



UFOP



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal de Ouro Preto

Escola de Minas – Departamento de Engenharia Ambiental

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental



Bianca Ferreira Rodrigues

**Mapeamento da suscetibilidade a incêndios florestais pelo método Analytic
Hierarchy Process (AHP): estudo de caso no município de Itabirito - MG**

Ouro Preto

2026

Bianca Ferreira Rodrigues

Mapeamento da suscetibilidade a incêndios florestais pelo método Analytic
Hierarchy Process (AHP): estudo de caso no município de Itabirito - MG

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de Engenharia
Ambiental na Universidade Federal de
Ouro Preto.

Orientadora: Profa. Lívia Cristina Pinto
Dias

Ouro Preto

2026

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R696m Rodrigues, Bianca Ferreira.

Mapeamento da suscetibilidade a incêndios florestais pelo método Analytic Hierarchy Process (AHP) [manuscrito]: estudo de caso no município de Itabirito - MG. / Bianca Ferreira Rodrigues. - 2026.
81 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Lívia Cristina Pinto Dias.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia Ambiental .

1. Processo de Hierarquia Analítica. 2. Análise espacial (Estatística).
3. Satélites artificiais. 4. Mapeamento ambiental. 5. Incêndios. I. Dias,
Lívia Cristina Pinto. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 504:004

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza -CRB6/2322



FOLHA DE APROVAÇÃO

Bianca Ferreira Rodrigues

Mapeamento da suscetibilidade a incêndios florestais pelo método *Analytic Hierarchy Process (AHP)*: estudo de caso no município de Itabirito - MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental

Aprovada em 04 de maio de 2026

Membros da banca

Profa. Dra. Lívia Cristina Pinto Dias - Orientador(a) (Departamento de Engenharia Ambiental - Universidade Federal de Ouro Preto)

Prof. Dr. Mateus Oliveira Xavier (Departamento de Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal de Ouro Preto)
Me. Mariana de Oliveira (Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Itabirito)

Lívia Cristina Pinto Dias, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 13/05/2026.



Documento assinado eletronicamente por **Livia Cristina Pinto Dias, COORDENADOR(A) DE CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**, em 13/05/2026, às 11:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1106903** e o código CRC **9F93DF03**.

Agradecimentos

A Deus, agradeço por guiar meus passos, iluminar meu caminho e me sustentar em todos os momentos da vida, oferecendo força e esperança mesmo nas dificuldades.

À minha mãe, Edileia, expresso minha profunda gratidão pelo amor incondicional, pelo apoio constante e pelo incentivo diário, que foram fundamentais para que eu pudesse chegar até aqui com confiança e determinação.

Aos meus irmãos, Thaís, Thamiris e Bruno, agradeço pela compreensão e pelo companheirismo, pois assim, me fortaleceram ao longo de toda esta jornada.

Ao Luís, sou grata pelo amor, pela paciência e pelo incentivo constante, especialmente por estar sempre ao meu lado, compartilhando comigo tanto as conquistas quanto os desafios.

Ao meu grupo de amigos da Engenharia Ambiental, pela amizade e companheirismo ao longo desses anos.

À minha orientadora, Lívia, reconheço com muito apreço sua dedicação, orientação, paciência e valiosas contribuições, que foram essenciais para a realização deste projeto.

Meus sinceros e eternos agradecimentos a todos vocês, que fizeram parte deste momento.

“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.”

- Artigo 225 da Constituição Federal de 1988

Resumo

Nas últimas décadas, os incêndios florestais têm se intensificado em diferentes regiões do mundo, configurando-se como um problema relevante sob os aspectos ambiental, social e econômico. Nesse contexto, a compreensão dos fatores que condicionam sua ocorrência é essencial para o planejamento de ações preventivas e para a gestão do território. Este trabalho teve como objetivo analisar a suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais no município de Itabirito, Minas Gerais, por meio da aplicação de técnicas de geoprocessamento e análise espacial. Para isso, foram utilizados dados de sensoriamento remoto, com destaque para os registros de focos de calor do satélite NOAA-20 (sensor VIIRS), referentes ao período de 2019 a 2024, integrados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). A metodologia consistiu na análise do histórico de queimadas e na integração de variáveis ambientais e antrópicas, incluindo declividade, orientação das encostas, altitude, temperatura, precipitação, proximidade de rodovias, uso e cobertura do solo e setor censitário, por meio de análise multicritério. Os resultados indicaram que a ocorrência dos incêndios está associada às características da vegetação, às condições climáticas e à influência antrópica, com maior suscetibilidade em áreas com vegetação mais seca e maior proximidade de áreas urbanizadas. O mapa de suscetibilidade gerado configura-se como uma importante ferramenta para o planejamento ambiental e para a definição de estratégias de prevenção e controle dos incêndios florestais.

Palavras-chave: Focos de calor; Modelagem multicritério; Densidade Kernel; Variáveis ambientais; NOAA-20.

Abstract

In recent decades, wildfires have intensified in different regions of the world, becoming a relevant environmental, social, and economic issue. In this context, understanding the factors that influence their occurrence is essential for planning preventive actions and supporting territorial management. This study aimed to analyze wildfire susceptibility in the municipality of Itabirito, Minas Gerais, Brazil, through the application of geoprocessing techniques and spatial analysis. Remote sensing data were used, particularly fire hotspot records from the NOAA-20 satellite (VIIRS sensor), referring to the period from 2019 to 2024, integrated within a Geographic Information System (GIS) environment. The methodology consisted of analyzing the historical occurrence of fires and integrating environmental and anthropogenic variables, including slope, aspect, altitude, temperature, precipitation, proximity to roads, land use and land cover, and census sector, through a multi-criteria analysis. The results indicate that wildfire occurrence is associated with vegetation characteristics, climatic conditions, and human influence, with higher susceptibility observed in areas with drier vegetation and closer to urbanized areas. The resulting susceptibility map represents an important tool for environmental planning and for defining wildfire prevention and control strategies.

Keywords: Hotspots; Multi-criteria modeling; Kernel density estimation; Environmental variables; NOAA-20.

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Mapa de localização do município de Itabirito - MG..... | 14 |
| Figura 2: Fluxograma de processamento e análise dos dados..... | 20 |
| Figura 3: Distribuição anual dos focos de calor (2019–2024)..... | 40 |
| Figura 4: Densidade Kernel anual dos focos de calor (2019–2024)..... | 42 |
| Figura 5: Comparação da intensidade máxima da densidade Kernel (2019-2024)..... | 43 |
| Figura 6: Declividade do município de Itabirito – MG..... | 45 |
| Figura 7: Orientação das vertentes no município de Itabirito - MG..... | 46 |
| Figura 8: Classes altimétricas do município de Itabirito – MG..... | 47 |
| Figura 9: Temperatura média anual do município de Itabirito – MG..... | 48 |
| Figura 10: Precipitação total anual do município de Itabirito – MG..... | 50 |
| Figura 11: Distância às rodovias do município de Itabirito – MG..... | 51 |
| Figura 12: Uso e cobertura da terra em 2024 para o município de Itabirito – MG..... | 52 |
| Figura 13: Histórico do uso e cobertura da terra do município de Itabirito – MG..... | 54 |
| Figura 14: Distribuição populacional por setor censitário do município de Itabirito - MG..... | 55 |
| Figura 15: Mapa de suscetibilidade a queimadas no município de Itabirito – MG..... | 57 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Arcabouço normativo aplicado à gestão do risco de queimadas e incêndios no município de Itabirito - MG..... | 11 |
| Tabela 2: Classificação da declividade para Itabirito - MG..... | 22 |
| Tabela 3: Classificação da orientação das encostas para Itabirito - MG..... | 23 |
| Tabela 4: Classificação da altitude para Itabirito - MG..... | 25 |
| Tabela 5: Classes de distância às rodovias e respectivos níveis de influência antrópica..... | 28 |
| Tabela 6: Reclassificação do uso e cobertura da terra – Mapbiomas..... | 29 |
| Tabela 7: Homogeneização do critério uso e cobertura da terra..... | 33 |
| Tabela 8: Homogeneização do critério declividade do terreno..... | 33 |
| Tabela 9: Homogeneização do critério orientação das encostas..... | 34 |
| Tabela 10: Homogeneização do critério altitude..... | 34 |
| Tabela 11: Homogeneização do critério temperatura média anual..... | 35 |
| Tabela 12: Homogeneização do critério precipitação total anual..... | 35 |
| Tabela 13: Homogeneização do critério proximidade de rodovias..... | 36 |
| Tabela 14: Homogeneização do critério densidade de ocupação..... | 36 |
| Tabela 15: Escala Fundamental de Saaty..... | 37 |
| Tabela 16: Matriz de comparação par a par dos critérios para definir a suscetibilidade a incêndios florestais..... | 38 |
| Tabela 17: Pesos das variáveis de acordo com a pesquisa com especialistas..... | 57 |

Lista de Siglas

| | |
|---------|---|
| A | Altitude |
| AHP | <i>Analytic Hierarchy Process</i> (em Português: Processo Analítico Hierárquico) |
| ATMS | <i>Advanced Technology Microwave Sounder</i> |
| CERES | <i>Clouds and the Earth's Radiant Energy System</i> |
| CrIS | <i>Cross-track Infrared Sounder</i> |
| D | Declividade |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte |
| Embrapa | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| Ibama | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IC | Índice de Consistência |
| IEF | Instituto Estadual de Florestas |
| Inmet | Instituto Nacional de Meteorologia |
| Inpe | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| JPSS | <i>Joint Polar Satellite System</i> |
| MDE | Modelo Digital de Elevação |
| Nasa | <i>National Aeronautics and Space Administration</i> |
| NBR | <i>Normalized Burn Ratio</i> (em Português: Índice de Queimada por Diferença Normalizada) |
| NDVI | <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (em Português: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) |
| NOAA | National Oceanic and Atmospheric Administration |
| OE | Orientação das encostas |
| OLI | <i>Operational Land Imager</i> |
| OMPS | <i>Ozone Mapping and Profiler Suite</i> |
| P | Precipitação |
| PNMIF | Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo |
| R | Rodovias |
| RC | Razão de Consistência |
| SC | Densidade populacional por setor censitário |
| Semad | Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável |
| SIG | Sistema de Informação Geográfica |
| SRTM | <i>Shuttle Radar Topography Mission</i> |
| T | Temperatura |
| UPFI | Unidade Padrão Fiscal de Itabirito |
| US | Uso do solo |
| UTM | <i>Universal Transverse Mercator</i> |
| VIIRS | <i>Visible Infrared Imaging Radiometer Suite</i> |

