

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS - BOMBEIRO MILITAR

JOSÉ ANTÔNIO ALMEIDA DE **CARVALHO** JÚNIOR

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE AS VULNERABILIDADES AMBIENTAIS DE
TASSO FRAGOSO - MA E AS ÁREAS QUEIMADAS DETECTADAS PELO
SENSOR DE OBSERVAÇÃO MODIS ENTRE OS ANOS DE 2017 E 2021**

São Luís – MA
2023

JOSÉ ANTÔNIO ALMEIDA DE **CARVALHO** JÚNIOR

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE AS VULNERABILIDADES AMBIENTAIS DE
TASSO FRAGOSO - MA E AS ÁREAS QUEIMADAS DETECTADAS PELO
SENSOR DE OBSERVAÇÃO MODIS ENTRE OS ANOS DE 2017 E 2021**

Monografia apresentada ao Curso de
Formação de Oficiais – Bombeiro Militar,
para obtenção do grau de Bacharel em
Segurança Pública e do Trabalho.

Orientador: Prof^a. Esp^a.
Jhésyka Yasminni Lôbo
Ferreira Fernandes Felício.

São Luís – MA
2023

Carvalho Júnior, José Antônio Almeida de.

Análise da relação entre as vulnerabilidades ambientais de Tasso Fragoso - MA e as áreas queimadas detectadas pelo sensor de observação MODIS entre os anos de 2017 e 2021 / José Antônio Almeida de Carvalho Júnior. – São Luís, 2023.

61 f

Monografia (Graduação) – Curso de Formação de Oficiais Bombeiro Militar, Universidade Estadual do Maranhão, 2023.

Orientadora: Profa Esp. Jhéssyka Yasminni Lôbo Ferreira F. Felício.

JOSÉ ANTÔNIO ALMEIDA DE **CARVALHO JÚNIOR**

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE AS VULNERABILIDADES AMBIENTAIS DE
TASSO FRAGOSO - MA E AS ÁREAS QUEIMADAS DETECTADAS PELO
SENSOR DE OBSERVAÇÃO MODIS ENTRE OS ANOS DE 2017 E 2021**

Monografia apresentada ao Curso de
Formação de Oficiais – Bombeiro Militar,
para obtenção do grau de Bacharel em
Segurança Pública e do Trabalho.

Aprovado em: ___ / ___ / ___

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Esp.^a Jhéssyka Yasminni Lôbo Ferreira Fernandes Felício (Orientadora)
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Dr. Luciano Façanha
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Yury Ribeiro Calisto
Academia de Bombeiros Militar “Josué Montello”

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder força para superar todas as dificuldades.

Aos meus pais José Antônio e Nair pelo amor, apoio e ensinamentos que foram fundamentais para que pudesse chegar até esse momento.

A minhas irmãs Luana e Valewska pelo amor e apoio durante todo o curso mesmo a distância.

A minha namorada Mariana por todo seu amor, incentivo e persistência em dirimir as dificuldades advindas da distância decorrente da rotina do curso.

Aos meus irmãos de farda da XV Turma, especialmente ao Cadete Roberto, que esteve ao meu lado durante todo o curso, apoiando-me nas dificuldades e desafios que precisaram ser superados.

Aos meus amigos André, Erikson e Francisco que não mediram esforços para me auxiliar em todas as etapas da longa jornada do CFO – BM.

A minha orientadora, Prof.^a Esp.^a Jhéssyka Yasminni Lôbo Ferreira Fernandes Felício pelo suporte e disponibilidade em ajudar com ensinamentos essenciais para a conclusão deste trabalho.

Aos fundadores do Centro de Ensino Bombeiro Militar, hoje Academia de Bombeiros Militar “Josué Montello”, que por meio de se seus esforços possibilitaram a minha formação.

E aos meus professores e instrutores por toda paciência e dedicação no decorrer dos três anos de curso integral.

RESUMO

A análise dos dados de áreas queimadas provenientes do Sensor MODIS possibilita uma visão macro da distribuição temporal e espacial dos incêndios florestais, especialmente em áreas de grande extensão territorial. O intuito deste trabalho foi estudar os dados de área queimada e de vulnerabilidade local em conjunto, buscando resguardar locais considerados importantes para a manutenção de recursos hídricos e da biodiversidade, além de melhorar o cumprimento das ações de prevenção e combate aos incêndios florestais, que corresponde a função fim do Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão. No caso específico do município de Tasso Fragoso foi essencial a inserção da atividade agrícola como ponto de destaque para a análise, pois esta tem relação direta com a problemática aqui abordada, além de ser sua principal atividade econômica. Softwares como o arcGIS e Microsoft Excel foram essenciais para o processamento dos dados advindos do sensor MODIS, também foram utilizados relatórios de empresas públicas de renome e plataformas online para a aquisição de documentos e trabalhos acadêmicos. Ao final do trabalho constatou-se que a dualidade de vulnerabilidades e o número expressivo de ocorrências de incêndios florestais na área de estudo, bem como a sua extensão territorial, são elementos que dão ênfase à importância de um sistema que trabalhe em conjunto a detecção de incêndios florestais pelo sensoriamento remoto e as vulnerabilidades da área afetada.

Palavras-chave: Sensor MODIS. Incêndios Florestais. Vulnerabilidades.

ABSTRACT

The analysis of data from burned areas from the MODIS Sensor allows a macro view of the temporal and spatial distribution of forest fires, especially in areas of large territorial extension. The purpose of this work will be to study the data of burned area and local vulnerability together, seeking to protect places considered important for the maintenance of water resources and biodiversity, in addition to improving compliance with actions to prevent and combat forest fires, which corresponds to the final function of the Military Fire Department of Maranhão. In the specific case of the municipality of Tasso Fragoso, it was essential to include agricultural activity as an essential point for the analysis, since it is directly related to the problem addressed here, in addition to being its main economic activity. Software such as arcGIS and Microsoft Excel were essential for the processing of data from the MODIS sensor, reports from renowned public companies and online platforms were also used for the acquisition of documents and academic papers. At the end of the work it was found that the duality of vulnerabilities and the significant number of occurrences of forest fires in the study area, as well as its territorial extension, are elements that emphasize the importance of a system that works together the detection of forest fires and the vulnerabilities of the affected area.

Keywords: MODIS sensor. Wildfires. Vulnerabilities.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa dos Biomas do Maranhão.....	34
Figura 2 - AQ a cada ano.....	40
Figura 3 – Área queimada dos meses de janeiro a abril.....	41
Figura 4 - Área queimada dos meses de maio a agosto	42
Figura 5 - Área queimada dos meses de setembro a dezembro	43
Figura 6 – Área Queimada dos principais Usos de Solo	44
Figura 7 - AQ de Lavouras Temporárias	44
Figura 8 – AQ das Formações Vegetais do Cerrado.....	45
Figura 9 – Área com recorrência de queima	45

LISTA DE SIGLAS

AQ - Área Queimada

CBMMA - Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EOS - Earth Observing System

EVI - Índice de Vulnerabilidade Ambiental

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IMESC - Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos

IUF - Interface urbano-florestal

MacroZEE - Macrozoneamento Ecológico-Econômico

PIB - Produto Interno Bruto

SIGs - Sistemas de Informações Geográficas

SOPAC - South Pacific Applied Geoscience Commission

UNEP - United Nations Environmental Programme

VA - Valor Adicionado

ZEE - Zoneamento Ecológico-Econômico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	INCÊNDIOS FLORESTAIS.....	13
2.1	O FOGO E A VEGETAÇÃO DO CERRADO.....	14
2.2	TERMINOLOGIA.....	14
2.3	ORIGEM E REGIME DE QUEIMA DO CERRADO	15
3	VULNERABILIDADE	17
3.1	VULNERABILIDADE AMBIENTAL	18
3.2	INDICADORES	20
4	ESPECIFICIDADES DA VULNERABILIDADE LOCAL.....	23
4.1	VULNERABILIDADE AMBIENTAL E PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	23
4.2	VULNERABILIDADE A INCÊNDIOS FLORESTAIS	24
4.3	AS VULNERABILIDADES DESTACADAS PELO ZONEAMENTO ECOLÓGICO- ECONÔMICO.....	26
5	GEORREFERENCIAMENTO.....	29
5.1	SENSORIAMENTO.....	29
5.1.1	Sensor MODIS.....	30
5.1.2	Produto MCD64A1	31
6	MATERIAIS E MÉTODOS	33
6.1	ÁREA DE ESTUDO.....	33
6.2	MÉTODO DE ABORDAGEM	35
6.3	TÉCNICAS DE PESQUISA	35
6.3.1	Procedimento de coleta de dados bibliográficos	35
6.3.2	Procedimento de coleta de dados documentais	36
6.3.3	Procedimento de coleta de dados de área queimada.....	37
6.3.4	Procedimento de coleta de dados específicos	38
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
7.1	ANÁLISE DOS DADOS DO SENSOR MODIS	40
7.2	ANÁLISE DOS DADOS DE VULNERABILIDADE.....	46

8	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIAS.....	51
	APÊNDICE A - LISTA DE PERGUNTAS PARA O ENGENHEIRO	
	AGRÔNOMO.....	58
	APÊNDICE B - TERMO DE ACEITE DO ENGENHEIRO	
	AGRÔNOMO.....	61

1 INTRODUÇÃO

A região sul maranhense tem sido destaque nas últimas décadas pela expansão da sua fronteira agrícola e consequente elevação de seu Produto Interno Bruto (PIB). Municípios como Tasso Fragoso tem se tornado expoentes na produção de grãos, com destaque para a soja e o milho, alcançando posições importantes não só no cenário estadual como também em nível nacional (IMESC, 2022). Nesse contexto, um processo até então comum e importante passa a se tornar uma das mais importantes fontes de danos aos ecossistemas florestais dessa região.

A pressão que essas áreas florestais sofrem devido a necessidade de novas áreas destinadas às atividades agropecuárias têm aumentado consideravelmente o número de incêndios e a extensão das áreas queimadas. Os incêndios, além dos inúmeros danos aos ecossistemas florestais, têm importância ecológica fundamental devido sua influência sobre a poluição atmosférica e mudanças climáticas, que têm impactos diretos e indiretos sobre os habitats e os ecossistemas. (Batista, 2004).

Em função dos impactos mencionados e da importância econômica e ecológica local, fazem-se necessários estudos que analisem os impactos decorrentes das queimadas nessa região, com destaque para as áreas mais frágeis em decorrência da maior vulnerabilidade. As queimadas ainda são utilizadas constantemente por agricultores para a limpeza e o preparo do solo sem discriminação de quais áreas são mais vulneráveis. Quando manejadas sem os cuidados necessários e sem acompanhamento, causam danos ao solo e a eliminação de nutrientes essenciais às plantas e consequentemente podendo prejudicar a própria agricultura. (EMBRAPA, 2015).

Neste contexto surge a funcionalidade do uso de imagens de satélite, que contribuem para a detecção de áreas queimadas na superfície terrestre, facilitando o trabalho principalmente em áreas de grande extensão como é caso do território maranhense. Consoante França e Ferreira (2005), o uso do sensoriamento contribui para a compreensão da dinâmica do desflorestamento e do uso da terra, como também os impactos ecológicos e sociais decorrentes em toda a área, possuindo ainda a vantagem de gerar dados em intervalos de tempo regulares. Somado ao sensoriamento das áreas queimadas o estudo das vulnerabilidades complementa a proteção dos ecossistemas e também da economia local baseada no uso da terra.

O Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão (CBMMA), com base no inciso II do art. 116 da Constituição Estadual, é responsável pela prevenção e combate de incêndios, inclusive os florestais, ou seja, é parte interessada diretamente no assunto aqui abordado. Faz-se necessário destacar também a relevância acadêmica do tema, que já foi abordado em outras monografias desta instituição de ensino, sendo o presente estudo uma continuação dos trabalhos dentro desta temática, proporcionando a expansão do lastro de conhecimento para a melhor compreensão do assunto.

Com o objetivo de colaborar para a compreensão da vulnerabilidades ambientais e o sistema de queimadas no Cerrado maranhense, o intuito deste trabalho é analisar a vulnerabilidade local e relaciona-la à distribuição das áreas queimadas. Mais especificamente, tem-se o objetivo de estudar os incêndios florestais e relaciona-los aos indicadores de vulnerabilidade locais através de pesquisas bibliográficas e documentais. Também serão colhidos dados de área queimada para a área de Tasso Fragoso – MA a partir do Sensor MODIS, com o auxílio de softwares como o ArcGIS e Microsoft Excel estes dados serão trabalhados e em seguida será realizada a análise em conjunto com os dados de vulnerabilidade.

Na primeira seção do referencial teórico são abordadas informações sobre os incêndios florestais e suas peculiaridades quanto ao Cerrado, bioma ao qual a área de estudo deste trabalho pertence. Na seção seguinte é detalhado o assunto de vulnerabilidade em um contexto geral e seus indicadores, servindo de base para que na seção seguinte sejam analisadas as vulnerabilidades específicas encontradas na região do município de Tasso Fragoso – MA em conjunto a problemática dos incêndios. A última seção aborda o assunto de georreferenciamento e sensoriamento remoto, ferramentas que são os principais meios para se chegar aos dados de área queimada.

Esta última seção será um dos principais pontos abordados pela metodologia que ainda irá explorar os demais métodos e técnicas de pesquisa utilizados neste trabalho. Na seção de análise dos dados são descritas e trabalhadas as informações colhidas de área queimada e vulnerabilidade com o intuito de sanar a problemática apresentada. Na última seção conclui-se que a detecção das áreas queimadas a partir do Sensor MODIS trabalhadas em conjunto com as vulnerabilidades locais é um fator importante para prevenir e mitigar o combate dos incêndios florestais e proteger áreas importantes do ponto de vista ecológico.

