



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS- CECEN
DEPARTAMENTO DE HISTÓRIA E GEOGRAFIA
CURSO DE GEOGRAFIA BACHARELADO

**ANÁLISE DA DINÂMICA DA VEGETAÇÃO DO CERRADO APÓS A OCORRÊNCIA
DE FOGO NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS POR MEIO DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

São Luís- MA

2020.

KLINSMANN AUGUSTO LAVRA BARROS

**ANÁLISE DA DINÂMICA DA VEGETAÇÃO DO CERRADO APÓS A OCORRÊNCIA
DE FOGO NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS POR MEIO DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada à direção do curso de Geografia, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Geografia pela Universidade Estadual do Maranhão.

Orientadora: Prof. Dra. Swanni Tatiana Alvarado Romero

São Luís- MA

2020.

Barros, Klinsmann Augusto Lavra.

Análise da dinâmica da vegetação do cerrado após ocorrência de fogo no Parque Nacional da Chapada das Mesas por meio de sensoriamento remoto / Klinsmann Augusto Lavra Barros. – São Luís, 2020.

60 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Geografia Bacharelado, Universidade Estadual do Maranhão, 2020.

Orientador: Profa. Dra. Swanni Tatiana Alvarado Romero.

1.Cerrado. 2.Fogo. 3.PNCM. 4. Sensoriamento remoto. 5. Fenologia vegetativa
I.Título

CDU: 581.5(213.54):528.8

Elaborado por Giselle Frazão Tavares- CRB 13/665

KLINSMANN AUGUSTO LAVRA BARROS

**ANÁLISE DA DINÂMICA DA VEGETAÇÃO DO CERRADO APÓS A OCORRÊNCIA
DE FOGO NO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS POR MEIO DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

Monografia apresentada à direção do curso de Geografia, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Geografia pela Universidade Estadual do Maranhão.

Orientadora: Prof. Dra. Swanni Tatiana Alvarado Romero

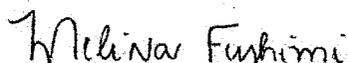
Aprovado em: 25/11/2020.

BANCA EXAMINADORA

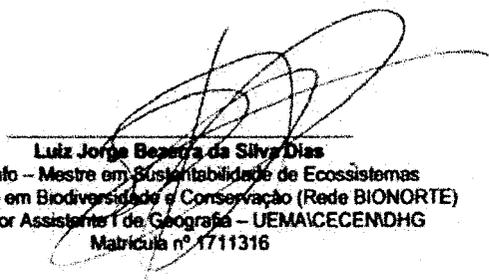


Prof. Dra. Swanni Tatiana Alvarado Romero (Orientadora)

Universidade Estadual do Maranhão- UEMA.



1º Avaliador.



Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias
Geógrafo – Mestre em Sustentabilidade de Ecossistemas
Doutorando em Biodiversidade e Conservação (Rede BIONORTE)
Professor Assistente I de Geografia – UEMA/CECENDHG
Matrícula nº 1711316

2º Avaliador.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida; pelo de ingresso na faculdade publica, por 4 anos de muito trabalho e pela capacitação para a realização desta pesquisa;

Aos meus pais, José Augusto e Loide Rocha que me fizeram um homem com valores que vou levar para o resto da vida e me apoiaram desde o início da minha vida escolar e mesmo em meio a tantas dificuldades sempre estiveram ao meu lado; assim como meus irmãos Louren Ster e Kevin Collier;

Ao Professor Claudio Eduardo de Castro, meu muito obrigado especial, pela primeira oportunidade de ingressar em seus projetos de pesquisa e, confiando em minha capacidade, me orientou durante dois anos, compartilhando experiencias, conhecimentos e através de seu grande exemplo, me inspirou a crescer como profissional e como geógrafo;

A todos os professores do Curso de Geografia da UEMA, por todo conhecimento compartilhado ao longo dos meus quatro anos de curso, em especial ao professor Luiz Jorge Dias por todo conhecimento compartilhado;

A professora Swanni Alvarado, por aceitar me orientar nesta pesquisa, apesar de ter trabalhado comigo menos de 1 ano na iniciação científica, por todo tempo disponibilizado e conhecimento agregado e que assim como o Claudio se tornou uma referência profissional;

Aos meus tutores em geoprocessamento e companheiros do GEUC- Grupos de Estudos em Unidades de Conservação: Edelson Maciel, Janderson Rocha, André Leal, que compartilharam comigo muitos conhecimentos em SIG's, além dos momentos inesquecíveis em viagens de campo;

Aos meus amigos da turma de 2016.2 do curso de geografia da UEMA, momentos dentro e fora de sala, que compartilharam comigo momentos e valores inesquecíveis; em especial Sasha Fernanda e Fernando Vasconcellos que foram como irmãos mais velhos para mim durante quatro anos e a todos os companheiros do GEOCITY F.C;

Aos funcionários do DEAC- IMESC, Ribamar Carvalho, Laiane, Alfredo, Cristiane Mousinho e Vitor Rafael, Josiel e D. Lourdes pelas ótimas tardes e dias de trabalho, pela minha inserção nos projetos de bacias hidrográficas e queimadas, além de todo conhecimento dividido.

E a todos que tiveram contribuição direta ou indireta em meu processo de formação.

MUITO OBRIGADO!!!!

*“Os que ignoram as condições
geográficas - montanhas e florestas -
desfiladeiros perigosos, pântanos e
lamaçais - não podem conduzir a
marcha de um exército.”*

(Sun Tzu)

RESUMO

O Cerrado brasileiro atualmente é visto como um dos principais biomas brasileiros e é considerado como um dos principais hotspots de preservação do planeta. No entanto, o ambiente se vê constantemente ameaçado por conta de atividades humanas, que geram grandes alterações no uso da terra, as quais muitas são causadas pela pelas práticas de agricultura, principalmente, as produções de soja, arroz, milho e algodão. Dentre estas atividades observa-se a pratica do fogo, que em muitos momentos é benéfica para o bioma, servindo como meio de limpeza de áreas, renovação de pastagem, preparação do solo para plantios, onde o fogo determina os ciclos de fenologia, e modifica a estrutura e diversidade da vegetação. Entretanto a pratica descontrolada do fogo acarreta em danos severos ao bioma, e desta forma, se torna necessário o levantamento de estudos que visem a identificação da dinâmica da regeneração da vegetação após a ocorrência de queimadas para entender como cada vegetação se comporta em meio a este evento, visando o subsidio para ações de órgãos gestores que possam prevenir e/ou controlar estas práticas. Sendo assim, através de imagens NDVI providas do sensor MODIS, buscou-se levantar uma série histórica entre os anos de 2000 e 2018 de índices de vegetação e uma reconstrução das incidências de queimadas ao longo dos anos apresentados na região do Parque Nacional da Chapada das Mesas- PNCM. As imagens foram pré processadas em ambiente virtual do software Rstudio e através e algoritmos desenvolvidos dentro do programa TIMESAT, foram obtidas as métricas relacionadas ao ciclo fenológico da vegetação presente na área de estudo. A partir de trabalhos preliminares sobre o mapeamento da vegetação local, bem como do regime de queimadas em toda a área do PNCM, se tornou possível o analise dos períodos médios de início do ciclo fenológico, pico de crescimento da vegetação, final do ciclo, entre outras métricas correspondentes, para avaliar os efeitos do fogo na vegetação e que desta forma a pesquisa tornasse viável a contribuição para uma melhor gestão e monitoramento do ateio de fogo nas áreas do parque, uma vez que este se trata de uma das maiores riquezas do ecossistema do bioma cerrado existentes no Estado do Maranhão.

Palavras chave: Cerrado, Fogo, PNCM, Sensoriamento Remoto, Fenologia vegetativa

ABSTRACT

The Brazilian Cerrado is currently seen as one of the main Brazilian biomes and is considered as one of the main hotspots of preservation of the planet. However, the environment is constantly threatened by human activities, which generate major changes in land use, which are caused by agriculture practices, especially soybean, rice, corn and cotton production. Among these activities, the practice of fire is observed, which at many times is beneficial for the biome, serving as a means of cleaning areas, renewal of pasture, preparation of the soil for plantations, where fire determines phenology cycles, and modifies the structure and diversity of vegetation. However, the uncontrolled practice of fire causes severe damage to the biome, and thus, it is necessary to survey studies aimed at identifying the dynamics of vegetation regeneration after the occurrence of fires to understand how each vegetation behaves in the midst of this event, aiming at the subsidy for the actions of management organs that can prevent and/or control these practices. Thus, through NDVI images from the MODIS sensor, we sought to raise a historical series between the years 2000 and 2018 of vegetation indices and a reconstruction of the incidence of fires over the years presented in the region of the Chapada das Mesas National Park - PNCM. The images were pre-processed in a virtual environment of the Rstudio software and through algorithms developed within the TIMESAT program, metrics related to the phenological cycle of vegetation present in the study area were obtained. From preliminary work on the mapping of local vegetation, as well as the regime of fires throughout the PNCM area, it became possible to analyze the average periods of beginning of the phenological cycle, peak vegetation growth, end of the cycle, among other corresponding metrics, to evaluate the effects of fire on vegetation and that in this way the research made feasible the contribution to a better management and monitoring of fire atheist in the areas of the park, since this is one of the greatest richness of the ecosystem of the cerrado biome existing in the State of Maranhão.

Keywords: Cerrado, Fire, PNCM, Remote Sensing, Land surface phenology

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agencia Nacional de Águas
BDQ	Banco de Dados de Queimadas
BOKU	University of Natural Resources and Applied Life Sciences de Vienna
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
IMESC	Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IVFL	Institute of Surveying, Remote Sensing and Land Information
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
PARNA	Parque Nacional
PNCM	Parque Nacional da Chapada das Mesas
REM	Radiação Eletromagnética
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
UC	Unidade de Conservação
UEMA	Universidade Estadual do Maranhão

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Biomas Brasileiros	18
Figura 2 – Parametros de sazonalidade fornecidos pelo software TIMESAT.....	32
Figura 3 – Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa	35
Figura 4 – Bloxpots: Métricas fenológicas: Start, End e Middle e Length- PNCM.....	45
Figura 5 – Bloxpots: Valores Médios de NDVI (Max) – PNCM	48
Figura 6 – Médias de dias de crescimento e senescência da vegetação- PNCM.....	51

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Localização do Parque Nacional da Chapda das Mesas	25
Mapa 2 – Vegetação do Prque Nacional da Chapada das Mesas	37
Mapa 3 – Relação Vegetação x Queimadas no PNCM (2000 – 2018).....	39
Mapa 4 – Períodos de início, pico de NDVI e fim do ciclo fenológico- PNCM	44
Mapa 5 – Duração: Crescimento e níveis máximos de NDVI da vegetação- PNCM	47
Mapa 6 – Taxas de Crescimento e senescência da vegetação- PNCM	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Freqüencia de fogo x Fisionomia da vegetação - PNCM	40
Gráfico 2 – Número de queimadas x precipitação anual- PNCM (2000 - 2018).....	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Caracterização do Bioma Cerrado	17
2.2	Efeitos da ocorrência de fogo sobre a vegetação do Cerrado	19
2.3	Sensoriamento Remoto e o monitoramento da dinâmica vegetação x fogo	21
3	ÁREA DE ESTUDO: PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS	24
3.1	Contexto geoambiental do Parque Nacional da Chapada das Mesas	27
3.2	Clima: Parque Nacional da Chapada das Mesas	27
4	METODOLOGIA	29
4.1	Levantamento Bibliográfico	29
4.2	Obtenção e Organização do Banco de dados	29
4.3	Análise dos padrões temporais de vegetação – PNCM	30
4.4	Processamento e análise de imagens	31
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5.1	Vegetação do Parque Nacional da Chapada das Mesas	36
5.2	Incidências de Queimadas no Parque Nacional da Chapada das Mesas	38
5.3	Dinâmica da vegetação do PNCM (2000 – 2018)	43
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
	REFERENCIAS	54

1 INTRODUÇÃO

Cerrado se trata de um dos principais biomas brasileiros, tendo a sua frente apenas o Bioma amazônico e atualmente, é considerado como um dos principais hotspots¹ de biodiversidade mundial. Isto se justifica por conta de sua grande abundância de espécies animais e vegetais, além de possuir muitas espécies consideradas endêmicas a nível local e regional, as quais, muitas delas se encontram ameaçadas de extinção (MYERS et. Al., 2000).

Sendo o segundo maior bioma brasileiro no que diz respeito a sua área, o Cerrado ainda não recebe a atenção necessária por parte dos programas governamentais que visam a preservação ambiental, sendo muitas vezes ofuscado pelos altos índices de atenção voltados aos impactos ambientais ocorrentes na Amazônia. Neste contexto, o Bioma se encontra constantemente afetado por inúmeras atividades que geram grandes alterações em sua fisionomia, essas em sua maioria, destacando-se as práticas de agricultura e pecuária (KLINK & MOREIRA, 2002, FERNANDES, 2012).

Possuindo mais de 2 milhões de km² de extensão, o que equivale a 25% do território nacional, o Cerrado vem passando por inúmeras modificações, ocasionadas em sua maioria pela expansão da fronteira agrícola e das práticas agropastoris, o que gera uma grande perda de sua área, podendo destacar-se que nos últimos anos, houve uma grande transformação de seu território, principalmente em prol da abertura de locais voltados para pastagens, além de áreas voltadas para plantio.

Historicamente, o fogo tem sido amplamente utilizado como ferramenta pelo homem. No entanto as ocorrências de fogo neste bioma também podem estar ligadas a causas naturais, como a ocorrência de raios solares de forte intensidade, ou a fenômenos de mudanças climáticas, as quais relacionadas aos tipos de vegetação presente tendem a aumentar a susceptibilidade local a ocorrência destes eventos. Isto e torna possível uma vez que estes fatores são capazes de ocasionar alterações nos níveis de umidade e distribuição da vegetação, o que facilita o início e o rápido processo de alastramento do fogo (WILLIAMS, 2001; KLINK & MACHADO, 2005; DURIGAN & RATTER, 2016).

Mediante isto, Silva (2007), caracteriza o fenômeno das queimadas como o processo de combustão da vegetação através do fogo, seja ela de maneira natural ou antrópica, citando como exemplo a prática agropastoril, que por meio da aplicação de fogo de maneira controlada, busca

¹ *Hotspots* tradução do inglês que pode significar pontos quentes ou intensos.

facilitar os trabalhos de agricultura e renovação pastagens. Já os incêndios se caracterizam pela ocorrência de fogo sem controle que acometem sobre qualquer forma de vegetação, com possibilidades de serem causados por meio de fatores antrópicos (ação humana, seja ela intencional ou negligenciada), ou até mesmo através de causas naturais, por exemplo, uma maior incidência de raios solares ou elevações de temperatura (SILVA e SILVA, 2006 *apud* LOPES, 2018).

Diante deste cenário, a implementação de políticas públicas visando a prevenção e/ou diminuição de ocorrências de desmatamentos e queimadas se torna de suma importância. Como exemplo destas práticas, temos as leis e decretos, criadas visando a preservação, manutenção, recuperação e um melhor manejo dos ambientes naturais, gerando benefícios para as atuais gerações, e gerações futuras, garantindo a sobrevivência dos seres vivos (MMA, 2011).

Dentre estes, observa-se o SNUC- Sistema Nacional de Conservação, instituído pelo decreto federal N° 9.985 de 18 de julho de 2000, estabelecendo critérios para a criação, gestão e dando início a implementação das unidades de conservação em território nacional. Atualmente, o Brasil se trata de um país rico em Unidades de Conservação em seu território; juntas, estas unidades totalizam mais de 1 milhão de km² em área, as quais podem ser divididas em Unidades de Proteção Integral e Unidade de Uso Sustentável. No entanto, também é possível dividi-las de acordo com o bioma em que se encontram inseridas (TOZZO, 2014).

Uma outra forma de divisão das Unidades de Conservação se dá entre as suas administrações, podendo ser Federais, Estaduais e Municipais. De acordo com o Relatório Parametrizado de Unidades de Conservação, (2014) o país apresenta 1.847 Unidades criadas a fim de propor preservação e conservação da natureza registradas junto ao MMA- Ministério do Meio Ambiente; sendo 887 UCs registradas em Esferas Federais, 771 unidades em esferas estaduais e 189 registradas em esferas administrativas Municipais. Dentre estas Unidades de Conservação, se encaixa a área de estudo deste Trabalho de Conclusão de Curso, o Parque Nacional da Chapada das Mesas- PNCM.

O PNCM se encontra localizado nos municípios de Carolina, Estreito e Riachão, ao sul do Estado do Maranhão. Possui aproximadamente 161.000 hectares e foi criado no ano de 2005, sendo a última implantada no Cerrado brasileiro, meta do governo para política pública, como estratégia de conservação de paisagens naturais (SILVA et al., 2017). O PARNA tem como objetivos promover a manutenção da biodiversidade da região, por conta da intenção de empreendedores em construir hidrelétricas que ocupariam regiões próximas, além da crescente expansão do agronegócio local (IBAMA, 2007).

Dentre outras características, o Parque possui o importante papel de promover a preservação de um ecossistema natural que possui grande relevância ecológica e beleza cênica, o Cerrado, além do que, seu território permite o desenvolvimento de pesquisas científicas, além da realização de atividades de educação, recreação e de turismo ecológico (MMA, 2017). Por não possuir um plano de manejo concretizado, o PNCM tem em seu contexto, uma intensificação dos conflitos entre a população local e gestores devido a existência de áreas privadas no interior do parque, bem como áreas com elevado potencial turístico.

Um agravante é notado haja vista que, a implementação destas atividades na região, acaba se tornando capazes de gerar inúmeros impactos ao ambiente local, dentre os quais se destacam o desmatamento e as práticas de queimadas (MARQUES et.al, 2014), gerando impactos a fauna e flora local. Somado a isto, nota-se também que a região onde se encontra a UC sofre grandes influências de atividades voltadas a pecuária extensiva. Estas atividades ocorrem graças aos chamados “pastos bons” encontrados na região, que são caracterizados com a presença de gramíneas naturais, dentre as quais se destacam por compor as diversas fisionomias vegetais do Cerrado brasileiro (CARVALHO; 2006, MARQUES, 2014).

