UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO SUL DO AMAZONAS

NATASHA SOUSA ARAUJO LEMOS

ORIENTADOR PROF. DR. JOSÉ MAURICIO DA CUNHA

Humaitá/AM
Julho de 2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO SUL DO AMAZONAS

NATASHA SOUSA ARAUJO LEMOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos pré-requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

ORIENTADOR PROF. DR. JOSÉ MAURICIO DA CUNHA

Humaitá/AM
Julho de 2021

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lemos, Natasha Sousa Araujo
L557p Padrão de distribuição de incêndios florestais no sul do Amazonas / Natasha Sousa Araujo Lemos . 2021
89 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: José Mauricio da Cunha
Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Bioma Amazônia. 2. Comportamento do fogo. 3. Mudanças climáticas. 4. Risco de incêndio. 5. Sensoriamento remoto. I. Cunha, José Mauricio da. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE EDUCAÇÃO, AGRICULTURA E AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO SUL DO AMAZONAS**
(Linha de pesquisa 1: Componentes e dinâmicas dos ecossistemas com ênfase no Bioma Amazônico)

AUTORA**: NATASHA SOUSA ARAUJO LEMOS**

Dissertação defendida e aprovada em 20 de julho de 2021 pela comissão julgadora:

_____
Orientador:
Prof. Dr. JOSÉ MAURICIO DA CUNHA

_____
Examinador(a) interno:
Prof. Dr. Jorge Almeida de Menezes

_____
Examinador(a) externo:
Prof. Dr. Nilson Clementino Ferreira

DEDICATÓRIA

Aos meus filhos, dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. José Maurício da Cunha pelo conhecimento compartilhado e pela orientação.

Às professoras Dra. Beatriz Furtado Rodrigues dos Santos, Dra. Victoria Judith Isaac Nahum da Universidade Federal do Pará, Dra. Carolina Rodrigues da Costa Doria da Universidade Federal de Rondônia e Dra. Simone Athayde da Universidade da Flórida/EUA pela disposição em ajudar no início desta jornada.

Aos professores Dr. Thiago Vidotto e Dra. Fernanda Bueno Cardoso Scussel pela disseminação do conhecimento de forma acessível.

À minha mãe Antônia por seu apoio.

Aos meus filhos Mateus, Caetano e Ana pela compreensão diante dos momentos de ausência decorrentes da execução deste estudo.

À minha madrinha e professora Maria de Fátima Bezerra de Lima, *in memoriam*.

À CAPES pelo subsídio financeiro durante a realização desta pesquisa.

À UFAM pela oportunidade de aprendizado.

“A Amazônia é, sobretudo, diversidade [...]. Habitar esses espaços é um desafio à inteligência, à convivência com a diversidade. Esse é o patrimônio que as populações originárias e tradicionais da Amazônia oferecem para o diálogo com outras culturas e saberes”. (PORTO-GONÇALVES, 2019, p. 9).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS iii
LISTA DE TABELAS v
LISTA DE ABREVIATURAS vi
RESUMO viii
ABSTRACT ix
1. INTRODUÇÃO 10
2. JUSTIFICATIVA 13
3.1 Objetivo geral 14
3.2 Objetivos específicos 14
4. REVISÃO BIBILIOGRÁFICA 15
4.1 A Ecologia do fogo do século XXI 15
4.2 A Amazônia brasileira e os impactos contemporâneos dos incêndios florestais 16
4.3 Consequências socioambientais da ocupação antrópica no sul do estado do Amazonas 18
4.4 Incêndios florestais e suas consequências à saúde humana 22
5. MATERIAIS E MÉTODO 25
5.1 Área de estudo 26
5.2 Conjunto de dados utilizados 27
5.3 Processamento dos dados 29
5.4 Análise estatística 32
6. RESULTADOS 33
6.1 Análise estatística 33
6.2 Focos de calor identificados 35
6.3 Análise das variáveis ambientais 42
6.4 Análise das variáveis sociais 46
6.5 Espacialização do risco de incêndio 52
7. DISCUSSÃO 56
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS 69
9. REFERÊNCIAS 71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo da espacialização e evolução temporal do fenômeno 'espinha de peixe' ocorrido no município de Apuí (órbita 230 ponto 065) situado ao sul do estado do Amazonas, a partir de cenas Landsat 5 e Landsat 8. 19

Figura 2 – Vias de locomoção rodoviária e fluvial entre os municípios localizados no sul do estado do Amazonas. 20

Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo, que abrange os sete municípios situados ao sul do estado do Amazonas: Apuí, Boca do Acre, Canutama, Humaitá, Lábrea, Manicoré e Novo Aripuanã. 26

Figura 4 – Ilustração da cobertura global dos tiles representativos das imagens MODIS. O retângulo vermelho indica os tiles h11 v9 e h12 v9 correspondentes à área de estudo.....28

Figura 5 – Totalização dos focos de calor ativos apurados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas, individualizados por ano de ocorrência. 36

Figura 6 – Totalização dos focos de calor ativos identificados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas, individualizados por município de ocorrência. 37

Figura 7 – Totalização dos focos de calor ativos identificados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas, individualizados por ano e cidade de ocorrência. 38

Figura 8 – Variação interanual dos registros de focos de calor ativos apurados entre os municípios localizados no Sul do estado do Amazonas durante o período analisado (2009-2019). 41

Figura 9 – Variação espacial dos registros de focos de calor ativos apurados entre os municípios localizados no sul do estado do Amazonas durante o período analisado (2009-2019). 42

Figura 10 – Distribuição da precipitação acumulada anual em relação ao registro de focos de calor ativos contabilizados por ano no período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas. 43

Figura 11 – Comparativo entre os valores médios mensais de precipitação em relação aos focos de calor ativos apurados por mês durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas. 44

Figura 12 – Comparativo entre os valores médios mensais da temperatura de superfície em relação aos registros de focos de calor ativos apurados por mês durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas. 45
Figura 13 – Espacialização dos valores médios de temperatura de superfície apurados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas.....46
Figura 14 – Organização fundiária adotada no estudo e áreas com desmatamento consolidado até 2019 apurado pelo PRODES nos municípios situados no sul do estado do Amazonas.....48
Figura 15 – Distribuição espaço-temporal dos registros de focos de calor ativos identificados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas. 49
Figura 16 – Mapa densidade de Kernel representando o total de focos de calor ativos identificados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas. 50
Figura 17 – Totalização dos focos de calor ativos apurados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas, individualizados por unidade fundiária de ocorrência.....51
Figura 18 – Totalização dos focos de calor ativos apurados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas, individualizados por ano e estrutura fundiária de ocorrência. 52
Figura 19 – Espacialização do risco de incêndio para os municípios localizados ao sul do estado do Amazonas.....53
Figura 20 – Espacialização dos focos de calor ativos identificados pelo sensor MODIS durante o período analisado (2009-2019) sobre as áreas com risco de incêndio apuradas para os municípios localizados no sul do estado do Amazonas para averiguação de ajuste do modelo.....54
Figura 21 – Espacialização do desvio padrão do risco de incêndio identificado para os municípios do sul do estado do Amazonas 55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Discriminação dos pesos e classificações atribuídos às variáveis e suas classes utilizados para cálculo do risco de incêndio 31
Tabela 2 – Resultado do Teste de Correlação de Spearman (intervalo de confiança de 95%) realizado entre as variáveis analisadas 33
Tabela 3 – Resultados do teste de regressão múltipla realizado entre as variáveis com correlação significativa apurada a partir do teste de Correlação de Spearman (intervalo de confiança de 95%).....34
Tabela 4 – Estatística descritiva dos focos de calor apurados por ano de registro contabilizados nos municípios do sul do estado do Amazonas durante o período analisado (2009-2019) 39
Tabela 5 – Estatística descritiva dos focos de calor apurados por mês de registro contabilizados nos municípios do sul do estado do Amazonas durante o período analisado (2009-2019) 39
Tabela 6 – Estatística descritiva dos focos de calor apurados por localidade de registro contabilizados nos municípios do sul do estado do Amazonas no período analisado (2009-2019).....40
Tabela 7 – Quantitativo de imóveis e áreas com sobreposição cadastral segundo dados constantes no SICAR com dados atualizados até 18/02/2020 47

LISTA DE ABREVIATURAS

ºC – Graus Celsius
ASCII – American Standard Code of Information Interchange
EOS – Earth Observing System
CO_2 – Dióxido de carbono
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
ENVI – Environmental for Visualizing Images
GEE – Gases de efeito estufa
ha – Hectare
HAP – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
HDF – Hierarchical Data Format File
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA – Instituto Nacional Colonização e Reforma Agrária
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
K – Temperatura em Kelvin
km – Quilômetros
km^2 – Quilômetros quadrados
m – Metros
MacroZEE – Macrozoneamento Ecológico e Econômico
MDE – Modelo digital de elevação
mm – Milímetros
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA – National Aeronautics and Space Administration
NetCDF – Network Common Data Form
PIN – Programa de Integração Nacional
PIB – Produto Interno Bruto
PPCDAm – Plano de prevenção e controle do desmatamento na Amazônia
SFB – Serviço Florestal Brasileiro
SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente
SICAR – Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural
SIG – Sistemas de informações geográficas

SIGEF – Sistema de gestão fundiária

t – Toneladas

TRMM – Tropical Rainfall Measuring Mission

TST – Temperatura da superfície terrestre

UC – Unidade de Conservação

ZEE – Zoneamento Ecológico e Econômico

RESUMO

LEMOS, N. S. A. **PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO SUL DO AMAZONAS.** Humaitá/AM, 2021. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, 2021.

Os incêndios florestais representam uma grande ameaça para a Amazônia, uma vez que a sua frequência e intensidade têm se acentuado ao longo dos anos. Além de provocar a mortalidade das árvores e animais causando a perda de biodiversidade, os incêndios lançam à atmosfera uma densa nuvem de poluentes, afetando tanto a saúde das pessoas próximas ao local da queima, quanto lugares distantes, devido ao transporte da fumaça pelas correntes de ar. Diante dessa realidade preocupante, empreendeu-se atividade de pesquisa abrangendo a região sul do estado do Amazonas, composta pelas cidades de Apuí, Boca do Acre, Canutama, Humaitá, Lábrea, Manicoré e Novo Aripuanã, com o objetivo de analisar a dinâmica espaço-temporal de ocorrência dos riscos de incêndios florestais no período compreendido entre 2009 e 2019. A área de estudo integra o 'Arco do desmatamento' – região reconhecida como fronteira entre as atividades agropecuárias e a Floresta Amazônica e também, pelo intenso uso do fogo nessas atividades. Em razão da extensão da área de análise, os dados de satélite constituem-se em uma importante ferramenta na identificação e mapeamento das áreas sujeitas a incêndios, permitindo a identificação daquelas que mais queimam e quando eles ocorrem. Da análise espaço-temporal, averiguou-se que entre os municípios analisados, Lábrea lidera os registros de focos de calor, seguida de Apuí, Manicoré, Novo Aripuanã e Boca do Acre. Os municípios de Canutama e Humaitá são os que detêm os menores registros. Os anos de 2013, 2011 e 2009 (em ordem crescente) são os anos com menos registros de focos de calor, enquanto os anos de 2019, 2017, 2015, 2010, 2018 e 2016 (em ordem decrescente) chamam a atenção por seus registros de focos de calor ativos acima de 10.000/ano. Eventos climáticos como El Niño atuam como um potencializador do risco de incêndios, uma vez que causam diminuição da precipitação e aumento de temperatura. Mesmo não havendo registro de fenômeno climático e com volumes de precipitação acumulada acima de 2.300 mm/ano, os últimos quatro anos analisados destacam-se pelo comportamento ascendente nos números de focos de calor. Assim, por meio do emprego das técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e uso de dados de superfície gerou-se o mapa de risco de incêndio para os municípios do sul do estado do Amazonas, indicando que as áreas com maior risco de queima são aquelas ao longo de rodovias, projetos de assentamento e o seu entorno que abrangem terras públicas e/ou privadas.

Palavras-chave: Bioma Amazônia, comportamento do fogo, mudanças climáticas, risco de incêndio, sensoriamento remoto.

ABSTRACT

LEMOS, N. S. A. **FOREST FIRE DISTRIBUTION PATTERN IN SOUTHERN AMAZONAS.** Humaitá/AM, 2021. 88 f. Dissertation (Master's in Environmental Sciences) - Institute of Education, Agriculture and Environment, Federal University of Amazonas, 2021.

Forest fires pose a major threat to the Amazon, as their frequency and intensity have increased over the years. In addition to causing the mortality of trees and animals causing the loss of biodiversity, the fires release into the atmosphere a dense cloud of pollutants, affecting both the health of people near the burning site, as well as distant places, due to the transport of smoke through the air currents. Faced with this worrying reality, research activity was undertaken covering the southern region of the state of Amazonas, composed of the cities of Apuí, Boca do Acre, Canutama, Humaitá, Lábrea, Manicoré and Novo Aripuanã, with the objective of analyzing the space-time dynamics of occurrence of the risks of forest fires, in the period between 2009 and 2019. The study area is part of the 'Arc of deforestation' – a region recognized as a border between agricultural activities and the Amazon Forest and also, due to the intense use of fire in these activities. Due to the extension of the analysis area, satellite data is an important tool in the identification and mapping of areas subject to fires, allowing the identification of those that burn the most and when. From the space-time analysis, it was found that among the analyzed municipalities, Lábrea leads the records of heat foci, followed by Apuí, Manicoré, Novo Aripuanã and Boca do Acre. The municipalities of Canutama and Humaitá are the ones with the lowest records. The years 2013, 2011 and 2009 (in ascending order) are the years with fewer records of heat foci, while the years 2019, 2017, 2015, 2010, 2018 and 2016 (in descending order) draw attention to their records of active heat foci above 10,000/year. Weather events such as El Niño act as a potentiating of the risk of fires, as they cause decreased precipitation and increased temperature. However, even if there is no record of climatic phenomenon and with accumulated precipitation volumes above 2,300 mm/year, the last four years analyzed draw attention to the upward behavior in the numbers of heat foci. Thus, through the use of remote sensing techniques, geoprocessing and use of surface data, the fire risk map was generated for the municipalities of the South of the state of Amazonas, in which it was evidenced that the areas with the highest risk of burning are those along highways, settlement projects and their surroundings, understood by public and/or private lands.

Keywords: Amazon biome, fire behavior, climate change, fire risk, remote sensing.

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios são uma das principais causas da degradação florestal em regiões tropicais (LIZUNDIA-LOIOLA et al., 2020). Embora o fogo não seja um fenômeno natural nessas regiões, devido à intensificação da ocupação antrópica e mudanças no uso e cobertura do solo, ele tornou-se um grave problema ambiental em razão da extensão das áreas afetadas (COCHRANE, 2003; CAMMELLI et al., 2020; LI et al., 2020).

Em ecossistemas sensíveis ao fogo como a Amazônia, incêndios constituem-se em uma ameaça à biodiversidade e causam severos danos ambientais, como a extinção de espécies raras e endêmicas e o aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE) (WHITE, 2018; 2019). A recorrência desses eventos, somado à fragmentação e ao desmatamento, tem alterado a dinâmica florestal amazônica, tornando-a cada vez mais vulnerável a novos incêndios (COCHRANE, 2001; LI et al., 2020; MORELLO et al., 2020; SILVA et al., 2020).

De acordo com Tasker e Arima (2016) e Cardil et al. (2020), há uma forte correlação entre os incêndios e as atividades agrícolas. Além de utilizar o fogo como um mecanismo de limpeza do terreno, essas atividades promovem a abertura de estradas e vias de ligação não oficiais, acumulando material combustível em suas margens, o que favorece a ocorrência de incêndios (RIBEIRO et al., 2012).

O desflorestamento e a utilização do fogo para limpeza do local são práticas comuns na região amazônica e reconhecidas como 'corte e queima' (LI et al., 2020; SILVA et al., 2020). A técnica é empregada na remoção da cobertura vegetal natural para fins de ampliação de áreas destinadas às atividades agropastoris, gerando uma frente de expansão agrícola ou fronteira agrícola contra a floresta (CLAUDINO-SALES, 2019; MOTA et al., 2019).

Essa fronteira compreende uma extensa área, estendendo-se por cerca de 500.000 km^2, onde são apurados os maiores índices de desflorestamento da Amazônia, sendo também o local de residência de aproximadamente 10 milhões de pessoas (ALVES et al., 2015; BIZZO; FARIAS, 2017). Sua extensão abrange terras desde o Sudoeste do estado do Maranhão, perpassando o Norte do Tocantins, o Sul do Pará, o Norte do Mato Grosso, o Norte do estado de Rondônia, Sul do Amazonas até o Sudeste do Acre e comumente é denominada 'Arco do Desmatamento'

(DELAZERI, 2016; ROCHA; NASCIMENTO, 2021). Uma vez que as queimadas acompanham o desmatamento e propiciam o avanço das fronteiras agrícolas, o fogo torna-se instrumento de manejo do solo nas atividades agropastoris (TRANCOSO et al., 2005; ROCHA; NASCIMENTO, 2021).

As consequências do uso indiscriminado do fogo resultam em uma série de problemas, entre os quais destacam-se a perda da qualidade do solo, do ar e da biodiversidade (LI et al., 2020). É importante ressaltar os serviços ambientais prestados pela Floresta Amazônica, que compreendem a regulação do clima regional e global, regulação na disponibilidade e qualidade da água, influência na dinâmica das chuvas, recomposição das águas subterrâneas, proteção de nascentes, entre outros (CELENTANO et al., 2018).

A preservação da Amazônia é essencial por seus serviços ambientais e pelo bem-estar das populações que vivem em seu interior e dela dependem para o seu sustento e sobrevivência (FEARNSIDE, 2009). Considerando que mais de 70% dos incêndios florestais tiveram sua ignição em áreas agrícolas, entende-se que a eliminação do uso do fogo seja algo improvável (CAMMELLI; ANGELSEN, 2019). Por isso, o objetivo deve ater-se a uma gestão dos riscos, mantendo os incêndios em baixa intensidade, com mínimo risco socioeconômico e ecológico (ADAB et al., 2013; XOFIS et al., 2020).

Uma resposta adequada aos incêndios na Amazônia consiste em um conjunto de ações que não vise apenas o combate ao uso do fogo, mas priorize as suas causas: o desmatamento e as atividades agropecuárias (CARDIL et al., 2020). E para isso, é necessário um alto nível de preparação e alerta para detecção inicial alçados apenas com o conhecimento explícito do ambiente (XOFIS et al., 2020).

Nesse sentido, visando contribuir para a construção desses conhecimentos, este estudo teve por objetivo analisar a dinâmica espaço-temporal de distribuição dos incêndios florestais no Sul do Amazonas e categorizar, a partir de um modelo linear de pesos e classificações, os fatores envolvidos na ignição e propagação do fogo. O interstício temporal compreendido na análise foi de 2009 a 2019 e, como resultado da investigação, gerou-se um mapa que apresenta a espacialização do risco de incêndio para os municípios do sul do estado do Amazonas.

A necessidade e importância de estudos como este crescem à medida que os

eventos de incêndios se tornam cada vez mais recorrentes e intensos, afetando um número maior de pessoas e o meio ambiente (GHORBANZADEH et al., 2019). Isso pode ser exemplificado com o ocorrido em 2019, em que volumosas plumas de fumaça atingiram a alta atmosfera e percorreram milhares de quilômetros afetando regiões distantes da Amazônia (BARLOW et al., 2020).

Ainda em referência a 2019, chama a atenção o fato de que não houve registro de evento climático extremo que tenha causado seca severa e contribuído para o agravamento do ocorrido (KELLEY et al., 2020; SILVEIRA et al., 2020). Tais acontecimentos exigem estudo para entendimento dos fatores envolvidos e como eles se relacionam (BARLOW et al., 2020).

Este trabalho considerou variáveis ambientais e antrópicas na análise temporal e espacial dos riscos de incêndios. De acordo com Sodré et al. (2018), estudos que não considerem o fator humano tendem a ser limitados, visto que cerca de 80% dos focos de calor que são registrados em áreas modificadas pela ação humana, resultado também encontrado por Ribeiro et al. (2012), Anderson et al. (2017), White (2018) e Casavecchia et al. (2019).

2. JUSTIFICATIVA

O ano de 2019 foi marcado pelo aumento do desmatamento ilegal e das taxas de incêndio na Amazônia brasileira (CLAUDINO-SALES, 2019; LI et al., 2020). De acordo com Barlow et al. (2020), em 2019, ocorreram três vezes mais incêndios que em 2018, sendo o mais alto registro desde 2010. Apesar de aproximadamente 45% da Amazônia brasileira estar sob proteção legal, o fogo é uma ameaça concreta à floresta em razão da alta frequência de incêndios que vem sendo registradas (CAMMELLI; ANGELSEN, 2019).

Identificou-se que as áreas da Amazônia brasileira que mais queimam são posicionadas a Leste e ao Sul (CAMMELLI; ANGELSEN, 2019). A Sudoeste da Amazônia, especificamente no sul do estado do Amazonas, situa-se a área de análise deste estudo, que abrange os munícipios de Apuí, Boca do Acre, Canutama, Humaitá, Lábrea, Manicoré e Novo Aripuanã. Essa é a região amazonense onde há o maior registro de focos de calor (WHITE, 2018; SEMA 2020).

Concomitantemente, três dos municípios analisados neste estudo, que são Lábrea, Apuí e Novo Aripuanã, integram a lista de municípios prioritários para combate ao desmatamento instituída pelo Decreto 6.321/07 e atualizada pela Portaria nº 428/18, sendo estes Lábrea, Apuí e Novo Aripuanã. Dados do Balanço de Execução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) 2016-2020 mostram que o estado do Amazonas ocupa a terceira posição entre os estados que mais desmatam na Amazônia brasileira, atrás do Pará e do Mato Grosso (BRASIL, 2020).

Segundo Berenguer et al. (2020), há fortes associações espaciais entre incêndios e desmatamento. Com isso, não resta dúvidas sobre a gravidade do problema social e ambiental causados pelos incêndios, evidenciando a importância da análise desse fenômeno (BERENGUER et al., 2020). Sabe-se que, com o advento das mudanças climáticas, há previsão de aumento não somente no número de ocorrências de incêndios, mas também na intensidade da ação do fogo (SZPAKOWSKI; JENSEN, 2019). Nesse sentido, produtos que apresentem a espacialização dos riscos de incêndio tornam-se um elemento base para a construção de estratégias preventivas e de mitigação, bem como, para a orientação mais precisa dos esforços de contenção do fogo (EUGENIO et al., 2016; ANDERSON et al., 2017).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Analisar a dinâmica espaço-temporal de ocorrência dos riscos de incêndios florestais no sul do Amazonas a partir de um modelo linear de pesos e classificações dos fatores envolvidos na ignição e propagação do fogo.

3.2 Objetivos específicos

Avaliar os fatores ambientais e antrópicos que contribuem para a ignição de incêndios florestais no sul do estado do Amazonas;

Classificar os principais fatores envolvidos na ignição e propagação dos incêndios florestais no sul do estado do Amazonas;

Apresentar a distribuição espaço-temporal dos riscos de incêndios florestais no sul do estado do Amazonas.

4. REVISÃO BIBILIOGRÁFICA

4.1 A Ecologia do fogo do século XXI

O fogo possui um papel fundamental no desenvolvimento humano e na ecologia (ANDELA et al., 2017; XOFIS et al., 2020). No ambiente, ele causa uma série de perturbações ecológicas irreversíveis aos ecossistemas, promovendo um novo status ecológico no local de sua ocorrência (LI et al., 2020). Além de produzir cicatrizes na superfície terrestre, fomenta alterações na composição da camada atmosférica inferior devido à emissão de gases (KIRCHHOFF et al., 1992; ANDELA et al., 2017; LI et al., 2020).

Uma grande alteração no comportamento do fogo se deu com a sua ocorrência em regiões úmidas, que não possuem propensão natural para seu registro (PESSÔA et al., 2020). O fator humano propiciou condições para que o fogo se tornasse um evento presente e recorrente nesses ambientes, onde sua ocorrência é rara naturalmente (LIESENFELD et al., 2016). Manipulando de maneira imprópria, o homem fez com que o fogo adquirisse proporções destrutivas, impondo riscos para os biomas pelo mundo, causando prejuízos financeiros e mortes (ADAB et al., 2013; XOFIS et al., 2020; SILVEIRA et al., 2020).

Em florestas tropicais úmidas, suas principais características de dossel sempre verde e a grande umidade dentro da floresta são mantidas pela capacidade de suas árvores firmarem raízes profundas (COCHRANE, 2003; FEARNSIDE, 2009). Essas espécies não possuem características evolutivas ou adaptativas de resposta ao fogo, motivo pelo qual ele representa uma ameaça (KELLEY et al., 2020; XOFIS et al., 2020). Embora alguns exemplares possam sobreviver e rebrotar após a queima, outros, apresentam crescimento atrofiado e alta taxa de mortalidade (FEARNSIDE, 2009; LIESENFELD et al., 2016).