2 INCÊNDIOS FLORESTAIS

O fogo é um fator físico significativo na degradação do meio, podendo levar a mudanças nas características físicas, químicas e biológicas do solo. Mesmo nos dias atuais com o desenvolvimento de novas tecnologias e do conhecimento das ameaças envolvidas, o fogo ainda é usado com frequência em áreas rurais para o manejo de pastos, confecção de aceiros e abertura de novas áreas de plantio, principalmente devido ao lado financeiro (baixo custo) e à facilidade de execução. Esta conjuntura é agravada na estação seca, quando há uma diminuição da umidade da vegetação, momento no qual é comum a ampliação das ocorrências dos incêndios florestais (Coutinho, 2016).

Os incêndios são uma das principais fontes de danos aos ecossistemas florestais, não sendo diferente nos Cerrados. Os inúmeros prejuízos aos ecossistemas florestais não são as únicas mazelas provocadas pelos incêndios, além dos impactos diretos sobre os habitats e os ecossistemas eles também geram impactos indiretos pois ao causarem a poluição atmosférica também influenciam em mudanças climáticas (Batista, 2023). Ao contribuírem para o aumento da emissão de CO₂, levam a consequências graves, uma vez que a emissão do dióxido de carbono intensifica o efeito estufa e proporciona um cenário ambiental ainda mais propício às queimadas e aos incêndios. (Lopes, 2017)

Por ser uma técnica bastante praticada na agricultura, esse aumento crescente de queimadas pode estar associado a necessidade de produção de alimentos. No entanto, há registros de incêndios florestais ocasionados tanto por fenômenos naturais como também favorecidos pela presença de ação humana sobre a natureza, sobretudo em função da mudança do uso do solo, com o aumento de áreas para a produção agrícola para cultivos florestais e pecuaristas (Camargo, 2019).

O fogo e suas consequências nem sempre são inimigos dos ecossistemas como demonstram alguns estudos afirmando que o Cerrado seria dependente dos incêndios para a sua manutenção. Várias nações, com destaque para os Estados Unidos, existem instituições que realizam um trabalho de manejo florestal, adotando uma política de queimas preventivas com o intuito de reduzir a biomassa diminuindo as chances de incidência de grandes incêndios, ainda que existam controvérsias

quanto a relação entre essa prática e as consequências para o meio ambiente (Tomzhinski, 2011).

2.1 O fogo e a vegetação do cerrado

Estendendo-se do Planalto Central Brasileiro até o litoral maranhense o cerrado ocupa aproximadamente 24% do território brasileiro. Este bioma é também reconhecido como a Savana brasileira, sendo considerada a mais rica do mundo em biodiversidade (IBGE, 2023). Caracterizado pela presença de verões chuvosos e invernos secos, possui como clima predominante o tropical chuvoso. (Sano, 2008). Durante o período seco, a diminuição drástica das chuvas, a baixa umidade relativa do ar, além de outros possíveis fatores, ajuda a dar origem e a propagar os focos de incêndio pela área; quanto mais intenso o período de seca e quanto maior a temperatura, menor será a umidade da vegetação, criando um conjunto propício a combustão (Dias, 2009).

Uma série de fatores interferem na distribuição da flora, entre eles: a latitude, a frequência de queimadas, a profundidade do lençol freático, o pastejo e um dos principais da atualidade, os fatores antrópicos. Consequentemente, a magnitude dos incêndios está diretamente relacionada à distribuição da vegetação do local, pois a vegetação é exatamente o combustível para o desenvolvimento do incêndio.

2.2 Terminologia

Para o melhor entendimento sobre o assunto abordado neste trabalho, é necessário conceituar alguns termos importantes quanto aos incêndios no Cerrado. Quanto aos focos de calor, estes são pontos geográficos registrados por sensores espaciais no solo quando é detectado uma temperatura acima de 47 °C, sendo a área mínima para que ocorra a detecção é de 900 m² (Gontijo, 2011). Já as Queimadas Controladas são advindas das atividades agropecuárias que utilizam o fogo para

limpeza e renovação de pastagens. Esta queima deve ser realizada em condições controladas, para que a queima não extrapole a área demarcada, além de serem autorizadas por órgão ambiental.

O incêndio florestal trata-se do fogo fora de controle que recai sobre uma determinada vegetação, podendo ser ocasionado por meios antrópicos, quanto por meios naturais, como por exemplo os raios durante tempestades (Ceará, 2022). A cicatriz do fogo, é a denominação dada ao comportamento espectral quando as áreas queimadas tem seu material combustível consumidos pelo fogo. Por fim, fogo ativo é um vocábulo utilizado para designar o fogo consumindo os combustíveis no momento do registro realizado pelo satélite (Lombardi, 2005).

2.3 Origem e regime de queima do cerrado

A queima deste bioma para o manejo da criação de gado é a principal prática associada aos incêndios nesta região. De modo geral ela utiliza vastas extensões de terra como pastagem natural, principalmente quando este bioma se apresenta nas formas de Cerrado mais abertas, como campo limpo e campo sujo. Nos meses de estiagem, que se estendem entre 3 a 4 meses na região central do Cerrado brasileiro, o uso do fogo no Cerrado constitui-se como a opção de manejo de menor custo utilizada pelos criadores, visto que, alguns dias depois de ter sido queimada, a vegetação renasce, agora mais palatável para os animais, além de rica em sais minerais, celulose e proteínas (Lombardi, 2005). Este é cenário típico do Centro-Oeste brasileiro, porém mais à frente no capítulo de análise dos dados serão expostas algumas peculiaridades relacionadas à região Sul do Maranhão, tanto no regime de queimadas quanto a suas principais causas.

As atividades humanas são consideradas as principais causas da ocorrência do fogo no Cerrado, porém também existem causas de origem natural como os raios e o vulcanismo. Este panorama passou a ser comprovado cientificamente nos anos de 1996 e 1997 quando foram obtidos os primeiros registros, in situ, de raios provocando queimadas naturais no Cerrado brasileiro (Lombardi, 2005). Segundo Lombardi, apesar de existirem estudos apontando o contrário, ainda é forte a

resistência em se aceitar a existências de queimadas naturais na vegetação do Cerrado, principalmente devido às dificuldades para se comprovar este evento natural.

O uso da terra relacionado à expansão da agricultura é outra atividade importante que contribui com o aumento das queimadas nas terras do Cerrado uma vez que estas têm baixo custo quando comparadas às da região Sul brasileira, além de possuírem condições favoráveis ao plantio intensivo de cereais. Desse modo, imensas extensões da flora do Cerrado são destruídas, queimadas ao final da estiagem e transformadas em novas áreas para a produção agrícola (Lombardi, 2005).

3 VULNERABILIDADE

Dentro da sociedade contemporânea, a vulnerabilidade torna a coletividade, assim como sua dinâmica demográfica, componentes essenciais, pois independente de um acontecimento singular causar consequências em diversos lugares, é necessário que se entenda e estude de que forma ele afeta cada um destes quais deles terão a consequências mais catastróficas, e o principal ponto, que são as medidas que podem ser adotadas para mitigar seus impactos (Marandola Jr., 2009). Dentro do contexto dos estudos referentes às áreas destruídas por incêndios florestais não é diferente, as vulnerabilidades do cenário de queima devem ser analisadas para que as consequências dessa problemática para este ecossistema possam ser compreendidas e mitigadas.

A noção de vulnerabilidade geralmente está ligada a termos negativos, e descreve o estado de susceptibilidade advindo de três itens essenciais, que são: a exposição ao risco; as alterações sociais e/ou ambientais e a incapacidade de adaptação. Os estudos sobre vulnerabilidade podem ter como foco tanto entidades físicas (meio ambiente, pessoas...) quanto conceitos abstratos (nações, sistemas econômicos...). Hodiernamente, a ideia de vulnerabilidade tem sido estudada sob três ramos principais, são eles: social, ambiental e socioambiental. com destaque para a vulnerabilidade ambiental que tem maior ligação com foco deste trabalho, por tratar das influências antrópicas e do próprio meio aos incêndios florestais (Aquino et al., 2017, p. 13).

A temática tem sido o foco nos últimos anos de trabalhos como o de Santos e Faria (2020) que avaliaram a vulnerabilidade ambiental da região norte Goiana, considerando variáveis como os incêndios e a perda de solo. Os autores obtiveram como consequência à ocupação antrópica prejuízos à conservação da biodiversidade como, por exemplo: migração de animais para outras regiões em decorrência do fogo e fragmentação ambiental. O artigo de Trevisan et al. (2018) também trabalha o tema, avaliando a vulnerabilidade ambiental da cidade paulista de São Carlos. O trabalho mapeou algumas características do solo e da vegetação da região a partir do Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), são elas: declividade, pedologia, geologia e uso e cobertura da terra, que criaram a base para o uso do índice de Vulnerabilidade

ambiental. Estando as classes de vulnerabilidade ambiental diretamente relacionadas às áreas de riscos aos efeitos da ocupação antrópica.

A vulnerabilidade seja ela referente ao meio ambiente, aos sistemas sociais ou ainda aos sistemas econômicos advém de um estudo complexo, engloba os riscos de ocorrência de desastre, boas ou más práticas de gerenciamento, mudanças climáticas, globalização, acordos comerciais e inclusive o entendimento de como qualquer sistema pode se relacionar com outro, no caso em questão um ecossistema com outro. Dada a importância do tema, a sociedade contemporânea com a participação de seus diferentes atores passou a debater e a qualificar e quantificar a vulnerabilidade em suas diversas áreas. (Aquino et al., 2017, p. 13).

Compreender as circunstâncias e os condições sociais, ambientais, artificiais, culturais, etc. nas quais o meio e a sociedade está inserida é de suma importância para seja possível a detecção de situações de vulnerabilidade, pois dessa forma é possível reconhecer as distintas vulnerabilidades a um mesmo tipo de fenômeno que mudam tanto no espaço como no tempo, resultando em prejuízos. (Iembo e Galvani, 2020).

3.1 Vulnerabilidade Ambiental

A vulnerabilidade ambiental diz respeito ao “conjunto de fatores ambientais de mesma natureza que, diante de atividades ocorrentes ou que venham se manifestar, poderá sofrer adversidades e afetar de forma vital, total ou parcial, a estabilidade ecológica da região em que ocorre.” (Cunha et al., 2011, p. 405). Neste sentido, a vulnerabilidade compreende os riscos aos quais o meio ambiente está sujeito, podendo ser esse advindo de fatores externos ou mesmo de meios naturais. (Aquino et al., 2017, p. 13)

Tomando como contexto a área ambiental, os termos risco e vulnerabilidade geram confusão de conceitos, tornando mais difícil o perfeito entendimento do significado, das diferenças entre eles, além das suas diferentes aplicações. No que diz respeito a risco, está intrinsecamente relacionado a algum acontecimento que resulte em perdas. Já a vulnerabilidade está relacionada ao perigo, tanto à

probabilidade, quanto à ocorrência em si, sendo tomado como o produto de uma equação com muitas variáveis que envolve principalmente o poder de responder às ameaças, absorvendo os danos, adaptando-se, diminuindo seus efeitos ou até mesmo evitando-o (Linhares, Monteiro e Gamata, 2021).

Mais especificamente, o risco ambiental está relacionado às chances de um determinado evento com uma dada magnitude, independentemente de sua previsibilidade, ocorrer em um local, interrompendo a “estabilidade”. Por outro lado, a vulnerabilidade ambiental é definida como o grau de incapacidade de um determinado meio se recuperar dos efeitos de ações externas. Esta característica pode ser derivada de propriedades do meio ambiente naturais ou da pressão causada por atividades antrópicas; ou ainda da própria capacidade do meio de se recuperar retornando ao seu estado natural, ou seja, sua capacidade de resiliência, superando um evento adverso crítico (Aquino et al., 2017, p. 15).

Dentro da temática surge a ideia de sistemas podendo ser definido como um grupo de elementos que se relacionam nos quais os seres vivos habitam. As diferentes estruturas do meio como solo, savanas, florestas, corpos d’água, ou ainda áreas agrícolas são elementos que a partir de fluxos e ciclos se relacionam formando os sistemas. Caso o equilíbrio desse sistema sofra alguma perturbação, este pode reagir de diferentes formas a depender de suas características naturais e da ocupação humana. A capacidade do sistema manter a essência de seu estado, mesmo que perturbado e se afastando do seu equilíbrio, é denominada como persistência (Aquino et al., 2017, p. 16).

Vulnerabilidade ambiental pode ser denominada também com a susceptibilidade de um sistema à degradação ambiental, levando em conta três fatores:

- A exposição do meio às diversas investidas de atividades agroindustriais, mensurada a partir de indicadores que serão abordados mais à frente e demonstram a pressão dos homens exercida sob o meio;

- A sensibilidade do meio às investidas, mensuradas a partir de indicadores que representam as características do meio físico e biótico próprias de um local (tipo de solo, clima, vegetação) e que existiam anteriormente a qualquer perturbação e que interagem com as investidas;

– A capacidade de resposta do sistema, avaliada a partir da adoção de medidas de conservação ou preservação ambiental que atenuam ou reduzem os possíveis efeitos das pressões sobre o meio (Figueiredo et al., 2010).

Dentro desta temática, analisando o trabalho realizado por Santos e Faria (2020) que aborda a vulnerabilidade ambiental do cerrado da região norte goiana pode-se traçar um paralelo com o presente trabalho. As áreas de estudo possuem características parecidas, ambas sofrem pressão pela ação de atividades agrícolas e fazem parte do bioma do Cerrado, similaridades que abrem margem para uma comparação. A partir dessa ideia espera-se que a área seja suscetível à perda de solo por processos erosivos e a existência do risco ambiental a ocorrência de incêndios. Podendo estes serem justificados pelos mesmos motivos nos dois estudos, pois ambos estados possuem vocação agrícola e estão inseridos no bioma do Cerrado que apresenta um padrão histórico de ocupação, ambiente este que apresenta um potencial de ocorrência de incêndios, que em seguida são incorporados à matriz agrícola.

A análise da vulnerabilidade ambiental tornou-se tão importante que na Lei 12.651, de 25 de Maio de 2012, que contempla o atual Código Florestal, para aquisição de nova área de Reserva Legal, o proprietário da terra precisa usar como um dos critérios para a sua seleção os locais de maior fragilidade ambiental, ou seja, as áreas de maior vulnerabilidade ambiental.

