



**UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA  
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE BALSAS - CESBA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E AMBIENTE -  
PPGAA**

**IZADORA SANTOS DE CARVALHO**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO REGIME DE QUEIMADAS NO PARQUE  
NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS, MARANHÃO**

Balsas - MA  
2019

**IZADORA SANTOS DE CARVALHO**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO REGIME DE QUEIMADAS NO PARQUE  
NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS, MARANHÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA/CESBA/UEMA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.  
Orientador (a): Dr. Tiago Massi Ferraz  
Co-orientador (a): Dra. Swanni Tatiana Alvarado Romero

Balsas - MA  
2019

Carvalho, Izadora Santos de.

Análise espaço-temporal do regime de queimadas no Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão / Izadora Santos de Carvalho. – Balsas, 2019.

76 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agricultura e Ambiente, Centro de Estudos Superiores de Balsas, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Prof. Dr. Tiago Massi Ferraz.

Co-orientadora: Profa. Dra. Swanni Tatiana Alvarado Romero.

1.Conservação. 2.Áreas protegidas. 3.Fogo. 4.Sensoriamento remoto.  
5.GEOBIA. I.Título

CDU: 504.61(812.1)

**IZADORA SANTOS DE CARVALHO**

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO REGIME DO FOGO NO PARQUE  
NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS, MARANHÃO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA/CESBA/UEMA, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agricultura e Ambiente.  
Orientador (a): Dr. Tiago Massi Ferraz  
Co-orientador (a): PhD Swanni Tatiana Alvarado Romero

Aprovada em 28 / 03 / 2019

**BANCA EXAMINADORA**



---

Prof. Dr. Tiago Massi Ferraz (Orientador)



---

Dr. Carlos Leandro de Oliveira Cordeiro  
Instituto Internacional para Sustentabilidade - IIS



---

Dra. Alessandra Tomaselli Fidelis  
Universidade Estadual Paulista – UNESP/Rio Claro

*Dedico este trabalho à minha mãe (Izabel, guerreira, meu tudo), família e amigos. Que me nutrem com força e exemplos, me apoiando em todos os momentos.*

*“Nenhum problema pode ser resolvido pela mesma consciência que o criou. Temos de reaprender a ver o mundo”. Albert Einsten.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, a minha mãe, por quem respiro, e família, meus alicerces.

À orientação do prof. Dr. Tiago Massi, por ter acreditado e aceitado o desafio e não ter medido forças para fornecer todo suporte, inspirando o crescimento no campo da pesquisa, profissional e pessoal.

Às orientações da Dra. Swanni, do Dr. Thiago Sanna e do Dr. Carlos Leandro, fontes de conhecimento, inspiração, incentivo e apoio, abrindo portas para o conhecimento e para a vida.

Às instituições: Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, campus de Balsas-MA e de São Luís-MA, Universidade Estadual Paulista – UNESP / Rio Claro-SP, por todo suporte técnico e científico.

Ao Programa de Pós-graduação em Agricultura e Ambiente – PPGAA, e à primeira turma do PPGAA, dos quais me orgulho em fazer parte.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão - FAPEMA, no âmbito do Edital CAPES/FAPEMA nº 29/2017, juntamente com o PPGAA contribuíram para o desenvolvimento do meu conhecimento na pesquisa e na vida.

À Planet Labs por disponibilizarem as imagens Planetscope através do Planet's Education and Research Program.

À todas as pessoas incríveis do Ecodyn, que tive a honra e o prazer de conhecer e conviver durante 4 meses em que estive em Rio Claro, e que levo para toda uma vida.

À todas as meninas da república Xeramelas, que me acolheram e me abraçaram como família.

Ao time dos trabalhos de campo, em especial Raysa, Leo Leonel, Felipe, Edimar e sua esposa por todo suporte nas idas a campo, assim como ao Sr. Genésio por nos acolher em sua residência. Assim como aos gestores do Parque Nacional da Chapada das Mesas.

Aos meus amigos de longa data, Juliane, Hércules, Lailson e as minhas 'siás', por fazerem parte dessa jornada e da minha vida.

Ao meu grande amor Patrick, por sempre me apoiar e me aturar, ao infinito e além.

E a todos que contribuíram direta e indiretamente no desenvolvimento desse trabalho.



## RESUMO

O Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro, se destacando das demais savanas existentes pelo mundo devido a sua grande biodiversidade sendo considerado um dos *hotspots* mundiais. O Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), localizado no bioma Cerrado, no estado do Maranhão, contempla diversas fitofisionomias, e elevado potencial científico, ecológico e turístico e foi umas das primeiras áreas de proteção a fazer parte do programa de Manejo Integrado do Fogo (MIF) – Cerrado Jalapão. Portanto, o objetivo geral do estudo foi realizar a reconstrução do histórico de queimadas do PNCM, compreendendo o período de 1990-2017, e analisar as relações dos padrões encontrados com os tipos de fisionomias do parque. Dessa forma foi realizado um estudo espaço temporal através de ferramentas e dados de sensoriamento remoto, com o intuito de obter dados do regime de queimada (frequência, extensão, estação), sendo realizado também o mapeamento da classificação dos tipos de vegetação do PNCM a partir de imagem de satélite de alta resolução espacial e análise de classificação orientada a objeto. O estudo foi realizado utilizando *softwares* SIGs (ArcGIS, QGIS), Rstudio e algoritmos implementados em bibliotecas na linguagem Python, além de dados vetoriais e raster. Através do uso de métodos e ferramentas computacionais, como o geoprocessamento e o sensoriamento remoto, foi possível realizar o estudo em toda a área do PNCM e entorno, sendo determinado o regime de queimadas, e realizado o mapeamento da vegetação na área do parque. Portanto a pesquisa contribui para a gestão e monitoramento do parque, uma das maiores riquezas do ecossistema do bioma cerrado existentes no estado do Maranhão, além de subsidiar e estimular pesquisas futuras.

### **Palavras-chave**

Áreas protegidas, Fogo, Cerrado, Sensoriamento Remoto

## **ABSTRACT**

The Cerrado is the second largest Brazilian biome, standing out from the other savannas in the world due to its great biodiversity and it is considered one of the world hotspots. The Chapada das Mesas National Park (CMNP), located in the Cerrado biome, in the state of Maranhão, includes several phytophysionomies, high scientific, ecological and tourism potential and was one of the first protection areas to be part of the Integrated Fire Management – IFM program - Cerrado Jalapão. Therefore, the goals of the study were to reconstruct the fire regime of the CMNP during the period 1990-2017, and analyze the relation with the different types of physiognomies of the park. In this way, a spatio-temporal study was carried out using remote sensing data and tools, in order to obtain information on the fire regime (e.g. frequency, area, season). We also mapped the vegetation types of CMNP using high resolution satellite imagery and spatial analysis of object-oriented classification. The analyses and processing data was carried out using software (ArcGIS, QGIS), Rstudio and algorithms implemented in libraries in Python, and vector and raster data. Using computational methods and tools such as geoprocessing and remote sensing, it was possible to carry out the study throughout the PNCM area and the environment, and do determine fire regime, and accomplished the vegetation mapping in the park. Therefore, this research contributes to the park management and monitoring, one of the greatest riches sites of the Cerrado biome in the state of Maranhão, and could be the baselines for future research.

### **Keywords**

Protected areas, Fire, Cerrado, Remote Sensing

## **LISTA DE SIGLAS**

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

FAPEMA – Fundação de Amparo a Pesquisas do Maranhão

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MDE – Modelo Digital e Elevação

MMA – Ministério do Meio Ambiente

PNCM – Parque Nacional da Chapada das Mesas.

GEOBIA – Object-Based Image Analysis

UC – Unidade de Conservação

UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização do Parque Nacional da Chapada das Mesas no estado do Maranhão (A), que compreende os municípios de Estreito, Carolina e Riachão (B, C). Imagem de satélite da Google Earth (C). ..... 34
- Figura 2.** Focos de calor detectados (2002-2017). Cada ponto representa as coordenadas (X, Y) dos fogos detectados na área de estudo. .... 36
- Figura 3.** Número de focos de calor acumulados por mês durante o período de 2002-2017. .... 36
- Figura 4.** Mapa de frequência de queimadas para o período de 1990 até 2017 no Parque Nacional Chapada das Mesas. As cicatrizes queimadas foram mapeadas usando imagens Landsat TM, ETM+ e OLI (A). Queimadas antes da criação do PNCM para o período 1990-2005 (16 anos) (B). Queimadas após a criação do PNCM para o período 2006-2017 (12 anos) (C). .... 40
- Figura 5.** Porcentagem de área queimada para cada frequência de incêndio para as áreas do PNCM e Buffer no período de (1990-2017). .... 41
- Figura 6.** Análise da porcentagem e média de área queimada, e do número de ignições das áreas de estudo durante o período de 1990 e 2017. Destacando o período ante e após 2005. .... 42
- Figura 7.** Área queimada mensal acumulada (%) ao longo dos meses mapeados do período de 1990 até 2017 no PNCM e Buffer. .... 44
- Figura 8.** Relação de número de ignições/km<sup>2</sup> e área média das cicatrizes ao longo do período estudado para o PNCM. .... 45
- Figura 9.** Localização do Parque Nacional da Chapada das Mesas - PNCM, no sul do Estado do Maranhão, Brasil. Intervalos de Altitude extraídos do Alos World 3D. .... 52
- Figura 10.** a) Mosaico das imagens PlanetScope, fusão das bandas 1-2-3-4; e b) Modelo Digital de Elevação Alos 3D - AW3D30, para área do PNCM. .... 53
- Figura 11.** Imagem segmentada, com os limiares  $k=10$  e objetos=600 (A e B). Exemplos de testes de segmentação (B, C e D), com limiares  $k=5$  e objetos=600 (B), e  $k=15$  e objetos=600 (D). Tabela de atributos com as estatísticas de cada banda da imagem segmentada (E). .... 54
- Figura 12.** Fluxograma do processo de classificação das fitofisionomias do PNCM. .... 57
- Figura 13.** Mapa temático da classificação das fisionomias do PNCM. .... 59
- Figura 14.** Porcentagem da área de cada classe mapeada em relação a área do PNCM. ... 60

<b>Figura 15.</b> Matriz de confusão resultante do processo de validação da classificação. (Classes: Água = Água; Agricultura = Agr.; Pastagem = Past.; Cerradão terras baixas = C.t.baixas; Cerradão terras altas = C.t.altas; Cerrado Denso = C.denso; Cerrado aberto = C.aberto; Cerrado Rupestre = C.rup.; Mata de Galeria = Mata de g.). .....	60
<b>Figura 16.</b> Frequência de queimas para o período de 1990-2017, para cada fitofisionomia do PNCM. ....	61

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Tamanho da área de estudo para o mapeamento do regime de queimadas. ....	35
<b>Tabela 2.</b> Contrastes aplicados nas imagens Landsat que melhor destacam as cicatrizes..	37
<b>Tabela 3.</b> Descrição das fisionomias mapeadas na área do PNCM para o ano de 2018. ...	56
<b>Tabela 4.</b> Análise de áreas queimadas, acumuladas entre 1990-2017, por tipo de fisionomia vegetal do PNCM. ....	62
<b>Tabela 5.</b> Análise de área queimada e área não queimada, acumuladas entre 1990-2017, por tipo de fisionomia vegetal do PNCM. ....	62

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1 OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	<b>18</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1 BIOMA CERRADO E SUAS FITOFISIONOMIAS</b> .....	<b>19</b>
<b>3.2 PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS</b> .....	<b>21</b>
<b>3.3 SENSORIAMENTO REMOTO</b> .....	<b>25</b>
<b>3.4 ANÁLISE DE QUEIMADAS</b> .....	<b>26</b>
<b>3.5 MAPEAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO</b> .....	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>31</b>
<b>EFEITO DA CRIAÇÃO DE UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NO REGIME DE QUEIMADAS: UM ESTUDO NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS, MARANHÃO, BRASIL</b> .....	<b>31</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>33</b>
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>34</b>
<b>2.1 LOCAL DE ESTUDO</b> .....	<b>34</b>
<b>2.2 PERÍODO DE QUEIMADAS</b> .....	<b>35</b>
<b>2.3 RECONSTRUÇÃO DO PADRÃO TEMPORAL E ESPACIAL DE QUEIMADAS</b> .....	<b>37</b>
<b>2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA</b> .....	<b>38</b>
<b>3 RESULTADOS</b> .....	<b>39</b>
<b>3.1 ANÁLISE ESPACIAL DA OCORRÊNCIA DE QUEIMADA</b> .....	<b>39</b>
<b>3.2 VARIAÇÃO TEMPORAL DAS ÁREAS QUEIMADAS</b> .....	<b>41</b>
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	<b>46</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>48</b>
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>49</b>
<b>CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO DO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS: UMA RELAÇÃO COM A FREQUÊNCIA DE QUEIMADAS DO PARQUE</b> .....	<b>49</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>50</b>
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>51</b>
<b>2.1 LOCAL DE ESTUDO</b> .....	<b>51</b>
<b>2.2 DADOS DE ENTRADA</b> .....	<b>52</b>
<b>2.3 SEGMENTAÇÃO</b> .....	<b>53</b>
<b>2.4 CLASSIFICAÇÃO</b> .....	<b>54</b>
<b>2.5 VALIDAÇÃO</b> .....	<b>56</b>
<b>2.6 RELAÇÃO DO REGIME DE QUEIMADAS E VEGETAÇÃO</b> .....	<b>57</b>
<b>3 RESULTADOS</b> .....	<b>59</b>
<b>3.1 CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO DO PNCM</b> .....	<b>59</b>
<b>3.2 RELAÇÃO VEGETAÇÃO E ÁREA QUEIMADA</b> .....	<b>61</b>
<b>4. DISCUSSÃO</b> .....	<b>63</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>66</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>75</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O meio físico-biótico vem se modificando, em consequência do desenvolvimento da população em um ritmo cada vez mais acelerado, através de atividades que provocam a conversão de áreas de vegetação nativa para áreas de uso alternativo do solo como agricultura, pecuária e monoculturas, e alterando, por meio do desmatamento e queimadas dessas áreas, o hábitat natural e a diversidade de espécies de fauna e flora (FIEDLER et al., 2006; ARAUJO et al., 2016). Diante disso, torna-se fundamental entender o funcionamento de processos e dinâmicas ecológicas como a dinâmica desses distúrbios, e como ferramentas utilizadas na gestão de áreas de elevado interesse ecológico (e.g. *hotspots*, Unidades de Conservação) contribuem para ações de conservação e preservação desses ambientes.

As políticas públicas são desenvolvidas para contribuir com a diminuição do desmatamento e de queimadas que ocorrem nos biomas brasileiros. As leis, decretos e normas, são exemplos de métodos que visam à conservação de ambientes de elevado interesse ecológicos, possibilitando a mitigação de impactos antrópicos, diretos e indiretos, causados aos ecossistemas (MMA, 2011). Como exemplo, a Lei Nº 9.985 de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, responsável por instituir a criação de áreas protegidas (BRASIL, 2000).

Segundo dados levantados até 2011, o Brasil possuía um total de 1.867 áreas de proteção, nas diferentes esferas federais, estaduais e municipais (MMA, 2011), sendo o Maranhão o estado brasileiro com um menor grau de ocupação territorial com áreas protegidas (ARAUJO et al., 2011). Atualmente os dados do Ministério do Meio Ambiente mostram que o Brasil contempla um total de 2.201 áreas de proteção, nas diferentes esferas (MMA, 2019). Desse total, 36 (1,64%) estão localizadas no estado do Maranhão, enquadradas em Parques Nacionais (2), Parques Estaduais (3), Reserva Biológica (1), Reserva Extrativista (8), Reserva Particular Patrimônio Nacional (12), Estação Ecológica (1) e Área de Proteção Ambiental (9) (MMA, 2019).

Dentre essas áreas, situa-se o Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), localizado no sul do estado, contemplando diversas fitofisionomias do bioma Cerrado como cerrado *stricto sensu*, campo limpo, campo sujo, áreas de cerradão e mata de galeria (RIBEIRO; WALTER, 2008; MMA, 2017). Além dessa diversidade fitofisionômica, o parque concentra um potencial científico, ecológico, educacional, ambiental e turístico,



possuindo cachoeiras, grande variedade de fauna e muitos sítios arqueológicos (LIMA et al., 2007; ROCHA, 2016).

O PNCM compreende os municípios de Carolina - MA, Estreito - MA e Riachão - MA. Criado pelo Decreto S/N de 12 de dezembro de 2005, este parque tem uma área total de 160.046 hectares (MMA, 2017). Tem como função preservar os componentes naturais (fauna e flora), resguardando a importância ecossistêmica e beleza cênica, além de implementar atividades científicas, educacionais e de recreação (MMA, 2011).

O parque compreende dentro de seus limites áreas particulares, contudo unidades de conservação da categoria Parque Nacional (PARNA), por ser de proteção integral devem ser desapropriadas, situação que gera conflitos entre os gestores e população local. Outro problema que afeta a biodiversidade do PNCM são as ocorrências de fogo no período de estiagem. Souza et al. (2015) destacam a grande ocorrência de fogo no parque, principalmente nos meses de agosto, setembro e outubro. Sendo que no ano de 2014 foi implantado o programa de manejo integrado do fogo (MIF) no parque, como tem sido sugerido para outras áreas no Brasil com os mesmos tipos de vegetação (SCHMIDT et al., 2018; FRANKE et al., 2018).

O Parque Nacional da Chapada das Mesas ainda não possui oficialmente um plano de manejo, sendo este um documento que compreende o diagnóstico do meio físico, biológico e social de unidades de conservação (MMA, 2011). Contudo, segundo gestores do parque, esta com previsão para ser lançado no ano de 2019. Porém a necessidade de pesquisa e ações que possam subsidiar a implantação do plano se faz necessário ainda, pois os conhecimentos sobre os processos ecológicos envolvidos após a ocorrência de queimadas ainda são limitados.

Através do geoprocessamento e do sensoriamento remoto podemos levantar dados, identificá-los e analisar para realizar a tomada de decisões (CONCEIÇÃO, 2004). O uso de métodos e ferramentas computacionais, como o geoprocessamento e o sensoriamento remoto, permitiu a realização do estudo em toda a área do PARNA e seu entorno.

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi realizar o estudo do regime de queimadas do PARNA da Chapada das Mesas e da área do entorno. A partir do uso de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, foram identificados os padrões de ocorrência de queimadas antes e após a criação do parque para determinar o efeito das medidas de conservação desenvolvidas no parque a partir da sua criação e a exclusão ou redução das atividades antrópicas dentro desta área. Para analisar a relação da ocorrência de queimadas

e as diferentes fitofisionomias do parque, foi realizado um mapeamento dos tipos de vegetações existentes no PNCM. Os resultados desta pesquisa contribuem assim para o monitoramento da vegetação e das queimadas e pode ser a base para pesquisas futuras.

O estudo permitiu a reconstrução do histórico de queimadas do PNCM, subsidiando o planejamento ambiental para a otimização das ações de gestão. Sendo esta uma das regiões de maior riqueza de biodiversidade do bioma cerrado existentes no Estado do Maranhão.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Buscar responder: 1) Qual foi a influência da criação do parque no regime de queimadas? 2) Existe uma relação entre a distribuição espacial e temporal da ocorrência do fogo na área do PNCM e suas diferentes fisionomias vegetais?

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Reconstruir o histórico do fogo no PNCM, antes e após a criação no PARNA, ao longo de 28 anos, no período de 1990 a 2017, através do uso de imagens de satélite da série Landsat;
- Classificar e mapear os tipos de vegetação existentes no PNCM;
- Determinar a relação entre as áreas queimadas e as fisionomias de vegetação do PNCM, interpolando o mapeamento da vegetação e as cicatrizes de queimadas.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 BIOMA CERRADO E SUAS FITOFISIONOMIAS

O Bioma Cerrado é um dos maiores biomas brasileiros, ficando atrás apenas do bioma Amazônico, possui uma grande biodiversidade se sobressaindo das demais savanas existentes pelo mundo, sendo considerado um dos *hotspots* mundiais (MYERS et al., 2000; KLINK; MACHADO, 2005; DURIGAN; RATTER, 2016). Possui mais de 2 milhões de km<sup>2</sup> de extensão, ocupando aproximadamente 25% do território brasileiro (DURIGAN; RATTER, 2016). Compreende áreas dos estados de Goiás, Tocantins, Maranhão, Bahia, Piauí, Rondônia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Distrito Federal e Paraná (EITEN, 1972; RIBEIRO; WALTER, 1998; SANO et al., 2010). Da área total do estado do Maranhão aproximadamente 64% se enquadra no bioma Cerrado (ARAUJO et al., 2016).

Fatores como o clima, diferentes tipos de solos, hidrografia, topografia e o fogo são responsáveis pelas características da composição heterogênea da vegetação do Cerrado (EITEN, 1972; RATTER et al., 1996; RIBEIRO; WALTER, 1998; DALDEGAN et al., 2014). O clima é caracterizado como Aw segundo Köppen (tropical chuvoso), com dois períodos bem definidos (seco e chuvoso) (WALTER, 2006), os solos são pobres em nutrientes, com baixa drenagem e diferentes formações geológicas e tipos de topografias (EITEN, 1972).