A ocorrência de um incêndio florestal constitui-se em um fenômeno complexo e dependente da interação de diversos fatores, entre os quais podemos citar as condições climáticas, a cobertura vegetal e as atividades humanas (ADAB et al., 2013; CASAVECCHIA et al., 2019). Quando esses fenômenos ocorrem, eles promovem o alargamento das áreas de borda da floresta, onde há o predomínio de vegetação secundária que é naturalmente mais suscetível a incêndios (COCHRANE, 2001;

ARAGÃO e SHIMABUKURO, 2010).

Assim, incêndios em florestas tropicais úmidas representam uma contradição, e a não aceitação do risco que o fogo impõe pode comprometer a sua sobrevivência (LIESENFELD et al., 2016; LIBONATI et al., 2020). A sinergia entre as ações antrópicas e as mudanças climáticas tem contribuído para o surgimento de distúrbios na Amazônia (COCHRANE, 2001; PAGE et al., 2017; MARENGO et al., 2018; CARDIL et al., 2020).

4.2 A Amazônia brasileira e os impactos contemporâneos dos incêndios florestais

A Floresta Amazônica surgiu há cerca de 55 milhões de anos e na atualidade corresponde a 1/3 das florestas tropicais do mundo, ocupando uma área de 4,1 milhões de km^2 do território brasileiro (PAGE et al., 2017; PAIVA et al., 2020; PENHA et al., 2020). Devido à sua vasta extensão, há uma dissonância entre sua área e a capacidade de proteção ofertada pelos órgãos ambientais nas três esferas político-administrativas (MORELLO et al., 2020).

Embora existam políticas a nível estadual que proíbam total ou parcialmente o uso do fogo nos meses mais secos do ano, elas têm se mostrado insuficientes para diminuir os registros de focos de calor (MORELLO et al., 2020). Nesse sentido, Cammelli et al. (2019) orientam que políticas proibitivas são menos eficazes que as educativas e normativas que instrumentalizam para o controle e gerenciamento do fogo.

De acordo com Silveira et al. (2020), o bioma Amazônia tem apresentado média de incêndios duas vezes maior que o bioma Cerrado. O monitoramento via satélite realizado nos últimos 40 anos, evidenciou a ligação dos incêndios com as alterações no uso e cobertura da terra (PAGE et al., 2017). Isso é corroborado pelo diagnóstico realizado por Cammelli et al. (2019), segundo o qual mais de 70% dos incêndios florestais na Amazônia são originados em áreas agrícolas.

Em geral, esses incêndios são resultado de dois processos: conversão da floresta em área agrícola ou manutenção de terras agrícolas já consolidadas (NEVES et al., 2018; NOBRE; NOBRE, 2020; SILVEIRA et al., 2020). A partir disso, depreende-se que os incêndios possuem ignição antrópica e são impulsionados por diversos fatores, entre os quais destacam-se: o clima mais quente e seco na floresta, a

fragmentação florestal e a ocorrência anterior de incêndio no mesmo local (MARENGO et al., 2018; SODRÉ et al., 2018; MORELLO et al., 2020).

A utilização do fogo é uma prática comum de manejo do solo nas atividades agropastoris na Amazônia, na produção em pequena ou em larga escala (PAGE et al., 2017; CAMMELLI et al., 2020; MORELLO et al., 2020; SILVA et al., 2020). Enquanto grandes proprietários intensificam a utilização do fogo após o desmatamento, pequenos agricultores o utilizam para limpeza da terra, fertilização e controle de pragas (CAMMELLI et al., 2019; 2020; MORELLO et al., 2020).

Em ambos os casos, as queimadas são mal administradas, resultando em grandes incêndios florestais, pois a contenção do fogo é deixada a cargo da própria natureza: quando a frente de fogo alcança algum rio ou igarapé ou quando há a ocorrência de chuvas (KIRCHHOFF et al., 1992; BOWMAN et al., 2008; CAMMELLI et al., 2020; LIBONATI et al., 2020; PENHA et a., 2020).

No ritmo atual, Li et al. (2020) estimam que cerca de 16% do remanescente florestal da Amazônia serão perdidos em incêndios até 2050. No estudo conduzido por Cammelli e Angelsen (2019), os autores constataram que mais de 40% dos pequenos agricultores abordados no estudo já haviam vivenciado ao menos um grande incêndio acidental nos últimos cinco anos.

Esses incidentes ocorrem quando o fogo atinge as florestas próximas e se espalha consumindo a serrapilheira e detritos lenhosos existentes no chão da floresta, condição favorecida por períodos secos ou fenômenos climáticos (PAGE et al., 2017; SODRÉ et al., 2018; MARENGO et al., 2018). Em incêndios no sub-bosque há a incineração do material orgânico fundamental para a manutenção de diversos processos ecológicos florestais e essenciais para a regeneração florestal (MATIN et al., 2017; PAGE et al., 2017; SANTANA et al., 2018).

Além disso, a fragmentação florestal promovida pelo corte seletivo de árvores abre clareiras na floresta permitindo maior entrada de luz e vento, o que contribui para a diminuição da umidade no interior da mata (CARVALHO JUNIOR et al., 2020; SILVEIRA et al., 2020). Essa circunstância amplifica os efeitos de borda, resultando em elevação nas taxas de mortalidade das árvores, diminuição da composição e diversidade de espécies arbóreas e aumento na disponibilidade de combustível e do risco de incêndios (MARENGO et al., 2018; SILVA JUNIOR et al., 2020). Nesse

contexto, o advento de incêndios fez com que a mortalidade das árvores na zona de borda saltasse de 10% para 90% em anos de seca mais intensa (LI et al., 2020).

De acordo com Marengo et al. (2018), o grande volume de aerossóis lançados à atmosfera pelas queimadas altera a formação de nuvens e podem atrasar o início da estação chuvosa, estendendo o tempo de duração da estação seca e favorecendo a continuidade dos incêndios (MARENGO et al., 2018; SILVA JUNIOR et al., 2020; SILVEIRA et al., 2020). Assim, as mudanças climáticas tendem a tornar a Amazônia mais seca, provocando aumento de temperatura e diminuição da pluviosidade, o que faz com que a floresta fique mais vulnerável à queima (MARENGO et al., 2018; SILVA JUNIOR et al., 2020; SILVEIRA et al., 2020).

Ante ao exposto, ressalta-se que a Amazônia como um todo necessita de atenção e proteção. Mas a área de transição entre os biomas Amazônia e Cerrado demanda ação imediata, pois sofre forte pressão da expansão desenvolvimentista, sendo o local com maior incidência de incêndios que se alastram e atingem diferentes locais, inclusive áreas de proteção ambiental como parques nacionais (KIRCHHOFF et al., 1992; ROCHA; NASCIMENTO, 2021). Essa área, que abrange os territórios dos estados do Maranhão, Tocantins, Pará, Amazonas, Mato Grosso, Rondônia e Acre é denominada na literatura 'arco do desmatamento' (DELAZERI, 2016; FERREIRA; WATANABE, 2020).

4.3 Consequências socioambientais da ocupação antrópica no sul do estado do Amazonas

Nas décadas de 1960 e 1970 ocorreram diversas transformações socioeconômicas e ambientais no sul do estado do Amazonas. Tais mudanças foram impostas pela construção das rodovias, como a BR 230 – Transamazônica, BR 317 – Estrada do Pacífico e BR 319 – Porto Velho/Manaus, e pela implantação de Projetos de Assentamento cujo objetivo era promover a ocupação populacional local, a produção agrícola e pecuária (BECKER, 2001; KOHLHEPP, 2002; CIDREIRA; CAVALCANTE, 2015; NOBRE; NOBRE, 2020).

A construção dessa malha rodoviária estava inserida no Programa de Integração Nacional (PIN) e foi planejada para fomentar o desenvolvimento de atividades econômicas na região denominada corredores de desenvolvimento

(KOHLHEPP, 2002; BATISTELA; MORAN, 2005). Assim, às margens das rodovias e de ambos os lados, foram estabelecidos os loteamentos destinados aos programas de assentamento e colonização oficiais com propriedades de 100 hectares cada (KOHLHEPP, 2002; LOUREIRO; PINTO, 2005; MELLO-THÉRY et al., 2020).

Entretanto, a propaganda governamental atraiu milhares de migrantes que se estabeleceram em diversos lugares pela Amazônia e não apenas nos assentamentos coordenados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) (ACKER; OLIVEIRA, 2017; MELLO-THÉRY et al., 2020). Isso contribuiu para a existência de diversos assentamentos de colonização espontânea e desordenada, surgidos a partir das rodovias oficiais que, por sua vez, promoveram a abertura de vias secundárias não oficiais, caracterizando o formato de ocupação denominado 'espinha de peixe' (BATISTELA; MORAN, 2005; RIBEIRO et al., 2012), fenômeno demonstrado na Figura 1.

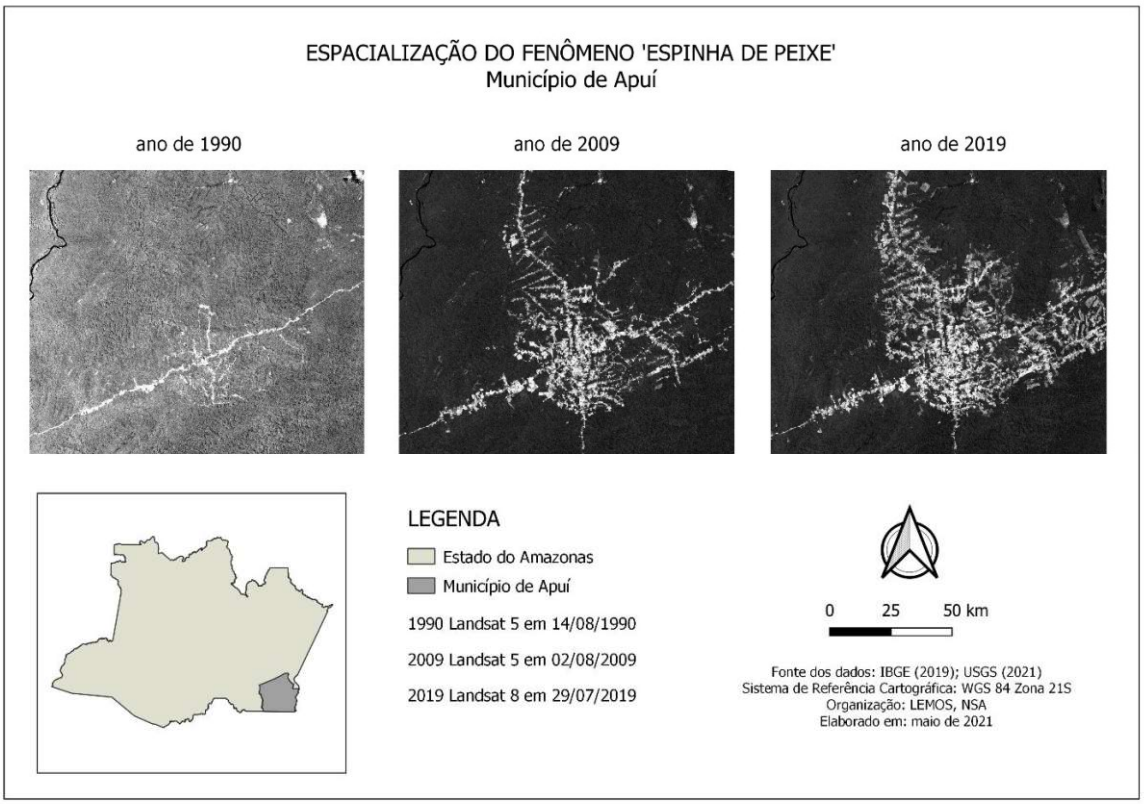


Figura 1 – Exemplo da espacialização e evolução temporal do fenômeno 'espinha de peixe' ocorrido no município de Apuí (órbita 230 ponto 065) situado ao sul do estado do Amazonas, a partir de cenas Landsat 5 e Landsat 8.
FONTE: a autora (2021)

No recorte referente ao ano de 1990, em sentido oeste-leste tem-se a rodovia

BR-230 e posteriormente, houve a construção da rodovia AM-174 em sentido norte-sul contribuindo para a intensificação da abertura de novas vias de circulação, conforme pode ser observado nos recortes referentes aos anos de 2009 e 2019). Tendo em vista o que foi discutido e que pode ser observado na Figura 1, depreende-se da realidade amazônica que a construção de estradas inevitavelmente conduz ao desmatamento (FEARNSIDE; GRAÇA, 2009; NOBRE; NOBRE, 2020).

No município de Humaitá, há a confluência de duas rodovias: BR 230 e BR 319. A BR 230, com seu traçado transversal, perpassa os municípios de Lábrea, Canutama, Humaitá, Manicoré, Novo Aripuanã e Apuí. Já a cidade de Boca do Acre é ligada por via rodoviária a Rio Branco, capital do estado do Acre, pela BR 317. Becker (2001) destaca que essas intervenções pontuais e estratégicas realizadas pelo governo federal objetivavam efetivar o controle territorial, pois, até então, a Amazônia era considerada um espaço inabitado (Figura 2).

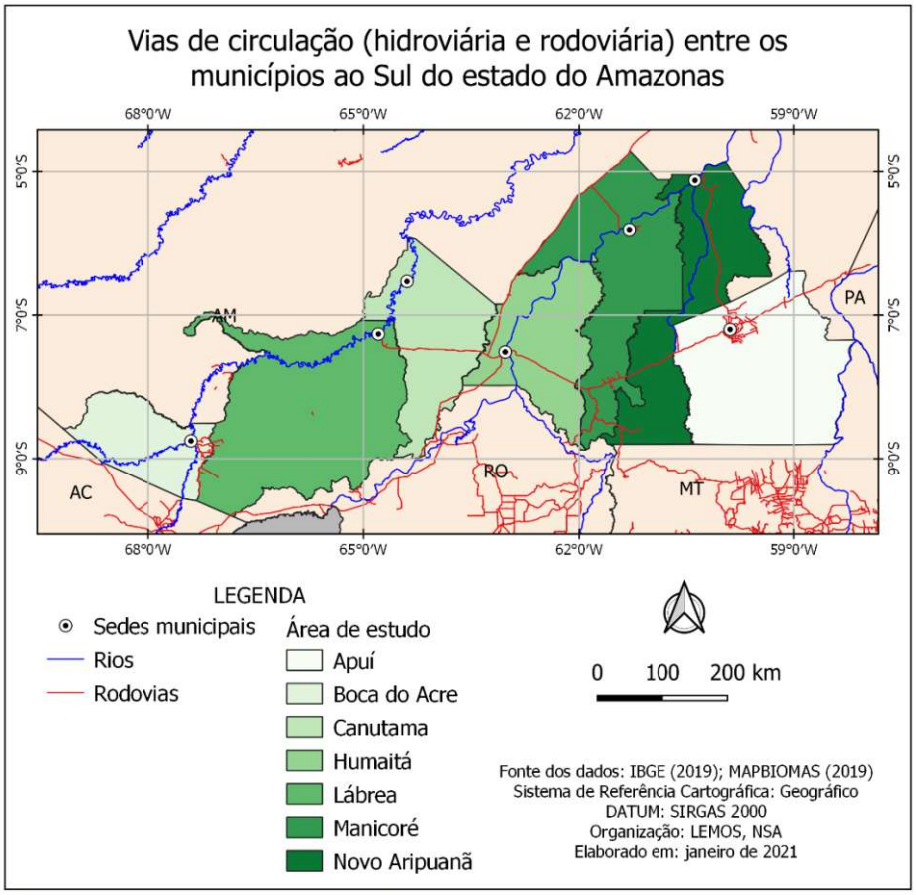


Figura 2 – Vias de locomoção rodoviária e fluvial entre os municípios localizados no sul do estado do Amazonas.
FONTE: a autora (2021)

A rodovia BR-230 cruza os municípios de Lábrea, Canutama, Humaitá, Manicoré, Novo Aripuanã e Apuí. A rodovia BR-319 tem sua confluência com a BR-230 no município de Humaitá/AM e a rodovia AM-174 tem sua confluência com a BR-230 no município de Apuí. A cidade de Boca do Acre/AM é ligada a Rio Branco/AC pela rodovia BR-317.

Esse modelo de ocupação implantado na Amazônia, com a abertura de rodovias e projetos de assentamento, resultou em desmatamento, exploração ilegal de madeira, expansão agropecuária sobre a floresta e concentração de terras, gerando conflitos socioambientais desde sua implantação até o presente (BECKER, 2001; LOUREIRO; PINTO, 2005). Nesse sentindo, Becker (2001), Gutberlet (2002) e Nobre e Nobre (2020) denominam economia de fronteira a política econômica que se desenvolveu na região, caracterizada pela exploração exaustiva dos recursos naturais e voltada para atender a interesses externos à região.

Não por coincidência, a região sul do estado do Amazonas composta pelos municípios de Apuí, Boca do Acre, Lábrea, Canutama, Humaitá, Manicoré e Novo Aripuanã apresenta-se com uma dinâmica de desmatamento promovida pela extração de madeira e remoção da floresta para formação de pastos e áreas de cultivo com intensa utilização da técnica de corte e queima para manejo do solo (SEMA, 2020).

Com exceção dos municípios de Canutama e Humaitá, todos os demais constam da lista de municípios prioritários da Amazônia no combate ao desmatamento do MMA (SEMA, 2020). Lábrea integrou a lista por meio da Portaria nº 28/2008, Boca do Acre a partir da Portaria nº 175/2011 e Apuí, Manicoré e Novo Aripuanã com a Portaria nº 361/2017, conforme as diretrizes do PPCDAm (BRASIL, 2018).

De acordo com o Macrozoneamento Ecológico e Econômico (MacroZEE) da Amazônia Legal, os municípios situados no sul no estado do Amazonas integram a "unidade territorial de contenção das frentes de expansão com áreas protegidas e usos alternativos", região que representa o papel de escudo de proteção à Floresta Amazônica (BRASIL, 2010; BRASIL, 2020). Essa unidade territorial é caracterizada por altas taxas de desmatamento, avanço do monocultivo de grãos e intensa atividade pecuária, especialmente o sul do Amazonas (ARANA; VAGULA, 2016).

Assim, a unidade territorial tem como proposta a elaboração de um zoneamento agrícola para regrar o cultivo de grãos, a implantação de sistemas agroflorestais para

recuperação de áreas degradadas e a implementação de pequenas e médias unidades agroindustriais (BRASIL, 2010; ARANA; VAGULA, 2016; BRASIL, 2020). Apesar da afirmação constante no ZEE, a Amazônia ainda é tratada como uma reserva fundiária pelas políticas governamentais, visto que cerca de 55% dos lotes distribuídos no país pelo INCRA se concentraram na região (TOURNEAU; BURSZTYN, 2010).

A compreensão dessa dinâmica é importante, uma vez que os projetos de assentamento figuram entre os tipos de uso de solo que mais desmatam na Amazônia (TOURNEAU; BURSZTYN, 2010). Diante desse contexto, Batistella e Moran (2005) ressaltam que, apesar da relevância do tema, são raros os casos de planejamento e acompanhamento técnico-científico que oferecem suporte ao uso sustentável do solo nos assentamentos na Amazônia.

Portanto, denota-se que os fatores indutores do desmatamento na região estão historicamente enraizados no modelo de ocupação implantado, baseado na migração e incentivo ao agronegócio, na falta de regularização fundiária e no investimento em abertura de estradas (BIZZO; FARIAS, 2017). E ainda que o MacroZEE traga em seu escopo a ideia de erradicação do desmatamento, este é veemente na implantação de novas infraestruturas, especialmente hidrelétricas, condição que claramente reforça a continuidade da exploração dos recursos naturais e impõe demasiada pressão sobre a floresta (ARANA; VAGULA, 2016).

Por fim, enfatiza-se que a apresentação do contexto regional faz-se importante, pois é uma região historicamente reconhecida como uma fronteira de avanço sobre a Floresta Amazônica com o desflorestamento motivado para fins agropastoris (FEARNSIDE; GRAÇA, 2009). Aliado ao desmatamento, há o uso do fogo para a queima de biomassa e para o manejo do solo destinado à pecuária e à agricultura (PIROMAL et al., 2008; MARENGO et al., 2018).

Convém reafirmar que o uso do fogo causa uma série de danos ambientais e sanitários, como a diminuição da precipitação ao longo do tempo, prolongamento da estação seca, além do aumento de problemas respiratórios na população onde ocorrem as queimas (SILVA et al., 2016; MARENGO et al., 2018).

4.4 Incêndios florestais e suas consequências à saúde humana

Um aspecto importante no gerenciamento e controle do fogo diz respeito às questões de saúde. Incêndios florestais emitem CO_2 (dióxido de carbono), fuligem e aerossóis durante a combustão (SZPAKOWSKI; JENSEN, 2019). Segundo Oliveira et al. (2020), os incêndios ocorridos na Amazônia são responsáveis por cerca de 80% da poluição do ar por partículas finas na região.

Tais substâncias, além de impulsionar alterações climáticas, causam problemas cardiorrespiratórios, principalmente durante a estação seca, quando o volume de incêndios se intensifica (ALVES et al., 2015; GONÇALVES et al., 2018, OLIVEIRA et al., 2020). Cardil et al. (2020) e Kelley et al. (2020) destacam que apenas no ano de 2019 cerca de 906.000 hectares foram queimados na Amazônia, produzindo uma densa nuvem de fumaça que percorreu mais de 2.700 km de distância.

Um dos produtos que se origina da queima de biomassa refere-se aos Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs) cuja presença em grande quantidade no ar causa preocupação, pois os HAPs estão associados a mutações cancerígenas (ALVES et al., 2015). Diante dessa gravidade, o Serviço Florestal dos Estados Unidos reconheceu a fumaça de incêndios florestais como problema de saúde pública em razão da quantidade de substâncias particuladas que são transportadas pelo ar (LIU et al., 2015).

A exemplo dos HAPs, muito dos materiais particulados oriundos dos incêndios podem percorrer longas distâncias e afetar locais bem diversos daquele onde foi gerado (ALVES et al., 2015). A Amazônia, devido às suas particularidades ambientais e geográficas, requer atenção em razão do aumento progressivo dos incêndios, cujos impactos à saúde humana reverberam a nível local, regional e global (GONÇALVES et al., 2018).

Entre os principais problemas de saúde causados pela inalação de material particulado oriundo de incêndios, Liu et al. (2015), Silva et al. (2016) e Machado-Silva et al. (2020) destacam o agravamento das crises de asma e bronquite, aumento na internação hospitalar associada a problemas cardiovasculares e morte decorrente de agravamento de doenças respiratórias.

Em alguns municípios afetados por incêndios, o número de hospitalizações por problemas respiratórios pode aumentar cerca 180% no período de seca, em que há

intensificação da ocorrência de incêndios (MACHADO-SILVA et al., 2020; SILVEIRA et al., 2020). Kirchhoff et al. (1992) identificaram padrões sazonais de concentração de ozônio e monóxido de carbono na Amazônia, apresentando altas concentrações na estação seca e o inverso na estação chuvosa nas áreas propensas à queima de biomassa. Campanharo et al. (2019) estimaram que os impactos indiretos de incêndios – dentre os quais o atendimento hospitalar faz parte – equivalem a aproximadamente 2,45% do PIB em um município na Amazônia.

Embora haja crescimento no número de focos de calor registrados na Amazônia e, consequentemente, aumento da poluição atmosférica, uma rede de monitoramento da qualidade do ar ainda é inexistente (SILVA et al., 2016; GONÇALVES et al., 2018). Outro problema apontado por Silva et al. (2016) diz respeito aos parâmetros de qualidade do ar estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) datados de 1990 e considerados desatualizados para os riscos toxicológicos atuais.

5. MATERIAIS E MÉTODO

Como descrito na literatura, os incêndios florestais na Amazônia brasileira têm sua ignição provocada pela atividade antrópica. Nesse sentido, avaliações de risco de incêndio considerando apenas fatores climáticos tendem a não ser apropriados para a região amazônica (SODRÉ et al., 2018; SILVA et al., 2020).

Tendo isso em vista, este estudo ponderou tanto o aspecto ambiental quanto o humano na escolha das variáveis relacionadas à ignição dos incêndios. A seleção das variáveis deu-se com base na literatura, sendo que sob o aspecto ambiental foram analisadas a pluviosidade e a temperatura de superfície, enquanto sob o aspecto antrópico foram analisados o desmatamento, proximidade com rodovias e estruturas fundiárias (que organizam o território e contribuem para identificação dos assentamentos humanos).

As estruturas fundiárias adotadas neste estudo organizam-se em Unidades de Conservação Federal, Unidades de Conservação Estadual, Terras Indígenas, Projetos de Assentamento e Áreas de Uso não Discriminado. Esta última unidade de classificação refere-se àquelas áreas cuja situação fundiária não foi determinada, podendo abranger terras públicas ou privadas.

O período analisado compreendeu o interstício temporal entre 2009 e 2019. O modelo aqui proposto baseou-se na construção de mapas a partir da combinação das diferentes variáveis em software de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) com a utilização de imagens captadas via sensoriamento remoto, dados georreferenciados e dados obtidos em superfície. O produto final constitui-se em um mapa especializando o risco de incêndio para os municípios do sul do estado do Amazonas, a saber: Apuí, Boca do Acre, Canutama, Humaitá, Lábrea, Manicoré e Novo Aripuanã.

