



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DE BALSAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

LUANA LOURENÇO DE ARAÚJO

**DINÂMICA SAZONAL DOS FOCOS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE BALSAS - MA:
MAPEAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO E A CORRELAÇÃO
CLIMATOLÓGICA (2020 - 2025)**

BALSAS - MA

2025



LUANA LOURENÇO DE ARAÚJO

**DINÂMICA SAZONAL DOS FOCOS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE BALSAS - MA:
MAPEAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO E A CORRELAÇÃO
CLIMATOLÓGICA (2020 - 2025)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Engenharia Ambiental da Universidade
Federal do Maranhão Campus Balsas,
como requisito parcial para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia
Ambiental.

**Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula de
Melo e Silva Vaz**

BALSAS - MA
2025

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

Lourenço de Araújo, Luana.

DINÂMICA SAZONAL DOS FOCOS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE
BALSAS - MA: MAPEAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO E A
CORRELAÇÃO CLIMATOLÓGICA 2020 - 2025 / Luana Lourenço de
Araújo. - 2025.

87 p.

Orientador(a): Ana Paula de Melo e Silva Vaz.

Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do
Maranhão, Balsas - Ma, 2025.

1. Queimadas. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Análise de
Componentes Principais. I. de Melo e Silva Vaz, Ana
Paula. II. Título.


LUANA LOURENÇO DE ARAÚJO

**DINÂMICA SAZONAL DOS FOCOS DE CALOR NO MUNICÍPIO DE BALSAS - MA:
MAPEAMENTO POR SENSORIAMENTO REMOTO E A CORRELAÇÃO
CLIMATOLÓGICA (2020 - 2025)**


Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Engenharia Ambiental da Universidade
Federal do Maranhão Campus Balsas,
como requisito parcial para obtenção do
grau de Bacharel em Engenharia
Ambiental.

Aprovado em 12 de dezembro de 2025.


Banca Examinadora

Documento assinado digitalmente
 ANA PAULA DE MELO E SILVA VAZ
Data: 19/12/2025 11:33:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Ana Paula de Melo e Silva Vaz - UFMA

Documento assinado digitalmente
 CLAUDIO LUIS DE ARAUJO NETO
Data: 24/12/2025 12:15:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Cláudio Luís de Araújo Neto - UFMA

Documento assinado digitalmente
 DEBORA BATISTA PINHEIRO SOUSA
Data: 19/12/2025 12:52:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Débora Batista Pinheiro Sousa - UFMA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em especial à minha avó, Maria das Dores, (*in memoriam*), cuja luz das lembranças iluminam meus dias. À minha mãe, Valdira, minha maior força e amor. Para vocês e por vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao dono dos meus dias, Jesus Cristo, que em todas as vezes que orei ouviu minhas súplicas, concedendo-me força, coragem e sabedoria para seguir em frente.

Agradeço à minha versão de 18 anos — a jovem Luana que, mesmo com tão pouco, persistiu e não permitiu que as limitações impedissem seus sonhos. Que enfrentou o sol e a chuva a pé para chegar à universidade, e, ainda assim, não desistiu.

À minha querida avó, que hoje brilha no céu e continua iluminando meus dias. Obrigada por ter vibrado de alegria ao saber que eu ingressaria na universidade. O seu sorriso me mostrou que eu estava trilhando o caminho certo.

À minha mãe, minha luz, minha força e meu combustível diário. Obrigada por ser meu maior exemplo de amor e resiliência.

À minha irmã, Letícia, e aos meus sobrinhos, Leandro e Mariane, que, mesmo indiretamente, contribuíram para esta conquista. Minha família, meu alicerce, meu sangue!

À minha orientadora, Dra. Ana Paula, minha eterna gratidão pela orientação dedicada, pela paciência e por todos os ensinamentos que tornaram possível a realização deste trabalho.

Agradeço também a Mirian Saraiva, Kamilla Pires, Eduarda Miranda e Maria Eduarda Eckert, por todo o incentivo, pelas palavras de motivação e por nunca deixarem que eu desistisse. Vocês são especiais para mim!

Com muito carinho e amor, obrigada.

Para tudo há uma ocasião certa; há um
tempo certo para cada propósito debaixo
do céu.

Eclesiastes 3:1

RESUMO

A intensificação das queimadas no bioma Cerrado tem provocado inúmeros impactos ambientais, afetando principalmente a biodiversidade, o solo e o equilíbrio climático. O município de Balsas – MA, localizado na região do MATOPIBA, que abrange os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, apresenta elevado número de focos de calor, influenciado pelas condições climáticas, já que apresenta estação seca bem definida ao longo do ano. Diante desse cenário, a presente pesquisa buscou analisar a dinâmica espaço-temporal dos focos de calor no município de Balsas entre o terceiro trimestre de 2020 e o segundo trimestre de 2025, bem como analisar os dados mapeados pela *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) das áreas afetadas e correlacionar as variáveis meteorológicas. A metodologia adotada foi de caráter descritivo, fundamentada em levantamento bibliográfico e na utilização de técnicas de geoprocessamento. Os dados de focos de calor foram obtidos no sistema *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), que utiliza os sensores *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) e *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS), e processados no *software* QGIS para a elaboração dos mapas temáticos trimestrais. Além disso, foram utilizados dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) referentes às variáveis meteorológicas para o município, os quais permitiram avaliar sua influência sobre a ocorrência e a intensificação dos focos de calor por meio da Análise de Componentes Principais (ACP). Os resultados indicaram que os focos de calor em Balsas se concentram no terceiro trimestre do ano, julho, agosto e setembro, revelando o padrão sazonal bem definido. Esse período de estiagem é caracterizado pelos menores índices de precipitação (média de 6,8 mm) e umidade relativa do ar (50,5%), contrastando com os maiores valores de temperatura (média de 35,9 °C) e evaporação (242,0 mm). A Análise de Componentes Principais (ACP) aponta essa tendência, demonstrando que as condições mais secas, com temperaturas elevadas e alta taxa de evaporação, favorecem a ocorrência de focos de calor, enquanto a precipitação e a umidade reduzem sua incidência. Observou-se, ainda, que o ano de 2022 registrou o maior número de focos de calor, totalizando 2.276 ocorrências, configurando-se como o período mais crítico da série analisada. Conclui-se que há uma relação direta entre a ocorrência de focos de calor e as variáveis meteorológicas da região, associada às atividades antrópicas, como a expansão agrícola e a limpeza de áreas, que intensificam o risco de propagação do fogo. Assim, esta análise fornece subsídios científicos essenciais para o planejamento de políticas públicas e o desenvolvimento de estratégias de prevenção e manejo do fogo no município de Balsas.

Palavras-chave: Queimadas. Sensoriamento Remoto. Análise de Componentes Principais.

ABSTRACT

The intensification of burnings in the Cerrado biome has caused countless environmental impacts, mainly affecting biodiversity, soil, and climate balance. The municipality of Balsas – MA, located in the MATOPIBA region (which covers the states of Maranhão, Tocantins, Piauí, and Bahia), presents a high number of heat spots, influenced by climatic conditions, as it has a well-defined dry season throughout the year. Given this scenario, the present research aimed to analyze the spatio-temporal dynamics of heat spots in the municipality of Balsas between the third quarter of 2020 and the second quarter of 2025. The study also sought to analyze the affected areas mapped by National Aeronautics and Space Administration (NASA's) Fire Information for Resource Management System (FIRMS) and correlate meteorological variables. The methodology adopted was descriptive, based on bibliographic review and the use of geoprocessing techniques. Heat spot data were obtained from NASA's FIRMS system, which utilizes Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) and Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) sensors. These data were processed using QGIS software for the elaboration of quarterly thematic maps. Furthermore, data from the National Institute of Meteorology (INMET) regarding meteorological variables were used to assess their influence on the occurrence and intensification of heat spots through Principal Component Analysis (PCA). The results indicated that heat spots in Balsas are concentrated in the third quarter of the year (July, August, and September), revealing a well-defined seasonal pattern. This drought period is characterized by the lowest precipitation indices (average of 6.8 mm) and relative air humidity (50.5%). This contrasts sharply with the highest temperature values (average of 35.9 °C) and evaporation (242.0 mm). The PCA supports this trend, demonstrating that drier conditions, coupled with high temperatures and a high evaporation rate, favor the occurrence of heat spots, while precipitation and humidity reduce their incidence. It was also observed that the year 2022 recorded the highest number of heat spots, totaling 2,276 occurrences, making it the most critical period of the analyzed series. It is concluded that there is a direct relationship between the occurrence of heat spots and the meteorological variables of the region, which is also associated with anthropogenic activities, such as agricultural expansion and area clearing, which intensify the risk of fire propagation. Therefore, this analysis provides essential scientific subsidies for planning public policies and developing fire prevention and management strategies in the municipality of Balsas.

Keywords: Wildfires. Remote Sensing. Principal Component Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Biomas mais afetados pelo fogo de janeiro a julho de 2025.	17
Figura 2 - Classificação das ecorregiões do cerrado.	25
Figura 3 - Mapa de localização do município de Balsas - MA.	37
Figura 4 - Mapa Geológico da BHRDB.	39
Figura 5 - Suscetibilidade à erosão da BHRDB.	40
Figura 6 - Etapas metodológicas da pesquisa.	42
Figura 7 - Focos de calor no município de Balsas (jul-dez de 2020).	47
Figura 8 - Focos de calor no município de Balsas (2021).	47
Figura 9 - Focos de calor no município de Balsas (2022).	48
Figura 10 - Focos de calor no município de Balsas (2023).	48
Figura 11 - Focos de calor no município de Balsas (2024).	49
Figura 12 - Focos de calor no município de Balsas (jan-jun de 2025).	49
Figura 13 - Mapa comparativo de focos de calor – 2020 a 2025.	53
Figura 14 - Número de focos de calor por trimestre em Balsas - MA (2020-2025). ..	53
Figura 15 - <i>Screeplot</i> dos autovalores dos CPs.	59
Figura 16 – Correlação da Análise de Componentes Principais (ACP).	62
Figura 17 - Análise <i>Cluster</i> gerada na ACP.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de focos de calor - 2020 a 2025.....	50
Tabela 2 - Média mensal dos dados climáticos de Balsas - MA (1991 a 2020).	55
Tabela 3 - Média trimestral dos dados climáticos de Balsas - MA (1991 a 2020).	56
Tabela 4 - Contribuição de cada Componente Principal (PC) para a variância total dos dados.	59
Tabela 5 - Extração dos CPS.	60
Tabela 6 - Correlação das variáveis originais e os componentes principais.	61

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP – Análise de Componentes Principais
APPs – Áreas de Preservação Permanente
AQC – Autorização de Queima Controlada
AVHRR – Advanced Very High Resolution Radiometer
BHRDB - Bacia Hidrográfica do Rio das Balsas
CH₄ – Metano
CO – Monóxido de Carbono
CO₂ – Dióxido de Carbono
COV – Compostos Orgânicos Voláteis
CPs – Componentes Principais
DPOC – Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FIRMS – Fire Information for Resource Management System
GEEs – Gases de Efeito Estufa
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
ILPF – Integração Lavoura-Pecuária-Floresta
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MATOPIBA – Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia
MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MLME – Modelo Linear de Mistura Espectral
MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA – National Aeronautics and Space Administration
NOx – Óxidos de Nitrogênio
PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PNMC – Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNMIF – Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo
PREVFOGO – Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais
RL – Reserva Legal
SEMA – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais

SHP - Shapefile

VIIRS – Infrared Imaging Radiometer Suite

VIGIAR – Programa Nacional de Vigilância da Qualidade do Ar

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivo Geral	15
1.3	Objetivos Específicos	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	QUEIMADAS E MEIO AMBIENTE	16
2.1.1	Impactos das queimadas na biodiversidade	17
2.1.2	Degradação do solo e da qualidade da água	19
2.1.3	Impactos na saúde humana e na qualidade do ar	21
2.2	QUEIMADAS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS	22
2.2.1	Emissões de gases de efeito estufa provenientes de queimadas	23
2.2.2	Influência das mudanças climáticas na frequência e intensidade das queimadas	26
2.3	LEGISLAÇÃO E POLÍTICAS PÚBLICAS	27
2.4	USO DO FOGO E AGRICULTURA	32
2.5	SENSORIAMENTO REMOTO E DETECÇÃO DE FOCOS DE CALOR	33
2.5.1	Princípios do sensoriamento remoto e suas aplicações no monitoramento de queimadas	34
2.5.2	Utilização de dados de satélite para detecção de focos de calor	35
3	MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1	Caracterização da área	37
3.2	Metodologia da pesquisa	41
3.3	Procedimentos metodológicos	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
	REFERÊNCIAS	67
	APÊNDICES I	78

1 INTRODUÇÃO

A ocorrência de queimadas no território brasileiro tem se intensificado nos últimos anos. Embora o fogo possa desempenhar uma função natural em ecossistemas, seu uso descontrolado e ilegal pode representar risco e danos ao meio ambiente, principalmente na biodiversidade, no equilíbrio climático e a saúde da população.

De acordo com a plataforma MapBiomas (2024), o Cerrado ocupa o primeiro lugar entre os biomas que mais sofreram incêndios, totalizando aproximadamente 89 mil hectares. Essa área foi composta por regiões de vegetação nativa, formações savânicas e terrenos destinados à agropecuária, com ênfase em pastagens.

No estado do Maranhão, destaca-se o município de Balsas apresentando um significativo crescimento nos dados de focos de calor, tornando-se uma das regiões mais afetadas pela ocorrência de fogo. Localizado na região do MATOPIBA - que abrange os estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia - e inserido no bioma Cerrado, o município caracteriza-se por apresentar períodos de estação seca muito bem delimitados durante o ano, fator que pode favorecer o aumento das ocorrências de focos de calor.

Dada a sazonalidade e a alta incidência de fogo, é crucial compreender o comportamento espacial e temporal dos focos de calor em Balsas – MA, pois isso subsidia ações de prevenção, controle e mitigação. O uso do sensoriamento remoto e do geoprocessamento, combinado com a análise de dados meteorológicos, permite identificar padrões de recorrência do fogo. Esta pesquisa visa, portanto, analisar a dinâmica do fogo em Balsas, identificando causas e padrões de intensidade para subsidiar estratégias de prevenção. A análise proposta possibilitará reconhecer as variáveis que influenciam a disseminação do fogo com foco em minimizar as consequências para o meio ambiente e a sociedade.

1.1 Justificativa

O município de Balsas – MA tem enfrentado um aumento expressivo na ocorrência de focos de calor, o que evidencia a necessidade de uma análise espacial e temporal mais aprofundada sobre as queimadas na região. O uso de ferramentas

como o sensoriamento remoto e o geoprocessamento permite identificar padrões e tendências, delimitar áreas vulneráveis e acompanhar a evolução dos incêndios ao longo do tempo, possibilitando diagnósticos mais precisos e ações preventivas mais adequadas, que sejam voltadas à mitigação dos danos ambientais.

Nesse contexto, o estudo se justifica por sua relevância em subsidiar ações de controle, planejar a mitigação de impactos ambientais e promover práticas sustentáveis de prevenção a incêndios.

1.2 Objetivo Geral

Analisar a evolução espaço-temporal dos focos de calor no município de Balsas - MA entre o terceiro trimestre de 2020 e o segundo trimestre de 2025, utilizando dados disponibilizados pela plataforma digital *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA).

1.3 Objetivos Específicos

- Apresentar a legislação pertinente às queimadas que disciplinam o uso do fogo e suas implicações para o meio ambiente;
- Quantificar os pontos de focos de calor, por meio da base de dados do FIRMS a partir de práticas de geoprocessamento (QGIS 2.18.14);
- Elaborar mapas temáticos trimestrais dos focos de calor na região de Balsas - MA, permitindo a análise espacial e temporal da disseminação do fogo e sua comparação ao decorrer dos anos;
- Analisar a influência de variáveis meteorológicas na ocorrência e intensidade das queimadas no município de Balsas - MA com base na Análise de Componentes Principais (ACP).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Queimadas e meio ambiente

As queimadas são eventos que historicamente constituem a dinâmica ecológica de diversos biomas, podendo exercer funções reguladoras em determinados contextos ambientais. No entanto, quando associadas a práticas humanas intensivas e fora de controle, elas se tornam vetores de deterioração ambiental, ameaçando a diversidade biológica e comprometendo o funcionamento dos serviços ecossistêmicos (FEITOSA JÚNIOR *et al.*, 2020).

Dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2024) mostram que, somente entre janeiro e novembro de 2024, mais de 29,7 milhões de hectares foram queimados no Brasil, com destaque para os biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal, e com aumento de 90% em relação a 2023 (INPE, 2024).

A intensificação de incêndios florestais nos últimos anos está diretamente relacionada ao progresso das mudanças climáticas. O aumento das temperaturas, a redução da umidade e os períodos prolongados de estiagem tornam os ambientes naturais mais suscetíveis à combustão espontânea ou induzida. Estudos preveem que a frequência, a duração e a intensidade desses eventos aumentarão significativamente até o fim do século XXI, gerando cenários de risco para a conservação de áreas sensíveis (TYUKAVINA *et al.*, 2022).

Embora o uso do fogo tenha origens naturais e antrópicas, é a intervenção humana, sobretudo por meio do desmatamento ilegal e da expansão desordenada das fronteiras agrícolas, que se configura como o principal fator de intensificação das queimadas no Brasil (MENDES, 2021).

A persistência dessa prática está associada à fragilidade dos mecanismos de fiscalização ambiental e à perpetuação do uso do fogo como técnica rudimentar de preparação e uso do solo, mesmo diante dos impactos negativos amplamente documentados sobre a biodiversidade, o equilíbrio climático e a integridade dos ecossistemas (SILVA *et al.*, 2023).

Os efeitos ambientais das queimadas causam a destruição da cobertura vegetal e afetam diretamente processos ecossistêmicos. A combustão da biomassa libera grandes volumes de gases poluentes, como o dióxido de carbono (CO₂) e o

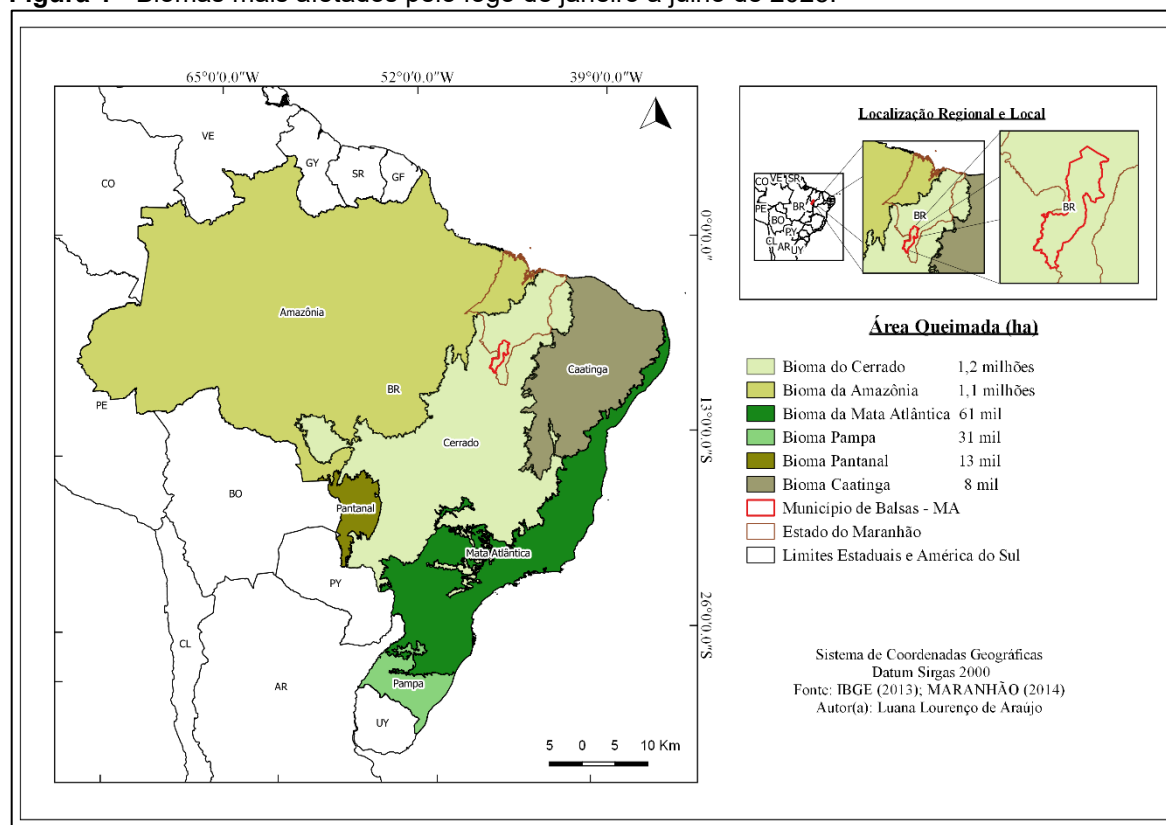
metano (CH_4), o que compromete a qualidade do ar e altera a composição atmosférica, provocando alterações nos padrões de precipitação (Sales; Neto, 2020).

Além da emissão de gases, a perda da vegetação reduz a capacidade de infiltração da água no solo, o que resulta em erosão, assoreamento de cursos d'água e avanço da desertificação em regiões mais sensíveis. Os desdobramentos demandam a capacidade de resposta dos ecossistemas e dificultam sua recuperação diante de eventos extremos, como secas e enchentes (SILVA *et al.*, 2023).

2.1.1 Impactos das queimadas na biodiversidade

As queimadas representam uma das maiores ameaças à biodiversidade, especialmente porque afetam diretamente ecossistemas com alta taxa de endemismo (SCHEICHER *et al.*, 2019). Segundo MapBiomas (2024), essa destruição massiva contribui para a perda genética e funcional dos biomas, comprometendo ciclos ecológicos e cadeias alimentares inteiras. Nesse contexto, a Figura 1 evidencia em extensão de área os biomas mais afetados pelo fogo de janeiro a julho de 2025.

Figura 1 - Biomas mais afetados pelo fogo de janeiro a julho de 2025.



Fonte: Adaptado de MapBiomas (2025).

De acordo com dados do MapBiomas Brasil (2025), que apresenta informações sobre o Monitor de Fogo, o bioma que mais sofreu com os incêndios de janeiro a julho de 2025 foi o Cerrado, ocupando a primeira posição na lista. No que se refere à área atingida, o bioma Cerrado apresenta a maior extensão de área queimada, com aproximadamente 1,2 milhões de hectares, seguido pela Amazônia, com 1,1 milhões de hectares. Posteriormente, destacam-se a Mata Atlântica, com 61 mil hectares, o Pampa, com 31 mil hectares, o Pantanal, com 13 mil hectares e, por fim, a Caatinga, com cerca de 8 mil hectares, conforme ilustrado na Figura 1.

Na Amazônia, bioma com a maior diversidade biológica do planeta, o impacto das queimadas é ainda mais grave, pois o fogo não faz parte de sua dinâmica natural. O aumento do número de focos de incêndio em áreas florestais tem levado à destruição de micro-habitat e à fuga ou morte de animais sensíveis à fumaça e ao calor (SANTOS *et al.*, 2017). A degradação contínua dessas áreas reduz a capacidade de regeneração da floresta e acarreta perdas irreversíveis de espécies raras e endêmicas, como registrado por Fearnside (2022) ao analisar a vulnerabilidade ecológica de áreas queimadas da Amazônia.

Por outro lado, o Cerrado, embora evolutivamente adaptado ao fogo, enfrenta hoje um cenário de pressão insustentável, com 9,7 milhões de hectares queimados em 2024, dos quais 85% correspondiam a vegetação nativa (MAPBIOMAS, 2024). A frequência e intensidade dos incêndios têm superado a capacidade natural de recuperação desse bioma, implicando a reprodução de espécies vegetais e a sobrevivência de vertebrados de pequeno porte (SILVA *et al.*, 2023). Estudos como o de Copertino e Piedade (2019) alertam que o controle inadequado do fogo, associado à conversão do solo para agricultura, agrava o colapso ecológico da região.

No Pantanal, as queimadas de 2024 afetaram mais de 760 mil hectares, gerando consequências severas à fauna local, como onças-pintadas, jacarés e antas, muitos dos quais morreram por queimaduras ou asfixia (MAPBIOMAS, 2024). A destruição de áreas úmidas e zonas de reprodução afeta a integridade de ecossistemas aquáticos e coloca em risco espécies já ameaçadas. Um levantamento feito por Rancura *et al.* (2020) enfatizou a vulnerabilidade da ictiofauna pantaneira, cujos ciclos reprodutivos são altamente sensíveis às alterações promovidas pelo fogo e pela redução da cobertura vegetal.

De acordo com Nunes *et al.* (2006), na Caatinga, as queimadas que são empregadas para a limpeza de áreas, estão provocando perdas significativas na diversidade biológica desse bioma, resultando na extinção de várias espécies de plantas e animais. Isso inclui organismos do solo que desempenham funções essenciais na degradação do material vegetal e na regulação indireta dos processos biológicos do solo, interagindo em diversos níveis com os microrganismos. Essa situação colabora para a intensificação da erosão, causando, como consequência, uma destruição ampla da produtividade do solo e o assoreamento de fontes de água.

O bioma da Mata Atlântica, por sua vez, é um bioma bastante ameaçado pela influência da pressão antrópica, principalmente pelas queimadas que acontecem com frequência nas áreas de preservação desse bioma. As consequências dessa prática afetam não só na composição e estrutura da vegetação, como também na biodiversidade animal, interferindo no equilíbrio ecológico. Além do mais, a qualidade de vida da população, incluindo aspectos relacionados à saúde, também sofre efeitos danosos (SACRAMENTO *et al.*, 2022).