Sumário

| | |
|---|----|
| 1. Introdução | 1 |
| 2. Objetivos | 3 |
| 2.1. Objetivo geral | 3 |
| 2.2. Objetivos específicos | 3 |
| 3. Revisão bibliográfica | 4 |
| 3.1. Conceitos fundamentais | 4 |
| 3.2. Fatores relacionados à ocorrência de incêndios florestais | 5 |
| 3.3. Impactos dos incêndios florestais | 6 |
| 3.4. Legislações e políticas | 7 |
| 3.5. Tecnologias de mapeamento | 11 |
| 4. Materiais e método | 14 |
| 4.1. Local de estudo | 14 |
| 4.2. Obtenção e pré-processamento dos dados | 16 |
| 4.3. Análise do histórico de queimadas | 18 |
| 4.3.1. Satélite NOAA-20 | 18 |
| 4.3.2. Densidade de kernel ou mapa de calor | 19 |
| 4.4. Identificação de áreas mais susceptíveis a eventos de incêndios . | 20 |
| 4.4.1. Declividade | 21 |
| 4.4.2. Orientação das encostas | 22 |
| 4.4.3. Altitude | 23 |
| 4.4.4. Temperatura | 25 |
| 4.4.5. Precipitação | 26 |
| 4.4.6. Rodovias | 27 |

| | |
|---|----|
| 4.4.7. Uso e cobertura da terra..... | 28 |
| 4.4.8. Setor censitário | 30 |
| 4.5. Análise multicritério | 31 |
| 4.5.1. Homogeneização e padronização dos critérios | 31 |
| 5. Resultados e discussão | 40 |
| 5.1. Histórico de focos de queimadas (2019–2024) | 40 |
| 5.2. Mapeamento dos fatores ambientais que contribuem para suscetibilidade à incêndios florestais em Itabirito | 44 |
| 6. Conclusão..... | 60 |
| 7. Referências bibliográficas..... | 62 |

1. Introdução

Nas últimas décadas, os incêndios florestais têm se intensificado em diversas regiões do mundo, tornando-se uma preocupação crescente do ponto de vista ambiental, social e econômico (Bowman *et al.*, 2009). Esses eventos afetam ecossistemas naturais (Anderson *et al.*, 2019), comprometem a biodiversidade (Anderson *et al.*, 2019; Jesus *et al.*, 2020), impactam a qualidade do ar (Sales *et al.*, 2019) e representam riscos diretos à saúde humana e à infraestrutura (Guimarães *et al.*, 2014). Além disso, mudanças no uso e cobertura da terra, associadas às alterações climáticas, têm contribuído para o aumento da frequência e intensidade desses eventos (Jones *et al.*, 2022).

Incêndios florestais são definidos como o conjunto de todas as ocorrências de fogo não controlado em vegetação, ou seja, nesse termo não estão incluídos o fogo prescrito e os incêndios agrícolas planejados (Fagundes, 2019). Esses eventos aumentam a vulnerabilidade dos ecossistemas ao provocarem a perda de cobertura vegetal e a degradação do solo, comprometendo a capacidade de regeneração natural. Além disso, a redução da biomassa implica na diminuição dos estoques de carbono e na liberação de gases de efeito estufa para a atmosfera, o que intensifica processos de mudança do clima (Hargrave *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2017).

Bowman *et al.* (2009) destacam que as ações antrópicas contribuem para a alteração dos regimes de fogo, principalmente por meio do uso associado às atividades agropecuárias e à conversão do uso da terra. Além dos fatores antrópicos, a vegetação também exerce influência significativa na suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais. Magalhães *et al.* (2017) ressaltam que a tipologia vegetal constitui um fator determinante no comportamento dos incêndios florestais, uma vez que cada tipo de vegetação apresenta características distintas de carga e estrutura do material combustível, tornando certas formações mais suscetíveis à ocorrência do fogo. Além disso, fatores como a umidade do material combustível e as características da vegetação influenciam diretamente o comportamento e a propagação do fogo (Januário; Minuzzi, 2020; Magalhães *et al.*, 2017).

O clima tropical também influencia na suscetibilidade à ocorrência dos incêndios florestais, favorecendo tanto a regeneração da vegetação quanto a ocorrência de incêndios nos períodos secos (Carvalho *et al.*, 2018). Variáveis climáticas como

temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento desempenham papel fundamental na ignição e propagação dos incêndios, sendo frequentemente utilizadas como indicadores em sistemas de monitoramento e previsão da suscetibilidade (Anderson *et al.*, 2019; Januário; Minuzzi, 2020).

Em Minas Gerais, a coincidência entre os meses secos e a alta atividade agrícola agrava ainda mais essa vulnerabilidade (IBGE, 2020). O estado apresenta elevada diversidade de formações vegetais, incluindo áreas de Cerrado e Mata Atlântica, que possuem diferentes graus de suscetibilidade ao fogo, o que reforça a importância de estudos em escala local. O entendimento desses fatores é crucial para a implementação efetiva das políticas públicas voltadas à prevenção dos incêndios florestais (Silva *et al.*, 2014).

Jesus *et al.* (2020) destacam que a análise espacial e temporal das ocorrências de incêndios florestais, baseada em técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, permite identificar padrões de distribuição dos focos de queimadas e subsidiar o planejamento de ações de prevenção e controle dos incêndios florestais. Portanto, as abordagens de modelagem geoecológicas com suporte de técnicas de geoprocessamento e análise espacial em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) constituem ferramenta eficaz para identificar e mapear áreas com diferentes níveis de suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais, a partir da integração de variáveis ambientais como relevo, radiação solar e cobertura vegetal (Santos Júnior *et al.*, 2020).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo identificar as áreas de maior suscetibilidade a incêndios florestais no município de Itabirito, Minas Gerais, por meio da aplicação de técnicas de geoprocessamento. A pesquisa proposta visa proteger os recursos naturais e ecossistemas locais, resguardando as comunidades humanas que dependem desses recursos. A compreensão aprimorada das áreas de risco pode orientar ações preventivas, planos de evacuação e estratégias de manejo, promovendo assim a segurança da população e a preservação do patrimônio ambiental de Itabirito.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

Criar um mapa temático que representa as áreas suscetíveis a incêndios florestais em Itabirito, Minas Gerais, por meio de técnicas de geoprocessamento e análises espaciais.

2.2. Objetivos específicos

- Analisar o histórico de ocorrências de incêndios florestais em Itabirito entre 2019 e 2024, com base em dados de sensoriamento remoto;
- Detalhar os fatores ambientais que contribuem para suscetibilidade à ocorrência de incêndios na região;
- Analisar as áreas de maior suscetibilidade a incêndios florestais no município de Itabirito, Minas Gerais.

3. Revisão bibliográfica

3.1. Conceitos fundamentais

A suscetibilidade a incêndios florestais é a probabilidade espacial de ocorrência de fogo, dada a combinação entre clima, relevo, vegetação e ações humanas (Eslami *et al.*, 2021). Métodos modernos de modelagem espacial conseguem identificar com boa precisão as áreas mais suscetíveis ao fogo, permitindo concentrar esforços de prevenção, manejo e resposta emergencial onde a suscetibilidade é maior (Yinxue Cao *et al.*, 2017; Noroozi *et al.*, 2014; Uthappa *et al.*, 2025).

Por outro lado, a compreensão de risco ambiental envolve a análise conjunta entre a probabilidade de um evento ocorrer e a intensidade dos danos potenciais que podem ser gerados (Riffel *et al.*, 2016). Em situações relacionadas a queimadas e incêndios florestais, o risco está diretamente associado à existência de materiais combustíveis, às condições climáticas e à presença de agentes naturais ou antrópicos capazes de iniciar o processo de combustão (Oliveira *et al.*, 2016). Assim, o risco decorre da interação entre fatores que condicionam a ocorrência desses eventos.

Já a vulnerabilidade, nesse contexto, está relacionada ao potencial de uma área, população ou ecossistema de sofrer danos decorrentes da ocorrência de queimadas e incêndios florestais, refletindo não apenas as características ambientais, mas também as relações sociais, econômicas, políticas e ecológicas que se manifestam no território (Anderson *et al.*, 2019). Dessa forma, o risco indica a probabilidade do evento, enquanto a vulnerabilidade define a magnitude de seus impactos.

A análise integrada da suscetibilidade, do risco e da vulnerabilidade constitui um importante subsídio para o planejamento territorial e para a formulação de políticas públicas direcionadas à mitigação, prevenção e gestão de eventos adversos (Oliveira; Borges, 2018). Ambientes caracterizados por elevada disponibilidade de material combustível, intensa presença humana e fragilidades no ordenamento territorial tendem a apresentar a sobreposição de suscetibilidade, risco e vulnerabilidade, o que reforça a importância do monitoramento contínuo, da articulação institucional e de ações preventivas e educativas no âmbito da gestão do risco (Oliveira *et al.*, 2016; Anderson *et al.*, 2019; Oliveira; Borges, 2018).

Em Itabirito, que se localiza em uma região com uma grande variedade de ambientes naturais (como áreas de vegetação nativa, formações de campo, além de

atividades mineradoras e crescimento urbano) é muito importante entender bem a suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais. As características do terreno, o clima, com variações sazonais de temperatura, umidade e precipitação ao longo do ano, e a maneira como as pessoas usam e ocupam o solo, criam um cenário onde incêndios florestais acontecem (Oliveira *et al.*, 2016). Por isso, ao aplicar esses conceitos na análise do município, torna-se possível compreender melhor as áreas mais propensas a esses eventos e desenvolver estratégias mais eficazes para prevenir e gerenciar os riscos na região.

3.2. Fatores relacionados à ocorrência de incêndios florestais

Os incêndios florestais resultam da interação de múltiplos fatores, com destaque para o uso e cobertura da terra, a ação antrópica e as condições climáticas, que influenciam de forma determinante sua ocorrência (Jesus *et al.*, 2020). Entre as causas antrópicas dos incêndios florestais destaca-se o uso do fogo para a limpeza de terrenos, renovação de pastagens e atividades agrícolas, práticas que, quando realizadas de forma irregular, configuram ações ilegais e predatórias ao meio ambiente, podendo desencadear incêndios de grandes proporções (Mothé *et al.*, 2020).