É necessário ressaltar que o manejo do fogo em alguns ambientes é de suma importância, pelo fato deste distúrbio propiciar uma melhor determinação da fisionomia, além de também ser responsável pelo processo de estruturação da vegetação do Cerrado. Somado a isso, o fogo é capaz de influenciar na composição da diversidade de vários ecossistemas, uma vez que este afeta a fenologia, densidade, abundância, morfologia vegetal e distribuição das populações de plantas de determinado ambiente (WILLIAMS, 1997; DROBYSHEV et al., 2008).

Mediante isso, embora o Cerrado e outras fisionomias campestres pareçam ser resistentes ao regime de fogo natural, a forte alteração deste regime gerada seja por atividades humanas e até mesmo por causas naturais, pode gerar a perda do controle sobre estes eventos, se tornando umas das maiores causas de ocorrências de incêndios extremos ou mais frequentes e uma das ameaças mais significativas para o bioma (WILLIAMS et al., 2001; DURIGAN et al., 2007). Desta maneira, se torna importante o desenvolvimento de pesquisas que abordem o estudo da dinâmica da vegetação após a ocorrência de fogo, principalmente em fisionomias do Cerrado, desenvolvendo ferramentas para facilitar a gestão e preservação das comunidades que o compõem por meio dos órgãos gestores.

Diante do exposto nota-se que o estudo da dinâmica dos regimes de fogo e da resposta das comunidades vegetais a esta dinâmica tornam-se uma importante ferramenta para melhor auxiliar e propor métodos de gestão e avaliar estratégias de conservação e restauração em

paisagens susceptíveis a ocorrência de fogo. Neste contexto, através de técnicas de geoprocessamento e do sensoriamento remoto, além de facilitar e acelerar o processamento de dados, torna-se possível o refinamento destes de dados, análise e tomadas de decisão diante o objeto de estudo (CONCEIÇÃO 2004).

Diante do uso das técnicas de sensoriamento remoto na análise ambiental, Santos et al., (2011) aponta que o uso de geotecnologias estão se tornando um recurso eficaz e importante na identificação de ocorrência de queimadas, Isto ocorre pois estas técnicas possibilitam identificar, quantificar e fazer estudos de análises espaço-temporais das áreas onde ocorrem incêndios. Diante disso, Florenzano (2007), afirma que a importância da detecção e do monitoramento das queimadas excede a problemáticas relacionadas ao desmatamento de determinada região, já que este também é capaz de gerar grandes contribuições a análises quanto as questões climáticas.

Sendo assim, o objetivo geral desta pesquisa busca caracterizar a dinâmica da vegetação do Cerrado no Parque Nacional da Chapada das Mesas após a ocorrência de fogo, por meio de uma série temporal histórica de dados MODIS NDVI, comparando áreas com distintos históricos de queimadas, para desta forma compreender como a fenologia e a dinâmica da comunidade vegetal são alteradas pela ocorrência de fogo, e assim, determinar a resistência e a resiliência da vegetação sob diferentes regimes de queimadas no intervalo entre os anos de 2000 e 2018.

O estudo traz como objetivos específicos: 1) determinar como a variação temporal de precipitação tem influência nas ocorrências de queimadas e na resposta da vegetação da unidade de conservação após o fogo; 2) indicar as regiões com maiores incidências de queimadas e seus impactos sobre os diferentes tipos de vegetação presentes na Unidade de Conservação. Para este fim, serão verificadas as métricas fenológicas de início (start), fim (end), pico (middle) e duração (length) dos períodos anuais de crescimento da vegetação, assim como as taxas de crescimento e senescência (increase e decrease) da vegetação, comparando as áreas com diferentes históricos de queimadas, identificando a dinâmica dos ciclos fenológicos da vegetação diante de diferentes regimes de fogo durante os anos e tipos de fitofisionomias presentes no parque.

Com isso, se busca proporcionar embasamento metodológico e científico capaz de monitorar áreas com ocorrências queimadas, além de auxiliar na detecção de áreas com risco de queimas, que se atingidas podem afetar em curto ou longo prazo a resiliência e a recuperação da caracterização do ciclo fenológico dos componentes vegetais do bioma.

Diante do levantamento e da exposição da temática relacionada as queimadas em fisionomias do bioma Cerrado e da caracterização das situações ocorrentes na unidade de conservação previamente apresentadas, optou-se pela realização desta pesquisa em seis capítulos, incluindo o presente, que aborda de maneira geral uma introdução de todo o tema relacionado ao trabalho.

O *segundo* capítulo aborda o referencial teórico do trabalho, com a apresentação de conceitos utilizados durante toda a pesquisa e relacionados ao estudo do bioma Cerrado, suas fisionomias, da ocorrência de queimadas e fatores que a propiciam, bem como suas vantagens e impactos sobre o ambiente e um breve histórico dos SIGs- Sistemas de Informações Geográficas e de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto e suas aplicações em diversos ramos da geografia, principalmente na análise ambiental, chegando a sua aplicação na identificação deste fenômeno.

O *terceiro* capítulo trata da caracterização da área de estudo abordada neste trabalho, o Parque Nacional da Chapada das Mesas- PNCM, retratando seus históricos, criação, atividades desenvolvidas e relação com as atividades relacionadas ao fogo em seus territórios, caracterização do clima e do tipo de vegetação encontrados em seu território bem como as problemáticas relacionadas ao assunto abordado neste trabalho.

O *quarto* capítulo trata da metodologia utilizada na pesquisa, partindo da obtenção dos dados de sensores MODIS entre os anos de 2000 e 2018, processamentos realizados para a organização e refinamento dos dados e a utilização dos softwares e parâmetros necessários para a análise dos dados obtidos relacionados a fenologia local, assim como os dados referentes aos eventos de queimadas na UC e bases de precipitação ao longo dos anos. Também foram apresentadas as etapas em que se realizaram as pesquisas bibliográficas e a elaboração dos produtos resultantes de todos os processamentos, para os anos de estudo e resultados sobre a dinâmica da vegetação realizados.

O *quinto* capítulo retrata a ocorrência de queimadas entre os anos de 2000 e 2018, comparando o comportamento da vegetação local após estes eventos, observando os impactos dos incêndios, suas incidências, área atingida e as causas dessas ocorrências, sejam elas provenientes de eventos naturais ou ações antrópicas, as relações destes eventos com o clima local e tipos de vegetação presente.

Por fim no *sexto* e último capítulo apresentam-se as considerações finais do estudo, mostrando um apanhado final sobre os resultados obtidos, importância da realização do trabalho e como as técnicas possibilitam o embasamento para desenvolvimentos de futuras pesquisas, controle e prevenção de novas ocorrências de queimadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização do Bioma Cerrado

Buscando um melhor entendimento sobre os conceitos utilizados e discutidos ao decorrer deste Trabalho de Conclusão de Curso, foi feita uma pesquisa bibliográfica, para uma melhor conceituação do bioma abordado (Cerrado) e a problemática de queimadas em seu território, além da utilização do Sensoriamento Remoto na análise destas problemáticas.

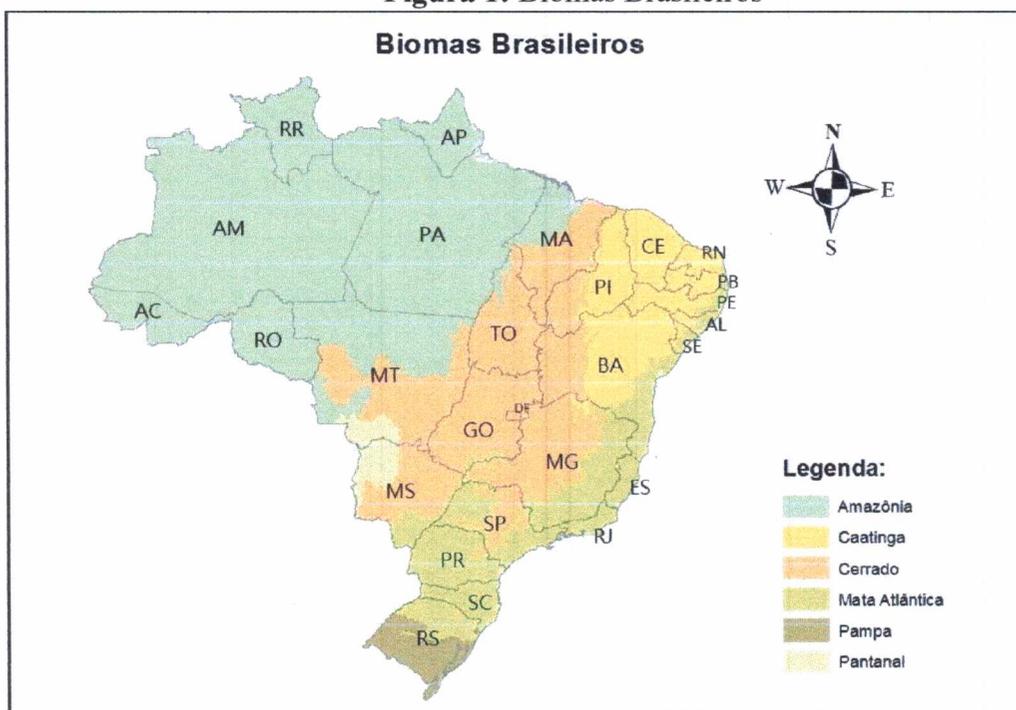
A nomenclatura “Cerrado” é oriunda da língua espanhola e significa “fechado”, o que tem como objetivo demonstrar uma característica marcante do ambiente, que possui vegetação densa de arbustos, com a presença de árvores de baixo porte e presença de espécies de gramíneas (MENDES, 2009). Com o passar do tempo, muitas definições e classificações surgiram, o que dificultou a realização de trabalhos relacionados a fisionomia do ambiente, fazendo com que seu conceito se tornasse importante para a identificação de um tipo de bioma brasileiro, assim como para nomear classes e subclasses de fitofisionomias, “cerrado” ou “savana”, cerrado denso ou cerrado aberto (RIBEIRO; WALTER, 1998), dentre as quais ocorrem formações florestais (cerradão, mata de galeria) e não florestais (savânicas e campestres) (EITEN, 1972; WALTER, 2006 *apud*. CARVALHO, 2019).

No que diz respeito a sua vegetação, o Cerrado é abordado em um tipo de perspectiva mais ampla (*lato sensu*), quando a vegetação é abordada em larga escala (regional), a qual é considerada a composição da vegetação, bem como suas formas de crescimento. Já quando a vegetação é analisada a nível local levando em consideração principalmente, suas estruturas e formas de crescimento, faz-se uso de uma perspectiva no sentido mais restrito (*stricto sensu*) (EITEN, 1972; RIBEIRO; WALTER, 1998 *apud*. CARVALHO, 2019). A partir destas análises, se torna possível, dessa forma, estabelecer o tipo de fisionomia, fatores da vegetação como: forma “estrutural”, “crescimento” (árvores, arbustos, herbáceas e graminoides) e aspectos do bioma que se modificam (RIBEIRO e WALTER, 1998).

De acordo com Andrade (2008), o Cerrado é caracterizado por se tratar de um domínio bastante antigo, que já no Cretáceo (entre 145 milhões e 65 milhões atrás), possuía uma formação conhecida como pré-cerrado. Após esse período, ocorreu o soerguimento do Planalto Central, juntamente com uma alteração gradativa de características climáticas, passando de um período seco, para um período mais úmido, alteração que acabou favorecendo uma maior diversificação da flora e da fauna do bioma.

No Brasil, o Bioma ocupa cerca de 25% do território nacional, caracterizando-se como um dos principais biomas do país, atrás apenas da Amazônia (**Figura 1**). 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, MMA, 2015). Atualmente, o Cerrado se destaca em relação a outros tipos de savanas pelo mundo pelo fato de ser considerado um dos maiores hotspots de biodiversidade do planeta (MISTRY et al. 2005, DURIGAN; RATTER, 2016).

Figura 1: Biomas Brasileiros



Fonte: Belmontt, 2019

Os primeiros estudos sobre o Cerrado Brasileiro ocorreram em meados do século XIX, através de expedições organizadas para o Brasil por cientistas europeus, com a finalidade de identificar e estudar as fisionomias da vegetação local. Logo após, foram realizados diversos estudos científicos, que mostraram uma realidade em que muitos pesquisadores acreditavam que as feições do bioma eram oriundas das características climáticas, o que caracterizava o ambiente como xerófito, onde o fogo não desempenhava influência decisiva sobre a vegetação, identificando inclusive características que mostravam que a presença água também não se tratava de um fator limitante na caracterização dos diferentes tipos fisionômicos do Cerrado (COUTINHO, 1982). A partir desta época, vários estudos sobre a ação do fogo sobre o bioma passaram a ser realizados, buscando um melhor entendimento sobre a origem do bioma (SILVA, 2011).

A partir da realização destes estudos tornou-se possível apontar que o bioma possui fatores importantes para a composição heterogênea que o caracteriza. Dentre estes fatores notam-se seus diferentes tipos de solo, sua hidrografia, topologia, além da ocorrência do fogo. Mediante isso, Barcelos (2001) aponta muitas práticas que modificam o equilíbrio no Cerrado, as quais se incluem as práticas antrópicas relacionadas ao fogo, que se tornaram uma atividade capaz de modificar drasticamente a estrutura da vegetação, acarretando em fortes alterações das características do ambiente local, uma vez que a frequência muito alta de queima resulta em uma grande descaracterização ambiental.

Dentre as principais problemáticas relacionadas a degradação do bioma, observa-se que os avanços das atividades relacionadas a agricultura e pecuária tem gerado grandes modificações na paisagem dos biomas brasileiros. Desta maneira estas são vistas e consideradas como os principais fatores de degradação do Cerrado, uma vez que são responsáveis por provocar o avanço do desmatamento e o aumento na frequência de queimadas (FIEDLER et al., 2006).

2.2 Efeitos da ocorrência de fogo sobre a vegetação do Cerrado

O fogo se trata de uma perturbação natural em muitos ecossistemas do planeta, dentre estes as savanas africanas, florestas esclerofilas, o cerrado brasileiro e ecossistemas mediterrâneos (FROST, 1996; PAUSAS et al., 2004; SIMON & PENNINGTON, 2012). A ocorrência do fogo é importante para determinar a fisionomia e a estrutura da vegetação local, além de influenciar fortemente a diversidade dos ecossistemas, uma vez que é capaz de influenciar a fenologia, densidade, abundância, morfologia vegetal e distribuição das populações de plantas (WILLIAMS, 1997; DROBYSHEV et al., 2008).

Mediante isso, o fogo se torna um fenômeno importante para estimular a floração e frutificação, além de possibilitar a aceleração do ciclo fenológico, deslocando a data de início destes processos (WROBLESKI & KAUFFMAN, 2003; PARITSIS et al., 2006), ao passo que a vegetação do cerrado é constituída por dois estratos: arbóreo/arbustivo, com feições de caráter lenhoso e o estrato herbáceo/subarbustivo, composto por gramíneas, além de outras ervas e pequenos subarbustos (COUTINHO, 1990).

Com isso, incidentes descontrolados envolvendo o fogo podem resultar em alterações na fisionomia da vegetação, uma vez que estes são capazes de alterar o equilíbrio entre a cobertura de gramíneas e árvores dentro do sistema; alterações na composição de espécies, selecionando positivamente as espécies piro-tolerantes e, alterações na produtividade primária anual do ambiente, isto ocorre por conta da alta resiliência pós-fogo da vegetação lenhosa e

herbácea, devido à mortalidade de árvores baixas e às altas taxas de rebrotamento de árvores (HOFFMANN et al., 2009; MOREIRA, 2000). Ainda é possível se notar que com a ocorrência de queimadas também pode haver diferentes danos às árvores do bioma, partindo desde o murchamento e a queda das folhas das copas, causando inclusive a morte total de ramos e troncos. Desta forma, os altos índices de queimadas podem reduzir a manutenção e a renovação da vegetação local (BARCELLOS, 2001).

Um agravante importante a se notar é que, atualmente, as muitas mudanças no regime natural de fogo induzidas principalmente por atividades humanas é uma das ameaças mais significativas para o Cerrado (DURIGAN et al., 2007). Além disto, mudanças climáticas recentes podem contribuir para fortes alterações no regime das queimadas, o que pode aumentar o risco e a frequência de incêndios extremos. Além disso, uma série de projeções de mudanças climáticas para este século indicam um aumento médio da temperatura, o que causa um risco potencial de aumento no número de queimadas, assim como um crescimento em sua frequência e intensidade (WILLIAMS et al., 2001; ARAGÃO et al., 2007).

O processo de mudanças antrópicas ocorre a partir da década de 50, na qual se iniciou a busca por uma maior expansão das atividades agrícolas por conta do grande interesse pela potencialidade do bioma no processo de ampliação da fronteira agrícola nacional, acarretando principalmente na implementação de terras voltadas para a pecuária extensiva e atividades voltadas para a agricultura, o que ocasionou uma grande modificação na fisionomia do Cerrado, onde cerca de 45% da área do bioma sofreu mudanças em detrimento de algum tipo de manejo econômico (RIVERA-LOMBARDI, 2003).

Neste contexto, o Cerrado brasileiro, que é considerado a savana que possui os maiores níveis de biodiversidade do mundo, vem passando por um crescente processo de ocupação humana, tanto em busca de moradia, como com objetivos de expansão de atividades relacionadas a agricultura, o que demanda esforços de todos os setores em busca do desenvolvimento sustentável, de modo a conciliar os interesses sociais, econômicos e ambientais (SOUZA et al., 2015).

2.3 Sensoriamento Remoto e o monitoramento da dinâmica vegetação x fogo

De acordo com Barrett & Curtis (1992), o Sensoriamento Remoto pode ser definido como a ciência de observação a distância, ou seja, está ligada a ausência de contato físico entre o sensor, seja ele uma câmera fotográfica, um satélite com o objeto definido como alvo, podendo incluir estudos relacionados a técnicas de fotogrametria e fotointerpretação.

Já para Liu (2006), 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. Os componentes da superfície terrestres como vegetação, água e solo, possuem características espectrais únicas de cada elemento, uma vez que absorvem e refletem 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; CARVALHO, 2019).

Neste contexto, Moraes (2002), define o Sensoriamento Remoto como um agregado de técnicas que, a partir do seu uso se torna possível obter informações referentes aos mais variados tipos de feições da superfície terrestre. No entanto, este processo não possui a necessidade de que se tenha contato com os objetos (alvos), uma vez que a atividade é possibilitada por processamentos que envolvem desde a detecção, passando pela análise, interpretação e extração de informações referentes a energia eletromagnética refletida pelos objetos presentes na superfície que é captada pelos sensores.

