos Lisboa³, Vinicius de Amorim Silva¹

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi investigar a dinâmica de ocorrência dos incêndios florestais e relacionar os fatores que as impulsionam. Este trabalho se justifica pela elevada frequência do fogo no Parque Nacional da Chapada Diamantina, uma região com grande biodiversidade ecológica e ambiental, que se encontra em ameaça constante. Dessa forma, a execução desse trabalho recorreu a um inventário de caráter quantitativo e qualitativo dos focos de calor, das áreas queimadas e dos fatores ambientais que impulsionam a sua ocorrência. Foram coletados dados dos anos de 1993, 1999, 2008, 2015 e 2020. Com base nos resultados, no Parque Nacional da Chapada Diamantina acrescida pela sua Zona de Amortecimento foram encontrados 7.285 focos de calor nos anos de estudo, com 923,06 km² de área atingidas pelos incêndios florestais, relacionando-os com os fatores associados à sua ocorrência.

Palavras-chave: Unidade de conservação; Sensoriamento remoto; Focos de calor; Fatores ambientais.

ABSTRACT

The objective of this research was to investigate the dynamics of forest fires and relate the factors that drive them. This work is justified by the high frequency of fire in Chapada Diamantina National Park, a region with great ecological and environmental biodiversity, which is under constant threat. Thus, the execution of this work resorted to a quantitative and qualitative inventory of hotspots, burned areas and environmental factors that drive their occurrence. Data were collected for the years 1993, 1999, 2008, 2015 and 2020. Based on the results, in the Chapada Diamantina National Park, added by its Buffer Zone, 7,285 hotspots were found in the years of study, with 923.06 km² of areas affected by forest fires, relating them to the factors associated with their occurrence.

Keywords: Conservation unit; Remote sensing; Hot spots; Environmental factors.

¹ Universidade Federal do Sul da Bahia- UFSB

* E-mail: clarasgeo@gmail.com

² Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB

³ Universidade Federal de Goiás - UFG

⁴ Universidade Federal da Bahia- UFBA

INTRODUÇÃO

O Parque Nacional (PARNA) da Chapada Diamantina é uma Unidade de Conservação (UC) de proteção integral e tem o objetivo de preservar a natureza, sendo permitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais (BRASIL, 2000).

De acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o PARNA da Chapada Diamantina é a unidade de conservação de proteção integral do Brasil que registra o maior número de focos de incêndio por temporada, o que preocupa, pois se trata de uma região com grande biodiversidade ecológica e ambiental, que se encontra em ameaça constante.

Segundo Batista (2000) as causas dos incêndios florestais no Brasil e em outros países mostram por meio de estatística que a maioria se inicia a partir de fontes de fogo decorrentes das atividades humanas (BATISTA, 2000). Causando efeitos que acabam afetando a composição e estrutura das florestas, da biodiversidade, da fauna e o equilíbrio atmosférico (DODONOV et al., 2019).

Diversas características do ambiente têm influência sobre o início, a propagação e a intensidade dos incêndios florestais (SOARES e BATISTA, 2007). Os fatores que estão mais relacionados com os incêndios têm relação com as condições climáticas, a topografia e o tipo de cobertura vegetal (material combustível) (SOARES et. al., 2008; ASSIS et al., 2014)

Com o avanço tecnológico dos sensores orbitais, aliado com as geotecnologias, tornou-se possível realizar a caracterização de incêndios florestais ao identificar e extrair informações úteis à análise e interpretação, tornando possível a verificação de como as ações humanas moldam o meio ambiente (ARAUJO, 2015). Posto isto, o objetivo desta pesquisa foi investigar a dinâmica de ocorrência dos incêndios florestais e relacionar os fatores que as impulsionam.

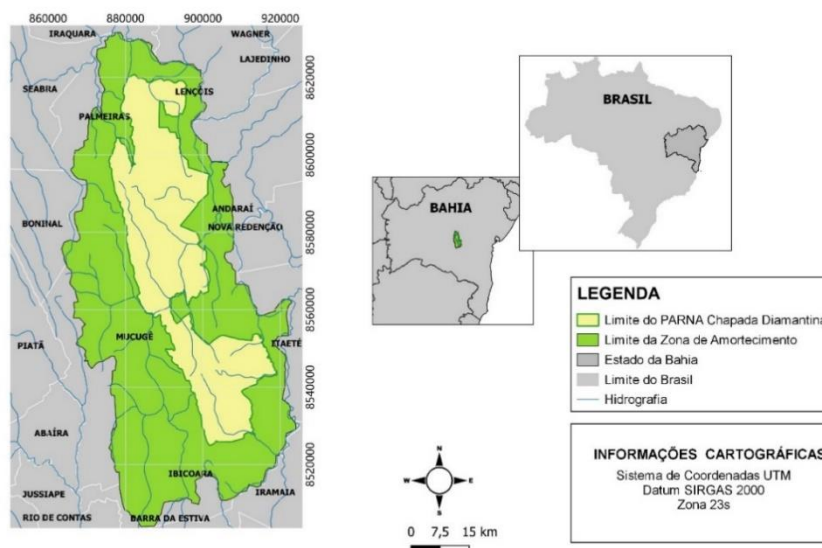
MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O PARNA da Chapada Diamantina está localizado na parte central do estado da Bahia. Apresenta uma área de 1521,32 km², cerca de 0,30% do estado da Bahia e sua zona de amortecimento com aproximadamente 3090,21 km², totalizando 4611,53 km² de área de estudo. O Parque Nacional da Chapada Diamantina (PNCD) foi criado a partir do decreto nº 91.655 de 17 de setembro de 1985, administrado desde a sua criação até hoje

pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) (MMA, 2007), (Figura 1).

Figura 1. Mapa de localização do PARNA da Chapada Diamantina e sua Zona de Amortecimento.



Fonte: Autores

O PNCD abrange os municípios de Andaraí, Ibicoara, Itaetê, Lençóis, Mucugê e Palmeiras, tendo sua maior porcentagem inserido no município de Mucugê com 32,4% do território, seguido pelo município de Palmeiras com 27,7%, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Municípios abrangidos pela PNCD e Percentuais.

Municípios	% municipal inserido no PNCD
Andaraí	18,6%
Ibicoara	2,7%
Itaetê	0,2%
Lençóis	18,4%
Mucugê	32,4%
Palmeiras	27,7%
TOTAL	100%

Fonte: Autores.

Softwares

Para realização da pesquisa, foram necessários os *softwares* ArcGIS PRO, versão mais recente da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), disponibilizado gratuitamente por um ano para estudantes e pesquisadores e o QGIS 3.16.14, um Sistema

de Informação Geográfica (SIG) de Código Aberto licenciado segundo a Licença Pública Geral GNU.

Dados dos Focos de calor

Os dados dos focos de calor do PNCD, foram disponibilizados gratuitamente e simultaneamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por meio do Banco de dados Queimadas (BDQUEIMADAS), encontrado no endereço eletrônico: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas#exportar-dados>. Os satélites utilizados são provenientes do sensor AVHRR bordo do satélite polar da série NOAA, com resolução espacial de 1,1 km, com passagem diária e área imageada de 2.400 km, e do sensor MODIS a bordo os satélites da série TERRA e AQUA, com resolução espacial 250x1000m, com passagem de 1 a 2 dias e área imageada 2330x5000km.