Outro fator crítico é a negligência, especialmente durante períodos de estiagem, quando uma simples bituca de cigarro, fogueira improvisada ou queima de lixo doméstico pode iniciar incêndios que se espalham rapidamente. Além disso, atividades associadas a operações produtivas, à abertura de estradas e ao uso de máquinas contribuem para a geração de fontes adicionais de ignição, em razão do aumento da fricção entre equipamentos e materiais, da produção de faíscas e da fragmentação da vegetação, o que favorece a ocorrência e a propagação de incêndios florestais (Tetto; Batista; Soares, 2011).

Paralelamente, as condições meteorológicas exercem papel fundamental na dinâmica dos incêndios. Conforme Januário e Minuzzi (2020), a elevação da temperatura do ar associada à redução da umidade relativa e à diminuição da precipitação contribui para o ressecamento da vegetação e do material combustível vegetal. Nessas condições, especialmente em áreas descampadas, o risco de ocorrência e propagação de incêndios aumenta, sendo intensificado por condições

meteorológicas que dificultam o controle do fogo. Mudanças climáticas globais também vêm intensificando períodos de seca prolongada, aumentando a frequência e a severidade das queimadas em diversas regiões do mundo (Jones *et al.*, 2022).

3.3. Impactos dos incêndios florestais

Sob a perspectiva ecológica, incêndios florestais provocam impactos diretos sobre a biodiversidade, pois ocasionam a queima de vegetação nativa e alteração da composição, estrutura e funcionamento dos ecossistemas florestais, resultando em perdas ecológicas relevantes, afetando habitats naturais e comprometendo serviços ecossistêmicos, especialmente em áreas ambientalmente sensíveis (Anderson *et al.*, 2019). No contexto brasileiro, a elevada incidência de focos de fogo em diferentes biomas e em unidades de conservação reforça a pressão exercida sobre a biodiversidade, evidenciando a vulnerabilidade desses ambientes à recorrência de incêndios (Jesus *et al.*, 2020).

Além disso, os incêndios florestais contribuem para a degradação da qualidade do ar em função da liberação de gases e partículas oriundas da queima da biomassa vegetal, ampliando os efeitos ambientais para além da área diretamente atingida e elevando a poluição atmosférica em escala regional (Sales *et al.*, 2019). Estudos em áreas queimadas demonstram que a combustão da vegetação libera gases-traço e aerossóis atmosféricos, alterando os fluxos de energia e os ciclos biogeoquímicos, o que reforça a conexão entre incêndios florestais, atmosfera e clima (Lotufo *et al.*, 2020).

No que se refere às consequências, os incêndios florestais afetam diretamente a saúde humana, principalmente em função da grande quantidade de fumaça liberada durante a queima da vegetação. Essa fumaça contribui para a poluição do ar por partículas em suspensão, podendo causar irritação nos olhos, na garganta e nas vias respiratórias, além de agravar doenças respiratórias pré-existentes, como asma e bronquite, gerando transtornos à população residente no entorno das áreas afetadas (Guimarães *et al.*, 2014).

3.4. Legislações e políticas

A fundamentação legal brasileira voltada ao controle de queimadas e incêndios florestais combina normas penais, normas de proteção à vegetação nativa e políticas públicas específicas, articulando prevenção, responsabilização e manejo do fogo. No plano federal, três eixos se destacam: a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998), o Código Florestal (Lei nº 12.651/2012) e a recente Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo (PNMIF), instituída pela Lei nº 14.944/2024.

A Lei nº 12.651/2012, conhecida como “Novo Código Florestal”, trata diretamente do uso do fogo em seu capítulo referente à proibição e controle de queimadas. Conforme disposto no artigo 38, o uso do fogo na vegetação é proibido, exceto em situações específicas previstas na própria legislação, condicionadas à autorização prévia do órgão ambiental competente e ao cumprimento dos critérios estabelecidos. Entre essas exceções, destaca-se a utilização do fogo “em locais ou regiões cujas peculiaridades justifiquem o emprego do fogo em práticas agropastoris ou florestais” (Brasil, 2012, art. 38, I).

Essas exceções mostram que o uso do fogo não é totalmente banido, mas submetido a critérios técnicos, vinculados ao licenciamento e ao monitoramento ambiental, e com foco na redução do risco de incêndios descontrolados. Em complemento, o artigo 40 da Lei nº 12.651/2012 determina a adoção de política nacional voltada à prevenção e ao combate aos incêndios florestais, em articulação entre os entes federativos (Brasil, 2012, art. 40), apontando para a necessidade de coordenação entre diferentes esferas de governo e de substituição gradual do uso indiscriminado do fogo no meio rural.

No campo penal, a Lei nº 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais) tipifica o incêndio florestal como crime específico. O artigo 41 descreve a conduta de “causar incêndio em mata ou floresta” como infração penal (Brasil, 1998, art. 41), sujeita à pena de reclusão e multa. A inclusão desse tipo penal reforça que o fogo em ambiente florestal não é apenas um problema administrativo, mas também uma violação grave à ordem jurídica, capaz de gerar responsabilidade criminal individual. Na prática, isso significa que queimadas ilegais em áreas de vegetação nativa podem ensejar processos criminais, além de sanções administrativas como multas e embargos.

A partir de 2024, o Brasil passou a contar com um instrumento ainda mais específico: a Lei nº 14.944/2024, que “institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo” (Brasil, 2024, ementa). Essa lei detalha objetivos e princípios da PNMIF, entre os quais se destaca o artigo 5º, que afirma: “São objetivos da Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo: I – prevenir a ocorrência e reduzir os impactos dos incêndios florestais e do uso não autorizado e indevido do fogo” (Brasil, 2024, art. 5º, I).

Com isso, a PNMIF consolida uma abordagem que não trata o fogo apenas como ameaça, mas também como ferramenta de manejo quando usado de forma técnica, controlada e socialmente pactuada. Essa lei busca disciplinar e “promover a articulação interinstitucional relativa ao manejo integrado do fogo; à redução da incidência e dos danos dos incêndios florestais; e ao reconhecimento do papel ecológico do fogo” (Brasil, 2024). Essa perspectiva é especialmente relevante em contextos como o de Itabirito, onde biomas associados ao fogo, como formações campestres e campos rupestres, convivem com áreas urbanas, minerárias e de expansão imobiliária.

No plano federal e institucional, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) reforça esse entendimento ao definir que “a queima controlada é o uso planejado, monitorado e controlado do fogo, realizado para fins agrossilvipastoris em áreas determinadas e sob condições específicas” (Ibama, 2023). Essa definição aproxima a prática da lógica do manejo integrado do fogo, em que planejamento, monitoramento e controle são condições indispensáveis para que a queima não se transforme em incêndio de grandes proporções.

No que diz respeito às leis estaduais, Minas Gerais dispõe de um conjunto de normas que operacionalizam o controle de queimadas. A Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013, dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado de Minas Gerais. Destaca-se, nesse contexto, o Capítulo V – Da Proibição do Uso de Fogo e da Prevenção e do Combate a Incêndios Florestais, o qual estabelece a vedação do uso do fogo em áreas de vegetação nativa como regra geral, admitindo exceções apenas em situações específicas e condicionadas à autorização do órgão ambiental competente, bem como à adoção de medidas de prevenção e controle de incêndios florestais (Minas Gerais, 2013).

É possível citar ainda a Resolução Conjunta Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável e Instituto Estadual de Florestas (Semad/IEF) nº 2.988/2020, que define procedimentos para a queima controlada. Essa resolução estabelece que “a queima controlada poderá ser realizada em áreas de plantio agropastoril ou florestal, mediante prévia autorização do órgão ambiental” (Minas Gerais, 2020). Dessa forma, qualquer uso do fogo em propriedades rurais no estado passa a depender de autorização formal e de condições técnicas previamente definidas pelo órgão ambiental.

Essa normatização dialoga com orientações nacionais. O próprio Estado de Minas Gerais enfatiza, em materiais oficiais, que a queima controlada consiste no emprego planejado do fogo em áreas agrícolas, com autorização prévia do poder público, justamente para reduzir riscos de incêndios florestais em períodos de estiagem. O uso autorizado do fogo deixa de ser uma prática “informal” e passa a integrar uma estratégia mais ampla de manejo, prevenção e defesa civil.

No que diz respeito ao município de Itabirito, vigora a Lei Municipal nº 4.021, de 10 de janeiro de 2024, que dispõe sobre medidas para o combate à poluição ambiental e o controle de queimadas e incêndios no Município de Itabirito, com alterações introduzidas pela Lei nº 4.489, de 04 de dezembro de 2025, a qual promoveu modificações no regime de penalidades, redefinindo os valores das multas em Unidade Padrão Fiscal de Itabirito (UPFI), estabelecendo progressividade por reincidência e conferindo efeito retroativo às disposições mais benéficas aos autuados (Itabirito, 2024; Itabirito, 2025).

Ainda, a Lei Municipal nº 3.344, de 24 de setembro de 2019, dispõe sobre a proibição do manuseio, utilização e soltura de fogos de artifício e artefatos pirotécnicos de efeito sonoro ruidoso, em eventos públicos e privados, em todo o território de Itabirito (Itabirito, 2019). Embora a norma tenha como principal objetivo a restrição de artefatos com estampido, sua aplicação pode contribuir indiretamente para a redução de ocorrências associadas ao uso inadequado de materiais pirotécnicos, especialmente em áreas com significativa cobertura vegetal e suscetíveis à propagação do fogo.

Desta maneira, a gestão de queimadas e incêndios no Brasil estrutura-se a partir da combinação de diferentes normas. O Código Florestal restringe o uso do fogo na

vegetação, admitindo exceções específicas; a Lei de Crimes Ambientais tipifica como crime a provocação de incêndio em áreas de mata ou floresta; e a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo orienta ações de prevenção e mitigação. Para garantir a eficácia, são necessários: fiscalização eficiente, planejamento do uso do território, promoção da educação ambiental e emprego de tecnologias de monitoramento, como o geoprocessamento e o sensoriamento remoto, abordados neste trabalho.

Nesse contexto, embora as legislações analisadas não mencionem explicitamente o mapeamento de suscetibilidade a incêndios florestais, o emprego de ferramentas de geoprocessamento e análise espacial contribuem para a identificação de áreas prioritárias para ações preventivas, fiscalização e planejamento territorial relacionados ao manejo do fogo.

De maneira a organizar e resumir as legislações que foram discutidas nesta seção, os principais instrumentos legais que tratam da prevenção, do controle e da responsabilização por queimadas e incêndios florestais, abrangendo as esferas: federal, estadual e municipal estão reunidos na Tabela 1.