No que diz respeito a sua origem, o Sensoriamento Remoto é associado por muitos autores ao surgimento dos chamados sensores (câmeras fotográficas), o que divide seu histórico em dois momentos: Um iniciado em 1860, com duração até 1960, caracterizado pelas utilizações de fotografias aéreas, que eram feitas por meio do uso de balões ou aviões, período no qual se destacava a aerogrametria, trazendo avanços de gradativos ocasionados pela primeira e pela segunda guerras mundiais. Já o segundo momento que acontece até os dias atuais, é muito ligado a corrida espacial, que gerou avanços e grandes mudanças relacionadas aos instrumentos utilizados, produtos gerados, as formas de aquisição destes, bem como sua interpretação e análise. Este processo se caracteriza por meio da abundância de sensores (SANTOS, 2013).

Os vários avanços ocorrentes nos mais variados ramos da tecnologia ao longo dos anos, como por exemplo: ciência da computação, telecomunicações, mecânica e precisão, etc., agregaram muito na evolução das técnicas relacionadas ao Sensoriamento Remoto, sejam eles aplicados em sensores hiper espectrais, sensores com grande poder de resolução, especializados para a aquisição e análise de informações, velocidade de processamento.

Sendo assim, o processo de evolução do sensoriamento Remoto ocorre graças a um empenho de vários ramos da ciência (sejam eles das áreas físicas, geociências, entre outros), o que torna o emprego destas técnicas cada vez mais complexo, gerando uma maior procura e utilização destas por profissionais e pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento (SANTOS, 2013).

Diversas aplicações podem ser estudadas por meio de técnicas envolvendo o Sensoriamento Remoto, dentre estas técnicas podem ser destacadas por exemplo, as relacionadas a dados de uso e cobertura do solo e características ligadas a vegetação de determinado local, avaliando alterações no uso e na cobertura das terras (QUARTAROLI et al., 2006; RODRIGUES et al., 2015; SHIRATSUCHI et al., 2014).

Especificamente, tem-se por exemplo, uma técnica desenvolvida por cientistas na qual monitoram-se as condições e as distribuições espaciais relacionadas a vegetação. Esta, segundo Liu (2006), tem por objetivo a condensação de informações relacionadas ao crescimento ou não das espécies locais, identificando quais elementos são parte da vegetação e quais não a compõem, discriminando os vários fatores que são capazes de alterar a dinâmica ambiental destas.

Desta forma, a utilização de imagens e técnicas relacionados ao sensoriamento remoto vem se tornando cada vez mais crescente, principalmente em ações de planejamento e tomadas de decisão rápida. Isto é possível pois o avanço tecnológico cada vez maior permite que seja realizada uma melhor análise dos dados, de forma mais rápida, facilitando desta forma, a obtenção de resultados, além de torna-los mais confiáveis.

Mediante aos aspectos apresentados, o Sensoriamento Remoto nos estudos relacionados a vegetação, tem sua utilização se tornando cada vez mais frequente quando este possui o objetivo de avaliar as condições de vida da vegetação, com possibilidade de serem relacionados com a quantidade de biomassa verde e com a atividade fotossintética das plantas. Além disso, estes estudos são capazes de indicar mudanças nos valores do índice, caracterizando valores relacionados a taxa de recuperação da vegetação após um distúrbio (WESSELS et al., 2001; MASELLI & CHIESI, 2006). Com isso, estas medições temporais de índices de vegetação vêm se tornando um importante indicador da dinâmica da vegetação, já que são sensíveis às variações espaciais e temporais na fenologia, entendida como o processo ou ciclo biológico das espécies, e na cobertura da vegetação (HUETE et.al., 2002).

Sendo assim, 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).

Outro fator importante refere-se que estes métodos possuem uma grande praticidade, uma vez que possibilitam a análise de dados e obtenção de resultados em um reduzido espaço de tempo de áreas de grande extensão, por isso, são considerados como boas alternativas para trabalhos de avaliação a uma escala de meio e longo prazo. Uma das suas principais maneiras de aplicação ocorre em estudos de monitoramento de secas, uso do solo, previsão de safra, mapeamento de recursos hídricos e monitoramento de desmatamento e ocorrência de queimadas. Sendo assim, estas são técnicas capazes de monitorar a situação ambiental de determinado local afim de minimizar e prevenir a ocorrência de desastres (LIU, 2006).

Segundo Caldas et al., (2014), a utilização de tecnologias que sejam capazes de avaliar agentes causadores de impactos é importante na realização de estudos ambientais na atualidade, o que faz com que o Sensoriamento Remoto passe a se tornar cada vez mais indispensável. Isto se torna possível uma vez que os satélites e radares fornecem informações sobre a superfície terrestre e maneira muito precisa, auxiliando de forma grande no monitoramento de agentes causadores de impactos, como o objetivo deste trabalho: a dinâmica da vegetação do Parque Nacional da Chapada das Mesas em relação a ocorrência de fogo.

Desta forma, o conhecimento do regime de ocorrência de fogo através da utilização operações de sensoriamento remoto, além de ajudar a determinar os efeitos das queimadas na estrutura e recuperação da vegetação locais, composição de espécies e função do ecossistema, se torna vital para gerar a possibilidade de compreender inclusive a forma que novos regimes de perturbação podem vir a acontecer, auxiliando na busca por evitar estes eventos, auxiliando órgãos gestores no melhor manejo, proteção e preservação de áreas protegidas (DURIGAN & RATTER, 2016).

O monitoramento de ocorrências de fogo, bem como seus efeitos sobre o ambiente e a vegetação de determinado local atualmente, dispõe do uso de imagens obtidas por satélites (FRANÇA; FERREIRA, 2005; LIU, 2006). Estes produtos são capazes de fornecer informações do local onde foi registrada a ocorrência, quando ocorreu a queimada, sua intensidade, área total atingida, além de muitas 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; CARVALHO, 2019).

Atualmente, o Cerrado e a Amazônia são identificados como biomas com maiores impactos registrados por consequência da ocorrência de queimadas (ALVES & ALVARADO

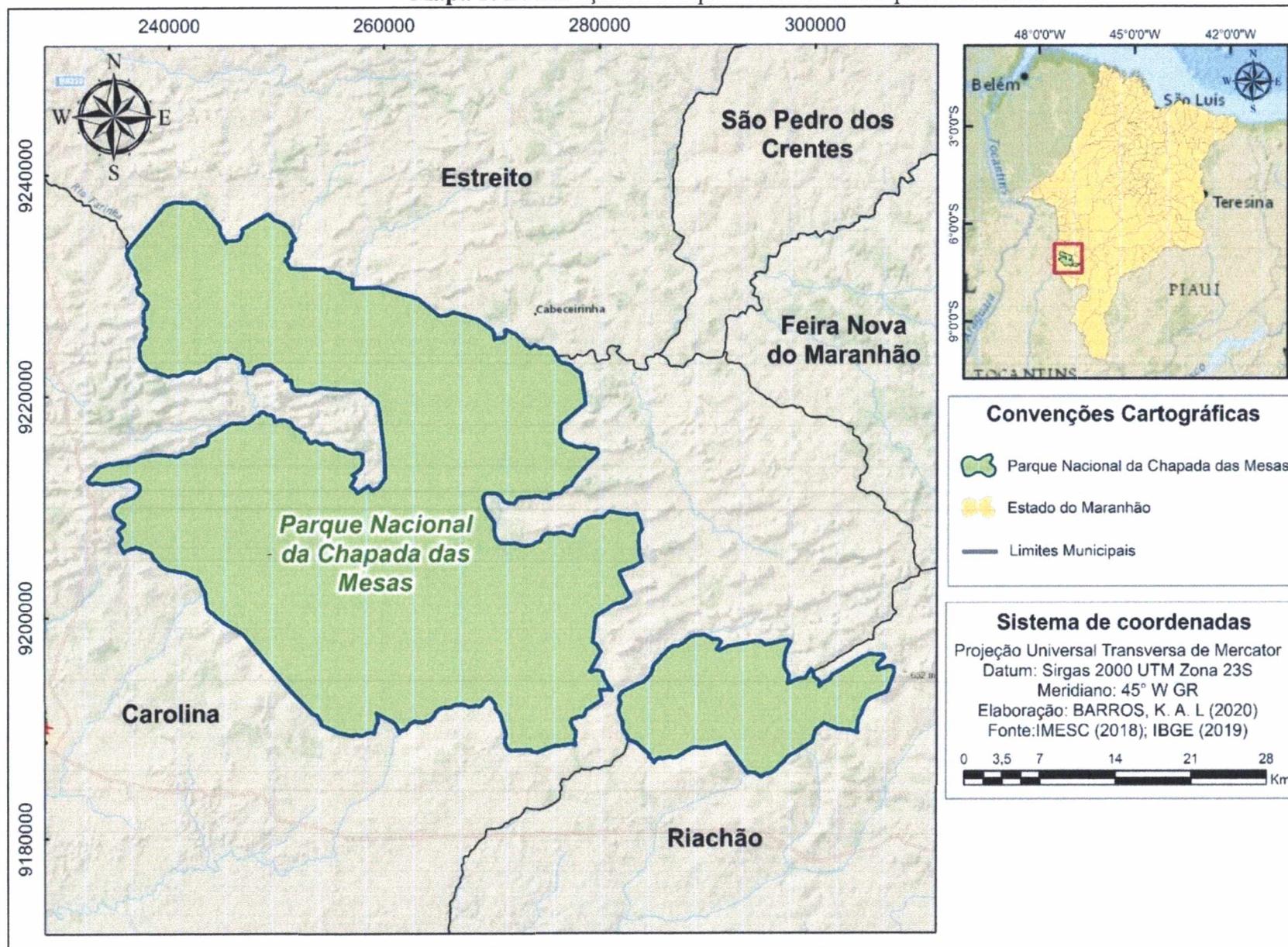
2019). O cerrado possui anualmente, os maiores índices de focos de incêndios (FIDELIS et al., 2018). O bioma ainda se destaca já que o uso do fogo em seu território está principalmente ligado a processos como manejo de pastagens, e atividades agrícolas; além disso, o fogo é um dos fatores mais importantes na caracterização de diferentes fisionomias do Cerrado (FERREIRA, 2004; PEREIRA, 2009; PEREIRA et.al., 2012; CARVALHO, 2019). Dentro do contexto do bioma se encontram inseridas muitas Unidades de Conservação. Dentre estas se encontra o Parque Nacional da Chapada das Mesas- PNCM, no qual o fogo é utilizado por agricultores para limpeza da área para plantio de culturas e formação de pastagens.

3 ÁREA DE ESTUDO: PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DAS MESAS

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2019), o Brasil possui aproximadamente 18% do seu território preservado pela presença de Unidades de Conservação, em relação aos biomas, o amazônico possui cerca de 28% de área protegida, seguida por Mata atlântica (9,5%) e Caatinga (8,83%). O Cerrado vem em seguida com 8,26% de sua área com presença de unidades de conservação, o que exemplifica a importância da implementação de políticas públicas visando a busca pela proteção de outros biomas, dentre os quais se destaca o Cerrado, que se caracteriza por atualmente ser considerada como a nova fronteira agrícola a ser explorada no país (SOARES-FILHO et al., 2014; ARAÚJO et al., 2019).

As UCs são definidas em dois tipos (uso sustentável e proteção integral), dentro dessas categorias, ainda é possível notar uma outra divisão, das quais as unidades consideradas mais importantes são as Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN), os Parques Nacionais (PARNA) e as chamadas APA's- Áreas de Proteção Ambiental (MMA, 2019; CARVALHO, 2019). Dentre estas, temos a área de estudo desta pesquisa, o Parque Nacional da Chapada das Mesas- PNCM (**Mapa 1**).

Mapa 1: Localização do Parque Nacional da Chapada das Mesas



Elaboração: BARROS (2020)

Criado no dia 12 de dezembro de 2005 por meio de decreto federal, o Parque Nacional da Chapada das Mesas, encontra-se localizado no Centro sul do estado do Maranhão, entre os municípios de Carolina, Estreito e Riachão, possuindo área total de 160.046 hectares (SILVA, 2017; GÓES e FEIJÓ, 1995). A Unidade de Conservação e a região em geral que é composta por um relevo de morros e chapadas, se encontra inserida na atual rota de expansão da fronteira agrícola brasileira, em área de predominância do bioma Cerrado, em transição para o bioma amazônico. Com isso, sua área passa por várias transformações trazidas principalmente pela implantação do agronegócio, que com a chegada com meios de produção mais modernos, acaba gerando inúmeros impactos ao ambiente local, dentre os quais se destacam o desmatamento e as práticas de queimadas (MARQUES et.al, 2014).

A Unidade foi criada com o intuito de promover a manutenção da biodiversidade da região, também por conta da intenção de empreendedores em construir hidrelétricas que ocupariam regiões próximas, o que causaria impactos graves ao ambiente local. O PNCM está sob gestão do IBAMA- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, juntamente com o Ministério do Meio Ambiente- MMA e pelo Instituto Chico Mendes de Biodiversidade – ICMBio. Estes órgãos efetuam ações com o objetivo de assegurar a preservação dos recursos naturais e conscientizar a população, por meio da promoção de diálogos que estimulem a participação de todos para conservação do parque (IBAMA, 2007; ICMBio, 2016).

Por não possuir plano de manejo o PNCM possui várias disputas envolvendo a população que o habita e seus administradores. Estes conflitos ocorrem principalmente por conta da presença de áreas consideradas de uso privado que incluem potenciais elevados para realização de atividades turísticas. Diante do exposto, uma série de debates passaram a ser levantados no que diz respeito a categoria de preservação que a unidade deveria receber (CAMARA DOS DEPUTADOS, 2010). Neste contexto o PNCM passaria a ser uma reserva extrativista, de uso sustentável, a qual teria as formas de fiscalização sobre a extração de recursos passaria a ser de menor rigidez.

Conforme o apresentado, nota-se a importância da realização de estudos em áreas de preservação ambiental, uma vez que estes são capazes de prevenir e/ou reduzir impactos causados por atividades antrópicas ou mesmo os naturais. Mediante isso, Maciel (2017), afirma que o estudo científico desenvolvido em regiões de unidades de conservação tem como objetivo a compensação ambiental; sendo assim esta é importante no manejo, na preservação de ambientes e na prevenção a desastres, por exemplo, o fogo, abordado no contexto do Parque Nacional da Chapada das Mesas.

3.1 Contexto geoambiental do Parque Nacional da Chapada das Mesas

O PNCM possui algumas características peculiares em relação ao seu contexto geoambiental, estas características serão apresentadas a seguir e algumas delas serão analisadas com o objetivo de identificar se estas possuem algum tipo de ligação com as ocorrências de focos de queimadas ocorrentes na UC, bem como na dinâmica da vegetação local após o processo de queima.

Como características geológicas, o Parque encontra-se inserido na bacia sedimentar do Parnaíba, que segundo Martins et al., 2017, se caracteriza como uma bacia intracratônica, com uma idade paleozoica, possuindo um substrato litológico com uma sequência de rochas sedimentares e vulcânicas. Além disso, a bacia do Parnaíba possui um substrato arenítico que corresponde às formações areníticas paleozoicas: Itapecuru, Corda, Grajaú, Sambaíba, Motuca e Pedra de Fogo, bem como basaltos detrito-lateríticos da Formação Mosquito, no entanto a unidade de conservação apresenta predominância de afloramentos relacionados a formação geológica Sambaíba (MARTINS et al. 2017).

Quanto a geomorfologia local, nota-se relevo de predominância plano ondulado, que possui alguns declives acentuados, dentre os quais a maior parte dessa área é composta por chapadas que possuem altitude basal de 250 metros. Nota-se também, a presença de morros que possuem a composição de arenitos nos quais a modelagem é gerada pela ação dos ventos e das chuvas ao longo dos anos, além disso, Os topos dos morros são planos, possuindo assim, a forma de mesetas, o que dá significado a nomenclatura “Chapada das Mesas”. As altitudes na região podem variar de 250m nas áreas de vales, podendo chegar a 524m em regiões de chapadas (IBAMA,2007).

3.2 Clima: Parque Nacional da Chapada das Mesas

O Estado do Maranhão, apresenta diferenças climáticas e pluviométricas, uma vez que se encontra localizado na zona de transição do clima semiárido do Nordeste, para o úmido equatorial da Amazônia. Diante disso, o Estado em sua região oeste, retrata uma grande predominância do clima tropical quente e úmido (As), típico da região amazônica. Nas demais regiões, o estado é destacado por possuir ocorrências de clima tropical quente e semiúmido (Aw) (CORREIA FILHO, 2011).

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região do PNCM é caracterizado como Tropical Úmido, com temperaturas elevadas ao decorrer de todo o ano todo, além disso, a região possui duas estações bem definidas: verão seco, com duração de maio a outubro e inverno chuvoso, com duração de novembro a abril, com ocorrências de temperaturas médias

anual se aproximando de 26,1°C, as mínimas variam de 25,2°C em janeiro, chegando a 27,8°C no mês de setembro, Já as temperaturas máximas giram em torno dos 36°C nos meses mais quentes (julho e agosto). Quanto aos totais pluviométricos anuais, estes se encontram entre 1.250 e 1.500 mm (MMA, 2007).

4 METODOLOGIA

4.1 Levantamento Bibliográfico

Para a realização dos procedimentos metodológicos necessários para a realização desta pesquisa, primeiramente foi feito o levantamento e pesquisa bibliográfica, que de acordo com Macedo (1994) trata-se da procura de embasamento que se encontra relacionado ao problema investigado, este é o primeiro passo em qualquer tipo de estudo científico e é realizado com o objetivo de analisar a literatura existente e não cometer redundância sobre o assunto abordado. A partir desta etapa, foi feita a busca por artigos, dissertações livros e outras fontes sobre o tema abordado pela atual pesquisa. Em seguida foi realizada a montagem do banco de dados necessário para a análise da dinâmica da vegetação ao longo dos anos mediante a ocorrência de queimadas no Parque Nacional da Chapada das Mesas.

4.2 Obtenção e Organização do Banco de dados

Ainda como parte dos procedimentos metodológicos, houve a organização de todo banco de dados obtido para a realização deste trabalho de conclusão de curso. Fez-se a obtenção das bases de dados provenientes dos trabalhos realizados por Carvalho (2019) quem realizou o processo de reconstrução espacial e temporal da ocorrência de queimadas no Parque Nacional da Chapada das Mesas- PNCM entre os anos de 1990 e 2017. Esse trabalho foi desenvolvido por meio da utilização de imagens Landsat 5TM, Landsat 7 ETM e Landsat 8 OLI.