3.2 Indicadores

O tema sustentabilidade sempre surge quando se fala de meio ambiente, sendo o gerenciamento da vulnerabilidade uma etapa crítica para traçar uma determinada estratégia de desenvolvimento sustentável, já os índices de vulnerabilidade ambiental são instrumentos relevantes para subsidiar nesse gerenciamento. A criação de indicadores de vulnerabilidade ambiental tem sido considerada uma atividade complexa, pois o meio ambiente não é uniforme, cada local, mesmo dentro de um mesmo bioma, é único o que torna a quantificação e a qualificação da vulnerabilidade ambiental singular para cada área. Ademais a integridade de um ecossistema não

pode ser quantificada ou determinada por meio de apenas um indicador (Aquino et al., 2017, p. 13).

Os indicadores podem ser divididos dentro dos três grupos de fatores, citados anteriormente, que determinam a vulnerabilidade de um sistema. A partir da exposição, por exemplo, derivam como indicadores as atividades agropecuárias, atividade industrial, geração de lixo e de esgoto per capita. Quanto aos derivados da sensibilidade do meio podem ser citados as áreas prioritárias para conservação, aptidão agrícola, intensidade pluviométrica, qualidade da água de irrigação e aridez. Já aos advindos da capacidade de resposta do ecossistema têm-se: a área em unidade de conservação, acesso à água tratada, à coleta e ao destino adequado do lixo, ao esgotamento sanitário, disponibilidade hídrica per capita e até o índice de desenvolvimento humano municipal (Figueiredo et al., 2010).

O trabalho de Aquino et al. (2017) traz como parâmetro o EVI ou Índice de Vulnerabilidade Ambiental South Pacific Applied Geoscience Commission (SOPAC) em parceria com a United Nations Environmental Programme (UNEP). A metodologia do EVI tem como base a compreensão e aferição das vulnerabilidades do meio ambiente, anteriormente a danos irreversíveis que tragam risco ao bem estar e ao futuro da sociedade. Neste sistema para a avaliação da vulnerabilidade ambiental é necessário a utilização de uma vasta base de indicadores, cada qual direcionado para um dos componentes de vulnerabilidade.

Consoante Aquino (2017) em um mundo ideal os indicadores essenciais descreveriam: a frequência e a intensidade dos riscos mais relevantes; a resiliência a riscos; o grau de probabilidade de chances de perda de habitats, espécies-chave, funções do ecossistema, bens e serviços; o grau de probabilidade de chances de perda da diversidade de organismos, de suas populações, da sua diversidade genética e redundância ecológica; elementos do ambiente físico (água, tempestades, processos litorais, planícies de inundação, terras perto do nível do mar); a existência de espécies endêmicas, em risco de extinção ou ainda alguma espécie com importância econômica; e atenuantes dos efeitos dos riscos como, por exemplo, legislações que interfiram nos riscos humanos repercutindo nos danos ao ecossistema.

Conforme EVI (2004) o vocábulo “indicador” deriva do latim *indicare* que significa “apontar para ou descobrir”. A partir desta conceituação, indicador pode ser explicado como sendo qualquer elemento do ecossistema que estime de forma

quantitativa o estado dos recursos ecológicos, severidade do estresse, a exposição ao stress.

4 ESPECIFICIDADES DA VULNERABILIDADE LOCAL

4.1 Vulnerabilidade Ambiental e Produção Agropecuária

Dentre os recursos naturais essenciais à sobrevivência humana, o solo é um elemento essencial, pois seu uso proporciona o progresso econômico, político e social de uma nação. Nessa conjuntura, uma das principais saídas para a sua preservação é o entendimento das causas e das consequências da erosão dos solos, independente da área estudada. Essa situação ganhou maior destaque e importância com a expansão das atividades agrícolas, a partir da revolução agrícola. A confecção da carta de vulnerabilidade ambiental surge como uma solução de destaque para mitigar essa problemática aliada à análise integrada da paisagem, alcançada por meio de mapas de solo e de uso do solo, declividade, hipsometria. (Magalhães, Cunha e Nobrega, 2014).

Desconto (2008) demonstra como o aquecimento global pode afetar em vários aspectos a produção de diferentes artigos agrícolas, não só na produtividade e consequentemente nos valores destes, como também na distribuição e disponibilidade de áreas produtivas, tornando impróprios locais anteriormente promissores para determinadas culturas ou mesmo mais propícios a outras. A agropecuária contribui com cerca de 13,5% dos gases poluentes emitidos, com destaque para o gás metano, resultante da digestão do gado e da decomposição de seus dejetos.

Com o intuito de aumentar a produtividade e diminuir as perdas é usado em larga escala na agricultura inseticidas e pesticidas para o combate de pragas, esses produtos podem acabar causando uma seleção de indivíduos mais resistentes e eliminam indivíduos mais sensíveis que muitas vezes nem eram alvo desses produtos. A seleção dos mais fortes tem como consequência a necessidade de aplicação mais frequente ou o uso de produtos com maior toxicidade, o que pode comprometer o meio ambiente e populações humanas. (Aquino, Paletta e Almeida, 2017).

Estudos apontaram a ocorrência de compostos organoclorados, derivados de defensivos agrícolas, em espécies da fauna antártica. Estas substâncias não são facilmente degradadas, por serem lipossolúveis, podem causar bioacumulação nos

animais. Todos estes efeitos da agricultura demonstram o quão vulnerável pode ser o meio ambiente às mazelas que acompanham a agricultura, demonstrando assim a importância de estudos aprofundados sobre a vulnerabilidade de cada ecossistema.

4.2 Vulnerabilidade a Incêndios Florestais

Os incêndios florestais podem causar danos como perda de vidas humanas e de animais, perda de moradias, perda na lavoura, problemas no tráfego, na transmissão da energia e até em aeroportos, além de problemas ao meio ambiente e à saúde humana em geral (Neves, 2017).

Os incêndios possuem relação íntima, dentre outros fatores, com as condições climáticas. Uma compilação de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Fogo identificou como período mais propício para ocorrência de incêndios florestais o período de estiagem. A distribuição dos incêndios durante o ano sofre a influência direta dos eventos climáticos, além das investidas das atividades antrópicas sofridas ao seu redor (Torres et al, 2016).

Apesar de pouco abordado, existem alguns trabalhos atuais nesta temática, como o de Carvalho (2021) que mapeou os locais de maior vulnerabilidade de incêndios florestais no Parque Nacional de Brasília. Ao final do trabalho o autor concluiu que conhecer como e onde ocorrem as queimadas pode evitar perdas em diversas escalas, além disso constatou que a prevenção, juntamente com o combate e o controle afastam a presença da fonte de calor que ocasiona o início do incêndio, reduzindo o número de sinistros.

Iembo e Galvani (2020) também realizaram estudos nessa área, utilizaram dados de focos de calor obtidos por sensoriamento remoto para identificar situações de vulnerabilidade a incêndios florestais no Parque Estadual do Juquery que apresenta alta suscetibilidade ao fogo, o qual também exerce função de agente ecológico. Os autores concluíram que o fogo em si não seria uma problemática, porém a frequência com que ele acontece poderia ser, sendo mais grave quando ocorre por ações humanas, podendo comprometer especialmente a conservação da biodiversidade do Parque.

As ações humanas associadas com o desenvolvimento urbano ao avançarem sobre as áreas rurais e naturais, tornam os embates entre meio ambiente e homem mais frequentes, formando uma zona de interface urbano - florestal (IUF). Essa interação gera eventos danosos nessa área agora ocupada pelos humanos, como os incêndios florestais, tanto com causa natural como antrópica (Iembo e Galvani, 2020). O controle dos incêndios é efetivado por meio da gestão de seus riscos, para que isso se torne possível é necessário que os entenda como o resultado da interação entre componentes humanos e ecológicos. Fatores históricos, econômicos, políticos e culturais influenciam, em diferentes intensidades, a vulnerabilidade aos incêndios (Tedin e Carvalho, 2013).

Já Duguay et al. (2012) entende como sendo vulnerabilidade a suscetibilidade de um determinado espaço do meio de mudar sob influência do fogo, trabalhando-a a curto e a longo prazo. Dessa forma a vulnerabilidade surgirá da falta de resiliência do meio, ou seja, do poder da flora renascer após a passagem do fogo, conservando sua composição e estrutura sem passar por mudanças expressivas.

Estudos apontam alguns pontos que compõem a vulnerabilidade a incêndios. Whittaker et al. (2012) destacam duas componentes, são elas: a exposição às pessoas que é determinada por uma série de fatores sociais, econômicos e históricos, ou seja, a localização que as comunidades e as sociedades decidem se estabelecer; e o poder de resposta e de adaptação aos danos e prejuízos resultantes dos incêndios florestais. Já estudos que tem enfoque em alterações climáticas, por exemplo, trabalham com: exposição, sensibilidade e adaptação/capacidade de adaptação (Tedin, 2013).

A avaliação da vulnerabilidade a incêndios florestais abrange diversos desafios. Um destes desafios refere-se à determinação da escala espacial a partir da qual deve ser realizada a sua avaliação. Adotar a escala local é a decisão mais adequada do ponto de vista da variabilidade da vulnerabilidade em função do lugar e da coletividade local, ainda que os riscos possam se alastrar em escala global, por outro lado, os desastres que ocorrem em escala local podem atingir áreas com extensões diversas. Um outro obstáculo é mensurar a vulnerabilidade, traduzi-la em números, tornando possível inseri-la na avaliação de risco de incêndio florestal. Na maioria dos métodos a avaliação da vulnerabilidade é avaliada quantitativamente e utiliza um grupo de indicadores. A escolha dos indicadores precisa levar em consideração certos critérios,

não podem ser escolhidos pela sua facilidade de obtenção, precisam ter validade científica e a relevância para isso. (Tedin, 2013)

4.3 As vulnerabilidades destacadas pelo Zoneamento Ecológico-Econômico

Como base para a detecção das situações de vulnerabilidade será utilizado o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do estado do Maranhão regido pelo Decreto n.º 4.297/2002. Este documento é um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente, o qual possibilita que os entes públicos confeccionem o planejamento que será a base para a elaboração dos indicadores de potencialidades e fragilidades dos ecossistemas de uma determinada região. Os indicadores subsidiam as decisões dos gestores do nível nacional ao nível municipal, com o intuito de tornar possível o desenvolvimento sustentável e equilibrado do território brasileiro. (Brasil, 2013).

A partir do Macrozoneamento Ecológico-Econômico (MacroZEE) é possível planejar a ocupação inteligente e o uso sustentável de todos os recursos disponíveis, esse instrumento é elaborado a partir de dados e informações de cada região do estado, tornando possível a sua classificação de acordo com as suas potencialidades e vulnerabilidades. Tendo como resultado as regras de uso que irão basear as políticas públicas para promoção do ordenamento territorial, observando as limitações e potencialidades ambientais e socioeconômicas demonstradas pelo zoneamento. (EMBRAPA COCAIS, 2014).

O desenvolvimento da proposta de zoneamento levou em conta, por um lado, as incógnitas naturais, os processos sociais, que respondem à dinâmica econômica e aos objetivos políticos e, por último, os aspectos jurídicos e institucionais, relacionados a terras públicas de usos especiais de acordo com legislações específicas, que especificam as possibilidades do uso da terra de acordo com cada área da região. Dessa forma essa análise deve usar uma metodologia que respeite tanto as especificidades de cada um dos três eixos citados acima quanto promover a integração das diferentes áreas. (EMBRAPA COCAIS, 2014).

O Estado do Maranhão possui algumas singularidades que o diferenciam dentre os outros Estados e que devem ser levadas em conta. O Estado faz parte de uma região que está passando por uma expansão da fronteira agrícola, o Corredor Centro Norte de produção de grãos, sua infraestrutura de logística de transporte é destaque entre as regiões Norte e Nordeste do País, sendo composta pelo Complexo Portuário do Itaqui, com destaque aos portos do Itaqui, Ponta da Madeira e Alumar, assistidos pela Ferrovia Carajás e pela BR-135. (EMBRAPA COCAIS, 2014).

Após análises integradas, o ZEE definiu as chamadas zonas ecológico-econômicas do Maranhão, apontando 4 zonas principais. Por não fazerem parte deste planejamento, os corpos d'água e as áreas urbanas foram excluídas. Em seguida as áreas que possuem uso mais restrito foram delimitadas, sendo criadas 4 zonas para classificação dessas áreas. A zona 4 refere-se às distintas categorias de unidades de conservação além dos territórios indígenas, que têm seu uso e restrições estabelecidos por legislação específica, nessa área as principais diretrizes devem estar relacionadas à manutenção da sua integridade e a sua consolidação, como por exemplo com a criação de corredores ecológicos.

A zona 3 abrange as áreas sob influência costeira, selecionadas conforme sua localização, suas características ambientais, sempre dando atenção especial às suas fragilidades naturais e às populações tradicionais residentes na área. Estendendo-se principalmente pela baixada litorânea e demais áreas costeiras, essas áreas caracterizam-se pela ocupação por parte de comunidades quilombolas, indígenas e artesanais. As principais orientações para essa área estão relacionadas a sua organização, ao seu controle e desenvolvimento, levando em conta que esses locais são frágeis e sensíveis ao uso excessivo e direto por atividades antrópicas.

Já a zona 2 são áreas onde deveria ser aplicado o uso sustentável dos recursos disponíveis, os níveis de conservação e preservação ambiental são os principais fatores ao estabelecê-la, podem estar associadas principalmente à zona 4, pois muitas vezes as áreas da zona 2 são utilizadas como corredores para as áreas da zona 4. Estes locais possuem normalmente menor potencialidade social e maior vulnerabilidade ambiental, seu uso em grande parte está relacionado a atividades alternativas ou especiais, sob manejo sustentável.

Por fim a zona 1 delimita áreas com menor vulnerabilidade ambiental, devendo ser implantados sistemas sustentáveis de produção. Esses locais se estendem por

mais de 65% de todo o território maranhense, seu uso está normalmente vinculado ao setor agropecuário, industrial, de mineração, agroflorestal e florestal. O estímulo ao seu uso deve estar ligado às atividades primárias nas áreas já desmatadas ou a sua mudança para o desenvolvimento de atividades agropecuárias, sempre aliada ao manejo adequado e uso de recursos de forma sustentável, mantendo as áreas naturais. (Batistela et al., 2014).

