



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



EMANOELLE SOUSA BAETA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE MAPEAMENTOS DE CICATRIZES DE FOGO NA
TERRA INDÍGENA GOVERNADOR, MUNICÍPIO DE AMARANTE DO
MARANHÃO**

Chapadina – MA

Dezembro de 2022

EMANOELLE SOUSA BAETA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE MAPEAMENTOS DE CICATRIZES DE FOGO NA
TERRA INDÍGENA GOVERNADOR, MUNICÍPIO DE AMARANTE DO
MARANHÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Profa. Dra. Kamilla Andrade de Oliveira.

Coorientadora: Ana Karla da Silva Oliveira.

Chapadinha – MA

Dezembro de 2022

EMANOELLE SOUSA BAETA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola.

TCC defendido e aprovado, em 23 de dezembro de 2022, pela Comissão Examinadora constituída pelos professores:

Profª. Dra. Kamilla Andrade de Oliveira
Orientador(a)

Pós-Dra. Carolina Jaramilo Giraldo
Examinador(a)

MSc. Maiane Rodrigues do Nascimento
Examinador(a)

Chapadinha – MA
Dezembro de 2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Baeta, Emanuelle Sousa.

ANÁLISE COMPARATIVA DE MAPEAMENTOS DE CICATRIZES DE
FOGO NA TERRA INDÍGENA GOVERNADOR, MUNICÍPIO DE
AMARANTE DO MARANHÃO / Emanuelle Sousa Baeta. - 2022.

56 f.

Coorientador(a): Ana Karla da Silva Oliveira.

Orientador(a): Kamilla Andrade de Oliveira.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade
Federal do Maranhão, Chapadinha - MA, 2022.

1. Área Protegida. 2. Cicatriz. 3. Fogo.

I. Oliveira, Ana Karla da Silva. II. Oliveira, KamillaAndrade de. III.

Título.

À minha mãe, Eva Maria Rodrigues Sousa, pelo admirável exemplo de
vida e a quem devo tudo.
Ao meu pai, Nelson Almeida Baêta, por todo suporte para realização
dos meus sonhos.
Ao meu padrasto, Francisco Garcês, pelos ensinamentos e por todo
incentivo.
Ao meu irmão, João Arthur Sousa Garcês, por todo amor e carinho.
Ao meu namorado, Carlos Vinicius dos Santos Borges, por todo apoio e
companheirismo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, fonte de vida, amor e sabedoria, por Ele me dar força e coragem para realizar os meus sonhos.

À toda a minha família, especialmente, à minha mãe Eva Maria Rodrigues Sousa, por sempre estar ao meu lado e ser meu símbolo de força, ao meu pai Nelson Almeida Baêta por todo sacrifício para realização dos meus sonhos, ao meu padrasto Francisco de Sales Garcês Passos, que sempre foi um dos meus maiores incentivadores de vida, ao meu irmão João Arthur por todo carinho e amor. Ao meu namorado, Carlos Vinicius dos Santos Borges, por sempre estar ao meu lado com palavras de conforto e por toda força e amor. À minha filha, Maitê Baeta Borges, que desde o meu ventre têm me mostrado o significado de amor puro e verdadeiro.

Aos meus avós maternos Maria do Socorro Rodrigues Sousa e Alcides da Cunha Sousa por terem me ensinado sobre a simplicidade e sutilezas da vida.

A minha tia Virginia Maria Rodrigues Sousa (*in memorian*), que sempre me encorajou e me deu muito carinho e amor até nos últimos momentos da sua vida.

Ao meu tio Paulo Sergio Rodrigues Sousa e às minhas tias Alcioneia Maria Rodrigues Sousa e Vanessa Rodrigues Sousa por todo carinho durante todos os momentos da minha vida.

À orientadora, Kamilla Andrade de Oliveira, pela orientação, apoio, paciência, compreensão e pelos ensinamentos transmitidos.

As minhas amigas de turma, em especial a Luciana Viana Veloso por suas palavras de encorajamento durante a confecção deste trabalho e por todo apoio, e a minha amiga Ana Paula Fortes por todos os momentos vividos que sempre lembrarei com muito carinho.

A minha grande amiga Cyntia Airagna pelo carinho, amizade, ajuda e pelos momentos incríveis durante os últimos 5 anos.

A minha querida prima Josiele Sousa Saboia, por estar presente nos momentos mais difíceis com palavras de conforto, pela amizade verdadeira e por se fazer presente em todos os momentos da minha vida.

Aos meus animais de estimação, em especial a minha cachorra Pandora (*in memorian*) e aos meus gatos Simba e Tito, que são a minha alegria.

À Universidade Federal do Maranhão, pela oportunidade de realização do Curso de Engenharia Agrícola.

“Não fui eu que ordenei a você? Seja forte e corajoso! Não se apavore nem desanime, pois o Senhor, o seu Deus, estará com você por onde você andar”.

JOSUÉ 1:9

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE EQUAÇÕES	xiii
LISTA DE SIGLAS	xiv
RESUMO	11
ABSTRACT	12
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 Incêndios florestais	15
3.2 Sensoriamento Remoto	16
3.3 Mapeamento de áreas queimadas	17
3.4 MapBiomas Fogo.....	18
3.5 Sentinel - 2	18
3.6 Índice de queimada normalizada	19
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 Área de estudo	20
4.2 Métodos	22
4.3 Levantamento dos dados.....	23
4.3.1 Mapeamento MapBiomas Fogo.....	24
4.3.2 Metodologia proposta por Oliveira (2020)	24
4.3.3 Mapeamento com uso de imagens Sentinel -2	23
4.4 Metodologias de quantificação de cicatrizes de fogo	24
4.4.1 Imagens Sentinel-2	24

4.4.2	Índice de queimada normalizada - NDBR	24
4.4.3	Composição colorida.....	25
4.5	Validação e acurácia da precisão temática.....	25
4.5.1	Matriz de confusão.....	26
4.5.2	Exatidão global.....	26
4.5.3	Índice de exatidão Kappa.....	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
5.1	Análise da comparação de metodologias da mesma escala	28
5.2	Análise da comparação de metodologias de diferente escala	35
5.2	Validação campo.....	34
6	CONCLUSÕES.....	43
	REFERÊNCIAS	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da Terra Indígena Governador, no município de Amarante do Maranhão - MA, Brasil.....	21
Figura 2. Fluxograma apresentando as etapas metodológicas.....	22
Figura 3. Gráfico comparativo em percentual dos mapeamentos semi-automático de Oliveira (2020) e automático do MapBiomas Fogo dentro do limite da TI nos anos 2000 a 2018.	32
Figura 4. Gráfico comparativo em percentual dos mapeamentos semi-automático de Oliveira (2020) e automático do MapBiomas Fogo na zona de amortecimento nos anos 2000 a 2018..	33
Figura 5. Mapas Composição RGB (A), MapBiomas Fogo (B) e Sentinel-2 (C) no ano de 2018.	35
Figura 6. Mapas Composição RGB (A), MapBiomas Fogo (B) e Sentinel-2 (C) no ano de 2019.	36
Figura 7. Mapas Composição RGB (A), MapBiomas (B) e Sentinel-2 (C) no ano de 2020.	36
Figura 8. Quadrante das cicatrizes de queimadas com pontos amostrais do MapBiomas Fogo e Sentinel-2 no ano de 2018.	38
Figura 9. Quadrante das cicatrizes de queimadas com pontos amostrais do MapBiomas Fogo e Sentinel-2 no ano de 2019.	38
Figura 10. Quadrante das cicatrizes de queimadas com pontos amostrais do MapBiomas Fogo e Sentinel-2 no ano de 2020.	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características das imagens utilizadas.....	24
Tabela 2. Exemplo da matriz de confusão.....	26
Tabela 3. Critérios utilizados na avaliação do grau de concordância da classificação temática com base no índice Kappa.....	28
Tabela 4. Área total em hectares e percentual das cicatrizes de queimadas do MapBiomias Fogo na Terra Indígena Governador e na Zona de Amortecimento correspondente aos anos de 2000 a 2018.	28
Tabela 5. Área total em hectares e percentual das cicatrizes de queimadas na Terra Indígena Governador e na Zona de Amortecimento correspondente aos anos de 2000 a 2018, por dados de mapeamento semi-automático.	29
Tabela 6. Comparativo do total de cicatriz e não cicatriz em hectares no quadrante observado nos anos 2018 a 2020.	37
Tabela 7. Matriz de confusão, índice Kappa, acurácia global, acurácia do produtor (AP) e usuário (AU) estimados a partir de comparação entre as cicatrizes de queimadas detectadas da metodologia MapBiomias Fogo no ano de 2018.....	39
Tabela 8. Matriz de confusão, índice Kappa, acurácia global, acurácia do produtor (AP) e usuário (AU) estimados a partir de comparação entre as cicatrizes de queimadas detectadas do Sentinel-2 no ano de 2018.	40
Tabela 9. Matriz de confusão, índice Kappa, acurácia global, acurácia do produtor (AP) e usuário (AU) estimados a partir de comparação entre as cicatrizes de queimadas detectadas da metodologia MapBiomias Fogo no ano de 2019.....	40
Tabela 10. Matriz de confusão, índice Kappa, acurácia global, acurácia do produtor (AP) e usuário (AU) estimados a partir de comparação entre as cicatrizes de queimadas detectadas do Sentinel-2 no ano de 2019.	40
Tabela 11. Matriz de confusão, índice Kappa, acurácia global, acurácia do produtor (AP) e usuário (AU) estimados a partir de comparação entre as cicatrizes de queimadas detectadas da metodologia MapBiomias Fogo no ano de 2020.....	41

Tabela 12. Matriz de confusão, índice Kappa, acurácia global, acurácia do produtor (AP) e usuário (AU) estimados a partir de comparação entre as cicatrizes de queimadas detectadas do Sentinel-2 no ano de 2020. 41

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Índice de NDBR	24
Equação 2. Exatidão global	26
Equação 3. Índice de exatidão Kappa	27

LISTA DE SIGLAS

AP – Acurácia do Produtor

APs – Áreas de Preservação

AU – Acurácia do Usuário

BDC – Brazil Data Cube

EG – Exatidão Global

ESA – Agência Espacial Europeia

GEE – Google Earth Engine

GMES – Comissão Europeia de Monitoramento Global do Ambiente e Segurança

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MC – Matriz de Confusão

NASA – Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

NDBR – Índice de Queimada Normativa

NIR – Comprimento de onda do infravermelho próximo

SIGs – Sistemas de Informações Geográficas

SR – Sensoriamento Remoto

SWIR – Comprimento de onda do infravermelho médio ou curto

TI – Terra Indígena

UCs – Unidades de Conservação

USGS – Pesquisa Geológica dos Estados Unidos

ZA – Zona de Amortecimento

RESUMO

Os incêndios florestais em Áreas Protegidas (AP) apresentam um grande impacto nos recursos naturais, uma vez que estas áreas garantem a conservação da natureza e proteção de costumes culturais das populações tradicionais e regionais. Nesse sentido, objetivou-se no presente trabalho avaliar o índice de vegetação de cicatrizes de queimadas na Terra Indígena Governador – MA, incluindo a zona de amortecimento com 49.751,8 ha, no período de 2000 a 2020. Para tal finalidade, foram utilizados dados fornecidos por Oliveira (2020), MapBiomias Fogo e Sentinel-2, no qual aplicou-se o Índice de Queimada Normalizada – NDBR. Dessa forma, os dados do MapBiomias Fogo e Oliveira (2020), apresentaram média de 14,11% e 5,68%, cerca de 112894,04 e 43870,59 hectares, respectivamente, do território da TI Governador com mapeamento de cicatrizes de fogo por ano. Quanto a comparação do MapBiomias e Sentinel-2, observou-se que houve uma predominância nas quantidades de cicatrizes apresentadas pelo Sentinel-2, com média de 2082,88 ha e os dados do MapBiomias apresentou reduzida área mapeada com média de 1122,38 ha. A classificação desenvolvida através da matriz de confusão mostrou-se boa na avaliação de acurácia global com a média de 67% para ambas as classificações e o número Kappa apresentou uma avaliação boa somente para os anos de 2019 do MapBiomias Fogo e 2020 para o Sentinel-2. Em suma, as comparações das metodologias para mapeamentos de cicatrizes de fogo apresentaram variações significativas em suas áreas mapeadas, sendo recomendado o uso de técnicas que apresentem resolução mais refinada como os oriundos dos dados do Sentinel-2. Salienta-se que todos os métodos disponíveis para os mapeamentos de cicatrizes de fogo são de grande relevância para sociedade fornecendo subsidio à gestão de áreas protegidas.

Palavras-chave: Área Protegida; Cicatriz; Fogo.

ABSTRACT

Forest fires in Protected Areas (PA) present a great impact on natural resources, since these areas guarantee nature conservation and protection of cultural customs of the traditional and regional populations. In this sense, the objective of the present work was to evaluate the vegetation index of burned scars in the Governorate Indigenous Land - MA, including the buffer zone with 49,751.8 ha, in the period from 2000 to 2020. For this purpose, data provided by Oliveira (2020), MapBiomias Fogo and Sentinel-2 were used, in which the Normalized Burn Index - NDBR was applied. Thus, the data from MapBiomias Fogo and Oliveira (2020), presented an average of 14.11% and 5.68%, about 112894.04 and 43870.59 hectares, respectively, of the territory of the TI Governorate with fire scar mapping per year. As for the comparison of MapBiomias and Sentinel-2, it was observed that there was a predominance in the amounts of scars presented by Sentinel-2, with an average of 2082.88 ha and the MapBiomias data presented reduced mapped area with an average of 1122.38 ha. The classification developed through the confusion matrix showed good in the evaluation of global accuracy with the average of 67% for both classifications and the Kappa number showed a good evaluation only for the years 2019 of MapBiomias Fire and 2020 for Sentinel-2. In summary, the comparisons of the methodologies for mapping fire scars presented significant variations in their mapped areas, being recommended the use of techniques that present a more refined resolution as those derived from Sentinel-2 data. It is emphasized that all available methods for mapping fire scars are of great relevance to society by providing subsidy to the management of protected areas.

Keywords: Protected Area; Scar; Fire.

1 INTRODUÇÃO

Os efeitos negativos do fogo provocam riscos para a vida, saúde e atividades econômicas dos seres humanos, modificam a atuação dos processos ecossistêmicos, como os ciclos biogeoquímicos e o clima, em diversas partes do mundo (BROWMAN et al., 2009; EARL; SIMMONDS, 2018). O uso do fogo está comumente associado às práticas de eliminação de biomassa em áreas recentemente desmatadas, no entanto, o uso em períodos de secas extremas, intensificam os riscos do espalhamento do fogo, transformando essas queimadas em incêndios descontrolados (ARAGÃO et al. 2007; ARAGÃO et al. 2014).

Os incêndios florestais causam danos significativos aos ecossistemas, gerando prejuízos irreparáveis à biodiversidade da fauna e flora, ao ciclo do carbono, ao ciclo hidrológico e ao solo, devido à influência sobre a composição química na atmosfera e mudanças climáticas (BATISTA, 2004).