Os dados dos focos de calor foram baixados no formato CSV, contendo informações como: coordenadas geográficas, data do foco de calor (dia, mês e ano), município e tipo de satélite. A partir desses dados obteve maior e menor número de focos de calor, sendo possível assim analisar a distribuição espacial dos focos de calor nos anos de 1999, 2008, 2015 e 2020, onde foram alinhados e sobrepostos à área de estudo e organizados em uma única base. O ano de 1993 o INPE não tem dados de focos de calor na área de estudo, não sendo possível analisar a distribuição espacial. Para representar a quantificação dos focos de calor na área de estudo, os dados foram organizados e tabulados em Planilha Eletrônica do Excel, gerando tabelas com dados anuais e mensais.

Por meio do *software* ArcGIS PRO, foi feito o mapeamento com o *shapefile* dos focos de calor nos anos de estudos disponibilizados pelo INPE. Lembrando que os dados de focos de calor fornecem informações a respeito do local e do momento da ocorrência do fogo, permitindo a identificação de padrões espaciais e temporais em sua ocorrência e não na quantificação da área afetada pelos incêndios florestais (ROY et al.,2005).

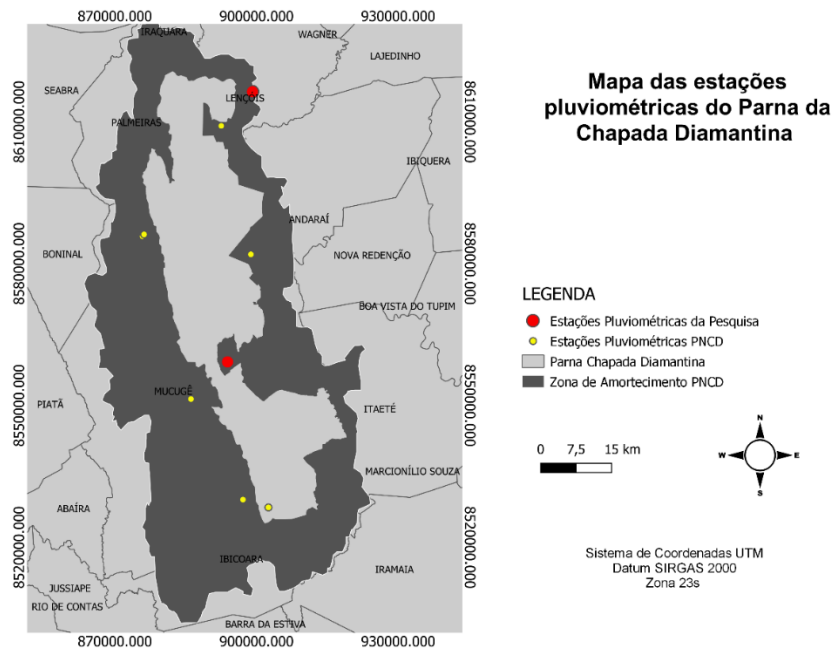
Dados meteorológicos

Para o presente estudo foram utilizados dados de precipitação pluviométricas fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), por meio da plataforma Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas (HIDROWEB), disponibilizados no endereço eletrônico: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>.

Ao se avaliar o efeito da precipitação sobre o potencial de propagação do fogo em uma região, é necessário levar em consideração não apenas a quantidade de chuva,

mas também sua distribuição estacional (SCHROEDER; BUCK, 1970). Dentro da área do PARNA da Chapada Diamantina e sua Zona de Amortecimento, foram encontradas nove estações pluviométricas. A escolha das estações pluviométricas utilizadas na pesquisa se deu na disponibilidade de dados nos anos de 1993, 1999, 2008, 2015 e 2020, sendo assim, foram utilizados dados da Estação Pluviométrica Porto, código 1241017, no município de Lençóis e a Estação Pluviométrica Usina Mucugê, código 1241033, no município de Mucugê, ambas operadas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), com dados disponíveis de 1940 a 2021. O mapeamento das estações pluviométricas encontradas no PNCD e sua Zona de Amortecimento foi elaborada no *software* livre QGIS 3.16.14, onde foi realizado a distribuição espacial das estações, conforme a Figura 2.

Figura 2. Mapa das estações pluviométricas do PARNA da Chapada Diamantina e sua Zona de Amortecimento.



Fonte: Autores.

Foram analisados os dados de precipitação pluviométrica acumulada total anual, mensal e diário. Com as informações fornecidas foram elaboradas tabelas para análise dos meses e anos com maior índice de chuvas, levando em consideração a metodologia utilizada por Minuzzi et al., (2007) que considera como dia chuvoso a precipitação pluviométrica mínima de 1,0 mm.

A distribuição da precipitação é um fator determinante para análise de ocorrência de incêndios florestais. Onde o próximo passo foi a utilização da técnica utilizada por Xavier (2001), nos dados totais de precipitações acumulada, no intuito de estabelecer

a classificação e o monitoramento de períodos secos e chuvosos, esta técnica baseia-se na distribuição da frequência acumulada, sendo que a aproximação da função densidade de probabilidade que descreve o fenômeno é tanto melhor quanto maior é o número de observações disponíveis.

Esses valores foram divididos em períodos “SECOS” aqueles em que os totais de precipitação foram iguais ou menores que a frequência acumulada de ocorrência de 25% (intervalo de valores inferiores a 509,9 mm na estação Porto e 552 mm na estação Usina de Mucugê), os “NORMAIS” com probabilidade maior que 25% e inferior ou igual a 75% (intervalo dos valores inferiores a 1403,5mm na estação Porto e 1477,3 mm na estação Usina de Mucugê), e os “CHUVOSOS” com probabilidade maior que 75%.

Dados de uso e cobertura da terra

O mapeamento de uso e ocupação da terra permite compreender os padrões de organização do espaço geográfico, sendo possível identificar as classes de uso e cobertura da terra.

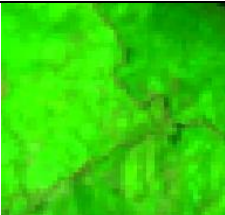
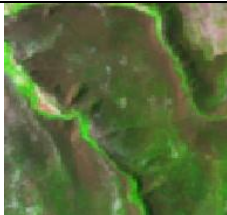
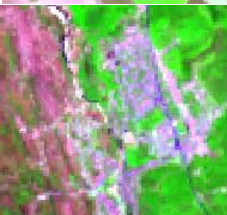
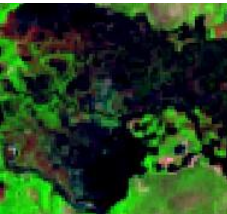
Os dados de uso e ocupação da terra foram adquiridos por meio da Coleção 6 do MapBiomas, baixados em formato *raster*, juntamente com a planilha eletrônica (.xlsx) contendo as referências para os códigos de legenda.

Os dados Projeto MapBiomas, estão disponíveis para downloads no endereço eletrônico: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR.

A elaboração do mapa de uso e ocupação da terra utilizou dados provenientes dos anos de 1993, 1999, 2008, 2015 e 2020, onde foram baixados e processados no *Software* livre QGIS 3.16.14. Seu processamento consistiu no recorte dos 5 arquivos *raster*, a partir da área de estudo e sua zona de amortecimento; reprojeção para *Datum* oficial do Sistema Geodésico Brasileiro SIRGAS 2000, Universal Transversa de Mercator (UTM) 23S.