Alencar *et al.* (2024) destacam que os incêndios no bioma Pampa ocorrem de duas formas principais: de maneira acidental ou em decorrência de práticas agropecuárias de pequena escala. Além disso, a autora e colaboradores ressaltam a importância de uma avaliação detalhada sobre o uso do fogo e os padrões de ocorrência dos incêndios florestais, com o objetivo de implementar ações eficientes e eficazes de controle e manejo do fogo, minimizando os impactos negativos a este bioma.

2.1.2 Degradação do solo e da qualidade da água

As queimadas têm provocado efeitos na degradação do solo, especialmente nas regiões de vegetação nativa que representam 73% dos mais de 30,8 milhões de hectares queimados em 2024 (MAPBIOMAS, 2024). O calor extremo resultante da combustão remove a matéria orgânica superficial, destrói os microrganismos responsáveis pela fertilidade e altera o pH do solo, tornando-o ácido e pobre em nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio (FEARNSIDE, 2022).

Além da perda de nutrientes essenciais, os solos atingidos por queimadas sofrem alterações estruturais significativas, como a destruição de agregados,

selamento superficial e aumento da densidade aparente, o que reduz drasticamente sua porosidade. As mudanças dificultam a infiltração de água, elevando o volume de escoamento superficial, que arrasta partículas finas e matéria orgânica, intensificando os processos erosivos (PRIMAVESI, 2023).

Como consequência, formam-se sulcos, ravinas e voçorocas, que aceleram a perda do horizonte fértil e promovem a desertificação, especialmente em áreas semiáridas do Nordeste e em porções degradadas do Cerrado. A capacidade do solo de sustentar a agricultura e regular serviços ecossistêmicos é comprometida, tornando o ambiente mais vulnerável à degradação progressiva e às mudanças climáticas (SILVA *et al.*, 2023).

No ciclo hidrológico, as queimadas comprometem diretamente a qualidade da água ao destruir a vegetação que atua como barreira natural para a infiltração e retenção de sedimentos. A eliminação dessa cobertura vegetal expõe o solo e facilita o escoamento superficial carregado de cinzas, fuligem, fósforo e nitrogênio, que são transportados para corpos d'água, elevando sua turbidez e contribuindo para processos de eutrofização, com proliferação de algas e redução de oxigênio dissolvido (MENDES, 2021).

A supressão da vegetação ciliar também reduz a proteção térmica dos cursos d'água, elevando sua temperatura, o que afeta diretamente organismos sensíveis e acelera a evaporação. Os efeitos mencionados vão acarretar o comprometimento da estabilidade ecológica dos ecossistemas aquáticos e a disponibilidade hídrica para consumo humano, irrigação e manutenção de aquíferos, sobretudo em regiões sujeitas a estiagens prolongadas (PRIMAVESI, 2023).

Um exemplo crítico dos impactos das queimadas sobre o funcionamento hidrológico é o bioma Pantanal, onde a vegetação ripária atua como reguladora natural do pulso de inundação, imprescindível para a manutenção das áreas alagadas e da recarga dos aquíferos. Em 2024, mais de 760 mil hectares foram queimados, comprometendo a integridade da vegetação ciliar e causando alterações significativas no regime de cheias (MAPBIOMAS, 2024; WWF BRASIL, 2024).

O colapso reduziu drasticamente a extensão das áreas inundáveis, desestruturando a dinâmica sazonal das planícies aluviais e afetando a conectividade entre habitats aquáticos. A perda da cobertura vegetal modificou o escoamento superficial, prejudicando a infiltração e o armazenamento de água no solo, o que

resultou em déficit hídrico e declínio da biodiversidade aquática e terrestre associada a esses ecossistemas (WWF BRASIL, 2024; FEITOSA JÚNIOR *et al.*, 2020).

2.1.3 Impactos na saúde humana e na qualidade do ar

As queimadas liberam poluentes como material particulado com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 micrômetros (MP2.5), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx) e compostos orgânicos voláteis (COV), que afetam diretamente a saúde humana. Os poluentes são capazes de alcançar as regiões mais profundas dos pulmões e atingir a corrente sanguínea, desencadeando respostas inflamatórias sistêmicas e danos celulares (COELHO *et al.*, 2023).

A exposição à fumaça proveniente das queimadas tem sido associada ao aumento expressivo de hospitalizações por doenças respiratórias e cardiovasculares. Os indivíduos expostos ao MP2.5 têm maior incidência de asma, bronquite, doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), infarto do miocárdio e acidente vascular cerebral. Em Manaus, a capital do estado da Amazônia, por exemplo, observou-se correlação direta entre picos de concentração de poluentes e a demanda por atendimentos de urgência por complicações respiratórias, especialmente durante a estação seca (ANDRADE *et al.*, 2017).

Os grupos vulneráveis, como crianças, idosos, gestantes e portadores de doenças crônicas, são os mais afetados pela poluição decorrente das queimadas. A literatura aborda que crianças expostas ao ar poluído durante eventos de incêndio têm maior risco de desenvolvimento de asma e atraso na função pulmonar. Já em idosos, a exposição prolongada está relacionada a quadros de insuficiência cardíaca e agravamento de comorbidades respiratórias, bem como um aumento na taxa de mortalidade por causas evitáveis (SILVA *et al.*, 2024).

Além dos danos diretos à saúde individual, os incêndios sobrecarregam o sistema público de saúde, gerando custos adicionais com internações, medicamentos e afastamentos laborais (SANTIAGO; LOPES, 2021). O Ministério da Saúde reconheceu oficialmente em 2024 que as queimadas cooperam para o agravamento de crises sanitárias regionais, exigindo uma maior integração entre políticas ambientais e de saúde pública. O Programa Nacional de Vigilância da Qualidade do

Ar (VIGIAR) tem recomendado o fortalecimento da rede de monitoramento e ações preventivas em áreas de risco (SESAP-RN, 2023).

Os impactos das queimadas sobre a qualidade do ar não se restringem às áreas diretamente atingidas pelo fogo, pois a pluma de poluentes pode se dispersar por centenas de quilômetros, afetando zonas urbanas distantes (VIANA; PERES, 2023). A modelagem atmosférica realizada pelo INPE em 2023 demonstrou que partículas oriundas de incêndios no sul da Amazônia alcançaram cidades do Centro-Oeste e Sudeste, elevando os níveis de poluição mesmo em locais sem foco ativo (INPE, 2023).

2.2 Queimadas e mudanças climáticas

As queimadas e as mudanças climáticas estão fortemente conectadas em um ciclo de retroalimentação que compromete o equilíbrio ambiental. A destruição vegetacional reduz a capacidade dos ecossistemas de capturar carbono, enfraquecendo um dos principais mecanismos naturais de mitigação das mudanças climáticas (MAPBIOMAS, 2024).

As mudanças climáticas, por sua vez, intensificam os eventos de seca e o aumento das temperaturas, criando um ambiente favorável à propagação de incêndios florestais. O ano de 2024 foi marcado pela atuação do fenômeno *El Niño*, que contribuiu para a pior estiagem em décadas na Amazônia e no Cerrado, deixando a vegetação seca e altamente inflamável. O agravamento climático facilita episódios de queimadas de grande escala, que se espalham rapidamente e causam danos irreparáveis à biodiversidade e aos ciclos hidrológicos (COPERTINO E PIEDADE, 2019; CARMO, 2024).

O impacto das queimadas sobre o clima refere-se à emissão direta de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxidos de nitrogênio (NO_x), como também à liberação de aerossóis que interferem na formação de nuvens e precipitações. A modificação nos padrões atmosféricos compromete o regime de chuvas em diferentes regiões do Brasil, afetando o abastecimento de água e a agricultura. Além disso, a destruição da vegetação afeta os chamados serviços ecossistêmicos, como a

regulação térmica e a umidade do ar, gerando microclimas mais secos e quentes (FEARNSIDE, 2022).

A intensificação do desmatamento e das queimadas coloca o Brasil em posição crítica no cenário internacional de emissões, segundo o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), grande parte das emissões do país decorre do uso da terra e da queima de biomassa, ultrapassando inclusive as emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis (MASCARELLO; NASCIMENTO; MATOS, 2024).

2.2.1 Emissões de gases de efeito estufa provenientes de queimadas

As queimadas têm sido uma das principais fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEEs) no Brasil, agravando a crise climática global. A combustão de biomassa libera grandes volumes de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxidos de nitrogênio (NO_x), que comprometem a qualidade do ar e a saúde humana (FEARNSIDE, 2022). Estudo do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações estimou que em 2022 as queimadas foram responsáveis por cerca de 44% das emissões brasileiras no setor de uso da terra, atingindo valores próximos a 400 milhões de toneladas de CO_2 equivalente em apenas um ano (MCTI, 2022).

As queimadas afetam especialmente áreas de vegetação nativa, como as encontradas na Amazônia e no Cerrado, que, ao serem destruídas, deixam de atuar como sumidouros de carbono e passam a ser emissores líquidos (MASCARELLO; NASCIMENTO; MATOS, 2024). Segundo o estudo de Severian (2022), esse processo interfere nas iniciativas de mitigação climática do Brasil e afasta o país de suas metas de redução previstas no Acordo de Paris, tornando mais difícil a transição para uma economia de baixo carbono (SEVERIN, 2022).

Em um levantamento regional, Silva *et al.*, (2023) mostrou que no estado do Acre, por exemplo, a queima de áreas florestais liberou mais de 15 milhões de toneladas de CO_2 entre julho e outubro, intensificando os efeitos do *El Niño* naquele período. Além das emissões diretas, o solo exposto após a queimada continua emitindo CO_2 durante o processo de decomposição da biomassa residual, propiciando forma negativa ao aquecimento global (INPE, 2023).

A degradação da Amazônia, caracterizada pela eliminação parcial e gradual da vegetação florestal devido ao fogo, à extração seletiva de madeira e ao efeito de

borda, emitiu 2,5 vezes mais gases de efeito estufa do que o desmatamento no ano passado. Foram 161,4 milhões de toneladas de CO₂ equivalente emitidas devido à degradação do bioma, contra 60,7 milhões de toneladas causadas pelo desmatamento, de acordo com a pesquisa do Imazon (2024).

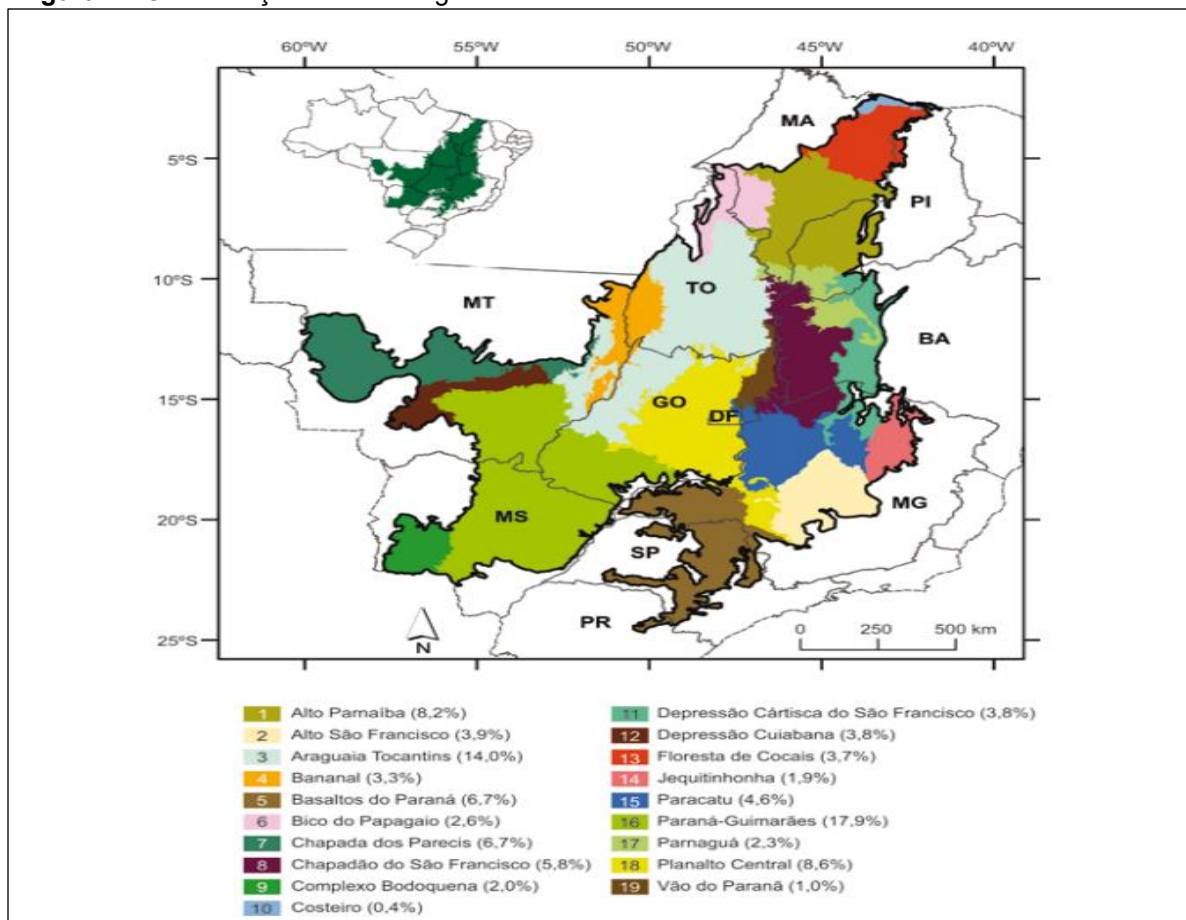
O impacto cumulativo das queimadas também se estende à formação de aerossóis, que influenciam a cobertura de nuvens e alteram a radiação solar incidente. Segundo relatório de Andrade Filho *et al.* (2017), essas partículas de fuligem e carvão negro têm capacidade de aquecer a atmosfera, ao mesmo tempo que obscurecem a superfície, criando desequilíbrios no balanço energético da Terra. O que gera retroalimentações positivas que dificultam a regulação climática natural dos biomas florestais (FEARNSIDE, 2022).

A decomposição da vegetação atingida pelos incêndios continua a liberar CO₂ na atmosfera por anos após o evento inicial. Estima-se que, nos próximos 5 a 10 anos, mais de 2 a 4 milhões de toneladas de CO₂ equivalente poderão ser emitidas devido à decomposição da vegetação afetada (FEARNSIDE, 2022).

Esse cenário torna-se ainda mais preocupante no contexto do bioma Cerrado, marcado por elevada biodiversidade e solos predominantemente arenosos e pobres em nutrientes, com alta vulnerabilidade à erosão. Seu regime climático sazonal, com uma estação seca prolongada e baixos índices de umidade entre os meses de maio e setembro, cria condições propícias para a propagação de incêndios (RODRIGUES; SALES; PINTO, 2022).

A integração entre a utilização recorrente do fogo, a supressão da vegetação nativa e a fragilidade na fiscalização ambiental tem agravado a degradação dos ecossistemas locais, resultando na perda de biodiversidade e na redução da funcionalidade ecológica do Cerrado, o que compromete diretamente as funções ecossistêmicas, tais como a regulação hidrológica, a manutenção dos ciclos biogeoquímicos e o controle das variabilidades microclimáticas (SILVA *et al.*, 2023).

A Figura 2, criada por Bolfe em 2020, mostra as ecorregiões do Cerrado, destacando suas divisões em extensão de área.

Figura 2 - Classificação das ecorregiões do cerrado.

Fonte: Bolfe *et al.* (2020).

De acordo com a Figura 2, nota-se que as ecorregiões Paraná-Guimarães e Araguaia Tocantins são as maiores, abrangendo 17,9% e 14,0% de área do Cerrado, respectivamente. O município de Balsas - MA faz parte da ecorregião Alto Parnaíba, a quarta em tamanho no Cerrado, com 8,2% da área total. Este importante município localizado na região sul do estado do Maranhão, destaca-se como um dos principais pólos do agronegócio, inserido na região do MATOPIBA, onde a expansão acelerada da fronteira agrícola ocorre predominantemente sobre áreas nativas do bioma Cerrado (NETO, 2023).

Segundo dados do MapBiomas (2025), o município de Balsas tem registrado altos índices de áreas queimadas nos últimos anos, totalizando 1.171.104 hectares de área queimada acumulada entre 1985 a 2024, posicionando-se entre os municípios maranhenses com maior recorrência de queimadas em áreas de produção intensiva. A situação é agravada pelo uso extensivo de técnicas que não respeitam os limites legais de supressão vegetal, comprometendo Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reserva Legal (RODRIGUES *et al.*, 2020).

2.2.2 Influência das mudanças climáticas na frequência e intensidade das queimadas

As mudanças climáticas têm se mostrado um fator amplificador da frequência e intensidade das queimadas em biomas brasileiros, principalmente na Amazônia, Cerrado e Pantanal. O ano de 2024 foi marcado por uma das piores temporadas de incêndios florestais do século, com mais de 29,7 milhões de hectares queimados entre janeiro e novembro, número que representa um aumento de 90% em relação a 2023. A intensificação do fenômeno *El Niño* resultou em anomalias climáticas extremas, como secas prolongadas e temperaturas acima da média, que deixaram a vegetação altamente inflamável e suscetível à ignição e propagação do fogo (MAPBIOMAS, 2024; EL PAÍS, 2024).

O novo padrão de vulnerabilidade climática evidencia como os ciclos naturais estão sendo alterados por influências antropogênicas, exigindo reavaliação urgente das iniciativas de controle e proteção ambiental (CLIMAINFO, 2024; IHU, 2024).

No bioma do Pantanal, o cenário se agravou com o esvaziamento dos rios e a redução extrema dos níveis de água, tornando as áreas úmidas altamente inflamáveis. As modelagens climáticas apontam que o risco de incêndios no bioma aumentou entre quatro e cinco vezes por influência direta das mudanças climáticas, com consequências ecológicas três vezes mais intensas em comparação a décadas anteriores (EL PAÍS, 2024; PESQUISA FAPESP, 2021).

Além dos danos ecológicos diretos, o aumento das queimadas reforça o ciclo de retroalimentação das mudanças climáticas, já que, as emissões de carbono oriundas de incêndios florestais no Brasil em 2024 somaram 183 milhões de toneladas, sendo 65 milhões emitidas apenas no mês de setembro, de acordo com o Serviço de Monitoramento Copernicus da União Europeia. O volume, comparável ao de 2007, evidencia que as queimadas são um fator direto de agravamento da crise climática (COPERNICUS, 2024).

2.3 Legislação e políticas públicas

A Constituição Brasileira de 1988 serve como uma base fundamental para a proteção ambiental no território nacional. No Art. 225, destaca-se o direito a um ambiente natural em equilíbrio ecológico, estabelecendo a responsabilidade tanto governamental quanto da comunidade em protegê-lo e mantê-lo.

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988).

Sobre os instrumentos de responsabilização no contexto de queimadas ilegais, a Lei Nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 aborda sobre as penalidades tanto criminais quanto administrativas em função de práticas e ações prejudiciais ao meio ambiente. Em sua Seção III que trata sobre Poluição e Outros Crimes Ambientais, tem-se o Art. 54: “causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam provocar em danos à saúde pública, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora” (BRASIL, 1998).

Observa-se uma perspectiva em relação a comportamentos prejudiciais ao meio ambiente, que, conforme mencionado na redação da legislação, pode resultar em reclusão e/ou detenção, além de penalidades financeiras para os responsáveis, tanto pessoas físicas quanto jurídicas. O Art. 54, por exemplo, aborda a questão da poluição em um sentido amplo, incluindo a poluição do ar, que pode causar prejuízos à saúde das pessoas, ligando-se também a incêndios florestais. No Art. 38, é discutida a destruição ou deterioração de florestas e de vegetação nativa, reforçando a proibição do uso do fogo em desacordo com as normas legais, podendo ser considerado um crime ambiental (BRASIL, 1998).

No que diz respeito a punições tanto penais quanto administrativas, é fundamental que haja procedimentos para a supervisão e autuação para posterior aplicação de penalidades. Assim sendo, surgiu o Decreto Nº 6.514, de 22 de julho de 2008 que discute sobre as infrações e sanções administrativas do meio ambiente, além de estabelecer o processo administrativo federal para apuração destas infrações (BRASIL, 2008).

Este decreto regulamenta as infrações e sanções administrativas ligadas às questões ambientais, especificando penalidades para queimadas ilegais, ou seja, estabelece multas para aqueles que utilizarem fogo em regiões de proteção permanente, áreas de conservação ou sem a permissão dos órgãos ambientais. Na subseção II, por exemplo, trata sobre infrações contra a flora, onde no art. 58 destaca-se sobre uso do fogo em áreas agropastoris sem autorização do órgão competente, apresentando o valor da multa a ser aplicada. Vale destacar que esse decreto possui atualização, uma nova redação dada pelo Decreto Nº 12.189, de 20 de setembro de 2024 em que suas atualizações estão focadas em embargos, sanções restritivas de prazos definidos, multas, intimação e dispositivos antigos (BRASIL, 2024).

Normas como a Lei Nº 9.605/1998 e o Decreto Nº 6.514/2008 são fundamentais para combater e punir práticas ilegais, em contrapartida, a efetividade de sua aplicação depende da constante e correta ação de controle exercida pelos órgãos ambientais.

O Código Florestal, Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012, por sua vez, discute no seu Capítulo IX a Proibição do Uso de Fogo e do Controle de Incêndios, onde em seu Art. 38 deixa o uso do fogo na vegetação proibido, exceto em situações específicas - regiões que justifiquem o uso do fogo, atividades de pesquisa científica, emprego da queima controlada, dentre outros - desde que seja autorizado pelo órgão ambiental competente. Embora permitido em determinadas situações, a legislação estabelece várias exigências técnicas e administrativas com o objetivo de prevenir prejuízos ao meio ambiente. Isso evidencia que a intenção não é a proibição total, mas sim o controle e a responsabilidade no emprego dessa atividade (BRASIL, 2012).

Outro ponto relevante sobre o Código Florestal com relação a flexibilização quanto ao emprego do uso do fogo em algumas situações, observa-se que a falta de fiscalização eficiente, pode abrir margem para entendimentos de uso indevido, tratando-se de uma lacuna para sua eficácia.

De acordo com Fearnside (2022) as queimadas têm sido uma das principais fontes de emissão de gases de efeito estufa (GEEs) no Brasil, agravando a crise climática global. O recente modelo de fragilidade climática mostra como os ciclos naturais estão sendo modificados por ações humanas, exigindo reavaliação urgente das iniciativas de controle e proteção ambiental (CLIMAINFO, 2024; IHU, 2024). Desta maneira, a Lei Nº 12.187, datada de 29 de dezembro de 2009, institui a Política

Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC. Em seu art. 2, inciso II, trata dos impactos que as transformações climáticas decorrentes de alterações no ambiente podem ocasionar à saúde e ao bem-estar da população.

II - efeitos adversos da mudança do clima: mudanças no meio físico ou biota resultantes da mudança do clima que tenham efeitos deletérios significativos sobre a composição, resiliência ou produtividade de ecossistemas naturais e manejados, sobre o funcionamento de sistemas socioeconômicos ou sobre a saúde e o bem-estar humanos (BRASIL, 2009).

Esta lei marca um significativo progresso ao identificar que a queima de biomassa pode ser entendida como uma fonte de emissões de gases de efeito estufa. O combate das queimadas deve ser considerado não apenas um tópico ambiental, mas igualmente uma questão climática, necessitando de ações integradas.

A legislação brasileira tem buscado se modernizar frente aos crescentes impactos das queimadas, a promulgação da Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024, representou um marco importante, ao instituir a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (PNMIF), substituindo uma abordagem exclusivamente proibitiva por uma visão técnica e contextualizada. A nova norma reconhece que o fogo pode ser um instrumento legítimo de controle em determinadas condições ecológicas e culturais, como nas práticas de povos indígenas, quilombolas e agricultores tradicionais, desde que utilizado de forma controlada e autorizada (BRASIL, 2024a).

A PNMIF introduz a distinção entre queima controlada e queima prescrita, com finalidades específicas e exigência de autorização prévia junto aos órgãos ambientais. A queima controlada pode ser usada para domínio agropecuário, limpeza de pastagens ou eliminação de resíduos florestais não aproveitáveis, mas deve seguir critérios técnicos rigorosos, como plano de execução, definição de áreas seguras e presença de equipe treinada. A queima prescrita é aplicada com objetivos de pesquisa científica, controle de espécies invasoras ou manutenção de regimes naturais de fogo em ecossistemas adaptados, como o Cerrado e os campos sulinos (BRASIL, 2024).

A Lei nº 14.944/2024 também modificou a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998), ampliando a responsabilização de agentes públicos e privados pelo uso irregular do fogo. A legislação impõe penas de reclusão de dois a quatro anos, além de multa, para quem provocar incêndios não autorizados em florestas ou demais

formas de vegetação, com agravantes previstos para reincidência e crimes em unidades de conservação (BRASIL, 2024b).

Essa norma reflete a preocupação e esforço do Estado Brasileiro frente ao cenário de emergência ambiental tanto do aumento do desmatamento quanto das queimadas. Tendo, portanto, como princípios e diretrizes destacado em seu Art. 3º a troca do emprego do fogo na atividade agrossilvipastoril por métodos sustentáveis, sempre que se mostrar viável. Assim como no inciso VII, que expõe sobre medidas de conscientização e instrução sobre questões ambientais e de saúde pública resultantes do uso descontrolado do fogo (BRASIL, 2024).

Além do mais, essa norma tem como objetivo principal para o manejo integrado do fogo, Art. 5º:

- I - prevenir a ocorrência e reduzir os impactos dos incêndios florestais e do uso não autorizado e indevido do fogo, por meio do estabelecimento do manejo integrado do fogo;
- III - reduzir a incidência, a intensidade e a severidade de incêndios florestais;
- VIII - promover ações de responsabilização sobre o uso não autorizado e indevido do fogo, em conformidade com a legislação;
- X - contribuir para a implementação de diretrizes de manejo integrado do fogo nas ações de gestão ambiental e territorial (BRASIL, 2024).