Para isso, foi seguido o método proposto por Alvarado et.al (2017), que para a delimitação das cicatrizes de queimadas para os anos referentes a pesquisa, foi realizado o processo de combinação das bandas do infravermelho médio, infravermelho próximo e do visível (bandas 6, 5 e 4 do sensor OLI e bandas 5, 4 e 3 dos sensores TM e ETM, respectivamente). A partir daí, as cicatrizes foram identificadas visualmente e mapeadas manualmente para todo o período avaliado. A partir deste, foi produzido o mapa de frequência de fogo para o período entre os anos definidos, que nesta proposição de pesquisa se apresentam de 2000 até o ano de 2018.

Para a caracterização das fisionomias da vegetação da área de estudo, além da busca por base de dados no portal MapBiomas, tomou-se como base a classificação feita por Carvalho (2019), que classificou a vegetação do PNCM em 9 classes, tomando como base em características geoambientais da Unidade de Conservação, como por exemplo, as formas apresentadas pelas estruturas, dentre outros aspectos, seguindo elementos definidos por Ribeiro, Walter (2008, p.164):

Os critérios aqui adotados para diferenciar os tipos fitofisionômicos são baseados primeiramente na fisionomia (forma), definida pela estrutura, pelas formas de crescimento dominantes e por possíveis mudanças estacionais. Posteriormente consideram-se aspectos do ambiente (fatores edáficos) e da composição florística [...] São descritos onze tipos principais de vegetação para o bioma, enquadrados em formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo sujo, Campo limpo e Campo rupestre).

4.3 Análise dos padrões temporais de vegetação – PNCM

Para a análise dos padrões temporais da vegetação local, foram utilizados dados disponibilizados pelo Institute of Surveying, Remote Sensing and Land Information (IVFL), que faz parte da University of Natural Resources and Applied Life Sciences de Vienna- BUKU; no endereço: <http://ivfl-info.boku.ac.at/satellite-dataprocessing/dataprocess-global>. O produto de índices de vegetação NDVI² MOD13Q do sensor MODIS possui uma resolução espacial de 250m, com dados suavizados dos satélites Terra e Aqua, para completar series temporais com resolução temporal de 7 dias.

No total, foram obtidas 954 imagens para um recorte de uma área que inclui os limites do PNCM, para o período compreendido entre os anos de 2000 e 2018 (sendo um total de 53 imagens por ano). O pré-processamento das imagens para posterior análise foi realizado através do software R Versão 3.4.1 (R Core Team, 2019), por meio de técnicas que envolvem linguagens de programação que facilitam e aceleram a manipulação das series históricas das imagens, que de forma manual demandaria uma grande quantidade de tempo.

O programa R implementado através da plataforma R studio, software utilizado no pré processamento e análise dos produtos rasters, é caracterizado por possuir uma linguagem bastante intuitiva, geralmente notada pela utilização de processos de tentativa e erro. O software possui em sua interface um total de 4 janelas dentre elas, a primeira, que é chamada de Editor de Código, que é o local onde é feita a edição dos scripts necessários para a realização do processamento das imagens. A segunda janela é o Console do R, no qual é feito o carregamento dos arquivos necessários para o processamento. No Ambiente de trabalho se armazenam os arquivos, resultados e os algoritmos carregados anteriormente. Por fim, a quarta janela apresenta a plotagem dos arquivos, sejam eles Shapefile³ ou Raster.

² Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada).

³ Formato de arquivo vetorial que contém dados geoespaciais utilizados em sistemas de informação geográfica.

4.4 Processamento e análise de imagens

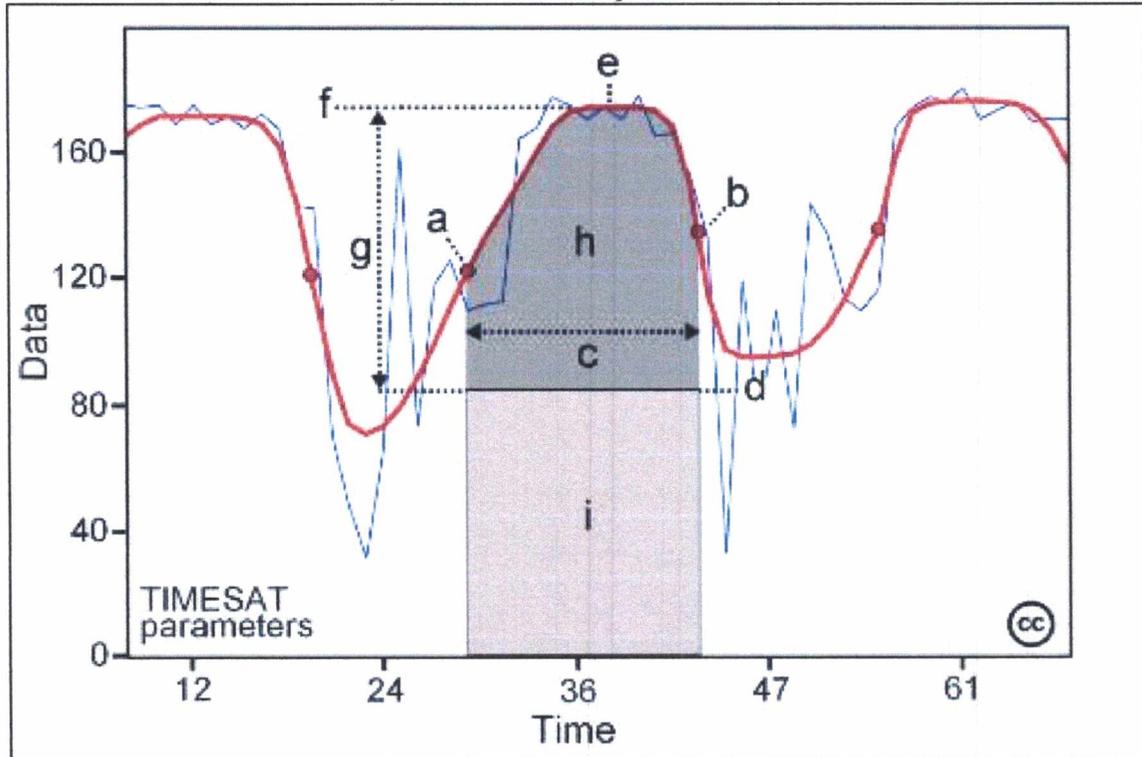
Para o processo e análise das métricas fenológicas da série histórica de imagens de NDVI do sensor MODIS, foram utilizados algoritmos provenientes do software TIMESAT, (JÖNSSON & EKLUNDH, 2004; TAN et al., 2011). Para a obtenção e posterior análise dos parâmetros fornecidos pelo software TIMESAT, é feita uma série de processos, os quais tem como objetivo a preparação das imagens obtida através do sensor MODIS para utilização em ambiente virtual deste software. Primeiramente, foi utilizado um script em que se faria o empilhamento (função *stack* do pacote “RASTER”) e posterior recorte (função *crop* do pacote “RASTER”) das 954 imagens de acordo com os limites da Unidade de Conservação.

Foi feito primeiramente o carregamento das imagens para o programa, indicando o local em que as mesmas estavam arquivadas, em seguida foram empilhadas e através do processo de *plotagem* (carregamento) do arquivo Shapefile do Parque Nacional da Chapada das Mesas (PNCM), o mesmo foi utilizado como camada máscara para a realização do recorte dos arquivos Raster. O resultado final foi o recorte das 954 imagens, cada uma das quais apresentam 227 filas e 302 colunas para um total de 68.554 pixels por imagem. Em seguida, já com o recorte da área de estudo realizado, foi feita a transformação do arquivo de formato TiFF⁴ para formato Binário (BSQ). Este processo é realizado por meio de um novo script e é necessário, uma vez que o programa TIMESAT só fornece os parâmetros e os valores de métricas relacionados a fenologia da vegetação, quando os arquivos dos quais será feita a análise e a seguinte extração de resultados se encontrarem em formato binário.

A análise das imagens foi realizada por meio da utilização do algoritmo TIMESAT, desenvolvido especificamente para a caracterização das dinâmicas fenológicas baseado em imagens de sensoriamento remoto (JÖNSSON & EKLUNDH, 2004). Este processo ocorre baseado em parâmetros definidos pelo usuário, onde o mesmo se torna capaz de caracterizar o período referente ao início e ao final e a duração de cada ciclo fenológico ou de crescimento da vegetação, além de tornar possível a identificação de outras métricas, como por exemplo a amplitude máxima referente a cada estação de crescimento da vegetação, o momento de ocorrência do green-up (que corresponde a data de início da atividade fotossintética), ao período de senescência (período em que a atividade fotossintética e a área foliar verde começam a diminuir de forma mais visível), defoliação da vegetação e a taxa de aumento e decréscimo desses processos (**Figura 2**).

⁴ Tagged Image Format File - Arquivo que armazena imagens em formato Raster para facilitar seu uso.

Figura 2: Parâmetros de sazonalidade produzidos pelo software TIMESAT, a partir de séries de dados NDVI. Transições entre tendências crescentes e decrescentes de EVI são identificadas por uma mudança no sinal do coeficiente de inclinação. Os parâmetros são: a) início da estação de crescimento, b) fim da estação de crescimento, c) duração da estação, d) valor da base, e) dia do pico de *greenness*, f) valor máximo de NDVI alcançado, g) amplitude sazonal, h) integral da estação de crescimento a partir do nível basal, e i) integral da estação de crescimento a partir do nível zero.



Fonte: Eklundh & Jönsson 2015

Para o processamento das imagens, foi feito o carregamento dos 954 arquivos em formato binário para o ambiente virtual do software TIMESAT, que automaticamente calculou as métricas referentes ao período de crescimento ou ciclo fenológico da vegetação local, indicando para cada pixel da imagem o período de início e fim do ciclo de crescimento e sua duração para cada ano avaliado (17 anos em total), facilitando desta forma a melhor análise de como ocorre a dinâmica da vegetação local no longo do tempo. Neste processo, foi necessária a observação das métricas de vários pixels de várias imagens ao longo da série histórica, para possibilitar o cálculo dos valores médios de cada uma delas.

Este processamento realizado de maneira manual teria sua duração muito demorada, sendo assim, um novo método foi utilizado visando facilitar esta etapa da pesquisa. Este processamento é denominado Batch, torna possível o agrupamento de todos os parâmetros e todas as imagens da série para os quais se desejam obter métricas em um único algoritmo (script em formato .bat), que quando acionado permite que o programa, por meio de processos em lote, seja capaz de gerar os valores desejados em relação a fenologia local para a série histórica completa, calculando assim as métricas para cada ano fenológico.

Conforme Morellato (1995), a fenologia, abrange uma série de estudos voltados ao entendimento do ciclo de vida de plantas ou animais e sua dinâmica temporal durante um certo período de tempo (geralmente ao longo do ano), que no caso das plantas incluem os períodos de reprodução sexual (fenologia reprodutiva) e períodos de crescimento vegetativo (fenologia vegetativa). Com estes estudos torna-se possível uma melhor compreensão de seus comportamentos e, a partir destes o fornecimento de melhor embasamento relacionados aos padrões reprodutivos e vegetativos de plantas, sendo este último processo parte do estudo desta pesquisa.

Diante do exposto, as métricas utilizadas e trabalhadas durante esta pesquisa foram: *Start*, que corresponde ao período médio de início de crescimento da vegetação local expressado em dia juliano; *End*, que corresponde ao período médio de fim do ciclo de crescimento da vegetação expressado em dia juliano; *Middle*, que corresponde ao período de pico de crescimento da vegetação expressado em dia juliano e, por fim, *Max*, que corresponde ao valor máximo de NDVI alcançado no dia do pico, e *Increase/Decrease*, que correspondem aos períodos relacionados com a taxa de crescimento e senescência⁵ da vegetação. Estas são as principais métricas calculadas que serão analisadas neste trabalho.

Após a conclusão deste processamento, são criados arquivos, que para que seja possível uma melhor manipulação, é necessária sua transformação para o formato GeoTIFF, ou seja, o arquivo resultante do programa TIMESAT contendo as métricas fenológicas, deve ser novamente convertido para o formato Raster. Para isso, foi utilizado o Software ENVI em sua versão 4.8. Para esta etapa da pesquisa foi utilizada como base as primeiras imagens recortadas de acordo com os limites da área de estudo, a qual teve seus parâmetros incorporados pelos novos arquivos gerados, dentre estes, a projeção utilizada pelas imagens MODIS, que foi a WGS84, número de colunas e de filas, e a seus limites. Em seguida, após alterados os parâmetros das imagens a serem analisadas, as mesmas foram exportadas em formato GeoTIFF, dando sequência aos processamentos executados.

Na sequência, foram realizados processamentos visando o refinamento de dados relacionados as métricas referentes a dinâmica da vegetação do PNCM, as métricas *start*, *end* e *middle* tiveram seus valores transformados para dias julianos, o que facilitou a análise e causou uma melhor identificação dos períodos de início, fim e duração dos ciclos fenológicos. Ao fim desse processo, foram obtidos 17 rasters de cada métrica. O processo seguinte, foi a obtenção dos valores pixel a pixel de média de dias de início, duração e fim dos ciclos, bem como o

⁵ Processos que se referem ao envelhecimento e morte de uma planta ou parte dela.

cálculo do desvio padrão destes, nas diferentes áreas da Unidade de Conservação. Este cálculo foi realizado no programa Arcgis, usando a álgebra da mapas, que é disponibilizada na ferramenta *ArcTool Box*⁶ operações *Mean* e *Std* para os cálculos das medias e desvio padrão respectivamente para cada pixel das imagens utilizadas.

Ainda na ferramenta mencionada acima, por meio das operações *Create Random Points* e *Extract by Multiple Points*, fez-se uma extração aleatória de 1000 pontos nos limites da área de estudo, para calcular a ocorrência média das métricas por fisionomias da vegetação e por tipo de incidência de fogo. Para isso, seis níveis de incidências de queimadas foram definidos para este trabalho: Sem queima- SQ (Sem registro de queimadas); Muito baixo - MB (Até 1 ocorrência de queimada); Baixo - B (De 2 a 4 ocorrências); Médio- MED (De 5 a 7 ocorrências); Alto - A (De 8 a 10 ocorrências) e Muito alto - MA (Acima de 10 ocorrências).

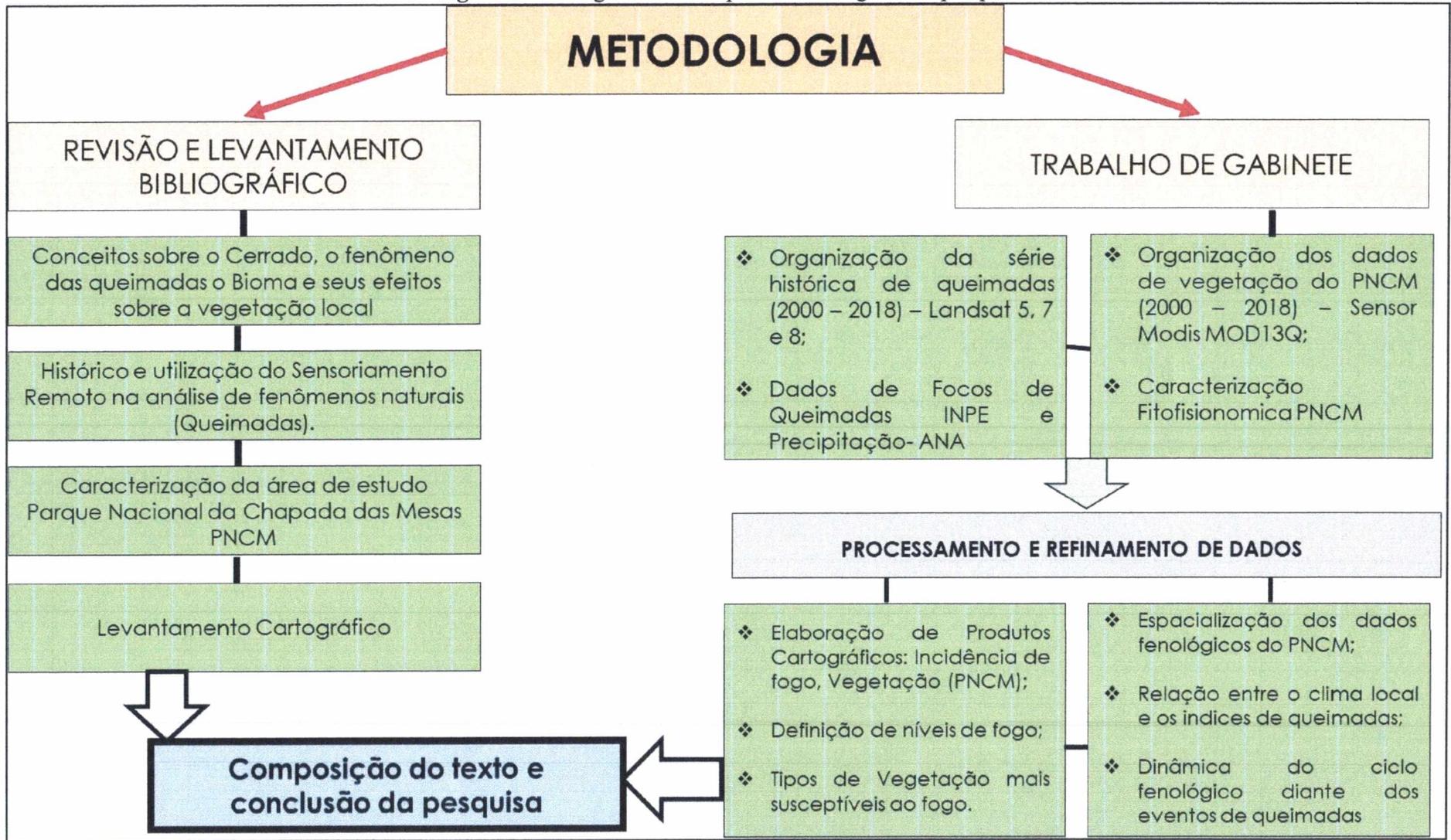
Com isto é possível determinar como cada nível de frequência de fogo influência nos períodos fenológicos dos diferentes tipos de fisionomia da vegetação do PNCM, quais as fisionomias que mais sofrem, as mais resilientes considerando a regeneração como medida. A partir da concatenação em Excel dos dados referentes aos tipos de vegetação e incidência de fogo no PNCM, foram gerados *Bloxplots*⁷, que representam a distribuição dos valores de cada métrica fenológica por categoria de fogo e vegetação. Nestes gráficos a linha central indica os valores medianos de cada métrica e o boxplot mostra as informações interquartis (limites de 0,1 e 0,9).