O mapa de uso e ocupação da terra foram determinadas dez diferentes classes de uso, sendo elas: Formação florestal, Formação Savânica, Formação Campestre, Pastagem, Agricultura, Mosaico de agricultura e pastagem, Área não vegetada, Área Urbanizada, Afloramento rochoso e Corpos d’água, conforme a Tabela 2, exemplificada a partir de imagens R5G4B3 do *landsat* 5.

Tabela 2. Classes escolhidas para a pesquisa em imagens R5G4B3

CLASSE	IMAGEM RGB	CLASSE	IMAGEM RGB
FORMAÇÃO FLORESTAL		FORMAÇÃO SÂVANICA	
FORMAÇÃO CAMPESTRE		PASTAGEM	
AGRICULTURA		MOSAICO DE AGRICULTURA E PASTAGEM	
ÁREA NÃO VEGETADA		ÁREA URBANIZADA	
AFLORAMENTO ROCHOSO		CORPOS D'AGUA	

Fonte: Autores.

Dados topográficos

Para análise dos dados topográficos foi feito o download do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) das curvas de nível da área de estudo, por meio do mosaico de imagens do projeto da NASA, disponibilizadas gratuitamente pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), por meio do Monitoramento por Satélite, com resolução espacial de 90 m, disponível para download no endereço eletrônico: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/ba/ba.htm>. Tentou-se utilizar a grade SRTM 30m disponibilizada pela NASA, mas devido as distorções encontradas nas imagens na minha área de estudo, não foi possível.

Sendo assim, utilizou-se a representação digital do terreno, por meio do Modelo Digital de Elevação (MDE) e o Modelo Digital de Terreno (MDT). Para realização do mapa de modelo digital de elevação e o mapa de declividade da área de estudo utilizou-se as cartas topográficas SD-24-V-A e SD-24-V-C. Por meio de ferramentas do SIG ArcGIS PRO (ESRI, 2020), foi feito o mosaico disponível na aba de ferramentas *raster*, unindo as cartas topográficas baixadas em formato *raster*. Logo após a imagem gerada foi convertido para a projeção UTM, fuso 23S, *Datum* SIRGAS 2000. E por meio da ferramenta *3D Analyst Tools*, foi confeccionado o mapa de Modelo Digital do Terreno e o mapa de declividade.

Aquisição dos dados vetoriais

Os dados de organização espacial, municipais e estaduais, em formato *shapefile* utilizados no decorrer dessa pesquisa foram obtidos junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio>) e o *shapefile* do Parque Nacional da Chapada Diamantina pelo Instituto Chico Mendes de Conservação e biodiversidade (ICMBio) por meio do endereço eletrônico: http://www.icmbio.gov.br/portal/PARNA_chapada_diamantina.

Os limites da Zona de amortecimento (ZA), foram realizados no QGIS 3.16.14, onde foi criado o *shapafile* da área considerando as atividades exercidas no entorno e as características ambientais da área de estudo, conforme as informações fornecidas no Plano de Manejo do PARNA da Chapada Diamantina (MMA, 2007).

Dados orbitais e processamento das imagens

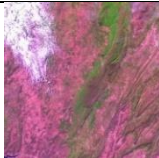
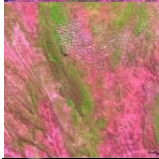
Foram utilizadas imagens dos sensores TM e OLI, fornecidas pelos satélites *Landsat 5* (TM) e *Landsat 8* (OLI) disponíveis gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://www.dgi.inpe.br>) e *Earth Explorer* do *United States Geological Service* (USGS) (<http://earthexplorer.usgs.gov/>).

O *Landsat-5* e *Landsat -8*, foram escolhidos por apresentar os sensores orbitais TM e OLI de média resolução espacial, sendo utilizada na pesquisa as regiões espectrais das bandas do Verde, Vermelho, Infravermelho próximo e Infravermelho médio.

Foram utilizadas imagens na órbita /ponto 217/069, nos anos de 1993, 1999, 2008, 2015 e 2020. Os meses utilizados na pesquisa das imagens, foram os meses de agosto a dezembro, definidos em função do clima e dos focos de calor, além de apresentar cenas

com menor quantidade de nuvens sobrepondo a área de estudo. Sendo assim, a escolha do período desse trabalho, levou em consideração a disponibilidade de imagens *Landsat* correspondente as datas dos focos de calor com baixa cobertura de nuvens (Tabela 3).

Tabela 3. Dados das imagens *Landsat* utilizadas na pesquisa

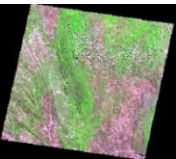
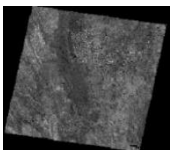
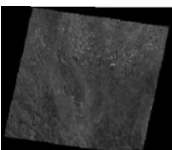
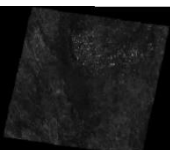
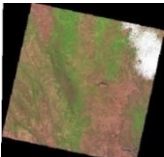
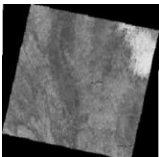
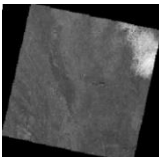
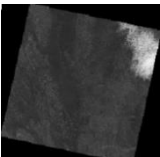
Imagem	Satélite/ Sensor	Órbita/ Ponto	Data	Nuvem	Bandas	Fonte
	<i>Landsat</i> 5/ TM	217/069	11/08/1993	15%	1, 2, 3, 4, 5 e 7	INPE
	<i>Landsat</i> 5/ TM	217/069	28/08/1999	15%	1, 2, 3, 4, 5 e 7	INPE
	<i>Landsat</i> 5/ TM	217/069	08/11/2008	23%	1, 2, 3, 4, 5 e 7	USGS
	<i>Landsat</i> 8/ OLI	217/069	25/09/2015	10%	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	USGS/ INPE
	<i>Landsat</i> 8/ OLI	217/069	08/10/2020	7,3%	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	USGS

Fonte: Autores.

Por meio do *software ArcGIS PRO*, versão mais recente da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), realizou-se a definição e padronização do sistema de referência de coordenadas, adotando-se o sistema SIRGAS 2000 / UTM zona 23S e foram realizadas as operações de pré-processamento, como atenuação dos efeitos atmosféricos.

Utilizou-se a função mesclar, disponível na aba de ferramentas *raster*, no intuito de unir as quatro bandas, *Red* (R), *Green* (G), *Blue* (B) e infravermelho próximo (NIR) de cada imagem de satélite para a formação de uma composição colorida /falsa-cor. A composição colorida utilizada foi R5G4B3 nas cenas *Landsat* 5 e R6G5B4 no *Landsat* 8, conforme a Tabela 4.