Fica de responsabilidade governamental interinstitucional propor mecanismos para a identificação e manejo de incêndios florestais, como também fornecer instrumentos para avaliar os efeitos dos incêndios e da gestão integrada do fogo em relação à alteração do uso da terra, a preservação dos ecossistemas, a saúde da população, a vegetação, a fauna e as mudanças climáticas (BRASIL, 2024).

Art. 29. A educação ambiental é componente essencial e permanente da Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo e deve estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades da governança e instrumentos de gestão dessa política, em caráter formal e não formal (BRASIL, 2024).

Outro aspecto relevante é que a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo - Lei Nº 14.944/2024 - discute sobre a substituição do uso do fogo em práticas agrícolas, a partir das seguintes tecnologias alternativas do Art. 44: Adubação verde, plantio direto, agricultura orgânica e agroecológica, permacultura, consorciação de culturas, carbono social, pastagem ecológica, pastejo misto, reflorestamento social,

rotação de culturas, sistemas agroflorestais, extrativismo vegetal, silagem, compostagem, sistema agrossilvipastoril (BRASIL, 2024).

Outra frente importante é o Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais (PREVFOGO), que atua em ações de formação de brigadistas e controle integrado em biomas sensíveis como Cerrado e Pantanal (BRASIL, 2024).

O Prevfogo/IBAMA é o órgão responsável por coordenar ações de prevenção e combate aos incêndios florestais no Brasil, suas atividades incluem o treinamento de brigadistas, o apoio a ações de monitoramento e o uso controlado do fogo em áreas estratégicas. Em 2024, o órgão foi reforçado com recursos previstos na Lei nº 14.944, permitindo maior atuação em biomas críticos e resposta rápida em situações emergenciais, como ocorreu nos incêndios do Acre e Pantanal (IBAMA, 2024).

Já no estado do Maranhão, a Portaria Nº 380, de 27 de julho de 2023, disciplina os procedimentos e critérios técnicos de concessão de Licença Ambiental para Atividades Agrossilvipastoris, Autorizações Ambientais para Uso Alternativo do Solo, Autorização de Queima Controlada e Autorizações de Crédito de Reposição Florestal no Estado do Maranhão. No seu Art. 80 apresenta o emprego do fogo para os casos legalmente permitidos, ou seja, que tenham a Autorização de Queima Controlada (AQC) obtida por meio da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Naturais (SEMA). O Art. 88 destaca: “É vedado o uso do fogo para a queima pura e simples de material lenhoso ou resíduos aproveitáveis de exploração florestal”. No Art 98: “É VEDADO o emprego do fogo em áreas de florestas e demais formas de vegetação, Áreas de Preservação Permanentes (APPs) e Reserva Legal (RL) (...) (MARANHÃO, 2023).

Como forma de controle, o governo do Maranhão também instituiu o Decreto Nº 38.403, datado de 11 de julho de 2023, que aborda o período de restrição ao uso do fogo, destinado à limpeza e/ou manejo de áreas. Este período é estabelecido de 11 de julho de 2023 a 30 de novembro de 2023 (MARANHÃO, 2023).

Em 2024, um novo decreto foi divulgado, que é o Decreto Nº 39.283, de 1º de agosto de 2024, com finalidade similar, abrangendo o intervalo de 1 de agosto de 2024 a 30 de novembro de 2024, o qual faz parte do programa Maranhão sem Queimadas (MARANHÃO, 2024).

Para 2025, mais um decreto foi assinado, o Decreto Nº 40.148, de 11 de julho de 2025, que trata do mesmo assunto e estabelece a proibição no período de 1 de

julho de 2025 a 15 de novembro de 2025. Além disto, todos estes decretos enfatizam a importância da implementação de práticas sustentáveis: “§ 1º Mesmo que o uso do fogo para práticas agropastoris ou florestais seja permitido por lei, deve haver uma substituição sempre que viável por abordagens sustentáveis” (MARANHÃO, 2025).

2.4 Uso do fogo e agricultura

O uso do fogo em práticas agrícolas e pecuárias é uma tradição ancestral, especialmente entre pequenos produtores e comunidades tradicionais. A técnica é frequentemente empregada para limpar áreas de cultivo, eliminar resíduos vegetais e renovar pastagens, devido ao seu baixo custo e facilidade de aplicação (SILVA; PONTES; AMORIM, 2020).

No entanto, quando realizada de forma indiscriminada e sem acompanhamento técnico, pode causar sérios danos ao solo, como a eliminação de nutrientes essenciais, além de prejudicar a biodiversidade e a qualidade do ar, como demonstrado por Homma (2020), que descreve a “civilização do fogo” como um entrave à conservação ambiental na Amazônia.

A busca por aumento de produtividade frequentemente leva ao desmatamento de áreas de vegetação nativa, especialmente no bioma Amazônia e bioma do Cerrado, comprometendo a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. O avanço da fronteira agrícola é impulsionado por fatores como a demanda global por commodities e a falta de políticas públicas para regular o uso da terra (SILVA, 2023).

A legislação brasileira passou a regulamentar de forma mais rigorosa o uso do fogo na agricultura por meio da Lei nº 14.944/2024, que autoriza queimadas apenas em caráter excepcional, condicionadas à autorização prévia dos órgãos ambientais competentes e ao cumprimento de critérios técnicos de controle e monitoramento (SILVA, 2023; BRASIL, 2024).

A norma tem como objetivo compatibilizar o uso tradicional do fogo com a necessidade de reduzir seus impactos ambientais, especialmente em áreas onde ainda é considerado um insumo de uso indispensável por agricultores familiares. A imposição desses limites legais é fundamental para frear o avanço do desmatamento

e evitar a substituição de ecossistemas nativos por monoculturas e pastagens extensivas (SILVA; PONTES; AMORIM, 2020).

À vista disso, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) exerce uma função importante na formulação e difusão de tecnologias agropecuárias sustentáveis que eliminam a dependência do fogo no preparo do solo. Entre as principais alternativas destacam-se os sistemas agroflorestais, que promovem o consórcio de espécies agrícolas e arbóreas em um mesmo espaço produtivo, proporcionando o aumento da biodiversidade funcional, o sombreamento natural e a ciclagem de nutrientes (SCHEICHER *et al.*, 2019).

Outra técnica é o plantio direto na palha, que mantém a cobertura vegetal do solo, evita sua exposição à erosão e preserva a matéria orgânica, além de dispensar o uso do fogo na preparação do terreno. Essas práticas resultam em maior estabilidade na produção agrícola, menor emissão de carbono e ganhos sustentáveis de produtividade ao longo do tempo (SILVA, 2023).

Uma alternativa promovida pela EMBRAPA é a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), que visa aperfeiçoar a eficiência no uso dos recursos naturais por meio da combinação de diferentes sistemas produtivos em uma mesma área. Essa abordagem melhora a ciclagem de nutrientes, aumenta a capacidade de manutenção da produtividade e mitiga os efeitos das mudanças climáticas. Estudos mostram que o uso de capoeira triturada como adubo verde, ao invés de queimá-la, aumenta a fertilidade do solo e reduz as emissões de carbono (SCHEICHER *et al.*, 2019).

Portanto, superar a dependência do fogo na agricultura exige integração entre pesquisa científica, políticas públicas e participação dos produtores. A nova legislação, aliada às soluções propostas pela Embrapa, aponta para uma prática agrícola mais compatível com os limites ambientais (SILVA, 2023).

2.5 Sensoriamento remoto e detecção de focos de calor

O sensoriamento remoto tem se consolidado como ferramenta essencial no monitoramento de queimadas e na detecção de focos de calor no Brasil, por meio de satélites como o TERRA e o AQUA, equipados com sensores *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), é possível identificar anomalias térmicas na

superfície terrestre com agilidade e precisão, mesmo em áreas remotas ou sob condições atmosféricas adversas. A tecnologia é amplamente utilizada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), especialmente no âmbito do Programa Queimadas, que disponibiliza dados atualizados diariamente e orienta ações de prevenção e resposta a incêndios florestais (JÚNIOR; SOUZA, 2025).

O sistema BDQueimadas do INPE permite o mapeamento detalhado de focos de calor por bioma, município e tipo de cobertura vegetal, gerando informações para ações de controle em tempo hábil. Com a integração de algoritmos de aprendizado de máquina e dados multissensoriais, a detecção precoce de incêndios ganhou maior precisão, o que aprimora o planejamento e a efetividade das políticas públicas de prevenção (SILVA, 2020).

Apesar dos avanços, o sensoriamento remoto ainda tem limitações, como a resolução espacial insuficiente de alguns satélites e a necessidade de checagem em campo (SILVA; SILVA; PESTANA, 2023). Para enfrentar esses empecilhos, têm sido adotados microsatélites de órbita baixa, que produzem imagens mais nítidas e frequentes, um exemplo promissor é o projeto *FireSat*, que pretende lançar uma constelação de satélites dedicados à detecção rápida de incêndios em escala global (PEIXOTO *et al.*, 2021).

Além do monitoramento em tempo real, os dados históricos de sensoriamento remoto possibilitam a identificação de padrões recorrentes de queimadas em diferentes regiões. O estudo de Vasconcelos *et al.* (2005), analisou a dinâmica dos focos de calor no arco do desmatamento e mostrou a relação direta entre o avanço do desmatamento ilegal e o uso sistemático do fogo.

2.5.1 Princípios do sensoriamento remoto e suas aplicações no monitoramento de queimadas

O sensoriamento remoto baseia-se na captação da radiação eletromagnética refletida ou emitida pelos objetos na superfície terrestre, por meio de sensores acoplados a satélites ou aeronaves. Cada tipo de cobertura terrestre possui uma assinatura espectral distinta, permitindo que alterações como queimadas, desmatamentos e mudanças no uso do solo sejam detectadas com precisão (PEREIRA, 2017).

No monitoramento de queimadas, os sensores atuam principalmente nas faixas do infravermelho próximo, médio e térmico, onde o contraste entre vegetação saudável, solo exposto e áreas queimadas é mais evidente. Os satélites TERRA e AQUA, com o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), disponibilizam imagens de média resolução espacial e alta frequência temporal, sendo capazes de detectar focos ativos de calor quase em tempo real (RESENDE, 2017).

Além da detecção em tempo real, o sensoriamento remoto possibilita o mapeamento histórico de áreas queimadas, auxiliando na identificação de padrões de reincidência e uso recorrente do fogo. A prática de técnicas como o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) e os índices de vegetação, como o NDVI e o NBR, são frequentemente utilizados para estimar a severidade das queimadas e o tempo de recuperação da vegetação afetada (JÚNIOR; SOUZA, 2025).

Com o avanço das geotecnologias, novas abordagens têm sido incorporadas ao monitoramento, como o uso de redes neurais artificiais e aprendizado de máquina para automatizar a classificação de áreas queimadas. Os métodos avançados aumentam a precisão dos mapeamentos e reduzem o tempo de processamento, permitindo respostas mais ágeis frente aos eventos críticos. Além disso, a combinação de algoritmos supervisionados e dados multiespectrais permite distinguir com maior vigor as áreas afetadas por incêndios de outras alterações antrópicas (BRAGA; MONTENEGRO; SILVA, 2024).

Entretanto, a eficácia do sensoriamento remoto ainda depende da calibração e validação dos dados obtidos por sensores orbitais com observações em campo. A presença de nuvens, fumaça densa ou cobertura vegetal residual pode interferir na detecção, exigindo alternativas complementares, como o uso de sensores radar ou termal de alta resolução (PEIXOTO *et al.*, 2021).

2.5.2 Utilização de dados de satélite para detecção de focos de calor

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), presente nos satélites TERRA e AQUA, é um dos principais instrumentos usados no Brasil para esse fim. Ele possui resolução espacial de 1 km e alta frequência de revista, viabilizando o acompanhamento contínuo de grandes áreas. Já o sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), presente no satélite NOAA, oferece uma

cobertura mais ampla, embora com menor resolução espacial, sendo útil para detecção em escala regional. Os dados desses sensores são integrados e disponibilizados pelo INPE na plataforma BDQueimadas, onde é possível visualizar, filtrar e baixar focos de calor por data, bioma e município (INPE, 2024).

A base técnica da detecção de focos de calor por satélite está na identificação de anomalias térmicas, os sensores registram radiação infravermelha emitida por superfícies com temperaturas acima do normal, o que pode indicar fogo ativo ou calor residual. Entretanto, é necessário filtrar falsos positivos, já que outras fontes de calor, como queimadas controladas, vulcanismo ou atividades industriais, também podem gerar esses sinais. Para lidar com isso, algoritmos classificam os dados com base em intensidade térmica, contexto geográfico e variação temporal, aumentando a confiabilidade da detecção (INPE, 2023; SANTOS *et al.*, 2020).

Além do monitoramento nacional, o Brasil também se beneficia dos dados do sistema *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS), mantido pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). A plataforma torna acessível informações globais de focos de calor a partir dos sensores *Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) e *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), com atualizações a cada poucas horas. A integração entre os dados da NASA e do INPE amplia a cobertura espacial e a precisão da análise, sendo especialmente útil para regiões de fronteira ou áreas remotas com menor cobertura de sensores nacionais (SOUZA *et al.*, 2019).

A integração entre sensores orbitais, plataformas de análise e inteligência computacional têm viabilizado o monitoramento preciso da dinâmica das queimadas e a resposta rápida a eventos críticos. Para ampliar os benefícios desse sistema, é fundamental investir na modernização dos sensores, na incorporação de dados meteorológicos em tempo real e no fortalecimento da colaboração internacional em redes de monitoramento remoto (BRAGA, MONTENEGRO, SILVA, 2024).

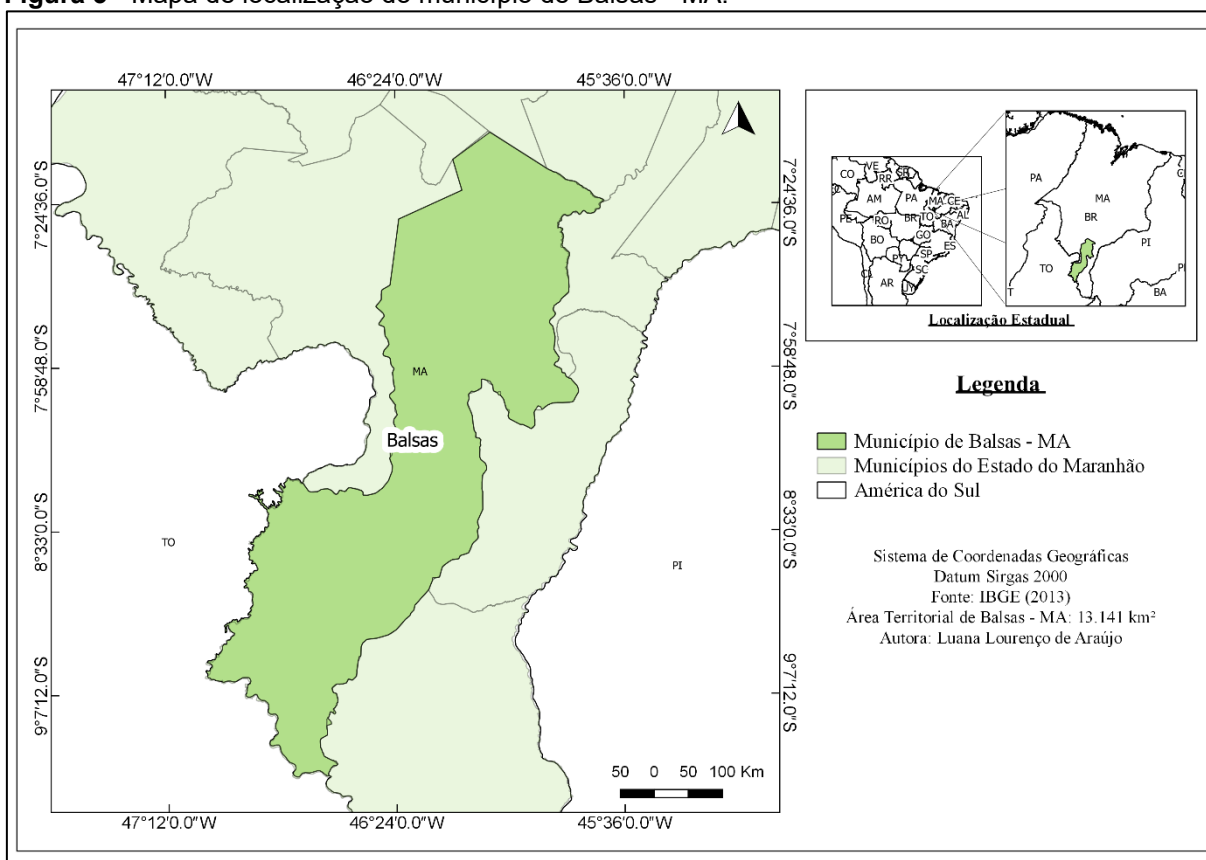
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área

Balsas, localizada na Mesorregião Sul maranhense e na Microrregião Gerais de Balsas, está situada nas coordenadas 07° 31' 58" S e 46° 02' 09" O. O município ocupa uma área de 13.141 km², com uma população de aproximadamente 101.767 pessoas e uma densidade populacional de 7,74 indivíduos por km² (IBGE, 2022).

Ao Norte, faz divisa com os municípios de São Raimundo das Mangabeiras e Fortaleza dos Nogueiras; ao Sul, limita-se com o município de Alto Parnaíba; a Leste, contata com os municípios de Sambaíba e Tasso Fragoso; e a Oeste, faz fronteira com os municípios de Riachão e Carolina (CORREIA FILHO *et al.*, 2011). A Figura 3 apresenta a localização geográfica do município de Balsas - MA.

Figura 3 - Mapa de localização do município de Balsas - MA.



Fonte: A autora (2025).

Segundo o portal Recanto do Poeta Balsense [S. I.], que conta sobre a história de Balsas, o município foi criado por agricultores nordestinos residentes no município

de Riachão que atravessaram o Rio Parnaíba para chegar ao estado do Maranhão - fugindo da seca. Rio esse que tem suas origens na Serra da Tabatinga e limita o Piauí com a Bahia, Maranhão e Tocantins. Ademais, Balsas só foi desmembrada do município de Riachão em 22 de março de 1918, quando passou a se chamar Bairro Santo Antônio de Balsas, em homenagem ao padroeiro do município, Santo Antônio Balsas. Posteriormente, passou a ser designada somente como Balsas pela Lei Estadual nº 775 de 22/03/1918 (MARANHÃO, 1918).

Segundo Mota *et al.* (2011), o desenvolvimento agrícola do município de Balsas sempre teve papel relevante na economia local, inicialmente voltado à produção de alimentos, como o arroz. No entanto, a partir do final do século XX, observa-se uma reconfiguração desse cenário, com a soja ganhando destaque como principal cultura. Essa mudança inseriu o município nas dinâmicas do agronegócio internacional, orientando a produção para o mercado global de *commodities* e rompendo com o modelo anterior, mais voltado ao abastecimento interno.

As variabilidades de clima, de relevo e de solo do território brasileiro permitem o desenvolvimento de uma grande diversidade de ambientes naturais. A cobertura vegetal do Maranhão reflete, em particular, a influência das condições de transição climática entre o clima amazônico e o semiárido nordestino (CORREIA FILHO *et al.* 2011, p. 16).

Ainda segundo Correia Filho *et al.* (2011), as principais fontes de renda do município incluem: extração vegetal, pecuária, plantações, trabalho informal e um setor comercial com cerca de 1.666 unidades ativas. Em termos de saúde, o município conta com 29 instituições públicas e 14 privadas. Por outro lado, em 2000, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) do Maranhão foi considerado um dos piores dos estados, enquanto o desempenho de Balsas foi satisfatório, com um IDH médio de 0,696.

Mota *et al.* (2011) enfatiza a importância do processo de transformação econômica, por trás do qual estão as atividades subjacentes que desencadearam profundas mudanças não apenas na estrutura econômica, mas também na estrutura política, social e territorial. Essas mudanças são particularmente evidentes no padrão estrutural do município de Balsas.

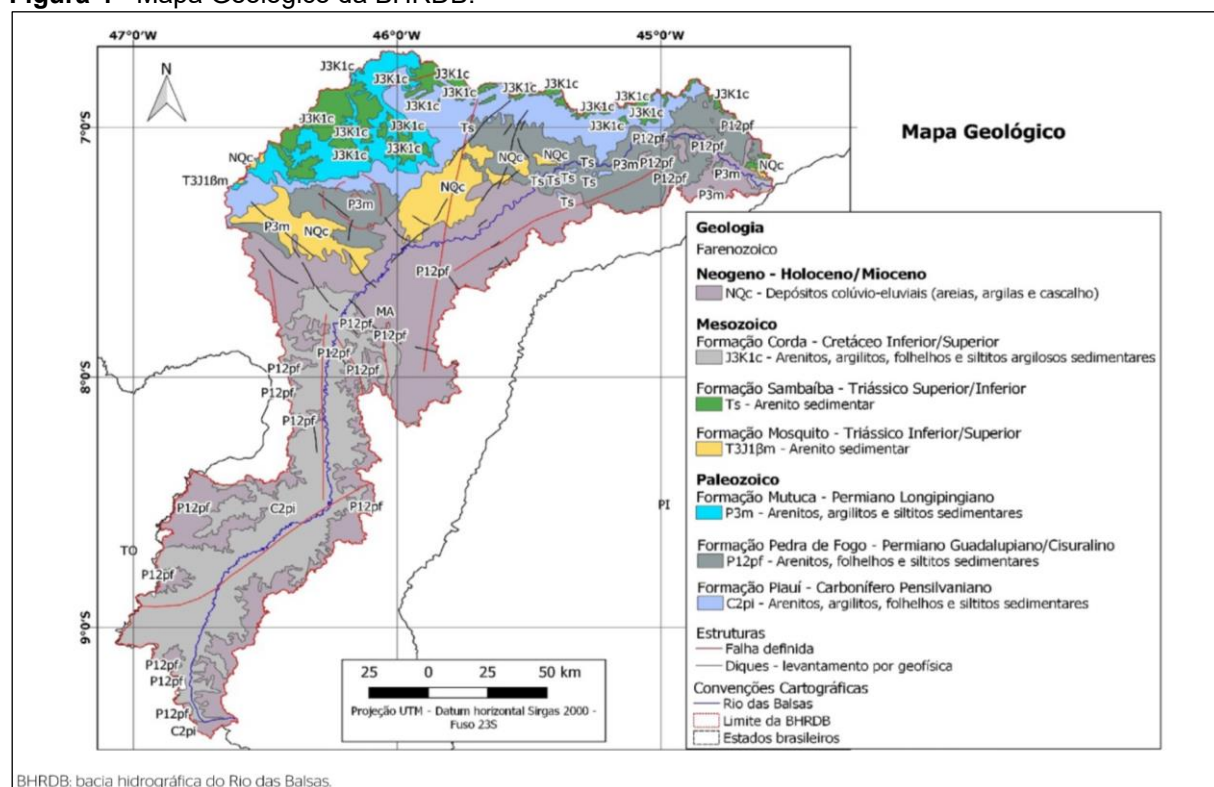
Além do mais, o município de Balsas situa-se na bacia sedimentar do Parnaíba. A vegetação dominante é o cerrado, que cresce tanto no topo do planalto quanto nas áreas de planície baixa. Caracteriza-se por árvores e arbustos com troncos retorcidos,

galhos curtos e curvos e casca grossa. As espécies arbóreas mais habituais são: sucupira, andiroba, jatobá, faveira e murici (CORREIA FILHO *et al.*, 2011).

O município de Balsas apresenta um domínio hidrogeológico: o do aquífero poroso ou intergranular, relacionado aos sedimentos consolidados das formações Piauí (C2pi), Pedra de Fogo (P12pf), Motuca (P3m) e Sambaíba (T12s); e pelos Depósitos Colúvio-Eluviais (NQc) (CORREIA FILHO *et al.*, 2011, p. 26).

A Figura 4 apresenta a geologia da Bacia Hidrográfica do Rio das Balsas (BHRDB), região sul do estado do Maranhão (VAZ *et al.*, 2021).

Figura 4 - Mapa Geológico da BHRDB.

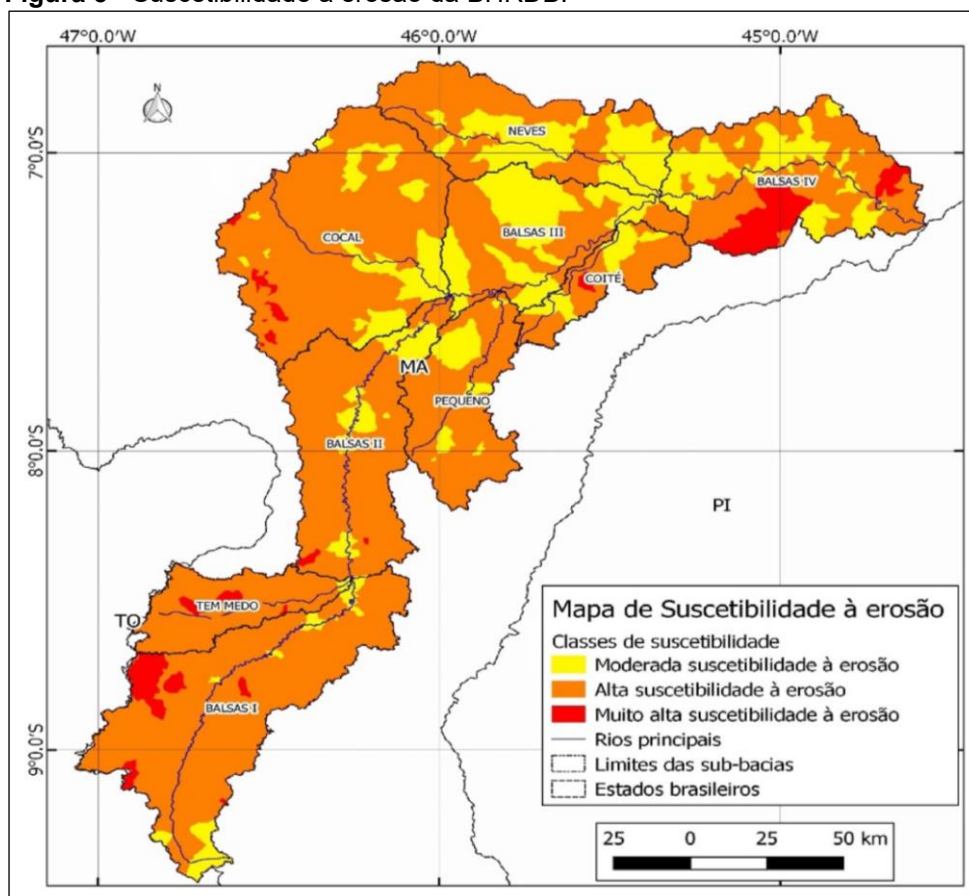


Fonte: Vaz *et al.* (2021).