A metodologia aqui adotada foi adaptada a partir de Matin et al. (2017) que a aplicaram no Nepal. Ela foi inicialmente empregada por Roy (2003) na Índia e Adab et al. (2013) no Irã. A priori, as variáveis que influenciam na ignição do fogo são classificadas e pesos a elas são atribuídos. Por conseguinte, as variáveis são divididas em classes e hierarquizadas conforme a intensidade e recorrência dentro da variável. Os pesos e a hierarquização em classes dentro das variáveis são atribuídos conforme a análise histórica do registro de focos de calor ativos.

5.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde à parte sul do estado do Amazonas composta pelos munícipios de Apuí, Boca do Acre, Canutama, Humaitá, Lábrea, Manicoré e Novo Aripuanã (Figura 3). Compreende uma área de 300.690,37 km^2, representando cerca 19,29% do território do estado do Amazonas. Essas cidades juntas possuem população estimada para o ano de 2020 em 258.456 habitantes (IBGE, 2020).

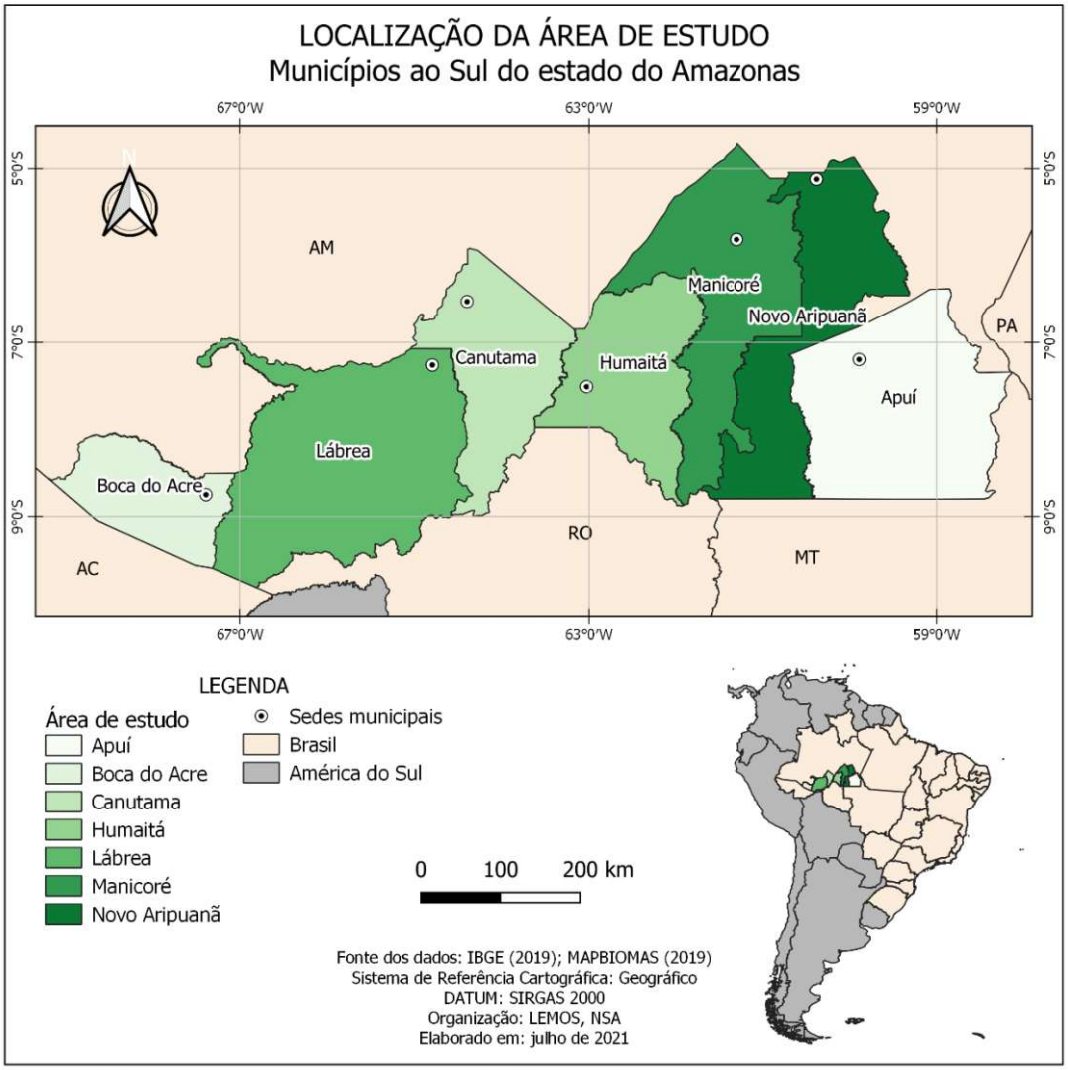


Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo, que abrange os sete municípios situados ao sul do estado do Amazonas: Apuí, Boca do Acre, Canutama, Humaitá, Lábrea, Manicoré e Novo Aripuanã.
FONTE: a autora (2021)

Do ponto de vista climático, o clima na área de estudo é do tipo Am – tropical de monção, de acordo com a classificação de Köppen e apresenta temperaturas

médias variando entre 25 ºC e 27 ºC (ALVARES et al., 2013). Em relação à precipitação, Boca do Acre, Lábrea, Canutama e Humaitá apresentam médias pluviométricas na ordem de 2.401 a 2.800 mm, enquanto Manicoré, Novo Aripuanã e Apuí apresentam médias na ordem de 2.801 a 3.200 mm (ALVARES et al., 2013; ALVES et al., 2019).

No que se refere à topografia da paisagem, as altitudes médias variam de 51 a 100 metros em Canutama, Humaitá, Manicoré e Novo Aripuanã; em Lábrea, em torno de 101 a 150 metros e, por fim, Boca do Acre e Apuí apresentam médias altimétricas entre 151 e 200 metros acima do nível do mar (ALVES et al., 2019).

Quanto à cobertura vegetal, há manifestações de Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta e enclaves de Savana (ALVES et al., 2019). Nos locais de ocorrência de enclaves de Savana, segundo Campos et al. (2012), a paisagem contempla várias formações que se alternam formando um mosaico, onde, em alguns lugares, há formações vegetais de transição floresta/campo e, em outros, a transição ocorre de forma abrupta.

De acordo com o Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2021), dos sete municípios analisados neste estudo cinco integram o ranking dos dez maiores rebanhos de bovinos no estado do Amazonas, sendo eles: Lábrea em primeiro lugar, Boca do Acre em segundo, Apuí em terceiro, Manicoré em quarto e Canutama em nono. Ao total, a área de estudo possui um rebanho bovino de 755.941 cabeças (IBGE, 2021).

Os municípios analisados também constam dentre os dez maiores produtores de grãos (café, feijão, milho e arroz) do estado do Amazonas, sendo produzidas 137 toneladas (t) de café, 91 t de feijão, 4.972 t de milho e 343 t de arroz, totalizando 5.611 t desses produtos, segundo dados do Censo Agropecuário de 2017 (IBGE, 2021). Ainda de acordo com o censo de 2017, a produção na área de estudo de cana-de-açúcar foi de 806 t, mandioca 54.010 t, banana 18.271 t, açaí 2.133 t e melancia 5.081 t (IBGE, 2021).

5.2 Conjunto de dados utilizados

Para obtenção das informações de Temperatura de Superfície Terrestre (TST) foi utilizado o produto MOD11A2 v006 – Land Surface Temperature (WAN, 2013; WAN et al., 2015) e para aquisição dos registros de focos de calor foram empregados os

produtos MOD14A2 v006 e MYD14A2 v006 – Thermal Anomalies and Fire (GIGLIO et al., 2003; GIGLIO; JUSTICE, 2015; GIGLIO et al., 2020). Esses produtos são gerados pelo sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) a bordo dos satélites Terra e Aqua, integrantes do Earth Observing System (EOS) da National Aeronautics and Space Administration (NASA).

Os produtos MODIS utilizados neste estudo são fornecidos na projeção sinusoidal em formato Hierarchical Data Format (HDF) e correspondem aos tiles h11/v9 e h12/v9, conforme o MODIS Grids de projeção Sinusoidal da superfície terrestre (Figura 4), sendo disponibilizados gratuitamente pela NASA por meio do endereço eletrônico https://lpdaac.usgs.gov/.

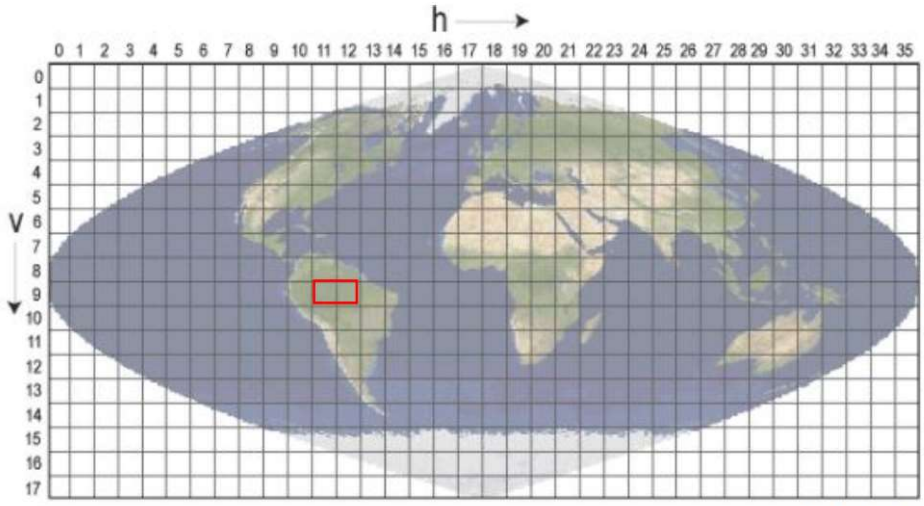


Figura 4 – Ilustração da cobertura global dos tiles representativos das imagens MODIS. O retângulo vermelho indica os tiles h11 v9 e h12 v9 correspondentes à área de estudo.
FONTE: Adaptada de MODIS Land (NASA, 2020)

Os dados meteorológicos das estações automáticas são disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no endereço eletrônico https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos. Foram utilizados os dados de precipitação registrados para os municípios do sul do estado do Amazonas no período compreendido entre 2009 e 2019.

Os dados de precipitação ausentes, seja por falha tecnológica ou por inexistência de estação, foram supridos com a utilização do produto 3B43 v7 (HUFFMAN et al., 2010) coletados pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) e cedidos pela NASA no sítio https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/.

Os dados sobre a estrutura fundiária referentes às terras indígenas, unidades

de conservação federais e desflorestamento foram coletados via plataforma TerraBrasilis (ASSIS et al., 2019) mantida pelo INPE e acessível pelo endereço eletrônico http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/. As unidades de conservação estaduais foram obtidas junto à Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amazonas (SEMA) no endereço eletrônico http://meioambiente.am.gov.br/shapesfile-uc/.

5.3 Processamento dos dados

O processamento das imagens MOD14 e MYD14 para estimativa dos focos de calor consistiu na conversão das imagens em formato HDF para American Standard Code of Information Interchange (ASCII) mantendo-se os dados do arquivo original. Realizou-se a reprojeção do sistema Sinusoidal para o sistema de coordenadas Lat/Long e Datum WGS-84. Então, os tiles h11/v9 e h12/v9 foram unidos em mosaico e recortados para a área de estudo. Em seguida, pixels com indicativo de fogo ativo com nível de confiança menor que 30% foram descartados. Por fim, os focos de calor foram contabilizados por mês e por ano e analisados em sua espacialização na área estudada. Esses processos foram realizados no software Environmental for Visualizing Images (ENVI) versão 5.3.

Já o processamento das imagens MOD11 consistiu na conversão das imagens em formato HDF para GeoTiFF e reprojeção do sistema Sinusoidal para o sistema de coordenadas Lat/Long e Datum WGS-84. Na sequência, foi realizada a criação de mosaico dos tiles h11/v9 e h12/v9 e posterior recorte da imagem para a área de estudo. Esses procedimentos foram realizados no software SIG QGis versão 3.10.11 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2020). A TST foi calculada por meio da Equação 1:

$$TST = (i * 0{,}02) - k \qquad 1$$

Onde:

i = produto MOD11

0,02 = fator de escala (WAN, 2013)

K = temperatura em Kelvin

O processamento dos dados de precipitação oriundos do TRMM fornecidos no formato Network Common Data Form (NetCDF) em mm mês^{-1} consistiu na conversão

das imagens para o formato Geotiff. Posteriormente, as imagens foram recortadas para a área de estudo e extraídas as estimativas de precipitação média mensal.

As distâncias de rodovias e assentamento humanos em relação aos focos de calor registrados foram computadas por meio do complemento Análise Raster do Terreno (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2020).

Para calcular o risco de incêndio, foi utilizada a equação geral para cálculo do índice de risco de incêndio (fire risk index – FRI), dado na Equação 2 (MATIN et al., 2017):

$$FRI = \sum P_i * C_i \qquad 2$$

Onde:

i = variável

P_i = peso atribuído a variável

C_i = classificação dentro de cada variável

A equação geral para classificação do risco de incêndio é apresentada na Equação 3 (MATIN et al., 2017):

$$FRI = 10 * EF + 8 * DES + 6 * DRO + 4 * TST + 2 * PREC \qquad 3$$

Onde:

Valores dos pesos constantes na Tabela 1 para:

EF = Estrutura Fundiária

DES = Desmatamento

DRO = Distância de Rodovias

TST = Temperatura da Superfície Terrestre

PREC = Precipitação

Os pesos relativos às variáveis e os níveis de classificação dentro de cada variável foram atribuídos com base na análise dos dados históricos (Tabela 1). Avaliações mais altas foram delegadas às classes com alta incidência de incêndio

dentro da mesma variável quando comparadas às demais classes na análise espaço-temporal dos dados (MATIN et al., 2017).

Tabela 1 – Discriminação dos pesos e classificações atribuídos às variáveis e suas classes utilizados para cálculo do risco de incêndio

Variável	Classe	Classificação	Risco de fogo
Estrutura fundiária (peso 10)	Uso não discriminado	10	Muito alto
	Projeto de Assentamento	6	Alto
	Unidade de Conservação Federal	4	Moderado
	Terra Indígena	2	Baixo
	Unidade de Conservação Estadual	2	Baixo
Desmatamento (peso 8)	<1000 m	6	Muito alto
	1000-2000 m	4	Alto
	2000-3000 m	3	Moderado
	>3000 m	1	Baixo
Distância de estradas/rodovias (peso 6)	<1000 m	6	Muito alto
	1000-2000 m	4	Alto
	2000-3000 m	3	Moderado
	>3000 m	1	Baixo
Temperatura de Superfície Terrestre (peso 4)	>30ºC	6	Muito alto
	25-30ºC	4	Alto
	20-25ºC	3	Moderado
	<20ºC	1	Baixo
Precipitação (peso 2)	<100 mm	6	Alto
	100-150 mm	4	Moderado
	>150 mm	3	Baixo

FONTE: Adaptada de Matin et al. (2017)

O mapa apresentando a espacialização dos riscos de incêndios florestais nos municípios do sul do estado do Amazonas foi gerado utilizando-se o Sistema de Referência Geográfico e o DATUM SIRGAS-2000, a partir dos resultados apurados nas análises por meio do software SIG QGIS versão 3.10.10 (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2020).

5.4 Análise estatística

Foi empregado o Coeficiente de Correlação de Spearman para detectar a relação existente entre as covariáveis analisadas e a variável resposta. As covariáveis analisadas para o fator ambiental foram: pluviosidade, altimetria e temperatura de superfície; e para o fator antrópico: desmatamento, estrutura fundiária, distância de rodovias.

Em seguida, foi aplicado o teste de Análise de Variância (ANOVA) para identificar se o grupo de variáveis preditoras é significativo para explicar a variável resposta. Por fim, foi utilizada a técnica de Regressão Linear Múltipla para identificação do modelo regressor. Todos esses testes estatísticos foram realizados por meio do software R versão 4.0.0 (R CORE TEAM, 2020).

6. RESULTADOS

6.1 Análise estatística

A análise da correlação entre as variáveis retornou correlação existente em diferentes intensidades para as variáveis analisadas (pluviosidade, temperatura de superfície, desmatamento, estrutura fundiária e distância de rodovias) em relação a focos de calor. Na Tabela 2, são apresentados os valores apurados no teste de Correlação de Spearman com intervalo de confiança de 95%.

Tabela 2 – Resultado do Teste de Correlação de Spearman (intervalo de confiança de 95%) realizado entre as variáveis analisadas

	FC	UND	PAS	UCF	UCE	TI	PRE	TST	DES	DRO
FC	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UND	0,918	1	-	-	-	-	-	-	-	-
PAS	0,900	0,836	1	-	-	-	-	-	-	-
UCF	0,259	0,045	0,177	1	-	-	-	-	-	-
UCE	0,309	0,100	0,281	0,865	1	-	-	-	-	-
TI	0,145	-0,054	0,018	0,537	0,227	1	-	-	-	-
PRE	-0,327	-0,145	-0,354	-0,323	-0,390	-0,145	1	-	-	-
TST	0,653	0,447	0,567	0,428	0,386	0,381	-0,814	1	-	-
DES	-0,636	-0,818	-0,600	0,123	0,063	0,109	-0,163	-0,150	1	-
DRO	-0,602	-0,781	-0,536	0,232	0,154	0,136	-0,118	-0,150	0,060	1

FC = focos de calor; UND = estrutura fundiária uso não discriminado; PAS = estrutura fundiária projeto de assentamento; UCF = unidade de conservação federal; UCE = unidade de conservação estadual; TI = terra indígena; PRE = precipitação; TST = temperatura da superfície terrestre; ALT = altimetria; DES = desmatamento; DRO = distância de rodovias.

FONTE: a autora (2021)

As variáveis relacionadas ao uso da terra (áreas de uso não discriminado, projetos de assentamento, unidades de conservação federal, unidades de conservação estadual, terra indígena) e a temperatura de superfície apresentaram correlação positiva (diretamente proporcional), enquanto precipitação, desmatamento e distância de rodovias apresentaram correlação negativa (inversamente proporcional).

As áreas de uso não discriminado e projetos de assentamento possuem uma correlação forte em relação aos focos de calor de 0,918 e 0,900. As variáveis distância de rodovias, temperatura de superfície e desmatamento possuem correlação moderada de -0,602, 0,653 e -0,636 respectivamente. Já as variáveis precipitação,

unidade de conservação estadual, unidade de conservação federal e terras indígenas possuem correlação fraca de -0,327, 0,309, 0,259 e 0,145 nessa ordem.

Na análise das correlações, identificou-se com 95% de confiança que as variáveis estruturas fundiárias uso não discriminado e projeto de assentamento, temperatura da superfície terrestre, desmatamento e distância de rodovias são significativas quando relacionadas com focos de calor. Foi aplicado o teste ANOVA para identificar se esse conjunto de variáveis preditoras é significativo para explicar a variável focos de calor (p-valor < 0,05), cujos resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do teste de regressão múltipla realizado entre as variáveis com correlação significativa apurada a partir do teste de Correlação de Spearman (intervalo de confiança de 95%)

$$y = \beta_0 + \beta_1 UND + \beta_2 PAS + \beta_3 TST + \beta_4 DES + \beta_5 DRO$$

Variável	**P-valor**	**Coeficiente**
Intercept	0.694477	2446.42929
UND	0.000216	1.28298
PAS	0.005321	0.87121
TST	0.606876	-131.22217
DES	0.064992	-0.22800
DRO	0.036436	39.07226
	R^2	0.9952

$$y = \beta_0 + \beta_1 UND + \beta_2 PAS + \beta_3 DES + \beta_4 DRO$$

Variável	**P-valor**	**Coeficiente**
Intercept	0.13319	-767.36747
UND	0.00128	1.23405
PAS	0.00214	0.88558
DES	0.04148	-0.20019
DRO	0.01225	34.00475
	R^2	0.9958

UND = estrutura fundiária uso não discriminado; PAS = estrutura fundiária projeto de assentamento; TST = temperatura da superfície terrestre; DES = desmatamento; DRO = distância de rodovias

FONTE: a autora (2021)

Com a aplicação da técnica de Regressão Linear Múltipla, o modelo matemático encontrado que melhor se ajusta à variável dependente focos de calor é composto apenas pelas variáveis independentes estrutura fundiária uso não

discriminado, estrutura fundiária projeto de assentamento, desmatamento e distância de rodovias (Equação 4), onde o resultado do R^2 foi igual a 0,9958 e o resultado do Teste F foi significativo (p-valor < 0,05).

$$FOCOS = 1.23405UND + 0.88558PAS + (-0.20019)DES + 34.00475DRO \quad (4)$$

Analisando-se o grau de influência individual de cada variável independente sobre a variável resposta por meio do Beta Padronizado, foram encontrados os coeficientes de 0.8129065 para áreas de uso não discriminado, 0.2900928 para projetos de assentamentos, -0.1655447 para desmatamento e 0.2647192 para distâncias de rodovias. Isso nos permite inferir que as áreas de uso não discriminado são mais propensas ao registro de focos de calor e influem com maior intensidade em sua incidência que as áreas de projetos de assentamento, assim como a proximidade de rodovias exerce uma influência maior que o desmatamento.

Embora algumas variáveis tenham se mostrado estatisticamente não significativas, depreende-se do contexto de incidência dos focos de calor apurado a partir da literatura que essas variáveis exercem alguma influência para a ignição do fogo não podendo, portanto, ser desconsideradas em sua análise, a exemplo da precipitação. Assim, em relação às variáveis estatisticamente não significativas, a partir dos resultados dos testes estatísticos ora utilizados, compreende-se que elas não possuem relacionamento linear com a variável resposta, devendo ser investigadas por outro método estatístico.

Desse modo, a realização dos testes estatísticos atuou no sentido de evidenciar as estruturas fundiárias mais suscetíveis à queima (áreas de uso não discriminado e projetos de assentamento) e quais variáveis mais influenciam a incidência dos focos de calor (como o desmatamento e proximidade com rodovias).

6.2 Focos de calor identificados

No período compreendido entre 2009 e 2019, o sensor MODIS identificou 101.130 focos de calor ativos na área de abrangência deste estudo com nível de confiança entre 1 e 100%. Desse conjunto, foram desconsiderados os registros com nível de confiança menor que 30%, restando um total de 95.735 registros.

A média anual de focos de calor ativos apurada é de 8.703. Os anos de 2012,

2014, 2009, 2011 e 2013, em ordem decrescente, apresentaram ocorrências abaixo da média. Os demais anos (2019, 2017, 2015, 2010, 2018, 2016, em ordem decrescente) apresentaram registros acima de 10.000/ano, sendo que 2019 apresentou número de focos 1,8 vez (15.369 focos) maior que a média. No interstício estudado (2009-2019), destacam-se os anos de 2010, 2015, 2016, 2017 2018 e 2019 por seus registros superiores a 10.000 focos/ano cada (Figura 5).



Figura 5 – Totalização dos focos de calor ativos apurados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas, individualizados por ano de ocorrência.
FONTE: a autora (2021)

É possível visualizar um aumento considerável nos últimos anos, especialmente no ano de 2019 com 15.369 focos de calor identificados, cerca de 44% a mais que o ano anterior (2018) e 28% a mais que o ano de 2017, segundo ano com maior registro de focos de calor ativos com 11.977 ocorrências. A partir de 2015, evidencia-se o aumento no registro de focos de calor ativos pelo sensor MODIS na área de estudo.

Na Figura 6, apresenta-se o quantitativo de focos de calor apurados conforme município de incidência.