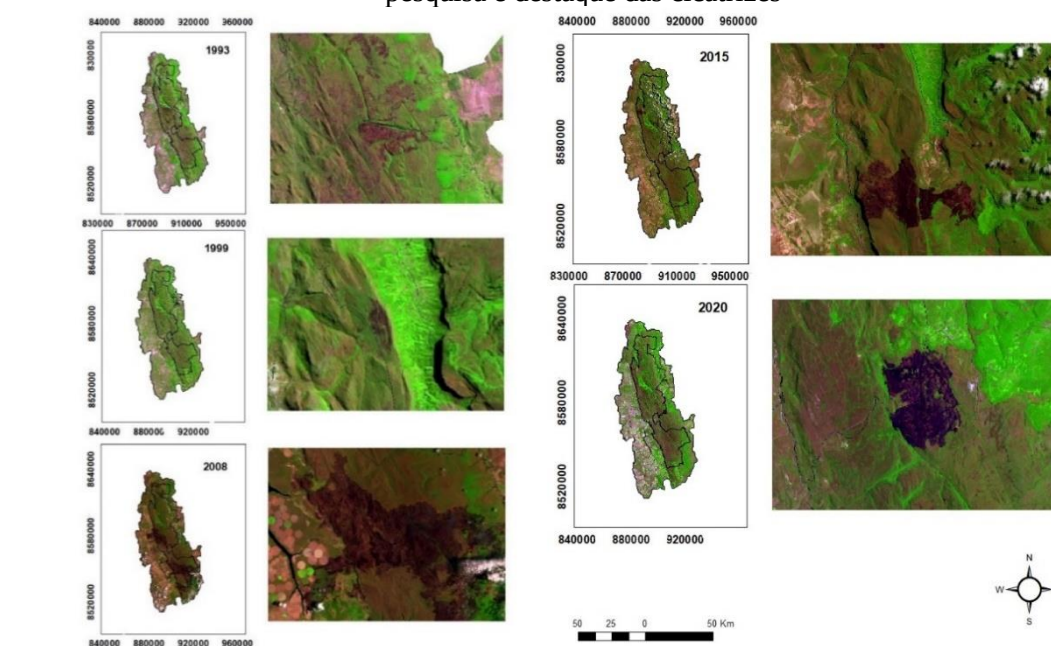
Tabela 4. Combinação das bandas RGB no *Landsat 5* e *Landsat 8*

Satélite	Banda Red	Banda Green	Banda Blue	Combinação colorida
<i>Landsat 5</i>	5	4	3	
				
<i>Landsat 8</i>	6	5	4	
				

Fonte: Autores.

A interpretação visual e mapeamento da área queimada por meio da composição colorida das imagens possibilitou que as áreas afetadas pelos incêndios fossem destacadas por meio de cicatrizes. Isso acontece devido o material combustível absorver a radiação em uma ampla faixa do espectro ótico fazendo com que promova pouca reflectância, fazendo com que aja o acúmulo de carvão e cinzas da vegetação depositada sob o solo. Dessa forma, as queimadas aparecem como manchas escuras em contraste com a vegetação não queimada, como mostra a Figura 3.

Figura 3. Combinação R5G4B3 nas cenas *Landsat 5* e R6G5B4 no *Landsat 8* dos anos de pesquisa e destaque das cicatrizes



Fonte: Autores.

Delimitação da área queimada

Para delimitação da área queimada foram utilizadas imagens pré-processadas dos satélites *Landsat 5 TM* para os anos 1993, 1999, 2008 e *Landsat 8 OLI* para os anos 2015 e 2020.

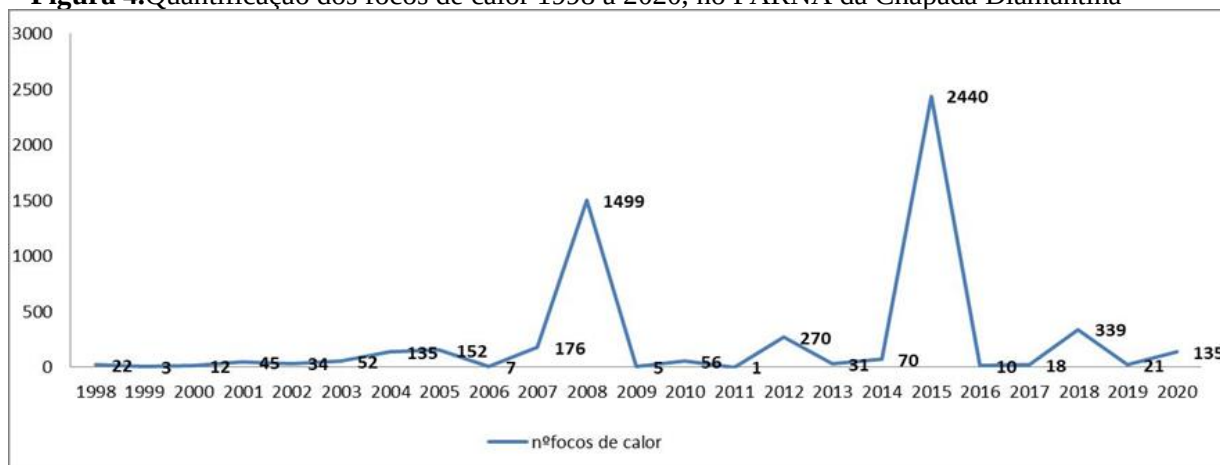
Foi realizado a interpretação visual de imagens, sendo possível identificar e delimitar, de forma manual, as áreas queimadas, realizando a delimitação e criando *shapefile* das áreas queimadas nas imagens de satélites dos anos de pesquisa. Os dados das áreas queimadas foram utilizados para análise junto com os dados meteorológicos, de uso e ocupação da terra e topográficos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quantificação dos focos de calor

Foram registrados 5.533 focos de calor no limite do PARNA da Chapada Diamantina entre o período de 1998 a 2020, sendo que nos anos de 1999, 2008, 2015 e 2020, foram registrados: 03, 1499, 2440 e 135 focos de calor. O ano de maior incidência de focos de calor foi em 2015, com 2.440 focos detectados, representando 44,10% em relação aos registros totais. O segundo ano com maior registro foi em 2008, com 1.499 focos, representando 27,10% em relação aos registros gerais. O ano de menor incidência foi o ano de 2011, com apenas 1 foco detectado, com 0,02% do total registrado, seguido por 1999 com apenas 3 focos, representando 0,05% (Figura 4).

Figura 4.Quantificação dos focos de calor 1998 a 2020, no PARNA da Chapada Diamantina



Fonte: Autores.

Através da espacialização dos focos de calor que ocorreram no PNCD em relação aos limites municipais da região é possível visualizar a predominância das ocorrências de focos de calor no município de Mucugê, com 2.682 focos de calor, representando 48.5% do valor total. O município de Mucugê também engloba a maior área do PNCD, com 32.4% do seu território (Tabela 1). Os municípios de Ibicoara e Itaetê abrangem juntos cerca de 2,9% do território do PNCD e apresentaram 541 focos de calor, correspondendo a 20% do número de focos no município de Mucugê e 9,7% do total (Tabela 5).

Tabela 5. Número de focos de calor por município no PARNA da Chapada Diamantina

Município	Número de focos	%
Andaraí	652	11,8
Ibicoara	187	3,4
Itaetê	354	6,4
Lençóis	1.085	19,6
Mucugê	2.682	48,5
Palmeiras	573	10,3
Total	5.533	100

Fonte: Autores.

Ao incluir sua zona de amortecimento o número total dos focos de calor sobe para 7.285 e nos anos de 1999, 2008, 2015 e 2020, esses números sobem para: 05, 2473, 3445, 1362 respectivamente em relação a quantificação estudada do PNCD (Tabela 6).