5 GEORREFERENCIAMENTO

Este sistema, além de ser uma das primeiras, é uma das mais importantes fases no tratamento das informações espaciais, pois implica de forma direta na sua localização e na precisão cartográfica e, por conseguinte, na qualidade das análises seguintes. (Tinoco et al., 2014). Ele é um processo a partir do qual as informações textuais que descrevem uma determinada localidade, são modificadas em dados válidos, mais especificamente representações geográficas. Os avanços tecnológicos tanto das ferramentas de georreferenciamento quanto da informática, têm proporcionado melhorias nos quesitos qualidade, acessibilidade e abatimento de custos. Existem diferentes métodos de georreferenciamento e sua escolha depende dos fatores disponibilidade de informações e bases cartográficas, da precisão aspirada, da quantidade de dados e dos recursos que se tem à disposição. (Silveira, Oliveira e Junger, 2017).

O georreferenciamento de maneira resumida envolve três fases: a primeira, corresponde à transformação geométrica, estabelecendo uma associação entre as coordenadas terrestres (latitude e longitude ou x e y) e as coordenadas da imagem (linha e coluna), que compreende a seleção do modelo matemático, coleta de pontos de controle e análise da qualidade cartográfica. Em seguida é efetuada a reconstrução dos pixels da imagem, esta etapa é realizada automaticamente e corresponde ao mapeamento inverso com o intuito que sejam reamostrados os tons de cinza, a partir da interpolação, sendo esta a última fase. (Tinoco et al., 2014).

5.1 SENSORIAMENTO

Existem vários meios que podem ser utilizados para a detecção de incêndios florestais, a depender das peculiaridades do local, principalmente relacionadas a extensão da área a ser monitorada, alguns são mais indicados do que outros. Dentre as formas de detecção, as principais são: postos de monitoramento fixos, posto

móveis (rondas), torres de observação, monitoramento aéreo com aeronaves e monitoramento por imagens de satélites (ICMBio, 2010).

Para a diminuição dos danos causados pelo fogo e dos custos do monitoramento é necessário que o método aplicado seja ágil e eficiente na detecção dos incêndios florestais. Outro ponto que deve ser destacado diz respeito ao combate, o fogo será extinto em menor tempo caso o incêndio seja rapidamente detectado, pois, como o incêndio irá possuir um menor intervalo de tempo para evoluir seu controle se tornará mais simples (ICMBio, 2010).

Em países como o Brasil, com grande extensão territorial, a técnica de sensoriamento torna a detecção mais rápida e com um custo inferior, tornando viável o controle dos focos, os quais poderiam se transformar em incêndios florestais de grande proporção, caso não fossem utilizadas as imagens de satélite para sua detecção (Tomzhinski, 2011). O monitoramento de incêndios por meio de imagens de satélite viabiliza o acesso à distribuição temporal e espacial das queimadas, proporcionando maior eficácia aos estudos desta área, além de viabilizar um maior embasamento para estabelecimento de políticas públicas de diminuição e combate aos incêndios florestais (Lopes, 2017).

O sensoriamento remoto entrega dados por meio da radiação eletromagnética emitida ou refletida pelo ponto focal localizado na superfície terrestre. Para cada alvo a depender das características físicas, biológicas ou químicas do alvo, é apresentado um determinado comportamento espectral. As ondas emitidas e/ou refletidas são transformadas em produtos aptos a serem lidos pelo sensor para em seguida servirem de base para estudos como este. Um dos importantes instrumentos de sensoriamento remoto é o sensor MODIS que visa obter variáveis relacionadas a processos físicos, químicos e biológicos dos diferentes alvos presentes no solo, sejam eles vegetação, incêndios florestais, propriedade e dinâmica das nuvens etc. (Souza, 2016).

5.1.1 Sensor MODIS

O sensor MODIS foi desenvolvido como estratégia para ocupar um espaço vago criado pela indisponibilidade de dados de sensoriamento remoto de alta

resolução temporal e espectral e moderada resolução espacial. Sendo direcionado para atividades relacionadas à dinâmica terrestre, como também para correções geométricas e atmosféricas. Este sistema cria índices em escala global com resoluções de 1 km, 500 m e 250 m, gerando composições no período de 16 dias. Apesar de possuir uma resolução espacial de dados baixa, esta é compensada por uma alta frequência temporal que permite a confecção de séries contínuas possibilitando que sejam identificadas flutuações sazonais. (Souza, 2016).

Este sensor está a bordo dos satélites americanos TERRA e o AQUA pertencentes ao Programa EOS (Earth Observing System), direcionado para o mapeamento e o monitoramento da cobertura vegetal e uso da terra. O satélite TERRA foi lançado em 1999, dando início a sua coleta de dados em fevereiro de 2000, passando diariamente às 10:30h da manhã sobre o equador, já o satélite Aqua foi lançado em 2002, passando todos os dias às 13:30h sobre o equador. O INPE está oferecendo diversos produtos do sensor, dentre eles o produto MOD 09, que trata-se da estimativa de reflectância de superfície para cada banda espectral, que são denominadas de 1 a 7 que variam de 620 a 2155 nm. É importante salientar que o espectro eletromagnético do sensor MODIS pode atingir valores de até 14.385 nm, porém não são utilizados para os fins deste trabalho.

Este sensor foi escolhido pois já foi amplamente testado e validado como em trabalhos como o de Libonati R. et al. (2015) que propôs em seu estudo a aplicação de algoritmo que produzisse mapas de área queimada de maior qualidade do Cerrado. Giglio L. et al. (2009) também usou o MODIS para validar seu algoritmo, inclusive em seu trabalho afirma que os tempos de sobrevoo dos satélites AQUA e TERRA são na maior parte do tempo adequados para a detecção dos incêndios diurnos.

5.1.2 Produto MCD64A1

Este produto faz parte da coleção 6, da série temporal MODIS é o terceiro reprocessamento tendo como principal intuito melhorar as versões antecessoras, a evolução proporcionou uma diminuição das incertezas de detecção e crescimento de 26% na detecção de queimadas quando comparado às coleções anteriores, o que resultou em maior precisão na detecção de pequenas queimadas. É um produto

mensal de grade da ordem de 500 m, que possui informações de qualidade e área queimada por pixel. Dentre os resultados proporcionados pelo produto estão os dados de data de queima, incertezas de dados de queima e garantia de qualidade (Giglio et al., 2018).

O MCD64A1 da coleção 6 possui um algoritmo de detecção de área queimada que faz uso dos dados dos satélites Terra e Aqua corrigidos atmosféricamente definidos em projeção sinusoidal. Como resultado do uso do algoritmo são obtidas imagens persistentes na série temporal a partir de um índice de vegetação sensível à queima que é obtido das bandas de infravermelho, mais especificamente, de onda curta 5 e 7 do produto MODIS, dessa forma representado as alterações ligadas à queima e como também as que não possuem ligação com a queima, através de dados espaciais e temporais de fogo ativo (Silva, Juvenal e Miranda, 2023).

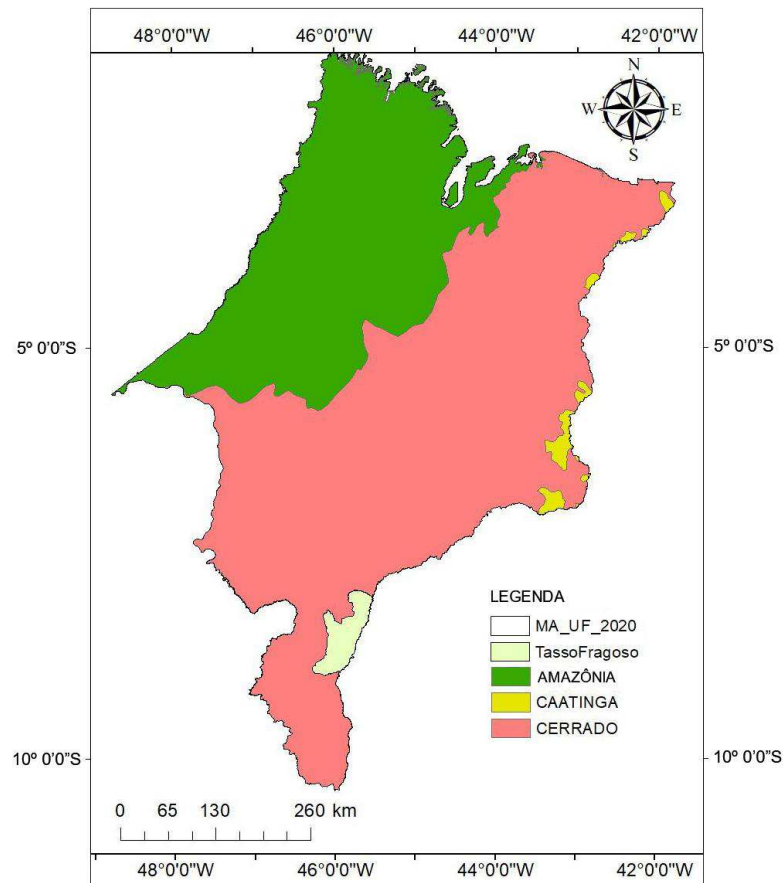
6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Área de Estudo

Este estudo foi desenvolvido na área que compreende o município de Tasso Fragoso - MA, elevado à categoria de município pela Lei 2.168, no dia 19 de dezembro de 1961, separou a então Vila maranhense “Brejo da Porta” do município Alto Parnaíba – MA dando origem ao município de Tasso Fragoso. Em 2021 a cidade possuía, a partir de estimativa realizada pelo IBGE, 8.642 habitantes distribuídos em um território que se estende por 4.369,159 km², dos quais apenas 2,8 km² seriam urbanizados.

O município está situado na parte sul de seu estado e faz parte da bacia do rio Parnaíba, pertencendo à região nordeste do país. Localizado na zona intertropical mais precisamente 08° 28' 31" a sul do Equador e 45° 44' 34" a oeste do meridiano de Greenwich, Tasso Fragoso possui clima tropical equatorial com temperatura média anual de 25°C e média pluviométrica anual entre 1100 e 1700 mm (NUGEO, 2016). Apesar de fazer parte da Amazônia Legal, está inserido no Bioma do Cerrado (Figura 1) e faz parte da Mesorregião Sul Maranhense, mais especificamente da microrregião das Gerais de Balsas, abrangendo a Chapada das Mesas. (EMBRAPA, 2013).

Figura 1 – Mapa dos Biomas do Maranhão.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

No que diz respeito ao aspecto financeiro, dentre os municípios maranhenses nem sempre os que possuem o maior Produto Interno Bruto (PIB) são os mesmos que aparecem nas primeiras colocações do ranking de PIB per capita. No relatório anual do IMESC que discorre sobre o PIB dos municípios do estado no ano de 2020, Tasso Frágoso ocupa a sexta posição entre os maiores PIBs do estado do Maranhão, porém, é o primeiro colocado no ranking do PIB per capita. No ranking nacional, Tasso Frágoso se situou na 13ª posição em 2020, tendo subido 23 posições em relação ao ano anterior. Estes dados chamam atenção para o município e denotam a importância que este possui para o estado do Maranhão (IMESC, 2022).

O setor da economia que mais contribui para o PIB do município é o primário, tendo como valor adicionado (VA) de 1.802 milhões no ano de 2020, representando a segunda melhor marca neste setor do estado. A lavoura temporária é a atividade econômica de maior peso para o setor primário com destaque para a produção de soja, milho e algodão, restando à pecuária um papel de menor representatividade em

comparação com as demais. A agropecuária ainda contribui para a impulsão de outros setores como é o caso do terceiro setor no qual a principal atividade é a de transportes, tornando o Tasso Fragoso o único município maranhense onde esta atividade possui o maior peso no VA do setor (IMESC, 2022).

6.2 Método de abordagem

A Indução foi o método de abordagem utilizado neste trabalho, pois trata-se de um processo mental que a partir dele, com base em dados particulares constatados, obtém-se uma conclusão supostamente verdadeira não contida nas partes examinadas. O objetivo dos argumentos indutivos está alinhado com o objetivo deste trabalho que é levar a conclusões após a análise do conteúdo abordado que sejam mais amplas do que os pressupostos que as basearam.

Apesar do argumento indutivo, igualmente ao dedutivo, fundamenta-se em premissas, aqui particularmente, os pressupostos estudados provavelmente levam a conclusões verdadeiras, já o método dedutivo leva inevitavelmente à conclusão verdadeira sem exceções. O método indutivo foi o escolhido pois as premissas analisadas não geram indiscutivelmente conclusões verdadeiras, o presente estudo objetiva ser um marco inicial para que seus resultados possam no futuro ser comprovados. (Lakatos e Marconi, 2003).

6.3 Técnicas de pesquisa

6.3.1 Procedimento de coleta de dados bibliográficos

A pesquisa bibliográfica foi uma das bases para a obtenção de dados para este trabalho, esta técnica contempla toda bibliografia já publicada relacionada ao tema de estudo, passando por publicações avulsas, boletins, jornais, revistas, livros,

pesquisas, monografias, teses, até material cartográfico. Especificamente neste trabalho foram utilizados livros, monografias, artigos e teses, todos nacionais e internacionais, além de documentos cartográficos (Ex: MacroZEE).

As bibliografias utilizadas foram obtidas a partir de plataformas acessadas na internet, com destaque para o Google Acadêmico, além de outras plataformas acessadas a partir do CAPES periódicos, que é uma biblioteca virtual que disponibiliza às instituições de ensino do Brasil o acesso a pesquisas bibliográficas. Para encontrar trabalhos da mesma área desta pesquisa foram utilizadas algumas palavras chaves na barra de pesquisa das plataformas, como: “MODIS”, “Cerrado”, “Sensoriamento”, “Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer”, “wildfires”, “burn acreage” etc. Em apenas uma pesquisa em uma dessas plataformas foram encontrados mais de 1.350.000 resultados, entre todos estes arquivos, foram selecionados mais de 70 trabalhos para servirem de base para este estudo.