Ainda auxiliaram os dados provenientes do Banco de Dados de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, satélite MODIS- AQUA - T e, do portal HIDROWEB da Agencia Nacional de Águas- ANA, ambos séries históricas, no qual o primeiro, contendo os focos de queimadas por ano na Unidade de conservação e o segundo, contendo os dados pluviométricos das estações próximas a UC. Estes dados foram utilizados para a estabelecer uma relação entre os níveis de precipitação e o número de ocorrências de queimadas. Para o manuseio dos dados e posterior geração de resultados, foi utilizado um script disponibilizado pelo software Rstudio, o qual através dele se tornou possível a obtenção de séries históricas mensais e anuais de pluviosidade (mm) na região de estudo, comparando estes índices com as variações nas ocorrências de queimadas do local. Diante do exposto, foi elaborado, para uma melhor exemplificação de todos os procedimentos realizados durante todas as etapas desta pesquisa, o fluxograma abaixo (**Figura 3**).

⁶ Caixa de ferramentas do software Arcgis.

⁷ Diagrama de caixa: ferramenta gráfica que permite visualizar a distribuição e valores discrepantes de dados [...] disposição gráfica comparativa.

Figura 3: Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa



5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

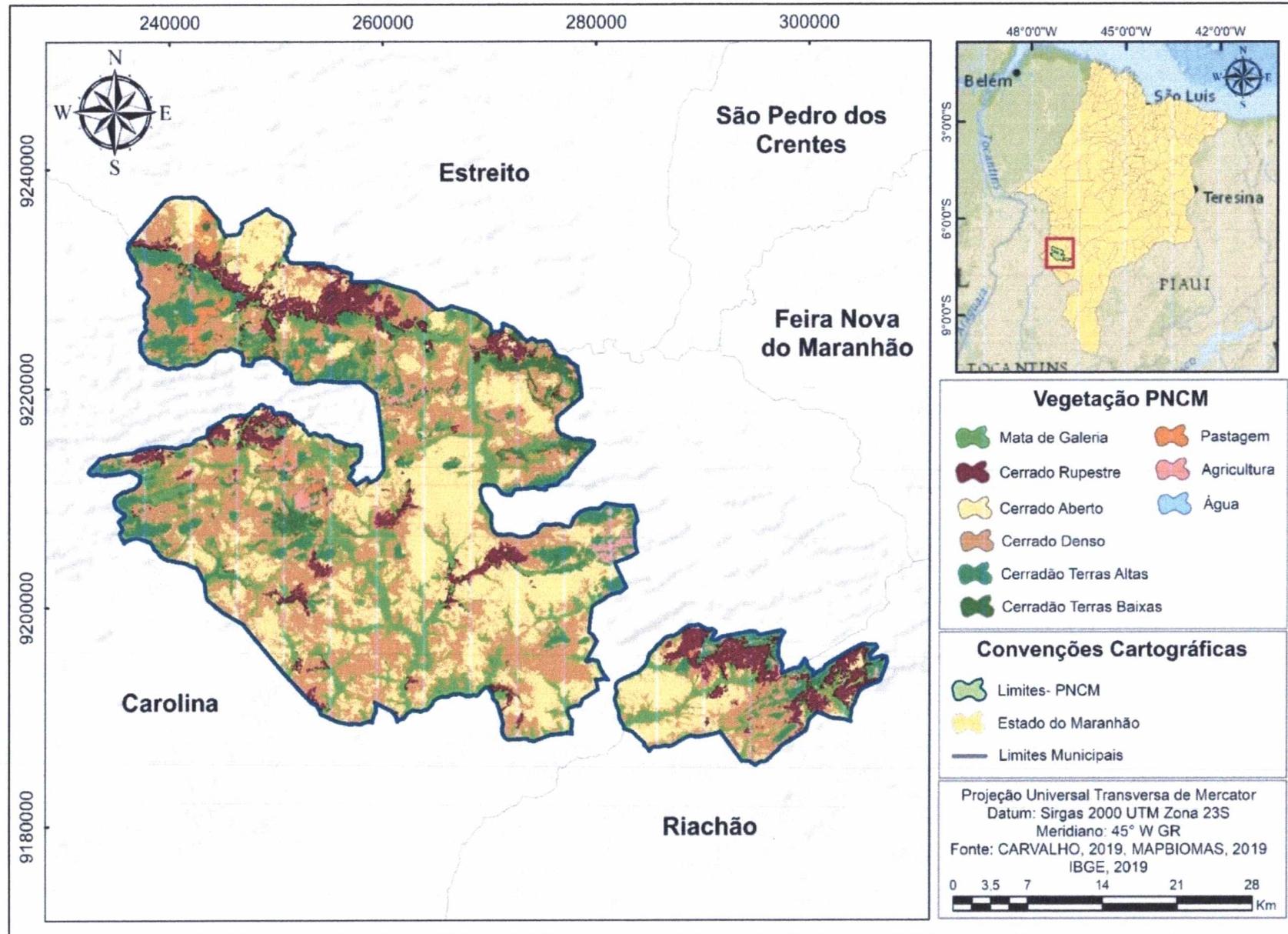
O Brasil possui uma grande variação de tipologias de clima e relevo, o que possibilita o progresso de uma variada gama de ambientes naturais em seu território, dentre estes, a vegetação, que no Maranhão, é condicionada pelo fato do estado se encontrar em uma região sob fortes influências do evento de transição climática envolvendo os climas amazônico e semiárido nordestino (CORREIA FILHO, 2011).

5.1 Vegetação do Parque Nacional da Chapada das Mesas

O PNCM possui características de vegetação típica do bioma Cerrado, dentre as quais se destacam a presença de fisionomias que possuem espécies de caráter savânico e florestal. Espécies características dos biomas Caatinga e Amazônia também são notadas no contexto da Unidade de Conservação (MMA, 2007). Nas áreas de solo arenoso ocorrem fisionomias de cerrado e campo sujo. Nas regiões com presença de cursos d'água, predomina a existência de matas de galerias bem conservadas, as quais que acompanham as margens dos rios (MARQUES, 2014).

Já em localidades com características de solos mais ricos, são as áreas onde há o maior registro de vegetação florestal, além da presença de manchas de matas semidecíduas. A UC ainda possui espécies que possuem valor econômico, por esse motivo estas acabam se tornando alvo de práticas de desmatamento ilegal (MMA, 2007). Carvalho (2019) ainda define toda essa caracterização destacando a espacialização das matas de galeria por toda a extensão do parque, o que retrata o seu grande potencial hídrico. Além disso, na região centro-sul e oeste, tem-se a presença concentrada de cerrado aberto. Outra observação é a presença de cerrado rupestre também na proximidade de canais fluviais e cerradão denso em áreas de grande elevação (**Mapa 2**).

Mapa 2: Vegetação do Parque Nacional da Chapada das Mesas



Fonte: CARVALHO (2019); MAPBIOMA (2019); IBGE (2019).

5.2 Incidências de Queimadas no Parque Nacional da Chapada das Mesas

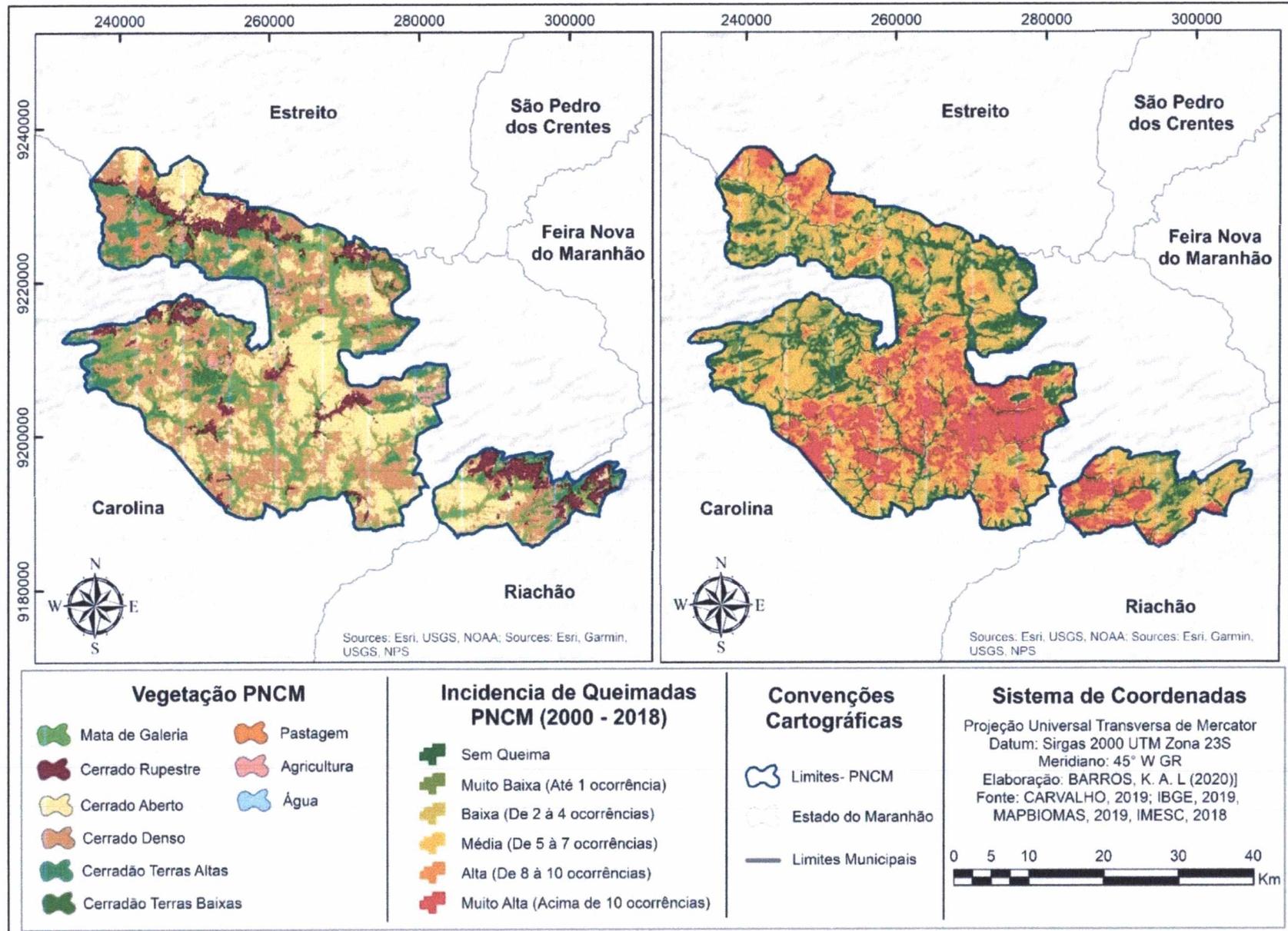
Normalmente, nas regiões do Cerrado a ocorrência do fogo é vista como necessária e de grande relevância para o processo de desenvolvimento das espécies de plantas do bioma e melhor ocorrência de processos ecológicos (germinação, floração, etc) (FIDELIS, 2011). No entanto, a ocorrência de queimadas de forma não supervisionada ou negligenciadas pode acarretar em incêndios de grandes proporções, alterações da frequência, intensidade e severidade do fogo sobre a biota local, o que impacta diretamente no ciclo fenológico das plantas do ambiente e em toda a dinâmica ambiental local. Sendo assim, fez-se um levantamento que também diz respeito aos tipos de vegetação do PNCM mais afetadas pela ocorrência de fogo ao longo dos anos abrangidos pela pesquisa.

Algumas características da vegetação do cerrado podem favorecer o processo de combustão da mesma. No PNCM, as ocorrências médias de queimadas nos anos abordados por este trabalho (2000 a 2018) foram definidas em cinco níveis: Sem registro de queimadas, Incidência muito baixa, Baixa incidência de queimadas, Incidência média de queimadas, Alta incidência de queimadas e Incidência muito Alta de queimadas. Quando submetidos a uma relação com a vegetação presente na Unidade de Conservação, notou-se que as áreas com os maiores índices de queimadas são as que possuem a presença de fisionomias de cerrado denso e cerrado aberto, se apresentando como as mais afetadas por queimadas por conta de suas características naturais, principalmente dominância do estrato herbáceo, que as tornam mais propensas ao fogo (ALMEIDA, 2015 *apud* CARVALHO, 2019); (**Mapa 3**).

Estes processos segundo Moraes (2007) se dão principalmente por conta de queimadas de pequeno porte, voltadas principalmente para atividades agrícolas (roças de toco) em que há o processo de eliminação da vegetação local para que assim seja possível realizar a limpeza solo, para que práticas de cultivos voltados a subsistência dos habitantes sejam realizadas, ainda se pode destacar a problemática relacionada as queimas de rebrota, como um fator de alto risco para o alastramento sem controle do fogo na Unidade de Conservação afetando de diversas formas a vegetação local, como aponta Moraes (2007, p. 4062):

[...] É denominada “queima da rebrota”, onde os pecuaristas utilizam várias espécies de gramíneas nativas como pastagem para apascentamento de bovinos. Quando se inicia o período chuvoso, as áreas de cerrado s.r. são incendiadas para que a parte seca do capim queime, rebrotando após alguns dias, folhas verdes. Essa prática muito comum é bastante preocupante, principalmente pelo fato da possibilidade da perda de controle do fogo, que invariavelmente todos os anos, escapa para áreas vizinhas, destruindo grandes áreas de cobertura vegetal do Cerrado, que pode demorar muitos anos para se recuperar, sobretudo em áreas mais frágeis.

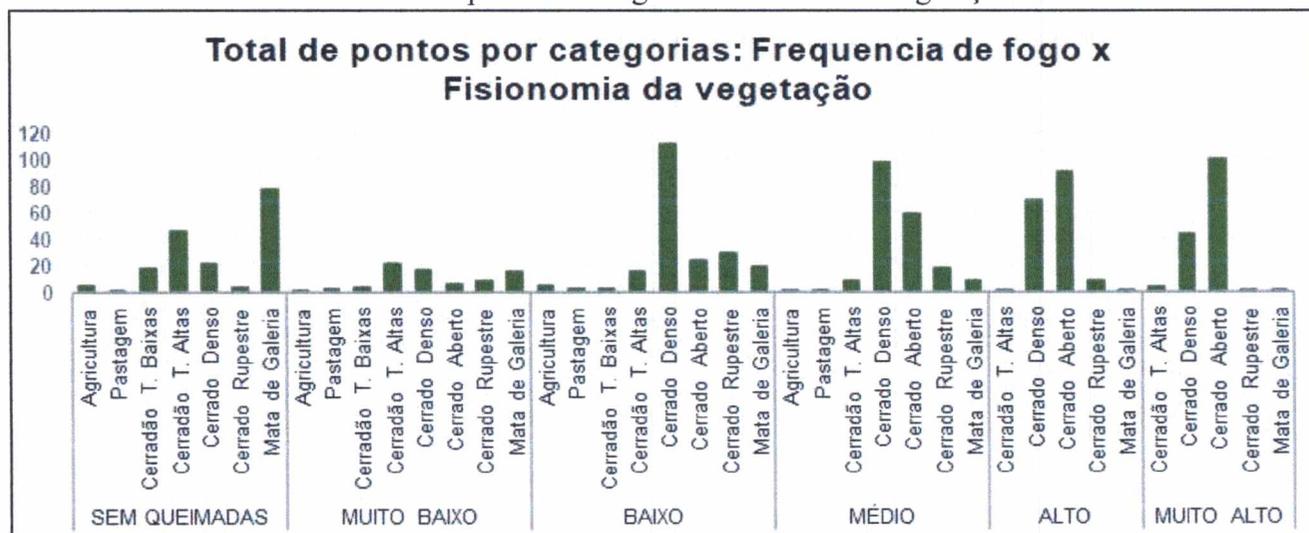
Mapa 3: Relação Vegetação x Queimadas - PNCM (2000 – 2018)



Elaboração: BARROS (2020); Fonte: CARVALHO, 2019 (projeto de mestrado em Agronomia e Ambiente, UEMA, 2019), MAPBIOMA, (2019).

Apesar de tornar possível a estabilidade ecológica do bioma, contribuindo na manutenção da existência de espécies, além de se tratar de um fator favorável ao processo de rebrota da vegetação local (HOFFMAN, 1999), a alta frequência de fogo é capaz de gerar o empobrecimento acelerado do ecossistema, redução nos níveis de biomassa, dentre outros impactos (MIRANDA et al., 2004). Sendo assim, fez-se uma análise, buscando identificar os níveis médios das métricas por fisionomias da vegetação e por tipo de incidência de fogo. (Gráfico 1).

Gráfico 1: Frequencia de fogo x Fisionomia da vegetação- PNCM



Fonte: CARVALHO (2019); BOKU-IVFL (2020), MAPBIOMA (2019).

Por meio da extração aleatória de pontos nos limites da área de estudo, com base nos dados referentes aos históricos de queimadas no PNCM, bem como suas fitofisionomias, pode-se obter informações que fazem referência ao quanto de ocorrências de determinado tipo de vegetação mencionado ocorre em cada um dos 6 tipos de frequências de fogo (Sem Queima-SQ, Muito Baixa- MB, Média- MED, Alta- A e Muito Alta- MA). O que se observa é que em regiões de Mata de galeria por exemplo, é notado um contexto em que não há ocorrência de fogo, quanto maior a frequência de queima, menos ocorrências se veem nestas áreas, estabelecendo uma relação inversamente proporcional ao fogo. Enquanto isso, a partir das classes de queima de baixa a muito alta acometem em maior quantidade sobre ambientes com presença de Cerrado aberto e Cerrado denso.