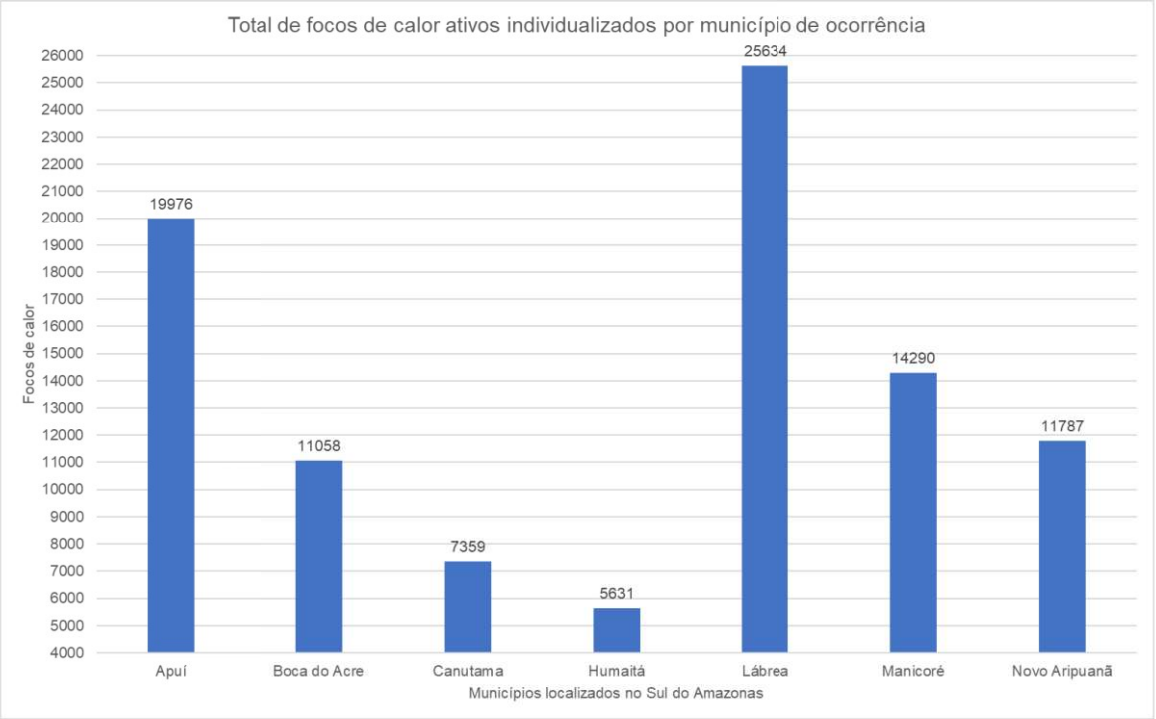
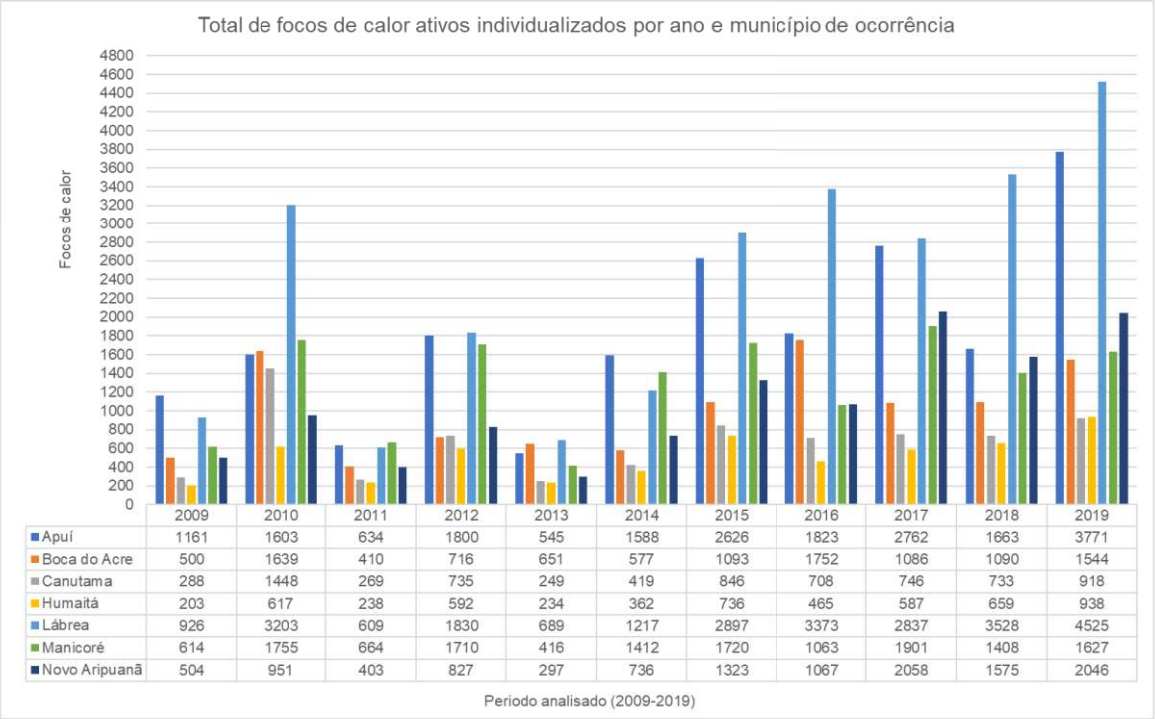


Figura 6 – Totalização dos focos de calor ativos identificados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas, individualizados por município de ocorrência.
FONTE: a autora (2021)

No período analisado (2009-2019), o município de Lábrea liderou em registros de focos de calor com 25.634 ocorrências, seguido de Apuí com 19.976, Manicoré com 14.290, Novo Aripuanã com 11.787, Boca do Acre com 11.058, Canutama com 7.359 e, por fim, Humaitá com 5.631 focos de calor. Em onze anos de análise, o registro de focos de calor no município de Lábrea aumentou 4,9 vezes, enquanto em Apuí o crescimento foi de 3,2 vezes e em Manicoré 2,7 vezes.

A Figura 7 apresenta os totais de focos de calor ativos apurados durante o período analisado (2009-2019) na área de estudo, individualizados por ano e município de ocorrência.



	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Apuí	1161	1603	634	1800	545	1588	2626	1823	2762	1663	3771
Boca do Acre	500	1639	410	716	651	577	1093	1752	1086	1090	1544
Canutama	288	1448	269	735	249	419	846	708	746	733	918
Humaitá	203	617	238	592	234	362	736	465	587	659	938
Lábrea	926	3203	609	1830	689	1217	2897	3373	2837	3528	4525
Manicoré	614	1755	664	1710	416	1412	1720	1063	1901	1408	1627
Novo Aripuanã	504	951	403	827	297	736	1323	1067	2058	1575	2046

Figura 7 – Totalização dos focos de calor ativos identificados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas, individualizados por ano e cidade de ocorrência.
FONTE: a autora (2020)

A Figura 7 discrimina o quantitativo total de focos de calor registrados por cada município no decorrer do período de estudo (2009-2019). Como pode ser observado, os focos distribuem-se de maneira desigual entre os municípios analisados, sendo que cada um apresenta um comportamento mais ou menos intenso em relação ao uso do fogo. As cidades de Apuí e Lábrea destacam-se pelos altos registros de focos de calor, enquanto Humaitá e Canutama apresentam os menores valores.

Além da variabilidade espacial, é perceptível a variabilidade temporal ao longo do período analisado (2009-2019) que pode ser atribuída à influência de fenômenos climáticos que causam maior precipitação sobre a Amazônia, como é o caso dos anos de 2009, 2011 e 2013, ou que causam seca mais severa, como nos anos de 2010 e 2015. A variação também pode ser ocasionada pela própria intensificação do uso do fogo representada pela tendência crescente nos registros a partir de 2016.

Na Tabela 4, são discriminados os valores apurados conforme a Estatística Descritiva que nos permitem acompanhar tanto a variabilidade temporal quanto o comportamento ascendente no registro dos focos de calor no decorrer de todo o período analisado (2009-2019).

Tabela 4 – Estatística descritiva dos focos de calor apurados por ano de registro contabilizados nos municípios do sul do estado do Amazonas durante o período analisado (2009-2019)

ED	Análise anual										
	2009	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Total	4196	11216	3227	8210	3081	6311	11241	10251	11977	10656	15369
Máx	1161	3203	664	1830	689	1588	2897	3373	2837	3528	4525
Mín	203	617	238	592	234	362	736	465	587	659	918
Média	599	1602	461	1173	440	902	1606	1464	1711	1522	2196
Med	504	1603	410	827	416	736	1323	1067	1901	1408	1627
DP	315	756	163	531	176	461	793	906	855	896	1303
CV%	52,5	47,2	35,3	45,2	40,0	51,1	49,3	61,8	49,9	58,8	59,3

ED = estatística descritiva; Máx = Máximo; Mín = Mínimo; Med = Mediana; DP = desvio padrão; CV% = coeficiente de variação

FONTE: a autora (2021)

Os valores máximos apurados nos anos de 2010, 2012, 2013, 2015 a 2019 foram registrados no município de Lábrea, ou seja, dos onze anos analisados neste estudo Lábrea liderou os registros de focos de calor em oito. Nos anos de 2009 e 2014, as máximas foram registradas na cidade de Apuí e, em 2011, em Manicoré. Em relação aos valores mínimos registrados nos anos de 2009 a 2018, foi possível observá-los no município de Humaitá, sendo que, em 2019, o registro mínimo deu-se no município de Canutama.

Na Tabela 5, são discriminados os valores apurados conforme a Estatística Descritiva, na qual os dados de focos de calor são individualizados de acordo com o mês de ocorrência.

Tabela 5 – Estatística descritiva dos focos de calor apurados por mês de registro contabilizados nos municípios do sul do estado do Amazonas durante o período analisado (2009-2019)

ED	Análise mensal											
	jan	**fev**	**mar**	**abr**	**mai**	**jun**	**jul**	**ago**	**set**	**out**	**nov**	**dez**
Total	94	64	52	51	99	414	8182	46332	32545	6484	1118	300
%	0,10	0,07	0,05	0,05	0,10	0,43	8,55	48,40	33,99	6,77	1,17	0,31
Máx	24	31	14	11	21	79	1862	9613	5032	1130	309	59
Mín	1	1	0	0	1	1	72	1027	1110	191	14	7
Média	9	6	5	5	9	38	744	4212	2959	589	102	27
Med	4	3	3	4	6	35	310	4300	3122	503	83	27
DP	8	8	4	3	7	24	664	2458	1115	318	73	15
CV%	92	144	87	70	80	64	89	58	37	53	72	55

ED = estatística descritiva; % = valor percentual; Máx = Máximo; Mín = Mínimo; Med = Mediana; DP = desvio padrão; CV% = coeficiente de variação

FONTE: a autora (2021)

Conforme visualiza-se na Tabela 5, a incidência dos focos de calor concentra-se entre os meses de julho a outubro, correspondendo a cerca de 97% dos focos de calor na avaliação mensal. O aumento nos registros de focos de calor ativos coincide com a queda no volume de precipitação, característica da estação seca na região amazônica. O ápice nos registros se dá no mês de agosto, o qual agrupa 48% dos focos de calor computados no período analisado (2009-2019), seguido do mês de setembro com 34% dos registros de focos de calor.

Na Tabela 6, são apresentados os valores referentes à Estatística Descritiva contabilizada segundo o local de registro dos focos de calor.

Tabela 6 – Estatística descritiva dos focos de calor apurados por localidade de registro contabilizados nos municípios do sul do estado do Amazonas no período analisado (2009-2019)

ED	Municípios do Sul do Amazonas						
	Apuí	**Boca do Acre**	**Canutama**	**Humaitá**	**Lábrea**	**Manicoré**	**Novo Aripuanã**
Total	19976	11058	7359	5631	25634	14290	11787
Máximo	3771	1752	1448	938	4525	1901	2058
Mínimo	545	410	249	203	609	416	297
Média	1816	1005	669	512	2330	1299	1072
Mediana	1663	1086	733	587	2837	1412	951
DPadrão	901	455	338	223	1272	501	587
CV%	49,6	45,2	50,5	43,6	54,5	38,5	54,8

ED = estatística descritiva; DPadrão = desvio padrão; CV% = coeficiente de variação
FONTE: a autora (2021)

Assim, fica evidenciado o comportamento diferenciado dos registros de focos de calor ativos entre os municípios integrantes da área de estudo, uma vez que as máximas e mínimas foram registradas em anos distintos em cada localidade. Os valores mínimos distribuem-se nos anos de 2009, 2011 e 2013, enquanto os valores máximos repartem-se entre os anos de 2010, 2016, 2017 e 2019.

A dispersão temporal dos dados de registro de focos de calor ativos apurados por ano na área de estudo no decorrer do período compreendido entre 2009 e 2019 pode ser observada na Figura 8.

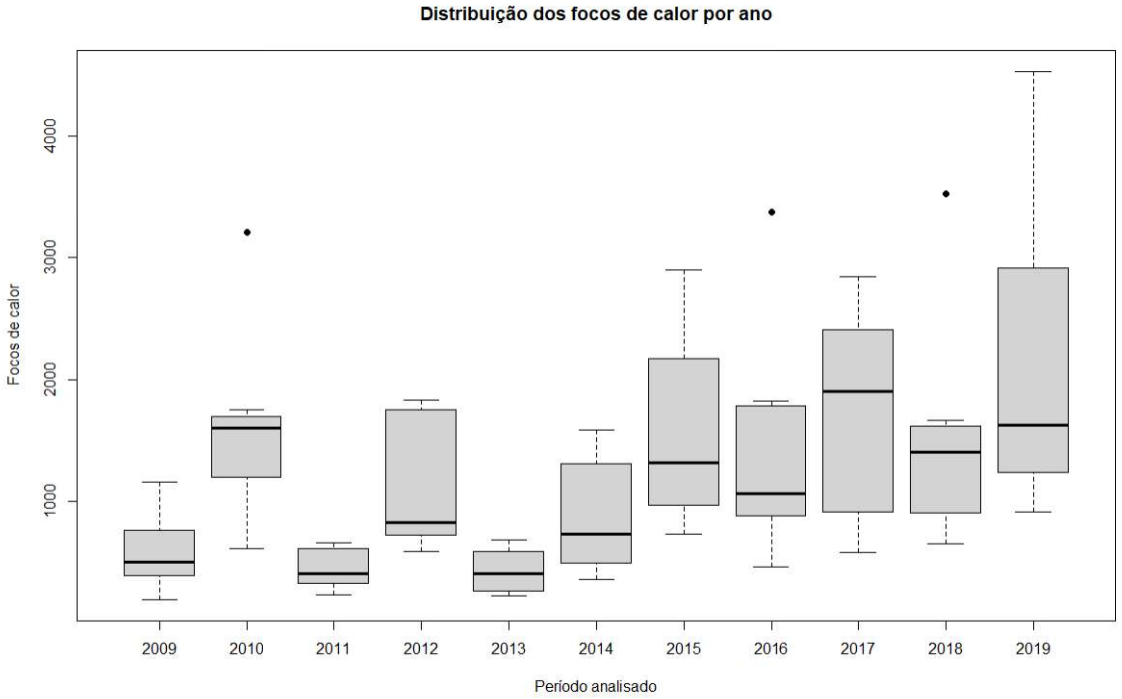


Figura 8 – Variação interanual dos registros de focos de calor ativos apurados entre os municípios localizados no Sul do estado do Amazonas durante o período analisado (2009-2019).
FONTE: a autora (2021)

Os outliers presentes nos anos de 2010, 2016 e 2018 são representativos dos focos de calor registrados no município de Lábrea, o que demonstra o intenso uso do fogo nessa cidade quando comparada às demais. Também é possível observar o aumento progressivo dos registros de focos de calor a partir do ano de 2015.

A dispersão espacial no registro de focos de calor ativos entre os municípios integrantes da área de estudo pode ser visualizada na Figura 9.

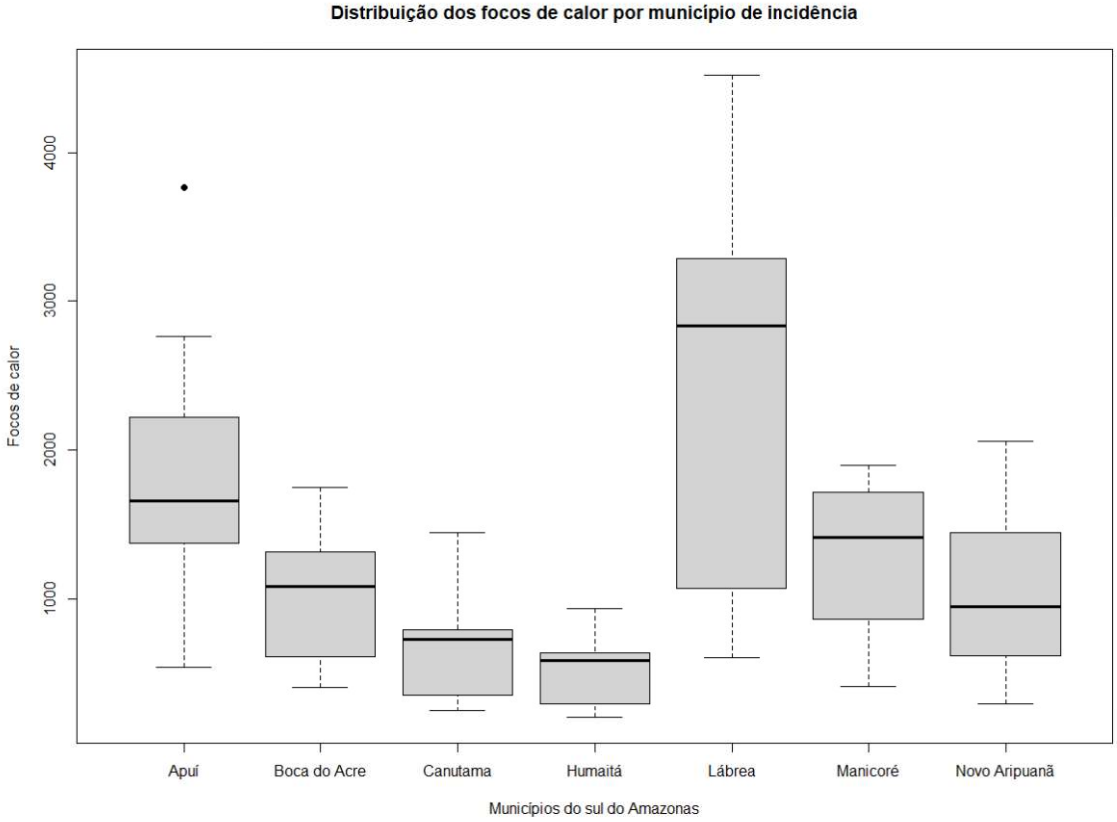


Figura 9 – Variação espacial dos registros de focos de calor ativos apurados entre os municípios localizados no sul do estado do Amazonas durante o período analisado (2009-2019).
FONTE: a autora (2021)

O outlier presente nos dados do município de Apuí refere-se aos registros de focos de calor apurados no ano de 2019, quando foram contabilizados 3.771 focos de calor. Na Figura 9 evidencia-se a expressividade nos registros de focos de calor ativos no município de Lábrea, a qual esteve no topo da lista em oito dos onze anos analisados. Já Canutama e Humaitá, mostram-se semelhantes, apresentando os menores registros de focos de calor.

6.3 Análise das variáveis ambientais

Contrastando os focos de calor apurados com a precipitação, temos os anos de 2009, 2011, 2012, 2013, 2014 e 2017 com alto volume de precipitação (2.447 mm, 2.348 mm, 2.291 mm, 2.626 mm, 2.462 mm e 2.567 mm respectivamente) e, consequentemente, menor intensidade de focos de calor computados, à exceção do ano de 2017 que, apesar do grande volume de precipitação, também apresentou alto número de focos de calor (Figura 10).

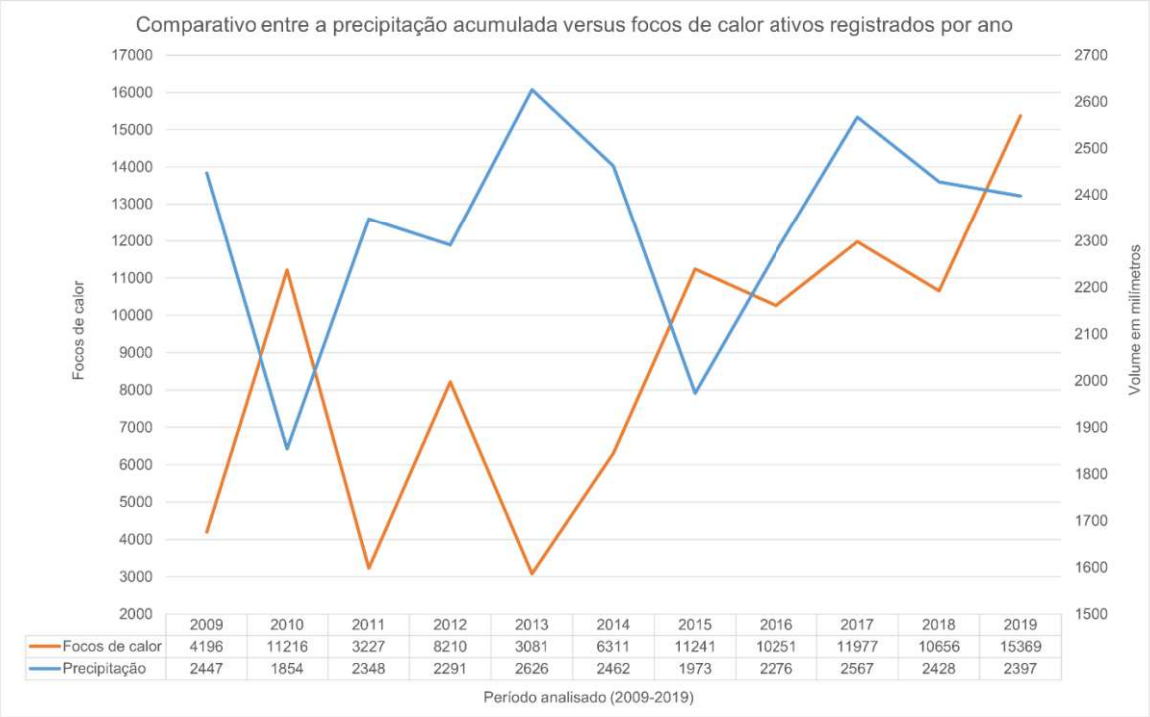


Figura 10 – Distribuição da precipitação acumulada anual em relação ao registro de focos de calor ativos contabilizados por ano no período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas.
FONTE: a autora (2021)

Embora haja uma tendência de aumento nos focos de calor quando da diminuição da precipitação, seja em escala mensal ou anual, os três últimos anos (2017, 2018 e 2019) no período analisado (2009-2019) apresentaram um comportamento diferente dos demais, ou seja, mesmo com o volume de precipitação mantendo-se elevado (acima de 2.300 mm/ano) os focos de calor ativos apresentaram inclinação crescente.

O ano de 2017 apresentou um volume de precipitação elevado (2.567 mm) e um número alto de focos de calor (11.977 registros), sendo o segundo ano com o maior volume de precipitação e número de focos de calor. Em 2018, houve uma pequena queda no volume de precipitação (2.428 mm) e também no número de focos de calor (10.656), ocupando a quinta colocação em ambos os quesitos no periodo analisado. Já no ano de 2019, o volume de precipitação acumulada decresceu ligeiramente em relação ao ano anterior (2.397 mm) e o número de focos de calor apresentou um salto, respondendo pelo maior registro no periodo analisado (15.369 focos).

Na avaliação mensal, a maior incidência de focos de calor concentra-se no mês

de agosto com 48% das ocorrências, seguido dos meses de setembro com 34%, julho com 8%, outubro com 7% e novembro com 2% (Figura 11). Os demais meses somados (janeiro, fevereiro, março, abril, maio, junho e dezembro) totalizam o 1% restante.



	janeiro	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho	agosto	setembro	outubro	novembro	dezembro
Focos de calor	94	64	52	51	99	414	8182	46332	32545	6484	1118	300
Precipitação	341	324	322	256	152	64	29	48	97	167	230	296

Figura 11 – Comparativo entre os valores médios mensais de precipitação em relação aos focos de calor ativos apurados por mês durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas.
FONTE: a autora (2021)

Denota-se que os padrões sazonais da precipitação e incidência de focos de calor caracterizam-se por uma correlação inversamente proporcional, sendo a maior recorrência de incêndios no período da estação seca, quando há diminuição da precipitação.

Já a TST caracteriza-se por uma correlação diretamente proporcional ao registro de focos de calor, cujo aumento ocorre durante a estação seca, com baixa pluviosidade (Figura 12). A menor média mensal da TST ficou por volta de 22 ºC registrada no decorrer da estação chuvosa e a maior média deu-se durante a estação seca no mês de agosto, com valor apurado de 34 ºC.

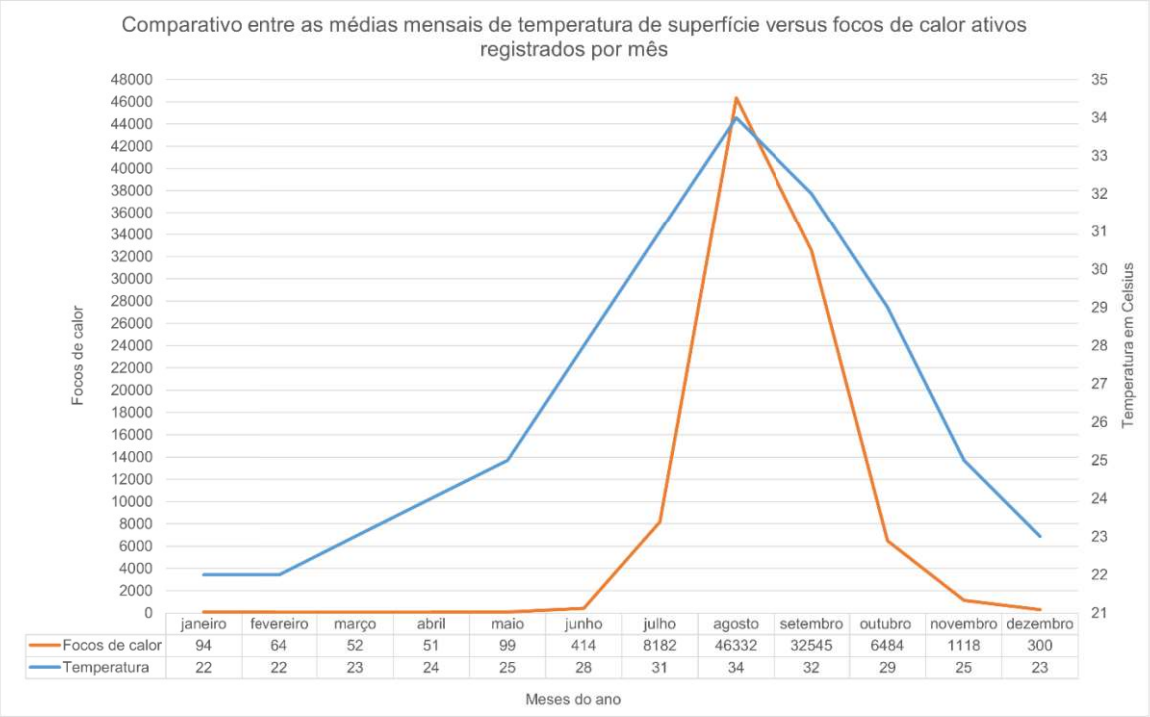


Figura 12 – Comparativo entre os valores médios mensais da temperatura de superfície em relação aos registros de focos de calor ativos apurados por mês durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas.
FONTE: a autora (2021)

Na Figura 13 é apresentada a espacialização da média da temperatura de superfície apurada no período analisado (2009-2019). As áreas mais quentes referem-se àquelas com intensa antropização e/ou que sofreram a remoção da sua cobertura vegetal. Essas áreas coincidem com locais desmatados e que sofrem queima recorrente, como será demonstrado logo adiante.