A Bacia Hidrográfica do Rio das Balsas (BHRDB) tem sua nascente localizada no município de Balsas e a foz no município de Benedito Leite, composto de rochas das formações Corda, Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba (VAZ *et al.*, 2021).

Além disso, Vaz *et al.* (2021) ressalta que as áreas que compõem a BHRDB, possuem de moderada a muito alta suscetibilidade à erosão, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 - Suscetibilidade à erosão da BHRDB.



Fonte: Vaz *et al.* (2021).

Essa suscetibilidade à erosão está diretamente associada às características dos solos que compõem a bacia. Pois conforme Vaz *et al.* (2021), os solos da BHRDB, podem ser descritos como: os solos classificados no grupo hidrológico B — incluindo Areias Quartzosas, Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho, Neossolo Litótico e Nitossolo — correspondem a 81,41% da área da BHRDB. Já os solos do grupo C, representados pelo Argissolo Vermelho-Amarelo, abrangem 8,71%, enquanto aqueles do grupo D — Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, Cambissolo e Plintossolo — ocupam 9,88% da superfície total da bacia.

Percebe-se, portanto, que não foram identificadas zonas com baixa vulnerabilidade, evidenciando a importância do planejamento para o uso e a ocupação do território. Na totalidade da BHRDB, somente 25,24% foi considerada com moderada propensão à erosão. A classe predominante é a alta, que abrange 70,79% da região. As zonas que foram categorizadas como de muito alta suscetibilidade correspondem a 3,97% da BHRDB (VAZ *et al.*, 2021).

3.2 Metodologia da pesquisa

A estratégia escolhida para este trabalho é baseada em uma pesquisa descritiva com levantamento bibliográfico, assim como na aplicação de técnicas de geoprocessamento que destacam os focos de calor através da criação de mapas temáticos trimestrais. Esses mapas permitirão examinar como as variáveis meteorológicas influenciam na ocorrência de focos de calor, utilizando análise estatística por meio da Análise de Componentes Principais (ACP), com o objetivo de entender as relações e correlação das causas das queimadas.

Além disso, foram conduzidas investigações em publicações e periódicos relacionados ao tema, com o objetivo de reunir informações que ajudem a elucidar a influência e as causas relacionadas à incidência dos focos de calor.

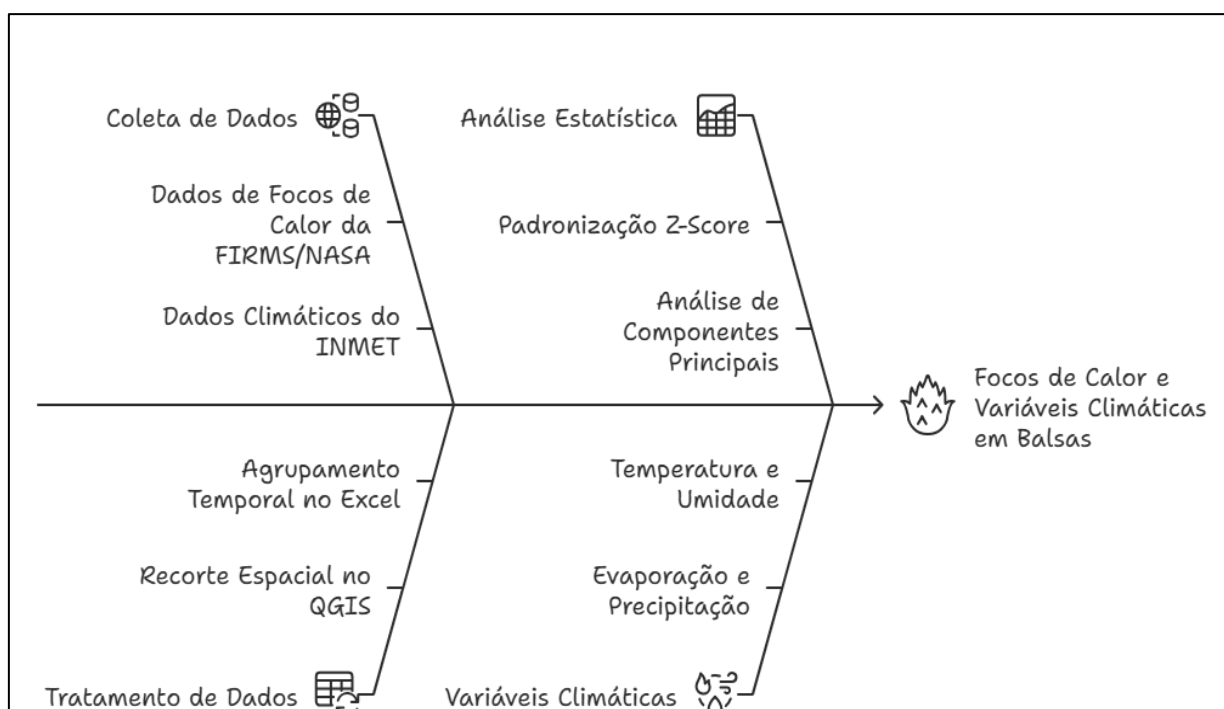
De acordo com Gil (2002), a pesquisa descritiva pode ser definida como uma análise baseada na exposição de características ou fenômenos, levando em consideração a subsistência de agrupamento de variáveis e determinação da natureza de tal relação. Por meio dessa avaliação descritiva é possível expor as questões referentes às principais alterações decorrentes, como por exemplo, em uma área onde possui fatores associados às mudanças em diferentes épocas, sejam elas de cunho natural ou de ações realizadas.

A plataforma *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) foi utilizada para baixar os dados quantitativos referentes aos focos de calor do município de Balsas - MA entre o terceiro trimestre de 2020 e o segundo trimestre de 2025. Dessa forma, será possível analisar as ocorrências de focos de calor por meio das variações e mudanças no ambiente, delimitando a área de investigação com práticas de geoprocessamento, utilizando o software QGIS 2.18.14.

3.3 Procedimentos metodológicos

Com o intuito de sintetizar e facilitar a compreensão das etapas metodológicas adotadas nesta pesquisa, a seguir tem-se, um fluxograma que representa de forma esquemática o processo de obtenção, tratamento e análise dos dados conforme Figura 6.

Figura 6 - Etapas metodológicas da pesquisa.



Fonte: A autora (2025).

Para a obtenção dos dados referentes aos focos de calor no município de Balsas–MA, realizou-se inicialmente o *download* das informações de focos de incêndio/pontos quentes mapeados e disponibilizados pela plataforma *Fire Information for Resource Management System* (FIRMS), da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), acessíveis por meio do menu do mapa principal da plataforma. O FIRMS reúne registros de incêndios ativos e séries históricas voltadas ao monitoramento de queimadas e incêndios florestais. Além do mais, o banco de dados sobre os focos de calor, são disponibilizados gratuitamente pela plataforma. Neste estudo, os dados extraídos abrangeram o período de cinco anos, compreendendo os meses de julho a dezembro de 2020 e janeiro a junho de 2025.

O FIRMS fornece informações sobre incêndios ativos por meio do sensor Espectrorradiômetro de Imagem de Resolução Moderada (MODIS C6.1), presente nos satélites AQUA e TERRA, ambos integrantes do Sistema de Observação da Terra (EOS) da NASA. Além desses, outro instrumento empregado na detecção dos focos de calor é o Conjunto de Radiômetros de Imagem Infravermelho Visível (VIIRS), que compõem os satélites S-NPP, NOAA 20 e NOAA 21, ampliando a precisão e cobertura espacial das informações obtidas.

Adicionalmente, foram obtidos arquivos *shapefile* (shp) no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), contendo as unidades federativas do Brasil e as malhas municipais, visando isolar o limite territorial do estado do Maranhão e posterior do município de Balsas.

De posse desses dados, procedeu-se ao tratamento e à organização das informações no *software* QGIS 2.18.14. Primeiramente, realizou-se o recorte do *shapefile* do estado do Maranhão a partir do conjunto das unidades federativas do Brasil, e, em seguida, criou-se uma camada vetorial com um novo *shapefile* correspondente ao município de Balsas. Como os dados do FIRMS ao serem baixados abrangem todo o território brasileiro, foi necessário efetuar um recorte espacial, limitando os registros apenas da área territorial do município analisado.

Para realizar a análise temporal e compreensão da distribuição dos focos de calor, os dados foram agrupados por trimestre, sendo o primeiro trimestre composto pelos meses de janeiro, fevereiro e março; o segundo trimestre, por abril, maio e junho; o terceiro trimestre, por julho, agosto e setembro; e o quarto trimestre, por outubro, novembro e dezembro. Essa separação foi realizada por meio da expressão *month("ACQ_DATE") >= X AND month("ACQ_DATE") <= Y*, aplicada na tabela de atributos do *software* para cada trimestre do ano correspondente.

Após essa etapa, os *shapefiles* trimestrais foram organizados por ano, possibilitando a quantificação do número total de focos de calor em cada período. A partir desses dados, foram elaborados mapas temáticos representando a distribuição espacial dos focos de calor no município de Balsas ao longo dos anos. Para facilitar a interpretação visual, adotou-se um padrão de cores que distingue os trimestres: verde (1º trimestre), laranja (2º trimestre), vermelho (3º trimestre) e azul (4º trimestre).

Na etapa seguinte, foram obtidos dados climatológicos do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o qual disponibiliza informações climáticas do

Brasil em diferentes períodos. Para este estudo, considerou-se a série histórica de 1991 a 2020. O acesso foi realizado por meio da aba “Clima”, em seguida “Normais Climatológicas” e, por fim, “*Downloads*”, onde foram selecionadas as variáveis meteorológicas de interesse.

As variáveis analisadas compreenderam: evaporação total (mm), precipitação acumulada (mm), umidade relativa do ar (%), intensidade do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e evapotranspiração potencial (mm) por representarem a maior parte dos elementos que influenciam o clima na região. Sendo assim, para cada variável, realizou-se o *download* de uma planilha individual no *Microsoft Excel*, contendo os dados referente a vários municípios, no entanto, selecionou-se apenas o município de Balsas - MA.

Como os registros meteorológicos são apresentados em escala mensal, realizou-se o cálculo das médias trimestrais com *Microsoft Excel*, de modo a compatibilizar os dados climatológicos com a estrutura temporal utilizada para os focos de calor. Assim, com todos os dados organizados, tanto os referentes aos focos de calor quanto às variáveis meteorológicas em base trimestral, foi possível realizar uma análise quantitativa da correlação entre essas informações, bem como comparar sua variação entre o terceiro trimestre de 2020 e o segundo trimestre de 2025, totalizando os últimos cinco anos de estudo.

A terceira etapa da pesquisa consistiu na Análise de Componentes Principais (ACP), técnica estatística que tem como objetivo reduzir um número grande de variáveis em um conjunto menor de componentes principais. Nesta etapa, foi necessário realizar o tratamento das variáveis evaporação total (mm), precipitação acumulada (mm), umidade relativa do ar (%), intensidade do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e evapotranspiração potencial (mm), uma vez que possuem unidades de medidas distintas.

O tratamento dos dados foi realizado no *Microsoft Excel*, aplicando-se o método de padronização Z-Score, que converte os valores de cada variável em unidades de desvio padrão, centrando-os em uma média. Dessa forma, organizou-se uma planilha com oito colunas, sendo a primeira referente aos trimestres e as demais às variáveis analisadas, além de uma coluna final destinada aos focos de calor. Na coluna dos trimestres, foram inseridos os períodos considerando o terceiro trimestre de 2020 até

o segundo trimestre de 2025, com as médias trimestrais correspondentes a cada variável.

Após essa etapa, calculou-se a média e o desvio padrão de cada variável, utilizando as funções do próprio Excel. Seguidamente, criou-se outra tabela ao lado com a mesma estrutura para calcular o Z-Score (Equação 1).

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

(Equação 1)

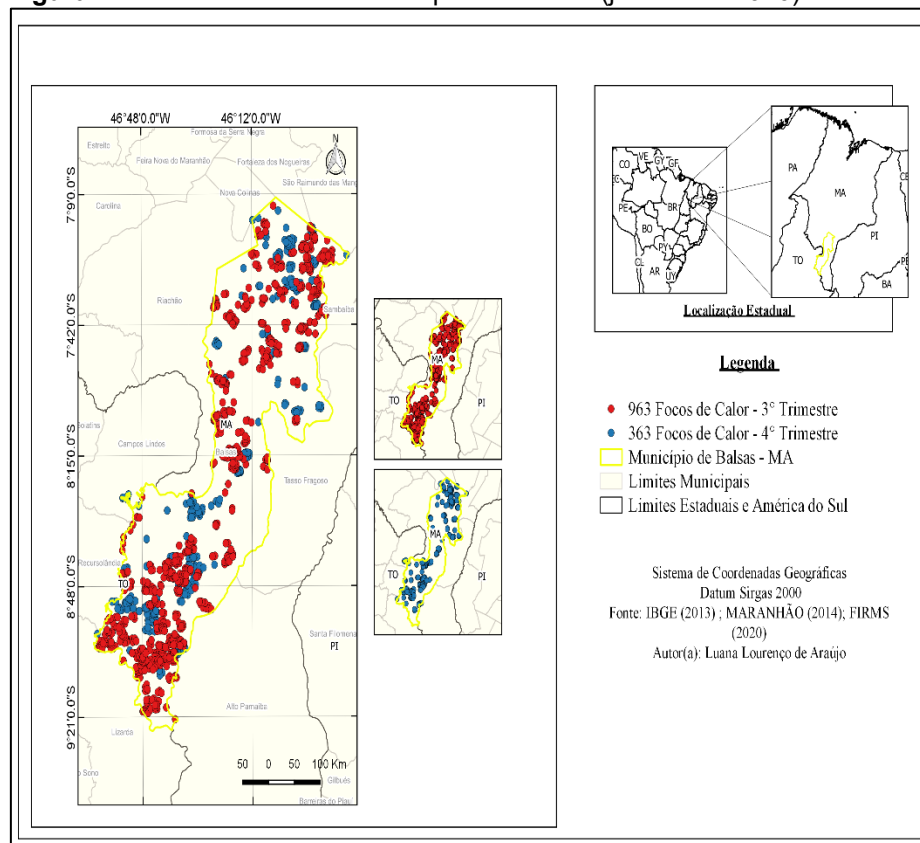
Onde, X representa o valor individual que está sendo analisado, μ é a média do conjunto de dados e σ é o desvio padrão do mesmo conjunto de dados. Dessa forma, foram calculados os valores padronizados de cada trimestre para todas as variáveis analisadas.

Com os dados devidamente padronizados, realizou-se a Análise de Componentes Principais (ACP) no *software* Past 4.03. Para isso, a tabela contendo os dados padronizados foi inserida no programa Past 4.03. e, em seguida, acessou-se o menu *Multivariate* → *Ordination* → *Principal Components (PCA)*, obtendo-se assim a análise final dos componentes principais.

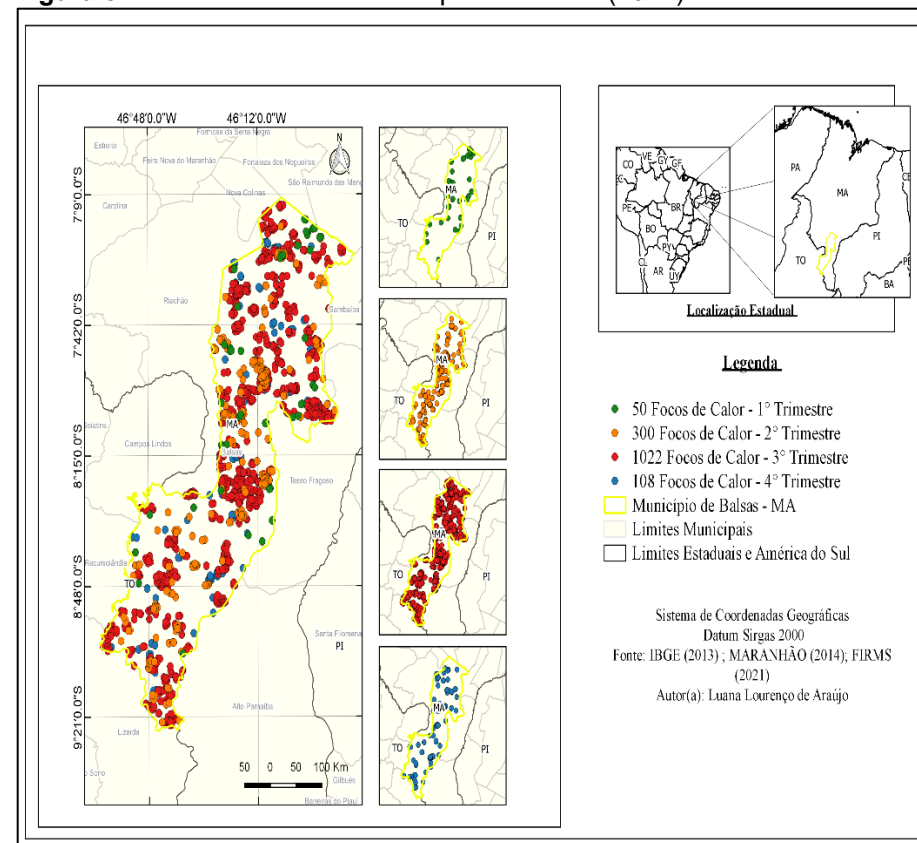
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados coletados no sistema FIRMS/NASA, foi possível localizar os pontos de focos de calor na cidade de Balsas - MA entre o terceiro trimestre de 2020 e o segundo trimestre de 2025.

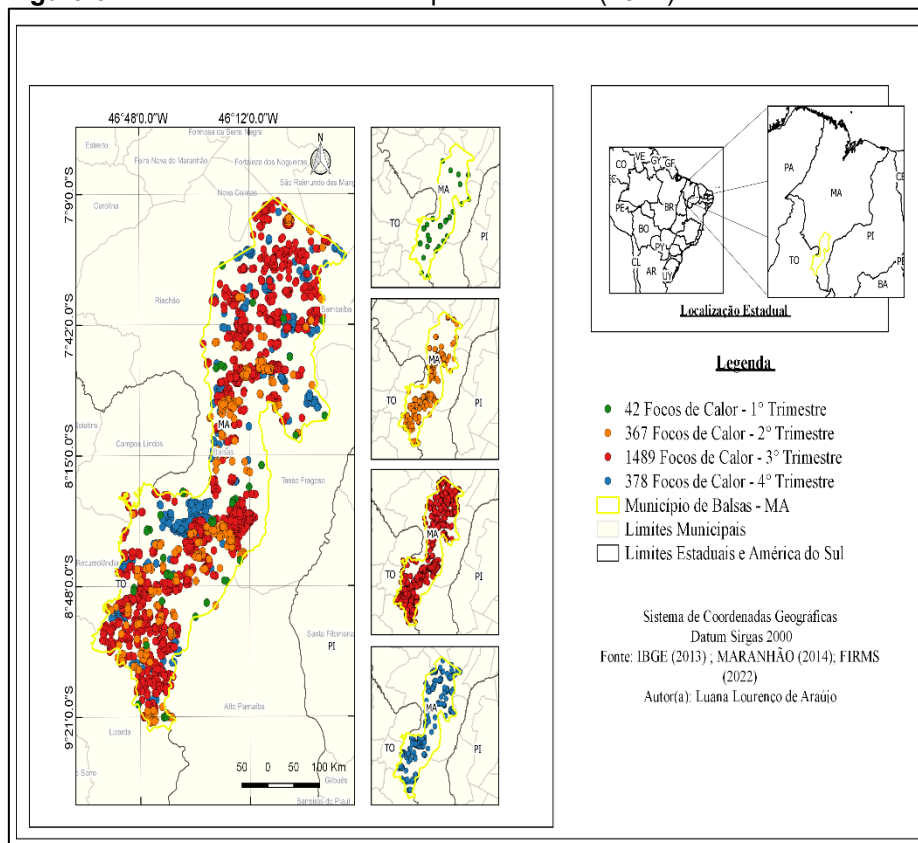
Em seguida, são apresentados os mapas referentes aos anos analisados, organizados em trimestres e diferenciados por cores. A cor verde indica os focos de calor no primeiro trimestre (janeiro, fevereiro e março), a cor laranja representa os focos no segundo trimestre (abril, maio e junho), vermelho corresponde aos focos de calor no terceiro trimestre (julho, agosto e setembro) e, por fim, a cor azul denota os focos no quarto trimestre (outubro, novembro e dezembro) do ano. O resultado pode ser observado a seguir (Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10, Figura 11 e Figura 12), e os mapas em página inteira encontram-se disponibilizados no Apêndice I.

Figura 7 - Focos de calor no município de Balsas (jul-dez de 2020).

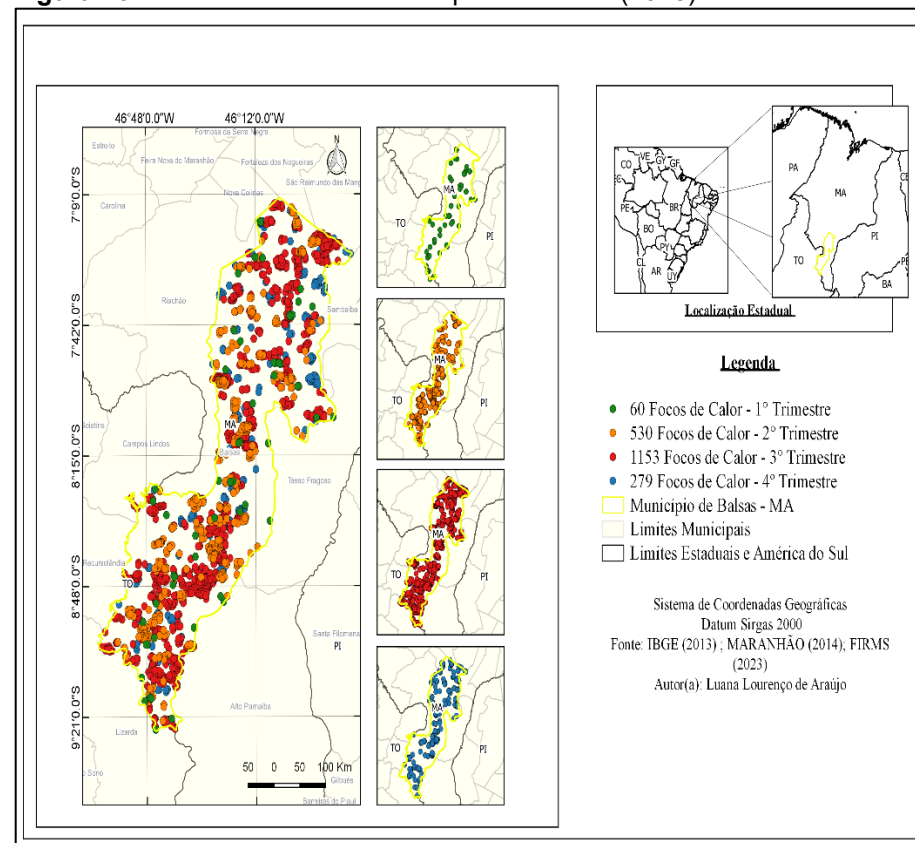
Fonte: A autora (2025).

Figura 8 - Focos de calor no município de Balsas (2021).

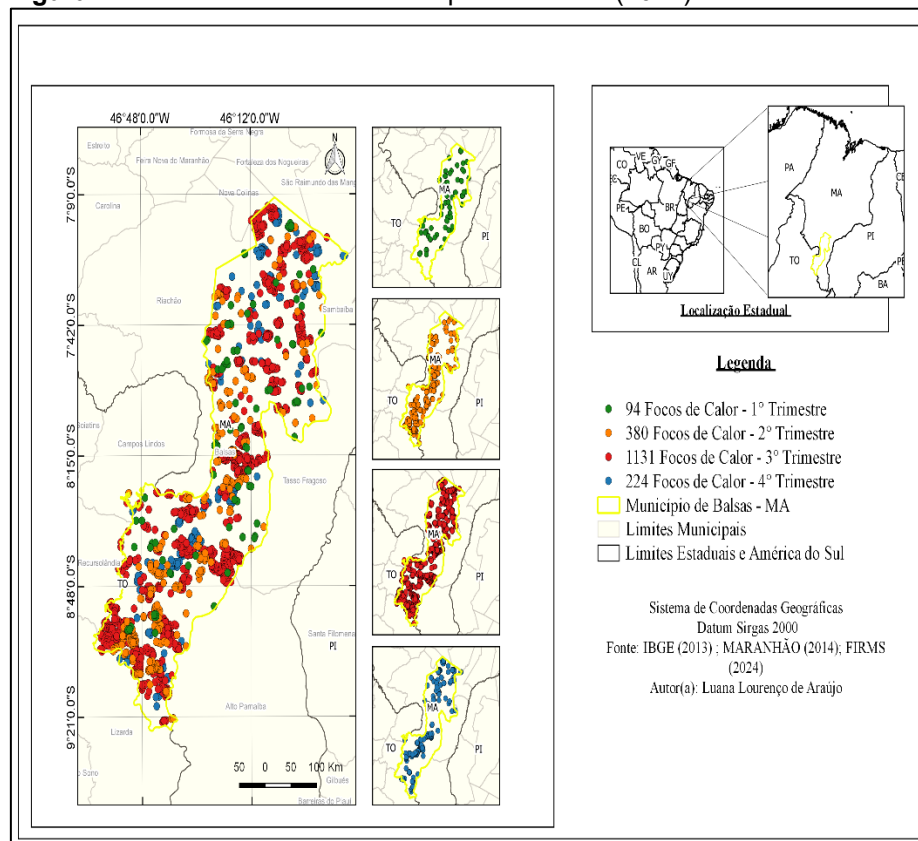
Fonte: A autora (2025).