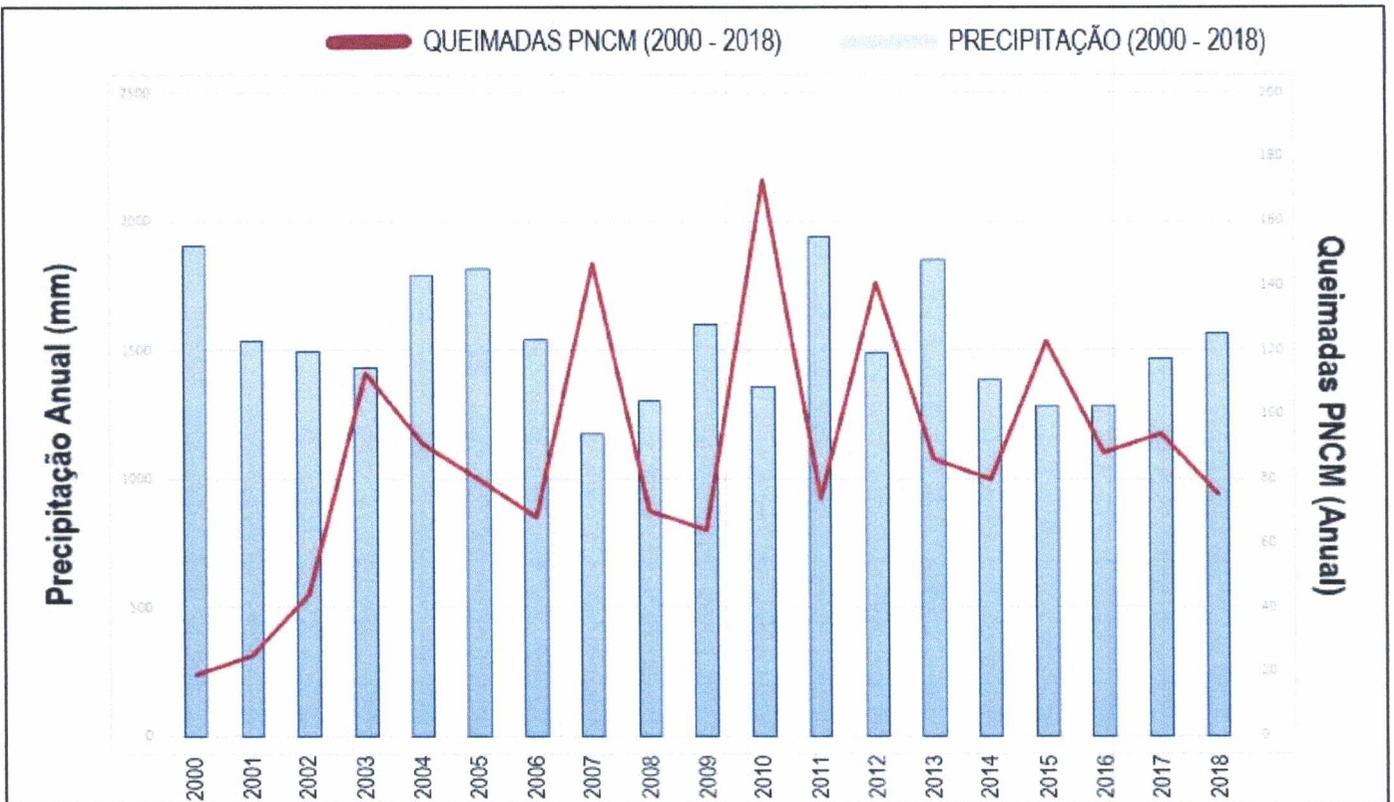
Cabe ressaltar que historicamente, as duas últimas fisionomias mencionadas possuem as maiores frequências de fogo da Unidade de Conservação, o que muitas vezes pode ser causado por sua composição, o que as tornam altamente propícias a combustão, o que facilita o alastramento do mesmo no ambiente, acarretando em diversas alterações.

Além das ocorrências de queimadas oriundas de atividades antrópicas, o bioma cerrado pode tem em seu território queimadas relacionadas a variação do ciclo hidrológico, a variação da temperatura local, o que faz com que algumas espécies presentes no bioma se tornem altamente inflamáveis durante as épocas de clima mais quente, pelo baixo quantitativo de umidade nelas presentes (RAMOS NETO e PIVELLO, 2000). Com isso, a dinâmica da ocorrência de queimadas acaba fortemente alterada em períodos com baixa umidade do ar, podendo assim, aumentar ou diminuir sua incidência (DEPPE et al., 2004, MACHADO et.al, 2014),

Estes eventos são possíveis uma vez que as ocorrências de precipitação podem aumentar os níveis de umidade do material combustível, reduzindo as chances de queimadas (UHL e KAUFFMAN, 1990). Enquanto isso, a falta de chuva durante um longo períodos de seca, diminui o quantitativo de líquidos presentes no material combustível, acelerando a queda das folhas em consequência do estresse hídrico acrescentando maior quantidade de material combustível seca presente na vegetação, o que a torna mais propensa a ocorrência de fogo (NEPSTAD et al., 1999).

O Parque Nacional da Chapada das Mesas se destaca por estar inserido em uma região com contexto em que o clima apresenta temperaturas altas durante todo o ano juntamente com caracterizações bem definidas de estações de verão e inverno, a primeira, mais seca e a última com ocorrências de pancadas de chuva, com temperaturas podendo atingir cerca dos 36°C. Este é um fator com poder potencial para alterar a ocorrência e a incidência de queimadas ao longo do tempo, o que vem a ser um fator atenuante para a alteração da dinâmica dos ciclos fenológicos da vegetação presente na UC. Com isso, fez-se uma análise histórica dos dados de precipitação anuais do PNCM em relação as ocorrências dos focos de queimadas ocorrentes na área de estudo (**Gráfico 2**).

Os dados de precipitação foram obtidos através do sistema HIDROWEB- ANA, e organizados dentre os anos referentes a pesquisa (2000 – 2018), através compilado dos índices mensais, foram obtidos os quantitativos anuais de precipitação referente a estacoes próximas ao PNCM. Já os dados de focos de queimadas foram obtidos no Banco de Dados de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – BDQ/INPE, que coleta os dados através do satélite de referência (MODIS AQUA_ T), os dados obtidos também se encontram nos intervalos referentes aos anos apontados na pesquisa. Após isso, fez-se a comparação dos resultados obtidos, analisando as influências do clima local nas ocorrências de queimadas na Unidade de Conservação ao longo dos anos.

Gráfico 2: Número de queimadas x Precipitação anual- PNCM (2000 – 2018)

Fonte: satélite de referencia MODIS AQUA - INPE (2020); HIDROWEB/ANA (2020).

De acordo com os resultados obtidos e as análises realizadas com os dados acima expostos, se pode notar é que especialmente na região do PNCM, os níveis de precipitação possuem uma relação inversamente proporcional aos números relacionados as ocorrências de queimadas na Chapada das Mesas. Os anos em que os índices de precipitação foram mais elevados, apresentaram os menores números relacionados de ocorrência de focos de calor. Além disso, é possível observar que nos períodos antes da criação do Parque (2005), havia um lapso temporal de três anos com baixos focos de queimadas para ocorrer um período de pico. A partir do ano de 2006, o que se pode notar é que este ciclo acaba se reduzindo para um intervalo de dois anos de baixas incidências de queima, para que se ocorresse um período de pico.

Entre 2001 e 2003, também é notada uma variação demonstrando que enquanto os níveis de precipitação sofrem queda gradual, somado a isto e outros fatores, os índices de queimadas sofreram uma grande elevação no período. Este é um exemplo também visto nos anos de 2007 e 2010, anos de secas históricas no Brasil, os quais apresentam respectivamente os menores índices de precipitação pós criação do PNCM, conseqüentemente, nestes mesmos anos, os índices de queimadas na UC apresentaram os maiores registros durante toda a série histórica, o que afeta drasticamente a dinâmica dos ciclos fenológicos da vegetação local.

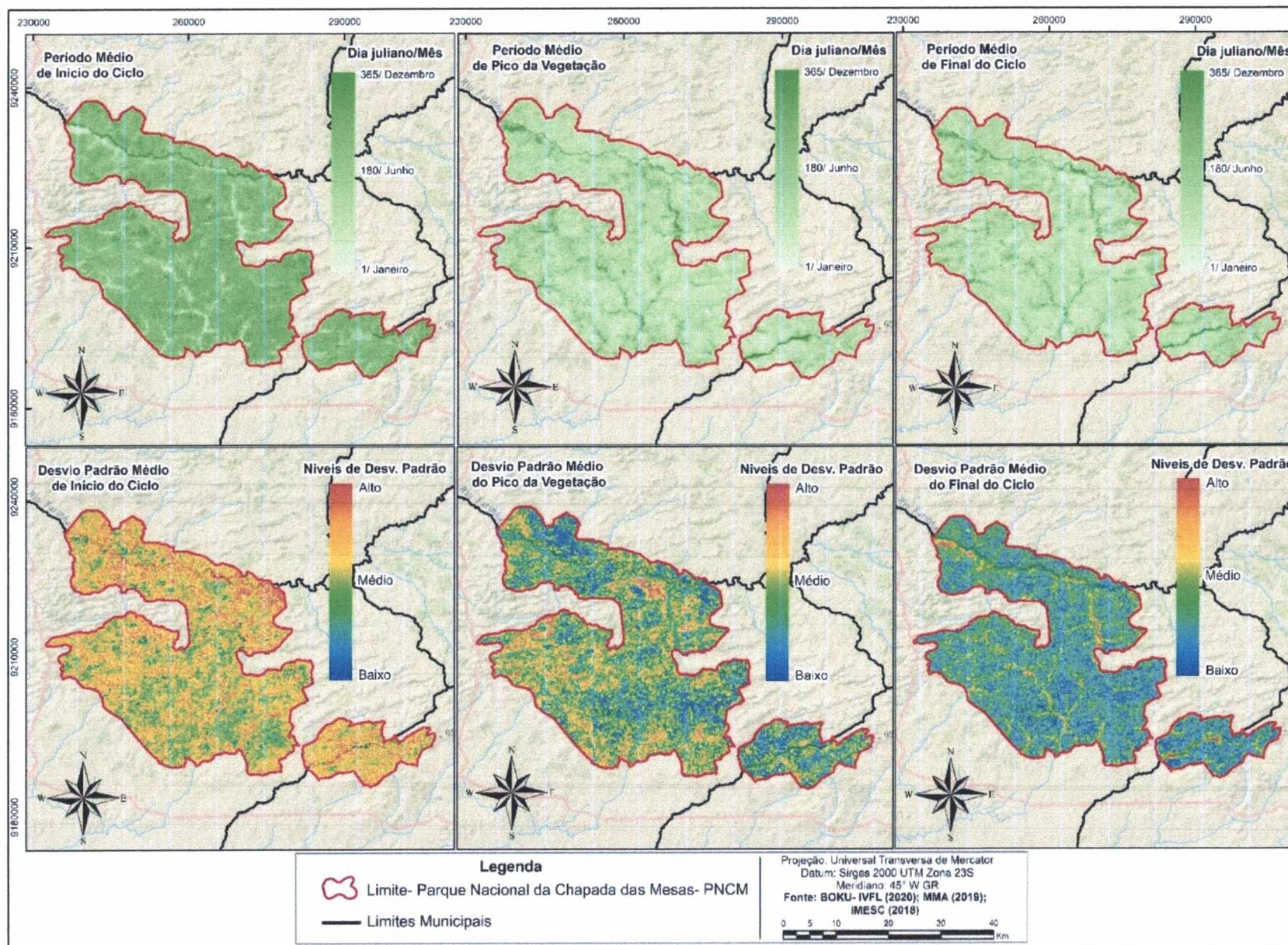
5.3 Dinâmica da vegetação do PNCM (2000 – 2018)

Conforme aponta Alvarado et.al (2017), o entendimento da situação referente aos regimes de fogo e das respostas das comunidades vegetais frente as ocorrências de fogo são práticas imprescindíveis para a avaliação da dinâmica de recuperação da vegetação local, além de direcionar melhores práticas de órgãos gestores, bem como desenvolver estratégias de prevenção, preservação e restauração em paisagens que se encontram em situações vulneráveis a ocorrências de fogo. Sendo assim, a avaliação da dinâmica da vegetação do PNCM diante das ocorrências de queimadas nos últimos anos se torna de suma importância, haja vista que a Unidade de conservação se encontra na zona de expansão da fronteira agrícola nacional, bem como se encontra nos últimos anos dentre as UCs do estado com maiores incidências de queimadas.

Sendo assim, as primeiras análises realizadas para a identificação destes eventos dizem respeito aos períodos médios de início do ciclo fenológico (*start*) da vegetação do PNCM quando a vegetação passa pelo seu processo de crescimento; aos períodos médios em que a vegetação atinge o pico dos índices da vegetação e (*middle*), logo após, o período médio do processo de encerramento do mesmo (*end*) onde a vegetação já senescente termina o período de crescimento anual. Estas métricas se alteram uma vez que a ocorrência de fogo na UC acontece na transição do período seco para o período de chuvas, ou após o início do ciclo de crescimento e em seguida, por conta da ocorrência de fogo há o processo de combustão da vegetação, fazendo com que os níveis de NDVI sejam próximos de zero, por conta do consumo total da biomassa existente pelo fogo.

Logo em seguida há a análise do desvio padrão relacionado a cada métrica fenológica, este cálculo estatístico diz respeito ao indicador da variação interanual das métricas para cada pixel avaliado, onde a caracterização de ocorrências de desvio padrão de valores baixos correspondem a áreas onde o período de início do crescimento (pico ou fim) de vegetação é homogêneo ao longo do tempo sem ocorrências de grandes alterações. Ocorrências de desvio padrão alto se relacionam a locais onde as métricas do período de crescimento (início, pico e fim) dispostas de maneira não homogênea ao longo do tempo, destacam uma grande variação interanual podendo ser causadas por variações climáticas (como secas extremas) ou causadas pela ocorrência do fogo (**Mapa 4**).

Mapa 4: Períodos de início, pico de NDVI e fim do ciclo fenológico - PNCM

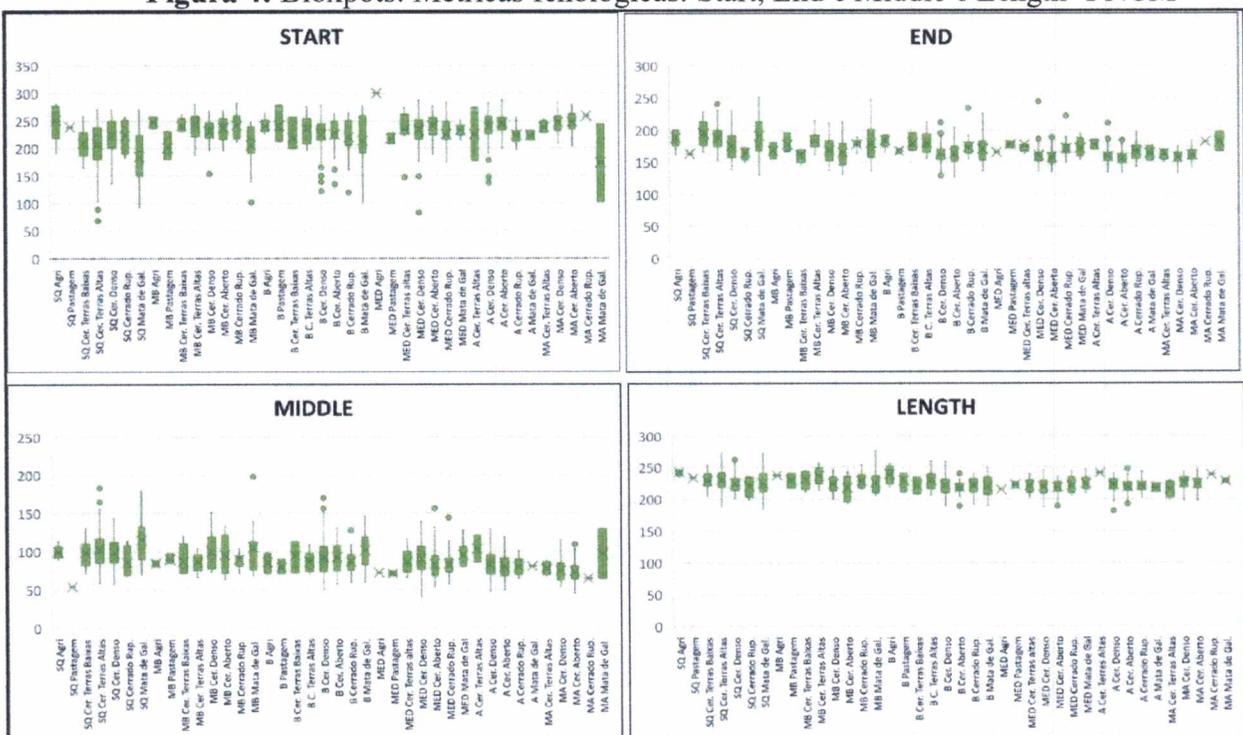


Fonte: BOKU – IVFL (2020); MMA (2019), IMESC (2018).

Para o análise das métricas expostas acima, é necessário indicar que para o cálculo referente aos períodos temporais de cada ciclo do mosaico de vegetação do PNCM (início, pico e fim do período de crescimento), foram utilizadas medições em dias julianos, desde o dia 1, correspondente ao mês 1 (janeiro) até o dia 365, que se relaciona ao último dia do ano em dezembro. Após a espacialização e análise dos dados já expostos, chega-se à conclusão de que os períodos de início do ciclo fenológico do parque para a maioria das fitofisionomias se iniciam historicamente nas proximidades do dia 300, que corresponde ao mês de outubro (em torno do dia 27 de outubro), se aproximando dos dias finais do ano (dia 360 até 365, do 26-31 de dezembro). Porém, nas áreas de matas de galeria, o período já se inicia geralmente após, nos primeiros meses ao longo dos anos.

A dinâmica da vegetação nas diferentes fitofisionomias do PNCM, em sua maioria presente em geral a data média do dia de picos do crescimento da vegetação nos meses de março e abril, nos quais quando as frequências de queimadas se mostram muito altas, o período sofre um avanço para o período referente ao início do mês de março (próximo aos dias Julianos 64 e 77), enquanto quando há uma baixa frequência de fogo este período se sofre um atraso para o início de abril (por volta dos dias 84 e 99) ao longo do tempo. O período médio do final do ciclo de crescimento se inicia após o momento em que esta atinge o seu pico, entorno dos dias julianos 166 e 180 (Correspondentes a segunda metade de junho e início de julho).