Tabela 1: Arcabouço normativo aplicado à gestão do risco de queimadas e incêndios no município de Itabirito - MG

| Instrumento Normativo | Âmbito | Contribuições para a gestão de queimadas e incêndios |
|--|-----------------------|--|
| Lei nº 9.605/1998 – Lei de Crimes Ambientais | Federal | Estabelece sanções penais e administrativas para condutas lesivas ao meio ambiente, incluindo a responsabilização por incêndios em vegetação. |
| Lei nº 12.651/2012 – Código Florestal | Federal | Regulamenta a proteção da vegetação nativa, proíbe o uso indiscriminado do fogo e condiciona exceções à autorização e controle ambiental. |
| Lei nº 14.944/2024 – Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo | Federal | Institui política específica para manejo integrado do fogo, com foco na prevenção, redução de impactos e articulação entre entes federativos. |
| Lei nº 20.922/2013 | Estadual (MG) | Dispõe sobre a política florestal e de proteção à biodiversidade em Minas Gerais, incluindo medidas relacionadas ao controle do fogo e conservação da vegetação. |
| Resolução Conjunta SEMAD/IEF nº 2.988/2020 | Estadual (MG) | Regulamenta critérios técnicos para uso, monitoramento e autorização de queima controlada no estado. |
| Lei Municipal nº 4.021/2024 | Municipal (Itabirito) | Proíbe o uso do fogo para limpeza ou preparo do solo no território municipal e estabelece penalidades administrativas. |
| Lei Municipal nº 4.489/2025 | Municipal (Itabirito) | Atualiza e redefine os critérios de penalidade da Lei nº 4.021/2024, ajustando valores e regras de reincidência. |
| Lei Municipal nº 3.344/2019 | Municipal (Itabirito) | Proíbe o uso de fogos de artifício com efeito sonoro no município, contribuindo indiretamente para a redução de riscos de ignição. |

Fonte: Autora, 2026.

3.5. Tecnologias de mapeamento

Para entender como acontecem os incêndios em Itabirito, é importante ir além de apenas identificar os focos de calor. A cidade está localizada na região do Quadrilátero Ferrífero e possui um relevo bastante irregular, com áreas de vegetação fragmentada e regiões onde a cidade e a floresta se encontram. Nesse contexto, o sensoriamento remoto e o geoprocessamento assumem papel central na investigação do fenômeno.

O uso de imagens orbitais têm sido amplamente empregado na detecção e avaliação de áreas queimadas. Lotufo *et al.* (2020), ao analisarem imagens *Landsat 8 Operational Land Imager* (OLI) no Parque Estadual do Araguaia, aplicaram índices espectrais como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - NDVI e o Índice de Queimada por Diferença Normalizada - NBR, demonstrando que tais indicadores evidenciam redução de biomassa, presença de superfícies carbonizadas e alterações associadas à temperatura de superfície após a passagem do fogo.

Estudos como este mostram o grande potencial do sensoriamento remoto como uma ferramenta de monitoramento ambiental, especialmente em áreas com diferentes tipos de vegetação, como é o caso de Itabirito. No entanto, identificar uma área queimada é só uma etapa do processo. A literatura indica que fazer uma análise espacial integrada ajuda a entender melhor os padrões de incêndios recorrentes e possíveis relações com características do território.

Sales *et al.* (2019), ao identificarem áreas críticas de ocorrência de fogo por meio de técnicas de geoprocessamento, evidenciaram que a distribuição espacial dos focos pode ser examinada a partir da sobreposição de variáveis ambientais e territoriais. O estudo demonstra que o SIG não atua apenas como ferramenta de representação cartográfica, mas como instrumento de análise espacial.

A configuração da paisagem também tem sido apontada como elemento relevante na dinâmica do fogo. Magalhães *et al.* (2017), ao simularem o comportamento do fogo em diferentes cenários de uso e ocupação do solo, verificaram que alterações estruturais na paisagem (especialmente a continuidade de formações florestais) podem influenciar o perigo de incêndio. Embora o estudo se concentre na modelagem de cenários, ele evidencia a importância de considerar a estrutura territorial na análise do risco.

Além das características físicas, a literatura destaca a necessidade de incorporar a dimensão da vulnerabilidade na análise espacial. Oliveira e Borges (2018), ao utilizarem o SIG para classificar bairros segundo níveis de vulnerabilidade ambiental, demonstraram que a integração de variáveis físicas e territoriais permite compreender o risco como resultado da interação entre ameaça e exposição. Ainda que o estudo trate de riscos tecnológicos, sua abordagem metodológica sustenta a inclusão de elementos expostos na análise espacial de eventos ambientais.

No caso de Itabirito, essa abordagem combinada permite analisar como os focos de incêndio estão distribuídos em relação a fatores como a inclinação do terreno, o uso do solo, a cobertura vegetal e a proximidade de áreas habitadas. O uso do geoprocessamento não define de antemão qual variável influencia mais, mas ajuda a observar os padrões no espaço e a investigar possíveis ligações entre as características físicas do local e a frequência dos incêndios.

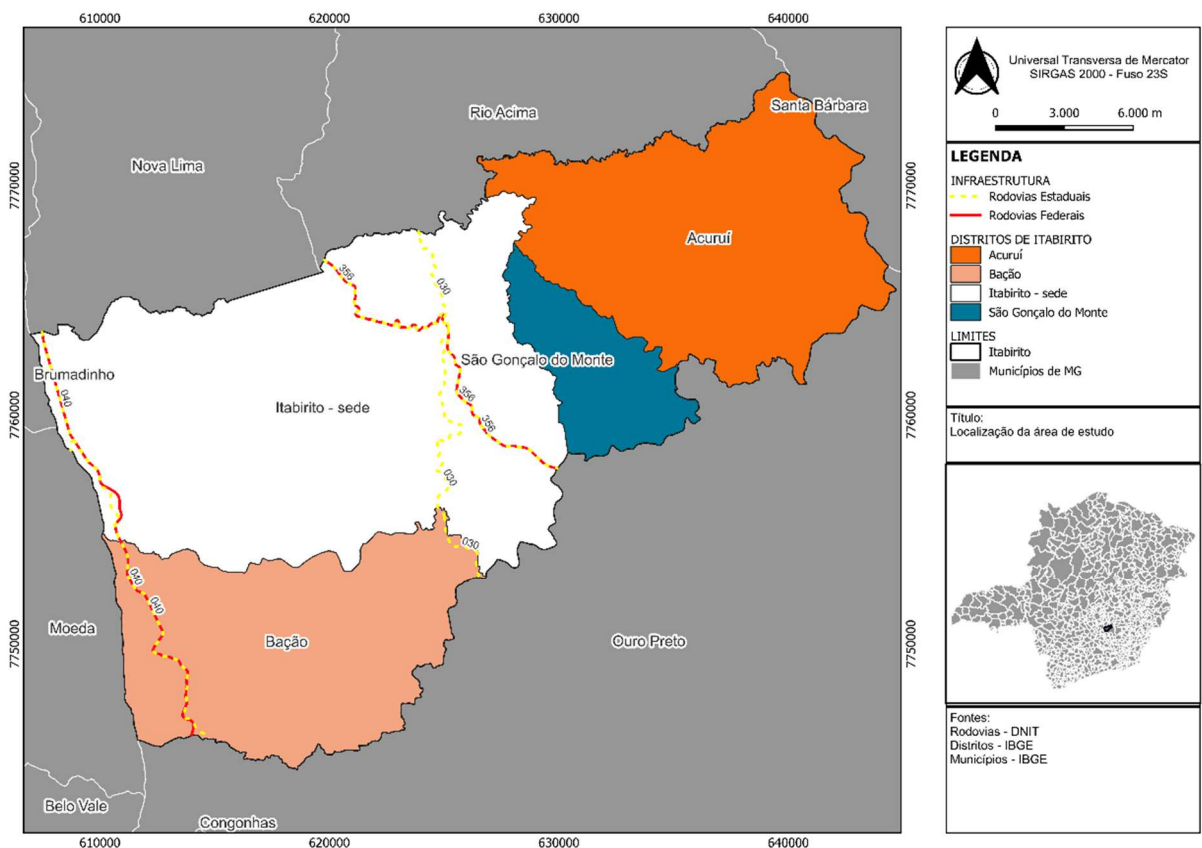
Assim, a combinação entre dados orbitais, análise espacial em ambiente SIG e integração de variáveis territoriais constitui base técnica para uma leitura mais aprofundada da dinâmica dos incêndios no município. Mais do que mapear eventos passados, essas tecnologias oferecem subsídios para compreender a distribuição espacial do fenômeno e apoiar estratégias de planejamento e prevenção.

4. Materiais e método

4.1. Local de estudo

O município de Itabirito (Figura 1) localiza-se na região central de Minas Gerais, no Quadrilátero Ferrífero, em uma posição estratégica tornando-se a ponte entre a capital Belo Horizonte e a cidade de Ouro Preto. A sede municipal de Itabirito se encontra situada a cerca de 848 m de altitude com posição geográfica central de 20°31'14" de latitude Sul e 43° 41'29" de longitude Oeste. De acordo com o IBGE (2024), o município de Itabirito possui uma área territorial de 544,027km², possuindo o relevo bastante acidentado com serras e montanhas. De acordo com IBGE (2022), Itabirito possui população estimada em 53.365 habitantes, com uma densidade demográfica de 98,09 habitantes por quilômetro quadrado.

Figura 1: Mapa de localização do município de Itabirito - MG



Fonte: Autora, 2026.

Além de sua sede, o município é constituído por 3 distritos: São Gonçalo do Bação, São Gonçalo do Monte e Acuruí (Figura 1). Há também comunidades: Barrinha, Bonsucesso, Bota Cabral, Cachoeirinha, Calado, Capanema, Córrego do Bação, Grota da Mina, Jaguará, Macedo, Mata, Medeiros, Palmital, Perobas, Pico, Ribeirão do Eixo, Saboeiro e Teixeiras (Itabirito, s.d).

Atravessam o município de Itabirito as seguintes rodovias: Rodovia BR-040 (sentido Norte-Sul), faz a ligação Belo Horizonte a Rio de Janeiro; Rodovia BR-356 (sentido Noroeste-Sudeste), chamada Rodovia dos Inconfidentes, liga Belo Horizonte a Ouro Preto e Rodovia MG-030 ligando Itabirito a Rio Acima, ao Norte, e a Ouro Preto, Ouro Branco e Conselheiro Lafaiete, ao Sul (Moura, 2007) (Figura 1).