Esta técnica proporcionou ao autor o reforço paralelo à análise de suas pesquisas, sendo imprescindível ressaltar que a pesquisa bibliográfica não se restringe a repetir o que já foi em algum momento escrito em relação a determinado assunto. A pesquisa bibliográfica propicia a análise do tema sob enfoque único, buscando obter conclusões inovadoras. (Lakatos e Marconi, 2003).

6.3.2 Procedimento de coleta de dados documentais

A pesquisa documental foi mais uma técnica de pesquisa utilizada neste trabalho, nela a fonte de coleta de dados é baseada em documentos, escritos ou não, denominadas de fontes primárias. Foram utilizadas tanto fontes primárias quanto secundárias, que são aqueles obtidos de livros, revistas, jornais, publicações avulsas e teses, cujo autor é conhecido, são espécies diferentes dos documentos, ou seja, dados de fontes primárias. Dentre os documentos estudados, os principais foram os arquivos públicos, tanto estaduais quanto nacionais, e fontes estatísticas censitárias, como é o caso dos dados provenientes do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (Lakatos e Marconi, 2003).

Uma importante fonte de coleta de dados documentais foram os relatórios do Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão além da Carta de

vulnerabilidade natural à perda de solo do Estado do Maranhão, a partir destes documentos foi possível colher dados de vulnerabilidade da área de estudo aqui estudada. As informações colhidas nestas fontes serão associadas aos dados dos satélites para fortificar a base de dados deste trabalho e alcançar os objetivos traçados.

6.3.3 Procedimento de coleta de dados de área queimada

A análise das áreas queimadas da área de Tasso Fragoso foi feita a partir de uma base de dados composta pelos subconjuntos mensais do produto Burned Area MCD64A1 em formato shapefile tendo os anos de 2017 a 2021 como período de estudo. O produto MCD64A1 foi obtido a partir do servidor File Transfer Protocol (FTP), onde é disponibilizado, seu download feito por meio do site <http://modis-fire.umd.edu/> pelo software Winscp conforme o item 4.1 da Collection 6.1 MODIS Burned Area Product User's Guide, que é um guia do usuário do Sensor MODIS. Momento em que os dados da cena 5 foram coletados. Os arquivos estão dispostos em projeção sinusoidal Lat-Long e extensão geográfica em janelas subcontinentais, conforme, que para a área de estudo é delimitada pela janela 5. Em seguida os mapas foram projetados em projeção e datum SIRGAS 2000 23S.

O produto MCD64A1 oferece a data do evento da queima para vetor, que foi usada para produzir as estimativas de áreas queimadas e construir os dados cumulativos tanto anuais quanto mensais, por meio do software ArcGIS 10.8. Para proporcionar a comparação e facilitar a análise dos dados, o produto foi então relacionado às características do Estado do Maranhão conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Códigos do produto.

ORD	DESCRIÇÃO	CÓDIGO
1	Algodão	62
2	Área Urbanizada	24
3	Campo Alagado e Área Pantanosa	11
4	Formação Florestal	12
5	Formação Campestre	3
6	Formação Savânica	4
7	Mosaico de Usos	21
8	Nulos	0
9	Outra Áreas Vegetadas	25
10	Outras Lavouras Temporárias	41
11	Pastagem	15
12	Rio, Lago e Oceano	33
13	Soja	39

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A quantidade de dados colhidos dos cinco anos estudados neste trabalho é vasta tornando quase impossível a análise sem o auxílio de um aplicativo que auxilie o processamento das informações. O aplicativo escolhido foi o Excel que faz parte do Microsoft Office Professional Plus 2016 que consiste em uma planilha eletrônica que proporcionou a análise dos dados colhidos do sensor MODIS. Os dados adquiridos foram filtrados a partir da ferramenta “Tabela Dinâmica” do próprio aplicativo, em seguida foram feitos filtros de município, uso do solo, ano e mês. Com as informações selecionadas foram feitos os gráficos que são usados no capítulo de Resultados e Discussões que será apresentado logo mais neste trabalho.

6.3.4 Procedimento de coleta de dados específicos

A entrevista foi outra técnica de pesquisa utilizada neste trabalho, aplicada com objetivo de proporcionar a obtenção de dados específicos que otimizem os resultados encontrados. Quando utilizado da forma correta é muitas vezes superior a outros sistemas de obtenção de dados. A entrevista foi essencial para a obtenção de informações junto ao entrevistado, sobre determinados assuntos peculiares que não

poderiam ser adquiridos por meio de pesquisas bibliográficas. A pesquisa aqui realizada foi estruturada, ou seja, o entrevistador segue um roteiro previamente estabelecido, as perguntas feitas aos entrevistados foram predeterminadas e com pessoas selecionadas de acordo com um plano condizente com as necessidades do estudo. Foi selecionado um entrevistado, um engenheiro agrônomo com experiência prática na área aqui analisada. A entrevista foi realizada como auxílio do serviço de comunicação por vídeo do Google, o "Google Meet". (Lakatos e Marconi, 2003).

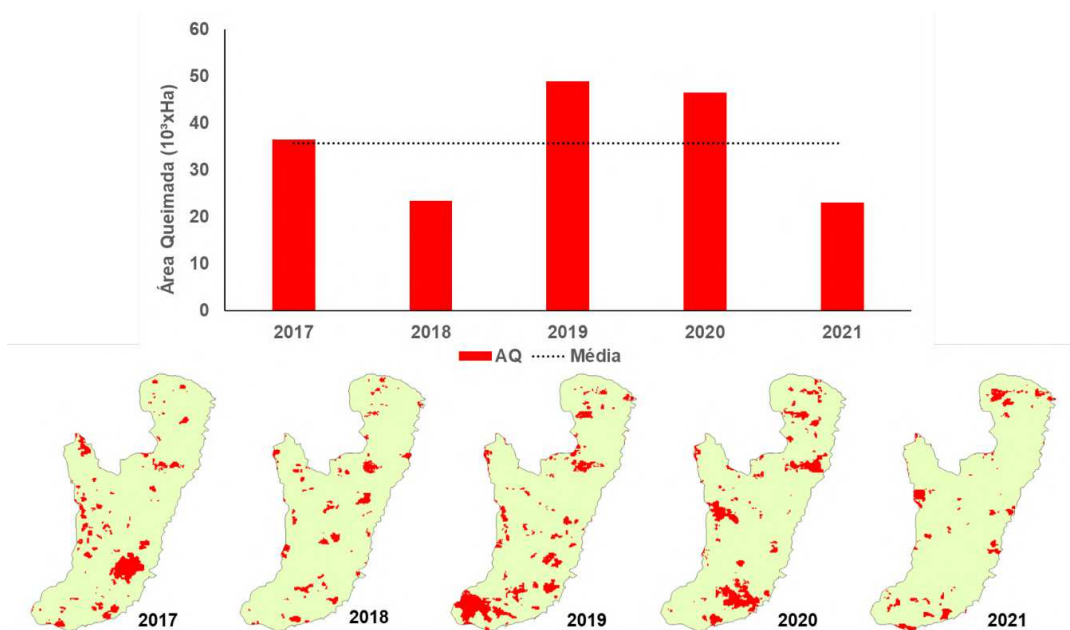
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Análise dos dados do sensor MODIS

A partir da análise das informações, obtidas através dos dados dos satélites TERRA e AQUA, foram criados uma série de gráficos relacionando a área queimada de uma determinada região ou de um determinado período que combinados com outros dados darão base para a análise das vulnerabilidades da área de estudo este trabalho. Dentre as constatações obtidas dos dados analisados, a primeira diz respeito à área queimada entre os anos 2017 e 2021 no município de Tasso Fragoso - MA, onde foi registrado um total de 178.530 Ha, com uma média anual de 35.706 Ha.

A Figura 2 proporciona a análise dos números de cada ano da série estudada, o ano de 2019 foi o que apresentou a maior incidência de área queimada com 48.893 Ha, a média do período analisado foi de 35.706 Ha queimadas. Dentre os anos da série estudada o ano de 2021 se destacou como o período de menor incidência de incêndios com 23.120 Ha queimadas.

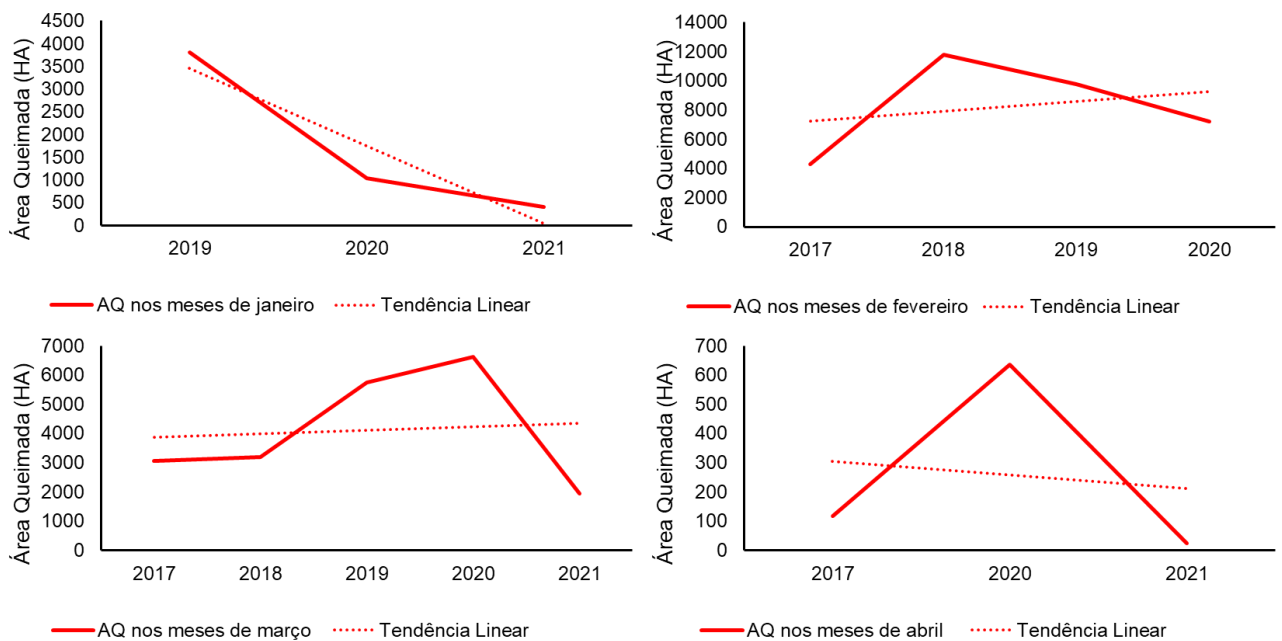
Figura 2 – Área queimada a cada ano.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A partir da análise da Figura 3 percebe-se que os meses de fevereiro e março correspondem ao período de maior incidência de incêndios do primeiro quadriênio, com valores máximos de 11.753 e 6.607 Ha de área queimada respectivamente. O ano de 2021 permanece como destaque, sendo um ano que apresenta os menores índices de área queimada e o primeiro quadriênio aparece como um colaborador importante para que isto acontecesse.

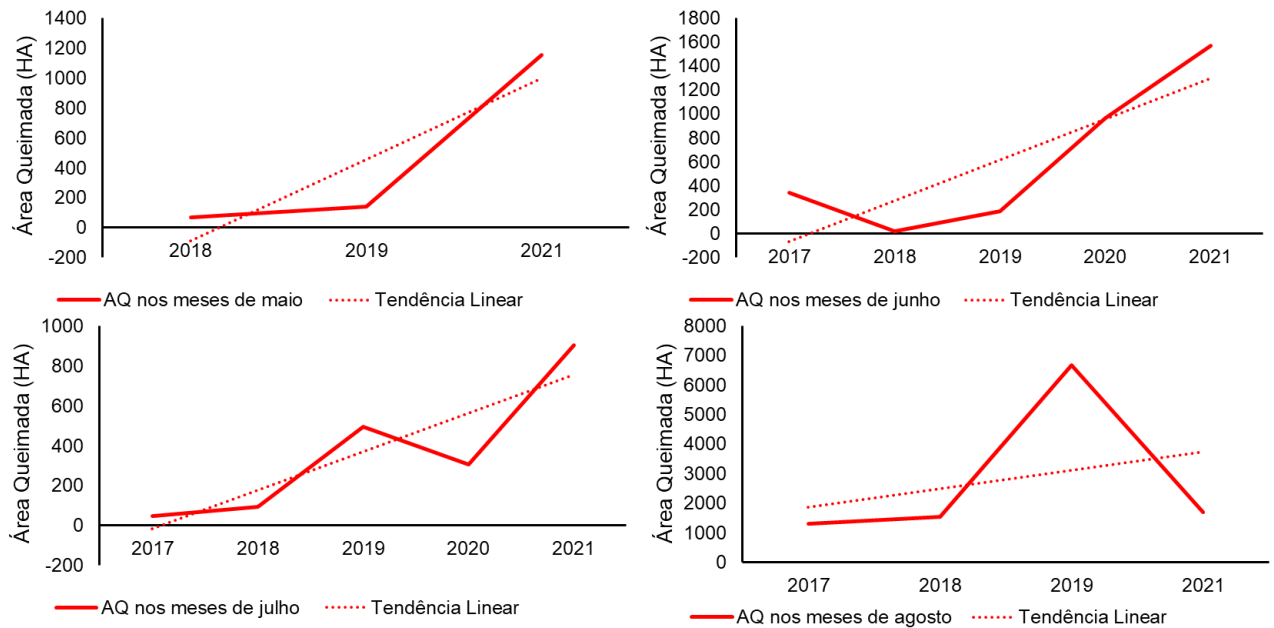
Figura 3 – Área queimada dos meses de janeiro a abril.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Já o segundo quadriênio é um período com uma menor incidência de incêndios, tendo mais uma vez o ano de 2021 como ponto fora da curva, como pode ser observado na Figura 4, os meses de maio, junho e julho desse ano há um aumento da área queimada o que pode ser sinal de fogo tardio. Os números chegaram a 1.567 Ha no mês de junho de 2021 enquanto no mesmo período do ano anterior os números atingiram 964 Ha queimadas, mesmo que este ano, no geral, tenha registrado uma maior área queimada que 2021.