Figura 4: Bloxspots: Métricas fenológicas: Start, End e Middle e Length- PNCM



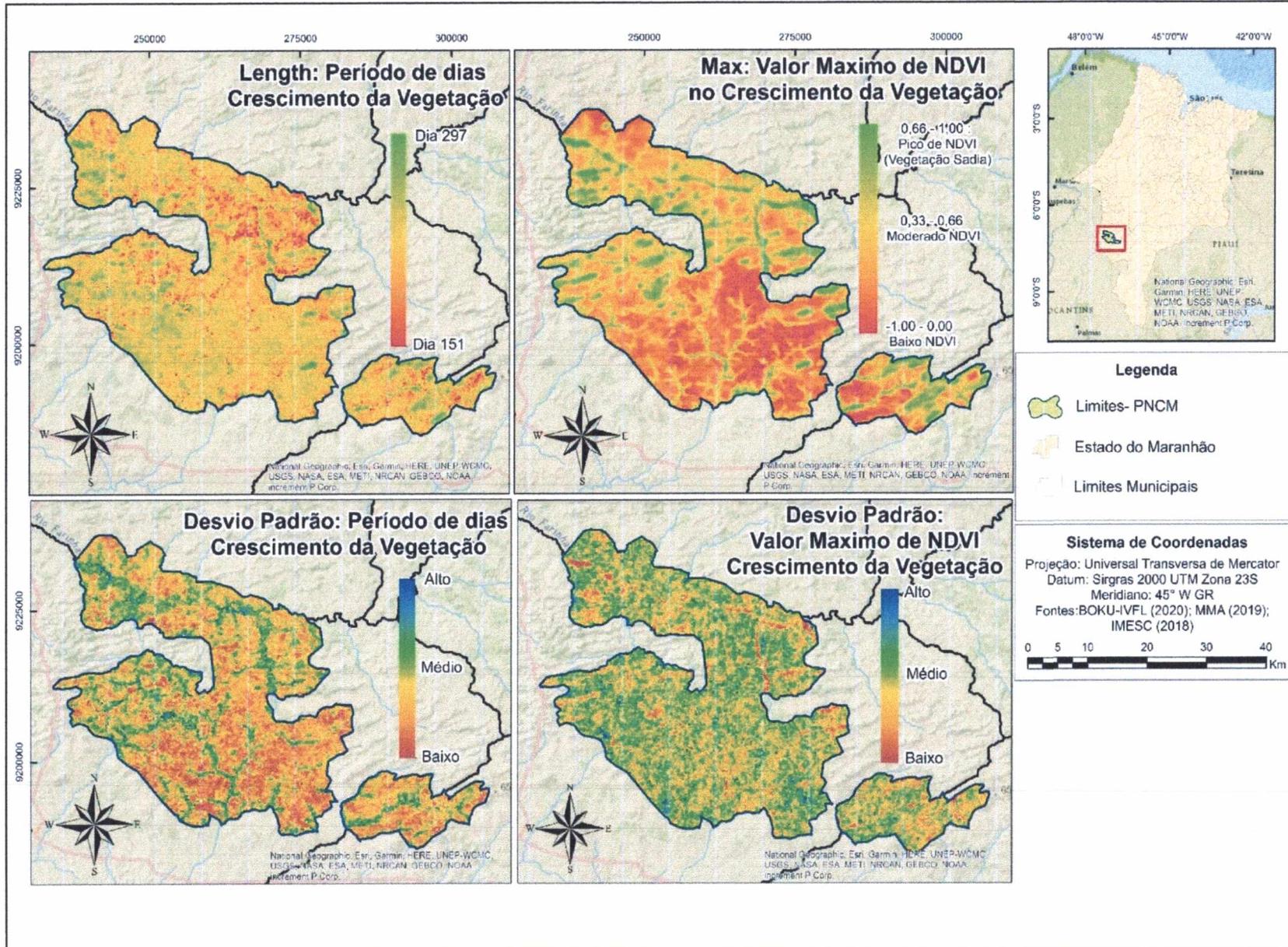
Fonte: BOKU- IVFL (2020).

No que diz respeito aos valores de desvio padrão dos períodos retratados, este vai indicar o quanto há variabilidade das métricas entre os anos, diante disso, entende-se que as regiões onde há a ocorrência de uma alto desvio padrão há uma grande variabilidade Interanual entre os períodos de cada ciclo, onde se observa que a data de início muda de forma maior (Mapa 4). Já as áreas com menor desvio indicam uma menor variabilidade interanual ocorrendo de maneira mais homogênea. Com isso se nota que os períodos relacionados ao início do ciclo fenológico da vegetação do PARNA são espacializados de maneira mais heterogênea tendendo maior variação interanual e os valores de desvios padrão altos, o que indica uma alteração interanual referente aos dias de início do crescimento vegetal.

O que se pode entender é que principalmente nas áreas do PNCM em que há a maior ocorrência de fogos no final do período seco, essa ocorrência corresponde com o início da época de crescimento no início do ciclo fenológico, o qual vem tendo sua data de início alterada, caracterizando-se por desvios padrões mais elevados. Enquanto isso as métricas de pico máximo no crescimento da vegetação e períodos de final do ciclo possuem desvios padrões caracterizados como baixos, o que demonstra que nestas áreas e nas épocas correspondentes a estes sub ciclos a dinâmica interanual é homogênea e assim, menos afeitada pela ocorrência do fogo.

Continuando com o prosseguimento das análises, as próximas métricas a serem analisadas foram correspondentes a duração do período de dias de crescimento da vegetação, ou seja, número de dias que a vegetação passa pelo ciclo de crescimento (length) e *Max*, que diz respeito ao valor máximo de NDVI alcançado no dia do pico de crescimento da vegetação (Mapa 5).

Mapa 5: Duração: Crescimento e níveis máximos de NDVI da vegetação- PNCM



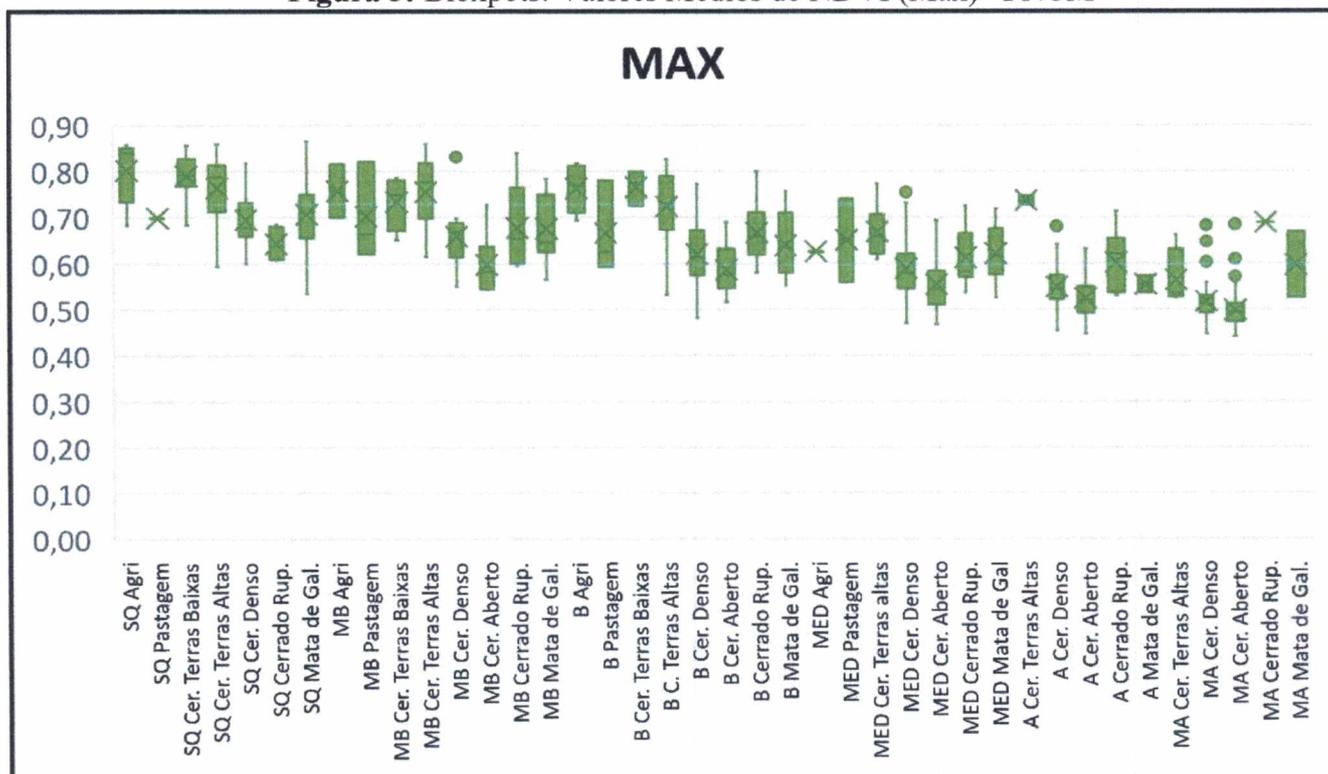
Fonte: BOKU – IVFL (2020); MMA (2019), IMESC (2018).

As médias de dias de crescimento da vegetação do PNCM, observam-se na espacialização acima, em que a UC em sua maioria possui uma quantidade de dias moderada a longa para o crescimento da vegetação, período este que se encaixa dentre os meses 5 (maio) ao 10 (outubro), (dias julianos 151-297 respectivamente), como apresentado na figura anterior. Na região mais ao norte, encontram-se as feições que apresentam os valores mais baixos de dias de crescimento e são nestas áreas em que se notam os níveis de desvio padrão mais elevado entre o início e o final deste ciclo.

Nesta porção do parque tem-se a presença de fisionomias de Cerrado rupestre, com predominância de Cerrado mais denso (áreas propícias a grandes incidências de fogo) e algumas áreas com presença de fisionomias de mata de galeria. Com este evento os valores de NDVI da vegetação acabam fortemente alterados pela ocorrência ou não de fogo na região (**Figura 5**). Estes valores irão determinar os níveis relacionados a abundância e a situação da vegetação local (saudável ou não) por meio de valores pré definidos, como aponta BORATTO (2013, p.4) ao citar (ROUSE et al., 1973):

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é a razão entre a diferença das refletividades das bandas no infravermelho próximo e no vermelho e pela soma dessas mesmas refletividades (Rouse et al., 1973). O NDVI é um indicador sensível da quantidade e condição da vegetação, cujos valores variam no intervalo de -1 a 1 [...]

Figura 5: Bloxplots: Valores Médios de NDVI (Max)– PNCM



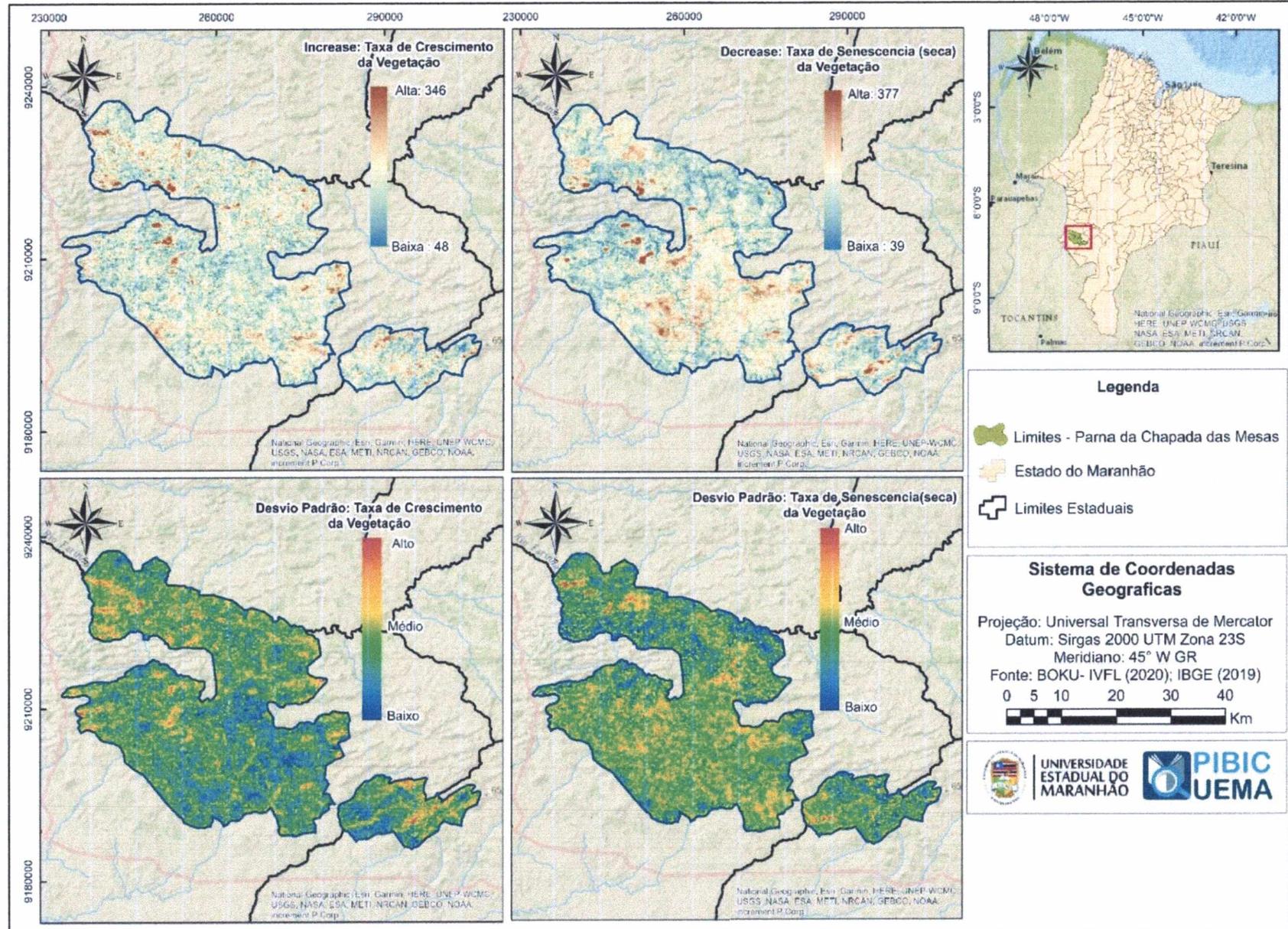
Fonte: BOKU- IVFL (2020).

Os valores máximos de NDVI no período de crescimento da vegetação no PARNA se apresentam em sua maioria com muitas áreas com valores baixos do índice, principalmente na região central do PNCM, região com predominâncias de fisionomias de Cerrado aberto, que tem maior cobertura de vegetação herbácea de baixo NDVI, e que apresentou ao longo dos anos como a porção do parque que mais apresentou eventos relacionados as queimadas da UC. Esta informação é corroborada pela espacialização do desvio padrão relacionado a esta métrica, onde justamente as áreas já mencionadas apresentaram um desvio padrão com intervalos considerados grandes, representando alterações bruscas trazidas pela ocorrência elevada de fogo.

O que se pode concluir de acordo com a figura acima (figura 5) é que conforme ao aumento da frequência do fogo na região do Parque aumenta, mais dificuldade a vegetação local tem de atingir os índices máximos de NDVI, principalmente nas áreas que tendem a queimar em maiores proporções. Isto pode-se observar em áreas de Cerrado Rupestre e Cerrado Aberto, as quais ao longo dos anos apresentam ocorrências constantes de queimadas. O contrário já ocorre nas regiões com presença de Mata de galeria, que constantemente apresentam índices não tão altos de ocorrência de fogo tendem a alcançar níveis maiores de NDVI em menor espaço de tempo.

Por fim, as últimas métricas analisadas por este trabalho fazem referência taxas de Crescimento e Senescência da vegetação do PNCM entre os anos de 2000 e 2018. Nestas é possível observar que O parque apresenta um contexto em que a taxa do crescimento da vegetação em áreas em que há a ocorrência de fogo se mostra mais lenta, no entanto os processos relacionados ao fogo fazem com que a taxa relacionada a senescência, ou seja, a o dessecamento da vegetação se mostrem acentuados, quase 9 vezes mais rápido que as outras regiões do PNCM. Outra característica a se notar é referente ao desvio padrão da de ambos os períodos (crescimento e senescência) (**Mapa 6**).

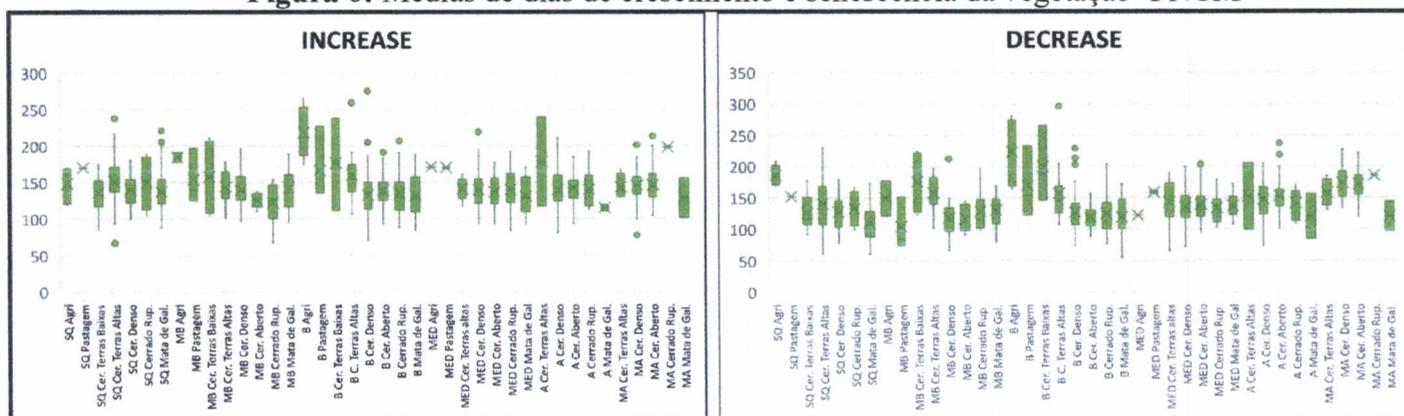
Mapa 6: Taxas de Crescimento e senescência da vegetação- PNCM (2000 – 2018)



Fonte: BOKU – IVFL (2020); MMA (2019); IMESC (2018).