O nome “Cerrado” tem origem espanhola e significa “fechado” referente a formação vegetal savânica arbustivo-herbácea (EITEN, 1972; RIBEIRO e WALTER, 1998). Contudo muitas definições surgiram ao longo do tempo, dificultando a comparação de trabalhos realizados principalmente na área de fitofisionomias (EITEN, 1972; RIBEIRO; WALTER, 1998; WALTER, 2006). Dessa forma a palavra “Cerrado” é utilizada para se designar um tipo de bioma brasileiro, assim como para nomear classes e subclasses fitofisionômicas, “cerrado” ou “savana”, cerrado denso, cerrado aberto (RIBEIRO; WALTER, 1998), ocorrendo formações florestais (cerradão, mata de galeria) e não florestais (savânica e campestre) (EITEN, 1972; WALTER, 2006).

Os avanços da agricultura e pecuária tem gerado modificações na paisagem dos biomas brasileiros e são considerados os principais fatores de degradação do Cerrado, provocando o avanço do desmatamento e o aumento na frequência de queimadas (FIEDLER

et al., 2006). Queimadas para a formação de pastagem e expansão da agricultura são frequentes, principalmente no final da época de estiagem. Áreas convertidas em agricultura e pastagens sendo aproximadamente 42% da área total do Cerrado (MAPBIOMAS, 2019), cerca de 49% ainda se encontra coberto por vegetação natural (SOARES-FILHO et al., 2014).

Em termos de caracterização da vegetação o Cerrado é abordado no sentido amplo (*lato sensu*), quando a vegetação é tratada em larga escala (regional) considerando a composição da vegetação e suas formas de crescimento, e no sentido mais restrito (*stricto sensu*), quando a vegetação é analisada a nível local levando em consideração principalmente a estrutura e formas de crescimento (EITEN, 1972; RIBEIRO; WALTER, 1998). Dessa forma para se estabelecer o tipo de fisionomia, fatores da vegetação como: forma “estrutural”, “crescimento” (árvores, arbustos, gramíneas) e aspectos que se modificam sazonalmente (caducifolias, perenifolias), são considerados (RIBEIRO e WALTER, 1998).

Atualmente diversos projetos a nível regional e nacional tem como objeto de estudo o bioma Cerrado, assim como os demais biomas brasileiros, possibilitando a obtenção e fornecimento de dados ambientais e socioeconômicos, além de apoiar a criação de políticas públicas para a preservação, conservação e gestão territorial dos biomas. Como exemplo de alguns projetos temos: TerraClass Cerrado, com o objetivo de mapear o uso e cobertura do Cerrado (MMA, 2015); Inventário Nacional que está em andamento no bioma cerrado (SFB, 2016); Projeto Cerrado-Jalapão, que faz parte de um programa de manejo integrado do fogo (MIF) para implementar medidas de prevenção, controle e monitoramento de queimadas e incêndios florestais em áreas de proteção no Cerrado (ALMEIDA, 2015).

O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo – MAPBIOMAS, coleção 3, comporta a base de dados com as classificações de uso e cobertura do solo dos biomas brasileiros, para o período de 1985 até 2017, sendo as classes divididas em 3 níveis de classificação. No nível de classificação 1 são divididas em: floresta, formação natural não florestal, agropecuária, área não vegetada, corpo d’água e não observado (MAPBIOMAS, 2019). Com aproximadamente 45% do Cerrado ocupado por vegetação florestal (nativa = 43,7% e plantada = 1,3%), 11% correspondendo a vegetação nativa não florestal, 42% agropecuária (pastagem = 23,9%, agricultura = 11,8% e mosaico agricultura e pastagem = 6,7%) e área não vegetada, corpo d’água e não observados somando 1%, sendo esses resultados para o ano de 2017 (MAPBIOMAS, 2019).

### 3.2 PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS

O Brasil possui 1.583.508 km<sup>2</sup> do seu território protegido por Unidades de Conservação – UC, aproximadamente 18% da sua área total (MMA, 2019). Entre os biomas brasileiros a Amazônia possui uma maior taxa de área protegida (28,08%) quando comparada aos demais biomas, como Mata Atlântica (9,50%), Caatinga (8,83%), Cerrado (8,26%) Pantanal (4,55%) e Pampa (3,14%) (MMA, 2019). Os dados demonstram a importância de se expandir as políticas de proteção para outros biomas além da Amazônia, principalmente nas áreas de Cerrado consideradas a nova fronteira agrícola a ser explorada (SOARES-FILHO et al., 2014; ARAÚJO et al., 2019).

As UCs são distribuídas em duas categorias (uso sustentável e proteção integral), sendo divididas ainda em subcategorias, das quais as mais representativas são as Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN), os Parques Nacionais (PARNA) e as Áreas de Proteção Ambiental (APA), das categorias de proteção integral e uso sustentável, respectivamente (MMA, 2019). O número de UCs criadas vem aumentando ao longo dos anos, levando em consideração critérios ambientais e socioeconômicos. Sano et al. (2010) destacam a importância das unidades de conservação para a preservação da vegetação nativa do bioma Cerrado, que possui um total de 15 parques nacionais, sendo que 2 estão localizados no estado do Maranhão, dentre eles o Parque Nacional da Chapada das Mesas - PNCM.

Os ecossistemas naturais são complexos e necessitam da aplicações de métodos de gestão para o planejamento ambiental dos mesmos. Santana et al. (2016) citam que Unidades de Conservação são áreas com restrições de usos dos recursos naturais existentes, com objetivo de preservação da fauna, flora e cursos d'água. Com a delimitação de áreas de proteção, cria-se formas de proteger e conservar locais de elevado interesse ecológico.

O PNCM é uma UC de proteção integral localizada no estado do Maranhão e foi criado em 2005. As unidades de proteção integral, como o PNCM, somam aproximadamente 15.000 km<sup>2</sup> (4,5%) do território do Estado (GOVERNO DO ESTADO DO MARANHÃO, 2011), que tem 64% do seu território inserido no Cerrado. Destacando-se em termos de vegetação nativa do Cerrado preservada o Maranhão possui 71,9% de cobertura natural Cerrado (MMA, 2015). Outros estados que também se destacam são Tocantins (72,2%), Piauí (83,4%) e Bahia (67,3%).

O Parque Nacional das Chapada das Mesas tem como objetivo “a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica”, permitindo o

desenvolvimento de pesquisas científicas, realização de atividades de educação, recreação e de turismo ecológico (MMA, 2017). Além de estar localizado no Cerrado, possui importantes características preservadas desse bioma, como uma rede de drenagem com muitos cursos d'água, sendo os principais o Rio Farinha e o Rio Itapecuru, cerca de 400 nascentes e grande riqueza de fauna e flora, possuindo ainda diversos sítios arqueológicos (LIMA et al, 2007; MMA, 2017).

Diversas fitofisionomias presentes no PNCM são típicas do bioma que está inserido, existindo formações florestais, savânicas e campestres. A vegetação predominante do parque é o cerrado *sensu stricto*, porém também ocorre fitofisionomias como campo sujo, campo limpo, cerradão, veredas e buritizais (MMA, 2017). Segundo Sano et al 2010, aproximadamente 20,5% da área do parque é ocupada por florestas, 28,2% por pastagem natural, 50,5% por vegetação arbustiva e 0,8% por corpos hídricos. Apesar desse cenário, como não houve regularização fundiária, a vegetação é ameaçada pelo desenvolvimento da região como fronteira agrícola e por ser susceptível ao fogo (LIMA et al., 2007; ALMEIDA, 2015).

Por estar localizado em uma região de transição, no PNCM podem ser encontradas espécies do bioma Amazônico e da Caatinga, sendo algumas espécies de valor comercial como o jatobá, ipê, aroeira (LIMA et al., 2007). Através de pesquisas recentes percebe-se a importância e o potencial de biodiversidade encontrados no parque (COSTA, 2017; OLIVEIRA et al., 2018a; OLIVEIRA et al., 2018b), além da contribuição para estudos socioculturais através do histórico de populações que habitaram a região em tempos remotos até os momentos atuais (MARQUES, 2012; ROCHA, 2016; SILVA et al., 2017). Além disso os locais existentes no parque atraem turistas, por possuir muitas cachoeiras, rios e riachos, caracterizando a região como polo turístico, com muitos desses ambientes de lazer localizadas no entorno do parque, como o complexo Pedra Caída, e também no seu interior, como as cachoeiras de São Romão e da Prata, que são exploradas turisticamente (MMA, 2017, LIMA et al., 2013).

O PNCM ainda não possui um plano de manejo concretizado, o que intensifica conflitos entre a população local e gestores devido a existência de áreas privadas no interior do parque e áreas de elevado potencial turístico que recebem visitação. Contudo, em 2018, houve a primeira regularização de uma área do parque, onde o proprietário foi indenizado para deixar a propriedade. Outras discussões foram levantadas sobre a categoria na qual o PNCM foi enquadrado (proteção integral), surgindo até um projeto de lei (PL 6927/2010)

para alterar a categoria para Reserva Extrativista Chapada das Mesas (CAMARA DOS DEPUTADOS, 2010), que dessa forma passaria a ser uma UC de uso sustentável, menos rígida sobre o uso dos recursos, contudo o projeto de lei foi arquivado. Esses e outros fatores demonstram a necessidade da realização de estudos que apresentem informações sobre os recursos ambientais do parque, seus usos e estado ao longo do tempo, além dos aspectos sociais e ambientais que envolvem o parque.

A gestão do PNCM é feita pelo Instituto Chico Mendes de Biodiversidade – ICMBio, que atua, mesmo com limitações, para assegurar a preservação dos recursos naturais e conscientizar a população promovendo diálogos que estimulem a participação de todos para a manutenção e conservação do parque (ICMBio, 2016). Desde o início da sua implantação uma das principais preocupações foi sobre a ocorrência de queimadas dentro do parque. Em 2007 foi estruturado o Plano de Operação de Prevenção e Combate a Incêndios do PNCM pelo programa Prevfogo do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA (LIMA et al., 2007). Já em 2014, o PNCM foi contemplado com a realização de atividades do projeto Cerrado Jalapão que tem como objetivo implementar o Manejo Integrado do Fogo – MIP no Cerrado (ALMEIDA, 2015; SCHMIDT et al., 2016). Com operações de queima controlada sendo realizadas a partir de 2015, entre abril e junho, pelos agentes do MIF e brigadistas, e também por moradores com o consentimento da gestão do parque (ICMBio, 2016), sendo que algumas áreas de queimada controlada foram realizadas como piloto em 2014 (FRANKE et al., 2018).

Atualmente pesquisas com a temática fogo no PNCM vem surgindo, porém não foi encontrada nenhuma abordando a reconstrução do histórico de queimadas no parque. Gerude (2013) mapeou focos de queimadas em Unidades de Conservação Federais e Estaduais e em Terras Indígenas no estado do Maranhão, para o período de 2002 até 2008. Onde o PARNA da Chapada das Mesas, a REBIO de Gurupi e o PARNA das Nascentes do Rio Parnaíba tiveram destaque no número de focos de incêndios detectados, com 416, 439 e 1979 focos, respectivamente. Responsáveis por 90% dos focos detectados nas UC Federais.

Souza et al. (2015) realizaram modelagem de dados para a predição de incêndios no PNCM a partir de dados de precipitação e focos de queimadas para o ano de 2010. Os modelos foram recomendados, considerando a melhoria a partir da inclusão de dados históricos de queimadas e implantação de estações meteorológicas. Além desses estudos podemos citar os realizados por Schmidt et al. (2016), Schmidt et al. (2018), Moura (2018)



e Franke et al. (2018), todos abordando o Manejo Integrado do Fogo no PNMC e em outras áreas de proteção no Cerrado.

Além de todo o trabalho realizado dentro dos limites do parque, destaca-se a importância do zoneamento do entorno de uma unidade de conservação, assim como o zoneamento interno, que permite identificar áreas de maior fragilidade (PIVELLO et al., 1998). Segundo a Lei 9.985, que institui o SNUC (BRASIL, 2000), o entorno de uma unidade de conservação é denominado de “zona de amortecimento”, onde ocorre a gestão de atividades que possam ocasionar impactos, com o objetivo de minimizar os danos. O Decreto nº 99.274 de 06 de junho de 1990 institui uma zona de amortecimento de 10 km no entorno das unidades de conservação, sujeita a monitoramento do órgão ambiental competente. Então no presente estudo consideramos uma zona de amortecimento (buffer) de 20 km para a reconstrução de queimas, ou seja, além do estabelecido por lei, para termos um panorama mais amplo do entorno do parque.

### 3.3 SENSORIAMENTO REMOTO

Entende-se por Sensoriamento Remoto a coleta de informações de um objeto sem o contato direto com o mesmo, utilizando sensores acoplados em satélites em órbita, que registram a energia eletromagnética emitida da superfície terrestre (LIU, 2006). Os componentes da superfície terrestres como vegetação, água e solo, possuem características espectrais únicas de cada elemento, uma vez que absorvem e emitem energia eletromagnética em uma frequência, velocidade e comprimento de onda específico de cada objeto de acordo com sua composição química, física e biológica (FLORENZANO, 2011). Devido essas características os elementos da superfície terrestre são diferenciados nas imagens capturadas pelos satélites e sensores (GUEDES; SILVA, 2018).

O avanço do sensoriamento remoto está atrelado com o avanço das tecnologias de informações como hardwares e softwares, tecnologia espacial (FLORENZANO, 2011; GUEDES; SILVA, 2018). Esses avanços contribuem para o desenvolvimento de satélites e sensores utilizados para obtenção de informações dos componentes da superfície terrestre e condições atmosféricas, como mudanças no uso do solo e climáticas (NOVO et al., 2005; FERREIRA et al., 2010; CAMPAROTTO et al., 2013). Esses instrumentos possuem diferentes resoluções espaciais e temporais definidas pelo tipo de sensor ou sensores que esses instrumentos possuem (LIU, 2006; FLORENZANO, 2011; GUEDES; SILVA, 2018).

Para se determinar qual o satélite a ser utilizado para obter as imagens para a realização de determinado estudo alguns aspectos devem ser analisados, como a escala de abrangência (global, regional, local) e temporal (séries históricas ou momento atual) (LIU, 2006; FLORENZANO, 2011). Como exemplo de sensor e satélite utilizados temos o MODIS e Landsat, sendo destaque o uso das suas imagens e produtos em pesquisas por terem livre acesso, disponibilidade de vários produtos prontos (MODIS - índices de vegetação, área queimada, temperatura) e alcance temporal (Landsat – lançado em 1972) (LIU, 2006; FLORENZANO, 2011).

O uso de sensoriamento remoto é caracterizado como um método de baixo custo, possibilitando a obtenção de resultados em um curto período de tempo, considerando o estudo em áreas de grande extensão (CONCEIÇÃO, 2004). Sendo utilizado em estudos de monitoramento de secas, uso do solo, previsão de safra, levantamento de recursos hídricos e monitoramento de desmatamento e queimadas (LIU, 2006; FLORENZANO, 2011; PONZONI et al., 2012).

### 3.4 ANÁLISE DE QUEIMADAS

O fogo pode ter origem natural por meio de raios ou combustão espontânea, e antrópica quando utilizada para limpeza de áreas, renovação de pastagem, preparação do solo para plantios e por ações criminosas (LIU, 2006). As causas naturais são consideradas de difícil prevenção enquanto as queimadas causadas pelo homem podem ser mitigadas por ações de monitoramento, educação e formulação de legislações (LIU, 2006).

O monitoramento de queimadas, atualmente, conta com o uso de imagens obtidas por satélites (FRANÇA; FERREIRA, 2005; LIU, 2006). Estes podem fornecer informações de onde e quando ocorreu a queimada, intensidade, área que foi atingida, quanto de biomassa foi consumida, entre outras informações (LIU, 2006; FLORENZANO, 2011). A qualidade e quantidade dessas informações dependem do tipo de resolução espacial e temporal dos satélites (FRANÇA; FERREIRA, 2005; LIU, 2006; FLORENZANO, 2011).

Os produtos de satélites de alta a média resolução espacial, entre 1 a 30 metros, como os satélites Ikonos, SPOT, Landsat, CBERS, Sentinel, geralmente possuem baixa resolução temporal, variando de 3 a 26 dias (FRANÇA; FERREIRA, 2005; LIU, 2006). Já os satélites de moderada a baixa resolução espacial, com produtos de 250 m até 1 km, possuem alta resolução temporal, fornecendo imagens diárias e até em tempo real, como exemplos os produtos do MODIS, NOAA (FRANÇA; FERREIRA, 2005; LIU, 2006; FLORENZANO, 2011;). As imagens Landsat, por exemplo, com resolução espacial de 30 metros são utilizadas no mapeamento de cicatrizes de queimada, permitindo extrair informações de áreas, intensidades e padrões de queima (HUDAK; BROCKETT, 2004; FRANÇA; FERREIRA, 2005), além de serem gratuitas e ter dados desde 1972.

Além dos tipos de resoluções, outros fatores podem interferir no processo de identificação de queimadas por meio de satélite (LIU, 2006; TOMZHINSKI et al., 2011) como: cobertura vegetal, presença de nuvens, relevo heterogêneo, clima, umidade, temperatura, topografia (FRANÇA; FERREIRA, 2005; LIU, 2006).

Estudos encontrados em escala global e regional utilizam produtos de alta resolução temporal com baixa a moderada resolução espacial, que possibilitam analisar grandes extensões de áreas e locais de difícil acesso (LIU, 2006; TOMZHINSKI et al., 2011). Por exemplo, ocorrências de queimadas podem ser detectadas com produtos de 1 km de resolução espacial do NOAA e MODIS (produto MOD14 e MYD14), através dos focos de calor (LIU, 2006; SOUZA et al., 2015; MATAVELI et al., 2018), que são disponibilizados pelo INPE por meio do programa de monitoramento de queimadas

(<http://www.inpe.br/queimadas>) de forma gratuita para diversas regiões do globo (América do Sul, África, Europa). Além disso, existem também produtos de área queimada como MCD45A1 e o MCD64A1 do MODIS, com 500 metros de resolução espacial e resolução temporal diária, utilizados em estudos de ecossistemas tropical (RAMOS et al., 2018), boreal (RAMOS et al., 2018), temperado (RAMOS et al., 2018) e savânicos (TSELA et al., 2014; SOUZA et al., 2015; MATAVELI et al., 2017; MATAVELI et al., 2018), em escala global e regional.

Mataveli et al. (2018) utilizaram o produto MCD45A1 para estimar a área queimada para todo o Cerrado no período de 2002 até 2015, além de relacionarem com variáveis climáticas como precipitação e também com as condições da vegetação (material combustível). Utilizando dados de sensoriamento remoto, foi mensurado um total de 1.358.775 km<sup>2</sup> de área queimada em todo o período, com 72% das queimadas encontrados em vegetação mais aberta (savana). Os autores constataram que o padrão de queimadas encontrado é decorrente de pressão antrópica e mudanças do uso do solo, que ocorrem atualmente na parte central, norte e nordeste do bioma. As variáveis abordadas foram recomendadas para inferir sobre quais tipos de vegetação estão mais passíveis de entrar em combustão e sobre as condições de ocorrência de queimadas (precipitação).

Algumas limitações existem quando se utiliza tais produtos de resoluções temporais moderadas como o MODIS, devido a fragmentação das áreas e detecção de pequenas áreas queimadas (TSELA et al., 2014; MATAVELI et al., 2018). Portanto, satélites de alta a média resolução espacial tem grande potencial para o estudo de áreas queimadas, como encontrado em Batista et al. (2018), Alvarado et al. (2017) e (2018) que abordaram o regime de queimadas em áreas protegidas no Cerrado em relação a ações de manejo do fogo.

No estudo no Parque Nacional da Serra da Canastra, realizado por Batista et al. (2018), o regime de queimadas foi analisado em relação a três sistemas de gestão do fogo, uma área com supressão de queimadas (planalto Canastra - CP), uma com uso de fogo não prescrito (planalto Babilônia - BP) e uma terceira área com uso do fogo prescrito (vale Babilônia - BV). O mapeamento foi a partir de imagens Landsat por interpretação visual e vetorização manual dos polígonos queimados, entre os anos de 2000 até 2015. No ano de 2010 um total de 44.498 hectares foram queimados na área da CP, 28.299 ha (BP) e 27.221 ha (BV). A área com maior frequência de queimadas foi o BP onde 72% da área queimou mais de 6 vezes no período estudado frente a 23% no CP e 40% no BV, contudo não houve diferença significativa. A partir dos resultados da pesquisa os autores consideraram a

importância do desenvolvimento de um plano estratégico de queima controlada, que atenda tanto o lado dos gestores quanto da comunidade, em prol da conservação das áreas protegidas.

A política de exclusão do fogo em áreas de proteção de ecossistemas savânicos são discutidas por Fidelis e Pivello (2011), Durigan e Ratter (2016), Alvarado et al. e (2018) e Batista et al. (2018). Esses estudos mostram a fragilidade das políticas de manejo de fogo. Além de destacar a importância de se entender os padrões do regime de queimadas, além do papel ecológico do fogo em ecossistemas que dependem da ocorrência desses eventos para a manutenção da biodiversidade e outras funções.