O Bioma Cerrado, de modo geral, apresenta características e adaptações para a sua proteção contra o fogo, todavia, apesar dessas adaptações o bioma é constantemente afetado pelos incêndios florestais, ocasionado pelo período seco e ações associados à atividade humana (COUTINHO, 1990; TORRES; RIBEIRO, 2008). No Maranhão, os incêndios têm se difundido amplamente, atingindo todos os biomas, inclusive as Áreas Protegidas (APs) e Unidades de Conservação (UCs) (SALES; NETO, 2020).

As áreas protegidas (APs) são instrumentos eficazes para resguardar a integridade dos recursos naturais, além disso, asseguram o direito de permanência e a cultura de populações tradicionais e indígenas previamente existentes (VERÍSSIMO et al. 2011; VERÍSSIMO, 2012). As Terras Indígenas (TIs) são espaços que requerem a conservação do ambiente e tornam-se fragmentos florestais após sua demarcação, por isso, podem estar suscetíveis a receberem impactos negativos, principalmente da região de entorno (PASCUCHI, 2017).

Nos últimos anos, as Terras Indígenas (TIs) vêm sofrendo devastação ambiental e a alta ocorrência de incêndios florestais estão destruindo aldeias, plantações e prejudicando a saúde desses povos nativos (TORRES et al., 2010). Anualmente, o fogo atinge grande parte das Unidades de Conservação (UCs) do país, sendo iniciado em áreas de entorno para fins agrícolas (BONFIM et al., 2003), às queimadas escapam destas áreas manejadas com tendência a uma rápida propagação, dificultando o combate (CANO-CRESPO et al., 2015).

Nota-se que os incêndios trazem grandes problemas ambientais e econômicos, portanto devem ser detectadas para que haja uma resposta de combate mais eficiente, além de alertar a população não somente pelos desastres ambientais, mas também pelas consequências à saúde

humana, provocando várias doenças (SALES et al., 2019). Por isso, há uma necessidade de realizar estudos para analisar a quantificação de cicatrizes de queimadas, a fim de melhorar o entendimento deste fenômeno e os efeitos no meio ambiente (FRANÇA; FERREIRA, 2005).

Nessa perspectiva, a aplicação de imagens de satélite ao mapeamento de áreas queimadas tem uma forte ligação com os estudos de sensoriamento remoto, pois além de ser um tópico-ativo de pesquisa, emprega técnicas avançadas, métodos de classificação digital de imagens e análises espaço-temporais (CHUVIECO et al., 2019). As técnicas de sensoriamento remoto auxiliam no acompanhamento do uso da vegetação e desmatamento mundialmente, assim como os impactos ecológicos e sociais, tornando-se uma tecnologia que permite dados espaciais em tempos regulares e de baixo custo operacional (PINTO, 2018).

O MapBiomas Fogo é uma base de dados que serve como alternativa para o monitoramento de áreas queimadas, onde são fornecidos produtos automáticos para análise de monitoramento de cicatrizes de áreas queimadas cobrindo todo território brasileiro, a partir de imagens dos satélites Landsat, com produtos bastante acurados e precisos, sendo realizados a partir de validações (SOUZA et al., 2020).

Os índices espectrais têm recebido bastante atenção, devido ao seu bom desempenho computacional, pois reduzem o tempo de processamento e eliminam a subjetividade da interpretação visual das atingidas pelo fogo (VERAVERBEKE et al., 2011). Dentre os diversos estudos de mapeamento em áreas queimadas, pode-se destacar a pesquisa de Oliveira (2020), que avalia o índice espectral de queimada normalizada (NDBR) utilizando imagens Landsat para verificação de cicatrizes em território indígena.

Ainda que o fogo faça parte da cultura indígena desde seus ancestrais, sendo utilizado para caça, limpeza e proteção de moradias (XERENTE; OLIVEIRA, 2021). Os prejuízos desse elemento ocasionam danos irreversíveis ao meio ambiente, tais como, a perda da biodiversidade, empobrecimento do solo, agravamento do efeito estufa e a devastação de vegetação em áreas preservadas, principalmente em comunidades abrigam povos tradicionais e povos indígenas que sobrevivem desses recursos naturais, trazendo riscos à saúde humana.

Logo, a avaliação de técnicas de sensoriamento remoto utilizadas para mapeamento de cicatrizes de incêndio podem fornecer insumos para identificação e escolha de qual método representa as cicatrizes de incêndio de maneira mais fidedigna na área de pesquisa, objetivou-se do estudo contribuir com uma alternativa para apoiar o monitoramento dos eventos de fogo na área de estudo, possibilitando a busca por estratégias para o combate de desmatamento ilegal e uma sociedade mais sustentável.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar metodologias de mapeamento de cicatrizes de fogo na Terra Indígena Governador, no período de 2000 a 2020.

2.2 Objetivos específicos

- Quantificar as cicatrizes de incêndios anuais do Projeto MapBiomias;
- Identificar a área queimada através da aplicação do índice de queimada normalizada - NDBR, utilizando imagens do sensor MSI (*Multi Spectral Instrument*)/Sentinel - 2, no período 2018 a 2020;
- Avaliar as metodologias de mapeamentos de cicatrizes de incêndio.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Incêndios florestais

Dentre os diversos fatores que influenciam a alteração dos recursos naturais, o fogo é o principal agente de maior calamidade, em que florestas e demais tipos de vegetação estão potencialmente mais susceptíveis à ocorrência de incêndios de diferentes níveis de gravidade, que podem causar danos ecológicos e ameaça da biodiversidade (SOARES; SANTOS, 2002).

Um dos prejuízos provocados pelo fogo interferem nos meios bióticos, como fauna e flora e equilíbrio do ecossistema; e nos meios físicos, como qualidade da água, liberação de gases nocivos responsáveis à saúde, fertilidade do solo, deixando o solo mais susceptível a processos erosivos e entre outros. (BATISTA, 2004; MARTINS, 2017; WHITE et al., 2013). White e White (2017) apontam que, apesar da vegetação do Cerrado ser dependente de queimadas, sua elevada frequência também é responsável por impactos ambientais.

De acordo com Junior et al. (2018), os incêndios no cerrado maranhense estão ligados a ocorrência naturais típicas desse ambiente, sendo associado pela quantidade de chuva, dias chuvosos, umidade e temperatura do ar e, a existência de cultura agrícolas, que utilizam do fogo como ferramenta de manejo para preparo do solo.

O uso do fogo por produtores rurais é considerado como método comum e mais acessível para o manejo de pastos e cultivos agrícolas, visto que, elimina a vegetação da área no curto prazo. No entanto, esta técnica acarreta prejuízos devido incêndios ocorrerem em áreas indesejáveis, tanto para produtores rurais quanto para o meio ambiente. Por isto, é necessário a

implantação de medidas alternativas ao uso do fogo que possam ser utilizados para fins agrícolas, visando estabelecer meios que, simultaneamente, promovam os benefícios socioeconômicos, como também práticas que protejam ecossistemas, biodiversidade e propriedade pela utilização racional dos recursos naturais (NEPSTAD et. al, 1999; SÃO PAULO, 2000; PINTO, 2018)

Para as populações indígenas, o uso do fogo está presente desde seus antepassados, pertencendo em atividades para cozimento de alimentos, realização de caça, limpeza de áreas para fins agrícolas e proteção das moradias, entre outras utilidades (XERENTE; OLIVEIRA, 2021).

3.2 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é uma técnica que propõe o aprimoramento da aquisição de dados da superfície terrestre através de detecção e medição quantitativa das respostas às interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres, ou melhor, o objeto imageado é registrado por sensores através de medições da radiação eletromagnética, tal como o processo de reflexão de luz de um objeto (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

O sensoriamento remoto em conjunto com os sistemas de informações geográficas (SIG) possuem papel insubstituível no que diz respeito a observação e monitoramento da superfície terrestre, sendo empregues para avaliar e monitorar, de modo qualitativo e quantitativo os recursos naturais (SHIMABUKURO et al., 2015), como por exemplo, previsão do tempo, erosão e escoamento de encostas, desmatamento, detecção e monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas, entre outros. Devido ao avanço tecnológico tornou-se possível manusear imagens de satélites adquiridas por meio de sensores remotos, para detectar e localizar, em tempo real, áreas queimadas (GRANEMANN; CARNEIRO, 2009), sendo utilizada como fonte para tomada de decisão na gestão dos recursos naturais.

Conforme Bolfe (2006) afirma, a a capacidade de obter informações por meio do sensoriamento remoto aliado ao processamento de dados nos SIG's, permitem que diversas alternativas sejam analisadas de forma mais precisa e relativamente rápida, com isso, possibilita a otimização dos planos de monitoramento ambiental que eram inviáveis tecnicamente e financeiramente com uso das técnicas tradicionais a serem progressivamente reavaliadas e refinadas.

Segundo Pereira et al. (2012), atualmente as análises derivadas do processamento de dados nos SIG e sensoriamento remoto proporcionam uma ampla visão sobre a distribuição temporal, espacial e padrões comportamentais dos incêndios florestais em diversos níveis, fornecendo uma importante contribuição por observar as interações entre o fogo e as relações socioambientais.

Desse modo, o uso da técnica de sensoriamento remoto tem se consolidado como bastante eficaz, pois apresenta custo relativamente baixo e os conhecimentos são fundamentais para diversas áreas de estudo, tornando-se indispensáveis para o planejamento regional, assegurando o uso correto e monitoramento eficiente dos recursos naturais e conservação do meio ambiente (BOLFE, 2006).

3.3 Mapeamento de áreas queimadas

Os estudos sobre o sensoriamento remoto referente ao mapeamento de áreas queimadas no Brasil foram iniciados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), realizado na Amazônia com apoio da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) na década de 80 (COSTA, 2018).

Estudos relacionados ao mapeamento de queimadas e SR eram realizados em escala regional, devido às restrições tecnológicas. Em vista disso, os dados sobre as estimativas de áreas queimadas para o território brasileiro apresentavam certas limitações às informações coletadas nas áreas protegidas (AP's) e pelas empresas florestais, através de formulários (SOARES; SANTOS, 1997; SOARES et al., 2006).

Nas últimas décadas, inúmeros estudos foram produzidos e aperfeiçoados com o intuito de mapear áreas atingidas pelo fogo. As imagens geradas a partir do mapeamento, permitem detectar áreas queimadas, proporcionando a estimativa dos limites durante ou instantaneamente após o período de queima destas áreas (TANSEY et al., 2008; GIGLIO et al., 1999; ROY et al., 2008; LIBONATI et al., 2015; RODRIGUES et al., 2018).

Atualmente, a disponibilidade de informações detalhadas e atualizadas sobre as distribuições espaciais e temporais das áreas incendiadas são cruciais, não somente para a melhoria da gestão dos recursos naturais, mas também para estudos que envolvem as mudanças climáticas (RODRIGUES et al., 2018).

Sob o ponto de vista das perspectivas futuras no âmbito do mapeamento de áreas incendiadas no Brasil, devem ser considerados o desenvolvimento e lançamentos de novos

sensores orbitais, que apontam para as novas tecnologias, com o intuito de prover imagens da superfície terrestre de qualidade em um curto espaço de tempo e em resoluções espaciais e espectrais mais refinadas (LIBONATI et al., 2021).

3.4 MapBiomias Fogo

O Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Ocupação da Terra no Brasil iniciou-se em março de 2015 no estado de São Paulo, durante um seminário fundado pelo Observatório do Clima – OC. O objetivo do projeto destinava-se a produzir mapas anuais de uso e cobertura do solo para todo o território brasileiro de forma atualizada, rápida e de baixo custo. Assim, em cooperação técnica com a empresa Google desenvolveram a iniciativa tendo como base a plataforma *Google Earth Engine* (GEE) a partir disto o mapeamento consolidou-se (MAPBIOMAS BRASIL, 2022).

O Projeto Mapbiomas tem desenvolvido novas metodologias, entre eles a primeira coleção do método Mapbiomas Fogo, lançado em 2020, com a iniciativa de mapear áreas de cicatrizes de fogo desde 1985, com dados anuais e mensais de áreas queimadas para todo o território brasileiro, que incluem dados anuais sobre a extensão de áreas queimadas em um período; frequência de ocorrência de cicatriz de queimada em intervalos de anos e classificação da cobertura e uso da terra (PROJETO MAPBIOMAS, 2022; SOUZA, 2021).

A produção da classificação dos mapas desenvolvidos pelo MapBiomias Fogo Coleção 1.0, segue as seguintes etapas: I) mapas de referência do sensor MODIS *Burned Area* (MCD64A1), um produto da NASA, que detecta áreas queimadas *pixel a pixel*, com 500 metros de resolução espacial; II) dados de focos de calor do INPE e III) imagens oriundas dos satélites Landsat 5, 7 e 8, com resolução espacial de 30 metros e de 16 dias de resolução temporal, ou melhor, tempo de retorno do satélite para o mesmo ponto da superfície terrestre a cada 16 dias (SOUZA et al.; 2020; PATROCÍNIO, 2022).

A plataforma realiza uma avaliação para a classificação dos mapas produzidos, através de inspeção visual, estatística e relação com o uso e cobertura da terra. Após a interpretação de todos os segmentos verificam pontos de validação espacialmente integrados com os mapas produzidos pela plataforma, com intuito de avaliar as qualidades dos mapeamentos e obtenção da acurácia da classificação (PROJETO MAPBIOMAS, 2022).

3.5 Satélite Sentinel - 2

O satélite Sentinel-2 foi desenvolvido a partir de um projeto da Agência Espacial Europeia (*European Space Agency* – ESA), em conjunto com a Comissão Europeia de Monitoramento Global do Ambiente e Segurança (GMES) criou o programa Copernicus com o objetivo de monitorar os recursos naturais terrestres, realizando coleta de dados sobre a vegetação, solos e águas costeiras, além de ser dotado com sensor óptico de alta resolução espacial (EMBRAPA, 2018).

O Sentinel-2 consiste em uma constelação de dois satélites gêmeos, o Sentinel-2A e Sentinel-2B, lançados em 23 de junho de 2015 e 07 de março de 2017, respectivamente. Ambos operam simultaneamente em fase oposta de 180° na órbita polar síncrona ao sol, a uma altitude média de 786 km e varrem uma ampla largura de imageamento de 290 km sobre a superfície terrestre, entre as faixas de latitude de 56° Sul (Cabo Horn e América do Sul) e 84° Norte (acima da Groenlândia) (ESA, 2020; DRUSCH et al., 2012).

O satélite Sentinel-2 carrega a bordo o sensor *Multi Spectral Instrument* – MSI, com resoluções espaciais de 10, 20 e 60 metros e resolução temporal de 5 dias no equador. Os dados contêm resolução radiométrica de 12 bits e possuem 13 bandas espectrais, sendo 4 bandas com comprimento de onda no visível (RBG), 4 bandas que atuam no “*red edge*”, 2 bandas no infravermelho de ondas curtas (SWIR) e 3 bandas para correção atmosférica (DRUSCH et al., 2012). O sensor dispõe de algumas bandas estreitas, principalmente nas partes do espectro de borda vermelha e infravermelho próximo (NIR), para análises da condição da vegetação (ESA, 2020). Este sensor possui melhores condições para o monitoramento das mudanças de uso e cobertura da terra em intervalos temporais mais curtos, reduzindo as incertezas (PLETSCH et al., 2018).