Outro fator de importante destaque está relacionado ao fato de que enquanto o período de crescimento (increase) da vegetação é um processo que demanda mais tempo, seus níveis de desvio padrão se mostram em níveis baixos de variabilidade, o que retrata uma realidade em o tempo em que este processo ocorre é de maneira mais homogênea entre os anos analisados. Já as métricas relacionadas ao processo de dissecação da vegetação (decrease ou senescência), muito relacionado aos altos índices de ocorrência de queimadas, principalmente no centro sul regiões do parque com fitofisionomias mais frágeis ao fogo, tem um desvio padrão com valores que vão de médio a alto, indicando uma grande variação no período de ocorrência de fogo (Figura 6).

Figura 6: Médias de dias de crescimento e senescência da vegetação- PNCM



Fonte: BOKU- IVFL, 2020

O que pode se ver na figura acima está resulta dos cálculos e da análise dos valores de velocidade dos períodos de crescimento e senescência (morte da vegetação) em relação aos níveis de queimadas e as fitofisionomias presentes no PNCM (Sem Queima- SQ, Muito Baixa- MB, Média- MED, Alta- A e Muito Alta- MA). O que se pode constatar por meio desta é que conforme se comparam as frequências de fogo, as regiões com frequências baixa e muito baixa de fogo são as que sofrem maiores variações na taxa de crescimento, geralmente, fazendo com que suas taxas de crescimento sofram variações, com taxas mais baixas em áreas de queimadas média, alta e muito alta; e taxas mais altas nos locais com frequências baixas e muito baixas. Também pode ser notado que os mesmos padrões foram observados para os valores de senescência da vegetação (decrease).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cerrado brasileiro, apesar de ser um dos maiores biomas em extensão e que possui um dos maiores centros de biodiversidade no mundo, vem passando por inúmeras transformações geradas principalmente pela ocorrência de queimadas, que quando ocorrem de maneira descontrolada acarretam em impactos fortíssimos sobre a vegetação do bioma. O presente estudo permite o uso dos produtos de índice de vegetação do sensor MODIS, para que desta forma seja possível a reconstrução do histórico de regeneração e da dinâmica da vegetação após a ocorrência do fogo na área do Parque Nacional da Chapada das Mesas -PNCM, num intervalo definido de 18 anos (de 2001 até 2018). Desta forma, se torna possível uma melhor gestão e manejo dos recursos naturais existentes na unidade de conservação.

Diante disso, estudos que envolvem técnicas de sensoriamento remoto facilitam a identificação das modificações sofridas pela vegetação conforme o passar do tempo, por meio de estudos espaço-temporais, além de possuir uma série de baixo custo. por meio das atividades desenvolvidas por esta pesquisa e todas as análises aqui realizadas, é possível concluir que:

- A área de estudo, que compreende os limites do Parque Nacional da Chapada das Mesas- PNCM possui uma variedade de ambientes de diferentes tipos de vegetação que apresentam um comportamento fenológico diferenciado a cada regime de fogo ao longo dos anos abordados pela pesquisa;
- A ocorrência de queimadas em números mais elevados dentro do PNCM é caracterizada principalmente em sua porção centro sul, principalmente em áreas onde há a presença de fisionomias de vegetação do tipo Cerrado denso e Cerrado aberto;
- Conforme o fenômeno sofre aumento ou redução na incidência, estes eventos acabam acarretando numa mudança nos ciclos fenológicos da vegetação, alterando as datas de início e fim do ciclo, níveis máximos de NDVI da vegetação, entre outros; contexto no qual as regiões com maiores ocorrências históricas de fogo, apresentam a velocidade de crescimento mais lento em relação as áreas com menores incidências;
- Com relação aos índices de precipitação em detrimento do número de focos de queimadas registrados ao longo dos anos abordados por este estudo, tornou-se possível identificar que a ocorrência elevada de chuvas ou não, bem como toda dinâmica climática da região possuem influência direta na ocorrência de queimadas;

- Ainda é possível destacar que os anos em que ocorreram os menores índices de precipitação, também apresentaram os maiores números de focos da Unidade de Conservação, além disso, pode-se observar ainda por meio dos dados expostos que em determinado período de tempo (2000 – 2003) , (2004 – 2007) os intervalos entre os picos dos eventos mais frequentes de fogo tinham entre si um intervalo de média a cada 3 anos. Com o passar dos anos, este intervalo foi diminuindo e em detrimento disto, também as taxas de precipitação anuais, especialmente no ano de 2010, com os maiores números de focos de fogo.

Todos estes apontamentos e a crescente vista de eventos relacionadas a queimadas descontroladas nos dias atuais, trazem à tona a importância desta pesquisa, já que a partir dela, pode-se mapear de melhor forma as ocorrências destes fenômenos, facilitando a tomada de decisão, direcionamento e melhor manejo e até mesmo a prevenção de novas ocorrências, que venham afetar as fitofisionomias do Cerrado no PNCM, podendo se estender a outras Unidades de Conservação a nível Estadual e Nacional. Além disso, pesquisas como a apresentada ainda podem servir de importante suporte metodológico e científico para o monitoramento de áreas queimadas e a detecção de áreas de risco de queimas, que podem afetar no curto ou longo prazo a resiliência e a recuperação das comunidades de Cerrado ameaçadas ou degradadas pelos incêndios frequentes ou de larga escala.

REFERENCIAS

- ALVES, D. B.; ALVARADO, S. T. **Variação espaço-temporal da ocorrência do fogo nos biomas brasileiros com base na análise de produtos de sensoriamento remoto**. *Geografia*, v. 44, n. 2, p. 321, 2019;
- ALMEIDA, C. **Relatório de Atividades Projeto Cerrado Jalapão no Parque Nacional da Chapada das Mesas em 2014**. Carolina, 2015;
- 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;
- 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.;
- ARAGÃO, L. E. O. C. et. al. **Fingerprints of the 1997/1998 and 2005 droughts in Amazonian rainforests**. *Geophys*, 2007;
- BARCELLOS, T. G. **Efeitos do fogo sobre a fauna e a flora no cerrado**. Monografia – Licenciatura em Ciências Biológicas, Centro Universitário de Brasília, 37 p., 2001;
- BARRET, E. C; CURTIS, L. F. **Introduction to environmental remote sensing**. London; Chapman and. Hall, 426p. 3. Ed; 1992;
- BORATTO, I. M. de P.; GOMIDE, R. L. **Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE;
- CALDAS, J. M.; SILVA, F. B.; JUNIOR, C. H. L. S. **Análise de focos de queimadas no parque estadual do mirador utilizando um sistema de informação geográfica – sig, estado do maranhão, Brasil**, XIV Safety, Health and Environment World Congress, Cubatão- Brasil, 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 ago. 2020;
- CARVALHO, I. S. de. **Análise espaço-temporal do regime de queimadas no Parque Nacional da Chapada das Mesas, Maranhão** 76 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.;
- CARVALHO, Carlota (Org.). **O sertão: subsídios para a história e a geografia do Brasil**. Notas de Adalberto Franklin. 3 ed. ver. e ampl. Imperatriz: Ética, 2006;

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;

CORREIA FILHO, Francisco Lages; GOMES, Érico Rodrigues; NUNES, Ossian Otávio e LOPES FILHO, José Barbosa. Relatório diagnóstico do município de Riachão. Projeto **Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, no estado do Maranhão-Teresina:** CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2011. CDD 551.49098121.

COUTINHO, L.M. **Ecological Effects of Fire in Brazilian Cerrado.** *Ecological Studies.* (ed. by B.J. Huntley) and B.H. Walker), p. 273–291. Springer Berlin Heidelberg, 1982;

COUTINHO, L. M. **O cerrado e a ecologia do fogo.** *Ciência Hoje*, 1990;

DEPPE, F.; PAULA, E.V.; MENEGHETTE, C.R.; VOSGERAU, J. **Comparação de índice de risco de incêndio florestal com focos de calor no Estado do Paraná.** *Floresta*, v. 34, n. 2, p. 119-126, 2004;

DROBYSHEV, I., GOEBEL, P.C., HIX, D.M., Corace III, R.G. & SEMKO-DUNCAN, M.E. **Interactions among forest composition, structure, fuel loadings and fire history: A case study of red pine-dominated forests of Seney National Wildlife Refuge, Upper Michigan.** *Forest Ecology and Management*, **256**, p.1723–1733, 2008;

DURIGAN, G., SIQUEIRA, M.F. de & FRANCO, G.A.D.C. Threats to the Cerrado remnants of the state of São Paulo, Brazil. *Scientia Agricola*, p.355–363, 2007;

DURIGAN & RATTER, J.A. **The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation.** *Journal of Applied Ecology*, p.11–15, 2016;

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

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*, 25:10, 1837-1860, 2004;

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.;

FROST, P. **The ecology of miombo woodlands.** *Cambell B.M. Bogon*, p. 11–57. Indonésia, 1996;

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.

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: Imagens de satélites para estudos ambientais**. 2ª Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 97 p. 2007;

_____. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011;

GOÊS, A.M.O.; FEIJÓ, J.F. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 8, n.1, p. 57-67, 1994. Disponível em: <
<http://vdpf.petrobras.com.br/vdpf/todasEdicoes.do?acao=consultarTodasEdicoes&publicacaoSelecionada=21&codEdicaoSelecionada=&d-7823883-p=2> > acesso em: 17/01/2020;

HOFFMANN, W. A. Fire and Population Dynamics of Woody Plants in a Neotropical Savanna: Matrix Model Projections. *Ecology*, [s.l.], v. 80, n. 4, p.1354-1369, jun. 1999;

HOFFMANN, W.A., ADASME, R., HARIDASAN, M., T. de Carvalho, M., GEIGER, E.L., Pereira, M.A.B., Gotsch, S.G. & Franco, A.C. Tree topkill, not mortality, governs the dynamics of savanna-forest boundaries under frequent fire in central Brazil. *Ecology*, p.1326-1337, 2009;

HUETE, A. R. Vegetation indices, remote sensing and forest monitoring. *Geography Compass* 6: 513- 532, 2012;

ICMBio. Nota Técnica 001/2016-PNCM. Dias, P.A. (Elab.). Carolina-MA, 2016. Disponível em:
 <
<https://d1ij67glom3ric.cloudfront.net/attachments/9f5c2d2a60e2d832acdf795b0c51aabc5ab248e6/store/ba52a9053567b94f87754231970040d3b790e1f0c5de5e5f498109fe0/Relatorio%20BM%25C3%258EF%20Parque%20Nacional%20Chapada%20das%20Mesas%20Projeto%20Cerrado-Jalap%25C3%25A3o%20%25282015%202529.pdf> >. Acesso em: 15 mar. 2020.;

IBAMA/PREVFOGO. **Plano Operativo de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais do Parque Nacional da Chapada das Mesas**—Carolina, março de 2007. Disponível em: <
http://www.ibama.gov.br/phocadownload/prevfogo/planos_operativos/plano_operativo_parna_da_chapada_das_mesas.pdf > acesso em: 11/01/2020;

JÖNSSON, P. & EKLUNDH, L. TIMESAT—a program for analyzing time-series of satellite sensor data. *Computers & Geosciences*, 30, p. 833-845, 2004.;

KLINK, C.A. & MOREIRA, A.G. Past and current human occupation, and land use. *The Cerrados of Brasil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna*, p.69-90, 2002;

KLINK, C.A. & MACHADO, R.B. Conservation of the Brazilian cerrado. *Conservation biology*, 19, p.707-713, 2005;

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

LOPES, Edineudo Oliveira, GLÓRIA, Ronnio Filintro Décio, RIBEIRO, Williams da Silva. **Relação Entre a Ocorrência de Queimadas, Variação Climática e o Regime Hidrológico do Rio Araguaia no Município de Conceição do Araguaia nos Últimos Dezenove Anos**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 08, Vol.12, pp. 31-52, agosto de 2018. ISSN:2448-0959;

MACEDO, N. D. de. **Iniciação à pesquisa bibliográfica: guia do estudante para fundamentação do trabalho de pesquisa** (2a ed.). São Paulo: Loyola, 1994;

MACIEL, E. L. **Levantamento Prospectivo de Cavernas na Área I do PNCM e Cadastramento das encontradas junto a SBE/CECAV**. São Luís: UEMA, 2017. 47p.

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;

MASELLI, F. & CHIESI, M. **Integration of multi-source NDVI data for the estimation of Mediterranean forest productivity**. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 55–72., 2006;

MENDES, I de C; CUNHA, M. H da; JUNIOR, F. B dos; FERNANDES, M. F; CHAER, G. M; MERCANTE, F. M; ZILLI, J. E. **Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade?** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009;

MIRANDA, H. S. et al. **Queimadas de Cerrado: caracterização e impactos**. In: AGUIAR, L. M. S.; CAMARGO, A. J. A. (Eds.). **Cerrado: ecologia e caracterização**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p.69-123;

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

_____. **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 abr. 2020;

MACEDO, N. D. de. **Iniciação à pesquisa bibliográfica: guia do estudante para fundamentação do trabalho de pesquisa** (2a ed.). São Paulo: Loyola, 1994;

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. 2020.;

MARTINS, F. P.; SALGADO, A. A. R.; BARRETO, H. N. **Morfogênese da chapada das mesas (maranhão Tocantins): paisagem cárstica e poligenética**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.18, nº3, 2017;

- MIRANDA, H.S.; BUSTAMANTE, M.M.C. & MIRANDA A.C. 2002. **The fire factor**, p. 51-68. *In*: Oliveira, P.S. & Marquis, R.J. (orgs.). **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. Columbia University Press. 424p.;
- MISTRY, J.; BERARDI, A.; ANDRADE, V.; Krahô, T.; Krahô, P. & LEONARDOS, O. **Indigenous fire management in the Cerrado of Brazil: the case of the Krahô of Tocantins**. *Human Ecology*, 33: p.356-86. 2005.
- MOREIRA, A.G. **Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil**. *Journal of Biogeography*, p.1021-1029, 2000;
- MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, INPE, 2002, 23p.
- MORAES, R. C.; LIMA, L. P. **Utilização de SIG como ferramenta na gestão do Parque Nacional Chapada das Mesas (Carolina/MA)**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4057-4064.;
- MORELLATO, L. P. C. **As estações do ano na floresta**. *In*: LEITÃO FILHO, H.F. E MORELLATO, L.P.C. (Orgs.). **Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana: Reserva de Santa Genebra**. Campinas: UNICAMP, 1995. p.187-192;
- 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;
- PAUSAS, J.G., BRADSTOCK, R.A., KEITH, D.A. & KEELEY, J.E. **Plant functional traits in relation to fire in crown-fire ecosystems**. *Ecology*, p.1085-1100, 2004;
- NEPSTAD, D. C., MOREIRA, A. & ALENCAR, A. **Flames in the Rainforest: Origins, Impacts and Alternatives to Amazonian Fire (Pilot Program for the Conservation of the Brazilian Rainforest**, World Bank, Brasília, 1999).
- 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;
- 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.
- PARITSIS, J., RAFFAELE, E. & VELEN, T.T. **Vegetation disturbance by fire affects plant reproductive phenology in a shrubland community in northwestern Patagonia, Argentina**. *New Zealand Journal of Ecology*, 387-395, 2006;
- QUARTAROLI, C. F.; CRISCUOLO, C.; HOTT, M. C.; GUIMARAES, M. **Alterações no uso e cobertura das terras no nordeste do Estado de São Paulo no período de 1988 a 2003**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2006. (Documentos Embrapa);

RAMOS NETO, M. B.; PIVELLO, V. R. **Lightning fires in a Brazilian savanna national park: Rethinking management strategies.** *Environmental Management*, New York, v. 26, p. 675-684, 2000.

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;

RIVEIRA-LOMBARDI, R.J. **Estudo da recorrência de queimadas e permanência de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens TM/Landsat.** Dissertação de Mestrado. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2003;

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;

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS.** In: *Third ERTS Symposium, Proceedings*, NASA SP-351, NASA, Washington, DC, v. 1, p. 309-317, 1973.

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;

SANTOS, A. R. dos. **Apostila de Sensoriamento Remoto.** Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Centro de Ciências Agrárias - CCA - Departamento de Engenharia Rural. Porto Alegre, Espírito Santo, pg 1 - 87, 2013;

SANTOS, J. F. **Estatística de incêndios florestais em áreas protegidas no período de 1998 a 2002.** Curitiba-PR: UFPR, 2004. 76p.;

SILVA, A.S; SILVA, M.C. **Prática de queimadas e as implicações sociais e ambientais na cidade de Araguaína – TO.** *Caminhos de Geografia – revista on-line*, 2006;

SILVA, J. A. **Direito Ambiental Constitucional.** 7º Ed. São Paulo: Malheiros Editores, 2007;

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

SILVA, D. M. dá; LOIOLA, P de P.; ROSATTI, N. B; SILVA, I. A.; CIANCIARUSO, M. V.; BATALHA, M. A. **Os efeitos dos regimes de fogo sob a vegetação de cerrado no Parque Nacional das Emas, GO: considerações para a conservação da diversidade.** *Biodiversidade Brasileira*, Brasília, DF, v. 1, n. 2, p. 26-39, dez. 2011;

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.;

- SIMON, M.F. & PENNINGTON, T. **Evidence for Adaptation to Fire Regimes in the Tropical Savannas of the Brazilian Cerrado.** *International Journal of Plant Sciences*, p.711–723, 2012;
- SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDAO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. F. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar.** Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 58-73.;
- 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.;
- TOZZO, R. A.; Marchi, E. C. **Unidades de Conservação no Brasil: uma visão conceitual, histórica e legislativa.** *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*, p.508-523, 2014;
- UHL, C. & KAUFFMAN, J. B. **Deforestation, fire susceptibility and potential tree responses to fire in the eastern Amazon.** *Ecology*, p.437–449 1990;
- 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.;
- WESSELS, K.J., VAN DEN BERG, H.M., VAN DER MERWE, J.P.A., Smith, H.J., VAN ZYL, A. & TWYMAN, L. **Mapping and monitoring the conservation status of the natural resources of Mpumalanga province by means of remote sensing and GIS technology.** *Pretoria (South Africa): ARC-Institute for Soil, Climate and Water*, 2001.;
- WILLIAMS, R.J. **Fire and floral phenology in a humid tropical savanna at Kapalga, Kakadu National Park, northern Australia.** p. 54–59, 1997;
- WILLIAMS, A.A.J., KAROLY, D.J. & TAPPER, N. (2001) **The sensitivity of Australian fire danger to climate change.** *Climatic Change*, p.171–191., 2001;
- WROBLESKI, D.W. & KAUFFMAN, J.B. **Initial effects of prescribed fire on morphology, abundance, and phenology of forbs in big sagebrush communities in southeastern Oregon.** *Restoration Ecology*, p.82–90, 2003;