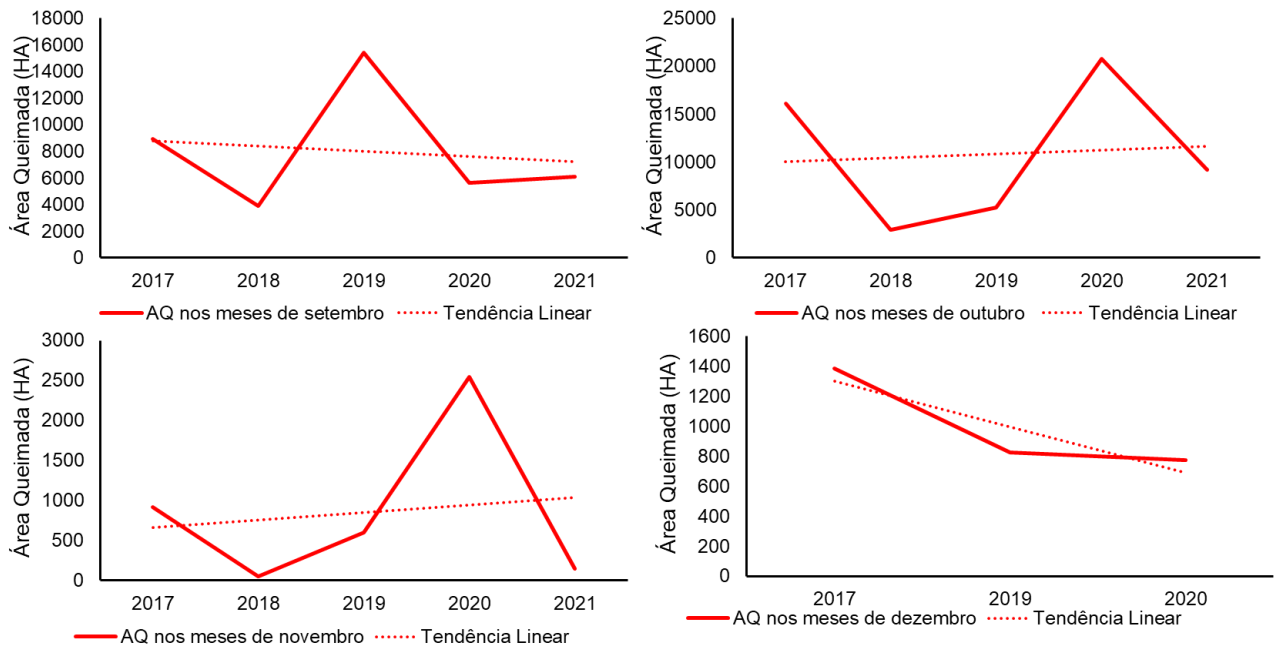
Figura 4 - Área queimada dos meses de maio a agosto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O último quadriênio apresenta a maior incidência de incêndios em números absolutos, com destaque para os meses de setembro e outubro (Figura 5), este período é justamente o período mais seco da região e precede a época do plantio. Enquanto no quadriênio anterior a área queimada ficou próximo às 1600 Ha no terceiro quadriênio os valores ultrapassaram 25.000 Ha destruídas pelo fogo. Durante os meses de novembro e dezembro os números voltam a cair provavelmente pelo início do período chuvoso e pelo início do plantio das lavouras como será visto com mais detalhe mais à frente.

Figura 5 - Área queimada dos meses de setembro a dezembro



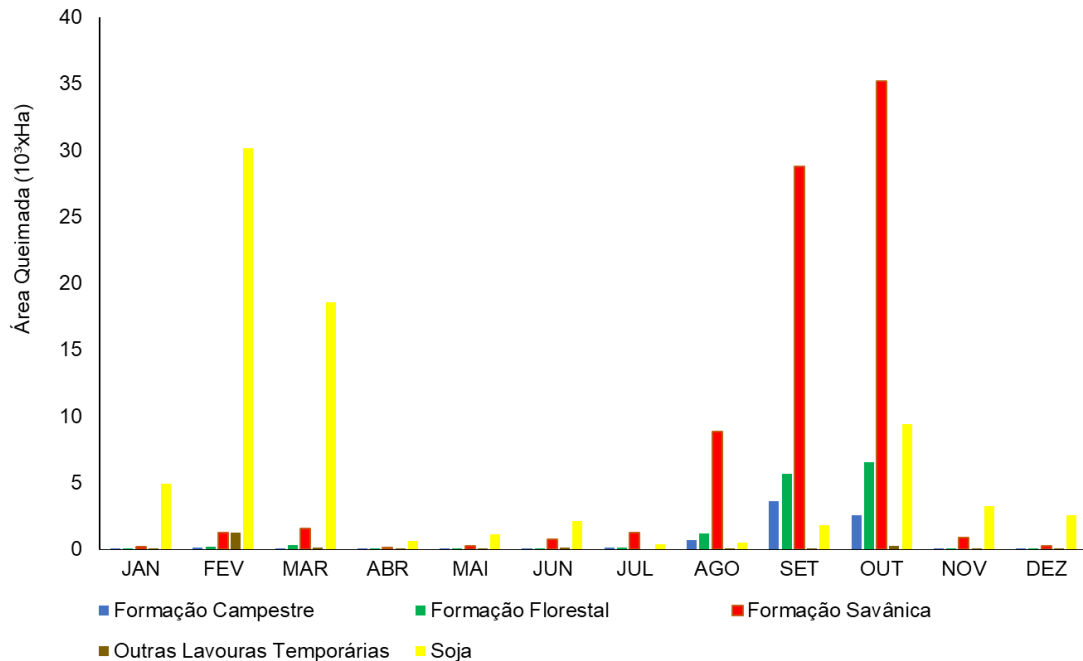
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Outro ponto importante diz respeito ao uso de solos, a partir da análise da Figura 6 percebe-se que os incêndios em área de plantações têm destaque durante o primeiro semestre, enquanto que os incêndios em áreas naturais do Cerrado se concentram no segundo semestre.

Em entrevista realizada exclusivamente para este trabalho tendo como entrevistado um engenheiro agrônomo que atua em Tasso Fragoso, presente no Apêndice A, constatou-se que período de maior incidência de incêndios em áreas plantadas coincide com a época de colheita da soja (Figura 6), que de acordo com dados da Sagrima (2022) é a principal cultura da região. Ainda de acordo com o engenheiro a colheita é feita através de maquinário pesado e para que esta aconteça a soja precisa estar seca. À medida que o maquinário colhe a soja deixa para trás imensos campos de palhada extremamente seca, que é um material altamente suscetível a combustão (informação verbal).

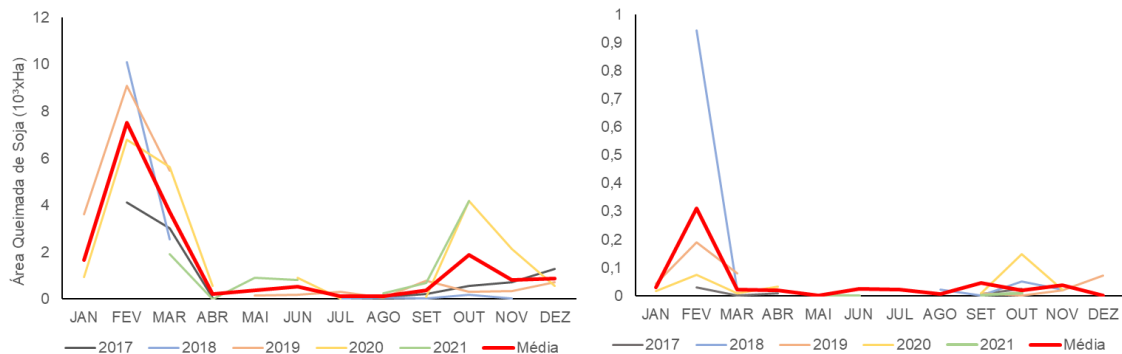
Outro fator destacado pelo agrônomo são os fortes ventos que existem na região devido ao relevo de planaltos. A combinação: período de baixa umidade, ventos fortes, maquinário e extensos campos de palhada seca acabam por ocasionar grandes incêndios, como o próprio entrevistado relata já ter presenciado (informação verbal).

Figura 6 – Área Queimada dos principais Usos de Solo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 7 - AQ de Lavouras Temporárias.

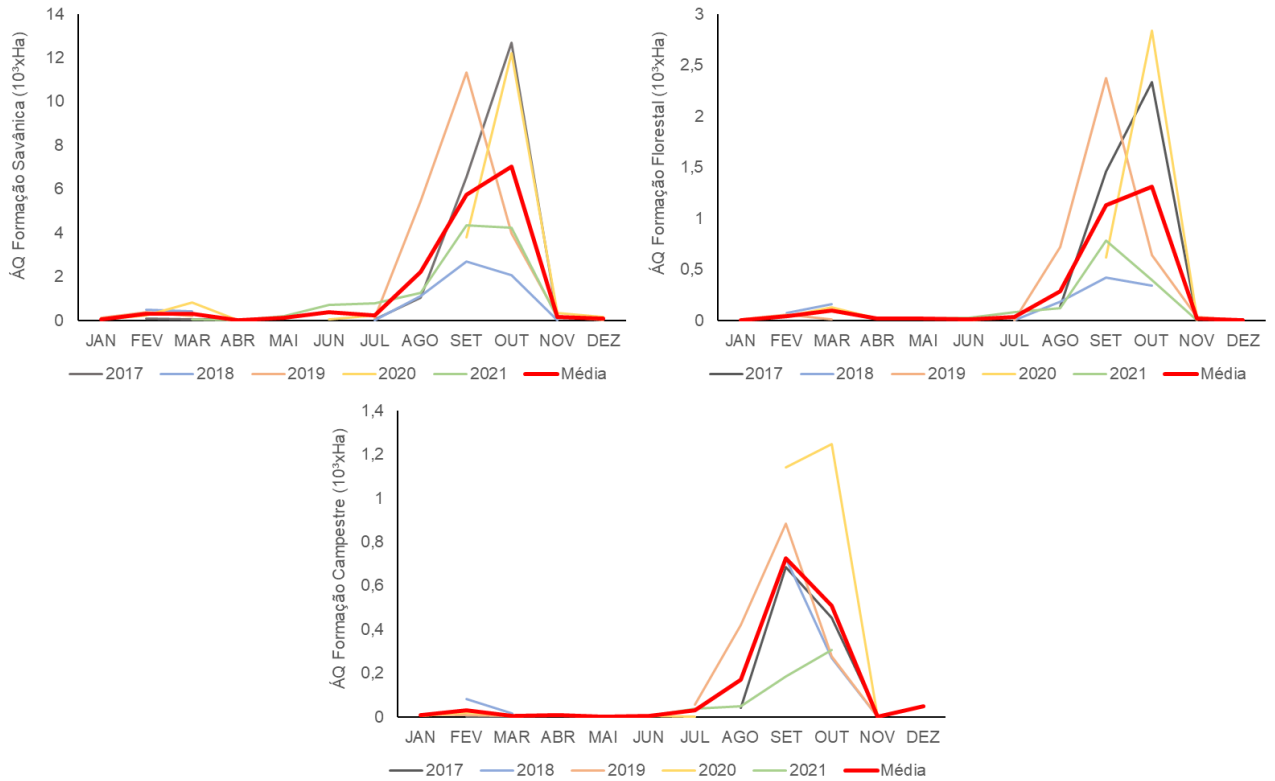


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Já o segundo semestre é marcado por incêndios que se alastram principalmente em áreas de formações da flora natural do Cerrado, com destaque, como mostra a Figura 7, para a formação savânica que supera os 35.000 Ha queimadas na séria histórica estudada. Mesmo o agrônomo entrevistado destacando que os incêndios são abominados pelos produtores rurais por serem um risco às suas plantações e à qualidade dos solos, ainda existem produtores que abrem novas áreas para o plantio com o auxílio do fogo, além disso existem as causas naturais que ocasionam os incêndios (informação verbal). Combinado ao clima seco dos meses de agosto a outubro estas são as principais causas de incêndios na região justificando o

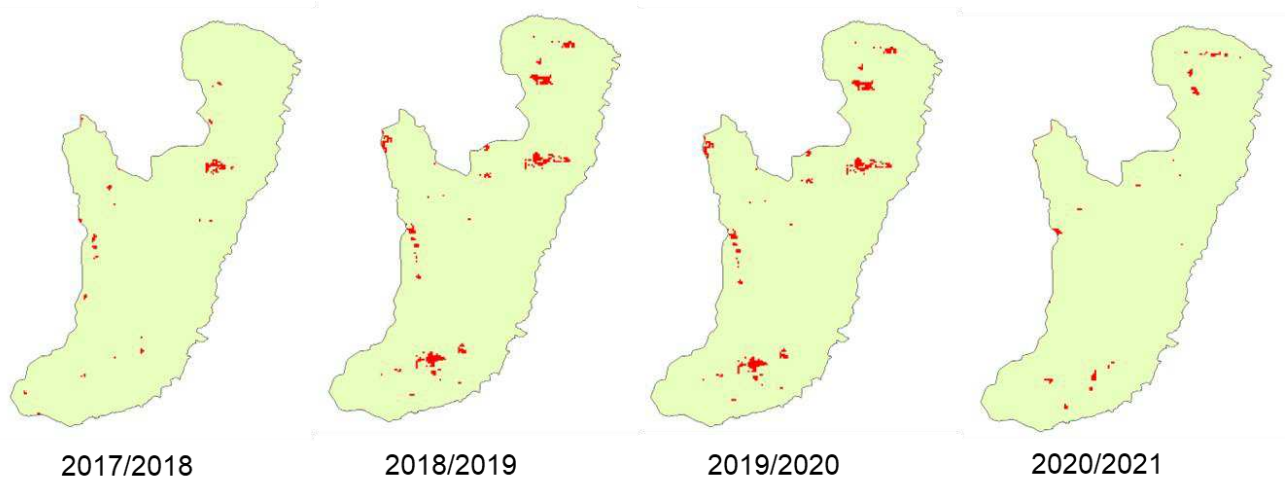
aumento significativo da área queimada neste período. A Figura 8 contempla a análise mensal das savanas, campos e florestas do Cerrado, confirmando o que foi constatado na Figura 6.