Alvarado et al. (2018) após realizarem o estudo comparando o antes e depois da intervenção de manejo (exclusão do gado e proibição de fogo) em áreas de proteção em ecossistemas savânicos no Brasil e na África, identificaram que após a intervenção o regime de queimadas mudou. Constataram alterações no tamanho das cicatrizes e que as queimadas passaram a acontecer mais no final da estação seca, porém 90% das áreas de proteção mapeadas foram queimadas. Dessa forma, a supressão das queimadas não diminuiu a superfície anual queimada (ALVARADO et al., 2018; BATISTA et al., 2018) em ambientes que necessitam do fogo para o manejo da biodiversidade e manutenção das funções dos ecossistemas savânicos (FIDELIS; PIVELLO, 2011; ANDERSEN et al., 2012; DURIGAN; RATTER, 2016).

Os biomas Amazônia, Cerrado e Caatinga são os mais impactados por ocorrência de queimadas. Segundo Fidelis et al. (2018), o Cerrado possui, anualmente, o maior número de focos de queimadas. Sendo o uso do fogo caracterizado, em áreas de cerrado, para o manejo de pastagem na pecuária assim como em atividades agrícolas (PEREIRA, 2009; PEREIRA et al., 2012), além de ser um dos fatores responsáveis pela manutenção das diferentes fisionomias vegetais presentes no Cerrado (FERREIRA; HUETE, 2004).

No Parque Nacional da Chamada das Mesas - PNCM, o fogo é utilizado por agricultores para limpeza da área para plantio de culturas e formação de pastagem, com intensidade maior no mês de setembro, período no qual a vegetação está mais susceptível a queima (LIMA et al., 2007). Segundo Almeida (2015) aproximadamente 130 famílias residem no interior do PNCM e fazem uso do fogo para limpeza de áreas para desenvolver práticas agrícolas e pecuárias. Além disso, atualmente, ocorrem queimas controladas e prescritas, e aceiros feitos com o uso do fogo no parque são realizados pelos agentes das brigadas de incêndio e por moradores (ALMEIDA et al., 2015; ICMBio, 2016).

### 3.5 MAPEAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO

O uso do sensoriamento remoto na análise da vegetação, por exemplo, é aplicado em estudos espaço-temporais que objetivam o levantamento de modificações da vegetação através da classificação de mudanças ao longo dos anos (SILVEIRA et al., 2018) bem como do tipo de vegetação presente em determinada região, bioma, ecossistema (SANO et al., 2010; MAPBIOMAS, 2019).

Os biomas brasileiros ocupam extensas áreas, sendo seus estudos, facilitados pela aplicação das técnicas e ferramentas de geoprocessamento. Dentre os levantamentos dos tipos de vegetações dos biomas brasileiros realizados através do uso de imagens de satélites (Landsat) podemos citar programas como: PROBIO que mapeou a vegetação dos biomas para o ano de 2002, na escala 1:250.000 (SANO et al., 2008; SANO et al., 2010); o TerraClass Cerrado responsável pelo mapeamento tendo como base o ano de 2013, na escala 1:250.000 (MMA, 2015); e o MAPBIOMAS com dados de 1985 até 2017 para todos os biomas brasileiros (MAPBIOMAS, 2019).

A classificação visual a partir de imagem de satélite demanda tempo e muito esforço (SANO et al., 2010), além de recursos com equipe técnica treinada e equipamentos, principalmente para o mapeamento de áreas extensas (CONCEIÇÃO, 2004). Portanto as técnicas de classificação supervisionadas e não supervisionadas são cada vez mais utilizadas (SANO et al., 2010; MMA, 2015; LI et al., 2016; SILVEIRA et al., 2018).

O uso de metodologias utilizando Análise Geográfica de Imagem Orientada a Objeto (Geographic Object-Based Image Analysis – GEOBIA) vem sendo observado nos últimos anos (ADDINK et al., 2012; DRONOVA et al., 2012; LI et al., 2016; BATISTA et al., 2018; SILVEIRA et al., 2018), assim como o uso de algoritmos de aprendizado de máquinas (*machine-learning*) (DRONOVA et al., 2012) como o Random forest (SILVEIRA et al., 2018). Consiste em técnicas supervisionadas de classificação (LI et al., 2016) que permitem dimensionar os processos de classificação de imagem a partir de regras e funções (CLEWLEY et al., 2014). Além de considerar o uso de conjuntos de pixels e não pixels isolados como na classificação baseada em pixel (LI et al., 2016; RODRIGUES; KUX, 2015; CLEWLEY et al., 2014).

A utilização de GEOBIA pode ser encontrada tanto em estudos de mapeamentos de uso do solo quanto no mapeamento da vegetação (SANO et al., 2010; DRONOVA et al., 2012; RODRIGUES; KUX, 2015; NUNES; ROING, 2015). Sendo aplicada na classificação

de imagens de média e alta resolução espacial (FERNANDES et al., 2012), como do Landsat (FERNANDES et al., 2012; SILVEIRA et al., 2018) e WorldView-II (RODRIGUES; KUX, 2015).

O primeiro registro do mapeamento da cobertura vegetal, uso e ocupação do solo no PNCM foi realizado por fotointerpretação, a partir de sobrevoos, para coletar coordenadas e fotos, e do uso de imagens dos satélites Landsat e CBERS para o ano de 2006 (MORAES; LIMA, 2007). O resultado do mapeamento mostrou que cerca de 73% da área do PNCM compreende as formações savânicas, 15% são cobertos por formações florestais e 12% por formações marginais (mata de galeria, buritizais e veredas).

## CAPÍTULO 1

### EFEITO DA CRIAÇÃO DE UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NO REGIME DE QUEIMADAS: Um estudo no Parque Nacional da Chapada das Mesas

#### RESUMO

O fogo é um fator naturalmente responsável por atuar na manutenção da biodiversidade responsável nos processos ecológicos. O Cerrado é detentor de grande biodiversidade, caracterizado pela sazonalidade climática, mosaicos de vegetações e variações topográficas que junto com o fogo determinam as suas diferentes fitofisionomias. O Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), no sul do estado do Maranhão, comporta fitofisionomias savânicas com elevado potencial ecológico e inúmeras riquezas arqueológicas e hídricas. Considerando tais fatores, foi realizado a reconstrução do histórico de queimadas ao longo de 28 anos para a área do parque e seu entorno. Buscando entender os padrões de ocorrência e frequência que constituem a dinâmica do fogo na região de estudo. Para o mapeamento das cicatrizes de queimada foram utilizadas imagens do satélite Landsat dos sensores TM, ETM+ e OLI. As cicatrizes foram delimitadas utilizando o software ArcGIS e o processamento e análise dos dados vetoriais e rasters foram através do Rstudio, assim como as análises estatísticas. Os resultados demonstram que houve diferença significativa entre os locais de estudo, parque e buffer, com relação a porcentagem de área queimada, médias de áreas queimadas e número de ignições/km<sup>2</sup>. Contudo, não foi encontrada diferença significativa entre o período antes e após 2005, em ambos os locais. O fato do parque ainda ter moradores e esta em região isolada, possivelmente colaborou para os resultados encontrados, assim como a possível fragmentação da área do buffer e mudança de uso do solo. A realização da reconstrução do histórico de queimadas impulsiona outras pesquisas relacionando o fogo e aspectos como microclima, biomassa acumulada, a fauna e flora da região PNCM.

**Palavras-chave** – Fogo; Sensoriamento Remoto; Conservação; Gestão



## **ABSTRACT**

Fire is a naturally responsible factor for acting in the maintenance of responsible biodiversity in ecological processes. The Cerrado is holder of great biodiversity, climatic seasonality, mosaics of vegetations and topographic variations which together with the fire determine the diferente physiognomies. The Chapada das Mesas National Park (CMNP), in the south of the state of Maranhão, contains savanna phytophysiognomies with high ecological potential and countless archaeological and hydric riches. Considering these factors, it was accomplished the reconstruction of the history of burning over 28 years for the park area and its surroundings. Searching understand the patterns of occurrence and frequency that constitute the dynamics of fire in the region of study. For the mapping of the burnt scars were used images of the satellite Landsat of TM, ETM+ and OLI sensors. The scars were delimited using the ArcGIS software and the processing and analysis of the vectors and rasters data were through Rstudio, as well as the statistical analyses. The results show that there was a significant difference between the study sites, the park and the buffer, with respect to the percentage of burnt area, averages of burned areas and number of ignitions/km<sup>2</sup>. However, no significant difference was found between the period before and after 2005 in both sites. The fact that the park still has residents and this in an isolated region, possibly contributed to the results found, as well as the possible fragmentation of the buffer area and change of land use. The reconstruction of the history of fires drives other research related to fire and aspects such as microclimate, accumulated biomass, fauna and flora of the CMNP region.

**Key words** – Fire; Remote Sensing; Conservation; Management

## 1 INTRODUÇÃO

Diversos estudos sobre a ocorrência de queimadas em UCs inseridas no bioma Cerrado são realizados, permitindo obter informações sobre o regime de queimadas dessas áreas, o impacto da criação de áreas de proteção no regime do fogo (FIDELIS; PIVELLO, 2011; BATISTA et al., 2018; ALVARADO et al., 2018). Permitindo assim a formulação de políticas para a gestão de queimadas e contribuindo para a proteção dessas áreas (TORRES, et al., 2017).

Nessa ótica, entender o regime de queimadas de ecossistemas que dependem do fogo para a manutenção da sua biodiversidade e processos ecológicos impulsionam o desenvolvimento de pesquisas (FIDELIS; PIVELLO, 2011; ANDERSEN et al., 2012), além de fornecer à equipe gestora de áreas protegidas informações e ferramentas de suporte para atuarem em prol da conservação desses ambientes, considerando suas características ambientais e sociais (BATISTA et al., 2018; ALVARADO et al., 2018).

O Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM) foi criado em 2005. Desde sua criação, as principais ações de gestão no parque são voltadas para o controle e prevenção de incêndios. Em 2007, o plano de operação de combate a incêndios foi implantado através do programa Prevfogo, um programa desenvolvido pelo IBAMA e MMA (LIMA et al., 2007). Em 2009 a gestão do parque iniciou as visitas aos residentes do interior e do entorno do PNCM, informando sobre a importância e os objetivos de sua criação, tratando também das práticas utilizando o fogo (ICMBio, 2016).

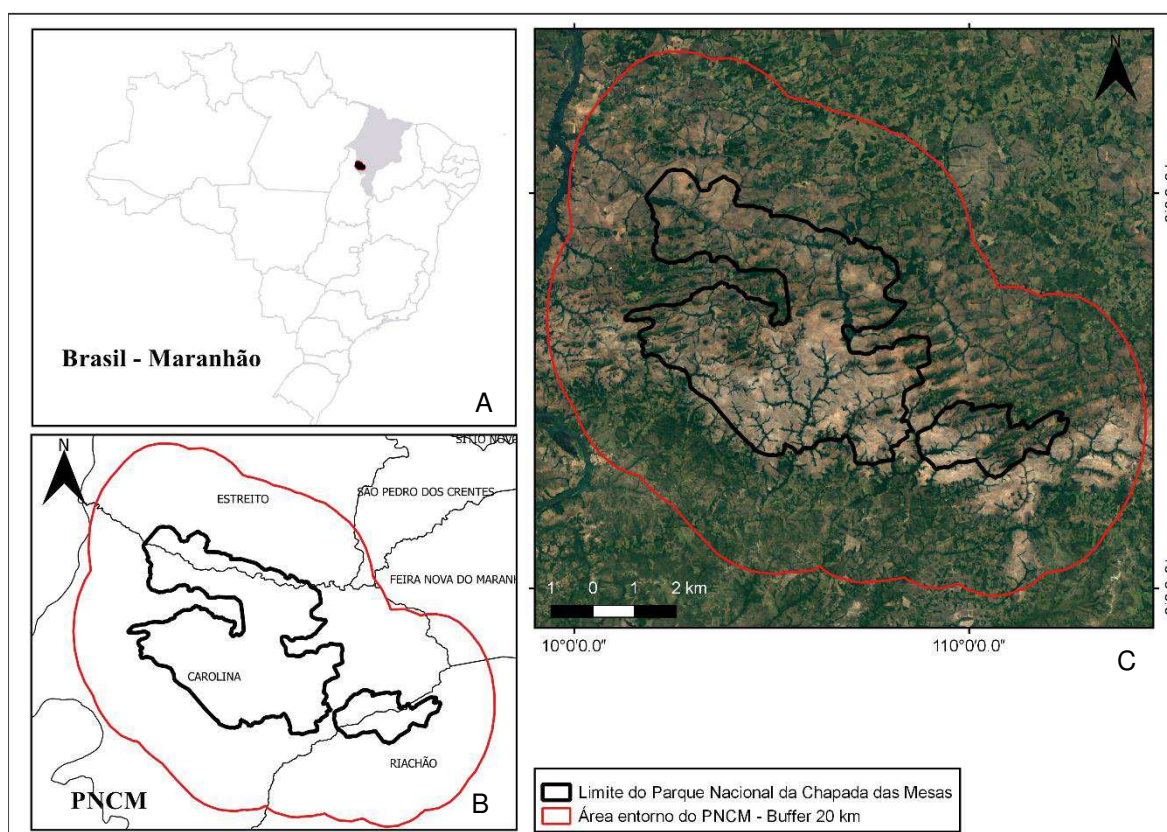
O presente estudo foi realizado utilizando imagens de satélite da série Landsat com resolução espacial de 30 m. As imagens estão disponíveis para o período 1984 até o presente, permitindo a reconstrução do regime de queimadas para os últimos 30 anos. Portanto, o objetivo deste trabalho foi realizar o mapeamento de cicatrizes de queimadas no PNCM ao longo de 28 anos (1990-2017), analisando frequências e áreas queimadas que ocorrem na estação seca antes (16 anos) e depois (12 anos) da sua criação. Buscou-se responder a seguinte pergunta: a) qual a influência da criação do parque no regime de queimadas? Com o intuito de subsidiar o manejo integrado do fogo e demais estudos sobre a dinâmica do ecossistema no parque, esta pesquisa buscou o entendimento sobre a variação espacial e temporal do fogo nessa área.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 LOCAL DE ESTUDO

A área de estudo foi a Unidade de Conservação de Proteção Integral Parque Nacional da Chapada das Mesas, localizada no Estado do Maranhão,  $-07^{\circ} 10' 39.33''\text{S}$  e  $-47^{\circ} 7' 29.45''\text{O}$ , inserida no Cerrado. O parque compreende os municípios de Estreito, Carolina e Riachão.

O parque é formado por duas áreas separadas (Figura 1) sendo uma maior com 140.840 hectares (Área I) e outra menor com 19.206 hectares (Área II), totalizando 160.046 hectares de área protegida (BRASIL, 2005). O órgão gestor da Unidade de Conservação (UC) é o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio. Além da área do parque, um buffer de 20 km foi delimitado a partir do limite do parque, adicionando uma área de 640.933 hectares para o mapeamento de cicatrizes de queimadas (Tabela 1).



**Figura 1.** Localização do Parque Nacional da Chapada das Mesas no estado do Maranhão (A), que compreende os municípios de Estreito, Carolina e Riachão (B, C). Imagem de satélite da Google Earth (C).

**Tabela 1.** Tamanho da área de estudo para o mapeamento do regime de queimadas.

<b>Local de Estudo</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (ha)</b>
Parque Nacional da Chapada das Mesas	1.600,48	160.048
Buffer 20 km	4.808,85	480.885
Área Total	6.409,33	640.933

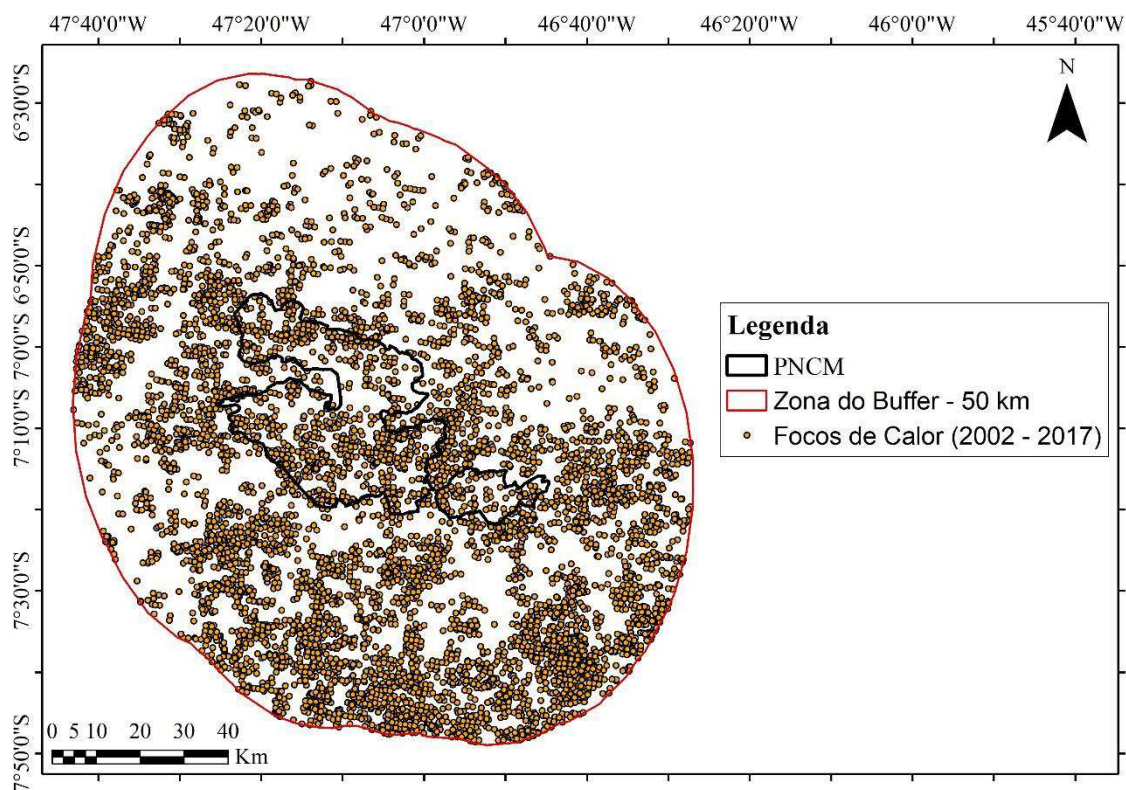
Segundo dados do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação, os solos são classificados em sua maioria como neossolos quartzarênicos (MMA, 2017). Com formação geológica dominante do tipo sambaíba, ocorrendo também formação do tipo Mosquito (LIMA et al., 2007; IBGE, 2011). O Relevo é predominantemente plano-ondulado, com a maior parte da área ocupada por relevo de chapada (LIMA et al., 2007).

Com relação aos recursos hídricos, a área do PNCM possui muitos cursos d'água, inúmeras nascentes, cachoeiras, conferindo ao parque um valor imensurável, em termos ecológicos e turístico. Os rios Farinha e Itapecuru, se destacam como os de maior extensão, assim como cursos d'água menores como o córrego Lage, contribuindo para o abastecimento das bacias hidrográficas do Tocantins-Araguaia, São Francisco e Parnaíba (LIMA et al., 2007; MORAES; LIMA, 2007).

O clima é tropical úmido, do tipo Aw segundo Köppen, com duas estações bem definidas. A estação seca que vai de maio a outubro e a chuvosa que vai de novembro a abril, com pluviosidade média anual até 1.500 mm (LIMA et al., 2007). A temperatura média anual é de 26 °C, variando entre máxima e mínima de 25 °C e 36 °C, respectivamente (LIMA et al., 2007; MMA, 2017).