O município em estudo se encontra inserido na bacia hidrográfica do rio das Velhas, principal afluente da bacia do rio São Francisco. A bacia do rio das Velhas possui a seguinte subdivisão: alto, médio e baixo rio das Velhas. Já o clima da cidade é caracterizado como tropical de altitude, pois possui período seco dos meses de junho a agosto e uma época de chuvas entre os meses novembro e março (Itabirito, s.d). Segundo Moura (2007), Itabirito apresenta clima do tipo tropical de altitude (Cwb), conforme a classificação de Köppen, caracterizado por invernos secos e verões amenos.

A vegetação natural de Itabirito é composta por Mata Secundária (remanescentes da Floresta Estacional Semidecidual), Campo Cerrado (Savana Arborizada) Campo (Savana Gramíneo Lenhosa) ocupando uma área de 218,91 km² (Moura, 2007). A cobertura vegetal predominante é a Floresta Estacional Semidecidual, típica de áreas de transição e associada à complexidade ambiental do território municipal (Brito; Figueiredo, 2023).

Assim, considerando essas características, a escolha do município de Itabirito como área de estudo fundamenta-se na significativa ocorrência de queimadas e incêndios florestais registrados entre os anos de 2019 a 2024, além da presença de fatores ambientais e antrópicos que influenciam na dinâmica do fogo, como áreas de vegetação nativa, relevo acidentado, influência urbana e importantes rodovias que atravessam o município. Além disso, a proximidade territorial entre Itabirito e a Universidade Federal de Ouro Preto favoreceu o acompanhamento da área de estudo

e proporcionou maior familiaridade com a dinâmica ambiental local, o que contribuiu para o desenvolvimento do trabalho.

4.2. Obtenção e pré-processamento dos dados

Para a realização deste trabalho, foram utilizados dados provenientes de diferentes fontes. As respectivas origens, formatos e principais características são descritos a seguir.

- A malha municipal com a divisão territorial do estado de Minas Gerais, foi disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2024) por meio do endereço eletrônico <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>, acessado em 17 de abril de 2025. Assim, foi possível obter o recorte para o município de Itabirito, permitindo uma delimitação geográfica precisa com a escala de 1:250.000. A malha de distritos brasileiros foi obtida por meio do site do IBGE (2022) disponível no endereço eletrônico: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html>, acessado em 17 de abril de 2025, em formato gpkg. Assim, foi realizada a seleção do polígono para o município de Itabirito.
- Focos de calor foram adquiridos em formato KML, por meio do site do Programa BDQueimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) disponível em <https://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/#exportar-dados>, acessado em 17 de junho de 2025, contendo todos os registros de focos detectados no município de Itabirito durante o período de 2019 a 2024. Os arquivos consistem em feições do tipo ponto, georreferenciados e obtidos apenas dados do satélite NOAA-20.
- As informações referentes à altitude, declividade e orientação das encostas foram obtidas a partir do site Topodata, disponível no seguinte endereço: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>, acessado em 9 de julho de 2025. Para a análise, utilizou-se exclusivamente a cena identificada como 20S45_, uma vez que esta abrange integralmente o município de Itabirito. As imagens em escala 1:250.000, no formato GeoTIFF (.tif).

- Dados de temperatura média (°C) e precipitação (mm) foram obtidos no site WorldClim, disponível no endereço: <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>, acessado em 20 de novembro de 2025. A resolução espacial selecionada foi de 30 segundos. Os arquivos, fornecidos em formato compactado (.zip), contêm 12 arquivos no formato GeoTIFF (.tif), correspondentes a cada mês do ano.
- Rodovias estaduais e federais foram baixadas em formato *shapefile*, por meio do site do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) disponibilizado por meio do endereço eletrônico <https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>, acessado em 25 de junho de 2025, na escala de 1:250.000.
- Uso e cobertura do solo para o ano de 2024 para Brasil, disponibilizado no link https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/initiatives/brasil/collection_10/lulc/coverage/brazil_coverage_2024.tif, acessado em 12 de outubro de 2025, em formato GeoTIFF (.tif), na plataforma do Mapbiomas, Coleção 10, na escala de 1:250.000. Essa camada raster foi reprojeta para o sistema Sirgas 2000/ UTM Zona 23S e recortada para o município de Itabirito.
- A malha vetorial do setor censitário utilizada foi obtida a partir da Malha de Setores Censitários do Censo Demográfico de 2022, disponibilizada publicamente pelo IBGE no conjunto de Malhas Territoriais, disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html>, acessado em 16 de julho de 2025, em formato *shapefile*.

Com a combinação de todas as fontes de dados mencionadas, juntamente com o uso de tecnologias de sensoriamento remoto e SIG, foi possível criar mapas temáticos que mostram as áreas mais suscetíveis a queimadas e incêndios no município de Itabirito, em Minas Gerais. Essa abordagem nos permite ter uma visão mais completa dos fatores de risco na região ao longo do período de 2019 a 2024.

4.3. Análise do histórico de queimadas

Para a análise das ocorrências de queimadas e incêndios florestais no município de Itabirito, foram utilizados registros disponibilizados pela plataforma BDQueimadas, mantida pelo Inpe. Essa base reúne informações georreferenciadas sobre focos de calor detectados por satélites. O período analisado compreende de 1º de janeiro de 2019 a 31 de dezembro de 2024, totalizando seis anos de observações. As ocorrências de incêndio foram obtidas a partir de registros do satélite NOAA-20, permitindo a análise da distribuição espacial dos focos no município.

Os focos de incêndio florestal foram obtidos no BDQueimadas no formato KML, contendo feições do tipo ponto, e foram georreferenciados no sistema SIRGAS 2000 UTM Zona 23S (exclusivamente às detecções do satélite NOAA-20). Os arquivos anuais, abrangendo o período de 2019 a 2024, foram importados para o software QGIS 3.34.15 e organizados em camadas separadas por ano.

4.3.1. Satélite NOAA-20

O NOAA-20, conhecido anteriormente como JPSS-1, integra o programa *Joint Polar Satellite System* (JPSS), uma parceria entre a *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e a *National Aeronautics and Space Administration* (Nasa). Lançado em 2017, ele faz parte da geração de plataformas em órbita polar destinadas ao monitoramento ambiental e meteorológico, com aplicações voltadas à previsão do tempo, acompanhamento de eventos extremos e suporte a estudos climáticos (NOAA, 2022).

O NOAA-20 opera em uma órbita heliossíncrona quase polar, tem altitude de 833 km e inclinação de 98,79°. Esse tipo de órbita permite que o satélite cruze o Equador em horários constantes, assegurando regularidade temporal nas observações. Seu período orbital é de cerca de 101,44 minutos, possibilitando a realização de aproximadamente 14 voltas diárias ao redor da Terra, o que garante uma cobertura global aproximadamente duas vezes ao dia (NOAA, s.d; WMO, 2023).

Entre os principais instrumentos a bordo, destacam-se: o *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS), que captura 22 bandas espectrais (412 nm a 12 µm) e tem resolução de 400 m e faixa de 3.000 km para observações de nuvens e da atmosfera; o *Advanced Technology Microwave Sounder* (ATMS), um radiômetro passivo de

micro-ondas com 22 canais, resolução espacial nadir entre 15,8 e 74,8 km, e largura de faixa de 2.600 km; o *Cross-track Infrared Sounder* (CrIS), que permite a obtenção de perfis atmosféricos de temperatura e umidade; o *Ozone Mapping and Profiler Suite* (OMPS), dedicado ao mapeamento e à análise do ozônio; e o *Clouds and the Earth's Radiant Energy System* (Ceres), que é um radiômetro responsável por medições do balanço de radiação terrestre (EO Portal, 2025).

Porém, como a resolução espacial do sensor VIIRS é de aproximadamente 375 metros (Inpe, 2025), focos de queimadas muito pequenos podem ser mais difíceis de detectar precisamente. Além disso, o satélite realiza apenas duas passagens diárias em órbita polar (NESDIS, 2025), o que limita o monitoramento em tempo real de eventos que evoluem rapidamente.

4.3.2. Densidade de kernel ou mapa de calor

A estimativa de densidade Kernel constitui uma técnica de interpolação aplicada à análise de processos pontuais, permitindo estimar a intensidade de ocorrência de determinado fenômeno por unidade de área. Conforme apontam Weber e Wollmann (2016), sua aplicação na análise de incêndios possibilita representar o adensamento das ocorrências por meio de uma superfície contínua, favorecendo a interpretação do comportamento espacial dos eventos. Nesse cenário, o método permite identificar áreas de maior concentração de registros, também denominadas *hotspots*, entendidas como zonas de aglomeração espacial do fenômeno (Souza Neto *et al.*, 2021).

Do ponto de vista metodológico, o estimador Kernel é classificado como um método não paramétrico de estimação de densidade, no qual cada ponto contribui para o valor final da superfície em função da distância em relação a um núcleo central (Francisco *et al.*, 2020). A técnica funciona a partir da definição de um raio de influência, dentro do qual os eventos são ponderados por uma função matemática que promove a suavização da superfície resultante.