Figura 8 – AQ das Formações Vegetais do Cerrado.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 9 – Área com recorrência de queima.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Após análise aprofundada dos dados obtidos do Sensor, foi constatado que algumas áreas queimam de forma recorrente como demonstrado na Figura 9, informação de grande relevância, pois à medida que os incêndios florestais ocorrem repetidamente em uma mesma área, o fogo tem o poder de alterar drasticamente a paisagem tendo como resultado a perda de biodiversidade (Belchior et al., 2019). Neste quesito os anos de 2019 e 2020 são destaque possuindo a maior incidência de área com queima recorrente (Tabela 2) do período estudado com mais de 10.000 Ha, valor que corresponde 22% de toda a área queimada durante o ano de 2020, ou seja, quase um quarto da área queimada desse ano incendiou repetidamente.

Tabela 2 – Queima Recorrente.

Anos da Recorrência	Área com queima recorrente (Ha)
2017/2018	2.798,11
2018/2019	6.970,38
2019/2020	10.049,19
2020/2021	3.055,05

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

7.2 Análise dos dados de vulnerabilidade

Os parâmetros e resultados aqui abordados foram retirados da “Carta de vulnerabilidade natural à perda de solo do Estado do Maranhão” pela qual é possível avaliar aspectos importantes sobre a vulnerabilidade ambiental do município de Tasso Fragoso – MA. A avaliação da vulnerabilidade natural dos solos é feita com base em elementos do meio físico e biótico sintetizados em cinco temas: Geologia, Geomorfologia, Solos e Vegetação/Uso da terra. Cada um desses elementos é analisado na Carta de vulnerabilidade e recebe um índice que varia de 1,0 a 3,0, onde 3,0 são as áreas mais vulneráveis. A seguir serão expressos os índices de cada elemento da área de estudo deste trabalho.

A Carta de Vulnerabilidade aborda um ponto importante que diz respeito a geologia local, em sua página 16 na Figura 2 é apresentada a classificação da vulnerabilidade do Estado quanto a geologia. A partir dela é possível constatar que o

município de Tasso Fragoso está inserido em uma área que apresenta um índice de 2,7, ou seja, uma área de alta vulnerabilidade quanto a este parâmetro (Embrapa, 2013).

O próximo tema a ser discutido pela Carta para a avaliação da vulnerabilidade local é a Geomorfologia para a qual foram atribuídos empiricamente valores de vulnerabilidade. A partir da Figura 4 da Carta foram encontrados dois padrões predominantes de relevo, são eles: vales encaixados e os planaltos que tem respectivamente valores de vulnerabilidade de 2,8 e 1,3, ou seja, há um contraste, pois, existem áreas extremamente vulneráveis e áreas estáveis (EMBRAPA, 2013).

Uma das principais características consideradas para estabelecer a vulnerabilidade dos Solos é o grau de maturidade do solo, estudado a partir da pedologia. Ao analisar a Figura 5 da Carta são encontradas três classificações para a área de estudo deste trabalho, são elas: solo litólicos, latossolo amarelo e podzóico vermelho-amarelo concrecionário com valores de vulnerabilidade que variam entre 1,3 a 2,4, mais uma vez existem solos vulneráveis e solos estáveis (EMBRAPA, 2013).

Quanto a vegetação, foram detectados quatro tipos diferentes de formações vegetais, são elas: savana arborizada, savana florestada, desmatamento e refúgio vegetacional. Estas recebem índices com os respectivos valores: 2.1, 1.7, 2.9 e 2.7. Dentre estas a grande parte da vegetação é savânica arborizada que possui o índice de 2,1 o qual corresponde a uma formação medianamente vulnerável. As áreas de desmatamento e de refúgio florestal também merecem destaque por possuírem níveis próximo ao máximo de vulnerabilidade, constituindo-se áreas que merecem bastante atenção (EMBRAPA, 2013).

A energia despendida pela intensidade pluviométrica é responsável pela erosividade da chuva, por isso quanto maior sua intensidade maior será a erosão e conseqüentemente a vulnerabilidade do solo. A intensidade pluviométrica da área aqui estudada varia entre 150 e 200 mm de chuva por mês o que a enquadra em dois índices de vulnerabilidade, são eles: 1,5 e 1,6 que correspondem a um grau de vulnerabilidade estável, ou seja, baixo (EMBRAPA, 2013).

Diante desses dados a Carta avalia a vulnerabilidade à perda de solos da área de estudo classificando-a com índices que variam entre 2,2 e 2,4 que correspondem a valores de vulnerabilidade significativo, correspondendo a valores acima da média estabelecida pela própria Carta (EMBRAPA, 2013).

O Relatório Final do Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão foi usado para concluir a análise dos índices até aqui estudados, correspondendo a um parâmetro mais preciso já que são consideradas além das informações de solos aqui já apresentadas, a aptidão agrícola e as tendências de ocupação da área (EMBRAPA Cocais, 2013).

De acordo com o Relatório, a área de estudo deste trabalho faz parte de duas zonas, a zona 1 que possui menor vulnerabilidade ambiental está vinculada, em graus diversos, às áreas voltadas para o desenvolvimento sustentável de atividades agropecuárias, industriais, florestais e minerárias (EMBRAPA Cocais, 2013).

Já o espaço seguinte é denominado de zona 2 que diferente da primeira possui maior vulnerabilidade ambiental, são áreas potencial elevado no que tange aos de recursos naturais, sendo contemplada por regiões consideradas importantes para a conservação e para preservação da biodiversidade decorrente especialmente da sua vulnerabilidade natural.

8 CONCLUSÃO

Observou-se que ao longo do período estudado, as áreas queimadas foram detectadas em maior concentração nos meses de fevereiro e março especialmente nas áreas usadas para o plantio e nos meses de setembro e outubro que correspondem aos meses de maior estiagem e que os produtores estão abrindo novas áreas para o plantio. Outro fator importante diz respeito a detecção da recorrência de áreas destruídas por incêndios, este tipo de dado permite que sejam mapeadas áreas de risco e contribui para ações de prevenção e mitigação de incêndios.

O município de Tasso Fragoso – MA possui uma alta taxa de vulnerabilidade, com um índice de 2,7 quanto ao fator geologia. Quanto à geomorfologia e a vulnerabilidade do solo a região possui duas áreas distintas uma com maior vulnerabilidade e outra estável. A vegetação da região possui números estáveis de vulnerabilidade, porém a incidência dos incêndios pode afetar significativamente esta característica. O Relatório Final do Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão entrega um panorama completo da vulnerabilidade local, classificando-a em duas zonas distintas, a zona 1 e a zona 2 com um menor e um maior grau de vulnerabilidade respectivamente.

A dualidade de vulnerabilidades da região aqui estudada, o número expressivo de ocorrências de incêndios florestais verificados na região, bem como a extensão territorial do Cerrado maranhense, são elementos que dão ênfase a importância de um sistema que trabalhe em conjunto a detecção de incêndios florestais e as vulnerabilidades da área afetada. Iniciativas como esta terão a capacidade de facilitar as atividades de planejamento, de prevenção, controle e mitigação dos danos causados pelos incêndios, sendo um objeto de grande valia para o trabalho do Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão.

Dito isto, pode-se inferir que existem dois espaços bem diferentes dentro da área de estudo deste trabalho, tornando notória a importância de estudos como estes que destaquem as diferenças entre estas regiões. Por serem regiões de fácil delimitação, o seu uso pode ser bem definido, podendo ser uma voltada para a preservação ambiental e outra direcionada para a agricultura extensiva trabalhada com técnicas sustentáveis. Apesar das diferenças ambas possuem sua importância para o CBMMA, uma pela sua importância ambiental e a outra por contribuir para o

PIB do município, ou seja, para o seu patrimônio que é um dos bens protegidos pela corporação.

REFERÊNCIAS

AQUINO, A.; PALETTA, F.; ALMEIDA, J. Vulnerabilidade Ambiental. **Edgard Blücher Ltda**, São Paulo – SP, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/bitstream/handle/123456789/27686/23922.pdf?sequence=2&isAllowed=y>. Acesso em: 16 de maio de 2023.

ASSAD, E.; PINTO, H. Aquecimento Global e a nova Geografia da Produção agrícola no Brasil. **Embrapa/Unicamp**, São Paulo, Agosto de 2008. Disponível em: https://www.agritempo.gov.br/climaeagricultura/CLIMA_E_AGRICULTURA_BRASIL_300908_FINAL.pdf. Acesso em 25 de maio de 2023.

BATISTA, A. DETECÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS POR SATÉLITES. **FLORESTA**, Curitiba, PR, Mai. 2004. Disponível: https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2004_Batista_Deteccao_Flor esta_DE3os.pdf. Acesso em: 21 de abril de 2023.

BATISTELA et al. Macrozoneamento Ecológico-Econômico: potencialidades e fragilidades do estado do Maranhão. GEONORDESTE, Aracajú – SE, 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1002487/1/4235.pdf>. Acesso em: 10 de março de 2013.

BATISTELLA M. et al. RELATÓRIO FINAL – Produto 3 Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão, **EMBRAPA COCAIS**, Campinas, 2013. Disponível em: homologacao.zee.ma.gov.br/wp-content/uploads/2021/11/relatorio_diagnostico_v1_macrozeema.pdf. Acesso em: 25 de maio de 2023.

BATISTELLA M. et al. RELATÓRIO FINAL – Produto 4 Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão, **EMBRAPA COCAIS**, Campinas, 2014. Disponível em: [file:///C:/Users/junio/Downloads/RelatorioFinal-Prod4-MacroZEE%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/junio/Downloads/RelatorioFinal-Prod4-MacroZEE%20(1).pdf). Acesso em: 27 de maio de 2023.

BELCHIOR et al. Ocorrência e recorrência de incêndios florestais no Parque Nacional do Itatiaia entre 2008 e 2016. **BioBrasil REVISTA CIENTIFICA**, 2019. Disponível em: <https://revistaeletronica.icmbio.gov.br/BioBR/article/view/1122/> Acesso em: 01 de junho de 2023.

BRASIL. Zoneamento Ecológico-Econômico. 2013. **Ministério do Meio Ambiente**, 2023. Disponível em: <https://cpvm.gov.br/publico/Gestao-Territorial/Gestao-Territorial/Zoneamento-Ecologico-Economico---ZEE-5428.html#:~:text=O%20Zoneamento%20Ecol%3%B3gico-Econ%3%B4mico%20-%20ZEE%20%3%A9%20um%20instrumento,o%20desenvolvimento%20sustent%3%A1vel%20e%20harm%3%B4nico%20do%20territ%3%B3rio%20brasileiro>. Acesso em: 10 de março de 2013.

CARVALHO, M. **Mapeamento da vulnerabilidade de incêndios florestais no parque nacional de Brasília**. TCC (Curso de Formação de Oficiais – CFO) - Academia De Bombeiro Militar Cel. Osmar Alves Pinheiro, Distrito Federal, p. 95. 2021. Disponível em:

<https://biblioteca.cbm.df.gov.br/jspui/bitstream/123456789/252/1/1136%20-%20TCC%20-%20Castro.pdf>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

CUNHA, R. Análise da influência das variáveis ambientais utilizando inferência Fuzzy e zoneamento das vulnerabilidades. Estudo do caso da bacia hidrográfica do ribeirão do Feijão, São Carlos – SP. Geociências, São Paulo, Vol. 30, 2011. Disponível em: <https://biblat.unam.mx/hevila/GeocienciasSaoPaulo/2011/vol30/no3/7.pdf> Acesso em: 16 de 05 de 2023.

DIAS G. Queimadas e Incêndios Florestais Cenários e Desafios. **IBAMA MMA**, Brasília, 2009. Disponível em: <file:///C:/Users/junio/Downloads/Mar.15.03.pdf>. Acesso em: 26 de maio de 2023.

DUGUY, B. Modelling the Ecological Vulnerability to Forest Fires in Mediterranean Ecosystems Using Geographic Information Technologies. **Environment Management**, 2012. Vol. 50. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-012-9933-3> . Acesso em: 20 de maio de 2023.

FIGUEIRÊDO, M. et al. Análise da Vulnerabilidade Ambiental. **Embrapa Agroindústria Tropical**, Fortaleza – CE, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/877885/1/DO10002.pdf>. Acesso em: 17 de maio de 2023.

FLORENZANO, T. **INICIAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO**. 3º Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FRANÇA, D. A.; FERREIRA, N. J. Considerações sobre o uso de satélites na detecção e avaliação de queimadas. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO**, Goiânia – GO, 2005. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/Itid.inpe.br/sbsr/2004/11.20.11.30/doc/3017.pdf>. Acesso em: 12 DE junho 2023. GLIGIO, L. et al. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. **ScienceDirect**, 2009. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425708003180>. Acesso em: 18 de maio de 2023.

GONTIJO G. et al. Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto. **SBSR**. Curitiba - PR, 2011. Disponível em : <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.21.14.32/doc/p1587.pdf>. Acesso em: 24 de abril de 2023.

HOGAN, D.; MARANDOLA JR., E. População e mudança climática: dimensões humanas das mudanças climáticas globais. **Núcleo de Estudos de População-Nepo/Unicamp**, Campinas – SP, Setembro de 2009. Disponível em:

<https://www.nepo.unicamp.br/wp-content/uploads/2022/12/populacao-e-mudanca-climatica.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2023.

HUETE, R. et al. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. **Geophysical Research Letters**, v. 33, 2006. Disponível em : [file:///C:/Users/junio/Downloads/Amazon green-up with sunlight in dry season.pdf](file:///C:/Users/junio/Downloads/Amazon%20green-up%20with%20sunlight%20in%20dry%20season.pdf). Acesso em: 03 de maio de 2023.

IBGE. BIOMAS BRASILEIROS. **IBGE**, 2023. Disponível em : <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html>. Acesso em: 23 de abril de 2023.