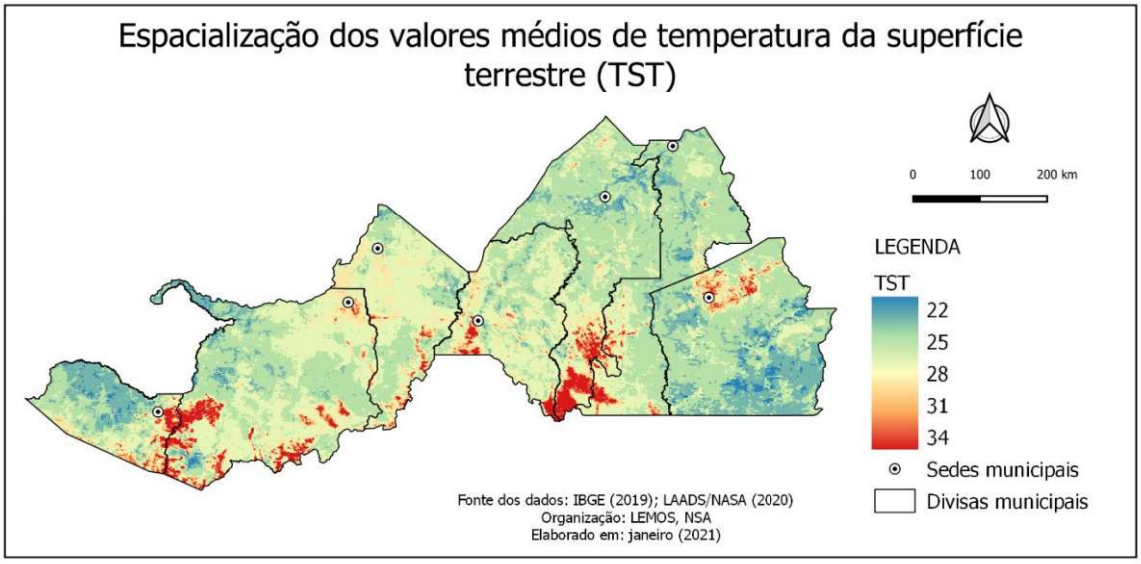


Figura 13 – Espacialização dos valores médios de temperatura de superfície apurados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas.
FONTE: a autora (2021)

Uma área situada no extremo sul do município de Manicoré chama atenção pela extensão da mancha avermelhada (Figura 13). Nesse local, estão situados os Campos Amazônicos, uma área com fitofisionomias de Cerrado em meio à Floresta Amazônica. Devido à sua escassa cobertura de árvores, que encontram-se caracteristicamente dispersas, e ao solo parcialmente exposto recoberto por gramíneas, essa região tende a absorver mais radiação solar e, com isso, a apresentar maior temperatura superficial.

Em face das particularidades naturais dos Campos Amazônicos, recobertos com vegetação propensa ao fogo, diversos focos de calor foram registrados nessa área, com destaque para os anos de 2010, 2011, 2014, 2018 e 2019, apesar do local possuir proteção legal pelo Parque Nacional dos Campos Amazônicos e por Terras Indígenas, conforme pode ser observado na Figura 14 adiante.

6.4 Análise das variáveis sociais

As áreas no entorno dos Projetos de Assentamentos e que não compreendem as outras estruturas fundiárias aqui abordadas – Terra Indígena, Unidade de Conservação Federal e Unidade de Conservação Estadual – correspondem a terras públicas e/ou privadas não especificadas no âmbito desta pesquisa.

A não discriminação dessas áreas deve-se a sobreposições identificadas no

Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) gerenciado pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB) e no Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF) gerido pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) quando do levantamento da organização territorial e fundiária do sul do estado do Amazonas. Essas sobreposições são elencadas genericamente na Tabela 7.

Tabela 7 – Quantitativo de imóveis e áreas com sobreposição cadastral segundo dados constantes no SICAR com dados atualizados até 18/02/2020

Município	Total imoveis	Área cadastada (ha)	Área com sobreposição em TI (ha)	Quant. Imóveis	Área com sobreposição em UC (ha)	Quant. Imóveis	Área embargada (ha)	Quant. Imóveis
Apuí	1814	6.861.258,64	0	0	0	0	731.011,96	499
Boca do Acre	3609	2.090.997,76	250.729,74	55	0	0	458.117,01	695
Canutama	1742	2.519.892,09	1.374,47	1	5.311,16	3	473.309,33	122
Humaitá	1051	1.903.451,8	288.018,86	27	182,79	1	330.845,96	106
Lábrea	3270	6.793.378,54	1.500.051,07	84	4.185,05	2	2.422.423,31	1091
Manicoré	1529	2.096.706,73	52.845,41	24	0	0	98.954,61	296
Novo Aripuanã	2079	6.736.366,57	1.396.743,08	6	207.268,78	44	2.432.436,69	140

ha = hectare; UC = unidade de conservação; TI = terra indígena;
FONTE: a autora (2021)

As informações constantes na Tabela 7 derivam de consulta ao SICAR, disponível em https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index, com dados atualizados até 18/02/2020.

A dificuldade na discriminação dessas áreas decorre das sobreposições e complexidades cadastrais históricas existentes na formação da estrutura fundiária na região de estudo. O entendimento desse contexto demandaria um estudo específico sobre a temática fundiária, o que foge ao escopo desta pesquisa.

Dessa forma, foram adotadas as estruturas fundiárias de classificação Terra Indígena, Unidade de Conservação Federal, Unidade de Conservação Estadual, Projetos de Assentamento e, por fim, as demais áreas denominadas áreas de uso não discriminado (composta por terras publicas e/ou privadas) que correspondem às áreas de cor branca, conforme espacialização apresentada na Figura 14.

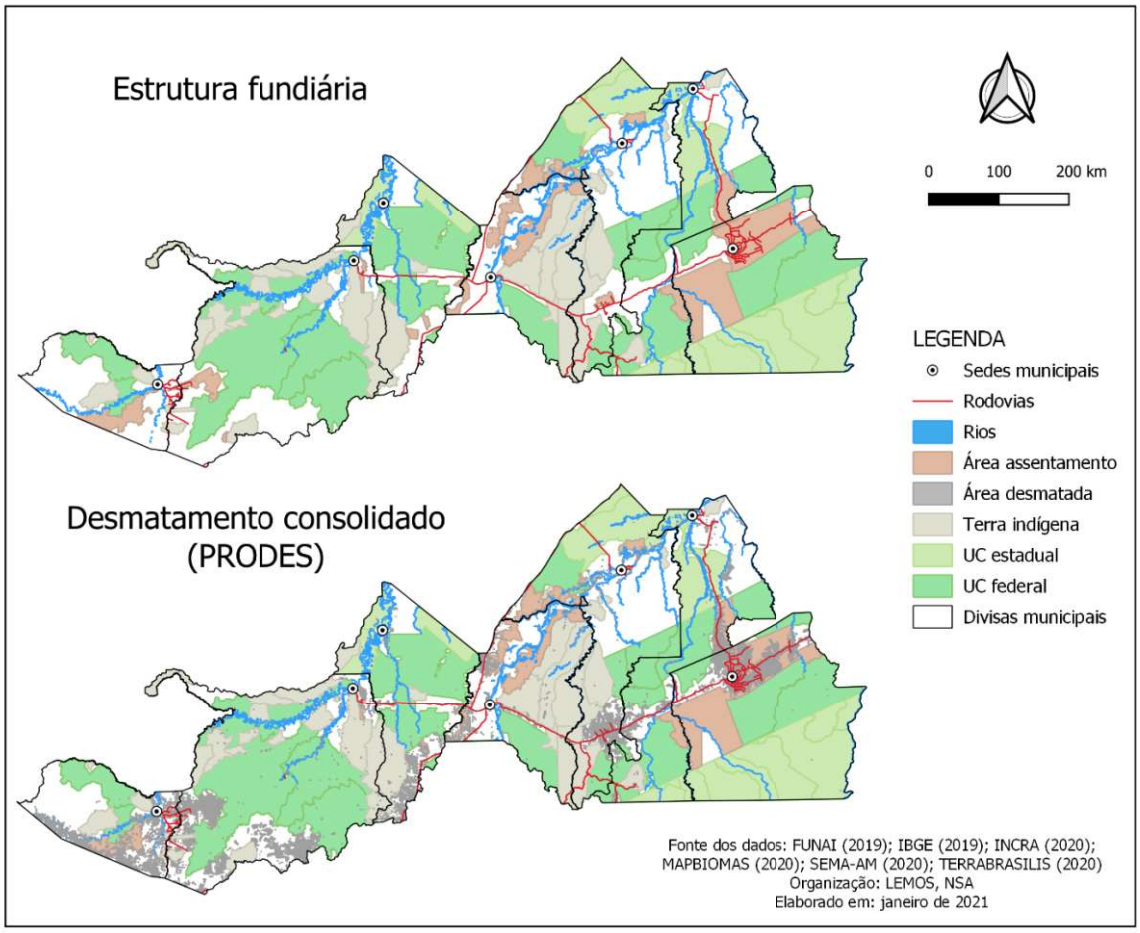


Figura 14 – Organização fundiária adotada no estudo e áreas com desmatamento consolidado até 2019 apurado pelo PRODES nos municípios situados no sul do estado do Amazonas.
FONTE: a autora (2021)

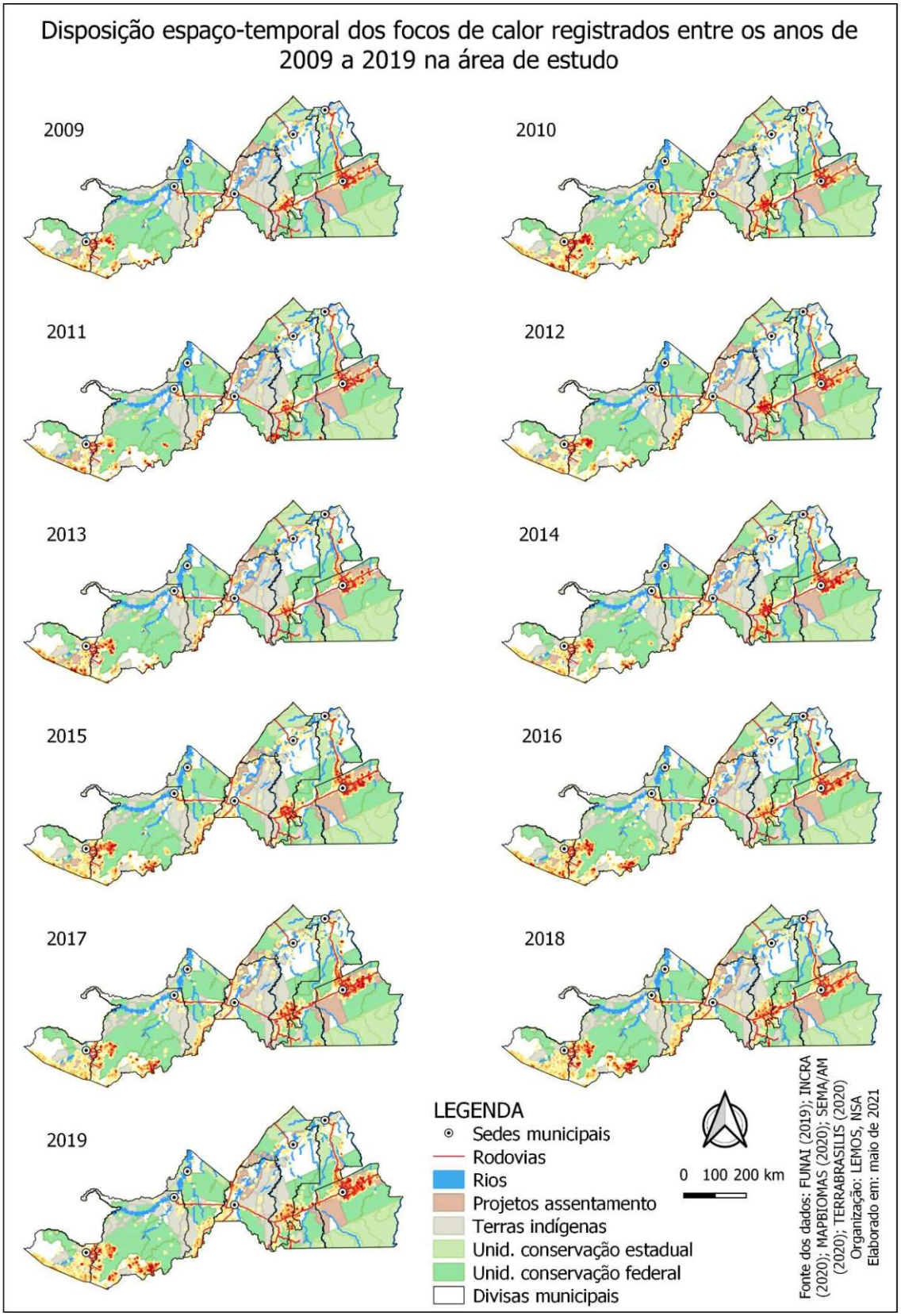


Figura 15 – Distribuição espaço-temporal dos registros de focos de calor ativos identificados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas.
FONTE: a autora (2021)

Na ponderação acerca da espacialização dos focos de calor identificados na área de estudo durante o período analisado (2009-2019), destaca-se o fato de que uma parcela dos focos de calor foi registrado ao longo das rodovias BR-230, BR-317, BR-319 e AM-174. Cerca de 39% dos focos de calor foram apurados até 3 km das vias rodoviárias e ocorrem com maior intensidade em áreas sede dos projetos de assentamento (e em seu entorno) localizadas em Apuí, Lábrea e Manicoré.

Observando as áreas identificadas como desmatadas apontadas na Figura 14 e a disposição dos focos de calor registrados ano a ano apresentada na Figura 15, é possível afirmar que a incidência dos focos de calor coincide com as áreas desmatadas, as quais são mais intensas nas áreas de projetos de assentamento e em seu entorno, ao longo das rodovias e nas áreas de uso não discriminado. Com isso, evidencia-se a estreita ligação existente entre desmatamento, proximidades com rodovias, assentamentos humanos e focos de calor.

Ainda em relação à Figura 15, é possível identificar a recorrência persistente e aglomerada dos registros de focos de calor ativos em determinadas áreas, especialmente nos municípios de Apuí, Manicoré e Lábrea. Esse fenômeno é facilmente observável na Figura 16, que apresenta a espacialização do total de focos de calor ativos identificados na área de estudo durante o período analisado (2009-2019) sob o formato de mapa de calor (Estimativa de densidade Kernel).

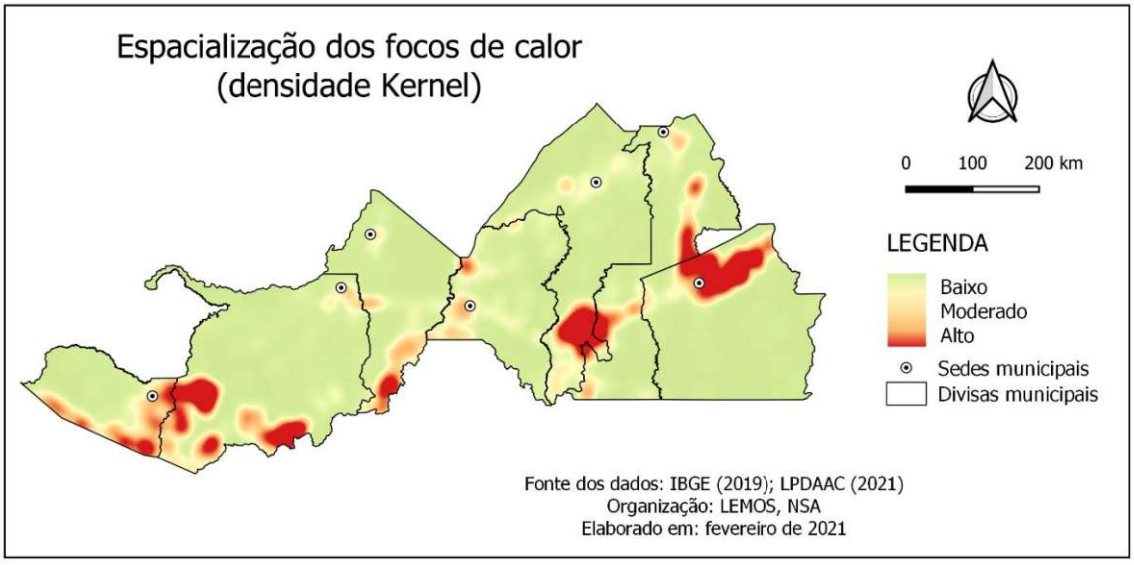


Figura 16 – Mapa densidade de Kernel representando o total de focos de calor ativos identificados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas.
FONTE: a autora (2021)

Ressalta-se que, mesmo em áreas sob status de proteção legal – Unidades de Conservação Federais e Estaduais e Terras Indígenas –, houve registros de focos de calor, sobretudo nos anos de 2019, 2017 e 2010, conforme pode ser observado na Figura 15. Todavia, o número desses registros é baixo, representando cerca de 7,82% do total de focos de calor apurados em todo o período analisado (2009-2019).

Na Figura 17, apresenta-se a distribuição dos focos de calor ativos computados durante o período analisado (2009-2019) conforme sua incidência nas unidades fundiárias.

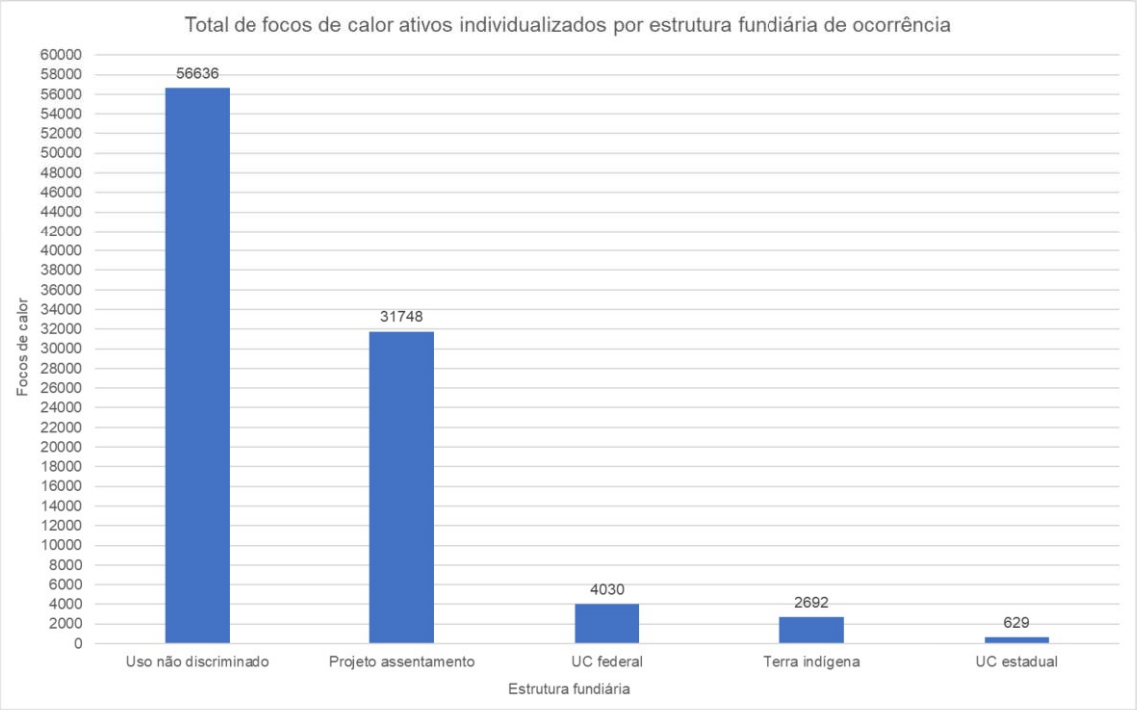
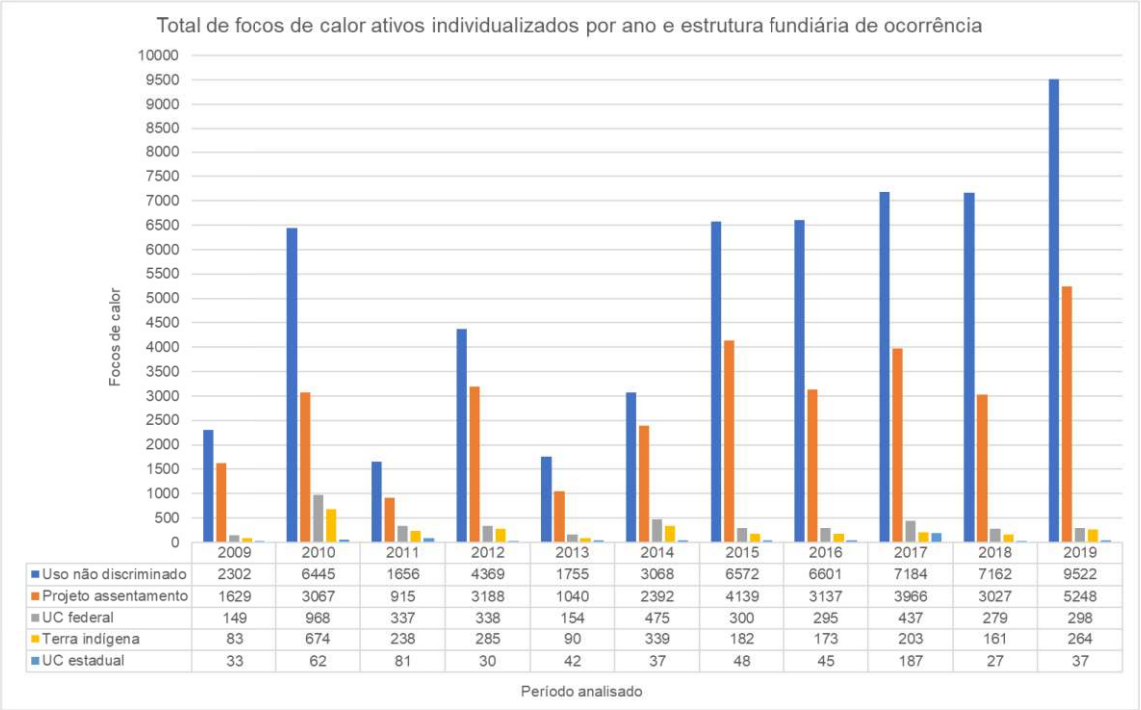


Figura 17 – Totalização dos focos de calor ativos apurados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas, individualizados por unidade fundiária de ocorrência.
FONTE: a autora (2021)

Cerca de 32,86% dos focos de calor apurados no período analisado (2009-2019) ocorreram em áreas de assentamento, 4,32% em unidades de conservação federais, 2,82% em territórios indígenas e 0,68% em unidades de conservação estaduais. Os 59,32% restantes referem-se aos focos de calor computados em áreas de uso não discriminado, ou seja, em terras públicas e/ou privadas.

Na Figura 18, apresentam-se os totais de focos de calor ativos apurados durante o período analisado (2009-2019) na área de estudo, individualizados por ano

e estrutura fundiária de ocorrência.