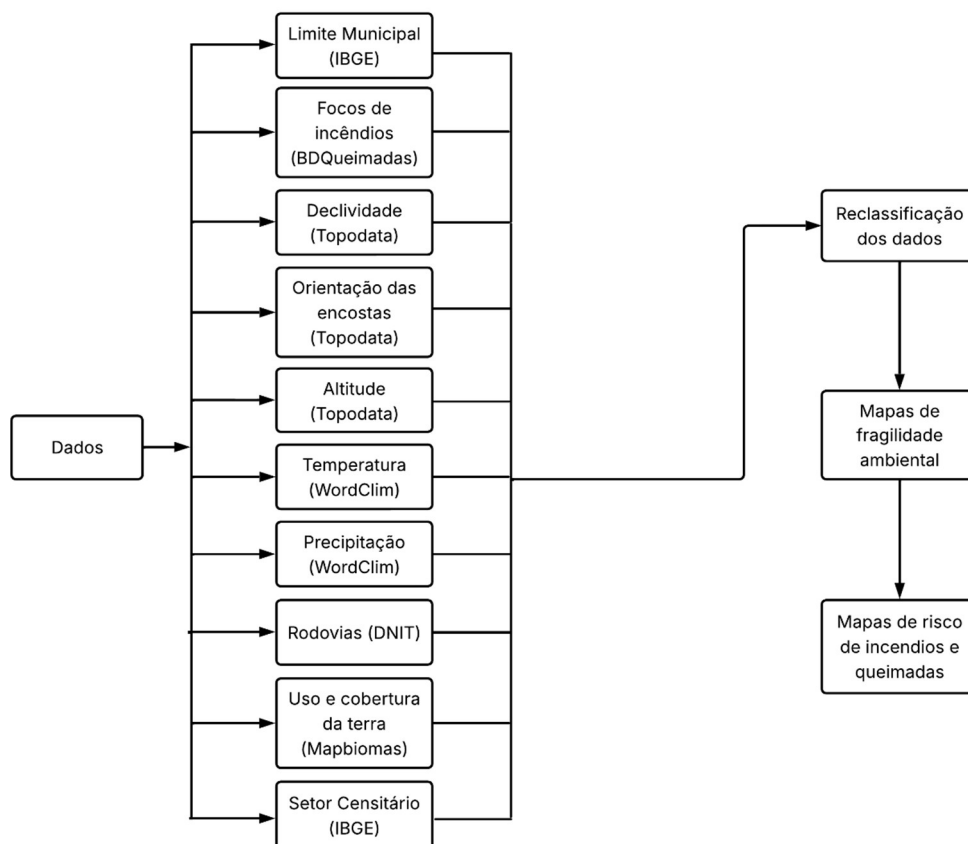
Neste trabalho, a análise foi feita usando a ferramenta “Mapa de Calor (Estimativa de densidade Kernel)” do software Qgis. Para isso, utilizou-se o sistema de referência Sirgas 2000 / UTM zona 23S (EPSG:31983), com unidades em metros. Como parâmetros, foi definida a camada vetorial com os focos de incêndio, um raio de influência fixo de 2000 metros, o tamanho de pixel de 200 metros e a função kernel

do tipo quártica, o que resultou em uma superfície *raster* contínua. Esse raio de 2000 metros ajudou a detectar padrões espaciais em nível municipal, suavizando pequenas variações e facilitando a identificação das áreas com maior concentração de incêndios na região analisada.

4.4. Identificação de áreas mais susceptíveis a eventos de incêndios

Na Figura 2 está apresentado o fluxograma metodológico para elaboração dos mapas de suscetibilidade a incêndios florestais em Itabirito a partir da integração e reclassificação de dados espaciais provenientes de diferentes fontes. De início, foram reunidas informações ambientais e antrópicas, incluindo dados topográficos, climáticos, uso e cobertura da terra, rede viária, setores censitários e registros de focos de calor. Após, esses dados foram processados e padronizados em ambiente SIG, permitindo a geração dos mapas de fragilidade ambiental e, por fim, do mapa final de risco de incêndios e queimadas.

Figura 2: Fluxograma de processamento e análise dos dados



Fonte: Autora, 2026.

4.4.1. Declividade

De acordo com Valeriano (2008), a declividade integra o conjunto das variáveis geomorfométricas locais, sendo considerada uma derivação de primeira ordem do Modelo Digital de Elevação (MDE). Sua estimativa fundamenta-se na relação entre os desníveis altimétricos e as respectivas distâncias horizontais, podendo ser expressa em graus ou em porcentagem.

Nesse contexto, em análises digitais do terreno, a declividade é operacionalizada a partir do MDE por meio da aplicação de operações matemáticas entre células vizinhas, o que permite a obtenção de superfícies contínuas de declividade. Conforme destacam Burrough e McDonnell (1998), esses atributos derivados são essenciais em SIG, pois possibilitam a quantificação da forma do relevo e subsidiam análises ambientais e territoriais.

Os resultados da derivação da declividade a partir de MDEs são influenciados tanto pela resolução espacial dos dados quanto pela metodologia empregada no seu cálculo, devendo esses aspectos ser considerados na análise e interpretação dos produtos geomorfométricos (Valeriano, 2008). Assim, neste estudo, é explicitada a resolução espacial do MDE utilizado e o procedimento adotado para confecção do mapa de declividade para o município de Itabirito - MG.

O mapa foi elaborado a partir de um MDE, obtido da base Topodata, disponível no site do Inpe, com resolução espacial de 30 m, arquivo 20S45_SN em formato GeoTIFF. O processamento foi realizado no software Qgis (versão 3.34.15). O arquivo em questão representa a camada SN (*Slope*), que incorpora a declividade contínua do terreno em porcentagem (%), derivada do MDE do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) já refinado pelo Topodata. Assim, não foi necessário aplicar a ferramenta "Declividade" no QGIS, visto que o dado obtido já constitui a declividade processada pelo Inpe.

Após a importação do *raster*, a imagem foi reprojeta para o sistema de coordenadas Sirgas 2000/UTM Zona 23S, garantindo compatibilidade com as demais camadas vetoriais utilizadas. Em seguida, o *raster* foi recortado utilizando como máscara o limite geográfico do município de Itabirito - MG, obtido do IBGE.

Posteriormente, com o objetivo de facilitar a análise espacial e a representação cartográfica dos resultados, o *raster* gerado foi submetido a um processo de

reclassificação por meio da ferramenta “reclassificar por tabela”, disponível na caixa de ferramentas de processamento do software. Essa etapa consistiu na reorganização dos valores do *raster* em seis classes temáticas, adotando-se os intervalos e critérios propostos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), conforme Tabela 2.

Tabela 2: Classificação da declividade para Itabirito - MG

| Classe de Relevo | Denominação | Declividade (%) |
|------------------|----------------|-----------------|
| 1 | Plano | até 3 |
| 2 | Suave ondulado | de 3 a 8 |
| 3 | Ondulado | de 8 a 20 |
| 4 | Forte ondulado | de 20 a 45 |
| 5 | Montanhoso | de 45 a 75 |
| 6 | Escarpado | superior a 75 |

Fonte: Adaptado de Embrapa, 2021.

4.4.2. Orientação das encostas

A orientação das vertentes refere-se à direção para a qual a superfície do relevo está voltada em relação à incidência da radiação solar, considerando-se como base os pontos cardeais e colaterais (Tonello *et al.*, 2006). Em análises geomorfométricas, a orientação das vertentes, também denominada aspecto ou exposição, é definida como o ângulo azimutal correspondente à direção de maior inclinação do terreno no sentido descendente, sendo expressa em graus de 0° a 360° e derivada a partir de Modelos Digitais de Elevação (Valeriano, 2008).

Com o objetivo de gerar um mapa de orientação das encostas, utilizou-se o MDE de orientação disponibilizado pelo projeto Topodata, que dispõe variáveis geomorfométricas derivadas dos dados SRTM. Assim, não foi preciso aplicar a ferramenta “aspecto” do QGIS, pois o *raster* já representa a direção predominante do declive da superfície do terreno, expressa em valores angulares variando de 0° a 360°.

De modo inicial, o MDE de orientação foi reprojetoado para o sistema de referência cartográfica adotado no trabalho (Sirgas 2000/UTM Zona 23S), de maneira a garantir a compatibilidade espacial com as demais camadas do projeto. Em seguida, o *raster* foi recortado pela camada de máscara, utilizando o limite da área de estudo, restringindo assim uma análise de acordo com o território definido. Com o *raster* resultante, procedeu-se à reclassificação por tabela.

De acordo com Veiga, Zanetti e Faggion (2007), o azimute é o ângulo horizontal medido no sentido horário, a partir do Norte de referência (geográfico ou magnético), até a direção considerada, variando de 0° a 360°. Assim, a reclassificação foi feita considerando a rosa dos ventos, reunindo os valores contínuos de azimute em oito classes direcionais, cada uma representando uma direção predominante do terreno. Para isso, o intervalo angular total foi subdividido em setores de 45°, correspondentes aos pontos cardeais e colaterais, com limites definidos a cada 22,5°, de modo que cada classe permanece centrada em sua respectiva direção principal.

Como o azimute possui natureza circular, na qual os valores 0° e 360° representam a mesma orientação espacial, direções numericamente distantes podem estar geometricamente próximas. Assim, os azimutes compreendidos entre 337,5° e 360°, bem como entre 0° e 22,5°, foram agrupados em uma única classe direcional (Norte), garantindo coerência geométrica no processo de reclassificação por tabela no Qgis. De maneira análoga, os demais intervalos angulares foram agrupados conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Classificação da orientação das encostas para Itabirito - MG

| Direção | Azimute | Classe |
|----------------|------------------|---------------|
| Norte | de 337 a 22.5 | 1 |
| Nordeste | de 22.5 a 67.5 | 2 |
| Leste | de 67.5 a 112.5 | 3 |
| Sudeste | de 112.5 a 157.5 | 4 |
| Sul | de 157.5 a 202.5 | 5 |
| Sudoeste | de 202.5 a 247.5 | 6 |
| Oeste | de 247.5 a 292.5 | 7 |
| Noroeste | de 292.5 a 337.5 | 8 |

Fonte: Autora, 2026.

4.4.3. Altitude

Segundo Florenzano (2008), a altitude é caracterizada como a altura do relevo no que diz respeito ao nível do mar, sendo a altura absoluta do relevo. No contexto do Quadrilátero Ferrífero, a variação altimétrica está associada à influência da variabilidade litológica, da complexa estrutura de dobramentos regionais e do longo período de evolução geomorfológica, o que resulta em acentuados contrastes topográficos na paisagem (Carvalho Filho, 2008).

Nesse sentido, o município de Itabirito, inserido nesse compartimento geomorfológico, apresenta expressiva variação altimétrica. Conforme dados disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Itabirito, a sede municipal encontra-se a aproximadamente 848 m de altitude, enquanto o ponto topograficamente mais elevado corresponde ao Pico da Serra do Ouro Fino, com cerca de 1.753 m. Destaca-se ainda o Pico do Itabirito, que atinge 1.586 m. O ponto mais baixo do município localiza-se na confluência do Ribeirão Manso com o Rio das Velhas, a aproximadamente 770 m, evidenciando uma amplitude altimétrica significativa no território municipal (Itabirito, s.d.).

Com o objetivo de elaborar o mapa de altitude do município de Itabirito com base nessa caracterização altimétrica, com o objetivo de representar a variação do relevo e subsidiar a análise dos fatores físicos associados ao risco de queimadas, utilizou-se MDE disponibilizado pelo Projeto Topodata, com resolução espacial de 30 m, correspondente à cena 20S45_, em formato GeoTIFF.