Figura 9 - Focos de calor no município de Balsas (2022).

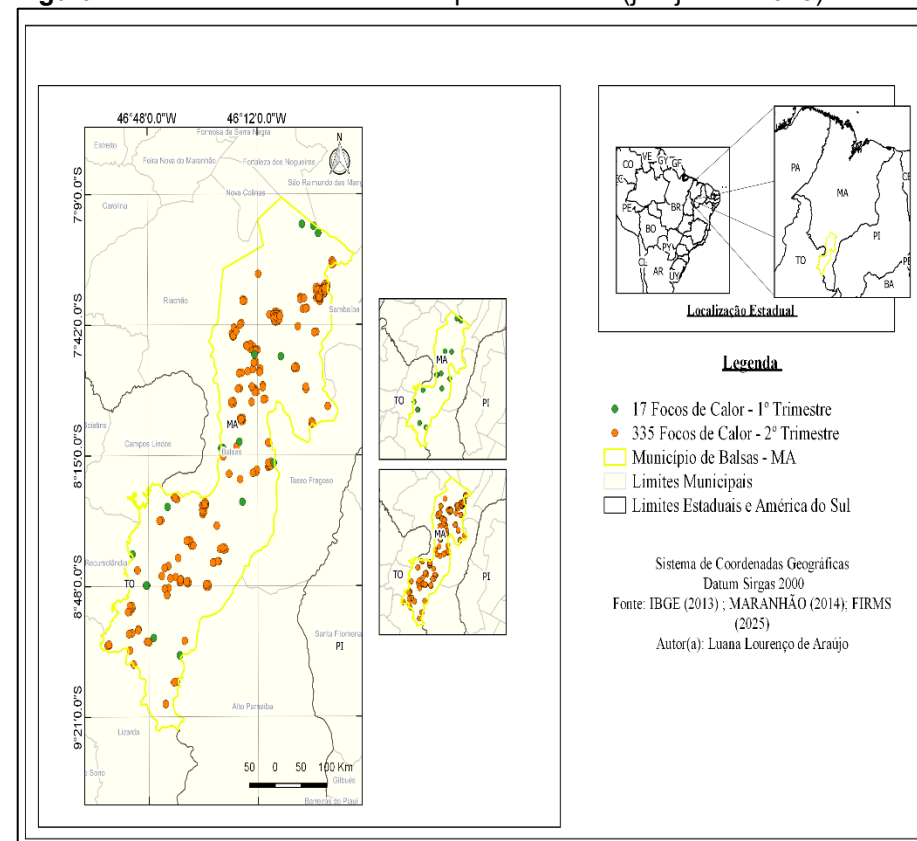
Fonte: A autora (2025).

Figura 10 - Focos de calor no município de Balsas (2023).

Fonte: A autora (2025).

Figura 11 - Focos de calor no município de Balsas (2024).

Fonte: A autora (2025).

Figura 12 - Focos de calor no município de Balsas (jan-jun de 2025).

Fonte: A autora (2025).

A análise espacial e temporal dos focos de calor foi realizada por meio do *software* QGIS 2.18.14, o qual utilizou-se dos dados trimestrais de 2020 (julho-dezembro) até o segundo trimestre de 2025 (janeiro-junho). O resultado é apresentado na tabela abaixo (Tabela 1). O símbolo “*” indica os períodos que não foram considerados na análise, por representarem o recorte temporal definido para os últimos cinco anos.

Tabela 1 - Dados de focos de calor - 2020 a 2025.

Anos	Focos de Calor – 1º Trimestre	Focos de Calor – 2º Trimestre	Focos de Calor – 3º Trimestre	Focos de Calor – 4º Trimestre	Total Anual
2020	*	*	963	363	1326
2021	50	300	1022	108	1480
2022	42	367	1489	378	2276
2023	60	530	1153	279	2022
2024	94	380	1131	224	1829
2025	17	335	*	*	352

*dados não utilizados

Fonte: Adaptado de FIRMS (2025).

De modo geral, observou-se que, no primeiro trimestre, os focos de calor foram mais expressivos nos anos de 2023 e 2024, com o registro de 60 e 94 ocorrências, respectivamente. Em contrapartida, o ano de 2025 apresentou o menor número de focos, totalizando 17 registros. No segundo trimestre, os anos de 2023 (530 focos) e 2024 (380 focos) também se destacaram, enquanto os menores valores foram verificados em 2021 (300 focos) e 2025 (335 focos).

Já no terceiro trimestre, os maiores quantitativos foram constatados em 2022, com 1.489 focos, e em 2023, com 1.153 registros. Por fim, no quarto trimestre, os anos de 2022 e 2023 novamente se destacaram, apresentando 378 e 279 focos de calor, nessa sequência, configurando-se como os períodos com maior incidência.

Ao examinar os dados de forma mais detalhada, observa-se que os focos de calor no município de Balsas seguem um padrão sazonal bem definido, concentrando-se principalmente no terceiro trimestre do ano (Tabela 1), período caracterizado pela seca em função da redução de chuvas.

Os meses de julho, agosto e setembro (3º trimestre) são considerados meses de estiagem conforme mencionado por Vaz *et al.* (2021) na caracterização da área. Os autores destacam que o clima é dividido em duas estações distintas, sendo, uma delas a estação seca que corresponde a esses meses. Logo, esse indicativo

expressivo de focos de calor nesse período pode estar diretamente associado ao clima da região, fato este, que influencia a ignição e a propagação do fogo.

Entretanto, além das condições naturais favoráveis, a ação antrópica exerce papel determinante na intensificação desse fenômeno. Segundo Neto (2023), o município de Balsas destaca-se como um dos principais polos do agronegócio do Maranhão, integrando a região do MATOPIBA, composta pelos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, considerada uma das últimas fronteiras agrícolas do país. Nesse cenário, o autor ressalta que o uso sistemático do fogo é uma prática comum no manejo de áreas destinadas ao cultivo e à formação de pastagens, o que tem contribuído para o aumento dos índices de queimadas registrados no município ao longo dos anos.

Além do mais, a intensa concentração de focos em Balsas sugere relação direta com atividades antrópicas, notadamente a expansão agrícola no MATOPIBA. O uso do fogo para limpeza e eliminação de resíduos vegetais é uma prática reforçada por Silva *et al.* (2020) e Neto (2023) como técnica de baixo custo, o que intensifica os riscos no período de estiagem.

Os incêndios florestais provocados por essas práticas podem causar prejuízos não apenas ao ecossistema, mas também à vida das pessoas. Os efeitos dos incêndios na qualidade do ar não se limitam apenas às regiões que são diretamente afetadas pelas chamas, já que a nuvem de poluentes pode se espalhar por muitas centenas de quilômetros, impactando áreas urbanas longínquas (Viana; Peres, 2023). E, de acordo com Andrade *et al.* (2023) a exposição da fumaça proveniente das queimadas tem sido associada ao aumento significativo de hospitalizações por doenças respiratórias e cardiovasculares.

Além dos impactos atmosféricos, as queimadas também geram efeitos consideráveis sobre o solo e os recursos hídricos. Nota-se que a ocorrência de focos de calor em áreas de vegetação nativa e as zonas de alta suscetibilidade à erosão identificadas por Vaz *et al.* (2021), revela que os incêndios podem ameaçar a dinâmica natural do solo e a qualidade dos recursos hídricos da região. Pois, segundo Primavesi (2023), além da diminuição de nutrientes fundamentais, os solos afetados por incêndios advêm de modificações estruturais consideráveis, como a destruição dos agregados e compactação da superfície, resultando em perda significativa de porosidade. Essas alterações comprometem a infiltração de água no solo,

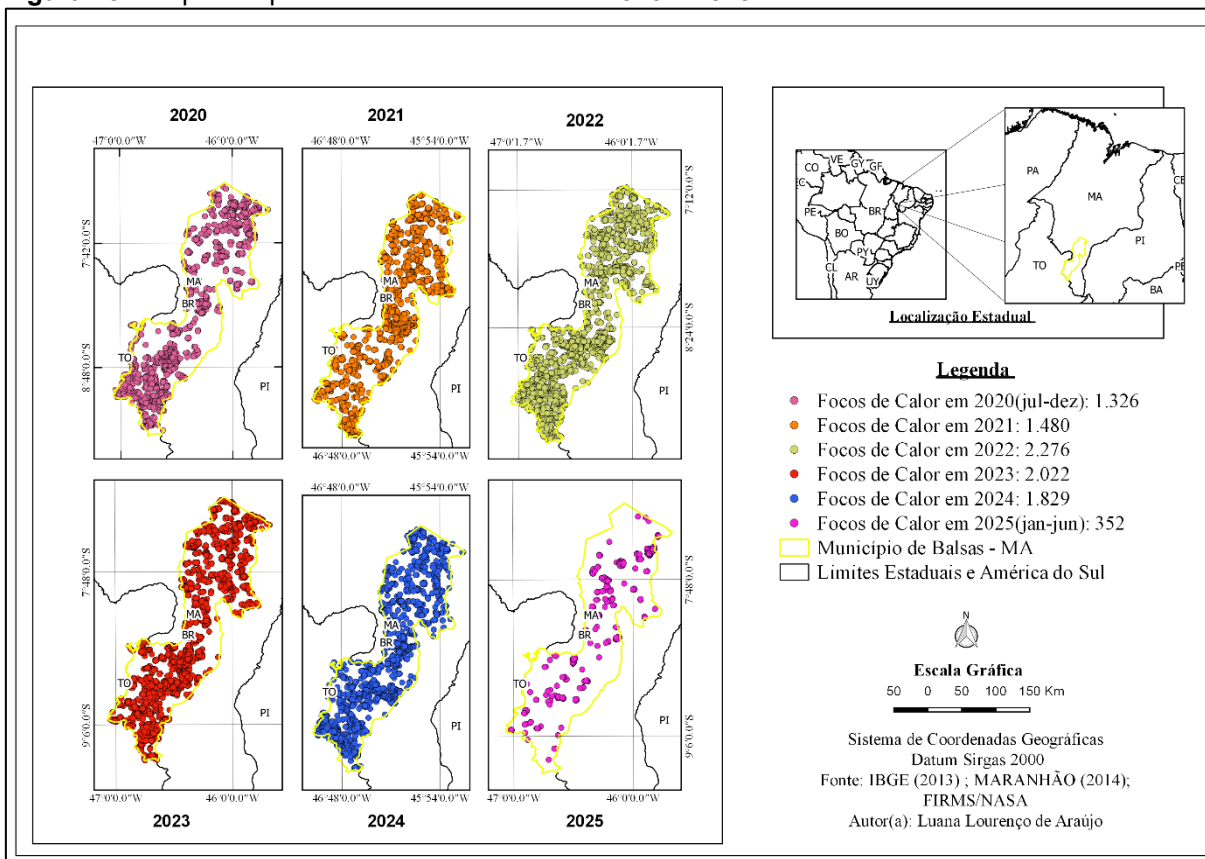
aumentando a quantidade de escoamento superficial e consequentemente agravando os processos de erosão.

Outro ponto relevante é que de acordo com Vaz *et al.* (2021) a BHRDB é composta por uma variedade de solos conhecidos como: Grupo Hidrológico B - Areias Quartzosas, Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho, Neossolos Litólicos e Nitossolos. Considerando que 32,08% da área é formada por Areias Quartzosas e Neossolos, esses tipos de solo apresentam maior suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos. Em contrapartida, os Latossolos Amarelo e Vermelho, juntamente com os Nitossolos, que ocupam 49,32% da área, são menos propensos à erosão devido às suas características físicas e estruturais.

Nesse contexto, a análise dos dados de focos de calor (Tabela 1) reforçam essa problemática, demonstrando que o terceiro trimestre apresentou elevados valores de focos de calor para o município de Balsas quando comparado com os demais trimestres dos anos. Logo, atenta-se que os picos de focos tiveram maior intensidade durante o período que abrange os Decretos Estaduais nº 38.403/2023, nº 39.283/2024 e nº 40.148/2025, que definem o período proibitivo do uso de fogo para limpeza e manejo de áreas no estado do Maranhão, sendo compreendido entre os meses de julho a novembro, tratando-se do período de estiagem que favorece a propagação do fogo.

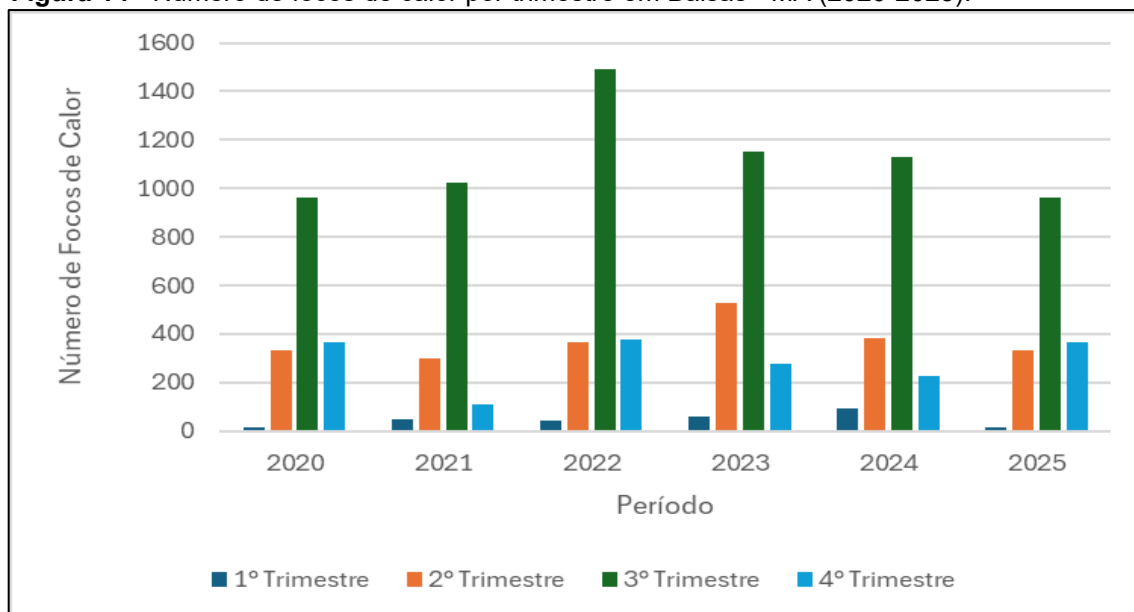
A comparação entre os anos (2020 - 2025) mostra que 2022 foi o período com o maior número de focos de calor, totalizando 2.276 registros. Em 2023, houve uma redução de aproximadamente 11%, com 2.022 focos, seguida por 2024, que apresentou 1.829 registros, correspondendo a uma queda de cerca de 9,5% em relação ao ano anterior. O ano de 2020 contabilizou 1.326 ocorrências, enquanto 2025, com dados até o segundo trimestre, registrou 352 focos, somando-os 1.678 ocorrências. Já 2021 apresentou o menor índice do período completo, com 1.480 registros.

De modo geral, verifica-se variação significativa ao longo do período de 2020 a 2025, sendo que 2022 concentrou o maior número de focos, enquanto 2021 apresentou o menor, indicando um aumento aproximado de 53,78% entre esses dois anos, conforme mostrado na figura abaixo (Figura 13). Cabe destacar que a versão desta figura em página inteira está apresentada no Apêndice I.

Figura 13 - Mapa comparativo de focos de calor – 2020 a 2025.

Fonte: A autora (2025).

Na Figura 14 é possível analisar a incidência dos focos de calor para o município de Balsas.

Figura 14 - Número de focos de calor por trimestre em Balsas - MA (2020-2025).

Fonte: A autora (2025).

Analisando a Figura 13 e a Figura 14, nota-se uma tendência na incidência de queimadas que correspondem aos focos de calor no município de Balsas - MA entre julho a dezembro de 2020 e janeiro a junho de 2025. O maior destaque deu-se para o terceiro trimestre, onde o mesmo concentrou os maiores indicadores de ocorrências, corroborando com o período de estiagem da região, que compreende os meses de julho a dezembro. Meses estes que são caracterizados pela baixa precipitação pluviométrica e temperaturas máximas, marcando, assim, um clima seco. Essa característica denota uma relação direta entre as estações do ano sazonais com a incidência e propagação do fogo, especialmente em vegetação seca.

Esses resultados se alinham à análise multitemporal realizada por Szepanski (2021) sobre os focos de queimadas no município de Balsas-MA, nos anos de 2005, 2010, 2015 e 2020. A autora destacou que o maior número de ocorrências foi registrado em 2010, com um total de 3.323 focos, superando os 2.111 focos observados em 2005. Por outro lado, o menor índice foi identificado em 2020, com apenas 1.629 focos. Entre 2005 e 2010, houve um crescimento de aproximadamente 57% na quantidade de focos. Já no intervalo entre 2015 e 2020, verificou-se uma redução de cerca de 31%.

Ainda segundo Szepanski (2021), os índices de queimadas apresentaram maior concentração no terceiro trimestre em todos os anos analisados, enquanto os menores registros ocorreram no primeiro trimestre. Na perspectiva da autora esse padrão está diretamente relacionado à sazonalidade climática da região: nos primeiros meses do ano, há excedente hídrico devido às elevadas taxas de precipitação, ao passo que, no terceiro trimestre, a escassez de chuvas e a baixa umidade favorecem significativamente a propagação do fogo, contribuindo para o aumento das ocorrências de queimadas.

A pesquisa de Szepanski (2021), corrobora com os achados desta pesquisa. Destaca-se que o número de focos de calor no município de Balsas-MA em 2022 foi de 2.276, indicando uma redução de aproximadamente 31,5% em relação ao pico registrado em 2010, que registrou 3.323 focos. A comparação entre esses dois picos mostra que, embora as ocorrências mais intensas tenham diminuído, os focos de calor ainda se concentram principalmente nos meses mais secos do ano.

Szepainski (2021) também aponta que o clima é fator determinante na ocorrência de focos de calor e que, apesar de ser um fenômeno natural do bioma do

Cerrado, o emprego do fogo de forma descontrolada pode acarretar consequências negativas tanto para o meio ambiente quanto para a saúde das pessoas. E a pesquisa de Souto, Freitas e Martins (2021) também sugere que as variáveis meteorológicas afetam diretamente a ocorrência de incêndios florestais e os fatores que mais impactam abrangem a precipitação, a umidade relativa do ar, a velocidade e direção do vento, e a temperatura.

Tyukavina *et al.* (2022) também defendem que a ocorrência de focos de calor pode estar ligada a mudanças na temperatura, variação da umidade e acrescentam que períodos com presença ou ausência de chuvas podem ser fatores determinantes também. Medeiros *et al.* (2013) complementa destacando que o clima pode ser compreendido como o conjunto de fatores meteorológicos, como temperatura do ar, intensidade e direção dos ventos, umidade relativa do ar, evaporação, precipitação e evapotranspiração. O que reflete nas características das condições climáticas de uma dada região.

Levando em consideração essas colocações, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), dispõe de um panorama de dados climatológicos do Brasil do período de 1991 a 2020, os quais estão agrupados por municípios. Com isso, foi feito o levantamento para o município de Balsas, logo, tem-se a média mensal climática conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Média mensal dos dados climáticos de Balsas - MA (1991 a 2020).

Meses	E.T (mm)	P (mm)	T (°C)	U.R.A (%)	I.V (m·s ⁻¹)	E.P (mm)
Jan.	71,1	226,7	31,3	80,5	0,9	188,2
Fev.	64,8	181,6	31,5	80,4	0,9	163,7
Mar.	71,7	186,1	31,7	80,3	0,9	175,0
Abr.	81,9	119,8	32,2	77,3	0,9	174,6
Mai.	112,2	50,1	32,9	70,9	0,9	176,8
Jun.	162,7	4,7	33,5	61,3	1,0	163,6
Jul.	*	1,0	*	53,7	1,1	*
Ago.	247,5	18,2	35,5	48,5	1,1	216,8
Set.	236,5	86,1	36,3	49,3	0,9	245,1
Out.	178,8	82,6	34,9	63,1	0,9	264,1
Nov.	100,6	151,8	32,7	73,2	0,9	221,2
Dez.	77,9	167,3	31,8	77,1	0,8	205,3

E.T – Evaporação Total; P – Precipitação; T – temperatura; U.R.A – Umidade Relativa do Ar; I.V – Intensidade do Vento; E.P – Evapotranspiração Potencial

*ausência de dados para o mês correspondente.

Fonte: Adaptado de INMET (2025).

Os dados sobre os focos de calor foram organizados por trimestres, os valores das variáveis foram tratados com base em uma média trimestral, para a realização da análise estatística em conjunto com os dados climáticos. Assim, os resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Média trimestral dos dados climáticos de Balsas - MA (1991 a 2020).

Período	E.T (mm)	P (mm)	T (°C)	U.R.A (%)	I.V (m·s ⁻¹)	E.P(mm)
1° Tri	60,2	198,1	31,5	80,4	0,9	175,6
2° Tri	118,9	58,2	32,8	69,8	0,9	171,6
3° Tri	242,0	6,8	35,9	50,5	1,1	230,9
4° Tri	119,1	135,0	33,1	70,4	0,8	230,2

E.T – Evaporação Total; P – Precipitação; T – temperatura; U.R.A – Umidade Relativa do Ar; I.V – Intensidade do Vento; E.P – Evapotranspiração Potencial

Fonte: Adaptado de INMET (2025).

A diferença entre as estações seca e chuvosa é evidenciada pelos dados de precipitação. A variável de evaporação total apresentou maior indicador no terceiro trimestre (julho, agosto e setembro) com 242 mm. Torres *et al.* (2011) destacam que a evaporação afeta o nível de água presente na planta, ou seja, a perda de água através da evaporação impacta o nível de secagem, pois se refere à diminuição de umidade da planta. Quando a evaporação é intensa, a secagem do material ocorre de forma mais rápida e completa, aumentando assim o risco de incêndio. Dessa forma, compreende-se que a variável precipitação impacta na concentração dos focos de calor, uma vez que ocorre diminuição de umidade, o que justifica a ocorrência tão concentrada no 3° trimestre com 1.489 focos de calor no ano de 2022.

Além do mais, o Relatório Diagnóstico do Município de Balsas ressalta que o Estado do Maranhão possui um padrão de regime pluviométrico com duas estações distintas. A fase de chuvas, que acontece entre dezembro e maio, mostra dados aproximados de 290,4 mm e atinge os níveis máximos de precipitação em março. A fase seca, que ocorre de junho a novembro, com quantidade menor de chuvas em agosto, apresenta médias em torno de 17,1 mm (Correia Filho *et al.*, 2011). O que valida o dado de evaporação do terceiro trimestre, sendo o maior quando comparado aos outros meses, já que trata-se dos meses com menor umidade devido a frequência baixa de chuvas.

Observa-se então a relação das variáveis evaporação e umidade relativa do ar. Elevada evaporação tende a ocorrer com baixa umidade, logo, o terceiro trimestre apresenta alta evaporação (242 mm), no entanto, baixa umidade relativa do ar

(50,5%). Neto (2023) enfatiza que o município de Balsas insere-se totalmente no bioma do Cerrado e Rodrigues *et al.* (2022) ressalta que o bioma do Cerrado possui um clima sazonal com uma estação seca prolongada e baixos índices de umidade entre os meses de maio a setembro, criando condições propícias para a propagação de incêndios.

Em complemento, ao analisar a precipitação acumulada, verifica-se que o primeiro trimestre (janeiro, fevereiro e março) apresentou o maior indicador com 198,13 mm de precipitação. Em contrapartida, no terceiro trimestre (julho, agosto e setembro) apresentou um menor índice de precipitação acumulada, com 6,83 mm. De acordo com Torres *et al.* (2011), a força de um incêndio e a rapidez com que ele se espalha estão diretamente conectadas à umidade relativa, à temperatura do ar e à precipitação. Uma precipitação maior reflete condições climáticas menos favoráveis à propagação do fogo, como maior pluviosidade e umidade do solo, por isso os focos no 1º trimestre são considerados poucos quando comparados aos do 3º trimestre de todos os anos analisados.

A temperatura, por sua vez, no terceiro trimestre (julho, agosto e setembro) apresentou um dado representativo, indicando uma temperatura máxima de 35,9°C para esses meses. No entanto, no primeiro trimestre (janeiro, fevereiro e março) tem-se uma temperatura mínima de 31,5°C. Almeida (2012) alerta que no período de estiagem, fatores ambientais como altas temperaturas, umidade do ar reduzida, vegetação ressecada e ventos intensos favorecem a ocorrência de incêndios extensos e fora de controle.

Assim, observa-se que os focos de calor no 3º trimestre são explicados pela relação com a variável temperatura, uma vez que a mesma apresentou elevado valor nesse período. Esse aumento favorece a propagação dos incêndios florestais, que, conforme destacado por Copertino *et al.* (2019) e Carmo (2024) podem causar danos irreparáveis à biodiversidade e comprometer os ciclos hidrológicos.