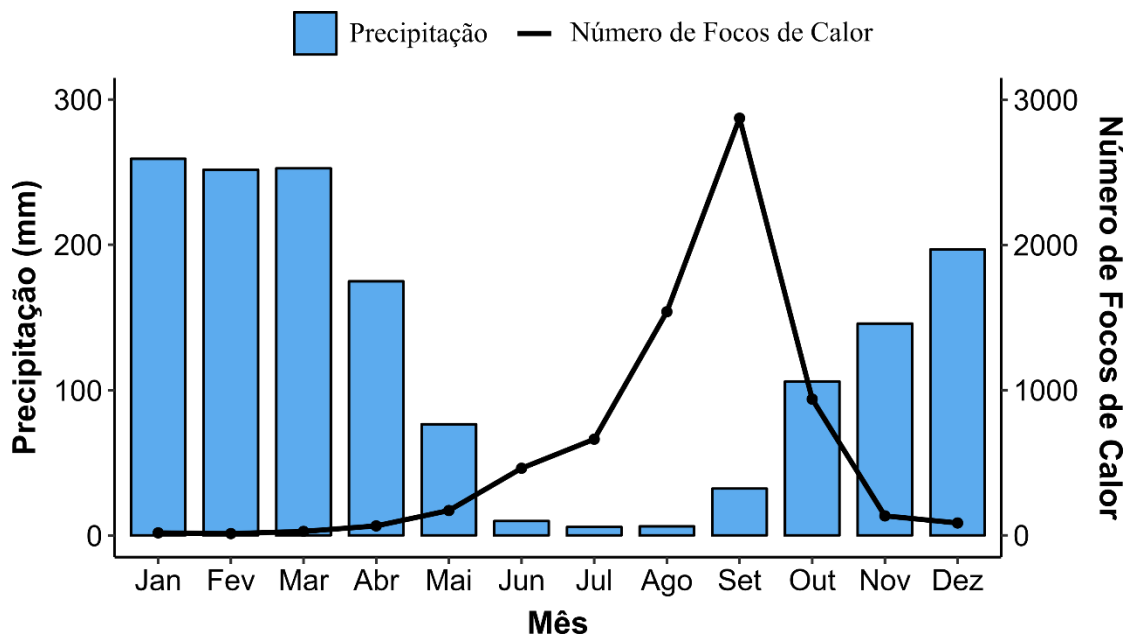
## **2.2 PERÍODO DE QUEIMADAS**

O período de queimadas foi estabelecido a partir dos registros de focos de calor (Figura 2) do produto do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectro radiometer* - MODIS, resolução espacial de 1 km a bordo do satélite Terra. Os dados são disponibilizados pelo INPE (<http://www.dpi.inpe.br/proarco/bdqueimadas>) através do Programa de Monitoramento de Queimadas, para o período de 2002 - 2017. Sendo então selecionados os focos de calor inseridos na área de um buffer de 50 km, compreendendo a área do parque, para que se estimasse o período de mapeamento das cicatrizes (Figura 2).



**Figura 2.** Focos de calor detectados (2002-2017). Cada ponto representa as coordenadas (X, Y) dos fogos detectados na área de estudo.

A estação de queimadas foi determinada de Maio a Novembro, compreendendo a estação seca, onde acontece a maior ocorrência de incêndios (Figura 3). Os dados de precipitação foram obtidos na base de dados da Agência Nacional de Águas (ANA) da Estação Pluviométrica situada no município de Carolina.



**Figura 3.** Número de focos de calor acumulados por mês durante o período de 2002-2017.

## 2.3 RECONSTRUÇÃO DO PADRÃO TEMPORAL E ESPACIAL DE QUEIMADAS

O regime de queimadas do presente estudo foi determinado para o período de 1990 a 2017, totalizando 28 anos de registro de queimadas, o que possibilitou analisar os dados antes (1990-2005, 16 anos) e após (2006-2017, 12 anos) a criação do parque em 2005.

As áreas queimadas foram identificadas a partir de imagens do satélite Landsat 5 Thematic Mapper (TM), Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) e Landsat 8 Operational Land Imager (OLI), com resolução espacial de 30 metros. A área de estudo está incluída nas cenas das órbitas 222, ponto 65 e órbita 221, ponto 65, *Datum* WGS84, e reprojetações na Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e zona 23S. As imagens são disponibilizadas pelo *United States Geological Survey* (USGS) da NASA (<http://earthexplorer.usgs.gov>) da coleção 1 (*Higher level science data – Level-2 – on-demand*).

A detecção e delimitação das cicatrizes de queimada foi realizada seguindo a metodologia proposta por Alvarado et al (2017). Foi realizada a fusão de bandas para a obtenção de imagens compostas em falsas cores RGB (Red, Green e Blue) utilizando as bandas 5-4-3 para os sensores TM e ETM+; e as bandas 6-5-4 para o sensor OLI. As composições geradas tiveram seus valores de contraste padronizados entre si (Tabela 2), com o objetivo de minimizar erros de interpretação por flutuações na intensidade de refletância (ALVARADO et al., 2017). E a delimitação das áreas queimadas foi realizada por detecção visual e vetorização manual das cicatrizes, com a escala gráfica padronizada em 1:25.000.

**Tabela 2.** Contrastes aplicados nas imagens Landsat que melhor destacam as cicatrizes.

<b>Canal</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
R	300	4.700
G	300	3.600
B	200	2.700

Os vetores das cicatrizes das áreas queimadas para cada imagem foram armazenados, recebendo atributos como área, mês e ano de detecção. As cicatrizes geradas para o período de queimada de cada ano foram agrupadas e convertidas em bitmaps com pixel de 30 m, com a finalidade de preservar a resolução original do mapeamento. A obtenção do mapa de frequência de queimadas foi realizada mediante a álgebra de mapas dos raster binários com os consolidados anuais (28 mapas), somando os pixels detectados como queimados ao longo da série temporal (Pixel queimado = 1, Pixel não queimado = 0) (ALVARADO et al, 2017).

Os padrões de regime de queimadas foram analisados para a área do PNCM e do buffer de 20 km, identificando similaridades ou diferenças do regime de queimas nas áreas para o período antes e após a criação do parque. Para isso outras medidas foram realizadas como:

- **Área total queimada (km<sup>2</sup>):** somatória das áreas de todas as cicatrizes vetorizadas por ano, sendo cada cicatriz vetorizada uma única vez por ano;
- **Porcentagem de área queimada:** calculada a partir da razão entre a área total queimada pela área total do local;
- **Área média das queimadas:** obtida através da razão entre a área de todas as cicatrizes pelo número de cicatrizes;
- **Número de ignições (ou número de cicatrizes):** contagem do número de áreas queimadas por ano durante o período mapeado;
- **Número de ignições por km<sup>2</sup>:** medido por meio da razão entre o número de cicatrizes dividido pela área total do local em km<sup>2</sup>, possibilitando a comparação e análise de locais com diferentes tamanhos.

A composição e reprojeção das imagens foram realizadas usando o software Rstudio através do pacote 'raster' e 'rgdal'. Enquanto para a vetorização das cicatrizes foi utilizado o software ArcGIS 10.1. Os arquivos vetorizados foram processados no software R (R CORE TEAM, 2018) gerando os rasters binários e a soma de rasters para determinar a frequência.

## 2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada para verificar possíveis diferenças na porcentagem de área queimada, na média de áreas queimadas e no número de ignições/km<sup>2</sup>, considerando o fator local (parque e buffer) e o fator proteção (antes e depois da criação do parque). Foram realizadas através do software R (CRAN) utilizando Análise de Variância para dois fatores e teste de Tukey para comparação de médias.

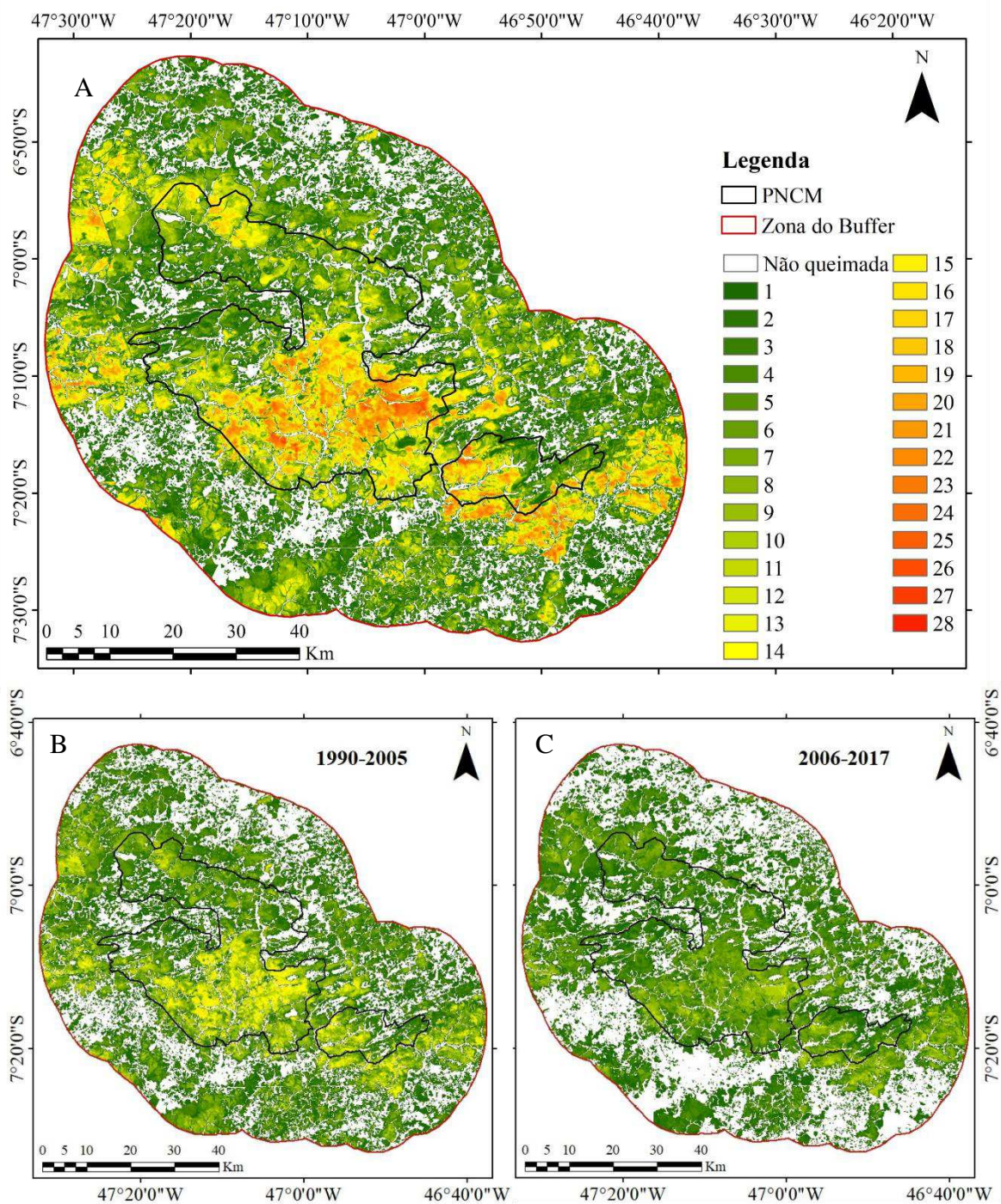
### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Análise Espacial da Ocorrência de Queimada

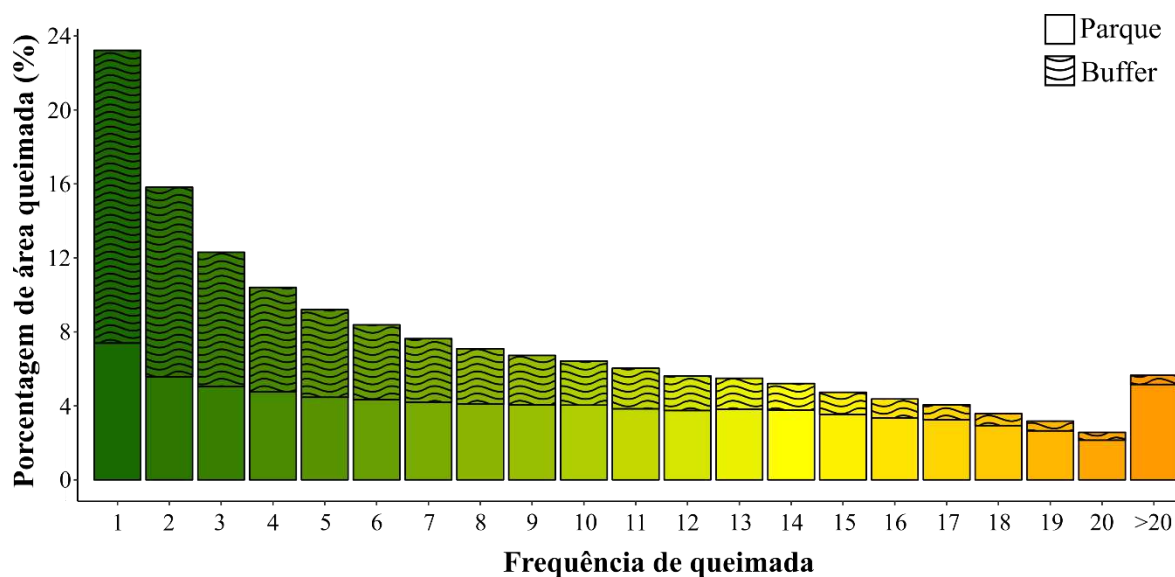
O registro do histórico de queimadas no Parque Nacional da Chapada das Mesas e do seu entorno demonstrou que 4.836 km<sup>2</sup> (75%) de toda a área do estudo foram queimadas, ao menos uma vez entre 1990 e 2017 (Figura 4 e 5). Desse valor, 1.378 km<sup>2</sup> (86%) foram queimados no PNCM e 3.458 km<sup>2</sup> (72%) no buffer (Figura 4 e 5). Observa-se que na área do PNCM, as queimadas ocorreram com maior frequência da parte central e sul do maior segmento do parque e na região oeste do segmento menor do parque. Enquanto na zona do buffer, a porção oeste e leste perto dos limites do parque concentraram maiores frequências de área queimadas.

Quando analisamos a frequência de incêndios antes e após a criação da área protegida observamos que 80% e 79% da área do PNCM queimaram antes (1990-2005) e após (2006-2017) a sua criação, respectivamente, enquanto no buffer queimaram 90% da sua área antes e 79% após. Ao contrário do esperado, houve uma redução geral na área total queimada, para o período de 2006 a 2017 na área buffer, indicando uma mudança do padrão do regime de queimadas na área mais antropizada.





**Figura 4.** Mapa de frequência de queimadas para o período de 1990 até 2017 no Parque Nacional Chapada das Mesas. As cicatrizes queimadas foram mapeadas usando imagens Landsat TM, ETM+ e OLI (A). Queimadas antes da criação do PNCM para o período 1990-2005 (16 anos) (B). Queimadas após a criação do PNCM para o período 2006-2017 (12 anos) (C).

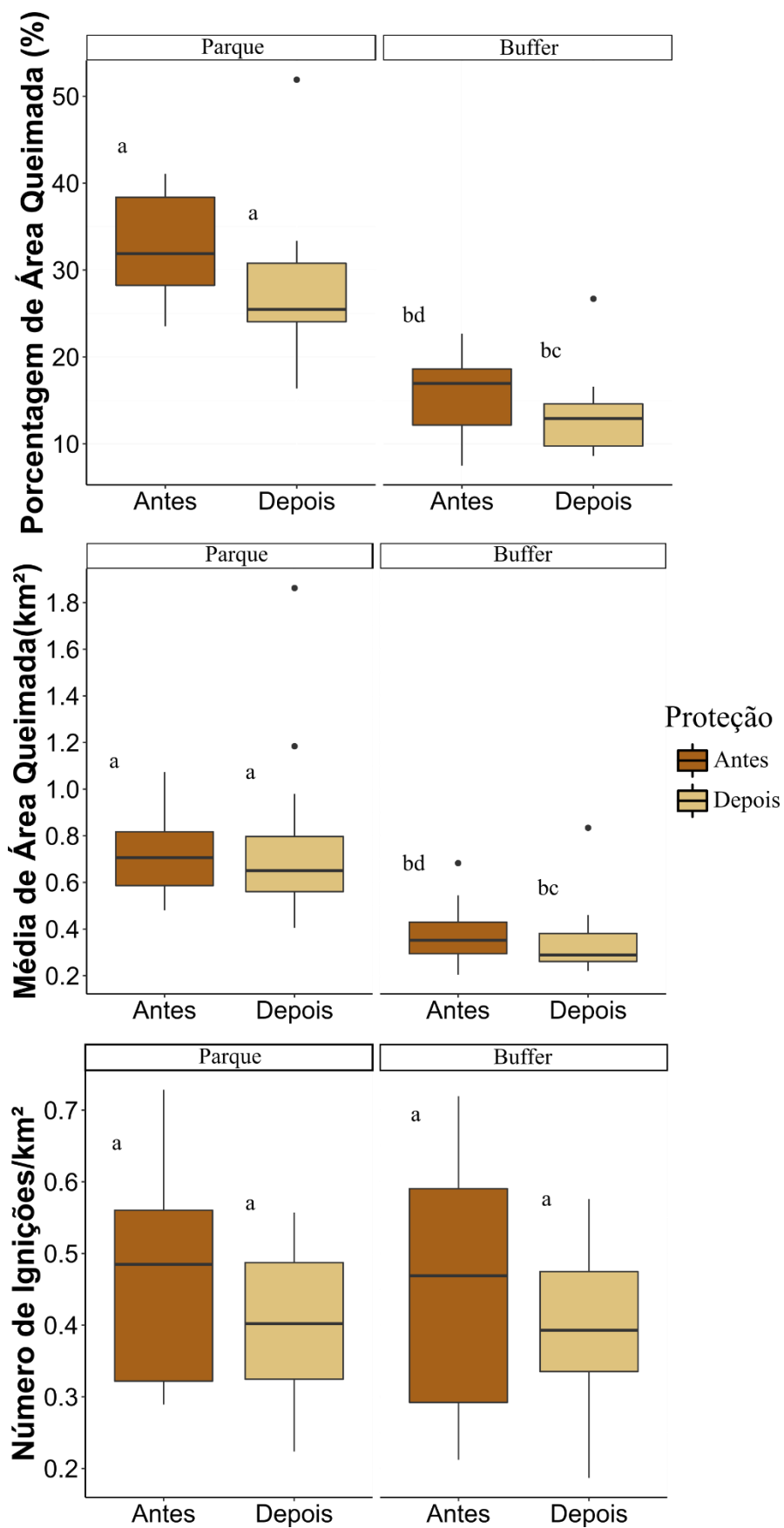


**Figura 5.** Porcentagem de área queimada para cada frequência de incêndio para as áreas do PNCM e Buffer no período de (1990-2017).

### 3.2 Variação Temporal das Áreas Queimadas

No ano de 2010, ocorreu a maior quantidade de queimadas, totalizando 2.114 km<sup>2</sup>. Em contrapartida 2017, foi o ano com um total de 696 km<sup>2</sup> de área queimada, sendo o menor para o período analisado, em toda a área de estudo.

A diferença observada entre a porcentagem de área queimada antes e depois no PNCM não foi significativa ( $p = 0.29$ ), assim como para o Buffer (Figura 6). Entre áreas foram encontradas diferenças significativas ( $p = 3.04 \times 10^{-13}$ ) quando comparado os períodos antes e depois (Figura 6). O mesmo resultado foi encontrado quando analisado a média de área queimada. Já para o número de ignições/km<sup>2</sup>, nenhuma diferença significativa foi encontrada.



**Figura 6.** Análise da porcentagem e média de área queimada, e do número de ignições das áreas de estudo durante o período de 1990 e 2017. Destacando o período ante e após 2005.

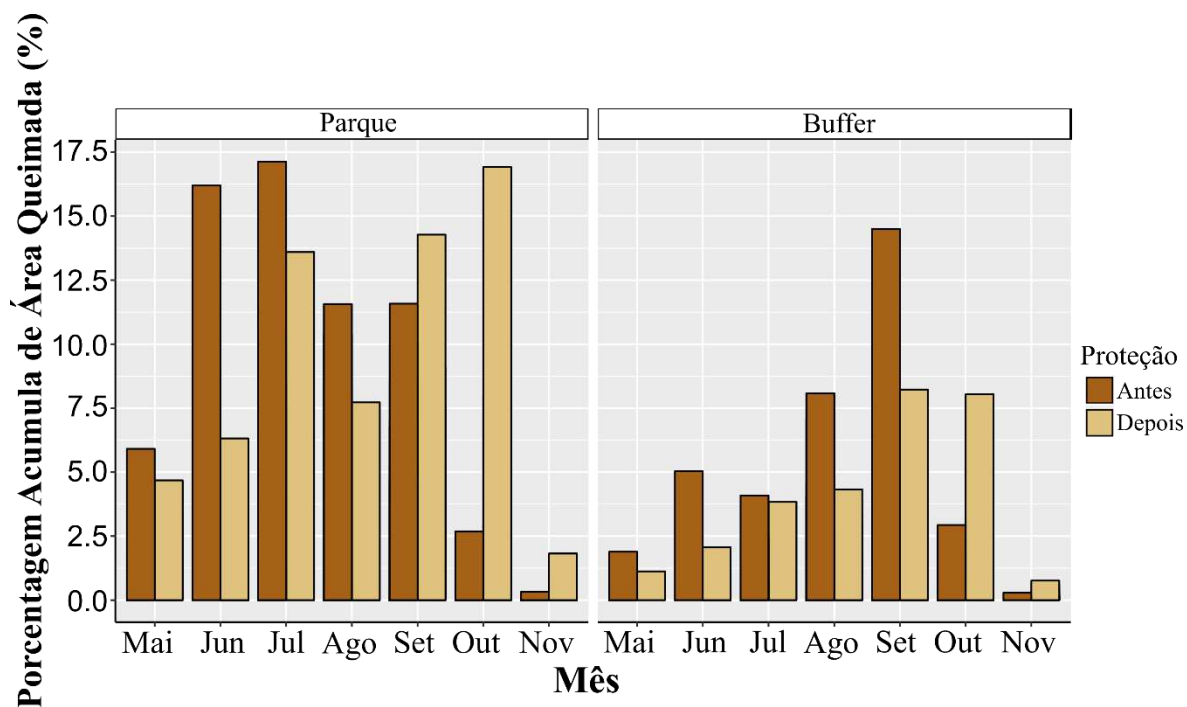
### **Área anual queimada:**

Depois da criação do parque, em 2006, os incêndios ocorreram em 25% da área do PNCM, mostrando uma redução de 10% com relação ao ano de 2005 (35%), antes da sua criação. As porcentagens variaram para o período após a criação entre 16% a 33%, com exceção de 2010 que queimou 52% do PNCM (831 km<sup>2</sup> de sua área). Anteriormente (1990-2005), esses valores apresentaram máxima de 41% (657 km<sup>2</sup>) da área total do parque queimada e mínima de 24% (379 km<sup>2</sup>) para os anos de 2002 e 1996.