O processamento do MDE foi realizado em ambiente SIG, por meio do software Qgis (versão 3.34.15). A princípio, o arquivo *raster* foi reprojetoado para o sistema de referência SIRGAS 2000 / UTM Zona 23S, assegurando compatibilidade espacial com as demais camadas utilizadas neste estudo. Posteriormente, foi realizado o recorte do MDE utilizando como máscara o limite territorial do município, obtido a partir das malhas territoriais do IBGE.

Após o recorte, o *raster* resultante foi submetido ao processo de reclassificação por meio da ferramenta “reclassificar por tabela”, disponível na caixa de ferramentas de processamento do Qgis. A variável altitude foi reclassificada no intervalo de 750 m a 1.800 m, distribuída em sete classes altimétricas (Tabela 4). A definição desse intervalo considerou os valores mínimo e máximo observados no município, ajustados para valores inteiros próximos, enquanto o número de classes foi definido com base em um critério lógico e interpretativo, visando representar de forma gradual as variações altimétricas do relevo.

Tabela 4: Classificação da altitude para Itabirito - MG

| Classe | Faixa (m) |
|---------------|------------------|
| 1 | 750 a 900 |
| 2 | 900 a 1050 |
| 3 | 1050 - 1200 |
| 4 | 1200 - 1350 |
| 5 | 1350 - 1500 |
| 6 | 1500 - 1650 |
| 7 | 1650 - 1800 |

Fonte: Autora, 2026.

4.4.4. Temperatura

Segundo o site Weather Spark (2026), a estação quente em Itabirito ocorre entre 11 de janeiro e 23 de março, com temperaturas máximas médias acima de 27°C, sendo fevereiro considerado o mês mais quente do ano, com média de temperatura máxima de 28°C e a mínima de 19°C. Já a estação fria é de 19 de maio a 11 de agosto, com máximas médias abaixo de 25°C. O mês mais frio do ano é julho, com a média de temperatura sendo: mínima de 12°C e máxima de 24°C.

Os dados de temperatura utilizados foram adquiridos a partir do *WorldClim* (versão 2.1), que disponibiliza informações mensais de abrangência global, sendo elas: temperatura mínima, média e máxima, precipitação, radiação solar, velocidade do vento e pressão de vapor d'água. Além disso, o banco de dados apresenta um conjunto de 19 variáveis bioclimáticas, que são empregadas em vários estudos ambientais, climatológicos e de modelagem espacial (Worldclim, 2020).

Há possibilidade de *download* para quatro diferentes resoluções espaciais, que variam entre 30 segundos (aproximadamente 1 km²) e 10 minutos (cerca de 340 km²), sendo cada *download* 12 arquivos em formato GeoTIFF (.tif), um para cada mês do ano, compactados em ZIP (Worldclim, 2020). Desta maneira, para o presente trabalho, foram consideradas as variáveis mensais do *WorldClim* de resolução de 30s, utilizando os doze arquivos *raster* de temperatura mensal, correspondentes aos meses de janeiro a dezembro (wc2.1_30s_tavg_01 a wc2.1_30s_tavg_12), expressos em grau Celsius (°C).

Primeiro, os dados foram importados para o software Qgis, e os arquivos foram reprojutados para o sistema geodésico WGS 84 (EPSG:4326). Sendo este um *datum* global amplamente utilizado em aplicações de geoprocessamento compatível com

sistemas de posicionamento por satélite, enquanto o Sirgas 2000 representa o sistema de referência oficial para a América do Sul (Mappa, 2023).

Em seguida, foi realizado o cálculo da temperatura média anual para os 12 arquivos mensais, por meio de média aritmética, utilizando-se a ferramenta “calculadora *raster*” que está disponível no *software*, resultando em apenas um *raster* que representa a média anual de temperatura. Este *raster* foi recortado ao limite territorial do município de Itabirito–MG, por meio da ferramenta “extrair” - “recortar pela camada de máscara”, com base no arquivo vetorial do limite municipal, de modo que permitiu restringir a análise apenas a área de estudo.

Após o recorte, o produto resultante foi projetado para o sistema de referência Sirgas 2000 UTM Zona 23S, garantindo a compatibilidade espacial com as demais camadas temáticas utilizadas. Para finalizar, foi realizado a adequação da simbologia, uma rampa cromática sequencial do tipo frio–quente foi aplicada, na qual os menores valores de temperatura são representados por tons mais frios e os valores mais elevados por tons mais quentes, seguindo convenções amplamente empregadas em estudos climatológicos.

4.4.5. Precipitação

De acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) (2017), a estação chuvosa em Minas Gerais ocorre predominantemente entre os meses de outubro e março, sendo que as primeiras pancadas de chuva iniciam-se na segunda quinzena de setembro, marcando o declínio da estação seca. O trimestre compreendido entre novembro e janeiro é, historicamente, o mais chuvoso do ano, associado ao transporte de umidade da Amazônia e à atuação da Zona de Convergência do Atlântico Sul, que favorece a ocorrência de chuvas persistentes e bem distribuídas no estado.

Com a finalidade de caracterizar a estação chuvosa no município em estudo, foram utilizados dados de precipitação do banco *WorldClim*, na resolução espacial de 30 segundos. Este dado é composto por 12 *rasters* globais de precipitação mensal, identificados como *wc2.1_30s_prec_01* a *wc2.1_30s_prec_12*, os quais representam os totais mensais de precipitação correspondentes aos meses de janeiro a dezembro, expressos em milímetros (mm). O processamento dos dados foi realizado no QGIS,

reprojetando o sistema de referência espacial para o *datum* geodésico WGS 84 (EPSG:4326).

Com os dados globais carregados, foi realizado o cálculo da precipitação anual climatológica por meio da ferramenta “calculadora *raster*”, aplicando a soma dos valores mensais, procedimento apropriado do ponto de vista metodológico, pois a precipitação anual representa a soma de todas as chuvas ao longo do ano. O *raster* global de precipitação anual resultante, obteve valores expressos em milímetros por ano (mm/ano). Após o cálculo, o *raster* foi recortado para a área de estudo, utilizando a ferramenta “extrair” - “recortar *raster* pela camada de máscara” e finalmente sendo reprojetado para Sirgas 2000 UTM Zona 23S.

A simbologia foi feita por meio da banda simples falsa-cor, utilizando uma rampa sequencial em tons de azul, na qual os valores mais baixos de precipitação são indicados por tonalidades mais claras e os valores mais elevados por tonalidades mais escuras. Essa adoção seguiu uma classificação contínua, adequada à natureza quantitativa da variável, permitindo assim, evidenciar uma variação espacial de precipitação anual no município.

4.4.6. Rodovias

Para compreender a acessibilidade do município de Itabirito, essencial para a análise do seu desenvolvimento urbano, foi elaborado um mapa representando a rede rodoviária e a respectiva distância às rodovias no território municipal.

Para a elaboração do produto cartográfico, foi utilizada a camada vetorial da rede viária, compreendendo rodovias federais e estaduais, proveniente de fonte oficial de infraestrutura de transportes, garantindo consistência e atualização dos traçados. Posteriormente, as camadas de rodovias foram padronizadas no Sistema de Referência de Coordenadas Sirgas 2000/UTM zona 23S (EPSG:31983), assegurando compatibilidade geométrica com as demais bases utilizadas no estudo.

Na fase de preparação espacial, efetuou-se o recorte da rede viária ao limite municipal de Itabirito, utilizando a delimitação vetorial oficial do município. Após o recorte, as rodovias federais e estaduais foram agregadas em uma única variável representativa da infraestrutura, evitando duplicidade na análise e permitindo a geração de um produto síntese para o município. Em estudos relacionados ao risco

de queimadas e incêndios, essa variável é considerada relevante pelo fato de que grande parte das ignições humanas tendem a ocorrer em áreas próximas às rodovias (Dias, 2023).

Para a criação da superfície contínua de distância até a rede viária, inicialmente ocorreu a rasterização da camada vetorial, com resolução de 30 m, compatível com o padrão adotado para as demais camadas do estudo. Na rasterização, foi atribuído valor fixo às células correspondentes às rodovias e definido explicitamente um valor NoData igual a -1 para as demais células, evitando que pixels sem rodovia fossem interpretados como distância zero. Com o *raster* binário produzido, aplicou-se o algoritmo de cálculo de proximidade (distância *raster*), obtendo-se para cada pixel do município a distância euclidiana até a rodovia mais próxima (em metros). Posteriormente, o *raster* de distâncias foi recortado pelo limite municipal de Itabirito.

Na etapa seguinte, visando facilitar a interpretação cartográfica e a comparação entre diferentes áreas do município, o *raster* de distâncias foi reclassificado em cinco classes de influência (Tabela 5), nas quais distâncias menores indicam maior potencial de influência da infraestrutura, ou seja, maior acessibilidade e maior pressão antrópica.

Tabela 5: Classes de distância às rodovias e respectivos níveis de influência antrópica

| Distância (m) | Nível de influência antrópica | Classe |
|----------------------|--------------------------------------|---------------|
| >5000 | Muito baixa | 1 |
| 2000 - 5000 | Baixa | 2 |
| 1000 - 2000 | Moderada | 3 |
| 500 - 1000 | Alta | 4 |
| 0 - 500 | Muito alta | 5 |

Fonte: Autora, 2026.

4.4.7. Uso e cobertura da terra

Para a confecção do mapa de uso e cobertura da terra do município, foram utilizados os dados da Coleção 10 do projeto MapBiomas, que disponibiliza séries anuais de classificação do território brasileiro entre 1985 e 2024. Neste trabalho, utilizou-se o *raster* correspondente ao ano de 2024, disponibilizado em formato GeoTIFF, com resolução espacial nominal de 30 metros, derivado de imagens Landsat.

O arquivo original, estruturado em sistema de coordenadas geográficas (WGS 84 – EPSG:4326), foi inserido no software Qgis. No primeiro momento, foi feito o recorte espacial utilizando o limite municipal de Itabirito como máscara, restringindo a base à área de interesse. Em seguida, o *raster* foi reprojetoado para o sistema Sirgas 2000 / UTM zona 23S (EPSG:31983), que é o sistema adotado como referência cartográfica do trabalho, garantindo maior precisão métrica para análises espaciais.