Estudos apontaram que os dados obtidos através do Sentinel-2 MSI são capazes de identificar áreas queimadas e não queimadas utilizando bandas e índices espectrais, ainda relatam que os dados obtidos são atrativos para a avaliação e mapeamento da gravidade de incêndios florestais em áreas naturais. Além disso, mostraram que através da alta resolução espacial, espectral e temporal do sensor MSI, é possível obter resultados satisfatórios, comparado aos demais sensores orbitais da atualidade (AMOS et al., 2019; MALLINIS et al., 2018).

3.6 Índice de queimada normalizada

Os índices espectrais possuem clareza em seus conceitos e eficiência em seus resultados, visto que, possuem vantagens claras sobre outras metodologias de avaliação de severidade de queima e delimitação de áreas de regeneração, pois utilizam as informações de reflectância da superfície de bandas específicas do espectro eletromagnético e em grande maioria envolve faixas do infravermelho próximo (NIR), por efeito de alta reflectância da vegetação nessa parte do espectro (SCHEPERS et al., 2014). Sendo assim, o NDBR tornou-se bastante importante para identificar as cicatrizes de queimadas.

O NDBR é um índice aplicado para maximizar as mudanças de reflectância nas vegetações e no solo devido a mudanças drásticas. Este índice surge como ferramenta útil para destacar áreas queimadas, além de analisar a gravidade dos danos causados nas áreas percorridas pelo fogo (NUNES, 2019).

Segundo Key e Berson (2006), a escolha das bandas do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho médio ou curto (SWIR) se justifica, pois são bandas espectrais que mais respondem as cicatrizes de queimadas, porém em direções contrárias. Após o fogo, a banda NIR reflete menos para às áreas queimadas, mas com alta reflectância para a vegetação viva, enquanto a banda no SWIR, reflete a matéria orgânica independente da cobertura vegetal, apresentando altos valores de reflectância, isso permite utilizar outras bandas para normalizar os valores e realçar as áreas queimadas (OLIVEIRA et al., 2021; DA SILVA et al., 2019; JÚNIOR; PEREIRA, 2020).

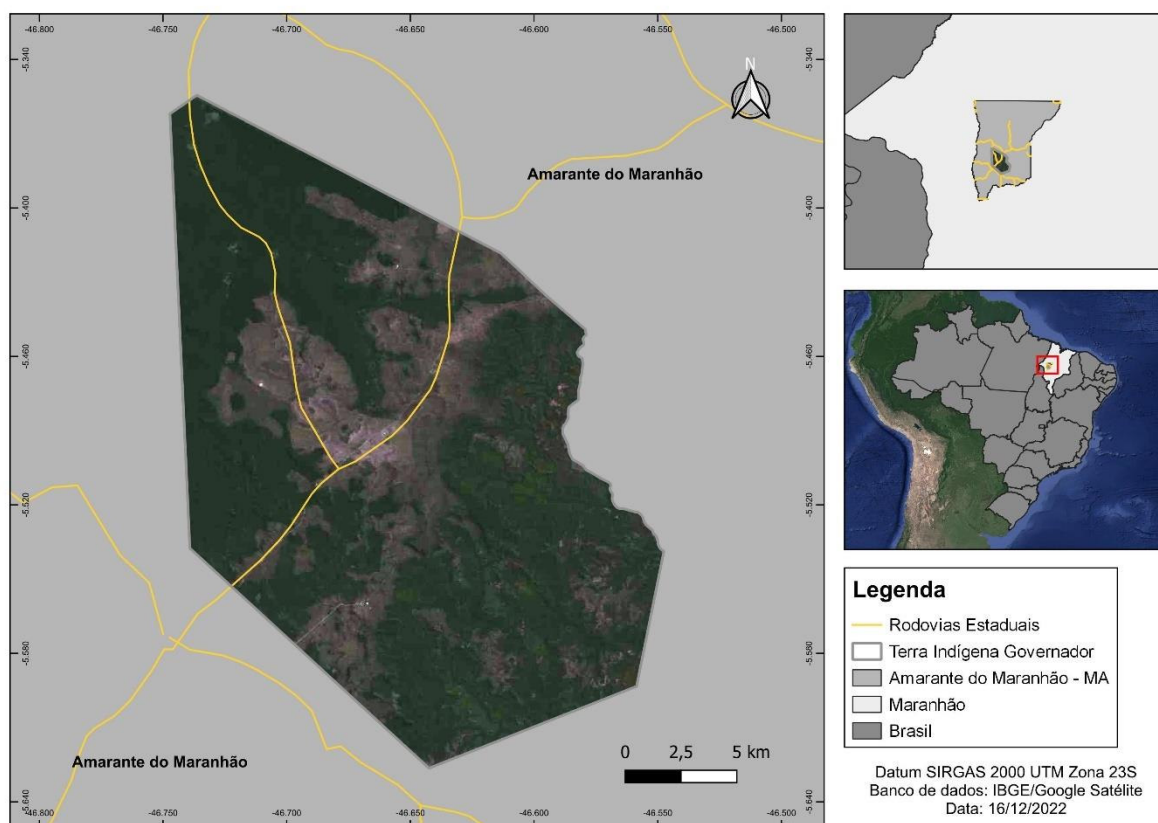
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde à Terra Indígena Governador que está localizada no município de Amarante do Maranhão, na porção sudoeste do estado do Maranhão. Inicia-se com marco de coordenadas geográficas UTM -5.799722, -45.969444. A TI Governador foi homologada pelo Decreto N° 88.001, de 29 de dezembro de 1982 e abrange uma extensão total de 42.000 hectares. Nela vivem cerca de 655 indígenas da etnia Gavião Pykopjê, Guajajara e Tabajara (ISA, 2022).

A TI Governador está compreendida em uma faixa de contato entre os Biomas Amazônia e Cerrado (MELO & GALVÃO, 2017), portanto apresenta características fitofisionomias de floresta tropical submontana densa, região de contato floresta-savana estacional, correspondendo uma área de 21,63% de cobertura vegetal e cerca de 78,37% de floresta estacional decidual (MIRANDA et al., 2022; ESA, 2022).

Figura 1. Mapa de localização da Terra Indígena Governador, no município de Amarante do Maranhão - MA, Brasil.



Fonte: Autora, 2022.

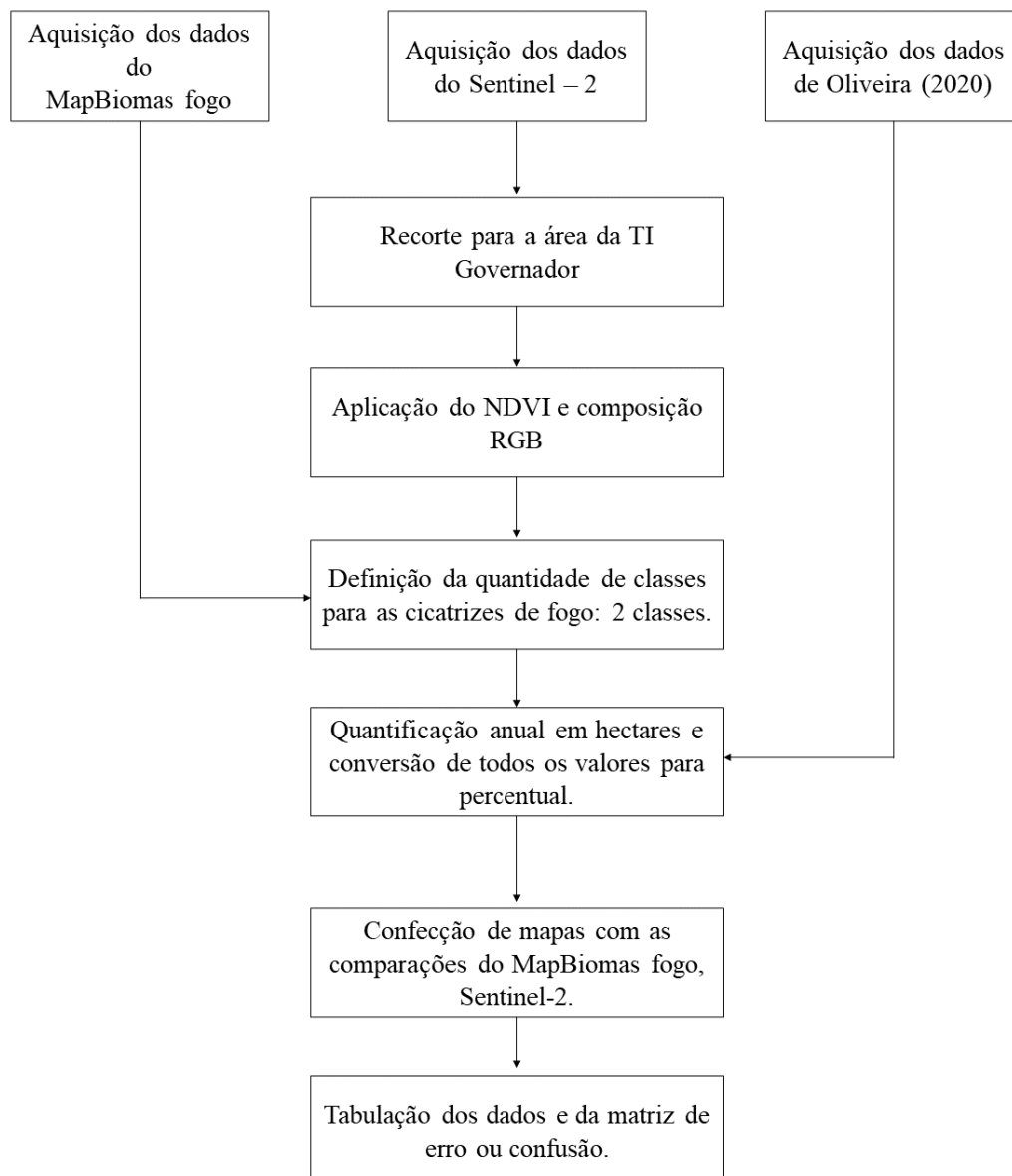
O município de Amarante do Maranhão abrange uma área de 743.821 hectares, com uma população estimada 42.017 habitantes e densidade demográfica de 5,10 hab/km² (IBGE, 2021). Está a uma altitude de 249 metros e a variação térmica anual, com temperaturas que oscilam entre 20,9°C e 29,5°C. O clima predominante da região, de acordo com classificação de Köppen, é tropical (AW') subúmido com dois períodos definidos: o úmido, que predomina entre os meses de dezembro a maio, com médias mensais superiores a 191,9 mm e o período de seca, correspondente aos meses de junho a dezembro (FILHO, 2011).

O período compreendido entre julho a setembro marca o período de queimadas na TI, que não poupam capim, árvores e animais. As comunidades indígenas do local fazem o uso do fogo no seu cotidiano, principalmente para manutenção da roça, onde são feitas e compartilhadas em grupo (DIAS et al., 2017).

4.2 Métodos

As etapas metodológicas empregadas no mapeamento de cicatrizes de queimadas na TI Governador e na zona de amortecimento de 5 km encontram-se esquematizadas a seguir (Figura 2).

Figura 2. Fluxograma apresentando as etapas metodológicas.



Fonte: Autora, 2022.

4.3 Levantamento dos dados

4.3.1 Mapeamento MapBiomias Fogo

Para a quantificação e análise das cicatrizes de queimadas foi utilizado dados da coleção 1.0 do método do Mapbiomas Fogo, os quais fornecem o processo de classificação automática a partir de mosaicos do satélite LANDSAT. As cenas foram adquiridas gratuitamente por meio do *script*, que tem funcionalidade na plataforma em nuvem *Google Earth Engine* (GEE).

A série histórica corresponde aos anos 2000 a 2020 de mapas anuais de cicatrizes de queimadas em formato *GeoTiff* para o território onde está localizada a TI Governador incluindo zona de amortecimento (ZA), que corresponde a uma área entorno da terra indígena com distância de 5 km a partir do limite da Terra Indígena Governador.

4.3.2 Metodologia proposta por Oliveira (2020)

Um segundo mapeamento de cicatrizes de queima na TI Governador foi obtido, confeccionado a partir do Índice de Queimada Normalizada (NDBR) e proposta por Oliveira (2020), aqui chamado de mapeamento semi-automático. A metodologia descrita por Oliveira (2020) utilizou uma série histórica entre os anos de 2000 a 2018, com cenas obtidas do banco de dados da plataforma Earth Explorer, através das imagens dos satélites LANDSAT 5 no sensor *Thematic Mapper – TM* entre os anos 2000 a 2011, exceto os anos 2002 e 2012 que foram utilizados o LANDSAT 7 no sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus – ETM+*, o LANDSAT 8 no sensor *Operational Land Imager – OLI* mapeou os demais anos entre 2013 a 2018, no período compreendido entre os meses de junho a dezembro de cada ano. As cenas pertencem a órbita 222 de ponto 064 para todos os sensores utilizados.

4.3.3 Mapeamento com uso de imagens Sentinel – 2

Foram adquiridas imagens para identificar e validar a área queimada nos anos mais recentes, entre os anos de 2018 a 2020, por meio da plataforma Brazil Data Cube - BDC, catálogo do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As imagens advindas do sensor *MSI* pertencente ao satélite SENTINEL-2 foram obtidas gratuitamente no BDC, cujas imagens já possuem correção atmosférica com produtos de refletância de superfície do método Sen2cor (FERREIRA et al., 2020), com redução das distorções atmosféricas e erros na geometria da imagem. Na tabela 1, abaixo, estão caracterizadas a origem das imagens, quanto o seu satélite, sensor e data de aquisição.

Tabela 1. Características das imagens utilizadas.

Características das imagens utilizadas			
Satélite	Sensor	Data da Imagem	Resolução Espacial
Sentinel-2	MSI	17/07/2018	10 metros
Sentinel-2	MSI	11/08/2019	10 metros
Sentinel-2	MSI	14/09/2020	10 metros

Fonte: Autora, 2022.

Após o levantamento de dados, as imagens foram transferidas para um *software* SIG, o Qgis (versão 3.22), onde foram realizados a reprojeção dos dados ao sistema UTM / SIRGAS 2000 e posteriormente recortadas para a área de zona de amortecimento da TI governador, por meio do recorte por extração do arquivo vetorial (*shapefile*).

4.4 Metodologias de quantificação de cicatrizes de fogo

Após o recorte das imagens, realizou-se a conversão do arquivo em formato *GeoTiff* para *shapefile* dos dados adquiridos por meio da plataforma MapBiomias Fogo, em seguida foi realizado a quantificação anual em hectares das cicatrizes de queimadas tanto para o território da Terra Indígena (TI) quanto para Zona de amortecimento (ZA).