	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Uso não discriminado	2302	6445	1656	4369	1755	3068	6572	6601	7184	7162	9522
Projeto assentamento	1629	3067	915	3188	1040	2392	4139	3137	3966	3027	5248
UC federal	149	968	337	338	154	475	300	295	437	279	298
Terra indígena	83	674	238	285	90	339	182	173	203	161	264
UC estadual	33	62	81	30	42	37	48	45	187	27	37

Figura 18 – Totalização dos focos de calor ativos apurados durante o período analisado (2009-2019) nos municípios localizados no sul do estado do Amazonas, individualizados por ano e estrutura fundiária de ocorrência.
FONTE: a autora (2021)

Nos anos de 2009, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2019 as áreas de assentamento responderam por mais de 1/3 dos focos de calor registrados nesses anos. Em relação às áreas sob status de proteção legal, o ano de 2010 se sobressai dentre os demais devido aos focos identificados nas áreas de conservação federais, cujo total apurado foi 50% maior que o segundo registro mais alto computado para a unidade fundiária ao longo do período estudado (2009-2019).

6.5 Espacialização do risco de incêndio

A espacialização do risco de incêndio (Figura 19) baseia-se, portanto, na combinação das variáveis ambientais e antrópicas trabalhadas em software SIG. A análise espaço-temporal dos dados levantados neste estudo demonstra um fenômeno sócio-historicamente construído, com predominância das ocorrências de focos de calor em lugares específicos.

O risco de incêndio foi gerado a partir da Equação 3 e categorizado em cinco

classes, que são: muito baixo, baixo, moderado, alto e muito alto, tendo seu resultado espacializado na Figura 19.

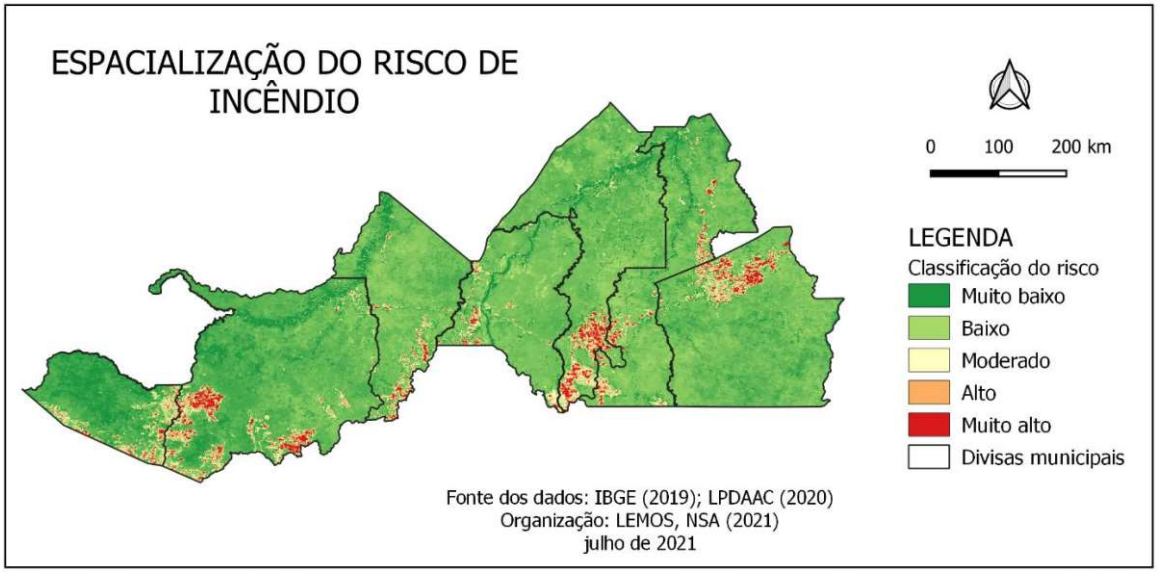


Figura 19 – Espacialização do risco de incêndio para os municípios localizados ao sul do estado do Amazonas.
FONTE: a autora (2021)

As áreas que apresentam maior risco de queima no município de Apuí concentram-se em torno da sede municipal, estendendo-se pelas rodovias BR-230 e AM-174. Em Boca do Acre, as áreas com maiores riscos de queima localizam-se ao longo da divisa com o estado do Acre, ao longo da rodovia BR-317 (que permeia a divisa entre Boca do Acre e Lábrea) e em áreas próximas à sede municipal, seguindo sentido ao projeto de assentamento localizado em Lábrea, cujo acesso se dá via Boca do Acre.

A cidade de Canutama apresenta áreas com risco de incêndio nas proximidades da sua divisa com o estado de Rondônia e ao longo da rodovia BR-230. Situação semelhante ocorre em Humaitá, cujas áreas com maior risco de queima estão próximas à sua divisa com o estado de Rondônia e ao longo das rodovias BR-230 e BR-319, na qual se localiza o distrito de Realidade (subordinado administrativamente à Humaitá) e que concentra também alto risco de incêndio em seu entorno. Outra área com alto risco de incêndio em Humaitá é a região dos Campos Naturais Puciari-Humaitá.

Em Lábrea, as áreas com maior risco de queima são aquelas onde se localizam os projetos de assentamento, nas proximidades das divisas com o município de Boca

do Acre e com o estado de Rondônia, ao longo da rodovia BR-230 e em algumas áreas no entorno de sua sede. Já no município de Manicoré, o risco de incêndio concentra-se em todo o entorno do PA Santo Antônio do Matupi e na região dos Campos Amazônicos. Por fim, o município de Novo Aripuanã tem ao longo das rodovias BR-230 e AM-174 suas áreas com maior risco de incêndio.

Observou-se ao longo do período analisado (2009-2019) a recorrência do fogo em alguns locais enquanto novos pontos iam sendo agregados conforme o aumento no número de focos de calor. Constata-se que o fator antrópico foi determinante para a incidência de fogo na área de estudo, sendo potencializado em anos com registro concomitante a fenômenos climáticos, como El Niño.

A sobreposição dos focos de calor ativos computados pelo sensor MODIS no período analisado (2009-2019) sobre o mapa de risco nos permite visualizar que um grande volume dos focos ocorre nas áreas indicadas com risco muito alto e alto, confirmando o bom ajuste do resultado do modelo (Figura 20). No entanto, houve áreas cuja intensidade ou recorrência se deu com baixa frequência, as quais não foram sensibilizadas pelo modelo. Destaca-se que durante o período analisado (2009-2019) cerca de 34% dos focos identificados ocorreram em locais cuja queima foi realizada apenas uma vez.

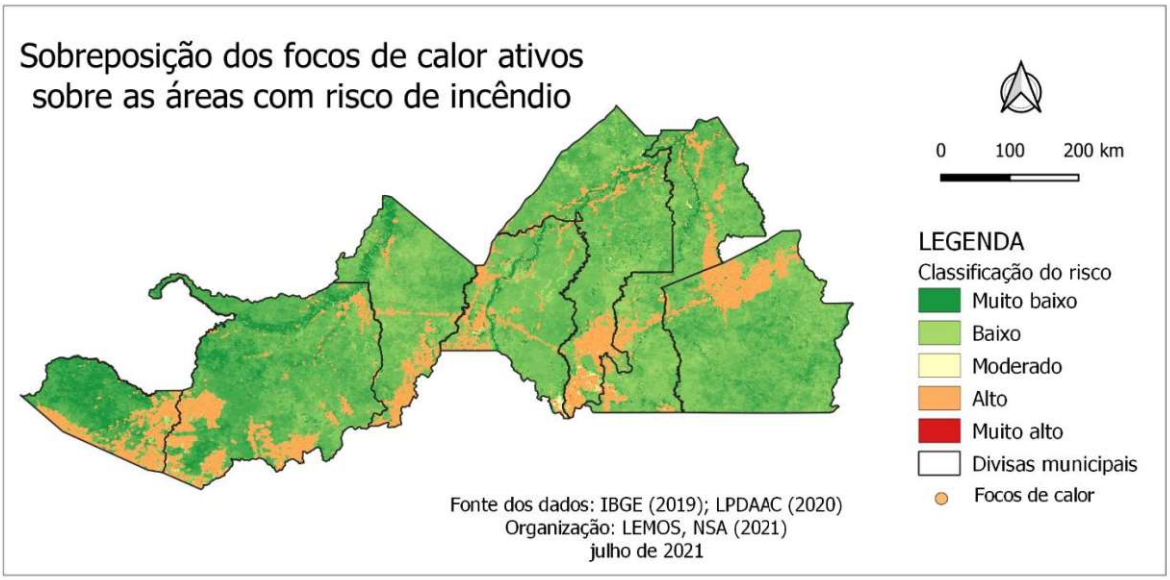


Figura 20 – Espacialização dos focos de calor ativos identificados pelo sensor MODIS durante o período analisado (2009-2019) sobre as áreas com risco de incêndio apuradas para os municípios localizados no sul do estado do Amazonas para averiguação de ajuste do modelo.
FONTE: a autora (2021)

O aspecto positivo dessa metodologia é a disponibilidade de dados gratuitos e a possibilidade de ser melhorada com o incremento e/ou substituição de variáveis conforme as especificidades do ambiente, podendo ser adaptada a outras regiões. O aspecto negativo versa sobre a possibilidade de o sensor MODIS não detectar incêndios de menores proporções, subestimando a contagem dos focos de calor ativos. Todavia, a metodologia proposta mostra-se bastante eficiente na análise do comportamento do uso do fogo, apresentando bom ajuste.

A Figura 21 apresenta a espacialização do desvio padrão calculado a partir do modelo (Equação 3) entre os anos de 2009 a 2019. Doravante, infere-se que a dinâmica espaço-temporal sobre o risco de incêndios apresenta valores significativos acima da média, demonstrando um aumento progressivo do risco de incêndios florestais na região a cada ano.

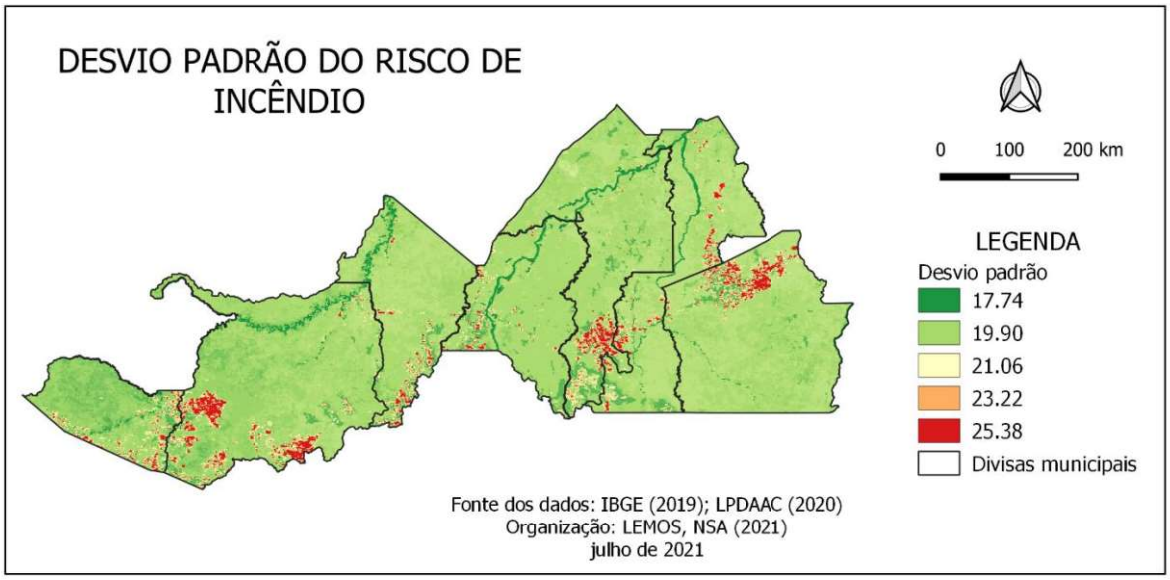


Figura 21 – Espacialização do desvio padrão do risco de incêndio identificado para os municípios do sul do estado do Amazonas
FONTE: a autora (2021)

As áreas que apresentam maior desvio padrão são justamente aquelas em que houve aumento significativo do uso do fogo ao longo do período analisado (2009-2019), ou seja, Lábrea, Apuí e Manicoré (em ordem decrescente).

7. DISCUSSÃO

Neste estudo, 2010 e 2015 foram os anos que apresentaram menores volumes de precipitação, sendo 1.845 e 1.973 mm/ano respectivamente. Em ambos os anos, houve ocorrência do fenômeno meteorológico El Niño (MARENGO; ESPINOZA, 2016; MARENGO et al., 2018; SODRÉ et al., 2018). Analisando o déficit hídrico na Amazônia entre 2003 a 2019, Silveira et al. (2020) identificaram os anos de 2005, 2010, 2015 e 2016 como os mais secos da região amazônica.

Proporcionalmente, 2010 e 2015 apresentaram um alto volume de focos de calor: 11.216 e 11.241 registros respectivamente. Isso pode ser explicado pelo fato de que nos períodos de seca mais intensa aumenta-se a carga de material combustível no solo, pois a matéria orgânica encontra-se menos úmida (PAGE et al., 2017; NEVES et al., 2018; SODRÉ et al., 2018; WHITE, 2018). A estação seca favorece o aumento dos incêndios que, por conseguinte, destroem milhares de hectares de florestas e injetam grande quantidade de aerossóis na atmosfera que atrasam o início do período chuvoso, bem como o quantitativo pluviométrico (LIBERATO; BRITO, 2010).

De acordo com Marengo e Espinoza (2016) e Marengo et al. (2018), o ano de 2009 foi bastante chuvoso devido ao aquecimento no Atlântico Sul Tropical e os anos de 2011 e 2012 foram influenciados pelo fenômeno meteorológico La Niña associado ao aquecimento no Atlântico Sul Tropical, enquanto em 2013 e 2014 houve influência meteorológica de aquecimento do Oceano Pacífico e aquecimento do Atlântico Sul Subtropical. Concomitantemente, em 2009 e de 2011 a 2014, foram registrados 4.196, 3.227, 8.210, 3.081 e 6.311 focos de calor respectivamente. Ou seja, em cinco anos registraram-se, na área de estudo, 25.025 focos de calor contra 22.457 registrados em dois anos de seca mais intensa (2010 e 2015).

A média anual apurada neste estudo é de 8.703 focos de calor ativos entre 2009 a 2019 para os sete municípios do sul do estado do Amazonas. Já White (2018), analisando todo o Amazonas, encontrou média anual de 6.920 focos durante o período de 2003 a 2016. De forma semelhante, Anderson et al. (2017) apuraram média anual acima de 8.000 focos para o estado do Acre entre os anos de 2001 a 2014.

Na análise mensal, os meses com maior incidência de focos de calor foram de julho a outubro, ou seja, na estação seca, com auge nos meses de agosto e setembro,

circunstância também observada por Anderson et al., (2017), Neves et al. (2018), Sodré et al. (2018), White (2018) e Silveira et al. (2020). No estudo conduzido por Mélo et al. (2011), utilizando o Índice de Haines para mensuração do risco de incêndio na Amazônia, tem no mês de agosto o máximo risco apurado.

Neste estudo, cerca 97% dos focos de calor foram registrados entre os meses de julho a outubro, com o mês de agosto liderando os registros mensais. Desse percentual, 48% referem-se aos focos contabilizados no mês de agosto e 34% no mês de setembro. Resultado semelhante foi encontrado por Anderson et al. (2017) e White (2018); porém, nesses estudos, o pico deu-se no mês de setembro.

Na pesquisa desenvolvida por Silveira et al. (2020), os autores destacam o número de focos de calor registrados no mês de agosto de 2019 no estado do Amazonas como sendo o maior da série histórica analisada (2003-2019). De acordo com os valores apurados neste estudo, o mês de agosto de 2019 apresentou 9.613 focos de calor na região de abrangência deste trabalho, sendo o maior valor mensal apurado dentro do periodo analisado (2009-2019).

Embora estatisticamente a precipitação apresente uma correlação fraca e inversamente proporcional à incidência de focos de calor, resultado concordante com o de Morello et al. (2020), depreende-se que o comportamento do fogo na região de estudo relaciona-se com a precipitação em certo grau, modulando o comportamento antrópico na ignição dos incêndios (WHITE, 2018). Isso evidencia que o acompanhamento dos volumes de precipitação mensais e anuais são importantes para a compreensão dos regimes do fogo (NEVES et al., 2018).

Assim, é imprescindível o uso de dados meteorológicos consistentes para estudos sobre o fogo (SILVA et al., 2020). A despeito da importância do monitoramento climatológico para estudo, compreensão e proteção da Amazônia, Marengo et al. (2018) e Silva et al. (2020) frisam a falta de registros meteorológicos históricos na região como um todo.

Ciente desse contexto, este trabalho valeu-se da utilização de dados das estações meteorológicas mantidas pelo INMET e na ausência delas ou de dados na coleta das estações, a lacuna foi suprida com a utilização de informações fornecidas pelo satélite TRMM. Tal decisão ampara-se nos resultados dos trabalhos desenvolvidos por Nóbrega et al. (2008), Leivas et al. (2009), Pereira et al. (2013) e

Almeida et al. (2015), confirmando que as estimativas de precipitação disponibilizadas pelo TRMM apresentam variação sazonal e acurácia condizentes com as fornecidas pelas estações meteorológicas, sendo, portanto, seguras fontes de dados.

Embora seja um fator muito importante a ser considerado, a precipitação por si só não explica a dinâmica de incêndios, conforme afirmado por Moraes et al. (2017) em um estudo sobre queimadas no Pantanal entre os anos de 2002 a 2015. Os autores apuraram que as áreas que mais queimaram no Pantanal no referido período, com cerca de 91,5% dos focos computados, correspondem às áreas classificadas como alagadas e destinadas à criação de bovinos, corroborando a constatação de que a ocorrência de incêndios em áreas úmidas, tal como a Amazônia, estaria fortemente ligada à ação humana (MORAES et al., 2017). De acordo com White (2018), 99% das ignições dos incêndios no país são de origem antrópica.

Tal percepção é aparente neste estudo quando analisamos os anos de 2017, 2018 e 2019, os quais apresentaram índices de pluviosidade maiores que 2.300 mm/ano e registros de focos de calor acima de 10.000/ano em tendência ascendente. Diante desse contexto, Sodré et al. (2018) explicitam que, em anos com alto volume de precipitação concomitante com grande volume de registro de focos de calor, a ocorrência de incêndios é modulada unicamente pelo fator humano. De acordo com Silveira et al. (2020) e Silva Junior et al. (2020a), a entrada em vigor da Lei nº 13.465 no ano de 2017 – que dispõe sobre a regularização fundiária de terras da União ocupadas irregularmente – pode ter colaborado para o aumento do desmatamento e, consequentemente, dos incêndios registrados a partir de 2017.

Nobre e Nobre (2020) explicam que a dinâmica do desmatamento consiste em um círculo vicioso iniciado com a invasão de terras públicas ou áreas protegidas para extração de madeira (corte raso da floresta). Em seguida, essas áreas são transformadas em pastagens intensamente usadas, dando origem a pastagens degradas que são, em sua maior parte, abandonadas e substituídas por novas áreas desmatadas.

Em relação ao uso do fogo, Sodré et al. (2018) detalham que, quando há o desmatamento, geralmente no ínicio da estação seca, a biomassa florestal é deixada para secar por cerca de três meses para, então, ser incinerada, convertendo a matéria orgânica em fertilizante. Esse método, denominado corte e queima, é utilizado por pequenos e grandes proprietários de terras e também em diferentes tipos de florestas:

jovens ou em avançado estágio sucessional (SODRÉ et al., 2018).

Outro fator que pode ter contribuido para esse cenário foi a interrupção do PPCDAm no ano de 2016 e suspenso até o presente. Em vigo de 2012 a 2016, o plano tinha por meta a redução de 80% do desmatamento na Amazônia até 2020 (SILVA JUNIOR et al., 2020a). Desse modo, é visivel a desarticulação gradual das políticas públicas de proteção ao meio ambiente nos últimos anos (CARDIL et al., 2020).

Uma das consequências diretas do desmatamento e das mudanças na cobertura e uso da terra é o aumento da temperatura, da velocidade do vento e a diminuição da umidade devido a perda do dossel (BEZERRA et al., 2014; CARDIL et al., 2020), uma vez que a abertura do dossel proporciona mudanças microclimáticas favoráveis à ocorrência de incêndios (RIBEIRO et al., 2012; PAGE et al., 2017). De acordo com Silveira et al. (2020), um terço dos incêndios apurados na Amazônia ocorre em até 1 km de áreas desmatadas no mesmo ano e até 500 m de áreas desmatadas em ano anterior.

Nesse sentido, Fearnside e Graça (2009), Ribeiro et al. (2012), Ferrante e Fearnside (2020) e Silveira et al. (2020) afirmam haver relações significativas entre focos de calor, desmatamento e proximidade com rodovias. Silveira et al. (2020) apuraram que as áreas com alta incidência de fogo no estado do Amazonas estavam próximas a rodovias, resultado também confirmado neste estudo, em que cerca de 26% dos focos de calor foram registrados a uma distância de até 2 km de vias rodoviárias.

Já Ribeiro et al. (2012), Matin et al. (2017), Page et al. (2017), Sodré et al. (2018) e Cammelli et al. (2020) elencam como fatores determinantes para o alto volume de incêndios em áreas florestadas a proximidade de assentamentos humanos, estradas e terras agrícolas. Também Cochrane (2001), Ribeiro et al. (2012) e Kelley et al. (2020) reiteram a constatação de que os incêndios na Amazonia estão associados ao desmatamento e à gestão do uso da terra.

Silveira et al. (2020) evidenciam o comportamento anômalo do fogo no ano de 2019 no sul do estado do Amazonas, entre outras regiões da Amazônia, mencionando como locais de ocorrência os projetos de assentamentos e ao longo da rodovia BR-230. Ainda de acordo com os autores, terras privadas e áreas de projeto de

assentamento apresentaram ocorrência de incêndios acima da média no estudo realizado, com terras privadas respondendo por 89% das áreas com comportamento atípico do fogo (SILVEIRA et al., 2020).

Neste estudo, as áreas de uso não discriminado (terras públicas e/ou privadas) correspondem a 59% dos focos de calor dectados, enquanto as áreas de assentamentos somaram 32%. Assim, essas áreas totalizaram 91% dos focos de calor apurados no período analisado (2009-2019). Esse percentual encontrado nos projetos de assentamento é próximo ao verificado por Anderson et al. (2017) no estado do Acre, na ordem de 39%.

No tocante às propriedades privadas, Morello et al. (2020) esclarecem que elas são normalmente destinadas à agropecuária e tendem a apresentar um número elevado de focos de calor. Em relação aos projetos de assentamentos, os autores explicam que esses locais são predominantemente ocupados por pequenos produtores rurais, os quais dispõem de poucos recursos financeiros, humanos e instrucionais para o manejo adequado do solo e do uso do fogo (MORELLO et al., 2020).

Os projetos de assentamento no sul do estado do Amazonas foram implantados pelo governo federal como medida de ocupação da região amazônica na década de 1970 e se caracterizam pela transformação da paisagem sob a forma denominada ‘espinha de peixe’, fenômeno descrito por Becker (2001), Fearnside (2009) e Mello-Théry et al. (2020). Tal fenomêno tem seu início a partir da abertura das rodovias federais e de outras vias de circulação floresta adentro, onde, após o desflorestamento, há a utilização do fogo como principal mecanismo de limpeza da área recém desmatada e, posteriormente, na sua manutenção (FERRANTE e FEARNSIDE, 2020; OLIVEIRA et al., 2020).

Cochrane (2001), Marengo et al. (2018) e Nobre e Nobre (2020) ressaltam que o modelo de economia consolidado a partir deste formato de ocupação, baseado na agropecuária e na madeira, é responsavel por 80% do desmatamento na Amazônia e seus altos índices de fragmentação florestal. Ferreira e Watanabe (2020) diagnosticaram que localidades com alto volume de registro de crime florestal – exploração ilegal de madeira – apresentam também volume significativo de desmatamento. Diante desse contexto, Cardil et al. (2020) mencionam que a fronteira agrícola expande-se na ausência de aplicação da lei e do poder público.

Por conseguinte, Anderson et al. (2017), analisando a dinâmica espaço-temporal dos focos de calor no estado do Acre identificaram que o alto volume de focos a Norte no estado estava associado a processos recentes de desmatamentos impulsionados pela pavimentação da rodovia BR-364. Assim, é consolidada na literatura a correlação existente à extração de madeira, seguida da conversão da floresta em pastagem e/ou área de cultivo por meio da utilização do fogo (MORELLO et al., 2020).

De acordo com os dados do Censo Agropecuário 2017 (IBGE, 2020), do rebanho de 1,3 milhão de bovinos existentes no estado do Amazonas, os sete municípios considerado neste estudo (Apuí, Boca do Acre, Canutama, Humaitá, Lábrea, Manicoré e Novo Aripuanã) abrigam 755.941 cabeças, ou seja, 58% do rebanho estadual distribuídos em 4.019 estabelecimentos. E dos diversos produtos agrícolas, tais como café, feijão, milho e arroz, os municípios integrantes da área de estudo figuram entre os dez maiores produtores estaduais (IBGE, 2021).

Além da liderança na produção agrícola e pecuária no estado do Amazonas, a área de estudo também destaca-se pela liderança na extensão de área desmatada e no registro de focos de calor (SEMA, 2020). Ao longo do período analisado neste estudo (2009-2019) foram computados 95.735 focos de calor. Cardil et al. (2020) e Morello et al. (2020) citam a produção agropecuária de um município como um preditor para o desmatamento e, por consequência, para a ocorrência de incêndios de origem agrícola.