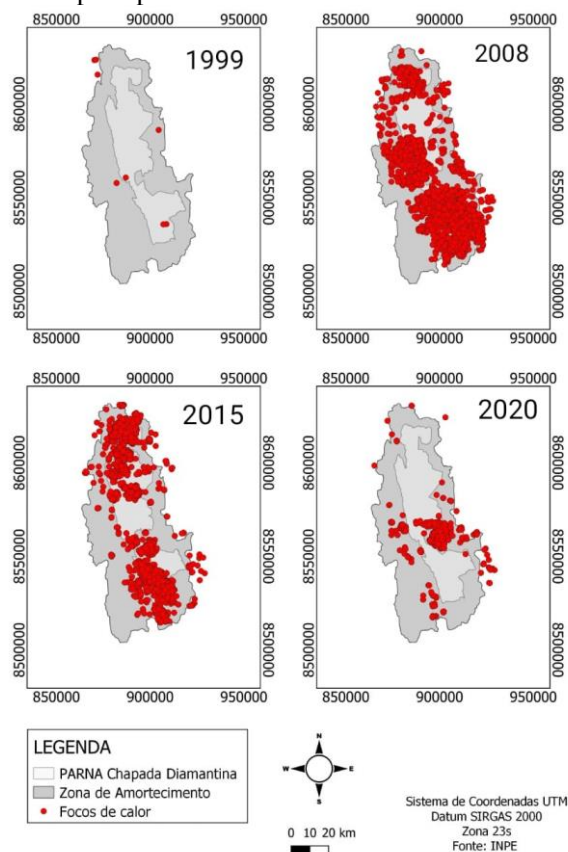
Tabela 6. Quantificação anual dos focos de calor nos anos de 1999,2008,2015 e 2020 do PARNA da Chapada Diamantina (PNCD) e sua Zona de Amortecimento (ZA)

	PNCD	PNCD +ZA
1999	03	05
2008	1499	2473
2015	2440	3445
2020	135	1362

Fonte: Autores.

Com esse aumento observa-se que o ano de 2020 consistiu no ano de maior ocorrência de focos dentro da zona de amortecimento com 1.227 focos, seguido do ano de 2015 com 1005 focos, o ano de 2008 apresentando 974 focos e o ano de 1999 sendo o ano de menor incidência de focos de calor, como mostra na Figura 05.

Figura 5. Mapa espacial dos focos de calor nos anos de estudo



Fonte: Autores.

As análises desses dados mostram que o período entre setembro e novembro são considerados os mais críticos durante o ano. Os períodos com maior número de focos de calor ocorrem no período de agosto a janeiro, seguido pelo período de fevereiro a julho com aqueles com menor quantidade de dias de focos de calor, conforme a Tabela 7.

Tabela 7. Quantificação dos dias com focos de calor nos anos de 1999, 2008, 2015 e 2020 no PARNA da Chapada Diamantina

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1999	00	00	00	00	00	00	00	00	01	03	01	00
2008	12	06	03	02	03	01	03	10	11	27	19	02
2015	10	05	02	03	01	01	01	06	20	18	23	20
2020	06	04	00	02	06	04	11	06	13	13	03	11
Total	29	15	06	07	10	07	15	22	45	62	46	33

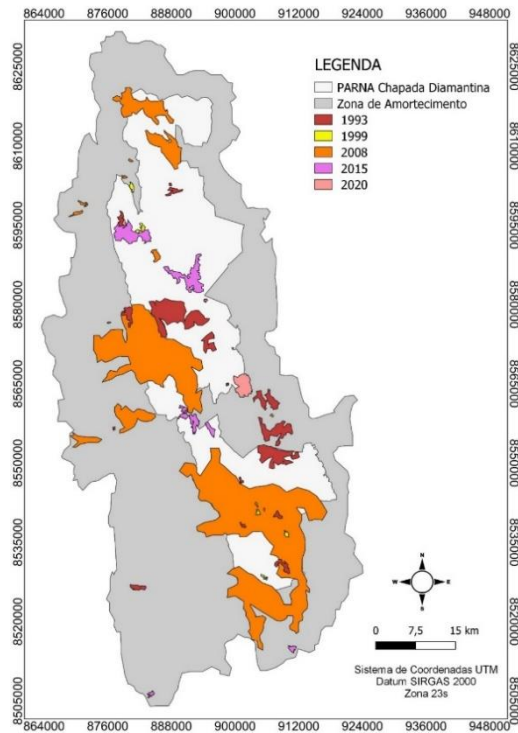
Fonte: Autores.

Quantificação da área queimada

A quantificação da área queimada foi realizada visando ajudar nos objetivos de investigar a dinâmica de ocorrência dos incêndios florestais e determinar as áreas atingidas por incêndios florestais. As áreas identificadas como queimadas nas imagens de

satélites nos anos de 1993, 1999, 2008, 2015 e 2020, foram mapeadas entre o que queimou no PNCD e sua ZA. Apresenta-se o mapa síntese com todos os anos de pesquisa conforme a Figura 6.

Figura 6.Área queimada dos anos de 1993, 1999, 2008, 2015 e 2020 conforme as cicatrizes nas imagens de satélites



Fonte: Autores.

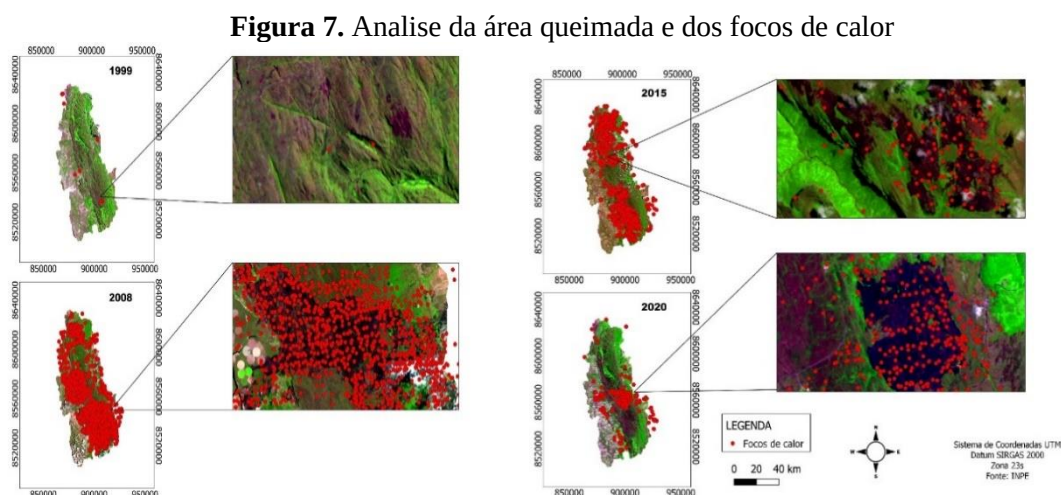
A maior área afetada pelo incêndio florestal foi registrada no ano de 2008, com 672,63 km², representando 14,30% da área total do PNCD e sua zona de amortecimento, logo após -seguido pelos anos de 2020 com 150,20 km² (3,19%), 1993 com 60,65 km² (1,29%), 2015 com 35,40 km² (0,75%) e 1999 com a menor área de cicatrizes encontradas, com 4,18 km² (0,09%), conforme a Tabela 8.

Tabela 8. Totais percentuais e em quilometro quadrado (km²) das áreas de cicatrizes de fogo nos anos de 1993, 1999, 2008, 2015 e 2020

Ano	1993	1999	2008	2015	2020
Área queimada (km²)	60,65	4,18	672,63	35,40	150,20
%	1,29	0,09	14,30	0,75	3,19

Fonte: Autores.