Para análise, os resultados obtidos foram transferidos para o aplicativo Microsoft Excel, ao qual foi adotado o cálculo para conversão dos dados em percentual, considerando todos os anos da série temporal, posteriormente, foram realizadas as tabulações e gráficos das áreas e, em seguida comparadas aos dados fornecidos por Oliveira (2020).

4.4.1 Imagens Sentinel-2

Após o preparo das bases (reprojeção e recorte), as imagens do Sentinel-2 foram utilizadas para identificação visual das cicatrizes queimadas, posteriormente foram quantificadas para uma comparação com os dados obtidos do MapBiomias Fogo e utilizadas para a análise de validação entre o período de 2018 a 2020.

4.4.2 Índice de queimada normalizada - NDBR

Com os dados do Sentinel-2, prosseguiu-se com a elaboração do NDBR segundo a metodologia de Oliveira (2020), no qual foi proposto a partir do estudo do comportamento da resposta espectral de áreas queimadas por Koutsias e Karteris (1998).

O NDBR é um índice que apresenta um melhor contraste entre as áreas queimadas e a vegetação sadia, com a aplicação das duas faixas espectrais correspondentes ao infravermelho próximo e ao infravermelho médio. Conforme a equação 1 abaixo:

$$\frac{NDBR = (NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

NIR = comprimento de onda do infravermelho próximo;

SWIR = comprimento de onda do infravermelho médio ou curto;

*correspondente o NIR à banda 8 e o SWIR à banda 12 do Sentinel - 2.

Após o cálculo, foram definidas as 2 classes para identificação das cicatrizes de queimada, onde os valores variam de -1 a +1, sendo que os valores representados por -1 correspondem às áreas queimadas.

4.4.3 Composição colorida

Ainda com as imagens do Sentinel-2, aplicou-se a composição colorida, comumente conhecida como RGB (Red, Green e Blue), segundo Costa (2018) para detecção das áreas ardidas causadas pelos incêndios florestais existe uma composição colorida específica, que reflete após os incêndios. Esta composição mostra a vegetação verde, a água azul ou preto, enquanto as faixas dos vermelhos destacam o solo descoberto, que seriam as áreas ardidas/queimadas. A combinação colorida RBG aplicada para destacar as áreas queimadas, está discriminada logo abaixo:

Em que:

Red = comprimento de onda do infravermelho médio ou curto;

Green = comprimento de onda do infravermelho próximo;

Blue = comprimento de onda do azul;

*correspondente o Red à banda 12; Green à banda 8 e Blue à banda 4.

A partir das classes definidas do Sentinel – 2 utilizando o NDBR, realizou-se uma análise visual com a composição RBG, a fim de verificar as áreas de cicatrizes e, em seguida, optou-se pelo recorte em quadrante destas áreas para a comparação e validação e/ou acurácia juntamente com os dados do MapBiomas Fogo nos anos 2018 a 2020.

4.5 Validação e acurácia da precisão temática.

Após o recorte do quadrante das áreas de cicatrizes, produziu-se uma sequência numeral para cada ano avaliado, ou seja, um (1) cicatrizes de queimadas e dois (2) quando não queimada.

Posteriormente, foram gerados 200 pontos randômicos amostrais dentro do quadrante e distribuídas por meio de amostragem igualitária, servindo de referência terrestre juntamente com a composição de bandas RGB utilizadas como inspeção visual.

Esta validação baseia-se em medidas realizadas *in situ* obtidas durante campanhas de campo são comumente consideradas como verdades, entretanto, outro método de validação aproximado bastante utilizado para validar a localização e extensão da área mapeada consiste na comparação de dados obtidos por satélites (RODRIGUES et al., 2018).

4.5.1 Matriz de confusão

Para validação, optou-se pela matriz de confusão (MC), de acordo com Congalton (1991) é uma técnica de acurácia utilizada para a avaliação de uma classificação de dados obtidos por meio de sensores remotos. A técnica é uma matriz quadrada de números definidos em linhas e colunas que expressam o número de unidades da classificação, sendo uma maneira muito eficaz para representar a acurácia na precisão de cada categoria, tanto para erros de inclusão (erros de comissão), quanto para erros de exclusão (erros de omissão) presentes em uma classificação (SUAREZ; CANDEIAS, 2012).

A matriz de erro/confusão permite a utilização de diversas técnicas de análise multivariada para determinar a concordância do mapeamento temático com a verdade terrestre (CONGALTON, 2001).

A partir dos pontos gerou-se a matriz de confusão entre os dados gerados e a referência, conforme o exemplo da Tabela 2.

Tabela 2. Exemplo da matriz de confusão.

Classes	Sim	Não	Total linha
Sim	$x1$	$x3$	$x1+x3$
Não	$x2$	$x4$	$x2+x4$
Total coluna	$x1+x2$	$x3+x4$	Total MC

Fonte: Autora, 2022.

4.5.2 Exatidão global

Após a matriz de confusão, foram gerados cálculos da acurácia global, acurácia do usuário e acurácia do produtor. O índice de exatidão global nada mais é do que uma medida

simples de verificação que relaciona os elementos da diagonal principal com o total de pontos amostrados da imagem classificada (CHUVIECO, 1991), ou seja, é a estimativa da proporção de acerto das classificações.

A acurácia do usuário está associada ao erro de comissão, indica o erro cometido ao atribuir um pixel à uma classe a qual não lhe pertence. Já a acurácia do produtor está atribuída ao erro de omissão, que indica a probabilidade de referência ter sido corretamente classificado (PANTALEÃO; SCOFIELD, 2009). Então, o índice de exatidão global é calculado conforme equação 2 a seguir:

$$EG = \frac{A}{N} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

EG = exatidão global;

A = número de pontos amostrais com acerto; e

N = número de pontos amostrais.

Para exemplificar, é calculado o somatório da diagonal, dividindo-se pelo número total da matriz de confusão (Tabela 2).

4.5.3 Índice de exatidão Kappa

Por meio da construção da matriz de confusão foi possível utilizar o coeficiente Kappa. O uso desta estatística permite avaliar a acurácia dos dados entre a verdade terrestre e a precisão dos dados classificados (CONGALTON, 2001; MOREIRA, 2003; SILVA et al., 2011). O índice Kappa é uma medida de acurácia que pode ser obtida através da Equação 3, a seguir:

Em que:

$$K = \frac{[N \times \sum_{i=1}^r X_{ij} - \sum_{i=1}^r (X_i \times X_j)]}{[N^2 - \sum_{i=1}^r (X_i \times X_j)]} \quad \text{Equação 3}$$

K = índice de exatidão Kappa;

N = número total de observações (pontos amostrais);

r = número de linhas na matriz de confusão; e

X_{ij} = número de observações na linha (i) e coluna (j).

Silva et al. (2011) afirmam que os valores do índice Kappa possui a seguinte classificação:

Tabela 3. Critérios utilizados na avaliação do grau de concordância da classificação temática com base no índice Kappa.

Classificação	Porcentagem (%)
Péssimo	< 0
Muito ruim	0 - 20
Razoável	21 - 40
Bom	41 - 60
Muito bom	61 - 80
Excelente	81 - 100

Fonte: Silva et al. (2011)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise da comparação de metodologias de mesma escala

Apesar das metodologias do MapBiomias Fogo e dos dados fornecidos por Oliveira (2020) utilizarem como fonte o satélite Landsat, verificou-se que as quantificações de cicatrizes de queimadas diferenciaram-se entre si, de acordo com as Tabelas 2 e 3. Os dados de Oliveira (2020) captaram, proporcionalmente, menores índices de cicatrizes de queimadas para o território da TI Governador e maior índice para a ZA, comparado aos dados do MapBiomias Fogo. Entretanto, nos anos de 2001, 2009 e 2018, ambas metodologias apresentaram uma quantidade semelhante das áreas atingidas pelo fogo no território da TI.

As quantificações dos dados das cicatrizes de queimadas encontram-se nas tabelas abaixo (2 e 3), abrangendo com mais detalhe as cicatrizes observadas.

Tabela 4. Área total em hectares e percentual das cicatrizes de queimadas do MapBiomias Fogo na Terra Indígena Governador e na Zona de Amortecimento correspondente aos anos de 2000 a 2018.

Ano	MapBiomias Fogo			
	TI Governador (ha)	TI Governador (%)	ZA (ha)	ZA (%)
2000	5765,09	13,69	2051,2	4,12
2001	2960,85	7,03	899,26	1,81
2002	1477,33	3,51	1103,41	2,22
2003	2270,16	5,39	386,01	0,78
2004	460,97	1,09	538,359	1,08
2005	7348,27	17,45	2914,33	5,86
2006	1923,82	4,57	685,67	1,38

2007	20542,5	48,79	517,2	1,04
2008	2268,09	5,39	2172,69	4,37
2009	2351,7	5,59	792,93	1,59
2010	9659,4	22,94	667,2	1,34
2011	2111,56	5,02	569,44	1,14
2012	16876,4	40,08	1024	2,06
2013	1432,46	3,4	110,36	0,22
2014	2553,16	6,06	222,07	0,45
2015	11916,3	28,3	1699	3,41
2016	3515,4	8,35	114,79	0,23
2017	16417,1	38,99	260,6	0,52
2018	1043,48	2,48	183,15	0,37
2019	1529,1	3,63	60,17	0,12
2020	1687,74	4,01	314,64	0,63

Fonte: Autora, 2022

Tabela 5. Área total em hectares e percentual das cicatrizes de queimadas na Terra Indígena Governador e na Zona de Amortecimento correspondente aos anos de 2000 a 2018, por dados de mapeamento semi-automático.

Ano	Oliveira (2020)			
	TI Governador (ha)	TI Governador (%)	ZA (ha)	ZA (%)
2000	3521,36	8,35	899,61	1,8
2001	2965,14	7,04	1107,72	2,22
2002	3792,84	9	2717,72	5,46
2003	2896,35	6,87	867,62	1,74
2004	158,24	0,37	131,3	0,26
2005	4094,46	9,72	893,1	1,79
2006	373	0,88	168,69	0,33
2007	3018,9	7,16	1322,02	2,65
2008	711,94	1,69	394,31	0,79
2009	2443,43	5,80	576,03	1,15
2010	4480	10,63	987,64	1,98
2011	3116,13	7,4	2311,68	4,65
2012	3578,88	8,49	4124,65	8,3
2013	97,5	0,23	82,19	0,16
2014	1813,4	4,3	652,33	1,31
2015	2701,56	6,41	924,33	1,85
2016	1886,3	4,47	1019,08	2,04

2017	1179,78	2,8	362,6	0,72
2018	1041,38	2,48	398,1	0,8

Fonte: Oliveira (2020)

Nos anos entre 2000 a 2004, as áreas com cicatrizes apresentaram um decréscimo no território da TI e uma variação na ZA. O MapBiomias Fogo, apresentou o maior percentual de área queimada durante os anos detalhados, correspondendo a 13,69% (2000) do território da TI e 4,12% da ZA. Já Oliveira (2020), no ano de 2002 registrou o maior índice de cicatrizes em ambas as áreas nesse intervalo de tempo, tanto na TI com 9%, quanto na ZA com 5,46%. Nos anos citados acima, observou-se que em 2004 não foram registrados nenhuma cicatriz acima de 500 ha e apresentaram o menor percentual na área da TI, com valores 1,09% e 0,37% (Tabelas 2 e 3) em relação aos anos anteriores.

Vale destacar que no ano de 2005, Oliveira (2020) obteve um aumento expressivo de 9,72%, aproximando-se da maior área queimada registrada em 2010, a qual atingiu 4480 ha correspondendo a 10,63% da extensão total da TI. No MapBiomias Fogo, também houve aumento significativo de 17,45%, seguido da segunda maior incidência de queimadas na ZA, com 5,86%, mas os valores foram reduzidos no ano seguinte em ambas metodologias, com percentuais de 0,88% para Oliveira (2020) e 4,57% do MapBiomias Fogo. Nota-se que o ano destacado apresentou um número maior de cicatrizes de queimadas quando comparado ao ano anterior. Segundo Campanharo et al. (2021), isso ocorreu devido aos anos extremamente secos (2005, 2010 e 2015), em decorrência as extensões de áreas queimadas observadas nos anos anteriores, mantendo-se os elevados valores em 2005, mas com redução destas áreas queimadas no ano seguinte.

Com os números de cicatrizes entre 2007 a 2010, observou-se que houve um impacto do fogo registrado em 2007 pelo MapBiomias Fogo, com o valor máximo (20.542,2 ha), atingindo cerca de 49% da extensão da TI, mostrando-se a maior resposta de vegetação devastada por queimadas da área em estudo. No entanto, 2008 e 2009 foram anos que apresentaram uma baixa de cicatrizes com 5,39% e 5,59%, respectivamente. Isso se explica em estudos realizados no Maranhão, segundo Junior et al. (2018), em 2007 a seca extrema afetou o estado, no qual ocasionou o aumento no número de queimadas, devido a intensificação do déficit hídrico na vegetação. Já Caldas et al. (2014) enfatizam que as atividades antrópicas podem também ser um dos fatores responsáveis pelo aumento de focos de calor nas AP's estaduais. Além disso, Freire et al. (2015) reportam o ano de 2007 apresentou um total anual de

7.340 focos, mas no ano de 2009 expressou uma baixa anual de 1.855 focos registrados. Desde então, as queimadas apresentaram uma variação em ambas as áreas.

Em 2010, o percentual de área queimada dentro do limite da TI apresentou o valor máximo para o mapeamento de Oliveira (2020), mencionado anteriormente. Enquanto o MapBiomias Fogo quantificou cerca de 23% de cicatrizes de queimadas, reforçando que os picos de fogo aconteceram em consequência da estiagem de chuvas, Ramos et al. (2011) afirmam que este ano foi antecedido por dois anos tipicamente chuvosos (2008 e 2009), que além de dificultarem a ocorrência de incêndios, induziram o crescimento da biomassa vegetal, mas devido à seca atípica neste ano, houve uma facilidade maior na queima da biomassa acumulada.

A partir de 2011, observou-se uma diminuição de queimadas nos dados quantitativos de Oliveira (2020). Já para o MapBiomias, em relação à área total anual da TI, os números mais expressivos foram para os anos de 2012, 2015 e 2017. Assim, o ano de 2012 totalizou 16876,4 hectares, compreendendo 40,08%, sendo o segundo maior índice de queimada para o território da TI. Para 2015, o fogo atingiu 11916,3 ha, representando 28,3% e, no ano de 2017, foram mapeados 16417,1 ha, abrangendo 38,99%, tornando-se a terceira maior ocorrência de queimadas da área total. Por outro lado, em 2013 teve o menor percentual de áreas queimadas, apresentando 0,23% e 3,45% na TI e 0,16% e 0,22% no seu entorno.