Além da temperatura, a umidade relativa do ar também exerce papel fundamental na ocorrência de queimadas. No presente estudo, observou-se que umidade relativa do ar apresentou maior dado no primeiro trimestre, correspondendo a 80,4%. Por outro lado, no terceiro trimestre apresentou menor indicador, ou seja, 50,5%. Torres, Silva e Lima (2019) acentuam que valores baixos de umidade relativa indicam caráter quente e seco. Ao contrário, maior nível de umidade do ar, sinaliza

um ambiente mais úmido e ameno. Souto, Freitas e Martins (2021) complementa afirmando que a umidade relativa do ar trata-se da variável do clima que mostra a correlação mais alta com as queimadas.

Tyukavina *et al.* (2022) evidencia uma relação entre temperatura e umidade. Temperaturas altas indicam redução da umidade, favorecendo períodos prolongados de estiagem tornando os ambientes naturais mais suscetíveis à combustão espontânea ou induzida, o que está diretamente ligado a intensificação dos incêndios florestais. Fearnside (2022) ressalta que a deterioração da vegetação afeta os serviços ecossistêmicos, como a regulação térmica e a umidade do ar, gerando microclimas mais secos e quentes.

Além da temperatura e da umidade, a intensidade dos ventos também exerce influência significativa sobre a propagação do fogo. Observa-se maior valor no terceiro trimestre com $1,1 \text{ m.s}^{-1}$ e menor no quarto trimestre do ano com $0,8 \text{ m.s}^{-1}$. Ribeiro e Assunção (2002) reforça que a ocorrência das queimadas tem como agravantes a velocidade do vento. Almeida (2012) enfatiza que fortes rajadas de vento, junto com a vegetação ressecada e uma baixa umidade do ar são favoráveis para a ocorrência de incêndios florestais incontroláveis.

Outro fator climático relevante é a evapotranspiração potencial, que se destacou no terceiro trimestre com 230,9 mm, bem próxima do quarto trimestre com 230,2 mm. E apresentando menor valor para o segundo trimestre com 171,6 mm. Segundo Moro *et al.* (2025) a evapotranspiração pode ser compreendida como um constituinte do ciclo hidrológico, podendo influenciar diretamente na umidade do solo e na disponibilidade hídrica para as plantas. Além disso, é de suma importância para entendimento sobre as alterações climáticas, principalmente análises de períodos de estiagem. Barbosa (2021), por sua vez, acentua que a evapotranspiração está intimamente ligada à frequência de incêndios, já que, à medida que aumenta, menos água a vegetação retém, tornando-a mais desidratada e suscetível a chamas.

Devido à presença dessas diversas variáveis climatológicas que afetam a ocorrência de focos de calor, foi realizada uma Análise de Componentes Principais (ACP) para identificar quais variáveis têm maior relevância. Essa abordagem é uma técnica estatística que busca reduzir a dimensionalidade dos dados, transformando um grande número de variáveis em um conjunto reduzido, conhecido como Componentes Principais (CPs), com a menor perda de informação possível. Segundo

Martins (2011), a ACP permite condensar as informações de várias variáveis inter-relacionadas em uma ou mais combinações lineares que são independentes (CPs), capturando a maior parte das informações das variáveis originais. O resultado obtido por meio da ACP é apresentado na Tabela 4.

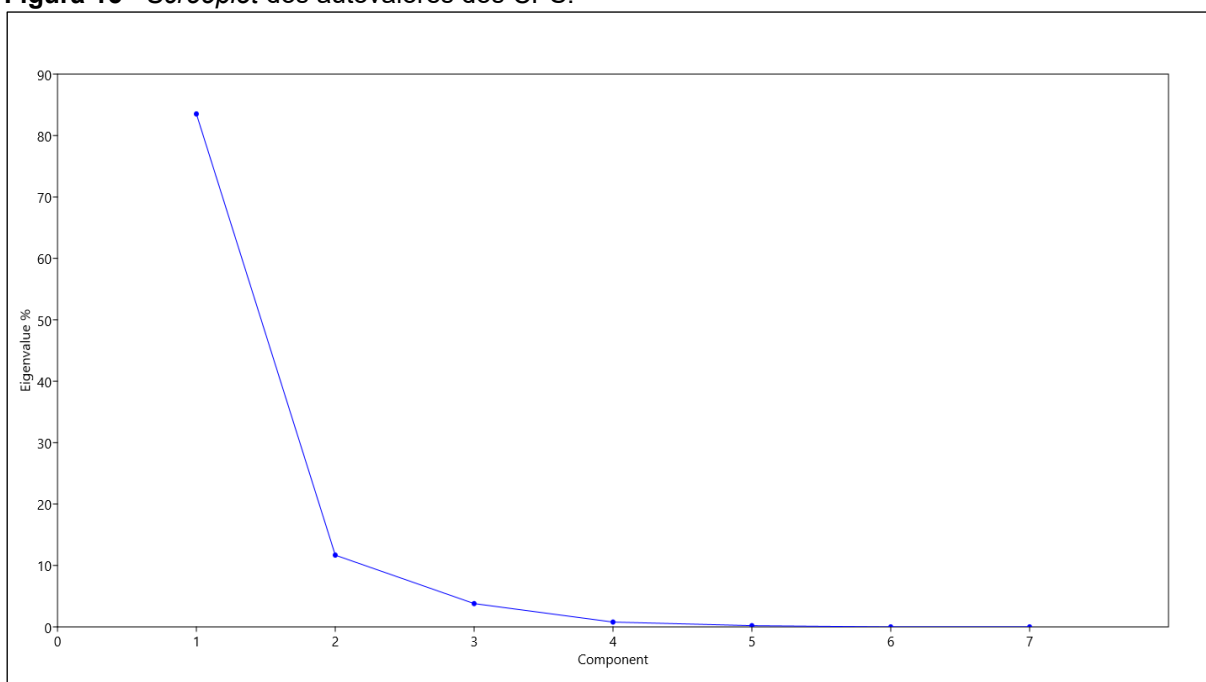
Tabela 4 - Contribuição de cada Componente Principal (PC) para a variância total dos dados.

PC (Componente Principal)	Eigenvalue (Autovalor)	% variance (Variância)
1	5.84644	83.521
2	0.818255	11.689
3	0.265586	3.7941
4	0.0553222	0.79032
5	0.0144004	0.20572
6	2.31228E-32	3.3033E-31
7	3.3604E-33	4.8006E-32

Fonte: A autora (2025).

Os dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) apresentaram os maiores valores, 83.521% e 11.689%, respectivamente, sugerindo que eles concentram a maior parte da variabilidade dos dados, o que é evidenciado graficamente pelo *screeplot* gerado na ACP (Figura 15):

Figura 15 - *Screeplot* dos autovalores dos CPS.



Fonte: A autora (2025).

Conforme mencionado por Martins (2011), os fatores para a escolha dos Componentes Principais (CPs) devem seguir a orientação de Kaiser, que recomenda selecionar apenas aqueles com valores superiores a 1 ou que apresentem 70% de variância acumulada. Nesse sentido, o componente principal mais significativo foi o CP1 com 83,521%, só ele explicaria a análise central. No entanto, como a variância é acumulativa, o CP2 por sua vez, apresentou 11,689%, tratando-se de um valor considerável também. Logo, observa-se que CP1 e CP2 juntos abrangem 95,21% de variabilidade dos dados (Tabela 5).

Tabela 5 - Extração dos CPS.

Componente		Autovalor Inicial		
		Valor	% da variância	% da Variância acumulada
CPs	1	5.84644	83.521	83.521
	2	0.818255	11.689	95.210
	3	0.265586	3.7941	99.004
	4	0.0553222	0.79032	99.794
	5	0.0144004	0.20572	100.000

Fonte: A autora (2025).

Outra análise gerada no ACP é a matriz de *loadings* que indica quais variáveis possuem maior influência em cada componente principal. Neste caso, foi elaborada uma tabela contendo a correlação das variáveis com os componentes principais (CP1 e CP2). Na correlação os valores variam de -1 a +1, propondo forte ou pouca influência da variável no componente. Sendo assim, para cada componente principal (CP1 e CP2), foram identificadas as variáveis que apresentam os valores absolutos mais altos de *loadings*. Essas variáveis são as que melhor esclarecem a variação capturada por esse componente. O resultado é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Correlação das variáveis originais e os componentes principais.

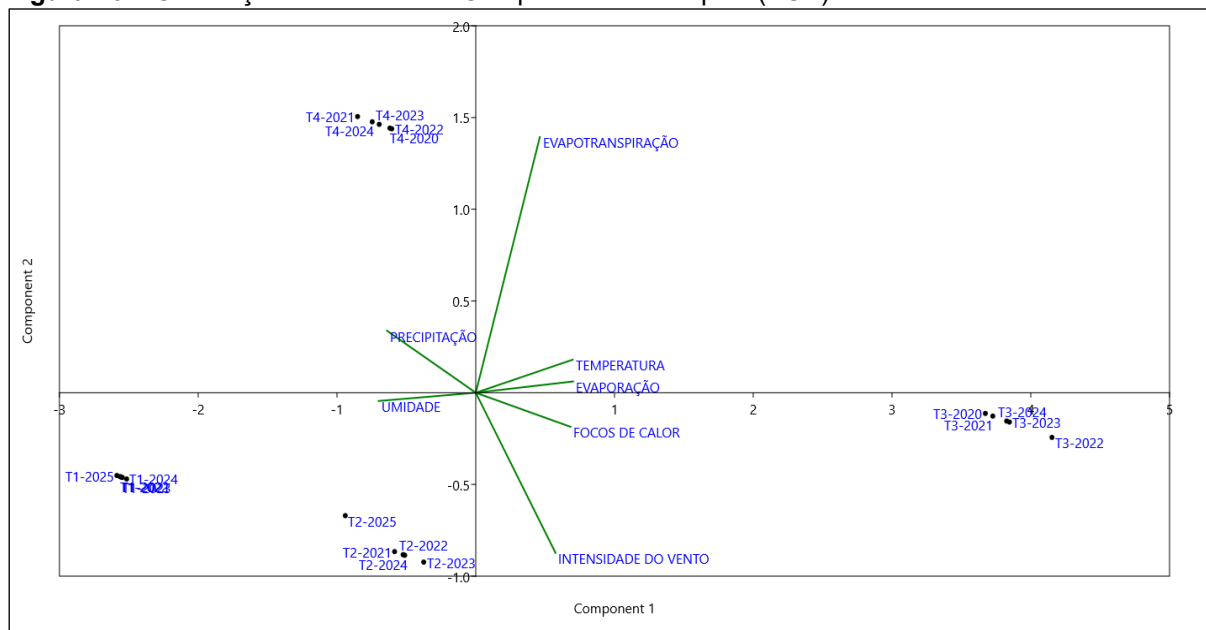
Variáveis	Componentes	
	CP1	CP2
Evaporação total (mm)	0,4126	0,036158
	p = 0,001	p = 0,001
Precipitação acumulada (mm)	 -0,37627 	0,19876
	p = 0,001	p = 0,001
Temperatura máxima (°C)	0,4111	0,10606
	p = 0,001	p = 0,001
Umidade relativa do ar (%)	 -0,41212 	 -0,026511
	p = 0,001	p = 0,001
Intensidade do vento (m·s ⁻¹)	0,3379	 -0,5133
	p = 0,001	p = 0,001
Evapotranspiração potencial (mm)	0,27166	0,81965
	p = 0,001	p = 0,001
Focos de calor	0,40168	 -0,10926
	p = 0,001	p = 0,001

Fonte: A autora (2025).

Observa-se pela Tabela 6 que a CP1 incorporou as características das variáveis: Evaporação Total (mm), Precipitação Acumulada (mm), Temperatura máxima (°C), Umidade Relativa do ar (%) e Focos de Calor. Já a CP2 incorporou Intensidade do Vento (m·s⁻¹) e Evapotranspiração potencial (mm). A representação do sinal negativo em CP1, por exemplo, mostra que onde CP1 se eleva - condições quentes e secas - a precipitação tende a reduzir.

Dessa forma, isso sugere que o CP1 e CP2 refletem um padrão climático, em que temperaturas elevadas, intensificação do processo de evaporação e a presença de focos de calor estão inversamente ligados à presença de chuvas e à umidade do ar, ou seja, climas mais quentes e secos estão vinculados ao crescimento dos focos de calor.

Essa correlação de variáveis originais com os componentes principais pode ser denominada pela matriz de *loadings*. O resultado da variabilidade dado nesta matriz determina como as variáveis que são representadas pelos vetores na cor verde e as amostras dadas pelos pontos pretos se distribuem de acordo com os componentes principais (CP1 e CP2) na Figura 16. A versão em página inteira desta figura encontra-se disponível no Apêndice I.

Figura 16 – Correlação da Análise de Componentes Principais (ACP).

Fonte: A autora (2025).

A relação entre as variáveis climatológicas representadas pelos vetores em verde e as amostras dos trimestres representados pelos pontos pretos obtidas por meio da Análise de Componentes Principais (ACP), mostra que o eixo horizontal (CP1) representa o componente que mais explica a variabilidade dos dados, enquanto o eixo vertical (CP2) expressa a segunda maior contribuição.

No eixo horizontal (CP1), observa-se a proximidade entre as variáveis temperatura, evaporação e focos de calor, indicando alta correlação positiva entre elas. Essa associação demonstra que essas variáveis são diretamente proporcionais, refletindo condições quentes e secas. Em termos práticos, o aumento da temperatura acelera o processo de evaporação, favorecendo a redução da umidade do ar e, consequentemente, o surgimento de maior número de focos de calor.

Além do mais, observa-se que o terceiro trimestre (T3) indicado na Figura 15, representa o período mais crítico em relação à ocorrência de focos de calor. As amostras correspondentes a esse trimestre estão mais agrupadas no lado direito do eixo CP1, englobando os anos de 2020 a 2025. Nesse mesmo lado, encontram-se também as variáveis temperatura, evaporação e focos de calor, o que evidencia uma relação entre elas. Essa proximidade dos vetores das variáveis com as amostras de T3 sugere uma forte correlação positiva, indicando que o aumento da temperatura e da evaporação contribui diretamente para a intensificação dos focos de calor nesse período.

Essa correlação pode ser explicada pelas condições climáticas predominantes no terceiro trimestre (T3), caracterizado por um período seco, com temperaturas máximas de 35,9°C, alta taxa de evaporação (242,00 mm) e baixa ocorrência de chuvas (6,8 mm), conforme apresentado na Tabela 3. Esses fatores combinados criam um ambiente propício para a ignição e a propagação de incêndios florestais, evidenciando a influência direta das variáveis climáticas sobre o aumento dos focos de calor na região.

Em síntese, observa-se que o *Scatter Plot* destaca a sazonalidade climática da região, indicando que o Componente Principal 1 (CP1) reflete o padrão das condições climáticas, tanto nos períodos de estiagem quanto naqueles com maior índice de precipitação. Como resultado, as variáveis umidade e precipitação apresentam posicionamento inverso — localizando-se no lado esquerdo da CP1 —, o que indica que os trimestres mais próximos a esse lado correspondem aos períodos mais úmidos e, conseqüentemente, com menor ocorrência de focos de calor. Esse comportamento opõe-se ao observado no T3, quando se verifica o aumento considerável dos focos de calor no município de Balsas.

Esse posicionamento das variáveis precipitação e umidade confirma a relação inversa em relação à temperatura, evaporação e aos focos de calor, uma vez que a maior presença de chuva e umidade tende a reduzir tanto a temperatura quanto a taxa de evaporação e, conseqüentemente, a ocorrência de queimadas. Assim, os trimestres correspondentes ao início do ano (T1), caracterizados pelo maior volume de precipitação, representam o período mais úmido do ciclo climático da região.

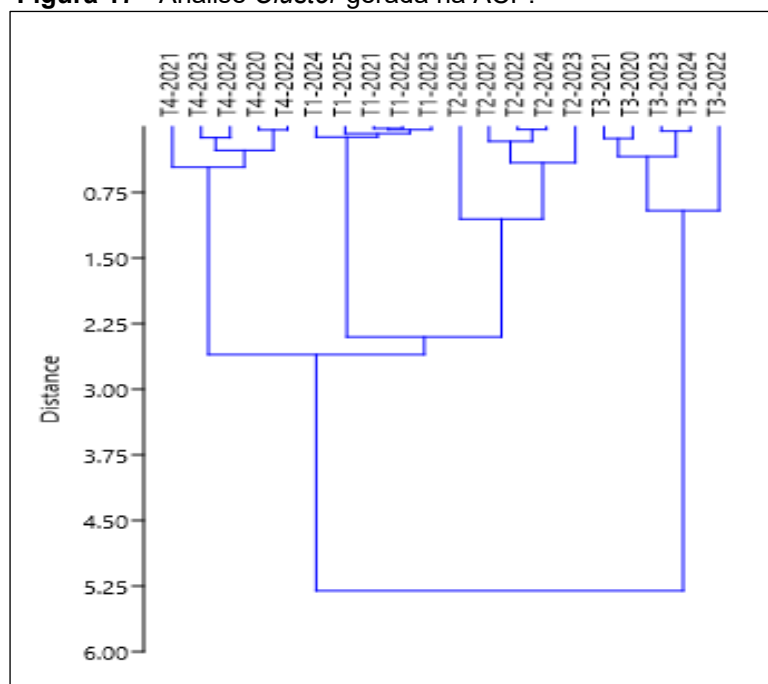
A variável intensidade do vento, por sua vez, apresenta vetor relativamente afastado das variáveis de temperatura, evaporação e focos de calor, indicando correlação mais fraca com o CP1. No entanto, ainda assim, observa-se tendência positiva em relação a esse componente, sugerindo que os ventos se tornam mais intensos durante os períodos quentes e secos, o que pode favorecer a dispersão e a propagação do fogo. Já sua leve correlação negativa com CP2 reforça o comportamento oposto em períodos úmidos, quando a precipitação e a umidade predominam.

Finalmente, na parte superior de CP2, sobressaem as variáveis de precipitação e evapotranspiração, juntamente com a amostra do quarto trimestre (T4), que simbolizam períodos com atividade hídrica. Este agrupamento indica uma estação

chuvosa, onde há um aumento da água tanto na superfície quanto na atmosfera, contribuindo para a redução das ocorrências de queimadas. Assim, o CP2 distingue os trimestres mais úmidos (T1 e T4) do trimestre mais seco e crítico (T3), definindo um ciclo climático bem delimitado ao longo do ano.

A Figura 17 apresenta a análise *cluster*, que corrobora com os resultados observados na ACP.

Figura 17 - Análise *Cluster* gerada na ACP.



Fonte: A autora (2025).

A análise Cluster (Figura 17) mostra que os trimestres T1 e T4 sugerem comportamento climático semelhante, uma vez que as condições climáticas são parecidas para esse período, caracterizando o período com presença de chuvas e menor ocorrência de focos. Nesses trimestres, a precipitação e a umidade relativa do ar são significativamente mais elevadas, por exemplo, no T1, registra-se 198,1 mm de precipitação e 80,4% de umidade relativa, enquanto no T4 esses valores são de 135,0 mm e 70,4%, respectivamente.

Por outro lado, o trimestre T2 posiciona-se entre o T1 e T3 conforme mostrado na Figura 17. Esse trimestre T2 está associado à fase de transição de um período com elevadas condições pluviométricas (T1) para um período de estiagem (T3), quando existe redução da precipitação e um aumento da temperatura (T3), indicadores estes que auxiliam no surgimento dos focos de calor.

O trimestre T3 aparece como o grupo de destaque no *cluster*, apontando condições climáticas bem diferenciadas e definidas da estação seca. Este período é marcado por uma precipitação mínima (6,8 mm), temperatura média elevada (35,9°C), umidade relativamente baixa (50,5%) e elevada evaporação (242,0 mm), criando um cenário típico para a propagação de queimadas. Por isso, destaca-se como o período de maior concentração dos focos de calor. Logo, atenta-se para um padrão sazonal identificado na análise realizada, destacando a relação direta entre variáveis meteorológicas e a dinâmica das queimadas no município de Balsas.

Mediante o exposto, nota-se que as condições climáticas são fatores determinantes para a ocorrência e propagação de focos de calor. De acordo com o estudo de Rodrigues *et al.* (2020), foi realizada uma análise de quantificação dos focos de calor no município de Balsas entre junho de 2017 e junho de 2018. Os resultados indicaram que a ocorrência de queimadas no município está relacionada à fragilidade provocada pelo clima seco prolongado, sobretudo, às práticas de desmatamento e à expansão da fronteira agrícola. Além disso, o autor ressalta que os meses de julho a setembro concentraram o maior número de registros de queimadas, resultado que corrobora com o apontado deste trabalho.

Outro estudo, desenvolvido por Neto (2023), abordou a identificação e análise das áreas queimadas no município de Balsas entre os anos de 2017 e 2021. O autor observou que as ocorrências de incêndios seguem um padrão sazonal, concentrando-se entre os meses de julho e outubro, com pico em setembro. Esse período coincide com a estiagem e a ausência de chuvas, condições que favorecem a propagação das queimadas na região.

Portanto, observa-se que os resultados encontrados neste estudo reforçam as análises anteriores, confirmando que as condições climáticas desempenham papel fundamental na ocorrência de queimadas no município de Balsas. Ademais, os meses entre julho e setembro caracterizados como secos e sem chuvas apresentam os maiores índices de focos de calor, demonstrando a forte correlação com as condições meteorológicas e atividades humanas na intensificação dos incêndios. Dessa forma, pode-se afirmar que a variação climática associada às atividades humanas constitui um elemento de risco para a intensificação e a disseminação do fogo na localidade de Balsas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento realizado nesta pesquisa demonstrou que o município de Balsas apresenta elevada concentração de focos de calor, especialmente no terceiro trimestre do ano. Esse período é caracterizado por altas temperaturas (35,9°C), elevada taxa de evaporação (242,00 mm) e pela intensificação das queimadas. Além disso, os meses que compõem o terceiro trimestre — julho, agosto e setembro — registraram os maiores índices de focos de calor, com destaque para o ano de 2022, que apresentou 2.276 ocorrências, configurando-se como o mais crítico do período analisado (2020–2025).

As condições meteorológicas locais mostraram-se determinantes para a ocorrência e intensificação dos focos de calor. A Análise de Componentes Principais (ACP) demonstrou a relação direta entre as variáveis temperatura, evaporação e focos de calor. No entanto, a baixa precipitação (6,8 mm) e a baixa umidade relativa (50,5%) do terceiro trimestre do ano são fatores que contribuem significativamente para a criação de condições ideais para origem e propagação dos focos de calor.

Diante dos resultados, a pesquisa contribui para a compreensão da dinâmica espaço-temporal dos focos de calor no município de Balsas, fornecendo fundamentos técnicos para o planejamento ambiental e a gestão de risco de queimadas. Dessa forma, sugere-se que pesquisas futuras incorporem modelos preditivos juntamente com a combinação de informações sobre uso e cobertura do solo, para prever cenários de risco e reforçar iniciativas preventivas na tomada de decisões dos órgãos ambientais.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, A. et al. **Fogo no Brasil em 2024: o retrato fundiário da área queimada nos biomas**. Nota técnica. Brasília, DF: IPAM – Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia; Rede MapBiomass, 2024. Disponível em: <https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/m1d00064.pdf>. Acesso em: 17 out. 2025.
- ALMEIDA, R. M. **Modelagem da propagação do fogo como ferramenta de auxílio à tomada de decisão no combate e prevenção de incêndios no Parque Nacional das Emas, GO**. 2012. 121 f. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012. Disponível em: <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/11.01.13.13/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 17 out. 2025.
- ANDRADE FILHO, V. S. et al. Impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia brasileira: um estudo de revisão. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 11, n. 2, p. 157–181, 2017. ISSN 1678-7226. Disponível em: <https://revistas.uea.edu.br/index.php/geografiaacademica/article/view/7226>. Acesso em: 20 mai. 2025.
- ANDRADE, G. B. et al. **Comparando níveis de concentrações de material particulado PM 2,5 µg/m³ e internações por doenças do aparelho respiratório em Manaus**. São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/attachment.cgi/sid.inpe.br/marte2/2023/04.20.12.08/doc/156007.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2025.
- BARBOSA, A. M. V. G. **Incêndios em vegetação no município de Mirador - MA: o estudo de modelos preditivos baseados em dados atmosféricos**. 2021. Monografia (Graduação em CFO/Bombeiros) – Universidade Estadual do Maranhão, Centro de Ciências Tecnológicas, São Luís, 2021. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/bitstream/123456789/1477/1/Monografia%20final%20ANTONIO%20MATHEUS.pdf>. Acesso em: 17 out. 2025.
- BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (Orgs.). **Dinâmica agrícola no Cerrado: análises e projeções**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, 308 p. ISBN 978-85-7035-951-3. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1121716/1/LVDINAMICAAGRICOLACERRADO2020.pdf>. Acesso em: 17 out. 2025.
- BRAGA, M. V.; MONTENEGRO, L. H. M. L.; SILVA, C. N. da. Análise espacial de focos de calor na Floresta Estadual do Amapá (FLOTA) entre os anos de 2006 à 2020. **Revista Delos**, [S. l.], v. 17, n. 61, p. e2678, 2024. DOI: 10.55905/rdelosv17.n61-105. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/2678>. Acesso em: 21 mai. 2025.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 26 jul. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 12.189, de 20 de setembro de 2024**. Altera o Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008, que dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente e estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 20 set. 2024. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2024/decreto-12189-20-setembro-2024-796282-publicacaooriginal-173078-pe.html>. Acesso em: 25 out. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008**. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. Brasília, DF, 22 jul. 2008. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6514.htm. Acesso em: 26 jul. 2025.