Analisando o total de área queimada por ano no Buffer, observamos uma diminuição no total de área queimada após a criação da UC, com exceção de 2010 (Apêndice A). As porcentagens variaram para o período depois entre 9% e 27%. De 1990 até 2005, um total de 12.038 km<sup>2</sup> foram queimados, enquanto de 2006 até 2017 um total de 7.719 km<sup>2</sup> foram queimados, dentro dos limites do buffer. Em termos de porcentagem, em 2010, os incêndios ocorreram em 27% da área do buffer (1.284 km<sup>2</sup> de sua área), tendo o mínimo queimado em 1996 registrando 7% (361 km<sup>2</sup> de sua área).

### **Análise do período das queimadas:**

Analisando a estacionalidade do período de queimadas, percebemos dentro do PNCM uma diminuição da porcentagem acumulada mensal de área queimada após a criação do parque (Figura 7). Porém, observamos que até 2005, no período antes da criação, o pico das queimadas ocorreu principalmente na primeira metade da estação seca, no mês de junho-julho, enquanto após os incêndios aumentaram no final da estação seca, começo da estação chuvosa, com o pico de queimas mensal no mês de outubro (Figura 7). Para o buffer, observamos uma diminuição da porcentagem acumulada mensal de área queimada após a criação do PNCM (Figura 7). Porém, percebemos que até 2005 no período antes da criação o pico das queimadas começa na primeira metade da estação seca, no mês de junho-julho, sendo crescente até o mês de outubro, final da estação seca e começo da estação chuvosa, padrão que permanece o mesmo no período após, com o pico de queimas mensal no mês de setembro (Figura 7).

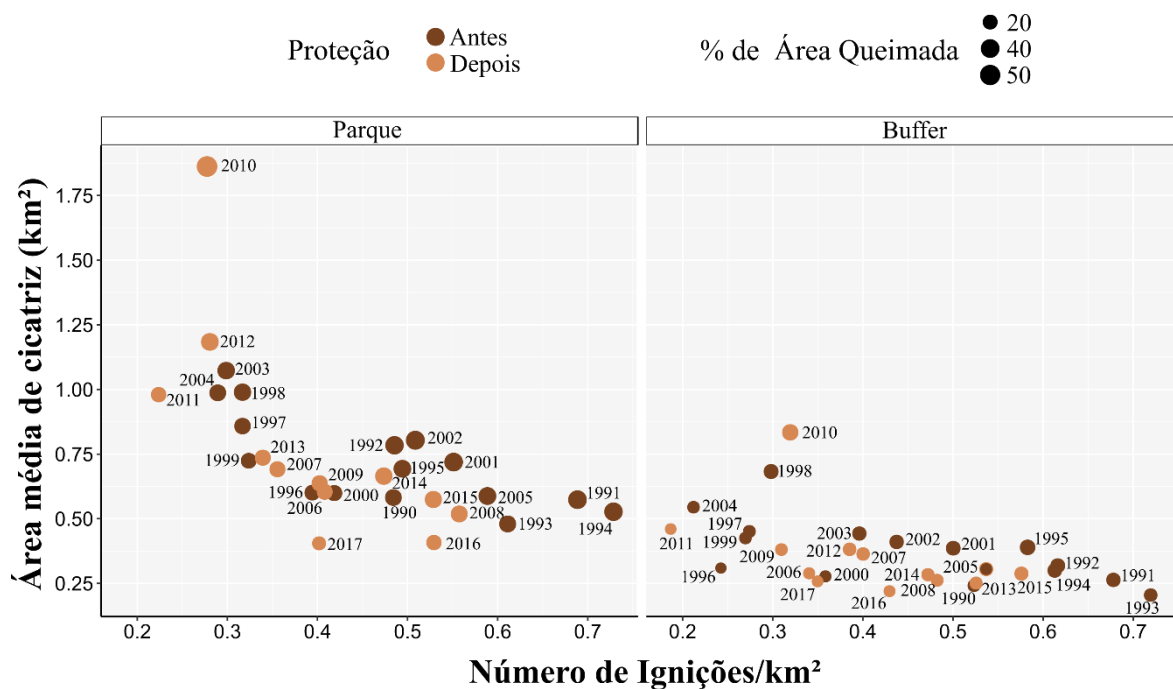


**Figura 7.** Área queimada mensal acumulada (%) ao longo dos meses mapeados do período de 1990 até 2017 no PNCM e Buffer.

#### Número de ignições/km<sup>2</sup> e tamanho médio da queima:

Na área do PNCM, observamos um número menor das cicatrizes, porém com médias de tamanho maiores, em relação ao buffer, que apenas nos anos de 1998 e 2010 apresentou médias de tamanho de cicatrizes maiores. O buffer apresentou médias de tamanho de cicatrizes variando entre 0,25 km<sup>2</sup> a 0,75 km<sup>2</sup>, enquanto no parque tivemos médias de 0,4 km<sup>2</sup> até 1,7 km<sup>2</sup>. Observamos que no parque o tamanho médio da cicatriz e a área total queimada teve uma leve diminuição entre 2006 e 2017, porém esta diminuição não foi significativa como observado na figura 6.

Foi observada uma leve redução no tamanho médio da cicatriz para o buffer após 2005 (Figura 6), mas tais diferenças não foram significativas (Figura 6).



**Figura 8.** Relação de número de ignições/km<sup>2</sup> e área média das cicatrizes ao longo do período estudado para o PNCM.

Após a implementação no manejo integrado do fogo – MIF em 2014, um padrão de vários incêndios menores começou com uma tendência de redução do tamanho médio das cicatrizes de queima (máximo e mínimo de 1,7 e 0,5 km<sup>2</sup> de 2006-2014 para 0,7 e 0,4 km<sup>2</sup> de 2015-2017,  $p = 0.13$ ), além da redução do total de área queimada do PNCM (de máximo e mínimo de 831,0 e 351,0 km<sup>2</sup> antes de 2014 para 508,0 e 262,0 km<sup>2</sup> após 2014,  $p = 0.30$ ). Esses resultados nos permitem inferir sobre a influência da implementação do MIF no padrão do regime de fogo.

## 4 DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que não houve mudança significativa na ocorrência de queimadas dentro do parque após a criação. Isso, possivelmente, se deve ao fato de ainda ter pessoas residindo no interior do parque, estas utilizam o fogo como uma ferramenta para as atividades suas atividades (renovação de pastagem, prepara da terra para plantio). Então, mesmo o parque sendo enquadrado como uma unidade de conservação de proteção integral, não garante a exclusão do impacto antrópico. Porém, mesmo que a área total queimada não tenha mudado, o tamanho das queimadas não aumentou, contrário do encontrado por Alvarado et al. (2018) em áreas de proteção no Brasil e na África após a exclusão das atividades antrópicas dentro das unidades de conservação. Outro aspecto a ser destacado é o fato do parque se encontrar em uma região geograficamente isolada, dificultando assim ações de controle do fogo.

Analisando o padrão de frequência de queimadas, o tamanho e total de áreas queimadas, a distribuição no espaço e no tempo, compreendendo períodos antes e após a criação do parque, encontramos no PNCM uma alta porcentagem de área queimada anual com baixas frequências de ocorrência de queimada ao longo do tempo, sendo o mesmo comportamento observado em outras áreas de proteção do bioma Cerrado como no PARNA Serra do Cipó (ALVARADO et al., 2017), APA Morro da Pedreira (ALVARADO et al., 2017), PARNA Serra da Canastra (BATISTA et al., 2018).

Ao contrário do esperado, no buffer foi observada uma redução na área anual queimada. Esta mudança pode ser devida as mudanças no uso do solo durante o período de 28 anos avaliado na área do buffer, que pode também ter atuado no regime de queimadas ao longo dos anos nesta área antropizada. A conversão do uso do solo para áreas para agricultura, pecuária, e plantações comerciais que aconteceu no longo do tempo na área do buffer, pode ter causado uma fragmentação das áreas, aspecto que atua como barreiras na propagação de queimadas, reduzindo assim a área média da queima e a área total queimada (TSELA et al., 2014; ARCHIBALD, 2016; MATAVELI et al., 2018). As áreas de maior frequência de queimadas no buffer são áreas ao sudoeste onde passa a rodovia BR-230. Marques (2012) destaca um maior grau de antropização em áreas mais próxima da rodovia, afetando a porção do PNMC próxima da rodovia.

Outro fator a se destacar em relação a redução do fogo na área do buffer e as mudanças no uso do solo na região do parque é que atualmente os estados do Maranhão,



Tocantins, Piauí e Bahia, ocupam a região denominada de última fronteira agrícola, conhecida como MATOPIBA (SPERA et al., 2016; RODRIGUES, 2017; MATRICARDI et al., 2018). Com áreas que eram ocupadas em sua maioria por pecuária, e que hoje estão em expansão agrícola, sendo ocupadas por plantios de eucalipto, soja (MORAES; LIMA, 2007). Estas áreas de plantios e cultivos são menos atingidas pelo fogo, o que explicaria a redução na área total queimada com o tempo.

Comparando os períodos antes e depois, observou-se que o ano 2010 incluído no intervalo depois da criação do parque, apresentou uma ocorrência de fogos anormalmente maior quando comparada com os outros anos deste período. O ano de 2010 destacou-se dos demais por ter sido um ano de seca extrema (ARAGÃO et al., 2018) e no qual teve um pico de áreas queimadas nos diferentes biomas do Brasil e em especial em unidades de conservação (FIDELIS et al. 2018). Esse cenário indica que o regime do fogo proporcionou o acúmulo de biomassa em anos que antecederam 2010, sendo influenciado pela pluviosidade maior em anos anteriores e menor no ano de 2010.

Schmidt et al. (2018), estudando a implementação do MIF, observaram uma mudança na estação de fogo predominante do final da estação seca para o início da estação seca no PNCM e na Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, indicando possíveis mudanças na distribuição das queimadas ao longo dos meses. Mudança que também foi encontrada no presente estudo (Figura 7). Alvarado et al. 2018 encontraram reduções significativas na densidade de ignições após intervenção da gestão nas áreas de proteção. O resultado difere do encontrado no PNCM, demonstrando assim que a criação da área de proteção, ações de proteção e combate a incêndios existentes na área desde sua criação e implantação do MIF, não afetaram significativamente a densidade de ignições.

Neste estudo não foram levantadas as origens das queimadas, contudo entende-se que grande parte das queimadas que ocorrem são de origem antrópica, tanto no PNCM quanto no entorno. Outros fatores como eventos climáticos, El Niño e La Niña (TORRES et al., 2017), implicam na dinâmica de queimadas, influenciando na biomassa (vegetação) apta a entrar em combustão (MATAVELI et al., 2018), fornecendo condições favoráveis à ignição. Nessa ótica abordar as relações dos fatores climáticos que incidem sobre as queimadas, bem como os diferentes tipos de vegetações que são atingidas e o impacto, positivo ou negativo, sobre as mesmas, torna-se essencial.

A reconstrução do regime de queimadas realizado no presente estudo, assim como as ferramentas de previsão de incêndios, como a modelada por Souza et al. (2015), utilizando



dados meteorológicos e dados de focos de calor para o ano de 2010 no PNCM, junto com informações sobre o regime de queimadas, dados microclimáticos e outras variáveis, podem ser utilizadas no combate e prevenção de incêndios no PNCM e em outras UCs com características parecidas.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O uso de imagens e ferramentas do presente estudo permitiu a reconstrução do histórico do fogo na área do PNCM e seu entorno para o período de 28 anos (1990-2017). Assim, possibilitando a realização de pesquisas futuras sobre o monitoramento de biomassa acumulada, zonas de risco, além de contribuir ainda para a continuidade das ações de manejo integrado do fogo no PNCM. Servindo como base também para a gestão de outras áreas protegidas com características parecidas.

Houve diferença significativa entre os locais de estudo, parque e buffer, com relação a porcentagem de área queimada e médias de áreas queimadas. Enquanto, não foi encontrada diferença significativa entre o período antes e após 2005, para ambos os locais. O fato do parque ainda ter moradores e esta em região isolada, possivelmente colaborou para os resultados encontrados, assim como a possível fragmentação da área do buffer e mudança de uso do solo.

A área do entorno do PNCM encontra-se em expansão agrícola, demonstrando uma pressão na área do parque. Portanto, recomenda-se o estudo sobre o impacto de queimadas que iniciam no entorno e invadem o parque, além de estudos do uso e mudança do solo para entender os fatores que influenciaram a redução das queimadas na área do buffer.

A supressão de incêndios em áreas de proteção do bioma Cerrado não é recomendada, portanto o fato de grande parte do parque continuar a ser queimado não deve ser considerado negativo. Contudo a recorrência que as áreas queimam deve ser estudada, bem como a intensidade dos incêndios.

## CAPÍTULO 2

### CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO DO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS: Uma relação com a frequência de queimadas do parque

#### RESUMO

Vários estudos têm demonstrado a importância do uso de algoritmos de aprendizado de máquina (*machine learning*, ML) para classificação de alvos a partir de imagens de sensoriamento remoto. Quando combinados a métodos de análise de imagens baseada em objetos (OBIA), resultados excelentes podem ser obtidos, especialmente em imagens com alta resolução espacial. O presente estudo objetivou classificar a vegetação do Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), utilizando métodos de OBIA e ML implementados em softwares de livre acesso. Buscou-se também analisar a relação entre da ocorrência de queimadas no parque e as classes de vegetação. Para a classificação do PNCM foram utilizadas imagens da constelação Dove PlanetScope, da estação seca e chuvosa, e dados de elevação do modelo ALOS World 3D. Os procedimentos foram realizados usando a biblioteca RSGISLib, a linguagem Python, a linguagem R e o software QGIS. Os seguintes procedimentos foram adotados para a realização do estudo: obtenção das imagens; segmentação; classificação; e filtragem e validação. O algoritmo utilizado para classificação foi o *Random Forests*. Para a interpolação dos dados de vegetação e de queimadas foram interpolados os dados através da soma dos rasters de cada variável, extraíndo a frequência de área queimada para cada tipo de vegetação. Para análise dos resultados da classificação foram gerados os índices *Kappa*, precisão global, e coeficientes de discordância quantitativa e de alocação, através da matriz de confusão, utilizando o pacote *rsacc* para o software R. Os resultados da classificação apontaram acurácia geral de 71,5%. As classes de vegetação que apresentaram maior frequência de queimadas foram cerrado denso e cerrado aberto.

**Palavras-chave** - Código aberto, GEOBIA, Random Forest, Cerrado, Fogo.

#### ABSTRACT

Several studies have shown the importance of using machine learning algorithms for classifying targets in remote sensing images. When combined with Object-Based Image Analysis (OBIA) methods, they can yield excellent results, especially for high spatial resolution imagery. The present study aimed to classify the vegetation of the Chapada das Mesas National Park (CMNP), by using free and open access software and data. We analyzed the relationship between fire occurrence into the park and its vegetation classes. For the vegetation classification, images from the Dove PlanetScope constellation were used, acquired at the dry and rainy seasons of the CMNP, together with elevation data from the ALOS World 3D model. The analyses were performed using the RSGISLib library of the Python language, the R language, and QGIS. We performed a segmentation and classification of images, followed of a filtering and validation process. The Random Forests classification algorithm was chosen, and for accuracy analysis, the Kappa, global precision, and the quantity and allocation disagreement indexes were computed from the confusion

matrix, using the rsacc R package. Classification results had 71.49% overall accuracy. The vegetation classes that occur in the highest frequency of fires are wood savanna and open savanna.

**Key words** - Open source, GEOBIA, Random forests, Savanna, Fire.

## 1. INTRODUÇÃO

Os métodos de classificação de imagens são estudados e aprimorados constantemente. Com o avanço de softwares e a implementação de algoritmos modernos, trabalhar com imagens de satélite vem se tornando cada vez mais acessível, especialmente através dos softwares e linguagens open source (BUNTING et al., 2014). Estes avanços permitem estudar a vegetação nas mais diversas escalas de tempo e espaço, (locais, regionais e globais), além de determinarem aspectos como os tipos de técnicas a serem aplicadas, os softwares a serem utilizados, os satélites e sensores, entre outros fatores (PONZONI et al., 2012).

Diversos estudos já demonstraram o sucesso dos métodos conhecidos como Análise de Imagens Baseada em Objetos (OBIA - *Object-Based Image Analysis*), especialmente para caracterização do uso e cobertura do solo e tipos de vegetações (DRONOVA et al., 2012; CLEWLEY et al., 2014). Com o crescente aumento de volume de dados, e disponibilização de imagens multiespectrais e hiperespectrais, novas ferramentas para o processamento também são desenvolvidas (CLEWLEY et al., 2014). Plataformas como *Google Earth Engine* (<https://earthengine.google.com>), Anaconda (<https://www.anaconda.com>), softwares como QGIS (<https://www.qgis.org>) e linguagens de código aberto (Python, R) possibilitam a execução de processos utilizando o conceito de *Object-Based Image Analysis* de forma livre e acessível (BUNTING et al., 2014; CLEWLEY et al., 2014).

Os diferentes tipos de vegetações de ecossistemas savânicos são determinados por diversos fatores como clima, topografia, hidrografia e fogo criando diferentes fitofisionomias (EITEN, 1972; RATTER et al., 1996; PIVELLO; COUTINHO; 1996; RIBEIRO; WALTER, 1998). Dessa forma, biomas como o Cerrado possui um grande mosaico de vegetações, desde formações florestais, herbácea-arbustiva e formações campestres (EITEN, 1972; RATTER et al., 1996; RIBEIRO; WALTER, 1998; DALDEGAN et al., 2014). Sendo o fogo um fator importante na manutenção da biodiversidade desses ambientes (COUTINHO, 1982), o regime do fogo permite analisar as

interações entre o padrão de queimadas e os tipos de vegetação, clima, uso do solo (HUDAK; BROCKETT, 2004; MATAVELI et al., 2018). Dessa forma, a classificação da vegetação de ecossistemas savânicos torna-se desafiador.

Dentre os processos de classificação supervisionada de imagens destacam-se a segmentação e classificação, podendo ainda haver etapas de pré-classificação e re-segmentação (CLEWLEY et al., 2014). A segmentação da imagem, primeiro processo realizado, consiste em agrupar pixels com características espectrais homogêneas, levando em consideração também a escala e tamanho dos objetos (CLEWLEY et al., 2014; SILVEIRA et al., 2018). O sistema de segmentação que utilizamos foi o de Shepherd implementado na biblioteca RSGISLib (CLEWLEY et al., 2014). Então o processo de classificação, realizado após a segmentação, baseasse em regras onde dados de referência são treinados, através de algoritmos de aprendizado de máquinas como o random forests, gerando a classificação da imagem segmentada (FERNANDES et al., 2012; CLEWLEY et al., 2014).