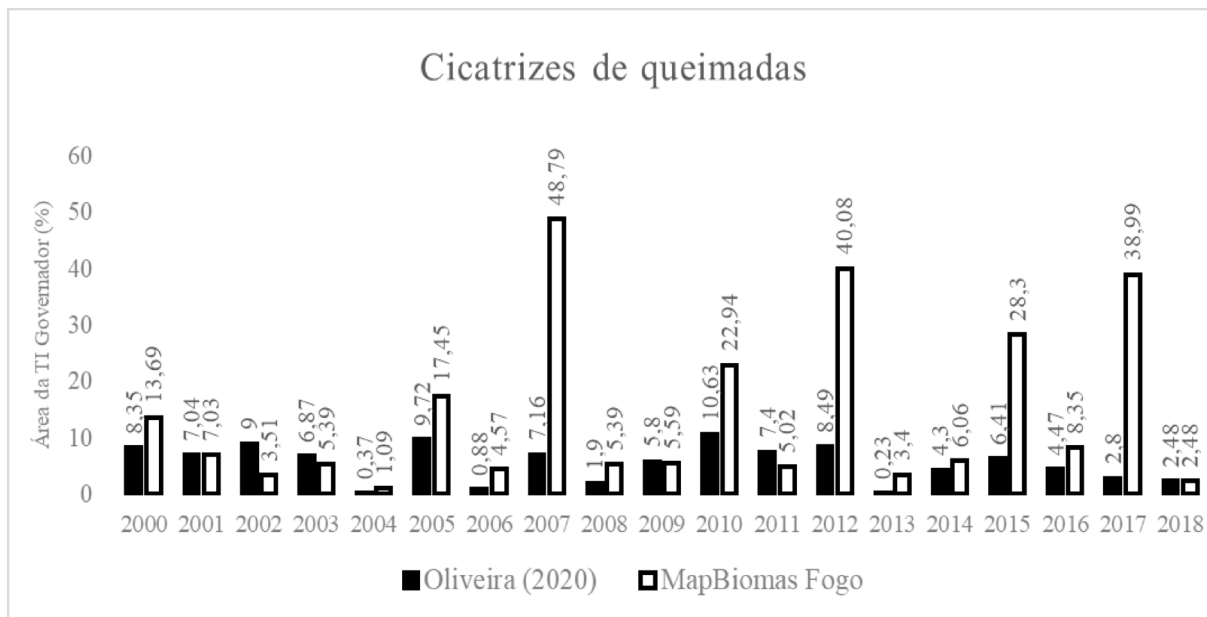
Em geral, os elementos climáticos são grandes responsáveis pelo controle de biomassa e pela propagação do fogo em quase todos os tipos de vegetação (HARRISON et al., 2010), sendo a precipitação o elemento mais importante na determinação da ocorrência de incêndios. Contudo, nas últimas décadas as ações antrópicas passaram a ser a principal causa (PECHONY; SHINDELL, 2010; JUSTINO et al., 2021), com o manejo de áreas para agricultura, resultando na conversão de áreas florestais em áreas de produção (MISTRY; BIZERRIL, 2011).

No Maranhão, a dinâmica da expansão agrícola atinge diretamente as comunidades tradicionais, UC's e TI's. As queimadas em TI's, por exemplo, não representam somente uma ameaça ao meio ambiente, mas, principalmente às tradições deste povo, que utilizam dos recursos naturais de forma primária para sobrevivência (GERUDE, 2013).

Nos gráficos comparativos nas Figuras 3 e 4 abaixo, é possível verificar os percentuais de cicatrizes de queimadas entre o MapBiomias Fogo e o mapeamento de Oliveira (2020), além de observar o comportamento das áreas queimadas no intervalo dos anos de 2000 a 2018.

Observando as Tabelas 2 e 3, acima, pode-se verificar que há uma diminuição de cicatrizes dentro do limite territorial da TI no ano de 2018, evidenciada no Figura 3.

Figura 3. Gráfico comparativo em percentual dos mapeamentos semi-automático de Oliveira (2020) e automático do MapBiomias Fogo dentro do limite da TI nos anos 2000 a 2018.

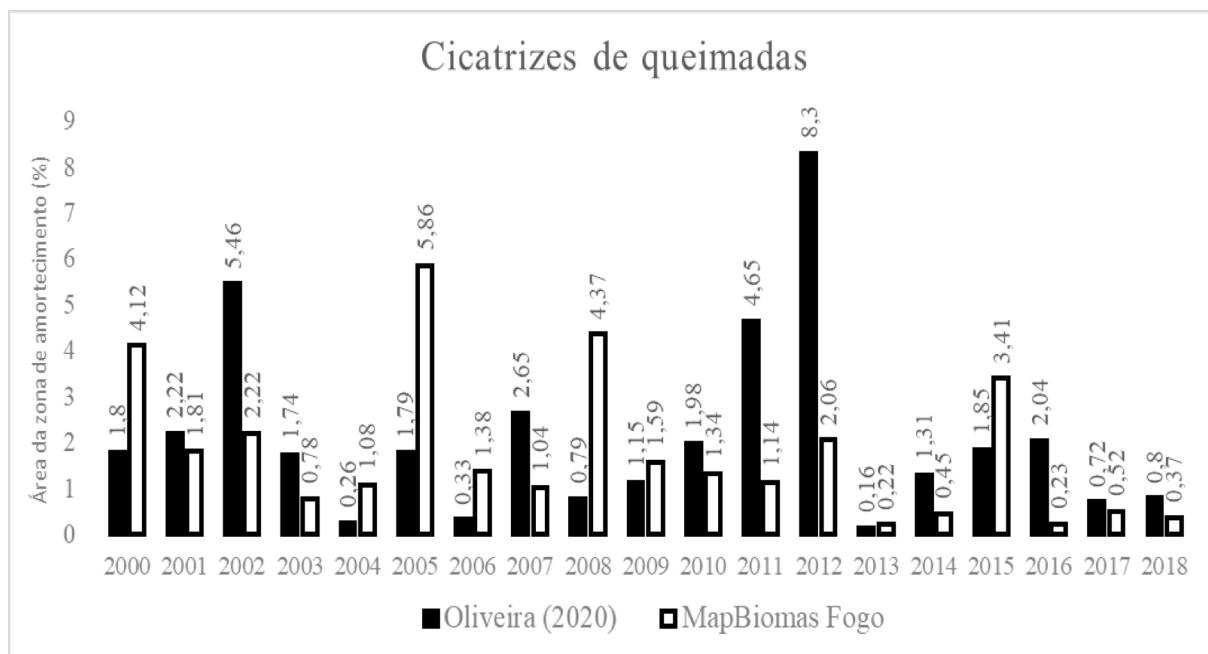


Fonte: Autora, 2022.

Comparando os dados quantitativos de cicatrizes de queimadas do MapBiomias Fogo ao fornecido por Oliveira (2020) no ano de 2018, constatou-se que os percentuais de cicatrizes se igualaram, atingindo um valor baixo de 2,48%. Dado a isso, Rocha e Nascimento (2021) enfatizam que às menores quantidades de queimadas, podem ser justificadas pela ocorrência de poucos anos com valores extremos e anômalos de quantidade de queimadas, conforme os anos anteriores (Figura 3).

Dentre os dezoito anos analisados, apenas cinco do mapeamento de Oliveira (2020) apresentaram quantidade de cicatrizes acima do mapeamento do MapBiomias Fogo na extensão da TI. Por sua vez, Oliveira (2020) mapeou onze anos acima dentro da zona de amortecimento em relação à quantificação do MapBiomias Fogo, evidenciado na Figura 4 abaixo.

Figura 4. Gráfico comparativo em percentual dos mapeamentos semi-automático de Oliveira (2020) e automático do MapBiomias Fogo na zona de amortecimento nos anos 2000 a 2018.



Fonte: Autora, 2022.

A Figura 4 mostra os percentuais de cicatrizes na zona de entorno as quais podem se estender na TI Governador, sendo assim, percebe-se que a maior cicatriz na área ocorreu no ano de 2012, registrando 8,3%, cerca de 4125 ha de área queimada. Também apresentam quantidades consideráveis de queimadas nos anos de 2002 e 2005, podendo ser ocasionada por atividades antrópicas em suas bordas.

Nas áreas de entorno das AP's há uma considerável predominância do desmatamento, devido à ocupação humana exercendo atividades diversas, tal como a exploração agropecuária até a exploração de madeira. Como consequência desta última, pode acontecer o favorecimento para a entrada ilegal, podendo ocorrer a expansão do desmatamento (LOPES; DE SOUZA, 2020) e queimadas em seu interior. Com isso, é possível dizer que grande parte do fogo em áreas indígenas se originam em propriedades rurais fora de seus limites, atingindo, principalmente, as bordas destas áreas (IBGE, 2015).

Segundo Homma et al., (1998), o desmatamento em TI's acontece a partir de duas vertentes: primeira seria pelos povos indígenas, caracterizada pela baixa frequência de derrubadas/queimadas e pelo tempo de pousio; e a segunda ocasionada por pequenos produtores, que ao contrário dos indígenas, caracterizam-se pela alta frequência de derrubadas e queimadas em um curto período de tempo.

Nos últimos anos os povos indígenas têm convivido com os efeitos negativos das mudanças ambientais causadas, sobretudo, pelo desmatamento promovido pelo avanço da exploração de madeira e pelos incêndios florestais ilegais causados por grileiros e fazendeiros no entorno da TI Governador (MELO; MILANEZ, 2017). Além disso, a presença de rodovias dentro da TI (Figura 1) podem favorecer o acesso e facilitar as queimadas ilegais.

Todavia, apesar de haver uma redução/aumento nos quantitativos e algumas variações em determinados anos, é possível perceber que as queimadas na TI e em seu entorno estão associadas ao desmatamento em geral, tendo em vista que durante a série temporal essas áreas apresentaram um contínuo processo de conversão da vegetação, causada pela ocupação humana.

De modo geral, é importante ressaltar que a variação na quantificação das áreas queimadas entre os mapeamentos automático e semi-automático pode ser ocasionada pela diferença na aquisição de imagens, uma vez que a série histórica de Oliveira (2020) analisa em um período compreendido entre os meses de junho a dezembro de cada ano. Já a plataforma do MapBiomas Fogo disponibiliza dados anuais e mensais e obtém a sua acurácia por meio de pontos de validação (fogo e não fogo) para posteriormente serem espacialmente integrados em seu mapeamento (MAPBIOMAS, 2022).

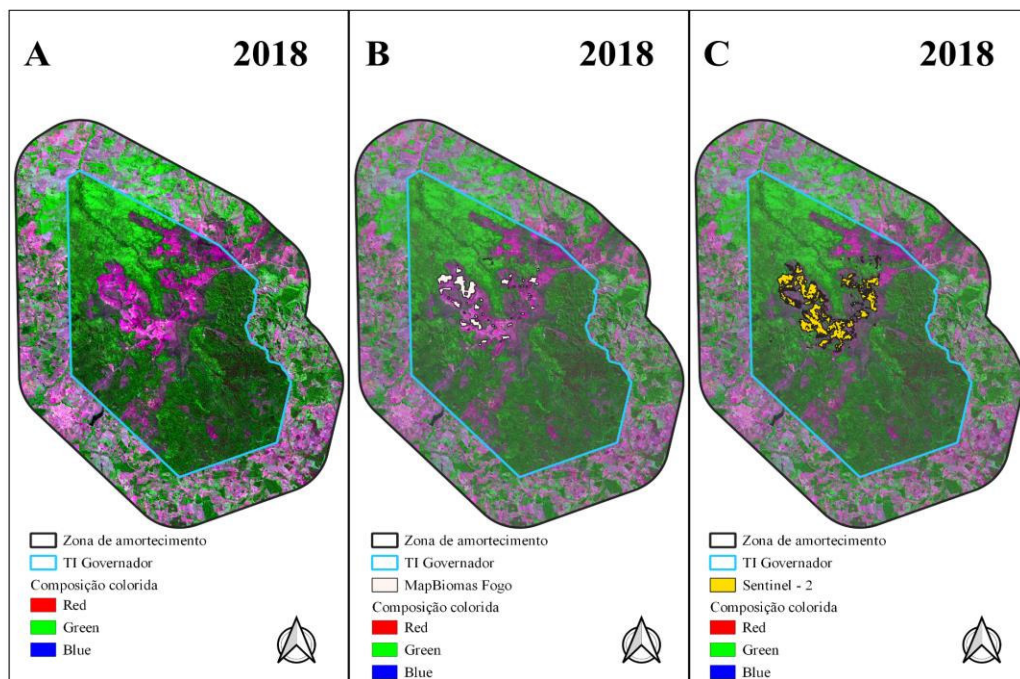
Uma análise comparativa com os dados quantitativos do MapBiomas Fogo aos fornecidos por Oliveira (2020), foi possível que ambas detectaram as cicatrizes, visto que os valores nos anos de 2001, 2009 e 2008 apresentaram uma quantidade semelhante nos dados apurados. A metodologia de Oliveira (2020) foi eficaz em avaliar as cicatrizes no período de estiagem, pois o NDBR utilizado na metodologia é eficiente na detecção de cicatrizes, sendo, o índice de maior precisão no estudo destas áreas (SILVA et al., 2013). Mas, a metodologia do MapBiomas Fogo detecta dados anuais de cicatrizes com alta precisão, indicando a cobertura de uso do solo afetada, sendo atualmente, a plataforma mais completa, atualizada e detalhada com base de dados espaciais de uso da terra em um país disponível no mundo (CARRILHO; MACHADO, 2022), isso indica que essa plataforma possui maior refinamento em distinguir áreas atingidas pelo fogo anualmente.

Vale lembrar que, é necessário que a construção de banco de dados e tratamento das imagens para verificação de cicatriz de queimadas estejam em conformidade, a fim de evitar erros e resultados confusos (BORGES, 2022). Dessa forma, torna-se visível a importância de estudos capazes de identificar e analisar com precisão o gerenciamento de fogo considerando o conhecimento da extensão de áreas queimadas.