BRASIL. Fundação Nacional dos Povos Indígenas (Funai). **57 Brigadas Federais vão atuar em Terras Indígenas com apoio da Funai em 2024**. Brasília: Funai, 08 jul. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/assuntos/noticias/2024/57-brigadas-federais-va-atuar-em-terras-indigenas-com-apoio-da-funai-em-2024>. Acesso em: 18 nov. 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009**. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l12187.htm. Acesso em: 26 jul. 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF, 25 mai. 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em: 26 jul. 2025.

BRASIL. **Lei nº 14.944, de 4 de abril de 2024**. Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 5 abr. 2024. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-14944-31-julho-2024-796016-publicacaooriginal-172511-pl.html>. Acesso em: 20 mai. 2025.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, DF. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: 26 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília: MCTI, 2022. Disponível

em:

https://repositorio.mcti.gov.br/bitstream/mctic/4966/1/2022_estimativas_anuais_emissoes_gases_efeito_estufa_brasil.pdf. Acesso em: 20 mai. 2025.

CARMO, I. R. F. do. **Desmatamento, queimadas e secas extremas no Bioma Caatinga, Brasil**. 2024. 14 f. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Conservação) – Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2024. Disponível em: <https://tedebc.ufma.br/jspui/bitstream/tede/5876/2/IARA%20REGINA%20FERREIRA%20DO%20CARMO.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2025.

CLIMAINFO. **Mudanças climáticas aumentaram em até 20 vezes o risco de queimadas extremas na Amazônia**. 2024. Disponível em: <https://climainfo.org.br/2024/08/15/mudancas-climaticas-aumentam-chance-de-incendio-florestal-em-20-vezes-na-amazonia/>. Acesso em: 20 mai. 2025.

COELHO, T. F. et al. Impactos dos poluentes resultantes das queimadas na saúde humana. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 15, n. 1, 2023. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/saude/poluentes-das-queimadas>. Acesso em: 20 mai. 2025.

COPERNICUS ATMOSPHERE MONITORING SERVICE – CAMS. **Brasil libera 183 milhões de toneladas de CO₂ com queimadas em 2024, um terço só em setembro**. Serviço de Monitoramento Atmosférico da União Europeia, 2024. Disponível em: <https://atmosphere.copernicus.eu>. Acesso em: 20 mai. 2025.

COPERTINO, M.; PIEDADE, M. T. F. **Desmatamento, fogo e clima na Amazônia**. INPA, 2019. Disponível em: <https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/20543/1/artigo-inpa.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2025.

CORREIA FILHO, F. L. et al. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: estado do Maranhão: **relatório diagnóstico do município de Balsas**. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2011. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/15410/1/rel-balsas.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2025.

EL PAÍS. **Pantanal sofre queimadas recordes em junho de 2024**. 2024. Disponível em: <https://brasil.elpais.com>. Acesso em: 20 mai. 2025.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Legal frameworks for integrated fire management**. Rome: FAO, 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i2495e/i2495e00.htm>. Acesso em: 20 mai. 2025.

FEARNSIDE, P. M. **Destruição e conservação da floresta amazônica**. Manaus: Editora INPA, 2022. 356 p. ISBN 978-85-211-0193-2. Disponível em: http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2022/Destrui%C3%A7%C3%A3o_e_Conserva%C3%A7%C3%A3o_da_Floresta_Amazonica.pdf. Acesso em: 20 mai. 2025.

FEITOSA JÚNIOR, F. R. et al. Queimadas em áreas do Cerrado brasileiro. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S. l.], v. 11, n. 7, p. 587–601, 2020. Disponível em: <https://www.sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2020.007.0046>. Acesso em: 20 mai. 2025.

GIL, A. C. Como classificar as pesquisas. In: —. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. p. 44–45.

HOMMA, A. K. O. **Amazônia: a civilização do fogo**. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

IBAMA. **Centro Nacional de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais – Prevfogo**. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/prevfogo>. Acesso em: 10 jun. 2025.

IHU. Instituto Humanitas Unisinos. **A crise climática e os incêndios florestais no Amazonas**. 2024. Disponível em: <https://ihu.unisinos.br>. Acesso em: 20 mai. 2025.

IMAZON. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. **Degradação na Amazônia emitiu 2,5 vezes mais gases de efeito estufa do que o desmatamento em 2023**. Belém: Imazon, 2024. Disponível em: <https://imazon.org.br/degradacao-na-amazonia-emitiu-25-vezes-mais-gases-de-efeito-estufa-do-que-o-desmatamento-em-2023/>. Acesso em: 20 mai. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Geociências**. Malha Municipal. 2013. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=27419>. Acesso em: 27 ago. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Geociências**. Unidades Federativas. 2013. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?edicao=27419>. Acesso em: 27 ago. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Cidades e Estados**. Balsas. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/balsas.html%C2%A0>. Acesso em: 27 ago. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais Climatológicas do Brasil, Período de 1991 a 2020**. Ministério da Agricultura e Pecuária. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 27 ago. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Painel de Monitoramento de Queimadas – Relatório Técnico 2024**. São José dos Campos, 2024. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/>. Acesso em: 20 mai. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Painel do Fogo – Monitoramento dos focos ativos por bioma no Brasil (jan–nov/2024)**. São José

dos Campos, 2024. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-estatisticas/>. Acesso em: 20 mai. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Plataforma BDQueimadas – Detecção de focos ativos de calor no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/>. Acesso em: 20 maio 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Programa Queimadas**. São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/>. Acesso em: 20 mai. 2025.

JÚNIOR, G. R. M.; SOUZA, J. A. B. de. A importância da implementação do sensoriamento remoto na constatação dos focos de calor no Cerrado para fins de fiscalização ambiental. **Revista Foco**, [S. l.], v. 18, n. 1, p. e7378, 2025. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/7378>. Acesso em: 20 mai. 2025.

MAPBIOMAS. **Coleção 8 do MapBiomas Fogo revela que o Brasil queimou mais de 30 milhões de hectares em 2024**. 2024. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecao-8-mapbiomas-fogo-revela-que-o-brasil-queimou-mais-de-30-milhoes-de-hectares-em-2024?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 20 mai. 2025.

MAPBIOMAS. **Coleção 8 do MapBiomas. Dados do Monitor do Fogo do MapBiomas mostram que mais da metade da área queimada no Brasil no ano passado fica na Amazônia**. 2025. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2025/01/22/area-queimada-no-brasil-cresce-79-em-2024-e-supera-os-30-milhoes-de-hectares/>. Acesso em: 14 jun. 2025.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual de Áreas Queimadas 2024**. Projeto MapBiomas, 2024. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 14 jun. 2025.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual de Áreas Queimadas 2024**. Projeto MapBiomas – Coleção 8.0 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/fogo>. Acesso em: 14 jun. 2025.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual de Fogo no Brasil – 2024**. 2025. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2025/06/RAF2024_24.06.2025_v2.pdf. Acesso em: 25 out. 2025.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual de Queimadas no Brasil – 2024**. 2024. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 20 mai. 2025.

MARANHÃO. **Decreto nº 38.406, de 11 de julho de 2023**. Dispõe sobre o período proibitivo do uso de fogo para limpeza e manejo de áreas no Estado do Maranhão. São Luís, 2025. Disponível em: <https://cbm.ssp.ma.gov.br/2023/07/20/governo-do-maranhao-proibe-uso-do-fogo-para-limpeza-de-areas-durante-periodo-de-estiagem/>. Acesso em: 25 out. 2025.

MARANHÃO. **Decreto nº 39.283, de 1º de agosto de 2024**. Dispõe sobre o período proibitivo do uso de fogo para limpeza e manejo de áreas no Estado do Maranhão. São Luís, 2025. Disponível em:

https://www.sema.ma.gov.br/uploads/sema/docs/doema_20240827103005.pdf.

Acesso em: 25 out. 2025.

MARANHÃO. **Decreto nº 40.148, de 11 de julho de 2025**. Dispõe sobre o período proibitivo do uso de fogo para limpeza e manejo de áreas no Estado do Maranhão.

São Luís, MA: Governo do Estado do Maranhão, 2025. Disponível em:

<https://sema.ma.gov.br/decretos>. Acesso em: 01 ago. 2025.

MARANHÃO. **Lei Estadual nº 775, de 22 de março de 1918**. Eleva à condição de cidade com a denominação de Santo Antônio de Balsas. Disponível em:

<https://famem.org.br/municipios/municipios/exibe/424>. Acesso em: 10 nov. 2025.

MARANHÃO. **Portaria nº 380, de 27 de julho de 2023**. Disciplina os procedimentos e critérios técnicos de concessão de licença ambiental para atividades agrossilvipastoris, autorizações ambientais para uso alternativo do solo, autorização de queima controlada e autorizações de crédito de reposição florestal no estado do Maranhão. São Luís: SEMA, 2023.

MARTINS, S. L. M. **Monitoramento do controle estatístico do processo utilizando ferramentas estatísticas**. 2011. Disponível em:

<https://www.revistaespacios.com/a12v33n06/12330617.html>. Acesso em: 23 out. 2025.

MASCARELLO, J.; NASCIMENTO, J.; MATOS, M. M. O. A presidência brasileira no G20: intersectorialidade entre mudanças climáticas e bioeconomia. **Revista Tempo do Mundo**, n. 34, 2024. Disponível em:

<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/16338>. Acesso em: 14 jun. 2025.

MEDEIROS, R. M. et al. Análise hidroclimática do município de Cabaceiras, PB (Hydroclimatic analysis of Cabaceiras city, PB). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 5, p. 1174–1190, 2013.

MENDES, E. G. **Meio ambiente: preservação e educação ambiental para os riscos e prejuízos das queimadas**. 2021. 14 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Centro de Educação Aberta e a Distância, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021. Disponível em:

https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/4367/1/MONOGRAFIA_MeioAmbientePreserva%c3%a7%c3%a3o.pdf. Acesso em: 17 set. 2025.

MORO, I. P. et al. Influência dos elementos meteorológicos na evapotranspiração de referência diária. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 40, p. e40240043, 2025.

MOTA, Francisco Lima. **O rural e o urbano na cidade de Balsas (MA):**

transformações socioespaciais no pós 1980. 2011. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia,

Programa de Pós-Graduação em Geografia, Uberlândia, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/16119>. Acesso em: 17 set. 2025.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **Fire Information for Resource Management System (FIRMS)**. 2025. Disponível em: <https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:24hrs;@31.3,12.8,3.7z>. Acesso em: 10 nov. 2025.

NETO, F. Q. **Identificação e análise de áreas queimadas utilizando sensor de observação MODIS, na cidade de Balsas, entre os anos de 2017 e 2021**. 2023. Monografia (Bacharelado em CFO/Bombeiros) – Universidade Estadual do Maranhão, Centro de Ciências Tecnológicas, São Luís, 2023. Disponível em: <https://repositorio.uema.br/jspui/handle/123456789/2262>. Acesso em: 20 mai. 2025.

NUNES, L. A. P. L. et al. Impacto da queimada e do pousio sobre a qualidade de um solo sob caatinga no semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 2, 2006.

PEIXOTO, I. et al. Projeto Conceitual da Missão FireSat-BR para Monitoramento de Incêndios Florestais. In: Simpósio de Aplicações Operacionais em Áreas de Defesa – SIGE, 2021, São José dos Campos, SP. Anais [...]. São José dos Campos: ITA, 2021. Disponível em: https://www.sige.ita.br/edicoes-antecedentes/2021/st/217579_1.pdf. Acesso em: 20 mai. 2025.

PEREIRA, A. A. **Mapeamento automático de queimadas no bioma Cerrado utilizando sensores orbitais**. 2017. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2017. Disponível em: https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Publicacoes-Impacto/material3os/2017_Pereira_Mapeamento_Queimadas_Cerrado_Doutorado_UFL_DE3os.pdf. Acesso em: 20 mai. 2025.

PESQUISA FAPESP. **Cerrado ameaçado pelas mudanças climáticas**. 2021. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br>. Acesso em: 20 maio 2025.

PRIMAVESI, A. Revisão do conceito de agricultura orgânica: conservação do solo e seu efeito sobre a água. **Instituto Biológico**, São Paulo, 2023. Disponível em: http://www.biologicalo.sp.gov.br/uploads/docs/bio/v65_1_2/primavesi.pdf. Acesso em: 20 mai. 2025.

RANCURA, S. et al. Análise da suscetibilidade de espécies da ictiofauna da região hidrográfica do rio Paraguai aos incêndios de 2020. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 4, p. 89–105, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v14i4.2552>. Acesso em: 20 mai. 2025.

RECANTO DO POETA BALSENSE. **História de Balsas – MA**. [S. l.]: Blogspot. Disponível em: <https://recantodopoetabalsense.blogspot.com/p/conheca-balsas-ma.html>. Acesso em: 10 nov. 2025.

RESENDE, F. C. **Análise da distribuição espacial das áreas queimadas na porção nordeste do bioma Cerrado**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), São João del-Rei, 2017. Disponível em: https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Publicacoes-Impacto/material3os/2017_Resende_QueimadasPorcaoNordesteCerrado_MSc_UFSJDelRei_DE3os.pdf. Acesso em: 20 mai. 2025.

RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V. de. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estudos Avançados**, v. 16, p. 125–148, 2002.

RODRIGUES, J. B. et al. Análise de focos de queimadas no município de Balsas/MA. **Nature and Conservation**, v. 13, n. 3, p. 146–151, 2020. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/nature/article/view/CBPC2318-2881.2020.003.0015>. Acesso em: 21 mai. 2025.

RODRIGUES, J. B.; SALES, L. L. N.; PINTO, K. de J. Aplicação de geotecnologias ambientais para determinação dos focos de calor nas unidades de conservação estaduais do Maranhão de 2010 a 2019. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 4, p. 142–152, 2022. DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2022.004.0013. Disponível em: <https://www.sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/7185>. Acesso em: 21 mai. 2025.

SACRAMENTO, L. F. et al. Análise bitemporal de áreas queimadas na Mata Atlântica. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 540–552, 2022.

SALES, D. P.; NETO, F. M. O. Análise da distribuição das queimadas no cerrado maranhense, Brasil (2014–2018). **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 9, n. 18, 2020. DOI: 10.22292/mas.v9i18.880. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/view/880>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SANTIAGO, L. de A. N.; LOPES, R. S. Impactos na saúde humana devido à emissão de aerossóis causada por queimadas / Impacts on human health due to the emission of aerosols caused by burns. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 9069–9075, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n1-616. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23650>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SANTOS, G. G. dos et al. Uso de geotecnologias na análise espacial dos focos de calor no município de São Félix do Xingu, Pará. Geografia: **Publicações Avulsas da Universidade Federal do Piauí**, Teresina, v. 2, n. 1, p. 395–419, jan./jun. 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpi.br/index.php/geografia/article/view/10720/7688>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SANTOS, T. O. et al. Impactos do desmatamento e queimadas de origem antrópica sobre o clima da Amazônia brasileira: um estudo de revisão. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 11, n. 2, p. 157–181, 2017. ISSN 1678-7226. Disponível em:

<https://revistas.uea.edu.br/index.php/geografiaacademica/article/view/7226>. Acesso em: 20 mai. 2025

SCHEICHER, R. B. et al. Restauração de vegetações sensíveis queimadas em 2017 por brigadistas. **Biodiversidade Brasileira**, Brasília, v. 9, n. 1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v9i1.1423>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SENADO FEDERAL. Consultor Jurídico. **Lei 14.944/2024 e a nova política de combate ao fogo**. Disponível em: <https://www.conjur.com.br/2024-lei-queimadas-integrado>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SERVIÇO DE MONITORAMENTO ATMOSFÉRICO COPERNICUS. **Incêndios florestais elevam emissões brasileiras ao nível recorde**. 2024. Disponível em: <https://atmosphere.copernicus.eu>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SESAP-RN – Secretaria de Saúde do Estado do Rio Grande do Norte. **Programa Nacional de Vigilância da Qualidade do Ar – VIGIAR**. Natal: SESAP, 2023. Disponível em: <http://www.adcon.rn.gov.br/ACERVO/sesap/DOC/DOC000000000155422.PDF>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SEVERIAN, D. **Emergência climática e transição energética: reflexões sobre o lugar do Brasil na reordenação produtiva global**. Brasília: IPEA, 2022. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/16394/1/BRUA_33_Artigo_10_Emergencia_climatica.pdf. Acesso em: 20 mai. 2025.

SILVA, F. S. da. Sensoriamento remoto para detecção de queimadas no Cerrado Maranhense: uma aplicação no Parque Estadual do Mirador. **Revista Geográfica Acadêmica**, [S. l.], v. 13, n. 2, p. 90–105, 2020. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/5759>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SILVA, F. S. da; SILVA, L. S. e.; PESTANA, A. L. M.. Geoprocessamento e sensoriamento remoto para identificação de cicatrizes de queimadas: uma proposta metodológica para o monitoramento do Parque Estadual de Mirador. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 33, n. 74, p. 811, 2023. DOI: 10.5752/P.2318-2962.2023v33n74p811. Disponível em: <https://periodicos.pucminas.br/geografia/article/view/30158>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SILVA, M. P. da. **Uso do fogo na agricultura e seus efeitos sobre o solo: revisão**. 2023. 38 f. Monografia (Curso Superior de Tecnologia em Agroecologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Sumé, 2023. Orientadora: Adriana de Fátima Meira Vital. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/30383>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SILVA, R. S.; FERNANDES, G. P. G. Impactos das queimadas na saúde humana: vulnerabilidade e evidência clínica na Caatinga cearense. **Revista Ceará Científico**, v. 8, n. 1, 2024. Disponível em: <https://revistadocentes.seduc.ce.gov.br/cearacientifico/article/view/1178>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SILVA, S. S. et al. **Análise de focos de calor e área queimada no estado do Acre**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 20., 2023, Florianópolis. Anais [...]. São José dos Campos: INPE, 2023. v. 20, p. 2979–2982. Art. 156367. ISBN 978-65-89159-04-9. Disponível em: <https://proceedings.science/p/164826?lang=pt-br>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SILVA, T. P. da; PONTES, A. N.; AMORIM, I. A. Alternatives to the use of fire in agriculture as a way to mitigate burning in the Amazon. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 9, n. 8, p. e387985938, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.5938. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/5938>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SOUTO, C. A.; FREITAS, A. C. V.; MARTINS, G. Influência das condições meteorológicas atuais e futuras na ocorrência de queimadas e incêndios florestais no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 5, p. 2755–2770, 2021.

SOUZA, P. L. et al. Identificação de focos de calor anômalos nas séries temporais dos satélites Terra e Aqua na América Latina. **Biodiversidade Brasileira**, v. 9, n. 1, p. 1–1, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v9i1.1184>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SZEPAINSKI, N. N. **Análise multitemporal de focos de queimas no município de Balsas-MA**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Maranhão, Campus de Balsas, Balsas, 2021. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/5545/1/Nath%c3%a1liaNunesSzepainski.pdf>. Acesso em: 17 out. 2025.

TORRES, F. T. P. et al. Correlações entre os elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Árvore**, v. 35, p. 143–150, 2011.

TORRES, F. T. P.; SILVA, M. R. da; LIMA, G. S. Influência dos elementos meteorológicos sobre o comportamento do fogo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, p. 33–41, 2019.

TYUKAVINA, A. et al. Global trends of forest loss due to fire from 2001 to 2019. **Frontiers in Remote Sensing**, v. 3, p. 1–20, 2022.

VASCONCELOS, S. S. de. **Evolução de focos de calor nos anos de 2003 e 2004 na região de Madre de Dios/Peru – Acre/Brasil – Pando/Bolívia (MAP): uma**

aplicação regional do banco de dados INPE/IBAMA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. Anais [...]. São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3411–3417.

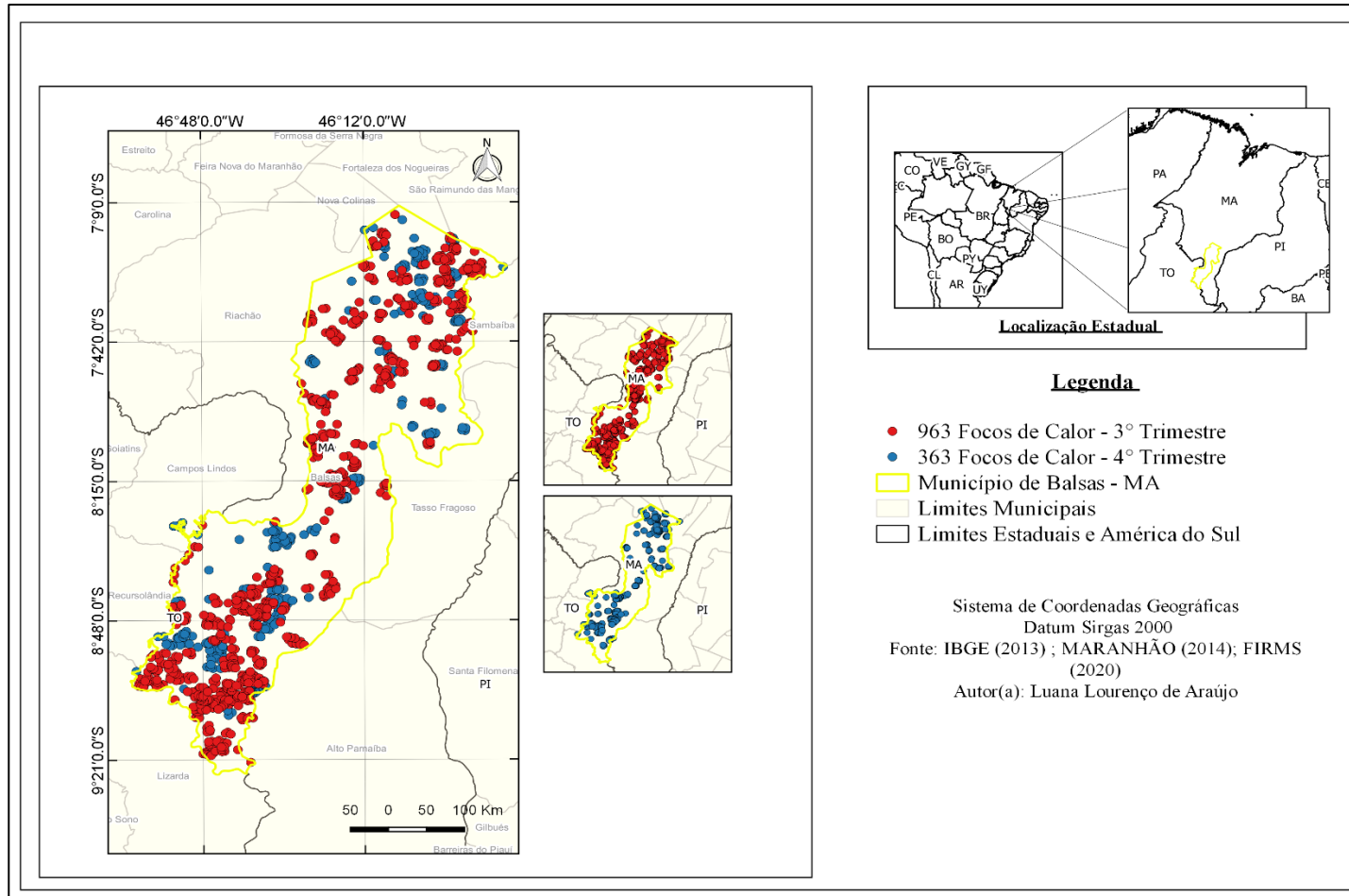
VAZ, A. P. M. et al. Bacia hidrográfica do rio Balsas: diagnóstico físico e avaliação qualitativa de áreas suscetíveis à erosão. **Engenharia Ambiental e Sanitária**, v. 26, p. 77–87, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/350125821_Bacia_hidrografica_do_rio_balsas_diagnostico_fisico_e_avaliacao_qualitativa_de_areas_suscetiveis_a_erosao. Acesso em: 02 ago. 2025.

VIANA, D. V.; PERES, W. L. **Distribuição espacial dos focos de calor na Amazônia brasileira: Arco do desmatamento.** São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Publicacoes-Impacto/material3os/2010_Viana_et al_Distribuicao_3SGP_DE3os.pdf. Acesso em: 20 mai. 2025.

WWF BRASIL. **Pantanal sofre pior crise hídrica em décadas com agravamento por queimadas.** 2024. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?87700>. Acesso em: 20 mai. 2025.