Os dados dos focos de calor sobrepondo as imagens R5G4B3 nas cenas *Landsat* 5 e R6G5B4 no *Landsat* 8, é possível observar que nos anos de 2008, 2015 e 2020 os dados de focos de calor condiz com as áreas afetadas por incêndios florestais identificadas por meio das cicatrizes nas imagens de satélites, já no ano de 1999 os dados dos focos de calor não sobrepõem todas as cicatrizes identificadas na imagem de satélite, conforme mostra a Figura 7.



Condições meteorológicas

Identificou-se uma maior precipitação anual total acumulada na estação meteorológica da Usina Mucugê, apresentando nos anos de 1993, 367,9mm; 1999, com 1331,4mm; 2008 com 964,6mm; 2015, 737,6mm; e 2020 com 1623,2mm.

O ano de 1993 nas duas estações pluviométricas apresentam a menor precipitação média anual e foi classificada seguindo a técnica de *Quantis* como período seco, já o ano de 1999, 2008 e 2015 foram considerados seguindo a classificação como um período normal onde dentre eles, os anos de 2008 e 2015 apresentam uma baixa precipitação. Já o ano de 2020 observa-se um ano com maior precipitação dentre os anos de estudo, sendo assim classificada como um período chuvoso, conforme a Tabela 9.

Tabela 9. Precipitação Pluviométrica anual (mm) nas estações meteorológicas selecionadas no período analisado e sua classificação a partir da técnica de Quantis

Estação meteorológica	1993	1999	2008	2015	2020
Porto	329,1	1260,5	876,4	690,7	1546,5
Classe	S	N	N	N	C
Usina Mucugê	367,9	1331,4	964,6	737,6	1623,2
Classe	S	N	N	N	C

Fonte: Autores.

A partir da média anual das duas estações pluviométricas, o ano de 1993 foi o ano de menor precipitação anual, com 348,5 mm e foi o ano que foram encontradas uma grande extensão de área queimada, com 28.346,77 ha equivalente a 283,47 km², de acordo com os dados de Mesquita et al. (2011). Seguida pelo ano de 2015 com 714,15 mm de precipitação e 3.445 focos, em 2020 identificou-se uma precipitação de 1584,85 mm e 1.362 focos de calor, o que dá indícios de incêndios de origem antrópica, causadas por práticas de incêndios criminosos ou prática de queimadas de pastagens. O ano de 1999 foi o segundo ano de maior precipitação e apresentando apenas 05 focos de calor na área de estudo, conforme a Tabela 10.

Tabela 10. Dados de precipitação média anual das duas estações pluviométricas e a quantificação dos focos de calor

	1993	1999	2008	2015	2020
Precipitação (mm)	348,5	1295,95	920,5	714,15	1584,85
Nº de focos	-	05	2.473	3.445	1.362

Fonte: Autores.

Os meses mais chuvosos vão de outubro a abril, sendo os meses de maiores índices pluviométricos, os meses de novembro e dezembro, com maior quantitativo de chuva nas duas estações no ano de 2020 com 1453,6mm em novembro e 1324,1mm em dezembro juntos totalizando 2777,7mm de chuva. E o período com baixo índice pluviométrico vai de maio a setembro, sendo os meses de agosto e setembro os índices mais baixos, agosto com o total das estações de 277,3mm e setembro com 304,5mm, fazendo com que esses meses consequentemente, obtenha o maior perigo de ocorrer incêndios florestais.

No ano de 1993 ocorreu no PNCD um fraco El Niño, apresentando extensas áreas afetadas por incêndios florestais. Em 2008 sucedeu uma sequência de eventos de El Niño,

que tiveram condições extremamente favoráveis à ocorrência de incêndios florestais (MESQUITA, et al., 2011).

Na quantificação dos dias dos focos de calor e a média das duas estações pluviométricas mensal, o ano de 1999 foi o segundo ano de maior precipitação tendo o mês de outubro 3 focos de calor e precipitação mensal de 102,6mm, já o ano de 2008 o mês de outubro foi o mês que apresentou o maior número de dias de focos de calor, com 27 dias e foi o mês de menor precipitação pluviométrica com apenas 3,4mm. Em 2015 os meses de setembro e dezembro foram aqueles que apresentaram o maior número de dias com focos de calor, ambos com 20 dias e com as menores precipitações mensais do ano, setembro com 2,05mm e dezembro com 6,5mm. Já o ano de 2020 foi o ano de maior precipitação anual e mensais dentre os anos de estudo, os meses de setembro e outubro foram os meses de maiores dias de focos de calor, ambos apresentando 13 dias de focos, setembro com 42,3mm e outubro com 211,8mm sendo a terceira maior precipitação mensal no ano de 2020, conforme a Tabela 11.

Tabela 11. Quantificação dos dias dos focos de calor com precipitação (mm) mensal

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1999	00	00	00	00	00	01	00	00	01	03	01	00
Precip i- tação	42,7 5	78,7 5	95,5	45,8 5	61,7 5	52,5 5	38,4 5	39,4	93,3	102, 6	263,6	381,4 5
2008	12	06	03	02	03	01	03	10	11	27	19	02
Precip i- tação	30,8 5	177, 6	162, 8	91,3	54,8	43,7	22,4 5	13,9 5	14,0 5	3,4	118,4	187,2
2015	10	05	02	03	01	01	01	06	20	18	23	20
Precip i- tação	21,4	127, 2	120, 6	91,2	66,3 5	49,0	100, 6	56,0	2,05	39,0 5	34,15	6,5
2020	06	04	00	02	06	04	11	06	13	13	03	11
Precip i- tação	213, 2	132, 2	217, 3	159, 4	108, 0	59,4	115, 5	18,8 5	42,3	211, 8	298,1 5	8,75

Fonte: Autores.

Análises semelhantes a estes foram desenvolvidos por Vale et al. (2007) na sua pesquisa sobre Zoneamento Ambiental do Setor Sul do Parque Nacional da Chapada Diamantina – PNCD/BA.

O menor número de dias de chuva nas estações meteorológicas é observado no ano de 1993 com 25 dias na estação Porto e 95 dias na estação Usina de Mucugê, seguido dos anos de 1999 e 2020 os maiores dias de chuva, conforme mostra a Tabela 12.

Tabela 12. Número de dias de chuva no período analisado

Estação meteorológica	1993	1999	2008	2015	2020
Porto	25	123	60	50	52
Usina Mucugê	95	169	122	139	196

Fonte: Autores.

Condições de uso e ocupação da terra

Em todos os anos as classes de formação florestal, formação savânica e formação campestre foram as que apresentaram maiores áreas de cobertura. No de 1993 a classe de formação campestre correspondia a 1337,67 km², houve uma diminuição no ano de 1999 para 1101,12 km², aumentando em 2008 para 1245,79 km² e diminuindo novamente no ano de 2015 e 2020, passando para 1126,22 km², com variação percentual de 4,65% em relação ao ano de 1993.

Já na formação savânica é possível observar o aumento no ano de 1993 com 1232,29 km² para 1379,63 km² em 1999, assim como houve o aumento das classes de agricultura, afloramento rochoso e área urbanizada do ano de 1993 a 2020, passando de 7,23 km² para 316,17 km² na classe de agricultura, de 15,36 km² para 95,91 km² na classe afloramento rochoso e 2,83 km² para 5,96 km² na área urbanizada. Na região do PNCD o crescimento da agricultura se deu devido ao aumento da olericultura, fruticultura, floricultura e cafeicultura, assim como o aumento das estruturas de produção agrícola que se baseia na agricultura familiar (MAGALHÃES JÚNIOR; WINKALER, 2020).