IBGE. Tasso Fragoso Maranhão - MA. **IBGE**, 2023. Disponível em : <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/tasso-fragoso/historico>. Acesso em: 23 de abril de 2023.

IBGE. Tasso Fragoso. **IBGE**, 2023. Disponível em : <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/tasso-fragoso/panorama>. Acesso em: 23 de abril de 2023.

IEMBO, J.; GALVANI E. VULNERABILIDADE A INCÊNDIOS FLORESTAIS: REFLEXÕES ACERCA DO PARQUE ESTADUAL DO JUQUERY E SEU ENTORNO. **Revista Brasileira de Climatologia**, 22 de Dez.2020. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14340/7692>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

LEMOS, A. et al. Apostila para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais. **ICMBio MMA**, Brasília, 2010. Disponível em: <https://ava.icmbio.gov.br/mod/data/view.php?d=17&rid=3089>. Acesso em: 03 de maio de 2023.

LIBONATI, R. et al. An Algorithm for Burned Area Detection in the Brazilian Cerrado Using 4 μm MODIS Imagery. **Remote Sens**, 2015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/7/11/15782>. Acesso em 25 de maio de 2023.

LINHARES, L.; MONTEIRO, J.; GRAMATA, A. Geografia dos riscos e vulnerabilidades: uma breve discussão teórica e metodológica. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral – CE, Mai. 2021. Disponível em: <https://rcgs.uvanet.br/index.php/RCGS/article/view/776/591>. Acesso em: 18 de maio de 2023.

LOMBARDI R. ESTUDO DA RECORRÊNCIA DE QUEIMADAS E PERMANÊNCIAS DE CICATRIZES DO FOGO EM ÁREAS SELECIONADAS DO CERRADO BRASILEIRO, UTILIZANDO IMAGENS TM/LANDSAT. **INPE**. São José dos Campos, 2005. Disponível em : https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/documentos/2005_Lombardi_Estudo_recorrencias_MSc_INPE2003.pdf. Acesso em: 27 de abril de 2023.

LOPES A. et al. Análise da distribuição de focos de calor no município de Novo Progresso, Pará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Pombal - PB. 2017. Disponível em :

https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2017_Lopes_et al_FocosCalorNovoProgresso_RVADS_DE3os.pdf. Acesso em: 30 de abril de 2023.

LOPES J. et al. Bacias Hidrográficas e Climatologia no Maranhão. **NUGEO**, São Luís, 2016. Disponível em : <https://www.nugeo.uema.br/upnugeo/publicacoes/Bacias%20Hidrogr%C3%A1ficas%20e%20Climatologia%20-%20MA>. Acesso em: 23 de abril de 2023.

Marconi e Lakatos, 2003. Fundamentos de Metodologia Científica. **ATLAS S. A.**, São Paulo, 2003. 5ª Edição.

MUSITANO M. O homem e o fogo. **FIOCRUZ**, nov. 2021. Disponível em: https://www.invivo.fiocruz.br/cienciaetecnologia/o-homem-e-o_fogo/#inicioconteudo. Acesso em: 21 de abril de 2023.

NEVES, L. L. **Análise da suscetibilidade a incêndios por meio de geoprocessamento: um estudo no município de Ribeirão Preto, SP**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de São Carlos: São Carlos, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/9713>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

NÓBREGA A. et al. Orientações Técnicas sobre Queimadas e Incêndios Florestais. **CEARÁ GOVERNO DO ESTADO**, Fortaleza - CE, 2022. Disponível em : <https://www.saude.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/9/2018/06/Nota-Tecnica-Queimadas-no-1-11-11-2022.pdf>. Acesso em: 24 de abril de 2023.

QUARTAROLI, C.; ARAÚJO, L.; GARÇOM E. 2013. Carta de vulnerabilidade natural à perda de solo do Estado do Maranhão. **Embrapa Monitoramento por Satélite** Campinas, SP. Disponível em: <file:///C:/Users/junio/Downloads/DC100.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2023.

ROCHA C. Alternativas ao uso do fogo na agricultura e as etapas para planejamento de uma queimada controlada. **EMBRAPA**, 04 Fev. 2015. Disponível em: <https://www.invivo.fiocruz.br/cienciaetecnologia/o-homem-eofogo/#inicioconteud>. Acesso em: 21 de abril de 2023.

SANO S. CERRADO Ecologia e Flora. **EMBRAPA**, Brasília, 2008. Vol. 1 Disponível em : <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/570911/cerrado-ecologia-e-flora>. Acesso em: 23 de abril de 2023.

SANTOS, G. et al. Detecção e análise de focos de calor no município de Novo Progresso (PA) entre os anos de 2016 e 2019. **Ambiente e Sociedade**, Vol. único, 02 jul. 2021. Disponível em: <https://www.editoracientifica.com.br/articles/code/210504845>. Acesso em: 21 de abril de 2023.

SANTOS, M.; FARIA, K. Vulnerabilidades ambientais do Bioma Cerrado: Estudo da região Norte Goiano – Goiás. **ACTA Geográfica**, Boa Vista – RR, 2020. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/actageo/article/view/5260>. Acesso em: 16 de maio de 2023.

SILVA A. et al. **PRODUTO INTERNO BRUTO DOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO MARANHÃO 2020**. IMESC, 2022. Vol. 16. Disponível em: <https://imesc.ma.gov.br/src/upload/publicacoes/b6b924895cbefa19358cf65c2727e295.pdf>. Acesso em: 23 de abril de 2023.

SILVA A.; JUVENAL R.; MIRANDA, J.. Variabilidade espaço-temporal de ocorrência e recorrência de fogo no Bioma Caatinga usando dados do sensor MODIS. **CIÊNCIA FLORESTA**, Santa Maria, v. 33. Disponível: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/70195>. Acesso: 20 de maio de 2023.

Silveira I.; Oliveira B.; Junger W. **Utilização do Google Maps para o georreferenciamento de dados do Sistema de Informações sobre Mortalidade no município do Rio de Janeiro, 2010-2012***. Tese (Mestrado) Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ, 2017. Disponível: <https://www.scielo.br/j/ress/a/Zd8DBfbVhVwGXZRvVvxPm3M/?format=pdf&lang=pt>. Acesso: 11 de junho de 2023.

SOUZA G. ANÁLISE SAZONAL DA VEGETAÇÃO DO CERRADO POR MEIO DE DADOS DO SENSOR MODIS NO DISTRITO FEDERAL (BRASIL). **ISSN**. Goiânia. 2016. Disponível em : <https://repositorio.unb.br/handle/10482/23640>. Acesso em: 03 de maio de 2023.

TEDIM, F.; CARVALHO, S. A vulnerabilidade aos incêndios florestais: reflexões em torno de aspetos conceptuais e metodológicos. **Territorium 20**, Coimbra (Portugal), 2013. Disponível em: <http://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/3049>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

TINOCO, D. et al. Decifrando o georreferenciamento. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Vol. 18, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/14950/pdf>. Acesso em: 11 de junho 2023.

TOMZHINSKI, T.; COURA, F.; COUTO, F. Avaliação da detecção de focos de calor por sensoriamento remoto para o Parque Nacional do Itatiaia. **Biodiversidade Brasileira**, 2011. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR/article/view/140>. Acesso em: 03 de maio 2023.

TORRES, F. et al. Mapeamento da suscetibilidade a ocorrências de incêndios em vegetação na área urbana de Ubá-MG. **Revista Árvore**. Viçosa -MG, 2014. Vol. 30. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/y9BPFJMyHzTF56t4rxftsnz/abstract/?lang=pt> Acesso em: 20 de maio de 2023.

TREVISAN, D. et al. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de São Carlos - SP. **Raega**, Curitiba – PR, Mai. 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/50439/35140>. Acesso em: 16 de maio de 2023.

WHITTAKER, J.; HANDMER J. E MERCER, D. Vulnerability to bushfires in rural Australia: A case study from East Gippsland, Victoria. **ELSEVIER**, 2012. Vol.28.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0743016711001148>. Acesso em: 20 de maio de 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE A - LISTA DE PERGUNTAS PARA O ENGENHEIRO AGRÔNOMO

1. Quais os meses de plantio das safras e das safrinhas na região de Tasso Fragoso?

Safra entre outubro e novembro. Já a safrinha entre março e abril, colhendo a soja e já preparando para plantar milho safrinha. Depende demais da microrregião ali que plantou, se plantou cedo a soja, se vai plantar naquela região mais cedo milho. Isso a grosso modo, porque em algumas áreas de algumas regiões produtor no finalzinho de fevereiro já consegue plantar algumas áreas com safrinha.

2. Quais culturas possuem safra e safrinha?

As principais culturas correspondentes à safra são o milho, soja e algodão, somente na região de Tasso Fragoso com tempo estimado entre plantio e colheita de 120 a 180 dias, dependendo da variedade, precoce ou tardia, e da região. Já correspondentes a safrinha são o milho safrinha, sorgo, milheto com tempo estimado entre plantio e colheita de 90 a 120 dias.

3. Qual o melhor relevo para o desenvolvimento da agricultura?

O melhor plantio é relacionado nessa região ao relevo mais alto. O melhor relevo corresponde aos chapadões que por possuírem maior altitude apresentam temperatura mais baixa e muitas vezes mantém um microclima com maior uniformidade o que é favorável a cultura da soja e do algodão. Os chapadões também apresentam um relevo plano.

4. As encostas são utilizadas para o plantio?

Atualmente não se trabalha mais a agricultura em encostas, pois a agricultura dessa região é bastante mecanizada, e a declividade máxima seria de 12%. Inclusive dependendo onde seja a encosta de acordo com Lei Florestal não se pode planta em certos níveis. De maneira geral não se deixa área de encosta descoberta pois pode ocasionar desgaste do solo, erosão, lixiviação..., caso não tenha um solo preparado quando ocorrer uma chuva pode surgir em meio ao plantio uma voçoroca.

5. Existe um período que abrange os meses de fevereiro e março, fora do período de estiagem, no qual são detectados incêndios em campos de soja. Pode ser devido ao replantio (safrinha) ou poderia ser devido a outro fator?

O mês de fevereiro é o período de colheita da soja e tem bastante palhada no solo, palhada essa que ajuda a manter a umidade do solo, e também a própria soja, pois ela não é colhida verde, espera-se ela maturar e é aplicado produtos químicos, chamado de maturadores que ajudaram a soja a secar, para que ela possa ser colhida nesse estado.

6. Os meses de setembro e outubro são os que apresentam maior detecção de incêndios. Pela sua experiência na área esses são realmente os meses mais afetados pelos incêndios florestais?

Esse período de incêndios pode estar intimamente ligado a palhada seca do milho, como a fatores externos, cada princípio de incêndio deve ser tratado como um caso único, e perícia individual precisa ser realizada, mas de maneira geral, na colheita do milho é aproveitado a palhada para plantio direto e manutenção da umidade e matéria orgânica para o próximo plantio. Essa palhada seca do milho é muito propensa a combustão. As áreas de planaltos apresentam bastante vento o que facilita a propagação.

7. As queimadas originam benefícios e (ou) malefícios à produção agropecuária? Quais são eles?

As queimadas são abominadas pelos produtores de soja e milho, gerando apenas problemas e prejuízos. O que pode acontecer são produtores que para criar novas áreas de plantio derrubam a vegetação na corrente e queimam para facilitar a limpeza da área, mas nunca para renovar.

8. A atuação do Corpo de Bombeiros é satisfatória na região das Gerais de Balsas?

A atuação do Corpo de Bombeiros é complicada pois a maioria das fazendas são distantes, com difícil acesso, algumas com até 7 horas de viagem em estradas

esburacadas. O que eu sei é que em armazéns, por exemplo, é preciso ter o alvará dos Bombeiros atendendo todos os requisitos de segurança, hidrantes, detector de fumaça, treinamento dos funcionários contra incêndio, algumas fazendas de grande porte precisam manter uma brigada de bombeiros civis, caminhões pipa. Então os Bombeiros militares estão voltados para educação, instrução... Na região de Tasso Fragoso os Bombeiros atuam mais na parte de regulamentação das normas e não muito na fiscalização pela distância.

9. Você como agrônomo percebe que as fazendas são bem assistidas pelo Corpo de Bombeiros Militar do Maranhão, tanto no que diz respeito a medidas de prevenção quanto diretamente no combate a incêndios?

Na minha atuação como agrônomo para que pudesse tirar o alvará dos Bombeiros só precisa ter a documentação e no caso de fiscalização eu nunca presenciei, mas já ouvi relatos de agricultores que já havia acontecido. Não sei dizer se o Corpo de Bombeiros presta algum tipo de assistência ou assessoria.

APÊNDICE B – TERMO DE ACEITE DO ENGENHEIRO AGRÔNOMO



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS BOMBEIRO MILITAR



TERMO DE ACEITE

O Sr(a) está sendo convidado(a) a participar da pesquisa que contribuirá para o trabalho de conclusão de curso do cadete José Antônio Almeida de **Carvalho** Júnior, que tem como objetivo analisar os incêndios florestais no município de Tasso Fragoso.

A aplicabilidade deste questionário tem por fim contribuir para a atuação do CBMMA na região, oferecendo a cada dia um produto melhor para a população. Portanto, leia atentamente as informações abaixo e não se apresse em decidir. Se você não concordar em participar ou quiser desistir em qualquer momento, isso não causará nenhum prejuízo a você. Se você concordar em participar basta assinar essa declaração concordando com a pesquisa. Se você tiver alguma dúvida pode esclarecê-la com a responsável pela pesquisa. Para participar da pesquisa você responderá a um questionário contendo algumas perguntas acerca da temática abordada. As respostas serão digitadas e analisadas e o pesquisador envolvido no projeto conhecerá esse material para discutir os resultados.

Assinatura concordando em participar da pesquisa:

Documento assinado digitalmente
gov.br MAURICIO HERBET LIMA DOS SANTOS
Data: 16/06/2023 13:31:29-0300
Verifique em <https://validar.itd.gov.br>

Maurício Herbet Lima dos Santos - Engenheiro Agrônomo (CREA:111683871-0)