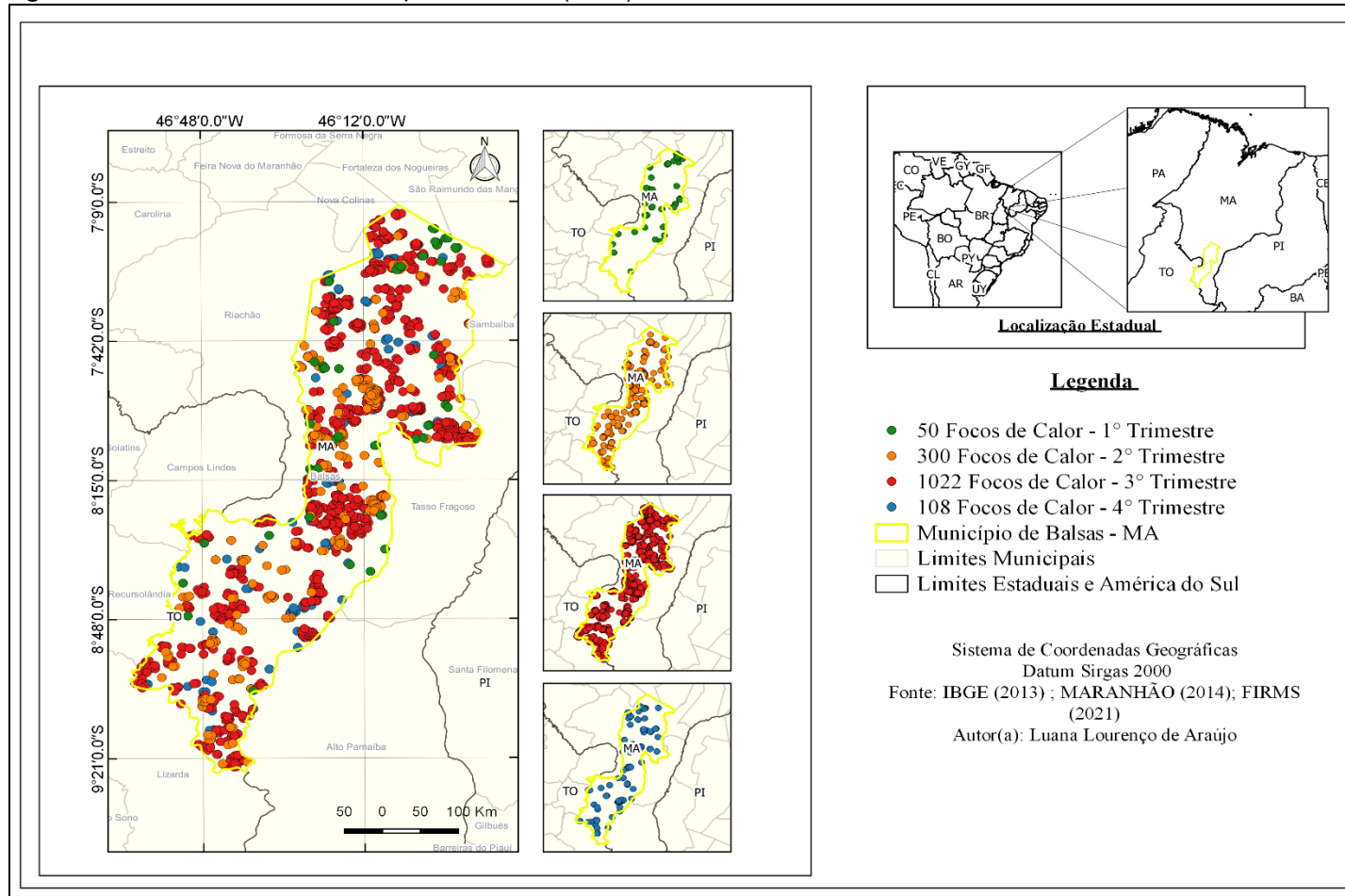
APÊNDICES I

Figura 7 - Focos de calor no município de Balsas (jul-dez de 2020).



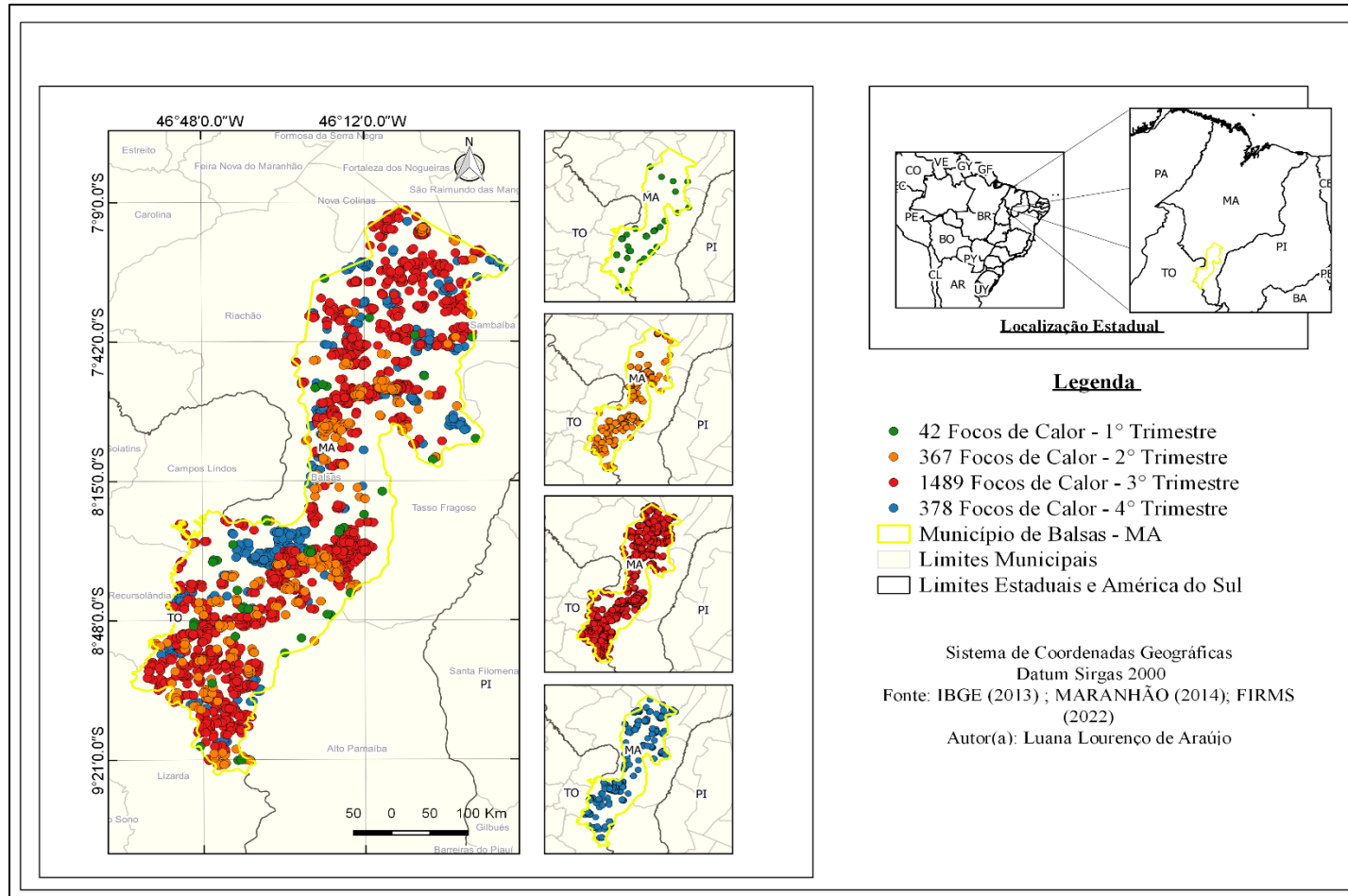
Fonte: A autora (2025).

Figura 8 - Focos de calor no município de Balsas (2021).



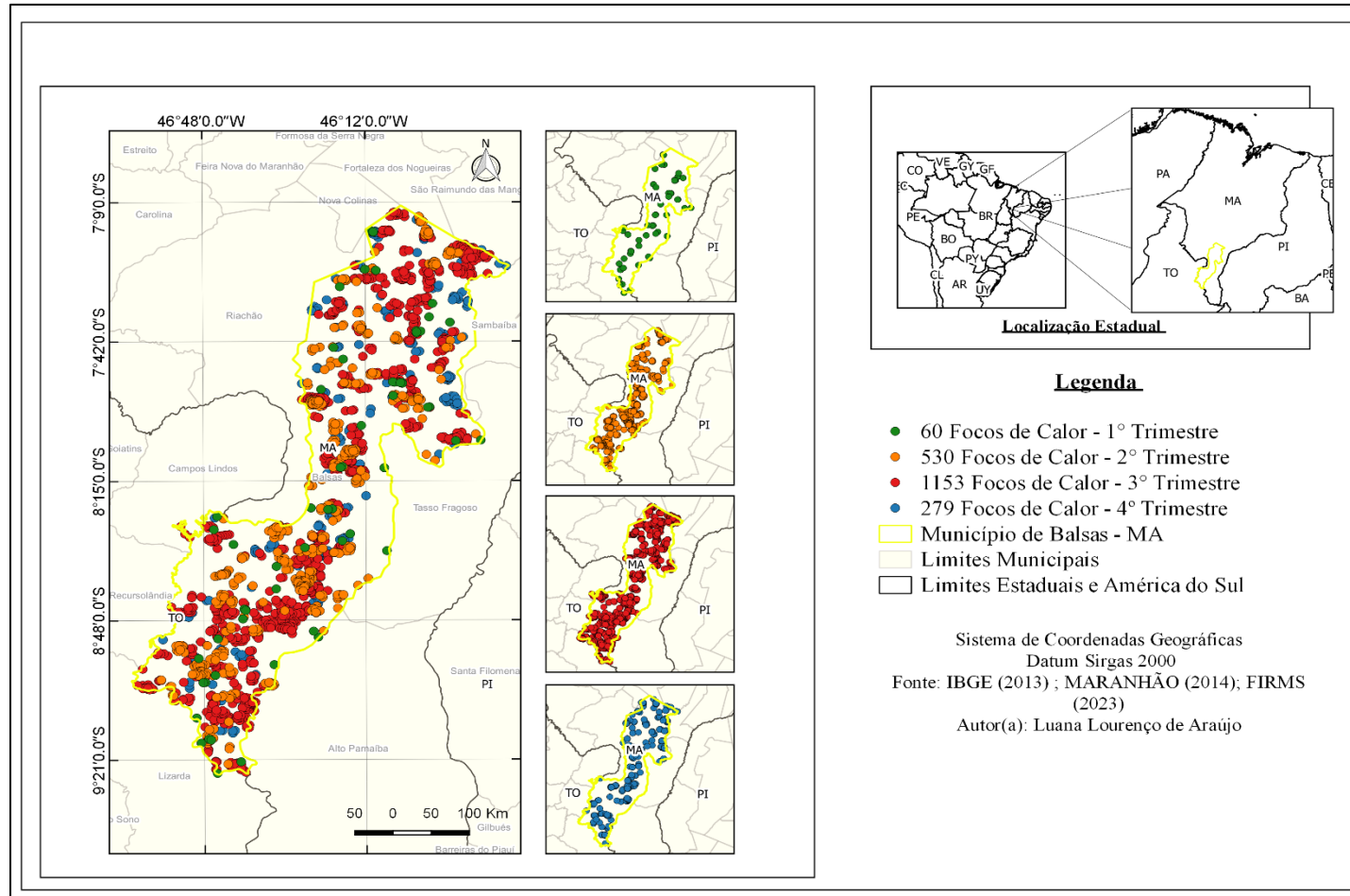
Fonte: A autora (2025).

Figura 9 - Focos de calor no município de Balsas (2022).



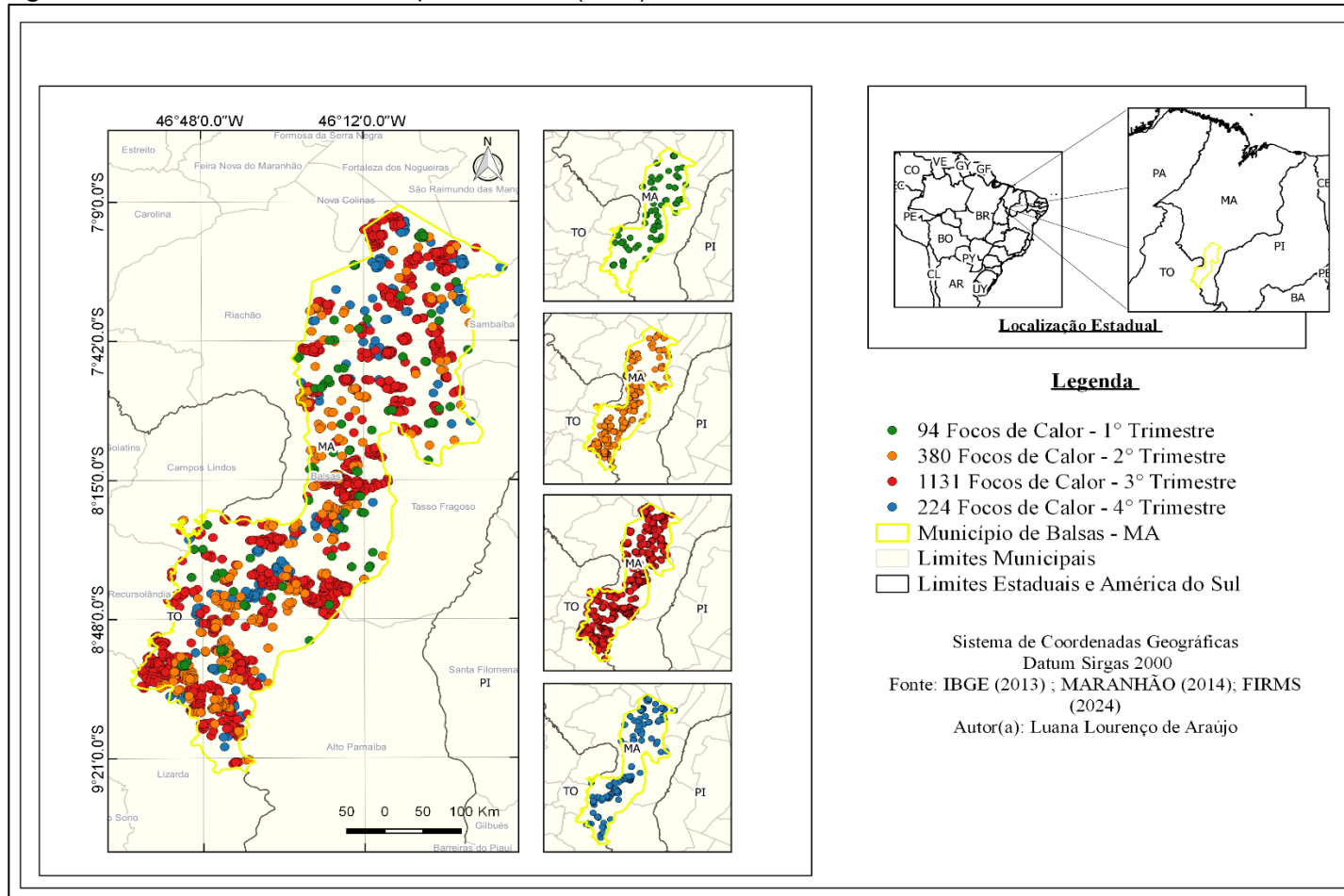
Fonte: A autora (2025).

Figura 10 - Focos de calor no município de Balsas (2023).



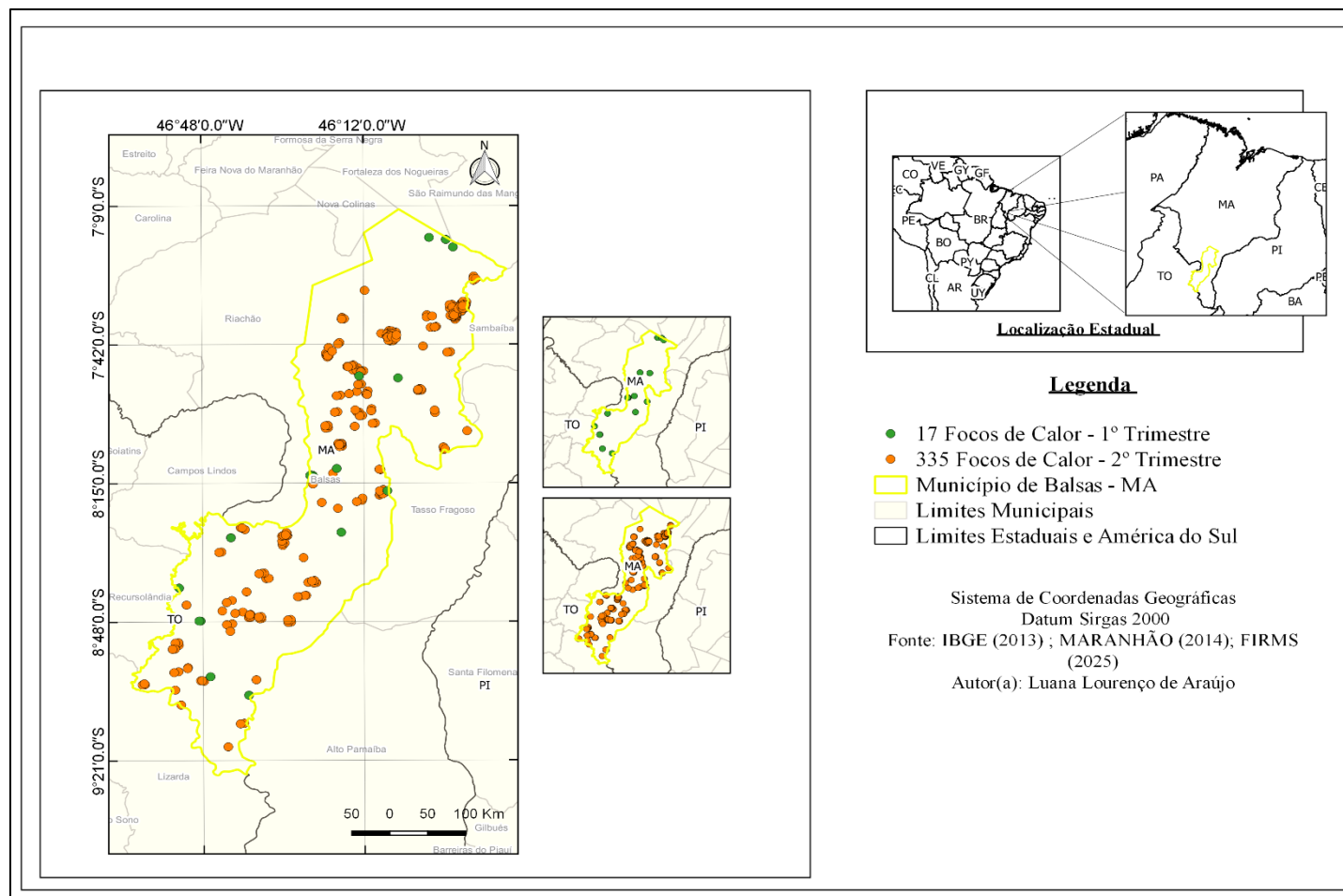
Fonte: A autora (2025).

Figura 11 - Focos de calor no município de Balsas (2024).



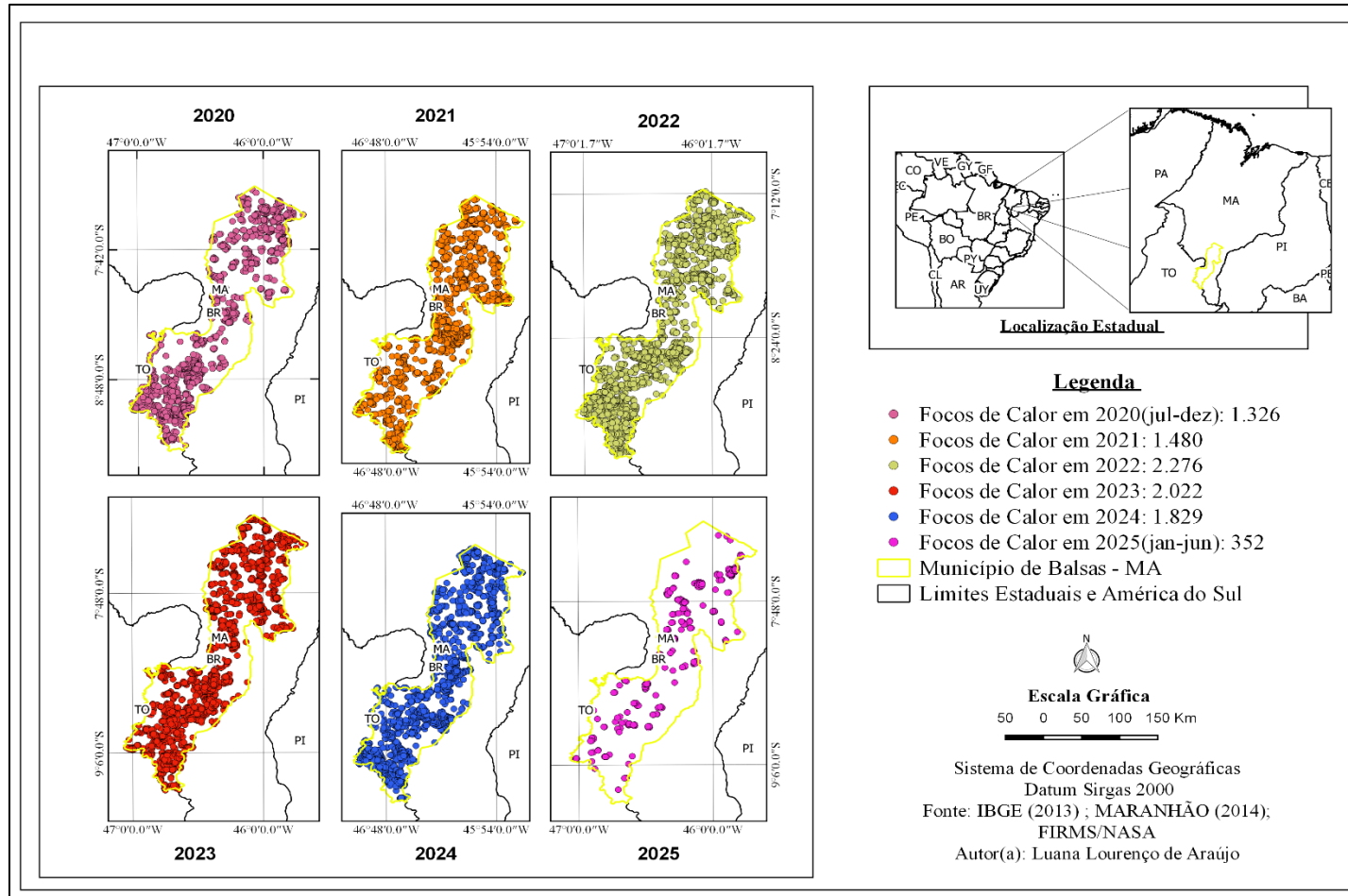
Fonte: A autora (2025).

Figura 12 - Focos de calor no município de Balsas (jan-jun de 2025).



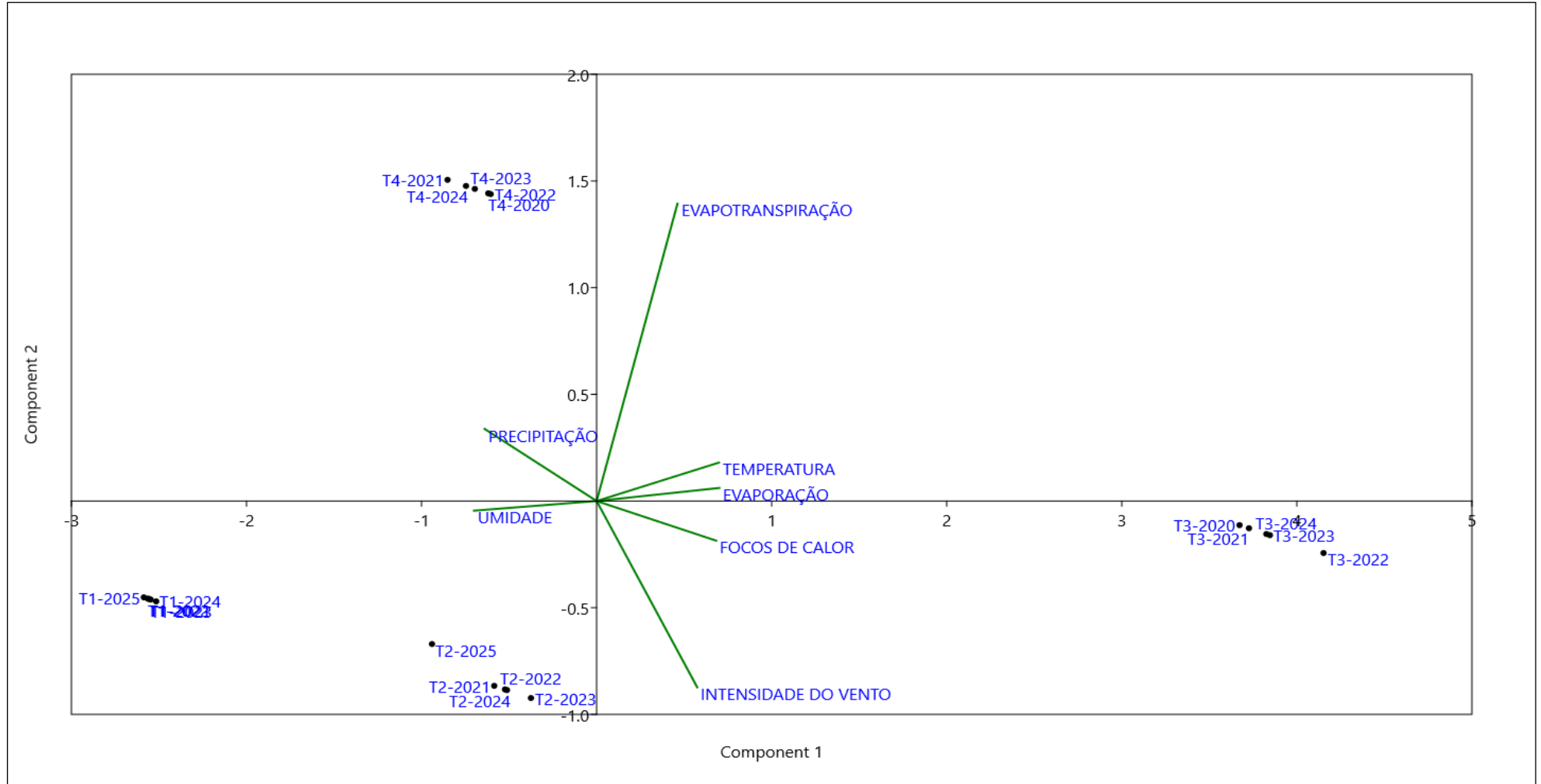
Fonte: A autora (2025).

Figura 13 - Mapa comparativo de focos de calor – 2020 a 2025.



Fonte: A autora (2025).

Figura 16 - Correlação da Análise de Componentes Principais (ACP).



Fonte: A autora (2025).