Na classe área não vegetada é possível observar uma diminuição entre os anos de 1993 a 2020 passando de 55,32 km² no ano de 1993 para 15,53 km² em 2020, uma diferença de 39,79 km². A justificativa da diminuição da classe não vegetada foi o fim das atividades nos garimpos em 1994 e a descoberta de novas formas de aproveitamento das riquezas da região, como exemplo o ecoturismo (Tabela 13).

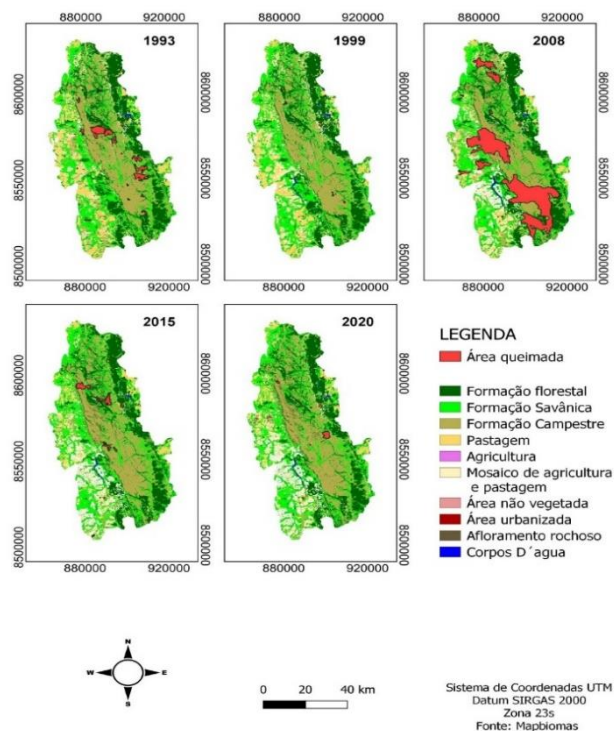
Tabela 13. Distribuição de uso e ocupação da terra nos anos de estudo no PNCD acrescida da Zona de amortecimento.

Classes de uso e ocupação da terra	Área de 1993 (km²)	Área de 1999 (km²)	Área de 2008 (km²)	Área de 2015 (km²)	Área de 2020 (km²)
Formação florestal	1185,02	1152,59	1109,15	1129,20	1103,56
Formação Savânica	1232,29	1379,63	1374,57	1377,41	1341,28
Formação campestre	1337,67	1101,12	1245,79	1138,42	1126,22
Pastagem	502,02	480,63	352,80	385,31	367,90
Agricultura	7,23	37,18	173,85	267,15	316,17
Mosaico de agricultura e pastagem	261,98	399,26	253,82	213,82	219,48
Área não vegetada	55,32	29,53	26,27	18,34	15,53
Área urbanizada	2,83	3,53	5,12	5,64	5,96
Afloramento rochoso	15,36	8,46	46,69	59,83	95,91
Corpos D'água	11,81	19,61	23,47	16,42	17,69

Fonte: Autores.

Os resultados da análise do uso e ocupação da terra na área de estudo, como mostra a constatarem uma maior concentração de área queimada na classe de formação campestre em todos os anos de pesquisa, provavelmente por serem também as formações vegetais predominantes na área de estudo. Além da formação campestre, foram encontradas cicatrizes deixadas pelos incêndios na formação florestal e formação savânica, já as áreas antropizadas, os mosaicos de agricultura e pastagem foram os mais atingidos pelo fogo, Figura 8.

Figura 8. Uso e ocupação da terra e as áreas queimadas nos anos utilizados na pesquisa



Fonte: Autores.

A formação campestre no PNCD, engloba a vegetação campo rupestre, que se trata de um conjunto de comunidades herbáceo arbustivas perenifólias, situado em serras de quartzito e arenito, que predomina nas áreas mais elevadas em uma matriz de savana, geralmente a partir de 900 m de altitude (JUNCA et al., 2005). As savanas estão entre os tipos de vegetação mais propensas a ocorrência de fogo, sendo a presença de gramíneas uma das principais causas da sua alta flamabilidade (HOFFMANN et al., 2012).

Neves e Conceição (2010) em sua pesquisa sobre Campo rupestre recém-queimado na Chapada Diamantina, constataram que na área de estudo o tipo de vegetação é o mais afetado pelo fogo, onde apesar da frequência de incêndios florestais esta forma de vegetação tem sido capaz de se expandir muito nesta área como resultado de distúrbios antropogênicos.

Condições topográficas

A elevação na área de estudo vai de 310 metros a superior a 1.188 metros altitude, onde é possível observar na parte central da chapada, planaltos com mais de 1000 m, que corresponde a mais de 60% da área do PNCD e sua Zona de Amortecimento. A altitude de maior percentual vai de 989 – 1188 metros com 42,93%, ocupando 1979,68 km² e de

menor percentual a área de 545-772 metros com 12,17%, ocupando 561,16 km² da área de estudo, conforme a Tabela 14.

Tabela 14. Área ocupada pela altimetria e o seu percentual na área de estudo

ALTITUDE	ÁREAS (KM²)	ÁREAS (%)
310-545	617,57	13,39
545-772	561,16	12,17
772-989	620,96	13,46
989-1188	1979,68	42,93
>1188	832,17	18,05
TOTAL	4611,53	100

Fonte: Autores.

As áreas ocupadas pelas classes de declividade na área de estudo, onde apresentaram maiores taxas as classes fortes montanhosas (>75%), ocupando uma área de 1385,38 km² com 30,05%, ondulado (8-20%), 989,52 km² com 21,46% e forte ondulado (20-45%) ocupando 946,89 km² com 20,53%, já o de menor taxa é a classe plano (0-3%) com 2,34% ocupando 108,14 km² da área de estudo (Tabela 15).

Tabela 15. Área ocupada pelas classes de declividade e o seu percentual

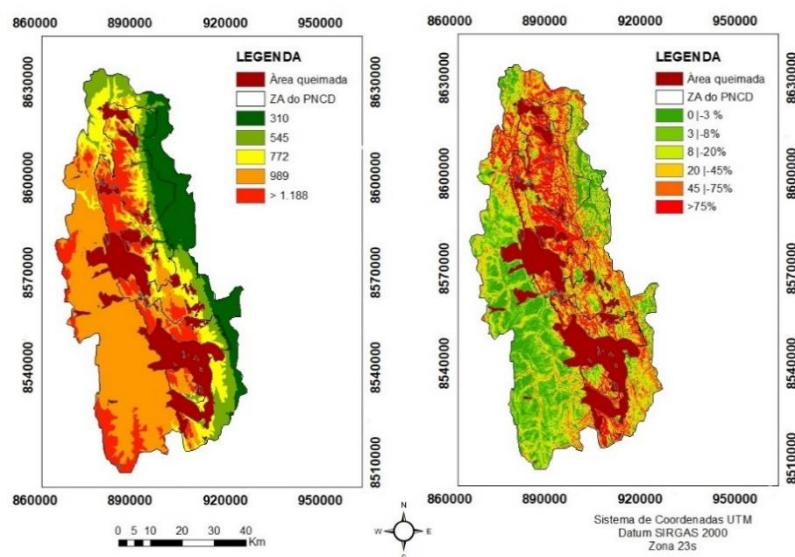
Classes declividades	Áreas (km²)	Áreas (%)
(0- 3%) Plano	108,14	2,34
(3- 8%) Suave Ondulado	299,17	6,49
(8- 20%) Ondulado	989,52	21,46
(20- 45%) Forte Ondulado	946,89	20,53
(45- 75%) Montanhoso	882,43	19,13
(>75%) Forte Montanhoso	1385,38	30,05
Total	4611,53	100

Fonte: Autores.