5.2 Análise da comparação de metodologias de diferente escala

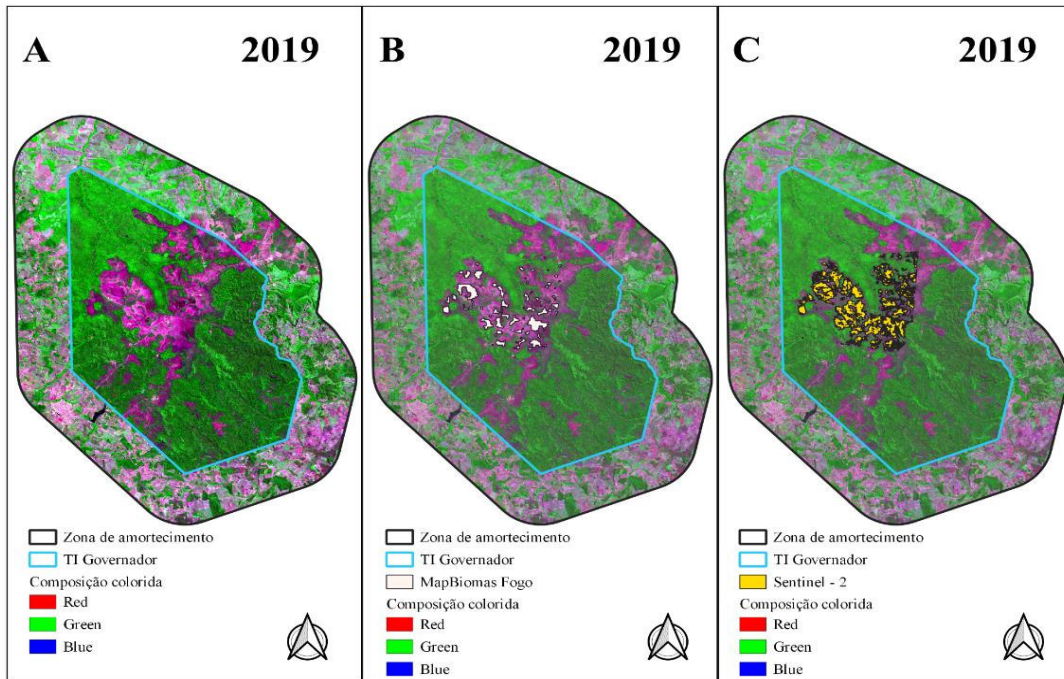
Com os resultados das imagens classificadas observadas e composições coloridas foram obtidos os mapas das classificações do MapBiomias Fogo e Sentinel-2, de onde foram extraídos os dados que serviram de base para as demais análises. Nas Figuras 5, 6 e 7 é possível observar as cicatrizes da TI Governador utilizada para comparação e validação (A); o mapeamento realizado por meio do MapBiomias Fogo (B) e classificação do Sentinel-2 por meio do NBDR (C). Com base somente na visualização já é perceptível a diferença entre as classificações nas Figuras (5abc, 6abc e 7abc), respectivamente.

Figura 5. Mapas Composição RGB (A), MapBiomias Fogo (B) e Sentinel-2 (C) no ano de 2018.



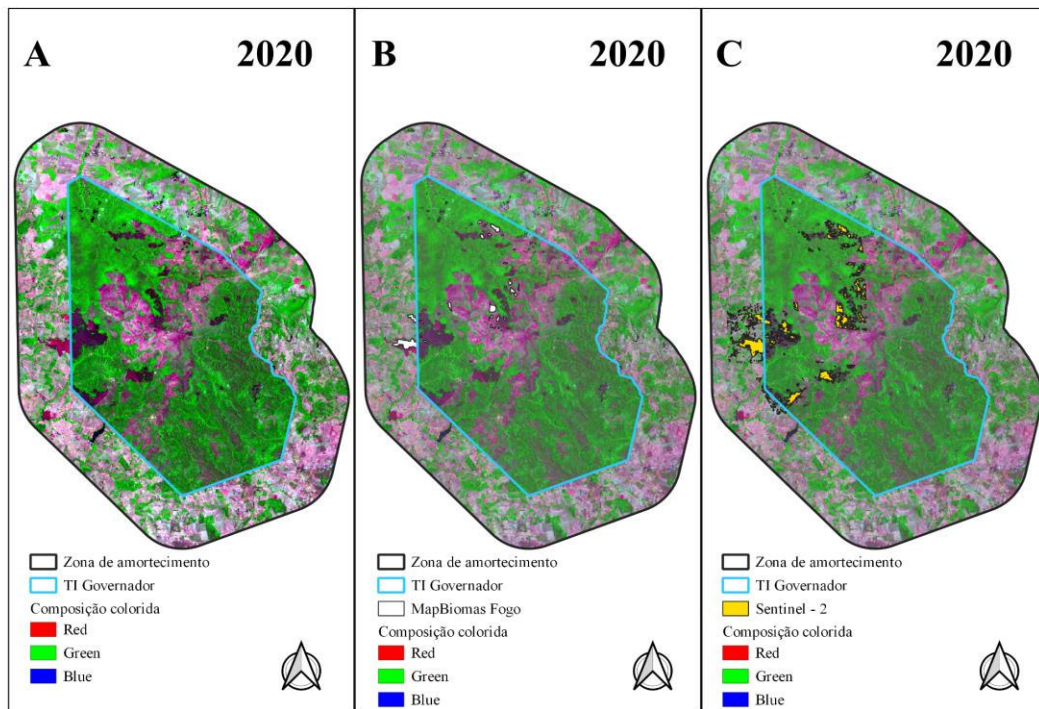
Fonte: Autora, 2022.

Figura 6. Mapas Composição RGB (A), MapBiomias Fogo (B) e Sentinel-2 (C) no ano de 2019.



Fonte: Autora, 2022.

Figura 7. Mapas Composição RGB (A), MapBiomias (B) e Sentinel-2 (C) no ano de 2020.



Fonte: Autora, 2022.

Em relação as Figuras (5, 6 e 7), é possível observar que existem quantidades maiores de áreas queimadas obtidas pela classificação do Sentinel-2, se comparado com o MapBiomias Fogo. Esse fato, que é esperado, ocorre devido o Sentinel-2 apresentar resolução temporal maior que o Landsat, o que para detecção de queimadas pode ser determinante, pois consegue captar maiores detalhes e com uma maior qualidade (VALENTIM, 2021).

A partir desses mapas temáticos foram gerados os dados contidos na Tabela 6 que quantificam, em hectares, cada classe no período de 2018 a 2020, onde se observa que houve uma diferença significativa para cada mapeamento.

Tabela 6. Comparativo do total de cicatriz e não cicatrize em hectares no quadrante observado nos anos 2018 a 2020.

ANO	Sentinel-2 (ha)		MapBiomias Fogo (ha)	
	Cicatrices	Não cicatrizes	Cicatrices	Não cicatrizes
2018	2002,95	7601,48	752,331	8852,1
2019	2696,55	6896,44	1065,7	8527,99
2020	1549,13	8376,04	1549,12	8376,04

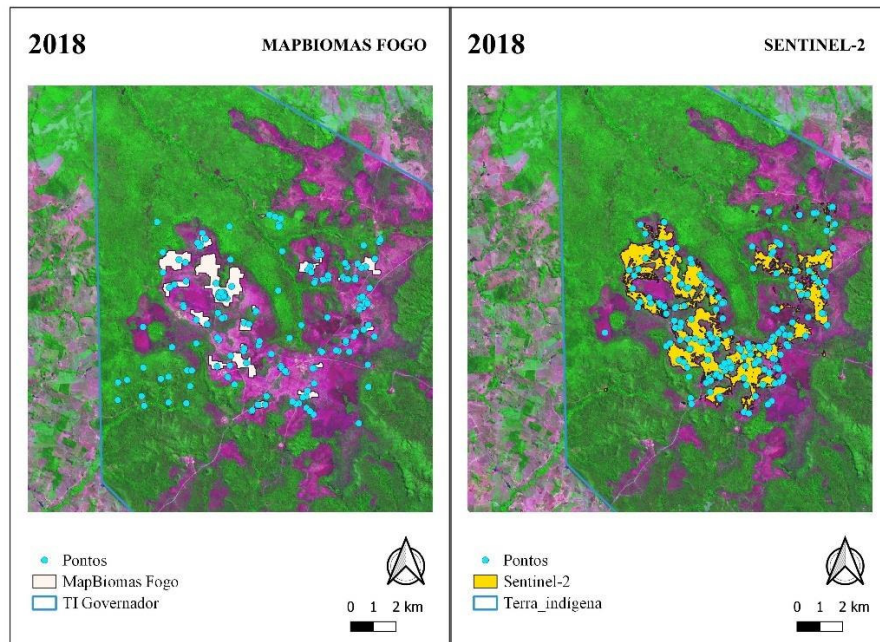
Fonte: Autora, 2022

Nos anos observados (Tabela 6), as áreas com cicatrizes na classificação do Sentinel-2 obtiveram uma média de 2082,88 ha e foram maiores que a classificação do MapBiomias, que obteve a média (1122,38 ha) de cicatrizes. Nota-se que para ambas classificações, o total de áreas sem cicatrizes foram maiores comparado às áreas com cicatrizes, podendo influenciar diretamente no resultado da acurácia.

5.3 Validação e acurácia

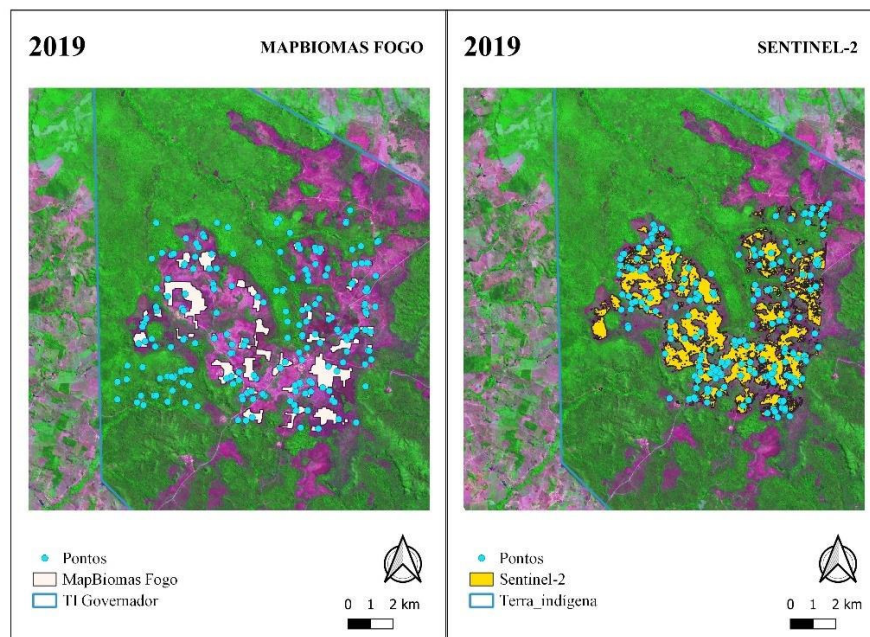
Através da análise visual dos mapas de cicatrizes de queimadas, de acordo com o quadrante das cicatrizes do MapBiomias Fogo e Sentinel-2. Nas figuras (8, 9 e 10), observou-se que grande parte dos pontos randômicos amostrais foram distribuídos em áreas onde não possuem cicatrizes, principalmente os dados do MapBiomias Fogo.

Figura 8. Quadrante das cicatrizes de queimadas com pontos amostrais do MapBiomias Fogo e Sentinel-2 no ano de 2018.



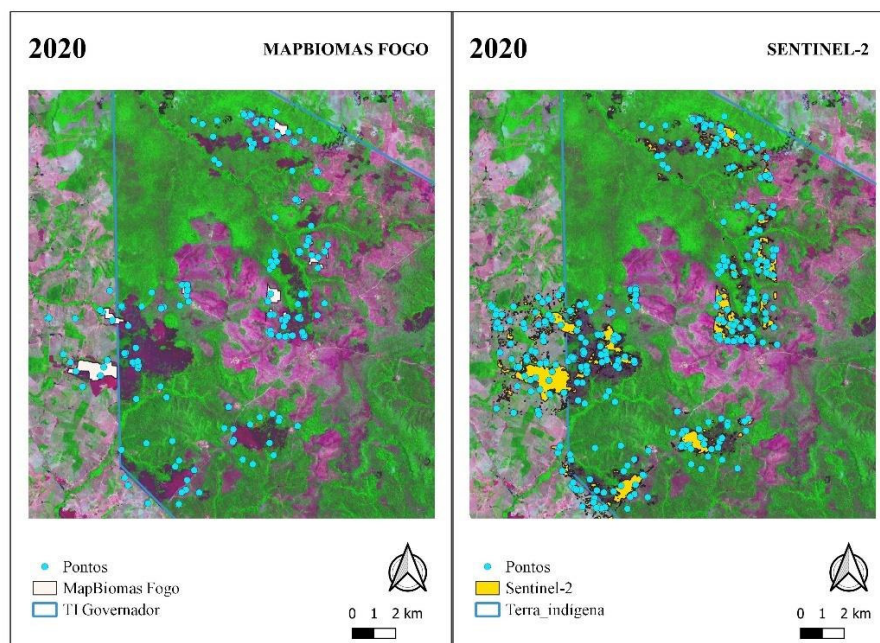
Fonte: Autora, 2022.

Figura 9. Quadrante das cicatrizes de queimadas com pontos amostrais do MapBiomias Fogo e Sentinel-2 no ano de 2019.



Fonte: Autora, 2022.

Figura 10. Quadrante das cicatrizes de queimadas com pontos amostrais do MapBiomias Fogo e Sentinel-2 no ano de 2020.



Fonte: Autora, 2022.

A partir das análises observadas nas figuras acima (8, 9 e 10), foram gerados os resultados das matrizes de confusão, índice Kappa; acurácia global; usuário e produtor, para as classificações dos mapeamentos entre 2018 a 2020 estão apresentados nas Tabelas 6, 7, 8, 9, 10 e 11.

Tabela 7. Matriz de confusão, índice Kappa, acurácia global, acurácia do produtor (AP) e usuário (AU) estimados a partir de comparação entre as cicatrizes de queimadas detectadas da metodologia MapBiomias Fogo no ano de 2018.

Matriz de confusão do MapBiomias Fogo					
Classes	Cicatriz	Não cicatriz	Total linha	AU (%)	Kappa (%)
Cicatriz	41	59	100	41	-
Não cicatriz	10	90	100	90	-
Total coluna	51	149	200	-	-
AP (%)	80	60	-	66	-
Kappa (%)	-	-	-	-	31

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 8. Matriz de confusão, índice Kappa, acurácia global, acurácia do produtor (AP) e usuário (AU) estimados a partir de comparação entre as cicatrizes de queimadas detectadas do Sentinel-2 no ano de 2018.

Matriz de confusão do Sentinel - 2					
Classes	Cicatriz	Não cicatriz	Total linha	AU (%)	Kappa (%)
Cicatriz	72	28	100	72	-
Não cicatriz	36	64	100	64	-
Total coluna	108	92	200	-	-
AP (%)	67	70	-	68	-
Kappa (%)	-	-	-	-	36

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 9. Matriz de confusão, índice Kappa, acurácia global, acurácia do produtor (AP) e usuário (AU) estimados a partir de comparação entre as cicatrizes de queimadas detectadas da metodologia MapBiomias Fogo no ano de 2019.

Matriz de confusão do MapBiomias Fogo					
Classes	Cicatriz	Não cicatriz	Total linha	AU (%)	Kappa (%)
Cicatriz	61	39	100	61	-
Não cicatriz	15	85	100	85	-
Total coluna	76	124	200	-	-
AP (%)	80	69	-	73	-
Kappa (%)	-	-	-	-	46

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 10. Matriz de confusão, índice Kappa, acurácia global, acurácia do produtor (AP) e usuário (AU) estimados a partir de comparação entre as cicatrizes de queimadas detectadas do Sentinel-2 no ano de 2019.

Matriz de confusão do Sentinel - 2					
Classes	Cicatriz	Não cicatriz	Total linha	AU (%)	Kappa (%)
Cicatriz	57	43	100	57	-
Não cicatriz	35	65	100	65	-
Total coluna	92	108	200	-	-
AP (%)	62	60	-	61	-
Kappa (%)	-	-	-	-	22

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 11. Matriz de confusão, índice Kappa, acurácia global, acurácia do produtor (AP) e usuário (AU) estimados a partir de comparação entre as cicatrizes de queimadas detectadas da metodologia MapBiomias Fogo no ano de 2020.