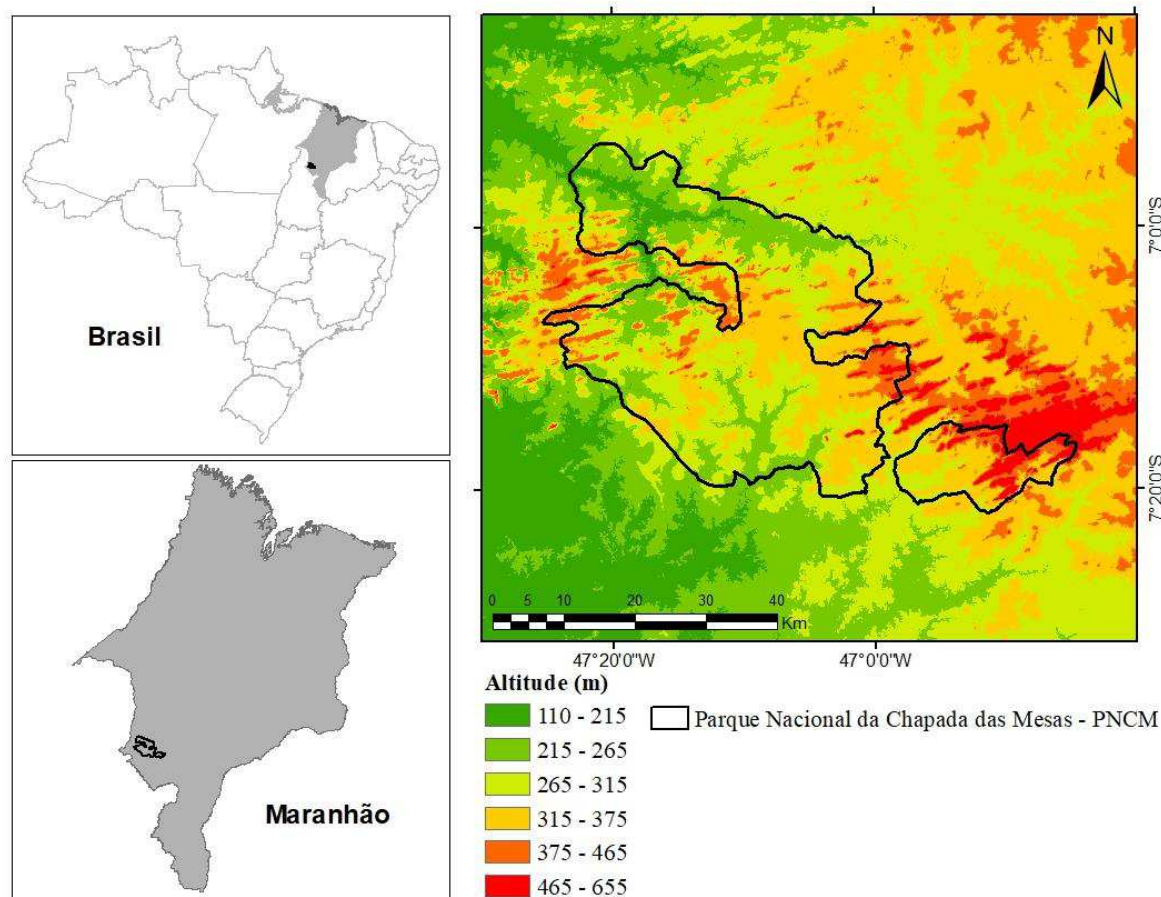
O objetivo deste trabalho foi realizar o mapeamento da vegetação do Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), utilizando o algoritmo de *machine learning* random forest, através do uso das bibliotecas rsgislib e scikit-learn, acessadas por meio da linguagem python. O presente estudo foi realizado utilizando pacotes de código aberto. Sendo um dos nossos objetivos difundir metodologias que usam ferramentas open source. Buscou-se responder as seguintes perguntas: a) qual a distribuição atual da cobertura vegetal no PNCM?, e baseado na reconstrução preliminar do regime de queimada do parque b) como o fogo afeta os diferentes tipos de vegetações do PNCM?

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 LOCAL DE ESTUDO**

A área selecionada para o estudo foi a Unidade de Conservação de Proteção Integral Parque Nacional da Chapada das Mesas, localizada no Sudoeste do estado do Maranhão, - 07° 10' 39.33"S e -47° 7' 29.45"O (Figura 9). Localizado no Bioma Cerrado, o parque compreende os municípios de Estreito, Carolina e Riachão, com uma extensão de 1600,48 km<sup>2</sup>. A região é caracterizada por um clima Tropical Úmido, com duas estações bem definidas (seca e chuvosa).

O Relevo é predominantemente plano-ondulado, com a maior parte da área ocupada por relevo de chapada (LIMA et al., 2007). A área do PNCM possui uma drenagem rica, com muitos cursos d'água, sendo os principais o Rio Farinha e o Rio Itapecuru, além de possuir cerca de 400 nascentes (LIMA et al., 2007).



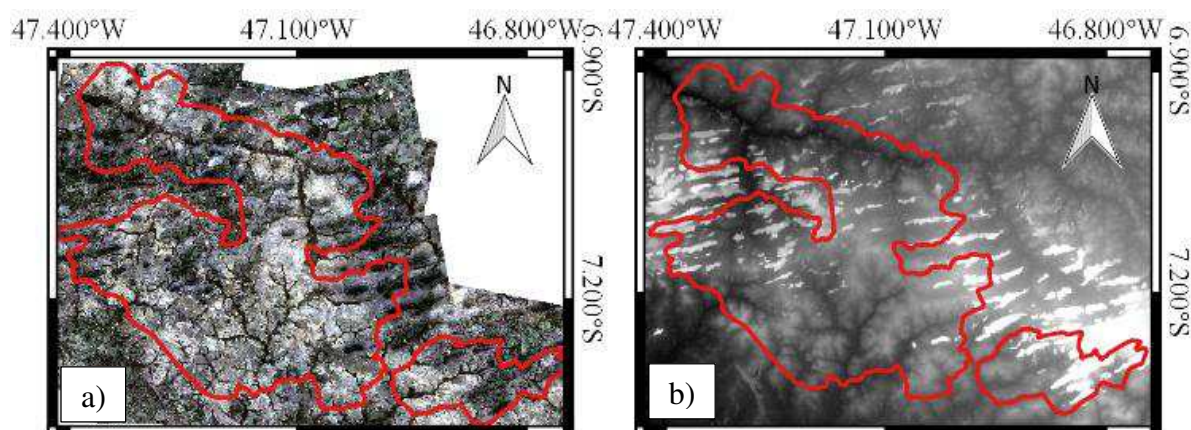
**Figura 9.** Localização do Parque Nacional da Chapada das Mesas - PNCM, no sul do Estado do Maranhão, Brasil. Intervalos de Altitude extraídos do Alos World 3D.

## 2.2 DADOS DE ENTRADA

Foram utilizadas imagens de alta resolução espacial da constelação Dove PlanetScope, operada pela empresa Planet, adquiridas nas estações seca (2017-08-27) e final da estação chuvosa (2018-05-06) por apresentar ausência de nuvens, onde 29 cenas foram utilizadas para compor o mosaico da estação seca, e 35 da estação chuvosa. Mataveli et al. (2018) ressaltam a importância do uso de imagens das duas estações para evitar os efeitos da sazonalidade climática, característica típica do bioma Cerrado. Estas imagens são multiespectrais e já corrigidas para efeitos atmosféricos, com 4 bandas (*blue*, *red*, *green* e *near-infrared*) e 3.5 metros de resolução espacial. Além das imagens PlanetScope, o *stack*

utilizado para classificação da vegetação foi composto pelo modelo digital de elevação – MDE - Alos World 3D (AW3D30) com resolução de 30 metros (TADONO et al., 2016), reamostrado para a mesma resolução da imagem PlanetScope (Figura 10).

Mataveli et al. (2018) ressaltam a importância do uso de imagens das duas estações para evitar os efeitos da sazonalidade climática, característica típica do bioma Cerrado.



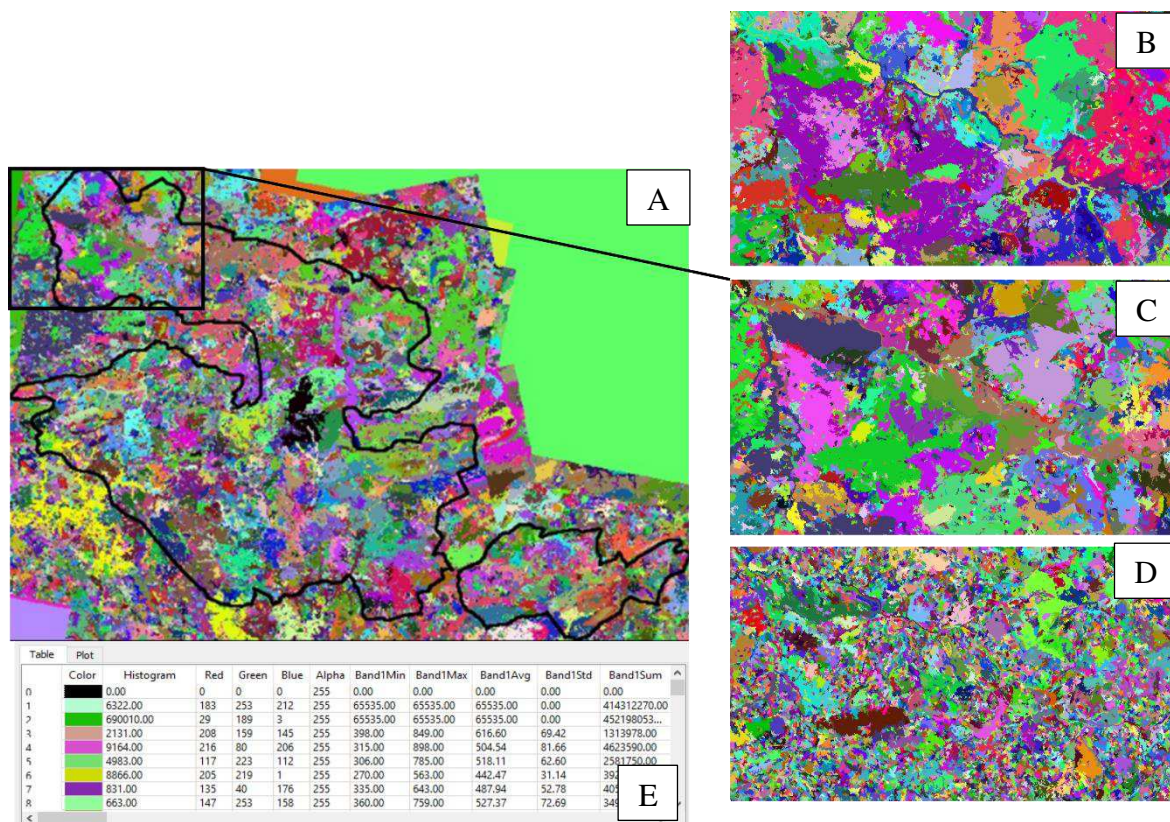
**Figura 10.** a) Mosaico das imagens PlanetScope, fusão das bandas 1-2-3-4; e b) Modelo Digital de Elevação Alos 3D - AW3D30, para área do PNCM.

### 2.3 SEGMENTAÇÃO

O algoritmo usado para a segmentação da imagem foi o de algoritmo de Shepherd, implementado na biblioteca RSGISLib (CLEWLEY et al., 2014). Os parâmetros utilizados para executar o algoritmo foram: número de clusters  $k = 10$ , número mínimo de pixels por objeto = 600, e o limiar de distância (*distance threshold*) foi desabilitado, usando os valores padrões para os demais parâmetros. Para determinar os valores ideais dos parâmetros, diversos testes foram realizados até obter os agrupamentos mais homogêneos (Figura 11).

A imagem utilizada para a segmentação foi composta por 8 bandas (4 da estação seca e 4 da estação chuvosa) para agregar o máximo de variações espectrais para a região classificada. O produto final dessa etapa foi uma imagem segmentada com estatísticas (mínimo, máximo, soma, média e desvio padrão) de todas as bandas das imagens associadas aos objetos (Figura 11). Extraíram-se também, para os objetos as estatísticas referentes ao MDE.












**Figura 11.** Imagem segmentada, com os limiares  $k=10$  e objetos=600 (A e B). Exemplos de testes de segmentação (B, C e D), com limiares  $k=5$  e objetos=600 (B), e  $k=15$  e objetos=600 (D). Tabela de atributos com as estatísticas de cada banda da imagem segmentada (E).

## 2.4 CLASSIFICAÇÃO

No processo de classificação foram estabelecidas 5 classes de vegetação: cerrado, cerrado denso, cerrado aberto, cerrado rupestre, mata de galeria (RIBEIRO; WALTER, 2008), além das classes de agricultura, pastagem e água. Devido às características observadas em campo e nas imagens, a classe cerrado foi dividida em “cerrado terras baixas” e “cerrado terras altas”, diferenciados pelo raster de elevação. As classes foram definidas segundo Ribeiro e Walter (2008) (Tabela 4).



Fisionomias	Características	Imagem PlanetScope	Imagem de Campo
Cerradão terras altas	onde ocorre espécies tanto da mata quanto do Cerrado sensu stricto, apresentando cobertura arbórea de 50 a 90% e árvores com altura média variando de 8 a 15 m, localizada em topo de morros.		
Cerradão terras baixas	onde ocorre espécies tanto da mata quanto do Cerrado sensu stricto, caracterizado por apresentar cobertura arbórea de 50 a 90% e árvores com altura média variando de 8 a 15 m		
Cerrado denso	pela presença de vegetação arbustiva e subarbustiva aberta, predominando arbóreo-arbustiva, com dossel variando de 50 a 70%, altura média da vegetação de 5 a 8 metros		
Cerrado aberto	pela presença de vegetação arbustiva e subarbustiva aberta, predominando herbácea-arbustiva, com dossel variando de 20 a 50%, altura média da vegetação de 3 a 6 metros		
Cerrado rupestre	com vegetação arbóreo-arbustiva, ocorrendo em ambientes rochosos, com cobertura arbórea variando entre 5% e 20% e altura média de 2 a 4 metros		



Mata de  
galeria

que apresenta vegetação associada a cursos d'água, perenifolia, com cobertura arbórea de 70 a 95% e árvores de altura média variando entre 20 a 30 metros



**Tabela 3.** Descrição das fisionomias mapeadas na área do PNCM para o ano de 2018.

As amostras de treinamento das classes de fitofisionomias foram selecionadas por fotos e coordenadas de campo, coletadas com GPSMAP 76CSx da Garmin, (Apêndice B) e por interpretação da imagem de alta resolução PlanetScope (Figura 10). Para cada classe obteve-se um arquivo *shapefile* de treinamento, gerando um total de 791 amostras, distribuídas da seguinte forma: Água (n=179); Agricultura (n=50); Pastagem (n=45); Cerradão Terras Baixas (n=70); Cerradão Terras Altas (n=94); Cerrado Denso (n=65); Cerrado Aberto (n=75); Cerrado Rupestre (n=65); Mata de Galeria (n=148). Essas amostras foram divididas aleatoriamente em amostras de treinamento e validação, na proporção de 70%-30%. A coleta das amostras foi realizada utilizando o software QGIS 2.18.19.

A classificação da vegetação foi realizada usando o algoritmo de *machine learning Random Forests*, da biblioteca Scikit-learn, em conjunto com a biblioteca RSGISLib (CLEWLEY et al., 2014), ambos executados através de linguagem de programação em Python.

Todas as estatísticas das oito bandas espectrais e do MDE foram utilizadas como variáveis de entrada para a classificação. Para obter os melhores parâmetros para o classificador *Random Forest* foi executado uma otimização do tipo *GridSearch*, resultando no valor de ideal de 500 para o número de estimadores (árvores). O produto final dessa etapa foi uma imagem classificada com as 9 classes das fitofisionomias do PNCM.

## 2.5 VALIDAÇÃO

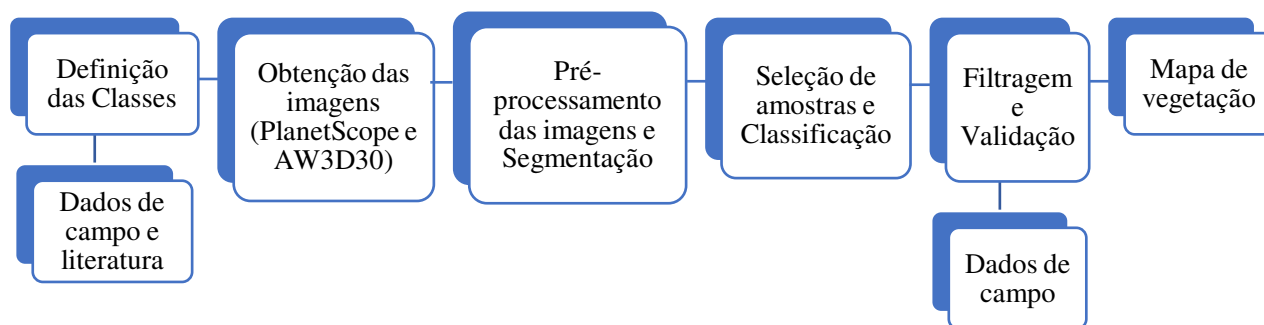
A validação da classificação foi realizada na linguagem R (R CORE TEAM, 2018) usando o pacote *rsacc - Accuracy Assessment for Remote Sensing Classification* (<https://github.com/EcoDyn/rsacc/>). Antes de executar a validação no R, a imagem produto

da classificação passou por filtragem (*Majority Filter*) no QGIS, afim de eliminar *pixels* isolados e classificados incorretamente.

Para avaliação da qualidade da classificação foram utilizados o índice *Kappa* e a precisão global, calculados a partir da matriz de confusão, além dos coeficientes de discordância quantitativa e de alocação propostos por Pontius Jr e Millones (2011). A precisão global é a divisão do somatório dos pixels classificados corretos pelo total de pixels da classe (BRAGA, 2015), enquanto os coeficientes propostos por Pontius Jr e Millones (2011) levam em consideração a proporção das classes reais.

A matriz de confusão consiste na análise da acurácia da classificação a partir do cruzamento de amostras de cada classe mapeada com a classe real encontrada em campo, mostrando a quantidade de pixels que foram classificadas em cada cruzamento, sendo as linhas representando a classificação e as colunas o real.

A Figura 12 identifica todos os passos metodológicos utilizados.



**Figura 12.** Fluxograma do processo de classificação das fitofisionomias do PNCM.

## 2.6 RELAÇÃO DO REGIME DE QUEIMADAS E VEGETAÇÃO

As áreas queimadas foram relacionadas com as fitofisionomias mapeadas, através da interpolação do mapa de vegetação e do mapa de frequência de queimadas, identificando possíveis padrões de ocorrência de queimadas em relação as fitofisionomias. Foram utilizados os *softwares* QGIS e R (CRAN) para a interpolação dos dados de vegetação e queimadas e realização de análises de áreas queimadas por classe de vegetação.

O produto da classificação da vegetação do PNCM foi cruzado com o produto de frequência de queimada, abordado no capítulo 1, com o objetivo de analisar as principais classes de vegetação atingidas pela ocorrência de queimada no PNCM. Analisando:

Área total de cada classe de vegetação ( $AT_i$ ): soma da área total para cada classe de vegetação, em  $\text{km}^2$  e %, sendo a porcentagem calculada a partir da área total do PNCM ( $AT_{\text{pncm}}$ );

A área da classe queimada (observada) ( $AQ_i$ ): soma da área de pixels queimada para cada classe de vegetação ao longo do período analisado, em  $\text{km}^2$  e %;

A área queimada esperada ( $AQ_e$ ): sendo determinada pela equação 1:

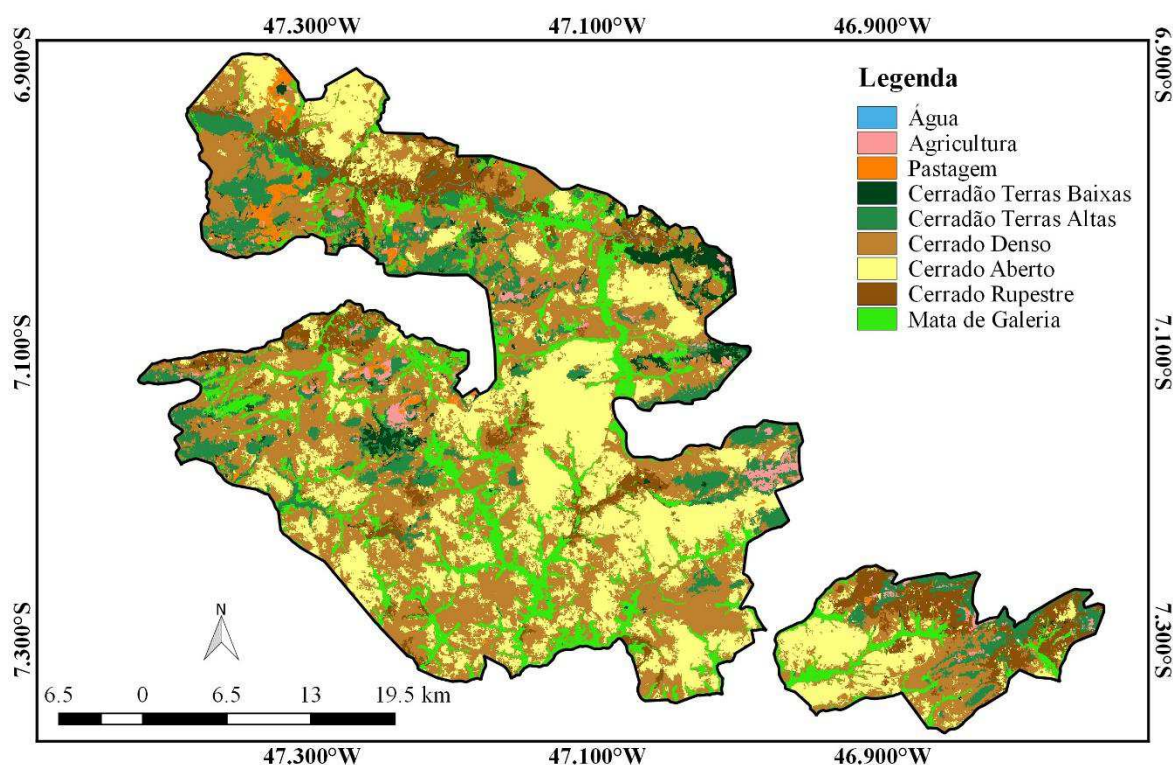
$$AQ_e = AQ_i \times \left( \frac{AT_i}{AT_{\text{pncm}}} \right) \quad \text{Equação 1}$$

Probabilidade de queima:  $AQ_e - AQ_i$ , onde valores positivos expressão que o tipo de vegetação queimou menos que o esperado, por isso tendem a queimar menos, e valores negativos demonstram que a vegetação queimou mais que o esperado, por isso tendem a queimar mais.