A análise do fator topográfico é de suma importância pois ele exerce uma relevante ação sobre as condições climáticas além de determinar o tipo de combustível em uma determinada área, contribuindo decisivamente no comportamento do fogo.

Ao se fazer uma análise do uso e ocupação da terra, o mapa do Modelo Digital de Elevação (MDE) e de declividade com as áreas queimadas é possível perceber que as áreas com elevação acima de 1.188m e superior a 20% de declividade, correspondem a área com abrangência da formação Campestre, área com maior número de cicatrizes deixadas por incêndios florestais nos anos de estudo. Observa-se então que as cicatrizes deixadas pelos incêndios florestais foram encontradas nas regiões mais altas, acima de 772m, conforme a Figura 9.

Figura 9. Modelo Digital de Elevação e declividade com a Área queimada dos anos de estudo do Parque Nacional da Chapada Diamantina e sua Zona de Amortecimento



Fonte: Autores.

CONCLUSÕES

A análise das características ambientais, assim como, a quantificação de focos de calor é muito importante a fim de verificar a ocorrência dos incêndios florestais, facilitando no planejamento de ações que visem o combate e a prevenção dos incêndios. Apesar das limitações com relação à disponibilidade de dados, foi possível mapear áreas atingidas por incêndios florestais na região em cada ano do estudo.

Observou-se que os focos de calor se concentraram em maior número na Zona de amortecimento, onde se encontram as classes de usos pastagem, agricultura, mosaico de agricultura e pastagem, área não vegetada e área urbanizada, isto se deve possivelmente ao fato de que o fogo foi utilizado na prática agropecuária, causando incêndios antrópicos, que têm sua origem relacionada a causas humanas.

O Parque Nacional da Chapada Diamantina e sua Zona de Amortecimento apresenta uma elevada frequência de incêndios de causa humana, atingindo grandes áreas, na estação seca, e incêndios de causa natural, atingindo geralmente áreas pequenas na estação chuvosa. O mapeamento das áreas queimadas dentro do parque se confirma que os incêndios florestais apresentam um fluxo do fogo de fora para dentro, uma vez que na maioria das vezes as bordas da UC foram atingidas e a partir do material combustível, no caso da Chapada Diamantina a formação campestre a mais atingida, foi possível a propagação dos incêndios.

Sendo assim, os resultados obtidos com o objetivo de investigar a dinâmica de ocorrência dos incêndios florestais por meio da caracterização dos fatores que impulsionam a sua ocorrência foram satisfatórios para o trabalho, onde foi possível fazer uma análise desses fatores e como eles se relacionam.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ), pela concessão de auxílio financeiro via Processo nº 409304/2021-2.

À Universidade Federal do Sul da Bahia e ao Programa de Pós-Graduação em Biosistemas.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, F. M. **Avaliação da área queimadas no bioma cerrado: proposições para o monitoramento e conversação**. 2015. 143 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

ASSIS, F. R. V.; MENDONÇA, I. F. C.; SILVA, J. E. R.; LIMA, J. R. Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido nordestino. **Revista Floresta**, [S.l.], v. 44, n. 1, p. 133-142, jan. 2014. ISSN 1982-4688. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/32618>>. Acesso em: 17 abr. 2022. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v44i1.32618>.

BATISTA, A. C. Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais. **Floresta** 30 (1/2): p.45-54, 2000.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de junho de 2000. **Leis da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, jun. 2000.

DODONOV, P.; MENEZES, G. S. C.; CAITANO, B.; CAZETTA, E.; MIELKE, M. S. Air and soil temperature across firecreated edges in a Neotropical rainforest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 276-277, p.107606, 2019.

HOFFMANN, W. A.; GEIGER, E. L.; GOTSCH, S. G.; ROSSATTO, D. R.; SILVA, L. C. R.; LAU, O. L.; HARIDASAN, M.; FRANCO, A. C. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: How plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. **Ecology Letters**, v.15, p. 759–768, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01789.x>

INPE – **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas/>> Acesso em: 12 de setembro de 2021.

JUNCÁ, A. F.; FUNCH, L.; ROCHA, W. Biodiversidade e Conservação da Chapada Diamantina. Série Biodiversidade. Brasília: **Ministério do Meio Ambiente**, 2005. 411 p.

MAGALHÃES JÚNIOR, W.S.; WINKALER, E.U. Agrotóxicos e Chapada Diamantina: consumo e saúde de pequenos agricultores de Mucugê e Ibicoara, Bahia. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.] , v. 9, n. 12, pág. e5491210788, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i12.10788. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/10788>. Acesso em: 17 ago. 2022.

MESQUITA, F. W.; LIMA, N. R. G. L.; GONÇALVES, C. N.; BERLINCK, C. N.; LINTOMEN, B. S. Histórico dos incêndios na vegetação do Parque Nacional da Chapada Diamantina, entre 1973 e abril de 2010, com base em imagens Landsat. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 2, p. 228-246, 2011.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Plano de Manejo para o Parque Nacional da Chapada Diamantina**. Brasília, 2007. 506 p.

MINUZZI, R. B.; SEDIYAMA, G. C.; BARBOSA, E. da M.; MELO JÚNIOR, J. C. F. de. Climatologia do comportamento do período chuvoso da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 22, n. 3, p. 338 - 344, 2007.

NEVES, S. P. S.; CONCEIÇÃO, A. A. Campo rupestre recém-queimado na Chapada Diamantina, Bahia, Brasil: plantas de rebrota e sementes, com espécies endêmicas na rocha. **Acta Botanica Brasilica** [online], v. 24, n. 3, p. 697-707, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-33062010000300013>>. Acessado em 22 agosto 2022.

ROY, D. P.; JIN, Y.; LEWIS, P. E.; JUSTICE, C. O. Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data. **Remote Sensing of Environment**, vol. 97, p. 137-162, 2005.

SCHROEDER, M. J.; BUCK, C. C. **Fire weather**: a guide for application of meteorological information for forest fire control operations. Washington: US. Forest Service, p.229 , 1970.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios florestais**: controle, efeitos e uso do fogo. Curitiba: FUPEF, 2007, 264 p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; NUNES, JRS. **Manual de prevenção e combate a incêndios florestais**. Curitiba: FUPEF, 2008, 55p.

VALE, R.; LOBÃO, J.; ROCHA, W.; NOLASCO, M. Zoneamento Ambiental do setor Sul do Parque Nacional. **Raega- O espaço Geográfico em Análise**, [S.l.], v. 16, dez. 2008. ISSN 2177-2738. Disponível em: <<https://revista.ufpr.br/raega/article/view/10887>>. Acesso em :17 abr. 2021.

XAVIER, T. de M. B. S. **Tempo de chuva: estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste setentrional**. Fortaleza: ABC Editora, 2001.

Recebido em: 10/08/2022

Aprovado em: 12/09/2022

Publicado em: 23/09/2022