Matriz de confusão do MapBiomias Fogo					
Classes	Cicatriz	Não cicatriz	Total linha	AU (%)	Kappa
Cicatriz	32	67	99	32	-
Não cicatriz	8	92	100	92	-
Total coluna	40	159	199	-	-
AP (%)	80	58	-	62	-
Kappa (%)	-	-	-	-	24

Fonte: Autora, 2022.

Tabela 12. Matriz de confusão, índice Kappa, acurácia global, acurácia do produtor (AP) e usuário (AU) estimados a partir de comparação entre as cicatrizes de queimadas detectadas do Sentinel-2 no ano de 2020.

Matriz de confusão do Sentinel - 2					
Classes	Cicatriz	Não cicatriz	Total linha	AU (%)	Kappa
Cicatriz	63	36	99	64	-
Não cicatriz	19	81	100	81	-
Total coluna	82	117	199	-	-
AP (%)	77	69	-	72	-
Kappa (%)	-	-	-	-	45

Fonte: Autora, 2022.

Na comparação das áreas de cicatrizes e não cicatrizes para cada classe dos mapeamentos para TI Governador de acordo com as matrizes, observou-se que, nenhum dos mapeamentos apresentaram o mesmo percentual, porém apresentaram resultados próximos.

Com base nas matrizes do ano de 2018 (Tabela 6 e 7), estimou-se que as classificações do MapBiomias Fogo e Sentinel-2 se aproximaram alcançando 66% e 68% de exatidão global. Os produtos alcançaram ainda uma exatidão de 60% (MapBiomias Fogo) e 70% (Sentinel-2) para detecção de não cicatrizes de queimadas e para cicatrizes, as classificações alcançaram uma exatidão de 80% e 67%, considerando um resultado bom de exatidão dos produtos (CONGALTON, 1991). Estes valores de acurácia indicam que houve uma subestimação de (40% e 30%) e (20% e 33%) para áreas não cicatrizes e com cicatrizes, respectivamente.

Para os erros de comissão (AU), o MapBiomias Fogo e Sentinel-2 estimaram-se que 90% e 64% de acurácia na detecção de áreas com não cicatrizes e 41% e 77% das áreas de

cicatrices. A AU indica a probabilidade que o *pixel* classificado dos produtos do MapBiomas e Sentinel-2 representam a imagem de referência, resultando em uma subestimação de classe não-cicatriz de 10% e 36% e cicatriz 59% e 36%.

O índice Kappa foi determinado para avaliação da exatidão de ambos os dados permitindo uma visualização dos resultados da classificação. Com os resultados, indicaram um coeficiente de 31% para o MapBiomas Fogo e de 36% para o Sentinel-2, que, segundo a classificação de Landis e Koch (1977) ambas foram razoáveis, demonstrando que as classificações na área estudada não se condizem tanto com realidade.

No ano de 2019, a estatística descritiva global atingiu a proporção de 73% (Tabela 8) e 61% (Tabela 9) de exatidão. Analisando a AP e AU, constatou-se que a classe da AP não cicatriz, em ambos mapeamentos atingiram um índice de 80% e 62%, sendo considerada boa (CONGALTON, 1991). Esta medida de acurácia indica que a probabilidade de o *pixel* de referência estar corretamente classificado, sendo realmente uma medida de erro de omissão (SUAREZ; CANDEIAS, 2012). Analisando a AU para a mesma classe, foi atingido um índice de 85% e 65% (MapBiomas Fogo e Sentinel-2). Já para a classe Cicatriz obtiveram uma porcentagem 61% para o MapBiomas Fogo e 57% para o Sentinel-2, sendo 51(39)% e 43% de falsos positivos. O valor do índice Kappa para a classificação do Sentinel-2 foi menor em comparação com para o MapBiomas Fogo, com 0,22 e 0,46, respectivamente.

No ano de 2020 (Tabelas 10 e 11), a classificação do Sentinel-2 apresenta uma exatidão global superior (72%) ao da classificação do MapBiomas Fogo. Os respectivos valores de confusão são de 28% e 38%, respectivamente. Os valores a EG podem ser interpretados também de tal forma que a probabilidade do acerto no mapeamento de um *pixel* é de 72% e 62%.

Ainda em observação das Tabelas, nota-se que a AU foi de 92% (MapBiomas Fogo) e 81% (Sentinel-2) para a classe não cicatriz. Essas porcentagens significam que os dos 199 classificados no MapBiomas Fogo e Sentinel-2 como área de não cicatriz, 92% e 81% deles (199), realmente não eram áreas de cicatrizes na composição RGB. Para a AP, as porcentagens apresentaram que, 80% e 77% dos classificados eram áreas com cicatrizes de queimadas. E o número Kappa para o MapBiomas foi de 24% e para o Sentinel-2 de 45%, considerada uma classificação boa (41 - 60), de acordo com Silva (2019) *apud* Landis e Koch (1977).

Com base nas matrizes de confusão, pode-se dizer que o Sentinel-2 apresentou um maior índice Kappa para os anos de 2018 e 2020 e o MapBiomas Fogo somente no ano de 2019. Isto pode indicar que as áreas definidas como não cicatriz são maiores que às áreas com cicatrizes.

6 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que os dados de Oliveira (2020) e MapBiomias Fogo captaram cicatrizes de queimadas nos anos de 2001, 2009 e 2018 de modo semelhantes, principalmente, no ano de 2018 com o mesmo percentual de 2,48% na área da TI Governador.

Durante a série temporal, o MapBiomias Fogo detectou o maior número de cicatrizes dentro da TI Governador em comparação ao mapeamento de Oliveira (2020), captando a média de 5941,79 ha (14,11%), cerca de 3632,81 ha a mais que Oliveira (2020), no qual apresentou a média de 5,68% entre 2000 a 2018.

No entanto, a detecção de áreas cicatrizes de queimadas usando os dados do Sentinel-2 apresentou melhor eficácia, provavelmente porque possui uma maior resolução espacial (10 m), comparado ao MapBiomias Fogo, visto que, este mapeamento utiliza imagens do Landsat. O Sentinel-2 consegue detectar maiores detalhes e com uma maior qualidade, o que indica ser o sensor mais adequado para a avaliação e mapeamento de áreas atingidas por fogo na área de estudo.

Quanto a acurácia dos dados pode-se concluir que a utilização da matriz de confusão para a validação das duas classificações do Sentinel-2 e MapBiomias Fogo foi fundamental, uma vez que nos permitiu avaliar a exatidão de cada mapeamento.

Ambos os mapeamentos detectaram uma degradação na vegetação da TI Governador, isso reforça o monitoramento destas AP's pelos órgãos responsáveis, a fim de garantir a proteção dos recursos naturais. Os mapeamentos de satélites aliados às técnicas de sensoriamento remoto no estudo de queimadas mostram-se um método eficiente e viável, capaz de fornecer dados de localização destas áreas e quantificação das mesmas. Sendo assim, uma importante ferramenta de subsídio à gestão de áreas protegidas.

REFERÊNCIAS

- AMOS, C.; PETROPOULOS, G. P.; FERENTINOS, K. P. Determining the use of Sentinel-2A MSI for wildfire burning & severity detection. **International journal of remote sensing**, v. 40, n. 3, p. 905-930, 2019.
- ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; ROMANCUESTA, R. M.; SAATCHI, S.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. **Geophysical Research Letters**, v. 34, n. 7, 2007.
- ARAGÃO, L. E. O. C.; POULTER, B.; BARLOW, J. B.; ANDERSON, L.; MALHI, Y.; SAATCHI, S.; PHILLIPS, O. L.; GLOOR, E. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. **Biological Reviews**, v. 89, n. 4, p. 913-931, 2014.
- BATISTA, A. C. Detecção de incêndios florestais por satélites. **Floresta**, v. 34, n. 2, 2004.
- BOLFE, E. L. Geotecnologias aplicadas à gestão de recursos naturais. In: III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 2006, Aracajú. **Anais...** Aracajú: Rede Sergipe de Geotecnologias, 2006. p. 1-13.
- BONFIM, V. R.; RIBEIRO, G. A.; SILVA, E.; BRAGA, G. M. Diagnóstico do uso do fogo no entorno do Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (PESB), MG. **Revista Árvore**, v. 27, p. 87-94, 2003.
- BORGES, C. V. D. S. **Uso de índices espectrais para quantificar status da regeneração vegetativa após evento de fogo, estudo de caso**. 2022. 61f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias de Chapadinha, Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Chapadinha, 2022.
- BOWMAN, D.; BALCH, J.K.; ARTAXO, P.; BOND, W.J.; CARLSON, J.M.; COCHRANE, M.A.; D'ANTONIO, C.M.; DEFRIES, R.S.; DOYLE, J.C.; HARRISON, S.P.; JOHNSON, F.H.; KEELEY, J.E.; KRAWCHUK, M.A.; KULL, C.A.; MARSTON, J.B.; MORITZ, M.A.; PRENTICE, I.C.; ROOS, C.I.; SCOTT, A.C.; SEWTON, T.W.; VAN DER WERF, G.R. & PYNE, S.J. 2009. Fire in the Earth system. **science**, v. 324, n. 5926, p. 481-484, 2009.
- CALDAS, J. M.; SILVA, F. B.; SILVA JUNIOR, C. H. L. Análise de focos de queimadas no Parque Estadual do Mirador utilizando um Sistema de Informação Geográfica – SIG, Estado do Maranhão, Brasil. (COPEC, Ed.) In: Proceedings of Safety, Health and Environment World Congress, Cubatão. **Anais...** Cubatão: COPEC, 2014. Disponível em: <<https://copec.eu/congresses/shewc2014/proc/works/29.pdf>>
- CAMPANHARO, W. A.; NEVES, A. K.; LOPES, A. P.; DUTRA, A. C.; SCALIONI, D. C. C.; PEREIRA, V. P. B.; ANDERSON, L.; ARAGÃO, L. E. O. C. Padrões e impactos dos incêndios florestais nos biomas brasileiros. In: Setzer, A. W.; Ferreira, N. J. **Queimadas e incêndios florestais: mediante monitoramento orbital**. 1ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2021. p. 178-202.

CANO-CRESPO, A.; OLIVEIRA, P. J.; BOIT, A.; CARDOSO, M.; THONICKE, K. Forest edge burning in the Brazilian Amazon promoted by escaping fires from managed pastures. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v.120, n.10, p.2095-2107, 2015.

CARRILHO, A. B.; MACHADO, D. L. **Monitoramento de queimadas no município de Novo Progresso – PA, nos períodos de 2019 e 2020 com o uso do Mapbiomas**. 2022. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Belém, Belém - PA, 2022.

CHUVIECO, E.; MOUILLOT, F.; VAN DER WERF, G. R.; SAN MIGUEL, J.; TANASE, M.; KOUTSIAS, N.; GIGLIO, L. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation. **Remote Sensing of Environment**, v. 225, p. 45-64, 2019.

CHUVIECO, Emilio. Fundamentos de teledetección espacial. **Estudios Geográficos**, v. 52, n. 203, p. 371, 1991.

CONGALTON, R.G. Accuracy assessment and validation of remotely sensed and other spatial information. **International Journal of Wildland Fire**, v.10, p.321-328, 2001.

CONGALTON, Russell G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote sensing of environment**, v. 37, n. 1, p. 35-46, 1991.

COSTA, J. F. **Estudo da dinâmica do fogo na área da Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins: uso de técnicas de sensoriamento remoto**. 2018. 102f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Nacional, 2018.

COUTINHO, L. M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDAMMER, J.G. (Ed.). **Fire in the Tropical Biota: Ecosystem Processes and Global Challenges**. New York: Columbia University Press, 1990. p. 82-105.

CRUTZEN, P. J.; ANDREAE, M. O. Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. **science**, v. 250, n. 4988, p. 1669-1678, 1990.

DA SILVA, F. S.; PESTANA, A. L. M.; MARTINS, L. S. Sensoriamento remoto para detecção de queimadas no Cerrado Maranhense: uma aplicação no Parque Estadual do Mirador. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 13, n. 2, p. 90-105, 2019.

DIAS, L. O.; GUILITO, D. S.; GUARÁ, E. B.; GAVIÃO, E. M.; GAVIÃO, J. G. C.; CARDOSO, J.; COSTA, K. B. T.; GAVIÃO, L. C.; GAVIÃO, M. L. B. M.; GAVIÃO, M. G.; TIMBIRA, M. B.; GAVIÃO, R. B.; GAVIÃO, S. B. Pyhcop cati jijõ pjii - território gavião do Maranhão. **Articulação na construção do saber.**, v.2, n.1, p.184-202, 2017.

DRUSCH, M.; DEL BELLO, U.; CARLIER, S.; COLIN, O.; FERNANDEZ, V.; GASCON, F.; HOERSCH, B.; ISOLA, C.; LABERINTI, P.; MARTIMORT, P.; MEYGRET, A.; SPOTO, F.; SY, O.; MARCHESE, F.; BARGELLINI, P. Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. **Remote sensing of Environment**, v. 120, p. 25-36, 2012.

EARL, N.; SIMMONDS, I. Spatial and temporal variability and trends in 2001–2016 global fire activity. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 123, n. 5, p. 2524-2536, 2018.

EMBRAPA TERRITORIAL. Satélites de Monitoramento. Campinas, 2018. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento> >. Acesso em: 13 jun. 2022.

ESA – **European Space Agency**. 2020. **Introducing Sentinel-2**. Disponível em: <<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>> Acesso em: 13 jun. de 2022.

FERREIRA, K.R.; QUEIROZ, G.R.; VINHAS, L.; MARUJO, R.F.B.; SIMOES, R.E.O.; PICOLI, M.C.A.; CAMARA, G.; CARTAXO, R.; GOMES, V.C.F.; SANTOS, L.A.; SANCHEZ, A.H.; ARCANJO, J.S.; FRONZA, J.G.; NORONHA, C.A.; COSTA, R.W.; ZAGLIA, M.C.; ZIOTI, F.; KORTING, T.S.; SOARES, A.R.; CHAVES, M.E.D.; FONSECA, L.M.G. Earth observation data cubes for Brazil: Requirements, methodology and products. **Remote Sensing**, v. 12, n. 24, p. 4033, 2020.

FILHO, F. L. C. Relatório diagnóstico do município de Amarante do Maranhão. **CPRM – Serviço Geológico do Brasil**. 2011.

FRANÇA, D. A.; FERREIRA, N. J. Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. **Anais...** Goiânia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 3017-3023, 2005.

FREIRE, A. T. G.; JUNIOR, C. H. L.S.; ANDERSON, L.O.; DE ARAGÃO, L. E. O E. C.; SILVA, F.B.; MENDES, J.J. A zona de transição entre a Amazônia e o Cerrado no estado do Maranhão. Parte I: Caracterização preliminar dos dados focos de queimadas (produto MODIS MCD14ML). In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, 2015, p.7471-7477.