### 3 RESULTADOS

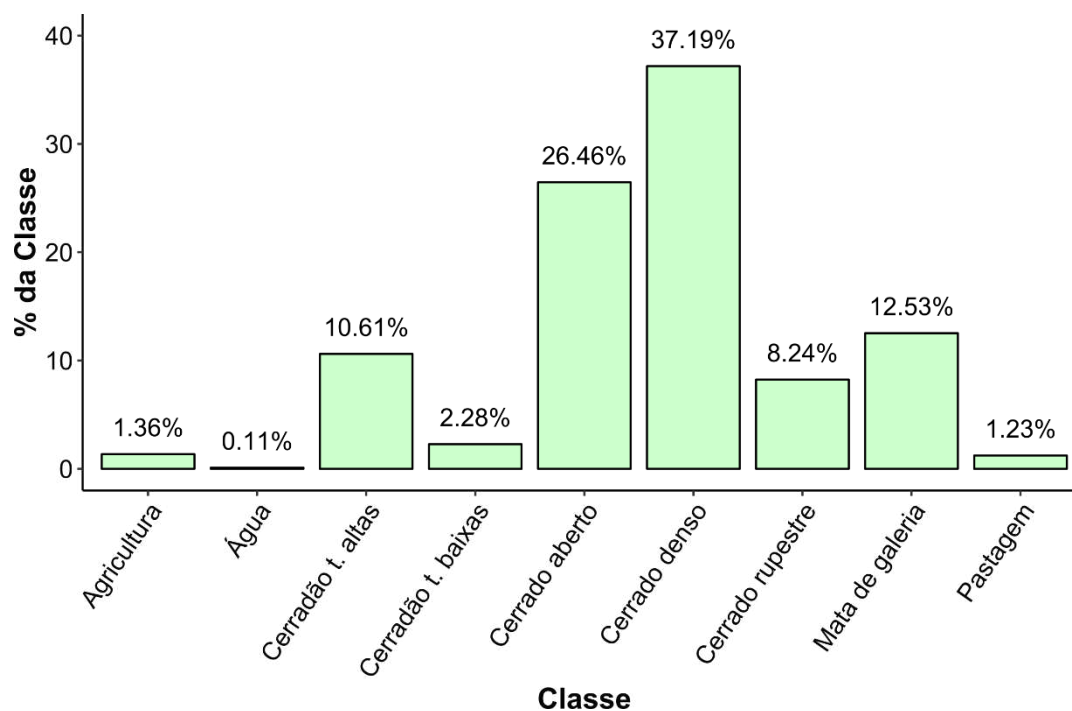
#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO DO PNCM

O produto final (Figura 13) da classificação das fisionomias vegetais do PNCM, recortado a partir dos limites do parque demonstra o mosaico de vegetação que ocorre na região do parque. Sendo encontrada por toda sua extensão áreas de mata de galeria, destacando o potencial hídrico do parque. Na parte central e sul do segmento maior do parque e na parte oeste no segmento menor, observamos a concentração da fisionomia cerrado aberto. Enquanto áreas de cerrado rupestres se apresentam próximos de cursos d'água e em áreas de grande elevação (morros e chapadas) que não são cobertas por vegetação do tipo cerrado terras altas. Sendo a maior parte do parque ocupada por vegetação cerrado denso.



**Figura 13.** Mapa temático da classificação das fisionomias do PNCM.

Com destaque temos as classes de Cerrado Denso (37.19%, 595.15 km<sup>2</sup>), Cerrado Aberto (26.46%, 423.44 km<sup>2</sup>) e Mata de Galeria (12.53%, 200.58 km<sup>2</sup>). Em seguida temos Cerradão Terras Altas com 10.61% (169.83 km<sup>2</sup>), Cerrado Rupestre com 8,24% (137.88 km<sup>2</sup>), Cerradão Terras Baixas 2.28% (36.42 km<sup>2</sup>), Agricultura com 1.36% (21.69 km<sup>2</sup>), Pastagem com 1.23% (19.73 km<sup>2</sup>) e Água com 0.11% (1.75 km<sup>2</sup>) (Figura 14).



**Figura 14.** Porcentagem da área de cada classe mapeada em relação a área do PNCM.

No presente estudo as classes que apresentaram maior confusão foram Agricultura, seguida pelas classes cerrado terras baixas e pastagem, que tiveram número elevado de pixels classificados erroneamente (Figura 15).

	Ág.	Agr.	Past.	C. t. baixas	C. t. altas	C. denso	C. aberto	C. rup.	Mata de g.
Ág.	18	0	0	0	0	0	0	0	0
Agr.	0	7918	5087	7002	8027	0	0	0	0
Past.	0	1154	5091	0	0	0	0	0	0
C. t. baixas	0	2181	981	4414	1378	0	0	0	218
C. t. altas	0	1361	174	9015	36844	685	0	0	5059
C. denso	0	800	1387	0	187	44172	6873	3288	154
C. aberto	0	0	0	0	0	4561	62251	2222	281
C. rup.	1417	739	0	0	3	0	0	13027	479
Mata de g.	0	1020	268	8972	7577	0	1130	3271	44282

**Figura 15.** Matriz de confusão resultante do processo de validação da classificação. (Classes: Água = Ág.; Agricultura = Agr.; Pastagem = Past.; Cerradão terras baixas = C.t.baixas; Cerradão terras altas = C.t.altas; Cerrado Denso = C.denso; Cerrado aberto = C.aberto; Cerrado Rupestre = C.rup.; Mata de Galeria = Mata de g.).

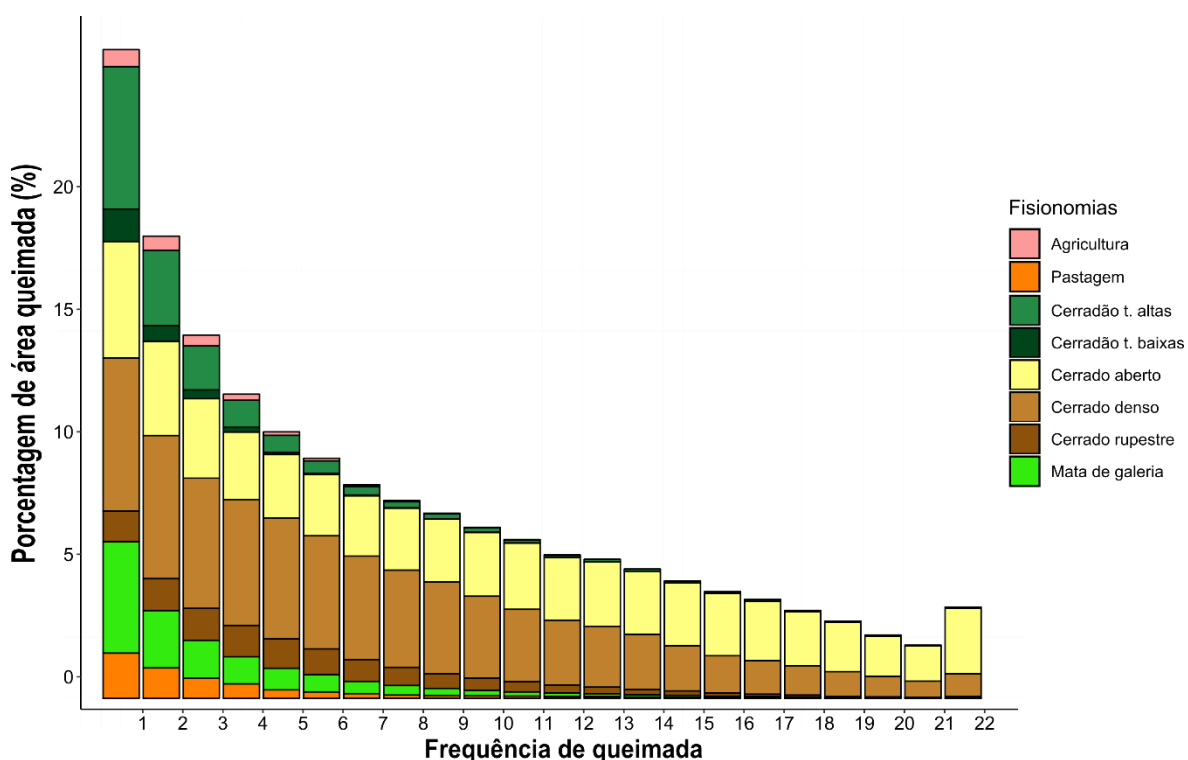
A classe água apresentou um alto nível de erro, sendo pouco identificada e, ocorrendo confusão com a classe cerrado rupestre, dadas as características espectrais da rocha exposta altamente presente nas duas classes. Contudo o único curso d'água visualizado através da

imagem foi o Rio Farinha, portanto este foi mapeado manualmente para a composição do mapa final da classificação.

Os valores de precisão global e índice *Kappa* foram de 71,49% e 65,99%, respectivamente. Já o coeficiente de discordância de quantidade de 16,59% e coeficiente de discordância de alocação de 11,92%.

### 3.2 RELAÇÃO VEGETAÇÃO E ÁREA QUEIMADA

Os dados de reconstrução do histórico de queimadas do PNCM, entre o ano de 1990 e 2017, foram interpolados com as fitofisionomias mapeadas, demonstraram que a maioria das fisionomias queimaram entre 1 a 6 vezes, tendo destaque as classes cerrado denso, cerrado aberto que queimaram com mais frequência durante todo o período analisado. A fisionomia florestal como cerrado terras altas e mata de galeria queimaram pelo menos de 1 a 9 (Figura 16).



**Figura 16.** Frequência de queimadas para o período de 1990-2017, para cada fitofisionomia do PNCM.

Considerando a proporção que cada classe de vegetação ocupa em relação a área do parque, realizamos uma estimativa de área queimada para cada tipo de vegetação, durante o período estudado. Tendo como propósito analisar se a quantidade de área queimada foi superior ou inferior a quantidade de área que se esperava queimar, levando em consideração

a área de ocupação de cada classe de vegetação do PNCM. Dessa forma observamos que todas as classes queimaram mais que o esperado, apresentando probabilidades elevadas de queimar (Tabela 4).

**Tabela 4.** Análise de áreas queimadas, acumuladas entre 1990-2017, por tipo de fisionomia vegetal do PNCM.

<b>Fisionomias</b>	<b>Área Total da Veget. (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>	<b>Área Queimada por Veget. (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área Queimada Esperada (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Probabilidade de Queima</b>
Cerradão t. altas	169,83	10,6	113,09	12,00	-101,09
Cerradão t. baixas	36,42	2,3	16,67	0,38	-16,30
Cerrado aberto	423,44	26,5	422,45	111,77	-310,68
Cerrado denso	595,15	37,2	575,86	214,14	-361,72
Cerrado rupestre	131,88	8,2	124,73	10,28	-114,45
Mata de galeria	19,73	12,5	99,28	12,44	-86,84

Considerando as classes de vegetação, observados que apenas áreas de cerrado rupestre, mata de galeria e cerradão terras baixas tiveram porcentagens maiores de áreas que não queimaram entre 1990 e 2017 em relação a porcentagem de áreas que queimaram (Tabela 5). Do total de área queimada acumulada 40% foram área de cerrado denso, seguido por cerrado aberto (34.4%), cerrado terras altas (8.8%) e mata de galeria (8.8%).

**Tabela 5.** Análise de área queimada e área não queimada, acumuladas entre 1990-2017, por tipo de fisionomia vegetal do PNCM.

<b>Classe de Vegetação</b>	<b>Área Queimada por Vegetação (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>	<b>Área Não-Queimada por Vegetação (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Cerradão t. altas	113,09	66,6	56,74	33,4
Cerradão t. baixas	16,67	45,8	19,75	54,2
Cerrado aberto	422,45	99,8	1,00	0,2
Cerrado denso	575,86	96,8	19,29	3,2
Cerrado rupestre	124,73	94,6	7,16	5,4
Mata de galeria	99,28	56,4	101,30	50,5

#### 4. DISCUSSÃO

Muitos estudos de classificação em regiões do Bioma Cerrado indicam dificuldades em mensurar classes como mata de galeria, cerrado denso, aberto e áreas antropizadas (agricultura e pastagem) (SANO et al., 2010; DI GIROLAMO NETO et al., 2017), muitas vezes devido à resolução espacial das imagens trabalhadas e métodos de classificação utilizados. Por exemplo, os autores Di Girolamo Neto et al. (2017) encontraram problemas de confusão entre classes que exibem um gradiente de estrutura da vegetação entre elas, destacando que muitas vezes algumas classes devem ser unidas uma vez que a resposta espectral é parecida, dificultando assim a ação do classificador.

Outros dados auxiliares para a classificação como: NDVIs, máscara de hidrografia e MNDWI, foram utilizados em estudos em regiões de fitofisionomias do Cerrado realizados por Fernandes et al. (2012), Nunes e Roing (2015) e Ribeiro et al. (2016), demonstrando outras possibilidades futuras para agregar informações adicionais para melhorar os resultados das classificações.

Os cursos d'água do PNCM visíveis na imagem PlanetScope, como o rio Farinha, são caracterizados por possuírem diversas cachoeiras e rochas. Esses fatores nos levam a acreditar que a semelhança da resposta espectral (DI GIROLAMO NETO et al., 2017) dessas classes, seja o motivo de tal conflito.

Nossos resultados encontraram um alto grau de precisão sendo 71,49% para 9 classes, utilizando imagem de com 3,5 metros de resolução espacial. Para um número menor de classes (5) e utilizando imagens de 30 metros de resolução, Di Girolamo Neto et al. (2017) encontram o valor de 84,4% de precisão para a mesma área de estudo. Contudo, os autores destacam a importância de inserir as classes florestais como a Mata de Galeria, que foi destacada na etapa de segmentação e diferem das formações savânicas (FERNANDES et al., 2012; RIBEIRO; WALTER, 2008; SANO et al., 2010).

A partir da análise da matriz de confusão, observou-se a boa identificação da classe Cerrado de terras altas, destacando assim o uso da banda de elevação (CLEWLEY et al., 2014). Os valores de precisão global e índice *Kappa* foram considerados muito bons de acordo com tabela proposta por Landis e Koch (1997), levando em consideração o número de classes e a resolução espacial das imagens utilizadas. Devido a heterogeneidade da área do PNCM, a classificação a partir de imagem apresentou dificuldades, o que é comum no Bioma Cerrado (SANO et al., 2010). Contudo com o uso do método de classificação OBIA



e das ferramentas e softwares acessíveis utilizados no presente estudo, os resultados para o desenvolvimento desse tipo de trabalho mostraram-se promissores.

Analisando o padrão de frequência de fogo no PNCM, observamos que a parte central e sul do segmento maior do parque e na região oeste do segmento menor apresentaram maior frequência de queimadas. Coincidindo assim com áreas ocupadas por cerrado aberto e cerrado denso, com baixa densidade de vegetação lenhosa. Assim como encontrado por Alvarado et al. (2017), onde áreas que apresentaram menor frequência foram as de maior densidade de vegetação lenhosa.

A fisionomia de cerrado denso e cerrado aberto, foram as mais afetadas por queimadas durante o período de 1990 até 2017 devido suas características naturais que as tornam mais propensas ao fogo. As zonas de monitoramento de queimadas do PNCM consideradas de maior risco (ALMEIDA, 2015) são zonas ocupadas por cerrado denso e cerrado aberto, sendo áreas com maior frequência de queimadas. O monitoramento e manejo de fogo dessas áreas são de grande relevância, uma vez que as espécies vegetais que ocorrem nesses tipos de fisionomias necessitam de ocorrência de fogo para o desenvolvimento dos seus processos ecológicos. Assim como nas áreas onde os tipos de vegetações são mais sensíveis e pouco resilientes ao fogo como o cerrado terras altas e mata de galeria que queimaram pelo menos de 1 a 9.

Portanto, mesmo sendo áreas de risco, medidas de supressão podem impactar na biodiversidade dessas áreas, assim como em toda a área do parque, onde regiões que não ocorrem queimas frequentes possuem vegetações susceptíveis ao fogo, como as matas de galerias, necessitam também de atenção.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da imagem de alta resolução associada a dados de elevação aplicados para a classificação da vegetação do PNCM obteve bons resultados. Assim como o uso das ferramentas de código aberto, RSGISLib, Python, R e QGIS que permitiu o desenvolvimento da metodologia OBIA com elevado desempenho, e sem custo, com valores muito bons de precisão global (71,49%) e índice *Kappa* (65,99%).

Os resultados da classificação podem ser melhorados agregando mais dados no processo de classificação, diminuindo a ocorrência de conflitos entre classes que possuem respostas espectrais parecidas.

As classes de vegetação que apresentaram maior frequência de queimadas foram cerrado denso e cerrado aberto. Sendo recomendado estudos através de índices de susceptibilidade e acúmulo de biomassa, que possibilitem as ações de manejo e conservação desses ambientes.

## REFERÊNCIAS

ADDINK, E. A.; VAN COILLIE, F. M. B.; DE JONG, S. M. Introduction to the GEOBIA 2010 special issue: From pixels to geographic objects in remote sensing image analysis. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 15, p. 1–6, 2012.

ALVARADO, S. T.; FORNAZARI, T.; CÓSTOLA, A.; MORELLATO, L. P. C.; SILVA, T. 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.

ALVARADO, S.T.; SILVA, T.S.F.; ARCHIBALD, S. Management impacts on fire occurrence: A comparison of fire regimes of African and South American tropical savannas in different protected areas. **Journal of environmental management**, v. 218, p. 79-87, 2018.

ALMEIDA, C. **Relatório de Atividades Projeto Cerrado Jalapão no Parque Nacional da Chapada das Mesas em 2014**. Carolina, 2015.

ANDERSEN, A.; COOK, G.; WILLIAMS, D. Savanna burning: the ecology and economy of fire in tropical savannas. **Austral Ecology**, v. 37, n. 6, p. 633-633, 2012.

ARAGÃO, L. E.; ANDERSON, L. O.; FONSECA, M. G.; ROSAN, T. M.; VEDOVATO, L. B.; WAGNER, F. H.; SILVA, C. V. J.; SILVA JUNIOR, C.H.L.; ARAI, E.; AGUIAR, A. P.; BARLOW, J.; BERENQUER, E.; DEETER, M. N.; DOMINGUES, L. G.; GATTI, L.; GLOOR, M.; MALHI, Y.; MARENGO, J. A.; MILLER, J. B.; PHILLIPS, O. L.; SAATCHI, S. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 536, 2018.

ARAÚJO, L.P.; LOPES, J.R.; CARVALHO FILHO, R. Aspectos socioeconômicos e de evolução do desmatamento na Amazônia maranhense. In: MARTINS, M. B.; OLIVEIRA, T. G. (Org.). **Amazônia Maranhense: diversidade e conservação**. Belém: MPEG, p. 35-46, 2011.

ARAÚJO, M. L. S., SANO, E. E., BOLFE, É. L., SANTOS, J. R. N., DOS SANTOS, J. S., & SILVA, F. B. Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). *Land Use Policy*, 80, 57-67, 2019.

ARAÚJO, L. S.; SILVA, G. B.; TORRESAN, F.; VICTORIA, D. D.; VICENTE, L.; BOLFE, E.; MANZATTO, C. **Conservação da biodiversidade do estado do Maranhão: cenário atual em dados geoespaciais**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente – Documentos (INFOTECA-E), 2016.

ARCHIBALD, S. Managing the human component of fire regimes: lessons from Africa. **Phil. Trans. R. Soc. B**, v. 371, n. 1696, p. 20150346, 2016.

BATISTA, E.K.L.; RUSSELL-SMITH, J.; FRANÇA, H.; FIGUEIRA, J.E.C. An evaluation of contemporary savanna fire regimes in the Canastra National Park, Brazil: Outcomes of fire suppression policies. **Journal of environmental management**, v. 205, p. 40-49, 2018

BRAGA, J.V. **Mapeamento de áreas queimadas usando séries temporais normalizadas derivadas de dados NBR-MODIS durante o período 2001-2014 no Parque Nacional das Emas**. 2015. 66 f. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2015.

BRASIL. **Decreto não numerado, de 12 de dezembro de 2005**. Cria o Parque Nacional da Chapada das Mesas, nos Municípios de Carolina, Riachão e Estreito, no Estado do Maranhão, e dá outras providências. Planalto, Brasília, 2005. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2005/dnn/dnn10718.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/dnn/dnn10718.htm)>. Acesso em: 28 jun. 2017.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o artigo 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Planalto, Brasília, 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm)>. Acesso em: 28 jun. 2017.

BUNTING, P.; CLEWLEY, D.; LUCAS, R.M. e GILLINGHAM, S., The Remote Sensing and GIS Software Library (RSGISLib). **Computers and Geosciences**, v.62, pp.216-226, 2014.