Em relação aos municípios, neste estudo, Lábrea liderou os registros, seguido por Apuí, Manicoré, Novo Aripuanã, Boca do Acre, Canutama e Humaitá. Também no estudo conduzido por White (2018), Lábrea permanece no topo da lista, seguida por Apuí, Manicoré, Boca do Acre, Novo Aripuana, Canutama e Humaitá. É possível observar que houve apenas uma inversão na ordem das cidades de Boca do Acre e Novo Aripuanã e que foi mantida a hegemonia das cidades localizadas no Sul no registro de focos de calor no estado do Amazonas.

Considerando a rede hidrográfica local, frisa-se a ocorrência de diversos pontos de calor ao longo do curso de rios, em especial do Rio Madeira, conforme pôde ser visto na Figura 14. Sobre o risco de incêndios a partir da rede hidrográfica, Ribeiro et al. (2012) destacam que os rios possuem um importante papel na análise do comportamento do fogo, e a mensuração do risco é dependente de diversos fatores,

como a dimensão da bacia e o uso que se faz do recurso hidrográfico, entre outros. Ressalta-se que a hidrovia Rio Madeira é a terceira mais importante do país, por onde escoa-se a produção graneleira do estado do Mato Grosso, o local de fixação de inúmeras comunidades, além de ser a principal via de mobilidade fluvial da região (LACERDA, 2004; POMPERMAYER et al., 2014).

De acordo com Sodré et al. (2018), Cardil et al. (2020) e Kelley et al. (2020), a percepção sobre os aspectos antrópicos reforça a importância da inclusão de váriveis socioeconômicas nos estudos sobre o fogo. Assim, o monitoramento e controle do fogo somente são possíveis a partir da compreensão da interação existente entre os fenômenos climáticos, fator humano e dinâmica do fogo (ANDELA et al., 2017; WHITE, 2018; CARDIL et al., 2020).

Em um estudo no Parque Florestal Nacional das Montanhas Troodos no Mediterrâneo, Xofis et al. (2020) identificaram que a intensa ocupação antrópica no local promoveu degradação florestal, onde a vegetação converteu-se em matagais com alta propensão a incêndios. Segundo os autores, a ignição dos incêndios na área de estudo estaria ligada à atividade agropastoril (XOFIS et al., 2020). Andela et al. (2017) e Morello et al. (2020) confirmam que a expansão de áreas agrícolas e desmatamento estão intimamente relacionadas com os registros de incêndio.

Semelhante ao que ocorre no Mediterrâneo, conforme relatado por Xofis et al. (2020), o uso do fogo para preparação de áreas para atividades agropecuárias na Amazônia fragiliza as áreas florestadas próximas às áreas queimadas (PENHA et al., 2020). Ribeiro et al. (2012) explicam que as áreas florestadas limítrofes com estradas e terras agropastoris, geralmente, não possuem nenhuma barreira contra o fogo, o que a fragiliza sobremaneira em caso de incêndios.

Segundo Cochrane (2001) e Page et al. (2017), as bordas da floresta são afetadas drasticamente pelo fogo, sendo que alguns incêndios podem penetrar até 2,5 km pela floresta, mantendo-se aceso por dias no sub-bosque e promovendo mudanças microclimáticas e florísticas no interior da floresta. Nesses casos, Matin et al. (2017) e Page et al. (2017) destacam que a queima do material orgânico no chão da floresta afeta sua regeneração natural, causando uma série de danos e propiciando a formação de mais material combustível para um evento futuro de incêndio.

Assim, o desmatamento associado a secas mais intensas cria condições

favoráveis à expansão do fogo em áreas intactas da floresta (PAGE et al., 2017; CARDIL et al., 2020). Como relatado neste estudo, mesmo não havendo indicativos na literatura de ocorrência de fenômenos climáticos extremos, os últimos quatro anos apresentaram comportamento ascendente no número de focos de calor registrados, com destaque para o ano de 2019, com 15.369 ocorrências. De 2016 a 2019, foram computados 48.253 focos de calor, representando cerca de 50% do total de focos apurados no período analisado (2009-2019).

Embora White (2018) e Xofis et al. (2020) mencionem a baixa probabilidade de incêndios em florestas tropicais, os autores também citam a alta carga combustível existente nessas florestas. Com um intervalo de retorno do fogo curto, as áreas afetadas pelas queimas não conseguem se regenerar e, com isso, a sobrevivência da densa floresta tropical pode ser comprometida (COCHRANE, 2001; MARENGO et al., 2018). Conforme pode ser observado na espacialização dos focos de calor (Figura 14), em geral, o registro de incêndios é recorrente em alguns lugares, tais como em Apuí (ao longo das BR-230 e AM-174), em Boca do Acre (ao longo da BR-317), em Lábrea e ao longo da BR-230 e da BR-319.

Nesse sentido, é importante afirmar que, entre os impactos promovidos pelas mudanças no uso da terra na Amazônia, Marengo e Espinoza (2016), Marengo et al. (2018) e Li et al. (2020) enfatizam as alterações na evapotranspiração e, consequentemente, na ciclagem da água. Marengo et al. (2018), Cardil et al. (2020) e Nobre e Nobre (2020) complementam sugerindo um efeito em cascata a partir da remoção da cobertura vegetal, que afetaria o ciclo da água, o clima e a segurança alimentar, já que o ciclo hidrológico amazônico exerce um importante papel na dinâmica climática regional e global e sustenta a produção agrícola no Brasil.

A despeito das incertezas acerca das mudanças climáticas, em relação ao comportamento do fogo, estima-se que ele seja mais intenso e violento no futuro próximo (COCHRANE, 2001; CARDIL et al., 2020; KELLEY et al., 2020; LIBONATI et al., 2020; XOFIS et al., 2020). A recorrência dos incêndios promove a mortalidade das árvores, produzindo mais material combustível do que o fogo é capaz de consumir no incêndio inicial (COCHRANE, 2001). Embora as mudanças climáticas representem um risco para a Amazônia, as mudanças no uso da terra causadas pelo desmatamento e pelos incêndios constituem-se em um perigo imediato (MARENGO et al., 2018; WHITE, 2018; NOBRE; NOBRE, 2020).

Cabe mencionar o baixo número de focos de calor identificados em áreas sob status de proteção legal: terras indígenas, unidades de conservação federal e estadual, o que também, de forma semelhante, foi encontrado por Anderson et al. (2017). Foram apurados no período analisado (2009-2019) 4.030 focos em unidades de conservação federal, 2.692 em terras indígenas e 629 em áreas de conservação estadual, totalizando 7.351 registros ou 8% dos focos de calor apurados neste estudo. Anderson et al. (2017) e Morello et al. (2020) afirmam que isso se deve, possivelmente, às sanções legais mais severas, evidenciando que, apesar das dificuldades de fiscalização, a proteção proporcionada pela legislação é em parte atendida.

Morello et al. (2020) afirmam que, contraditoriamente, municípios com grandes extensões de áreas protegidas e terras indígenas apresentam números significativamente altos de focos de calor. Esse resultado é observável também neste estudo, visto a área analisada ser recortada por 44 (quarenta e quatro) Unidades de Conservação Federal, 18 (dezoito) Unidades de Conservação Estadual e 39 (trinta e nove) Territórios Indígenas. Todavia, os autores pertinentemente alertam que a contagem se refere ao total apurado no município e que áreas protegidas e terras indígenas apresentaram número de focos bastante reduzido (MORELLO et al., 2020), tal como neste estudo.

Considerando a crise de incêndios na Amazônia ocorrida em 2019, Libonati et al. (2020) e Silveira et al. (2020) acreditam que ela exercerá influência nos próximos anos, visto que, com a conversão da floresta em áreas agrícolas, mais áreas sofrerão queima sazonal. Em relação ao ano de 2019, Cardil et al. (2020) e Kelley et al. (2020) destacam que o comportamento anômalo do fogo não ocorreu devido às condições meteorológicas. É importante ressaltar que a causa dos incêndios está intrinsicamente ligada ao desmatamento e às dinâmicas socioeconômicas vivenciadas na Amazônia, com forte influência de aspectos históricos passados (CARDIL et al., 2020).

Tanto Kelley et al. (2020) quanto Silveira et al. (2020) e Oliveira et al. (2020) chamam atenção para o fato de que o ano de 2019 apresentou níveis elevados de desmatamento no estado do Amazonas. De acordo com Nazareno e Laurance (2020), o aumento no desmatamento em 2019 representa um salto de 50% em relação a 2018, totalizando 10.897 km^2 de áreas desflorestadas. Os municípios do sul do Amazonas possuem um desmatamento acumulado, de 2008 a 2019, de 6.616 km^2, o

que corresponde a 73% do quantitativo registrado para todo o estado (SEMA, 2020).

Cardil et al. (2020), apontam que uma parte considerável dos incêndios ocorridos no ano de 2019 se deu em áreas desmatadas no ano anterior (2018). Lizundia-Loiola et al. (2020) afirmam que o número de focos de calor em 2019 foi 62% maior em relação a 2018. Os dados levantados neste estudo mostram um aumento de 44% no registro de focos de calor em comparação com os registros de 2018. Eles indicam ainda uma propensão crescente nos números nos últimos cinco anos, com somas acima de 10.000 focos ano, tendo seu ápice em ano 2019. Sem nenhuma intervenção, acredita-se na continuidade do aumento dos registros de focos de calor. Essa tendência crescente na série temporal também foi observada por White (2018).

Esse comportamento pode ser reflexo da flexibilização das políticas ambientais implementadas e enfraquecimento do órgão fiscalizador do meio ambiente recentemente (CARDIL et al., 2020; FERRANTE; FEARNSIDE, 2020; KELLEY et al., 2020; LIZUNDIA-LOIOLA et al., 2020; MORELLO et al., 2020; NAZARENO; LAURANCE., 2020; SILVA JUNIOR et al., 2020; 2020a). Especificamente no combate aos incêndios, houve corte de recursos para prevenção e morosidade na contratação de brigadistas (LIBONATI et al., 2020).

Tais acontecimentos se somam ao histórico de má administração do patrimômio natural presente na Amazônia, sobre a qual recaem os efeitos de políticas públicas mal implementadas que contribuem para o desmatamento e para a posse irregular de terras, fomentando conflitos e práticas promotoras de distúrbios ambientais, como os incêndios (MARENGO et al., 2018; FERRANTE; FEARNSIDE, 2020; NAZARENO; LAURANCE, 2020). Como evidenciado neste trabalho, as áreas com registro recorrente de focos de calor referem-se a projetos de assentamento, ao longo de estradas e a áreas de uso não discriminado (terras públicas e/ou privadas) preponderantemente. Ao cruzar os dados de focos de calor com áreas desmatadas os registros coincidem.

Contribui para o agravamento desse cenário a perspectiva de aumento da aridez atmosférica, da temperatura, a diminuição da umidade do ar, da precipitação e da vazão dos rios na Amazônia propiciada pelas mudanças climáticas, o que poderia aumentar o risco de incêndio em até 28 vezes, conforme resultados apresentados nos estudos de Liberato e Brito (2010), Mélo et al. (2011) e Page et al. (2017). Entre os principais fatores causadores de danos ao clima, ressalta-se a queima de biomassa e

as mudanças no uso e cobertura do solo, evidenciadas pela conversão da floresta em áreas agropastoris (MÉLO et al., 2011).

De acordo com Matin et al. (2017), a TST é um dos fatores que mais contribuem para ignição e propagação do fogo. Soma-se a ela a baixa precipitação, uma condição comum durante o inverno na Amazônia, que pode cair para menos de 50 mm por mês (WHITE, 2018). Neste estudo, as áreas com médias de TST mais elevadas (>30ºC) correspondem àquelas antropizadas, desflorestadas e áreas com características de Cerrado, como os Campos Amazônicos. Sobre esse aspecto, Ivo et al. (2020) explicam que, em áreas queimadas há substancial redução de disponibilidade de água no solo e na superficie para transferência para a atmosfera, causando aquecimento do solo e do ar.

Além da temperatura superficial elevada e da antropização, as áreas mais quentes identificadas nesta pesquisa coincidem com locais com altas incidências de focos de calor. Os resultados deste estudo são condizentes com os identificados por Sodré et al. (2018) e White (2018), os quais estimaram que 80% dos focos de calor apurados em seus estudos ocorrem em áreas alteradas pela atividade humana.

Assim, os produtos de sensoriamento remoto constituem-se em um importante instrumento para o monitoramento ambiental (LIZUNDIA-LOIOLA, 2020), especialmente na Amazônia, devido à sua vasta extensão e logística complexa e onerosa. Entretanto, tal técnica possui limitações em razão da intensa cobertura de nuvens existente na região e da dificuldade de detecção de incêndios no sub-bosque (PAGE et al., 2017; WHITE, 2018; PENHA et al., 2020; PESSÔA et al., 2020). Outra limitação apontada por Neves et al. (2018) e White (2018) diz respeito a não detecção de focos de calor de menor proporção, o que pode subestimar as estimativas. Esse fato chama atenção em face do grande número de focos de calor identificados neste trabalho, pois esse quantitativo poderia ser ainda maior, o que também é afirmado por White (2018).

Apesar disso, o uso do sensoriamento remoto é a única opção confiável e operacional para mensuração dos impactos ambientais e socioeconomicos dos eventos de incêndio, especialmente considerando a extensão territorial da Amazônia (PESSÔA et al., 2020). Tendo em vista que a eliminação do fogo é uma prática impossível, Ribeiro et al. (2012) e Xofis et al. (2020) destacam a importância da gestão dos regimes de incêndios afim de que eles causem o menor impacto socioeconômico

e ecológico possível. Além disso, Cardil et al. (2020) frisam que o foco não deve ser dado apenas no controle dos incêndios, mas principalmente nas suas causas.

Silveira et al. (2020) alertam para a ausência de dados sobre a disponibilidade e estratégias de brigadas contra incêndios nas esferas estadual e municipal. Em se tratando da esfera federal, de acordo com Morello et al. (2020), a disposição das brigadas é baseada nos registros de incêndios do ano anterior, o que, segundo os autores, se mostra como uma prática imprecisa pela incompletude de informações avaliadas, pois a gravidade dos incêndios só seria de fato mensurada após a chegada das brigadas nos locais das ocorrências.

Portanto, a espacialização do risco de incêndio contribui para a correta alocação de recursos humanos, financeiros e tecnológicos, tornando a tomada de decisão mais eficiente (RIBEIRO et al., 2012; ANDERSON et al., 2017; MORELLO et al., 220 XOFIS et al., 2020). Quaisquer índices de risco de incêndios necessitam ser adequados e ajustados ao seu local de aplicação (SILVA et al., 2020). Nesse sentido, a identificação da cobertura vegetal é fundamental em estudos de monitoramento de áreas com risco de incêndio (XOFIS et al., 2020).

Morello et al. (2020) afirmam serem pontos negativos a forma de abordagem por estruturas fundiárias (áreas protegidas, terra indígena ou projetos de assentamento) e a consideração regionalizada (meso) dos municípios socioeconomicamente semelhantes. Segundo os autores, essa metodologia não captura a natureza preditora dos incêndios e outros fatores estariam correlacionados além do socioeconômico (MORELLO et al., 2020).

Sobre esse aspecto, pondera-se que apenas uma pesquisa in loco poderia confirmar tais informações, pois, de fato, um estudo realizado a partir de pesquisa bibliográfica e imagens de sensoriamento remoto para levantamento de dados mostra-se como metodologia insuficiente para responder a todos os questionamentos. No entanto, isso não invalida o valor desses estudos, visto que eles proporcionam arcabouço situacional para nortear pesquisas em campo para aprofundamento e detalhamento micro da problemática.

Oportunamente, Anderson et al (2017) ressaltam o caráter simples e eficiente dessa metodologia em locais cuja ignição dos incêndios seja antrópica, tal qual é na área de análise deste estudo. Os autores também destacam que os dados gerados

podem ser agregados em modelos climáticos, otimizando a análise (ANDERSON et al., 2017; WHITE, 2018). White (2018) ainda salienta que dados históricos são um importante elemento na previsão das áreas de risco, uma vez que são produzidas diversas informações sobre locais cuja queima é recorrente e áreas suscetíveis, fornecendo uma excelente ferramenta de análise visual e possibilitando ações para gerenciamento do fogo (RIBEIRO et al., 2012; ANDERSON et al., 2017; WHITE, 2018).

Em seu estudo, Ribeiro et al. (2012) propõem medidas de mitigação do risco de incêndio, tais como: implantação de cortinas verdes; manutenção de aceiros permanentes proporcionais ao tamanho das estradas, pastagens e florestas; definição de pontos de coleta de água para contenção de incêndios; ampla divulgação do risco de incêndio; adoção de medidas educativas e informativas.

Segundo Morello et al. (2020), não há um método robusto de distinção e classificação entre as categorias de fogo. Os autores fazem a distinção entre três categorias de fogo: i) incêndio agrícola; ii) incêndio acidental; iii) incêndio criminoso, em que apenas a primeira categoria estaria relacionada a mudanças no uso e cobertura da terra (MORELLO et al., 2020). Mais uma vez, essas distinções seriam factíveis apenas em um levantamento de campo, pois apenas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto não seria possível fazer tais inferências.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como afirmado anteriormente, o objetivo deste estudo foi analisar a dinâmica espaço-temporal de ocorrência dos riscos de incêndios florestais no sul do Amazonas a partir de um modelo linear de pesos e classificações dos fatores envolvidos na ignição e propagação do fogo. Para alcança-lo, foram analisados, a partir da literatura sobre o tema, os fatores ambientais e antrópicos envolvidos na ignição dos incêndios na Amazônia, considerando, em particular, o recorte espacial compreendido pelos sete municípios localizados no sul do estado do Amazonas: Apuí, Boca do Acre, Canutama, Humaitá, Lábrea, Manicoré e Novo Aripuanã, e o recorte temporal contemplando os eventos da última década, ou seja, de 2009 a 2019.

Com o suporte de técnicas de tratamento de imagens obtidas via sensoriamento remoto e geoprocessamento, foi possível realizar o levantamento dos dados e cruzamento das informações que permitiram a análise e compreensão das variáveis envolvidas no registro de focos de calor na área de estudo.

A partir do diagnóstico histórico, as variáveis ambientais e antrópicas envolvidas no processo de incêndio foram classificadas conforme a sua influência e intensidade de ocorrência e aplicadas em uma fórmula baseada na combinação linear dessas variáveis dentro de um ambiente SIG. Esses procedimentos nos permitiram apresentar a distribuição espacial dos riscos de incêndios florestais no sul do estado do Amazonas. Além disso, a análise forneceu uma estimativa razoável da ocorrência de incêndios na área estudada e foi concordante com o histórico de registros.

Foram computados no período analisado (2009-2019) 95.735 focos de calor ativos na área de estudo. Isso corresponde a uma média anual de 8.703 focos/ano. Os anos de 2010 e de 2015 a 2019 apresentaram registros acima de 10.000. O município de Lábrea liderou na contagem, seguido de Apuí, Manicoré, Novo Aripuanã e Boca do Acre. Humaitá e Canutama são as cidades que menos registraram focos de calor.

Entre as estruturas fundiárias, as áreas de uso não discriminado (que compreendem terras públicas e/ou privadas) e projetos de assentamento são as que concentraram os focos de calor ativos. Assim, unidades de conservação federais, estaduais e terras indígenas são as que menos registraram focos de calor. Destarte, comparando os dados de focos de calor e áreas com desmatamento consolidado

(PRODES) os registros coincidem.

De acordo com os resultados obtidos, tem-se que a ocorrência de incêndios na área de estudo apresenta-se de forma predominantemente aglomerada e persistente em determinados pontos. A partir da literatura, evidenciou-se que o uso do fogo é uma prática atrelada a acontecimentos sociais historicamente construídos. Um ato enraizado nas atividades agropastoris na Amazônia consiste em uma das principais ameaças para a sua conservação, que não é uma prática isolada, mas associada a outra igualmente danosa, como o desmatamento.

Conforme relatado na literatura e constatado durante a construção deste trabalho, compreende-se que a ocorrência de incêndios na Amazônia não é explicada por um fator apenas, mas pela sinergia de fatores ambientais e antrópicos, o que atesta a natureza complexa desse fenômeno.

9. REFERÊNCIAS

ADAB, H.; KANNIAH, K. D.; SOLAIMANI, K. Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. **Nat Hazards,** v. 65, p. 1723-1743, 2013. DOI: https://doi.org/10.1007/s11069-012-0450-8.

ACKER, A.; OLIVEIRA, N. C. C. Tales of the Transamazonian: Hope and Disillusionment on a Route of Ecological Migrations. **Interdisciplinary Studies in Literature and Environment,** v. 24, n. 2, p. 306-324, 2017. DOI: https://doi.org/10.1093/isle/isx012.

ALMEIDA, C. T.; DELGADO, R. C.; OLIVEIRA JUNIOR, J. F.; GOIS, G.; CAVALCANTI, A. S. Avaliação das estimativas de precipitação do produto 3B43-TRMM do estado do Amazonas. **Floresta e Ambiente,** v. 22, n. 3, p. 279-286, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.112114.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.

ALVES, N. O.; BRITO, J.; CAUMO, S.; ARANA, A.; HACON, S. S.; ARTAXO, P.; HILLAMO, R.; TEINILÄ, K.; MEDEIRO, S. R. B.; VASCONCELLOS, P. C. Biomass burning in the Amazon region: aerosol source apportionment and associated health risk assessment. **Atmospheric Environment,** v. 120, p. 277-285, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.08.059.

ALVES, R. C.; TRES, A.; SOARES, R. V.; WENDLING, W. T.; TETTO, A. F. Classificação climática para o estado do Amazonas segundo as zonas de vida de Holdridge. **Revista de Ciências Agrárias,** v. 62, p. 1-12, 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.3095.

ANDELA, N.; MORTON, D. C.; GIGLIO, L.; CHEN, Y.; VAN DER WERF, G. R.; KASIBHATLA, P. S.; DEFRIES, R. S.; COLLATZ, G. J.; HANTSON, S.; KLOSTER, S.; BACHELET, D.; FORREST, M.; LASSLOP, G.; LI, F.; MANGEON, S.; MELTON, J. R.; YUE, C.; RANDERSON, J. T. A human-driven decline in global burned area. **Science,** n. 356, p. 1356-1362, 2017. DOI: https://doi.org/10.1126/science.aal4108.

ANDERSON, L. O.; YAMAMOTO, M.; CUNNINGHAM, C.; FONSECA, M. G.; FERNANDES, L. K.; PIMENTEL, A.; BROWN, F.; SILVA JUNIOR, C. H. L.; LOPES, E. S. S.; MOREIRA, D. S.; SALAZAR, N.; ANDERE, L.; ROSAN, T. M.; REIS, V.; ARAGÃO, L. E. O. C. Utilização de dados orbitais de focos de calor para caracterização de riscos de incêndios florestais e priorização de áreas para a tomada de decisão. **Revista Brasileira de Cartografia,** v. 69, n. 1, p. 163-177, 2017.

ARAGÃO, L. E. O. C.; SHIMABUKURO, Y. E. The incidence of fire in Amazonian

Forests with implications for REDD. **Science,** v. 328, p. 1275-1278, 2010. DOI: https://doi.org/10.1126/science.1186925.

ARANA, A. R. A.; VAGULA, P. R. O macrozoneamento ecológico-econômico da Amazônia Legal. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 9, n 4, p. 1110-1121, 2016.

ASSIS, L. F. F. G.; FERREIRA, K. R.; VINHAS, L.; MAURANO, L.; ALMEIDA, C.; CARVALHO, A.; RODRIGUES, J.; MACIEL, A.; CAMARGO, C. TerraBrasilis: a spatial data analytics infrastructure for large-scale thematic mapping. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 513, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/ijgi8110513.

BARLOW, J.; BERENGUER, E.; CARMENTA, R.; FRANÇA, F. Clarifying Amazonia's burning crisis. **Global Change Biology,** v. 26, n. 2, p. 319-321, 2020. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.14872.

BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. **Acta Amazonica,** v. 35, n. 2, p. 239-247, 2005. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672005000200014.

BECKER, B. K. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários? **Parcerias Estratégicas,** v. 6, n. 12, p. 135-159, 2001.

BERENGUER, E.; CARVALHO, N.; ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C.; FRANÇA, F.; BARLOW, J. Improving the spatial-temporal analysis of Amazonian fires. **Global Change Biology,** n. 27, p. 469-471, 2020. DOI: https://doi.org/10.1111/gcb.15425.

BEZERRA, J. M.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B.; LOPES, P. M. O.; SILVA, E. F. F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,** v. 18, n. 1, p. 73-84, 2014.

BIZZO, E.; FARIAS, A. L. A. Priorização de municípios para prevenção, monitoramento e controle de desmatamento na Amazônia: uma contribuição à avaliação do Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm). **Desenvolvimento e Meio Ambiente,** v. 45, p. 135-159, 2017. DOI: https://doi.org/10.5380/dma.v42i0.53542.