GERUDE, R. G. Focos de queimadas em áreas protegidas do Maranhão entre 2008 e 2012. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE: 2013.

GIGLIO, L.; KENDALL, J. D.; JUSTICE, C. O. Evaluation of global fire detection algorithms using simulated AVHRR infrared data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, n. 10, p. 1947-1985, 1999.

GRANEMANN, D. C.; CARNEIRO, G. L. Monitoramento de focos de incêndio e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 1, n. 1, p. 55-62, 2009.

HARRISON, S. P.; MARLON, J. R.; BARTLEIN, P. J. Fire in the Earth system. In: **Changing climates, earth systems and society**. Springer, Dordrecht, 2010. p. 21-48.

HOMMA, A.K.O.; WALKER, R.T.; SCATENA, F.N.; CONTO, A.J.; CARVALHO, R.A.; FERREIRA, C.A.P.; SANTOS, A.I.M. **Redução dos desmatamentos na Amazônia: política agrícola ou ambiental**. In: HOMMA, A.K.O (ed.). **Amazônia: meio ambiente e desenvolvimento agrícola**. Brasília, EMBRAPA-SPI, p.120-141, 1998.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 472 p. Disponível em: Revista de Geografia (Recife) v. 36, no .1, 2019 Sales et al, 2018 ISSN 0104-5490 72. Acesso em: 09 de dez. de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em: 21 de jun. 2022.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL – ISA, 2022. **Terras indígenas no Brasil**: Terra Indígena Governador. Disponível em <<https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3672#direitos>>. Acesso em: 15 de mai. de 2022.

JUNIOR, C. H. L. S.; ANDERSON, L. O.; OLIVEIRA, L. E.; DE ARAGÃO, C.; RODRIGUES, B. D. Dinâmica das queimadas no Cerrado do Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 35, p. 1-14, 2018.

JÚNIOR, C.M.P.; FERREIRA, R.V. **Avaliação do desempenho do índice Δ NBR para a identificação de áreas incendiadas na microrregião de Uberaba, MG**. Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium, v. 11, n. 2, p. 159-169, 2020.

JUSTINO, F.; RODRIGUES, J. M.; SILVA, A. D. S. Paleofogo e o potencial impacto das mudanças climáticas na incidência de queimadas. In: Alberto Setzer e Nelson Ferreira. (Org.). **Queimadas e incêndios florestais: mediante monitoramento orbital**. 1ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2021. p. 281-291.

KEY, C. H.; BENSON, N. C. 2006. Landscape Assessment (LA). In: Lutes, Duncan C.; Keane, Robert E.; Caratti, John F.; Key, Carl H.; Benson, Nathan C.; Sutherland, Steve; Gangi, Larry J. 2006. **FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system**. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. LA-1-55.

KOUTSIAS, N.; KARTERIS, M. Logistic regression modelling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, p. 3499–3514, 1998.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1997. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/2529310>>. Acesso em: 22 de dez. 2022.

LIBONATI, R., DACAMARA, C. C., SETZER, A. W., MORELLI, F., MELCHIORI, A. E. An algorithm for burned area detection in the Brazilian Cerrado using 4 μ m MODIS imagery. **Remote sensing**, v. 7, n. 11, p. 15782-15803, 2015.

LIBONATI, R.; PEREIRA, A. A.; SANTOS, F. L. M.; RODRIGUES, J. A.; ROSA, A. S.; MELCHIORI, E. A.; MORELLI, F. ; SETZER, A. Sensoriamento remoto de áreas queimadas no Brasil: progressos, incertezas, desafios e perspectivas futuras. In: Alberto Setzer e Nelson Ferreira. (Org.). **Queimadas e incêndios florestais: mediante monitoramento orbital**. 1ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2021. p. 49-71.

LOPES, C. A. V.; DE SOUZA, R. D. A. Análise da cobertura florestal da Terra Indígena Sete de Setembro, entre os anos 1997 a 2017. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia/Brazilian Journal of Science of the Amazon**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2020.

MALLINIS, G.; MITSOPOULOS, I.; CHRYSAFI, I. Evaluating and comparing Sentinel 2A and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) spectral indices for estimating fire severity in a Mediterranean pine ecosystem of Greece. **GIScience & Remote Sensing**, v. 55, n. 1, p. 1-18, 2018.

MAPBIOMAS BRASIL. **O projeto**. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/o-projeto>>. Acesso em: 07 de jun. 2022.

MARTINS, M. C. **Fogo: Visões, possibilidades e limites do seu uso na agricultura, nas unidades de conservação e nas atividades florestais**. 2017. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017.

MELO, M. H. F.; MILANEZ, F. **Madeireiros invadem floresta no Maranhão e intimidam indígenas Gavião**. Carta Capital, 2017. Disponível em <<https://www.cartacapital.com.br/sociedade/madeireiros-invadem-floresta-no-maranhao-e-intimidam-indigenas-gaviao/>>. Acesso em: 10 de dez. 2022.

MELO, M.; GAVIÃO, P. B. A. transmissão de nomes gavião: fabricando pessoas e coletividades (Gavião Pyhcopcati Ji–Amazônia Maranhense). **Articulando e Construindo Saberes**, v. 2, n. 1, p. 218-238, 2017.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. D. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, Brasília: UnB, p. 1-266, 2012.

MIRANDA, G. J. D.; DE MENDONÇA, B. A. F.; DE OLIVEIRA, E. R. S.; DE OLIVEIRA, K. A.; ROMEIRO, J. M. N.; TORRES, F. T. P. Large fires and fire danger indices in ‘Governador’ Indigenous Territory, Maranhão State. **Floresta**, v. 52, n. 1, p. 083-092, 2022.

MISTRY, J.; BIZERRIL, M. Por que é importante entender as inter-relações entre pessoas, fogo e áreas protegidas? Why it is important to understand the relationship between people, fire and protected areas. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 2, p. 40-49, 2011.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2.ed. Viçosa: UFV, 2003. 307p.

NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A. G.; ALENCAR, A. A. **Flames in the rain forest: origins, impacts and alternatives to Amazonian fires**. Brasília: Pilot Program to Conserve the Brazilian Rain Forest, p. 1-161, 1999.

NUNES, P. M. V. **Delimitação de áreas ardidadas, classificação da severidade do fogo, e avaliação da recuperação das áreas ardidadas com recurso a imagens multiespectrais do Satélite Sentinel-2**. 2019. 89f. Relatório de Estágio (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior Agrária Politécnico de Coimbra – ESAC. 2019.

OLIVEIRA, A. C.; COSTA, P. O. S. V.; VIEIRA, R. B; PAMBOUKIAN, S. V. D. Uso de sensoriamento remoto para identificação de queimadas no Parque Estadual Encontro das Águas. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 118-143, 2021.

OLIVEIRA, A. K. S. **Caracterização de cicatrizes de incêndios na terra indígena Governador, Maranhão – BR**. 2020. 44f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Chapadinha, 2020.

PANTALEÃO, E.; SCOFIELD, G. B. Comparação entre medidas de acurácia de classificação para imagens do satélite ALOS. **XIV Simpósio Bras Sensoriamento Remoto**. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.20.26/doc/7039-7046.pdf>>. Acesso em: 28 de nov. 2022, p. 7039-7046, 2009.

PASCUCHI, P. Mari. **Fundamentos jurídicos da zona de amortecimento em terra indígena**. 2007. 141 f. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Direito Ambiental, Universidade do Estado do Amazonas, 2007.

PATROCÍNIO, L. R. A. **A influência de características da paisagem na dinâmica de incêndios florestais na Mata Atlântica costeira da Bahia**. 2022. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada à Gestão Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Ecologia, Universidade Federal da Bahia, 2022.

PECHONY, O.; SHINDELL, D. T. Driving forces of global wildfires over the past millennium and the forthcoming century. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 45, p. 19167-19170, 2010.

PEREIRA, A. A.; PEREIRA, J. A. A.; MORELLI, F.; BARROS, D. A.; ACERBI JR, F. W.; SCOLFORO, J. R. S. Validation of hotspots utilized in the orbital monitoring of burnt areas by means of TM images. **Cerne**, v. 18, n. 2, p. 335-343, 2012.

PINTO, C. S. **Estudo de caso utilizando imagens de satélite na análise de cicatrizes de fogo**. 2018. 35f. Monografia (Graduando em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

PLETSCH, M. A. J. S.; PENHA, T. V.; JUNIOR, C. H. S.; KÖRTING, T.; ARAGÃO, L. D.; ANDERSON, L. Integração do algoritmo FMASK ao modelo linear de mistura espectral como subsídio à detecção de áreas queimadas na Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 2, p. 696-724, 2018.

PROJETO MAPBIOMAS – **Mapeamento das áreas queimadas no Brasil (Coleção 1)**. Disponível em: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact_Sheet.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2022.

PROJETO MAPBIOMAS. **Mapeamento de cicatrizes de fogo no Brasil - Coleção 1**. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/metodo-mapbiomas-fogo>>. Acesso em: 07 de jun. 2022.

RAMOS, A. B. R.; NASCIMENTO, E. R. P. D.; OLIVEIRA, M. J. D. Temporada de incêndios florestais no Brasil em 2010: análise da série histórica de 2005 a 2010 e as influências das

chuvas e do desmatamento na quantidade dos focos de calor. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 15, p. 7902-7909, 2011.

ROCHA, M. I. S.; NASCIMENTO, D. T. F. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 03, p. 1220-1235, 2021.

RODRIGUES, J. A. LIBONATI, R.; DE FARIA PERES, L.; SETZER, A. Mapeamento de áreas queimadas em Unidades de Conservação da região serrana do Rio de Janeiro utilizando o satélite Landsat-8 durante a seca de 2014. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 1, p. 318-327, 2018.

ROY, D. P., BOSCHETTI, L., JUSTICE, C. O., JU, J. The collection 5 MODIS burned area product—Global evaluation by comparison with the MODIS active fire product. **Remote sensing of Environment**, v. 112, n. 9, p. 3690-3707, 2008.

SALES, D. P.; NETO, F. M. O. Análise da distribuição das queimadas no cerrado maranhense, Brasil (2014-2018). **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 9, n. 18, 2020.

SALES, L. L. N.; DA SILVA, D. D. S.; LIMA, E. V.; FONSECA, G. T. C.; ALMEIDA, G. S.; BOTELHO, J. 10 Municípios Maranhenses Mais Atingidos Por Focos De Queimadas Noas Anodes De 2014 E 2015. **Revista De Geografia (Recife)**, v. 36, n. 1, 2019.

SÃO PAULO. Lei nº 10547, de 02 de Maio de 2000. Projeto de lei nº 491, de 1999, do Deputado Arnaldo Jardim-PMDB. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2000/lei-10547-02.05.2000.html>. Acesso em: 04 dez. 2022.

SCHEPERS, L.; HAEST, B.; VERAVERBEKE, S.; SPANHOVE, T.; BORRE, J. V.; GOOSSENS, R. Burned Area Detection and Burn Severity Assessment of a Heathland Fire in Belgium Using Airborne Imaging Spectroscopy (APEX). *Remote Sens.*, v. 6, p. 1803 - 1826, 2014.

SHIMABUKURO, Y. E.; MAEDA, E. E.; FORMAGGIO, A. R. Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao estudo dos recursos agrônômicos e florestais. **Ceres**, v. 56, n. 4, 2015.

SILVA, C.A.; DE OLIVEIRA SEBOK; F.G., LIMA, I. C.; DA SILVA FILHO, D. F.; POLIZEL, J. L. O uso do sensoriamento remoto por meio de imagens de satélite de alta resolução para garantia de cobertura arbórea intra-urbana no interior do Estado de São Paulo. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, v. 15, p. 738-743, 2011.

SILVA, R. G. D; MIRANDA, J. D R.; NASCIMENTO, C. R. Detecção de áreas queimadas no Parque Estadual de Serra Nova/MG utilizando os índices espectrais NDVI e NDBR. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 16 (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José os Campos: INPE, 2013. p. 6923-6929. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p0772.pdf>>. Acesso em: 04 dez. 2022.

SILVA, R. O. D. **Dinâmica do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio Munim – MA, 1984 – 2018**. 2019. 39 f. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola) – Centro de

Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal do Maranhão – UFMA, Chapadinha, 2019.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; SANTOS, J. F. Evolução do perfil dos incêndios florestais em áreas protegidas no Brasil, de 1983 a 2002. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 93-100, 2006.

SOARES, R. V.; SANTOS, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 219-232, 1997.

SOARES, R. V.; SANTOS, J. F. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1994 a 1997. **Floresta**, v. 32, n. 2, 2002.

SOUZA, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; DE OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; ... AZEVEDO, T. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 2735, p. 10.3390, 2020.

SOUZA, C. R. **Identificação de áreas mineradas a partir de Sensoriamento Remoto: um olhar com o Mapbiomas**. 2021. 193 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciência da Terra e do Ambiente) - Departamento de Ciências Exatas, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2021.

SUAREZ, A. F.; CANDEIAS, A. L. B. Avaliação de acurácia da classificação de dados de sensoriamento remoto para o município de Maragogipe. **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife, Brasil, 2012.

TANSEY, K.; Grégoire, J. M.; Defourny, P.; Leigh, R.; Pekel, J. F.; Van Bogaert, E.; Bartholomé, E. A new, global, multi-annual (2000–2007) burnt area product at 1 km resolution. **Geophysical Research Letters**, v. 35, n. 1, 2008.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A. Índices de risco de incêndios florestais em Juiz de Fora/MG. Seropédica: **Floresta e Ambiente**, v.15 n.2, p.30-39, 2008.

TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. Determinação do período mais propício às ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista árvore**, v. 34, p. 297-303, 2010.

VALENTIM, A. L. M. D. C. **Análise da ocorrência do fogo no município de Aripuanã – MT usando dados de sensores**. 2021. 54 f. il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021.

VERAVERBEKE, Sander et al. Evaluation of pre/post-fire differenced spectral indices for assessing burn severity in a Mediterranean environment with Landsat Thematic Mapper. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 12, p. 3521-3537, 2011.

VERÍSSIMO, A. A. Amazônia brasileira: desenvolvimento e conservação. **Trigueiro, A. Mundo Sustentável**, v. 2, p. 203-208, 2012.

VERISSIMO, A.; ROLA, A.; VEDOVETO, M.; FUTADA, S. **Áreas protegidas na Amazônia Brasileira: Avanços e Desafios**. Belém: Imazon; São Paulo: Instituto Sócio Ambiental, 2011. p. 11-14.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S. Queimadas e incêndios florestais no estado de Sergipe, Brasil, entre 1999 e 2015. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 561-570, 2017.

WHITE, B. L. A.; WHITE, L. A. S.; RIBEIRO, G. T.; FERNANDES, P. A. M. Development of a fire danger index for eucalypt plantations in the northern coast of Bahia, Brazil. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 601-610, 2013.

XERENTE, P. P. G. D. S.; DE OLIVEIRA, R. C. S. Abordagem Indígena sobre Manejo Integrado do Fogo em Terras Indígenas no Estado do Tocantins–Brasil. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 2, p. 67-74, 2021.