CAMARA DOS DEPUTADOS. Projeto de Lei de 2010: Altera a categoria da unidade de conservação Parque Nacional da Chapada das Mesas para Reserva Extrativista Chapada das Mesas, nos Municípios de Carolina, Riachão e Estreito no Estado do Maranhão. 2010. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/741736.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2018.

CAMPAROTTO, L.B.; BLAIN, G.C.; GIAROLLA, A.; ADAMI, M.; CAMARGO, M.B. Validação de dados termopluviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, 2013.

CONCEIÇÃO, L.A.B. da S. **Diagnóstico ambiental através do uso de técnicas de sensoriamento remoto como apoio para o planejamento de unidades administrativas: o caso de Osório, RS**. 2004. 82 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2004.

COSTA, F.B. **Hepáticas (Marchantiophyta) do Parque Nacional Chapada Das Mesas, Maranhão, Brasil**. 2017. 100 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual do Maranhão, Caxias, MA, 2017.

COUTINHO, L.M. Ecological effects of fire in Brazilian cerrado. In: Ecology of tropical savannas. **Springer**, Berlin, Heidelberg, pp. 273-291, 1982.

CLEWLEY, D.; BUNTING, P.; SHEPHERD, J.; GILLINGHAM, S.; FLOOD, N.; DYMOND, J.; LUCAS, R.; ARMSTON, J.; MOGHADDAM, M. A python-based open source system for geographic object-based image analysis (GEOBIA) utilizing raster attribute tables. **Remote Sensing**, v. 6, n. 7, p. 6111-6135, 2014.

DALDEGAN, G.A.; CARVALHO, O.A. de; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A. T.; RIBEIRO, F.D.F.; MCMANUS, C. Spatial patterns of fire recurrence using remote sensing

and GIS in the Brazilian savanna: Serra do Tombador Nature Reserve, Brazil. **Remote Sensing**, v. 6, n. 10, p. 9873-9894, 2014.

DI GIROLAMO NETO, C.; FONSECA, L.M.G.; VALERIANO, D.M.; NEVES, A.K.; KÖRTING, T.S. Desafios na classificação automática de fitofisionomias do Cerrado brasileiro com base em mapas de referência na escala 1:250.000. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 18, 2017, Santos, SP. **Anais...**, p. 6647-6654, 2017.

DRONOVA, I.; GONG, P.; CLINTON, N.E.; WANG, L.; FU, W.; QI, S.; LIU, Y. Landscape analysis of wetland plant functional types: The effects of image segmentation scale, vegetation classes and classification methods. **Remote Sensing of Environment**, v. 127, p.357-369, 2012.

DURIGAN, G.; RATTER, J.A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53 n. 1, 11-15, 2016.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 3, n. 2, p. 201-341, 1972.

FERNANDES, R.; NUNES, G. M.; SILVA, T.S.F. Classificação orientada a objetos aplicada na caracterização da cobertura da terra no Araguaia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1251-1260, 2012.

FERREIRA, N. C.; FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R. Assessing the response of the MODIS vegetation indices to landscape disturbance in the forested areas of the legal Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 3, p. 745-759, 2010.

FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1837-1860, 2004.

FIDELIS, A.; ALVARADO, S.T.; BARRADAS, A.C.S.; PIVELLO, V.R. The Year 2017: Megafires and Management in the Cerrado. **Fire**, v. 1, n. 3, p. 49, 2018.

FIDELIS, A.; PIVELLO, V.R. Deve-se usar o fogo como instrumento de manejo no Cerrado e Campos Sulinos? **Biodiversidade brasileira**, n. 2, p. 12-25, 2011.

FIEDLER, N.C.; MERLO, D.A.; MEDEIROS, M.B.de. Ocorrência de incêndios florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros, Goiás. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 153-161, 2006.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FRANÇA, D.A.; FERREIRA, N.J. Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2005, Goiânia, GO, **Anais...**, p. 3017-3023, 2005.

FRANKE, J.; BARRADAS, A.C.S.; BORGES, M.A.; COSTA, M.M.; DIAS, P.A.; HOFFMANN, A.A.; OROZCO FILHO, J.C.; MELCHIORI, A.E.; SIEGERT, F. Fuel load mapping in the Brazilian Cerrado in support of integrated fire management. **Remote sensing of environment**, v. 217, p. 221-232, 2018.

GERUDE, R.G. Focos de queimadas em áreas protegidas do Maranhão entre 2008 e 2012. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Foz do Iguaçu: INPE, **Anais...**, p. 7912-7919, 2013.

GOVERNO, DO ESTADO DO MARANHÃO. **Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Estado do Maranhão**. Estado do Maranhão, Casa Civil Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Naturais Grupo Permanente de Trabalho Interinstitucional, São Luís. 2011.

GUEDES, J.; SILVA, S.M.P. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação: princípios físicos, sensores e métodos. **Acta Geográfica**, v. 12, n. 29, p.127-144, 2018.

HUDAK, A.T.; BROCKETT, B.H. Mapping fire scars in a southern African savannah using Landsat imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 16, p. 3231–3243, 2004.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapas, Estado do Maranhão – Geologia**. 2011. Disponível em: < <https://mapas.ibge.gov.br/tematicos/geologia>>. Acesso em: 27 de mar de 2018.

ICMBio. **Nota Técnica 001/2016-PNCM**. Dias, P.A. (Elab.). Carolina-MA, 2016. Disponível em: < <https://d1ij67glom3ric.cloudfront.net/attachments/9f5c2d2a60e2d832acdf795b0c51aabc5ab248e6/store/ba52a9053567b94f87754231970040d3b790e1f0cdb5de5e5f498109fe0/Relatorio%2BM%25C3%258EF%2BParque%2BNacional%2BChapada%2Bdas%2BMesas%2B-%2BProjeto%2BCerrado-Jalap%25C3%25A3o%2B%25282015%2529.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

INPE, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios. Disponível em: <<http://www.inpe.br/queimadas>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

LANDIS, J. RICHARD; KOCH, GARY G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, p. 159-174, 1977.

LI, M.; MA, L.; BLASCHKE, T.; CHENG, L.; TIEDE, D. A systematic comparison of different object-based classification techniques using high spatial resolution imagery in agricultural environments. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 49, p.87-98, 2016.

LIMA, L.P.; TCHAICKA, L; AVELAR, J.J.C; CUNHA, A.N.C. **Plano Operativo de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais do Parque Nacional da Chapada das Mesas**. Ministério do Meio Ambiente-MMA. 18p. 2007.

LIMA, R.N.; CÂMARA, R.J.B.; PÃOZINHO, F.C. O geoturismo como segmento diferencial para o polo turístico da Chapada das Mesas: estudo de viabilidade de práticas geoturísticas no Complexo de Pedra Caída em Carolina (MA). **Revista Brasileira de Ecoturismo**, v.6, n.4, p.103-120, 2013.

LIU, W.T.H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 908p. 2006.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002; Decreto nº 5.746, de 5 de abril de 2006. Plano Estratégico Nacional de Áreas Protegidas: Decreto nº 5.758, de 13 de abril de 2006**. Brasília: MMA, 2011.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do uso e cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013**. Brasília: MMA, 2015.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Departamento de Áreas Protegidas - Cadastro Nacional de Unidades de Conservação**. Disponível em: <<http://sistemas.mma.gov.br/cnuc/index.php?ido=relatorioparametrizado.exibeRelatorio&relatorioPadrao=true&idUc=272>>. Acesso em: 27 jun. 2017.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação Brasileiras**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs>. Acesso em: 17 de fev. 2019.

MAPBIOMAS. **Projeto MapBiomas – Coleção 3.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. Disponível em: <<http://mapbiomas.org>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

MARQUES, A.R. **Saberes geográficos integrados aos estudos territoriais sob a ótica da implantação do Parque Nacional da Chapada das Mesas, sertão Carolina/MA**. 2012. 199 f. Tese (Doutorado), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2012.

MATAVELI, G. A. V.; SILVA, M. E. S.; PEREIRA, G.; KAWAKUBO, F. S.; BERTANI, G.; OLIVEIRA, B. S. Análise das queimadas e da precipitação em áreas de Cerrado do Maranhão a partir de dados do sensor MODIS e do satélite TRMM para o período 2002-2015. **Boletim Paulista de Geografia**, n. 96, p. 11-30, 2017.

MATAVELI, G. A. V.; SILVA, M. E. S.; PEREIRA, G.; CARDOZO, F. da S.; KAWAKUBO, F. S.; BERTANI, G.; COSTA, J.C.; RAMOS, R. de C.; SILVA, V. V. da. Satellite observations for describing fire patterns and climate-related fire drivers in the Brazilian savannas. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 18, n. 1, p. 125, 2018.

MATRICARDI, E.A.T.; AGUIAR, A.S.; MIGUEL, E.P.; ANGELO, H.; GASPAR, R. de O. Modelagem do desmatamento na região do MATOPIBA. **Nativa**, v. 6, n. 2, p. 198-206, 2018.

MORAES, R. C.; LIMA, L. P. Utilização de SIG como ferramenta na gestão do Parque Nacional Chapada das Mesas (Carolina/MA). In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...** Florianópolis, Brasil, INPE, p. 4057-4064, 2007.

MOURA, L.C. **Implicações e aprendizados do manejo integrado do fogo no Cerrado: estudo de caso no Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM)**. 2018. 153 f. Tese (Doutorado), Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2018.

MYERS, N.; MITTERMAYER, R. A.; MITTERMAYER, C. G.; FONSECA, G. A.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853, 2000.

NOVO, E.M.L.M.; FERREIRA, L.G.; BARBOSA, C.; CARVALHO, C.; SANO, E.E.; SHIMABUKURO, Y.; HUETE, A.; POTTER, C.; ROBERTS, D.A.; HESS, L.L.; MELACK, J.J. Técnicas avançadas de sensoriamento remoto aplicadas ao estudo de mudanças climáticas e ao funcionamento dos ecossistemas amazônicos. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 2, p. 259-272, 2005.

NUNES, J.F.; ROIG, H.L. Análise e mapeamento do uso e ocupação do solo da bacia do Alto do Descoberto, DF/GO, por meio de classificação automática baseada em regras e lógica nebulosa, **Revista Árvore**, v.39, n.1, pp.25-36, 2015.

OLIVEIRA, R.R.; OLIVEIRA, H.C.; PERALTA, D.F.; CONCEIÇÃO, G.M. Acrocarpic mosses (Bryophyta) of Chapada das Mesas National Park, Maranhão, Brazil. **CheckList**, v.14, n. 6, 2018a.

OLIVEIRA, R.R.; SILVA, G.S., SANTOS-SILVA, D.L.; MARTINS, P.R.P.; CONCEIÇÃO, G.M. Primeiro registro da planta carnívora *Drosera sessilifolia* A. St.-Hil.(Droseraceae) no Parque Nacional Chapada das Mesas, Maranhão, Brasil. **Biota Amazônia**, v. 8, n. 2, p. 60-62, 2018b.

PEREIRA, A.A. **Uso de geotecnologia para detecção e análise de queimadas e focos de calor em unidades de conservação no norte de Minas Gerais**. 2009. 91 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PEREIRA, A.A.; PEREIRA, J.A.A.; MORELLI, F.; BARROS, D.A. Validação de focos de calor utilizados no monitoramento orbital de queimadas por meio de imagens TM. **Cerne**, v. 18, n. 2, 2012.

PIVELLO, V. R.; BITENCOURT, M. D.; MANTOVANI, W.; MESQUITA JR, H. D.; BATALHA, M. A.; SHIDA, C. Proposta de zoneamento ecológico para a reserva de cerrado Pé-de-Gigante (Santa Rita do Passa Quatro, SP). **Brazilian Journal of Ecology**, v. 2, n. 2, p. 108-118, 1998.



PONTIUS JR, R.G.; MILLONES, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v.32, p. 4407-4429, 2011.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICH, T.M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

RAMOS, R.; GARCÍA, M.; RODRÍGUEZ, D.; CHUVIECO, E. A data mining approach for global burned area mapping. **International journal of applied earth observation and geoinformation**, v. 73, p.39-51, 2018.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; ATKINSON, R.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation II: comparison of the woody vegetation of 98 areas. **Edinburgh Journal of Botany**, v. 53, n. 2, p. 153-180, 1996.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. **Fitofisionomias do bioma Cerrado**. In: Cerrado Ambiente e Flora (S.M. Sano, & S.P. de Almeida, eds.). EMBRAPA/CPAC, Planaltina, D.F., p.89-186, 1998.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In Cerrado: ecologia e flora (S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, eds.). Embrapa Cerrados, Planaltina. pp.151-212, 2008.

R CORE TEAM, R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL Available at: <http://www.R-project.org>, 2018.

ROCHA, D.M. **Entre os morros e as figuras: gravuras rupestres no Parque Nacional da Chapada das Mesas, Carolina, Maranhão**. 2016. 155 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Sergipe, Laranjeiras-SE, 2016.

RODRIGUES, A.de.A. **Cerrado National Parks beyond Biodiversity Conservation: Cultural Ecosystem Services and Environmental Risks**. 2017. 74 p. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2017.

RODRIGUES, T.C.; KUX, H.J. Uso do Software Livre Interimage para a Classificação Orientada a Objetos em Área de Expansão Urbana na Ilha do Maranhão. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 3, n. 67, p.493-506, 2015.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado. **Boletim de pesquisa e Desenvolvimento**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 60, 2008.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L. S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environment Monitoring and Assessment**, Dordrecht, v. 166, n. 1-4, p. 113-124, 2010.

SANTANA, R.C.B.; SILVA, H.P.; OLIVEIRA, R.M.C.M.; FRUTUOSO, M.N.M.A.; BRANDÃO, S.S.F. A Importância das Unidades de Conservação do Arquipélago de Fernando de Noronha. **HOLOS**, v.7, p.15-31, 2016.

SCHMIDT, I.B.; FONSECA, C.B.; FERREIRA, M.C.; SATO, M.N. Implementação do programa piloto de manejo integrado do fogo em três unidades de conservação do Cerrado. **Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p.55-70, 2016.

SCHMIDT, I.B.; MOURA, L.C.; FERREIRA, M.C.; ELOY, L.; SAMPAIO, A.B.; DIAS, P.A.; SAMPAIO, A.B.; DIAS, P.A.; BERLINCK, C. N. Fire management in the Brazilian savanna: First steps and the way forward. **Journal of Applied Ecology**, v. 55, n. 5, p. 2094-2101, 2018.

SFB, Serviço Florestal Brasileiro. Inventário Florestal Nacional: principais resultados: Distrito Federal. Brasília: SFB, Série Relatório Técnico, 2016.

SILVA, M.L.A.; ARAÚJO, M.D.F.V.; CONCEICAO, G.M. Identidade e modo de vida dos moradores do Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão, Brasil. **Biota Amazônia**, v. 7, n. 4, p. 41-47, 2017.

SILVEIRA, E.; BUENO, I.; ACERBI-JUNIOR, F.; MELLO, J.; SCOLFORO, J.; WULDER, M. Using Spatial Features to Reduce the Impact of Seasonality for Detecting Tropical Forest Changes from Landsat Time Series. **Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 808, 2018.

SPERA, S.A.; GALFORD, G.L.; COE, M.T.; MACEDO, M.N.; MUSTARD, J.F. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. **Global change biology**, v. 22, n. 10, p. 3405-3413, 2016.

SOARES-FILHO, B.; RAJÃO, R.; MACEDO, M.; CARNEIRO, A.; COSTA, W.; COE, M.; RODRIGUES, H.; ALENCAR, A. Cracking Brazil's forest code. **Science**, v. 344, n. 6182, p. 363-364, 2014.

SOUZA, F. T. de; KOERNER, T. C.; CHLAD, R. A data-based model for predicting wildfires in Chapada das Mesas National Park in the State of Maranhão. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 4, p. 3603-3611, 2015.

TADONO, T.; NAGAI, H.; ISHIDA, H.; ODA, F.; NAITO, S.; MINAKAWA, K. E IWAMOTO, H. Initial Validation of the 30 m-mesh Global Digital Surface Model Generated by ALOS PRISM. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLI-B4, p.157-162, 2016.

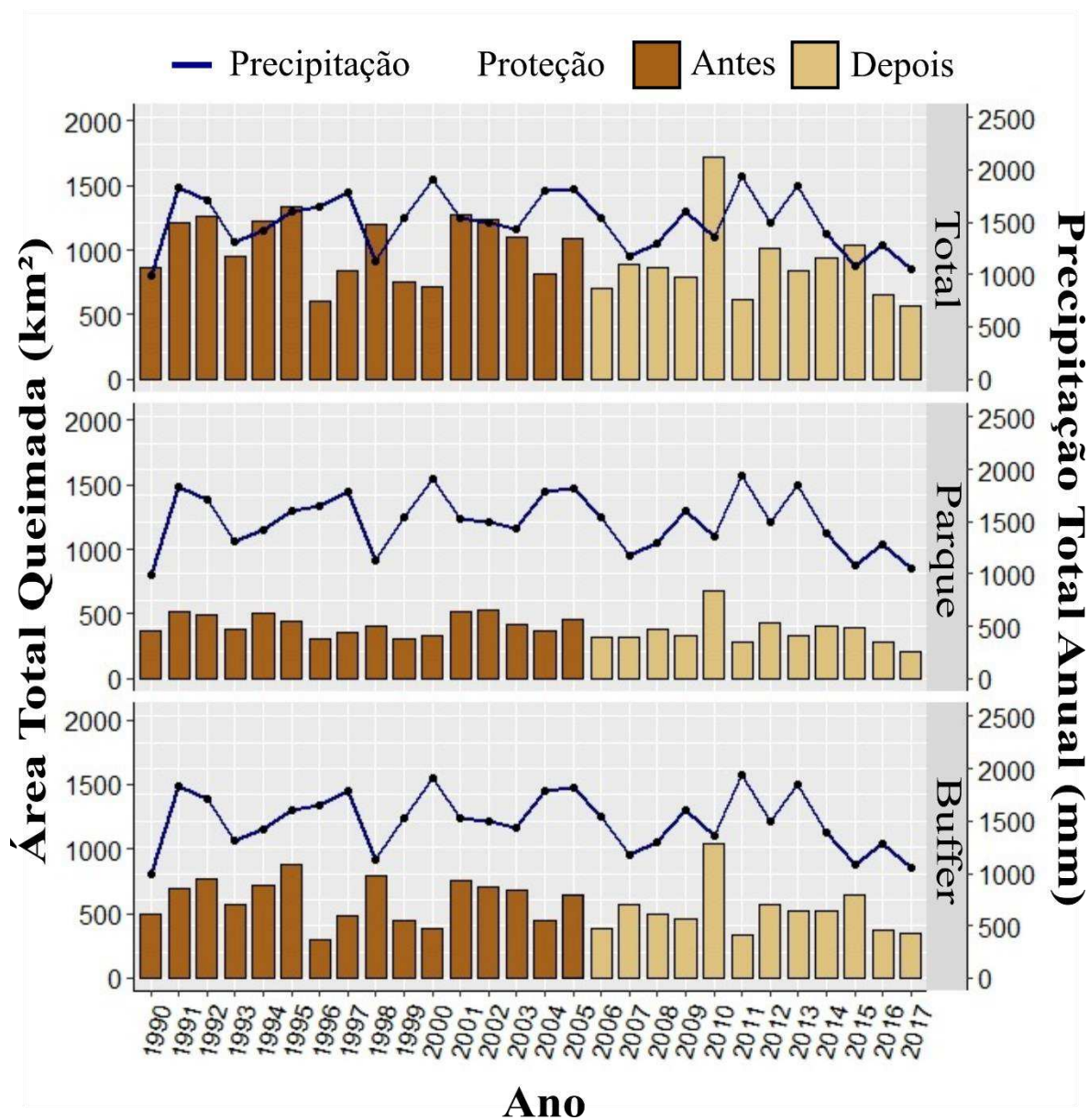
TSELA, P.; WESSELS, K.; BOTAI, J.; ARCHIBALD, S.; SWANEPOEL, D.; STEENKAMP, K.; FROST, P. Validation of the two standard MODIS satellite burned-area products and an empirically-derived merged product in South Africa. **Remote Sensing**, v. 6, n. 2, p. 1275-1293, 2014.

TOMZHINSKI, G. W.; COURA, P.H.F.; DO COUTO, M.F. Avaliação da detecção de focos de calor por sensoriamento remoto para o Parque Nacional do Itatiaia. **Biodiversidade Brasileira**, n. 2, p. 201-211, 2011.

TORRES, F.T.P.; LIMA, G.S.; COSTA, A.G.; FÉLIX, G.A.; SILVA JÚNIOR, M.R. Perfil dos Incêndios Florestais em Unidades de Conservação brasileiras no período de 2008 a 2012. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 531-542, 2017.

WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. 2006. 389 f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília - UNB, Brasília, DF, 2006.

## APÊNDICE



**Apêndice A.** Total anual de área queimada no período de 1990 até 2017, destacando o período antes (1990-2006) e após (2006-2017) a criação do parque na área total do estado, no PNCM e no buffer.





**Apêndice B.** Registro fotográfico das paisagens encontradas no PNCM e coleta de coordenadas, para compor a base de dados inicial para a classificação da vegetação e validação. Trabalho de campo realizado em abril e outubro de 2018.