BOWMAN, M. S.; AMACHER, G. S.; MERRY, F. D. Fire use and prevention by traditional households in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics,** v. 67, p. 117-130, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.12.003.

BRASIL. **Decreto nº 7.378 de 1º de dezembro de 2010.** Aprova o Macrozoneamento

Ecológico-Econômico da Amazônia Legal - MacroZEE da Amazônia Legal, altera o Decreto no 4.297, de 10 de julho de 2002, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7378.htm. Acesso em: setembro de 2020.

BRASIL. MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal** (PPCDAm): Fase 2016-2020. Brasília, DF: MMA, 2018.

BRASIL. MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Planos de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal** (PPCDAm) e no Cerrado (PPCerrado): Balanço de execução 2016-2020. Brasília, DF: MMA, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/servicosambientais/controle-de-desmatamento-e-incendios-florestais/pdf/BalanoPPCDAmePPCerrado_2019_aprovado.pdf. Acesso em: setembro de 2020.

BRASIL. MMA – Ministério do Meio Ambiente. **MacroZEE da Amazônia Legal.** Estratégias de transição para a sustentabilidade. Disponível em: https://www.mma.gov.br/gestao-territorial/zoneamento-territorial/macrozee-da-amaz%C3%B4nia-legal.html. Acesso em: setembro de 2020.

BRASIL. MDR – Ministério de Desenvolvimento Regional. **Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE).** Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/informacoes-uteis/centro-nacional-de-gerenciamento-de-riscos-e-desastres-cenad. Acesso em: setembro de 2020a.

CARDIL, A.; MIGUEL, S.; SILVA, C. A.; REICH, P. B.; CALKIN, D.; BRANCALION, P. H. S.; VIBRANS, A.; GAMARRA, J. G. P.; ZHOU, M.; PIJANOSKI, B. C.; HUI, C.; CROWTHER, T. W.; HÉRAULT, B.; PIOTTO, D.; SALAS-ELJATIB, C.; BROADBENT, E. N.; ZAMBRANO, A. M. A.; PICARD, N.; ARAGÃO, L. E O. C.; BASTIN, J. F.; ROUTH, D.; HOOGEN, J. V. D.; PERI, P. L.; LIANG, J. Recent deforestation drove the spike in Amazonian fires. **Environmental Research Letters,** v. 15, p. 1-6, 2020. DOI: https://doi.org/10.1088/1748-9326/abcac7.

CARVALHO JUNIOR, E. A. R.; MENDONÇA, E. N.; MARTINS, A.; HAUGAASEN, T. Effects of illegal logging on Amazonian medium and large-sized terrestrial vertebrates. **Forest Ecology and Management,** v. 466, p. 1-9, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118105.

CAMMELLI, F.; ANGELSEN, A. Amazonian farmers' response to fire policies and climate change. **Ecological Economics,** v. 165, p. 1-10, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106359.

CAMMELLI, F.; COUDEL, E.; ALVES, L. F. N. Smallholders' perceptions of fire in the Brazilian Amazon: exploring implications for governance arrangements. **Human Ecology,** v. 47, p. 601-612, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s10745-019-00096-6.

CAMMELLI, F.; GARRETT, R. D.; BARLOW, J.; PARRY, L. Fire risk perpetuates poverty and fire use among Amazonian smallholders. **Global Environmental Change,** v. 63, p. 1-10, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102096.

CAMPANHARO, W. A.; LOPES, A. P.; ANDERSON, L. O.; SILVA, T. F. M. R.; ARAGÃO, L. E. O. C. Translating fire impacts in Southwestern Amazonia into economic costs. **Remote Sensing,** v. 11, n. 764, p. 1-24, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/rs11070764.

CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; JUNIOR, V. S. S.; FILHO, M. R. R.; ALMEIDA, M. C. Topossequência de solos na transição Campos Naturais-Floresta na região de Humaitá, Amazonas. **Acta Amazonica,** v. 42, n. 3, p. 387-398, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000300011.

CASAVECCHIA, B. H.; SOUZA, A. P.; STANGERLIN, D. M.; ULIANA, E. M.; MELO, R. R. Índices de perigo de incêndios em uma área de transição Cerrado-Amazônia. **Revista de Ciências Agrárias,** v. 42, n. 3, p. 842-854, 2019. DOI: https://doi.org/10.19084/rca.17756.

CELENTANO, D.; MIRANDA, M. V. C.; MENDONÇA, E. N.; ROUSSEAU, G. X.; MUNIZ, F. H.; LOCH, V. C.; VARGA, I. V. D.; FREITAS, L.; ARAÚJO, P.; NARVAES, I. S.; ADAMI, M.; GOMES, A. R.; RODRIGUES, J. C.; KAHWAGE, C.; PINHEIRO, M.; MARTINS, M. Desmatamento, degradação e violência no "Mosaico Gurupi' – A região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos Avançados,** v. 32, n. 92, p. 315-339, 2018. DOI: https://doi.org/10.5935/0103-4014.20180021.

CIDREIRA J. H.; CAVALCANTE, M. R. V. Novas (s) Fronteiras(s): um estudo sobre as políticas de integração regional na Amazônia Acreana. **Paiaguás,** v. 1, n. 2, p. 119-130, 2015.

CLAUDINO-SALES, V. Riscos socioambientais no Norte do país: incêndios na Amazônia brasileira. **Casa da Geografia de Sobral,** v. 21, n. 3, p. 22-32, 2019.

COCHRANE, M. A. Synergistic interactions between habitat fragmentation and fire in evergreen tropical forests. **Conservation Biology,** v. 15, n. 6, p. 1515-1521, 2001. DOI: https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2001.01091.x.

COCHRANE, M. A. Fire science for rainforests. **Nature,** v. 421, p. 913-919, 2003. DOI: https://doi.org/10.1038/nature01437.

DELAZERI, L. M. Determinantes do desmatamento nos municípios do Arco Verde – Amazônia Legal: uma abordagem econométrica. **Economia-Ensaios,** v. 30, n. 2, p. 11-34, 2016.

EUGENIO, F. C.; SANTOS, A. R.; FIEDLER, N. C.; RIBEIRO, G. A.; SILVA, A. G.; SANTOS, A. B.; PANETO, G. G.; SCHETTINO, V. R. Applying GIS to develop a model

for forest fire risk: A case study in Espírito Santo, Brazil. **Journal of Environmental Managment,** v. 176, p. 65-71, 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.021.

FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A. Br-319: a rodovia Manaus-Porto Velho e o impacto potencial de conectar o arco de desmatamento à Amazônia central. **Novos Cadernos NAEA,** v. 12, n. 1, p. 19-50, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.5801/ncn.v12i1.241.

FEARNSIDE, P. M. Global warming in Amazonia: impacts and mitigation. **Acta Amazonica,** v. 39, n. 4, p. 1003-1012, 2009. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000400030.

FERRANTE, L.; FEARNSIDE P. M. The Amazon's road to deforestation. **Science**, v. 369, p. 634, 2020. DOI: https://doi.org/10.1126/science.abd6977.

FERREIRA, J. C. S.; WATANABE, C. Y, V. Rondônia: crime florestal em números (2013-2018). **Rara,** v. 12, n. 1, p. 321-376, 2020. DOI: https://doi.org/10.18361/2176-8366/rara.v12n1p321-376.

GHORBANZADEH, O.; BLASCHKE, T.; GHOLAMNIA, K.; ARYAL, J. Forest Fire Susceptibility and Risk Mapping Using Social/Infrastructural Vulnerability and Environmental Variables. **Fire,** v. 2, n. 50, p. 1-27, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/fire2030050.

GIGLIO, L.; DESCLOITRES, J.; JUSTICE, C. O.; KAUFMAN, Y. J. An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. **Remote Sensing of Environmental,** n. 87, p. 273-282, 2003. DOI: https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00184-6.

GIGLIO, L.; JUSTICE, C. O. **MOD14A1 MODIS/Terra Anomalias Térmicas/Fogo 8 Dias L3 Global 1km SIN Grid V006**. NASA EOSDIS Processos Terrestres DAAC. 2015. DOI: https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD14A1.006.

GIGLIO, L.; SCHROEDER, W.; HALL, J. V.; JUSTICE, C. O. **MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide Revision C.** Collection 6. University of Maryland, 2020. Disponível em: https://lpdaac.usgs.gov/documents/876/MOD14_User_Guide_v6.pdf. Acesso em: dezembro de 2020.

GONÇALVES, K. S.; WINKLER, M. S.; BARBOSA, P. R. B.; HOOGH, K.; ARTAXO NETTO, P. E.; HACON, S. S.; SCHINDLER, C.; KÜNZLI, N. Development of non-linear models predicting daily fine particle concentrations using aerosol optical depth retrievals and ground-based measurements at a municipality in the Brazilian Amazon region. **Atmospheric Environment,** v. 184, p. 156-165, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.03.057.

GUTBERLET, J. Zoneamento da Amazônia: uma visão crítica. **Estudos Avançados,** v. 16, n. 46, p. 157-174, 2002. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-40142002000300013.

HUFFMAN, G.J.; ADLER, R.F.; BOLVIN, D.T.; NELKIN, E.J. **The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA)**. Chapter 1 in Satellite Rainfall Applications for Surface Hydrology, 2010. DOI: https://doi.org/10.1007/978-90-481-2915-7.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades.** Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/panorama. Acesso em: setembro de 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017.** Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html. Acesso em: fevereiro de 2021.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto TOPODATA:** banco de dados geomorfométricos do Brasil. Variáveis geomorfométricas locais. São José dos Campos, 2008.

IVO, I. O.; BIUDES, M. S.; VOURLITIS, G. L.; MACHADO, N. G.; MARTIM, C. C. Effect of fires on biophysical parameters, energy balance and evapotranspiration in a protected area in the Brazilian Cerrado. **Remote Sensing Applications: Society and Environment,** v. 20, p. 1-33, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100342.

KELLEY, D. I.; BURTON, C.; HUNTINGFORD, C.; BROWN, M. A. J.; WHITLEY, R.; DONG, N. Technical note: Low meteorological influence found in 2019 Amazonia fires. **Biogeosciences Discussions,** pre-print, maio de 2020. DOI: https://doi.org/10.5194/bg-2020-123.

KIRCHHOFF, V. W. J. H.; NAKAMURA, Y.; MARINHO, E. V. A.; MARIANO, M. M. Excess ozone production in Amazonia from large scale burnings. **Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics,** v. 54, n. 5, p. 583-588, 1992. DOI: https://doi.org/10.1016/0021-9169(92)90098-6.

KOHLHEPP, G. Conflitos de interesse no ordenamento territorial da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados,** v. 16, n. 45, p. 37-61, 2002. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-40142002000200004.

LACERDA, S. M. Evolução recente do transporte hidroviário de cargas. **BNDES Setorial**, n. 20, p. 253-280, 2004. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2434. Acesso em: novembro de 2020.

LEIVAS, J. F.; RIBEIRO, G. G.; SOUZA, M. B.; ROCHA FILHO, J. Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus. **Anais** do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto,

p. 1611-1616, 2009.

LI, X.; SONG, K.; LIU, G. Wetland fire scar monitoring and its response to changes of the Pantanal wetland. **Sensors,** v. 20, p. 1-17, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/s20154268.

LIBERATO, A. M.; BRITO, J. I. B. Influência de mudanças climáticas no balanço hídrico da Amazônia ocidental. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 3, p. 170-180, 2010.

LIBONATI, R.; DACAMARA, C. C.; PERES, L. F.; CARVALHO, L. A. S.; GARCIA, L. C. Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands. **Nature,** v. 588, p. 217-219, 2020. DOI: https://doi.org/10.1038/d41586-020-03464-1.

LIESENFELD, M. V. A.; VIEIRA, G.; MIRANDA, I. P. A. Ecologia do fogo e o impacto na vegetação da Amazônia. **Brazilian Journal of Foresty Research,** v. 36, n. 88, p. 505-517, 2016. DOI: https://doi.org/10.4336/2016.pfb.36.88.1222.

LIU, J. C.; PEREIRA, G.; UHL, S. A.; BRAVO, M. A.; BELL, M. L. A systematic review of the physical health impacts from non-occupational exposure to wildfire smoke. **Environmental Research,** v. 136, p. 120-132, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2014.10.015.

LIZUNDIA-LOIOLA, J.; PETTINARI, M. L.; CHIVIECO, E. Temporal anomalies in burned area trends: satellite estimations of the Amazonian 2019 fire crisis. **Remote Sensing,** v. 12, n. 151, p. 1-8, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/rs12010151.

LOUREIRO, V. R.; PINTO, J. N. A. A questão fundiária na Amazônia. **Estudos Avançados,** v. 19, n. 54, p. 77-98, 2005. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142005000200005.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. **International Journal of Climatology,** v. 36, p. 1033-1050, 2016. DOI: https://doi.org/10.1002/joc.4420.

MARENGO, J. A.; SOUZA JUNIOR, C. M.; THONICKE, K.; BURTON, C.; HALLADAY, K.; BETTS, R. A.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R. Changes in climate and land use over the Amazon region: current and future variability and trends. **Frontiers in Earth Science,** v. 6, p. 1-21, 2018. DOI: https://doi.org/10.3389/feart.2018.00228.

MACHADO-SILVA, R.; LIBONATI, R.; LIMA, T. F. M.; PEIXOTO, R. B.; FRANÇA, J. R. A.; MAGALHÃES, M. A. F. M.; SANTOS, F. L. M.; RODRIGUES, J. A.; DACAMARA, C. C. Drought and fires influence the respiratory diseases hospitalizations in the Amazon. **Ecological Indicators,** v. 109, p. 1-13, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105817.

MATIN, M. A.; CHITALE, V. S.; MURTHY, M. S. R.; UDDIN, K.; BAJRACHARYA, B.; PRADHAN, S. Understanding forest fire patterns and risk in Nepal using remote sensing, geographic information system and historical fire data. **International Journal of Wildland Fire**, v. 26, p. 276-286, 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1071/WF16056.

MÉLO, A. S.; JUSTINO, F.; LEMOS, C. F.; SEDIYAMA, G.; RIBEIRO, G. Suscetibilidade do ambiente a ocorrências de queimadas sob condições climáticas atuais e de futuro aquecimento global. **Revista Brasileira de Meteorologia,** v. 26, n. 3, p. 401-418, 2011.

MELLO-THÉRY, N. A.; THÉRY, H.; SILVA, A. S. Assentamentos "de reforma agrária", aspectos geográficos, ambientais e sociais. **Geofronter,** n. 6, p. 01-14, 2020.

MORAES, E. C.; MATAVELI, G. A.; SANTOS, P. R.; OLIVEIRA, B. S. Estudo da dinâmica de queimada no bioma Pantanal no período de 2002 a 2015. **Anais** do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 3423-3430, 2017.

MORELLO, T. F.; RAMOS, R. M.; ANDERSON, L. O.; OWEN, N.; ROSAN, T. M.; STEIL, L. Predicting fires for policy making: Improving accuracy of fire brigade allocation in the Brazilian Amazon. **Ecological Economics,** v. 169, p. 1-14, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106501.

MOTA, P. H. S.; ROCHA, S. J. S. S.; CASTRO, N. L. M.; MARCATTI, G. E.; FRANÇA, L. C. J.; SCHETTINI, B. L. S.; VILLANOVE, P. H.; SANTOS, H. T.; SANTOS, A. R. Forest fire hazard zoning in Mato Grosso State, Brazil. **Land Use Policy,** v. 88, p. 1-6, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104206.

NASA – National Aeronautics and Space Administration. **MODIS Land**. Disponível em: https://modis-land.gsfc.nasa.gov/MODLAND_grid.html. Acesso em: outubro de 2020.

NAZARENO, A. G.; LAURANCE, W. F. Investors can help rein in Amazon deforestation. **Science,** v. 369, p. 635-636, 2020. DOI: https://doi.org/10.1126/science.abd7578.

NEVES, L. F. S.; MARIMON, B. S.; ANDERSON, L. O.; NEVES, S. M. A. S. Dinâmica de fogo no Parque Estadual do Araguaia, zona de transição Amazônia-Cerrado. **Ra'EGA,** v. 44, p. 85-103, 2018. DOI: https://doi.org/10.5380/raega.

NOBRE, C. A.; NOBRE, I. The need of a novel sustainable development paradigm for the Amazon. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental - IPEA,** n. 22, p. 159-170, 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.38116/brua22art12.

NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E. P.; GALVÍNCIO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental. **Revista de Geografia,** v. 25, n. 1, p. 6-20, 2008.

OLIVEIRA, G.; CHEN, J. M.; STARK, S. C.; BERENGUER, E.; MOUTINHO, P.; ARTAXO, P.; ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C. Smoke pollution's impacts in Amazonia. **Science,** v. 369, p. 634-635, 2020. DOI: https://doi.org/10.1126/science.abd5942.

PAIVA, P. F. P. R.; RUIVO, M. L. P.; SILVA JUNIOR, O. M.; MACIEL, M. N. M.; BRAGA, T. G. M.; ANDRADE, M. M. N.; SANTOS JUNIOR, P. C.; ROCHA, E. S.; FREITAS, T. P. M.; LEITE, T. V. S.; GAMA, L. H. O. M.; SANTOS, L. S.; SILVA, M. G.; SILVA, E. R. R.; FERREIRA, B. M. Deforestation in protect areas in the Amazon: a threat to biodiversity. **Biodiversity and Conservation,** v. 29, p. 19-38, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s10531-019-01867-9.

PAGE, Y. L.; MORTON, D.; HARTIN, C.; BOND-LAMBERTY, B.; PEREIRA, J. M. C.; HURTT, G.; ASRAR, G. Synergy between land use and climate change increases future fire risk in Amazon forests. **Earth System Dynamics,** v. 8, p. 1237-1246, 2017. DOI: https://doi.org/10.5194/esd-8-1237-2017.

PENHA, T. V.; KÖRTING, T. S.; FONSECA, L. M. G.; SILVA JUNIOR, C. H. L.; PLETSCH, M. A. J. S.; ANDERSON, L. O.; MORELLI, F. Burned Area Detection in the Brazilian Amazon using Spectral Indices and GEOBIA. **Revista Brasileira de Cartografia,** v. 72, n. 2, p. 253-269, 2020. DOI: DOI: http://dx.doi.org/10.14393/rbcv72n2-48726.

PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Avaliação dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos,** v. 18, n. 3, p. 139-148, 2013.

PESSÔA, A. C. M.; ANDERSON, L. O.; CARVALHO, N. S.; CAMPANHARO, W. A.; SILVA JUNIOR, C. H. L.; ROSAN, T. M.; REIS, J. B. C.; PEREIRA, F. R. S.; ASSIS, M.; JACON, A. D.; OMETTO, J. P.; SHIMABUKURO, Y. E.; SILVA, C. V. J.; PONTES-LOPES, A.; MORELLO, T. F.; ARAGÃO, L. E. O. C. Intercomparison of burned área products and its implication for carbon emission estimations in the Amazon. **Remote Sensing,** v. 12, p. 1-24, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/rs12233864.

PIROMAL, R. A. S.; RIVERA-LOMBARDI, R. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; KRUG, T. Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Acta Amazonica,** v. 38, n. 1, p. 77-84, 2008. DOI: https://doi.org/10.1590/S0044-59672008000100009.

POMPERMAYER, F. M.; CAMPOS NETO, C. A. S.; DE PAULA, J. M. P. **Hidrovias no Brasil: perspectivas históricas, custos e institucionalidades**. Texto para discussão nº 1931. Instituto de Pesquisa Econômica e Aplicada (IPEA), 2014. Brasília/DF.

QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2020. **QGIS Geographic Information System.** Open-Source Geospatial Foundation Project. Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/.

R CORE TEAM, 2020. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: https://www.R-project.org/.

RIBEIRO, V.; SOARES, R. V.; BEPLLER, M. Mapeamento do risco de incêndios florestais no município de Novo Mundo, Mato Grosso, Brasil. **Revista CERNE,** v. 18, n. 1, p. 117-126, 2012.

ROCHA, M. I. S.; NASCIMENTO, D. T. F. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física,** v. 14, n. 3, p. 1220-1235, 2021.

ROY, P. S. Forest Fire and Degradation Assessment using Satellite Remote Sensing and Geographic Information System. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology - Proceedings of the Training Workshop, 7-11 July, 2003, Dehra Dun, India. **World Meterological Organization – WMO/TD nº 1182,** 2004**.** Disponível em: http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/WMO-TD1182.pdf. Acesso em: janeiro de 2021.

SANTANA, N. C.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; GUIMARÃES, R. F. Burned-Area Detection in Amazonian Environments Using Standardized Time Series Per Pixel in MODIS Data. **Remote Sensing,** v. 10, p. 1-27, 2018. DOI: https://doi.org/10.3390/rs10121904.

SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amazonas. **Plano Estadual de Preservação e Combate ao Desmatamento e Queimadas do Amazonas, 2020-2022.** Disponível em: http://meioambiente.am.gov.br/wp-content/uploads/2020/06/PPCDQ-AM-LOGO-CI-ALTERADA.pdf. Acesso em: setembro de 2020.

SILVA, P. R. S.; IGNOTTI, E.; OLIVEIRA, B. F. A.; JUNGER, W. L.; MORAIS, F.; ARTAXO, P.; HACON, S. High risk of respiratory diseases in children in the fire period in Western Amazon. **Revista de Saúde Pública,** v. 50, n. 29, p. 1-11, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/S1518-8787.2016050005667.

SILVA, I. D. B.; VALLE, M. E.; BARROS, L. C.; MEYER, J. F. C. A. A wildfire warning system applied to the state of Acre in the Brazilian Amazon. **Applied Soft Computing Journal,** v. 89, p. 1-15, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106075.

SILVA JUNIOR, C. H. L.; CELENTANO, D.; ROUSSEAU, G. X.; MOURA, E. G.; VARGA, I. V. D.; MARTINEZ, C.; MARTINS, M. Amazon forest on the edge of collapse in the Maranhão State, Brazil. **Land Use Policy,** v. 97, p. 1-6, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104806.

SILVA JUNIOR, C. H. L.; PESSÔA, A. C. M.; CARVALHO, N. S.; REIS, J. B. C.;

ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C. The Brazilian Amazon deforestation rate in 2020 is the greatest of the decade. **Nature Ecology & Evolution,** p. 1-2, 2020a. DOI: https://doi.org/10.1038/s41559-020-01368-x.

SILVEIRA, M. V. F.; PETRI, C. A.; BROGGIO, I. S.; CHAGAS, G. O.; MACUL, M. S.; LEITE, C. C. S. S.; FERRARI, E. M. M.; AMIN, C. G. V.; FREITAS, A. L. R.; MOTTA, A. Z. V.; CARVALHO, L. M. E.; SILVA JUNIOR, C. H. L.; ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C. Drivers of fire anomalies in the Brazilian Amazon: lessons learned from the 2019 fire crisis. **Land,** v. 9, n. 516, p. 1-24, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/land9120516.

SODRÉ, G. R. C.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, J. V.; MORAES, B. C. Cálculo de risco e detecção de queimadas: uma análise na Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais,** v. 49, p. 1-14, 2018. DOI: https://doi.org/10.5327/Z2176-947820180345.

SZPAKOWSKI, D. M.; JENSEN, J. L. R. A review of the applications of remote sensing in fire ecology. **Remote Sensing,** v. 11, p. 1-31, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/rs11222638.

TASKER, K. A.; ARIMA, E. Fire regimes in Amazonia: the relative roles of policy and precipitation. **Anthropocene,** v. 14, p. 46-57, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ancene.2016.06.001.

TOURNEAU, F. M.; BURSZTYN, M. Assentamentos rurais na Amazônia: contradições entre a política agrária e a política ambiental. **Ambiente & Sociedade,** v. 13, n. 1, p. 111-130, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S1414-753X2010000100008.

TRANCOSO, R.; FILHO, A. C.; FERREIRA, D. A. C.; NOGUERA, S. P. Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta para o diagnóstico e gestão de macrobacias no arco do desmatamento na Amazônia. **Anais** do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 2405-2412, 2005.

WHITE, B. L. A. Spatiotemporal variation in fire occurrence in the state of Amazonas, Brazil, between 2003 and 2016. **Acta Amazonica,** v. 48, n. 4, p. 358-367, 2018. DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1809-4392201704522.

WHITE, B. L. A. Satellite detection of wildland fires in South America. **Floresta,** v. 49, n. 4, p. 851-858, 2019. DOI: https://doi.org/10.5380/rf.v49 i4.60117.

XOFIS, P.; KONSTANTINIDIS, P.; PAPADOPOULOS, I.; TSIOURLIS, G. Integrating remote sensing methods and fire simulation models to estimate fire hazard in a South-east Mediterranean protected area. **Fire,** v. 3, n. 31, p. 1-23, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/fire3030031.

WAN, Z. **MODIS Land surface temperature products users' guide**. Collection 6.

ERI, University of California, Santa Barbara, 2013. Disponível em: https://lpdaac.usgs.gov/documents/118/MOD11_User_Guide_V6.pdf. Acesso em: outubro de 2020.

WAN, Z.; HOOK, S.; HULLEY, G. **MOD11A2 MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid V006.** NASA EOSDIS Land Processes DAAC. 2015. DOI: https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD11A2.006.