Posteriormente, procedeu-se à reclassificação temática por meio da ferramenta “Reclassificar por tabela”, com base na legenda oficial da Coleção 10. As subclasses originais foram agrupadas em categorias sintéticas compatíveis com os objetivos da pesquisa, resultando nas classes: Floresta; Vegetação Herbácea e Arbustiva; Agropecuária; Área não vegetada; Área Urbanizada; Mineração; e Corpo d’água, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Reclassificação do uso e cobertura da terra - Mapbiomas

| Coleção 10 | Código original | Reclassificado |
|--|--|-----------------------|
| Floresta (Formação Florestal; Formação Savânica; Mangue; Floresta Alagável; Restinga Arbórea) | 1 (3;4;5;6;49) | 1 |
| Vegetação Herbácea e Arbustiva (Campo alagado e área pantanosa; Formação campestre; Apicum; Restinga Herbácea) | 10 (11;12;32;29,50) | 2 |
| Agropecuária (Pastagem; Agricultura; Lavoura Temporária; Soja; Cana, Arroz, Algodão (beta), Outras Lavouras Temporárias, Lavoura Perene, Café, Citrus, Dendê, Outras Lavouras Perene, Silvicultura, Mosaico de Usos) | 14 (15;18;19;39; 20;40;62;41;36; 46;47;35;48;9;21) | 3 |
| Área não vegetada (Praia, Duna e areal; Outras áreas não vegetadas) | 22 (23;75;25.) | 4 |
| Área Urbanizada | 24 | 5 |
| Mineração | 30 | 6 |
| Corpo D’água (Rio, lago e oceano; Aquicultura) | 26 (33;31) | 7 |

Fonte: Adaptado de Coleção 10 do MapBiomas Brasil, 2024.

Embora a resolução nominal das imagens Landsat seja de 30 m (frequentemente associada a 900 m² por pixel), os dados originais do MapBiomass são disponibilizados em sistema geográfico, o que implica variação real da área dos pixels conforme a latitude. Conforme orienta o próprio projeto, recomenda-se que cálculos métricos sejam realizados após reprojeção para sistema equivalente ou métrico (MAPBIOMAS, 2026). Assim, a reprojeção para UTM assegura maior confiabilidade às análises espaciais realizadas neste estudo.

Para a análise temporal do período de 2019 a 2024, foram utilizados dados estatísticos provenientes da própria plataforma (Série Temporal de Cobertura – Cobertura por Classe: 1985–2024). Os valores de área por classe foram extraídos diretamente para o município de Itabirito, organizados em planilha eletrônica e utilizados para elaboração de gráfico comparativo entre os anos analisados.

A verificação da série temporal indicou baixa variação espacial das classes no intervalo considerado. Em razão disso, optou-se pela elaboração cartográfica apenas para o ano de 2024, por representar a condição mais recente do uso e cobertura da terra no município, mantendo-se a comparação quantitativa estatisticamente. Desta maneira, obteve como resultado um mapa temático que representa o uso e cobertura da terra para Itabirito e um gráfico que representa a variação por ano.

4.4.8. Setor censitário

O setor censitário corresponde à menor unidade territorial definida pelo IBGE para fins de coleta e organização das informações censitárias. Esses recortes espaciais integram áreas de ponderação, configuradas como níveis geográficos apropriados para a aplicação de procedimentos estatísticos que asseguram a consistência e validade dos dados amostrais (Araújo *et al.*, 2015).

Além de sua função estatística, os setores censitários também fundamentam delimitações espaciais utilizadas em estudos urbanos e no planejamento público. Conforme Bouhmad e Perucca (2007), definições territoriais adotadas em análises e intervenções urbanas são estruturadas a partir dos setores definidos pelo IBGE, evidenciando sua relevância como referência para organização e gestão do território.

Com base nessa fundamentação, procedeu-se ao *download* da malha de setores censitários referente ao estado de Minas Gerais, em formato shapefile (.shp), e aos

agregados por setores censitários – Resultados do Universo, em formato CSV. Ambos os arquivos, provenientes do IBGE e referentes ao censo de 2022, contêm variáveis organizadas por código de setor. A malha vetorial foi importada para o software Qgis (versão 3.34), com verificação do sistema de referência de coordenadas. A tabela de agregados foi incorporada mediante a ferramenta "Adicionar camada de texto delimitado", configurando-se o delimitador adequado e selecionando-se a importação como tabela sem geometria.

A integração entre a malha vetorial e os dados estatísticos foi efetuada por meio de união, utilizando o campo comum correspondente ao código do setor censitário (CD_SETOR). Após confirmação da correta associação dos atributos, foi selecionada a variável v0001, que representa o total de pessoas residentes por setor censitário, conforme descrito no dicionário de dados do Censo 2022. Posteriormente, realizou-se o recorte espacial da base vetorial com base no limite administrativo do município de Itabirito.

A representação cartográfica foi construída por meio de simbologia graduada, adotando o método de classificação por quebras naturais (*Jenks*), com cinco classes, visando evidenciar a distribuição espacial da população total no município. Assim, podemos analisar a concentração populacional em escala intraurbana, respeitando a lógica territorial e estatística dos setores censitários definidos pelo IBGE.

4.5. Análise multicritério

4.5.1. Homogeneização e padronização dos critérios

A padronização dos critérios é um procedimento fundamental em análises multicritério integradas ao SIG, especialmente em estudos voltados à avaliação de perigo ou suscetibilidade a incêndios. Conforme destacado por Domiciano (2024), os mapas temáticos devem ser previamente convertidos em dados numéricos e organizados em classes conceituais compatíveis com a importância relativa de cada fator, possibilitando sua posterior integração por meio de técnicas de ponderação e álgebra de mapas no ambiente SIG. A autora ressalta ainda que, essa conversão para uma escala comum é condição necessária para assegurar comparabilidade entre variáveis de naturezas distintas.

Nesse cenário, visando a inclusão das variáveis ambientais na análise multicritério realizada para o município de Itabirito, a padronização foi feita em uma escala comum de suscetibilidade à incêndios florestais que varia de 0 a 100, realizada com o apoio de especialistas na área ambiental e em incêndios, incluindo profissionais do Corpo de Bombeiros, brigadistas e técnicos da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Itabirito.

O questionário foi disponibilizado online (*Google forms*), e obteve um total de 11 respostas válidas que serviram como base para definir os valores de suscetibilidade classe a classe dentro de cada variável. Para isso, foi utilizada a média aritmética das pontuações dadas pelos especialistas, os valores médios foram arredondados para múltiplos de cinco, com o objetivo de padronizar a escala e facilitar a reclassificação *raster*, sem alterar a hierarquia de suscetibilidade entre as classes.

Desta maneira, a etapa garantiu que todas as variáveis fossem convertidas para uma mesma base numérica, permitindo sua integração de forma coerente na fase seguinte, que envolve a ponderação por meio do Processo Analítico Hierárquico (AHP). A seguir, apresenta-se o procedimento adotado para cada critério:

Uso e cobertura da terra - A variável uso e cobertura da terra foi padronizada com base nas categorias presentes no mapa adotado para o município de Itabirito (Seção 4.4.7). Cada uma das categorias foi cuidadosamente avaliada por especialistas, levando em conta o potencial de risco de queimadas e incêndios, incluindo fatores como a quantidade de material combustível disponível, a continuidade da vegetação e a influência das atividades humanas. Para definir o valor final de cada classe, foi utilizada a média das pontuações atribuídas, garantindo maior consistência na análise (Tabela 7).

Tabela 7: Homogeneização do critério uso e cobertura da terra

| Classe | Média (Especialistas) | Valor adotado na homogeneização |
|--------------------------------|----------------------------------|--|
| Floresta | 54,09 | 55 |
| Vegetação Herbácea e Arbustiva | 83,18 | 85 |
| Agropecuária | 83,18 | 85 |
| Área não vegetada | 7,27 | 5 |
| Área Urbanizada | 50,00 | 50 |
| Mineração | 54,54 | 55 |
| Corpos d'água | 0,00 | 0 |

Fonte: Autora, 2026.

Declividade do terreno: A inclinação do terreno, que originalmente era medida em porcentagem (%), foi organizada em categorias baseadas nas características geomorfológicas de cada faixa. Especialistas atribuíram uma pontuação de 0 a 100 para cada uma dessas categorias, levando em conta como a inclinação influencia na propagação do fogo, afinal, áreas mais íngremes tendem a fazer as chamas avançarem mais rápido. Para definir o valor adotado na homogeneização dos critérios, foi calculada a média das avaliações de todas as categorias (Tabela 8).

Tabela 8: Homogeneização do critério declividade do terreno

| Classe | Média (Especialistas) | Valor adotado na homogeneização |
|----------------|----------------------------------|--|
| Plano | 24,36 | 25 |
| Suave Ondulado | 34,36 | 35 |
| Ondulado | 46,63 | 45 |
| Forte Ondulado | 68,63 | 70 |
| Montanhoso | 79,09 | 80 |
| Escarpado | 90 | 90 |

Fonte: Autora, 2026.

Orientação das encostas: A orientação das encostas foi considerada em função da exposição solar e das condições microclimáticas associadas, que podem influenciar a umidade da vegetação e, conseqüentemente, o comportamento do fogo. As classes direcionais foram avaliadas individualmente pelos especialistas, sendo os valores médios adotados para fins de homogeneização (Tabela 9).

Tabela 9: Homogeneização do critério orientação das encostas

| Classe | Média (Especialistas) | Valor adotado na homogeneização |
|---------------|----------------------------------|--|
| Norte | 73,63 | 75 |
| Nordeste | 71,36 | 70 |
| Leste | 59,09 | 60 |
| Sudeste | 52,27 | 50 |
| Sul | 32,72 | 35 |
| Sudoeste | 40,45 | 40 |
| Oeste | 55,00 | 55 |
| Noroeste | 64,54 | 65 |

Fonte: Autora, 2026.

Altitude: A altitude foi subdividida em faixas altimétricas compatíveis com a variação topográfica do município. A avaliação dos especialistas considerou possíveis relações entre fatores que influenciam a dinâmica das queimadas. Os valores médios das pontuações atribuídas foram utilizados para a reclassificação da variável (Tabela 10).

Tabela 10: Homogeneização do critério altitude

| Classe | Média (Especialistas) | Valor adotado na homogeneização |
|---------------|----------------------------------|--|
| 750-900m | 75,90 | 75 |
| 900-1050m | 76,81 | 75 |
| 1050-1200m | 70,90 | 70 |
| 1200-1350m | 64,54 | 65 |
| 1350-1500m | 58,63 | 60 |
| 1500-1650m | 52,27 | 50 |
| 1650-1800m | 45,00 | 45 |

Fonte: Autora, 2026.

Temperatura média anual: A temperatura média anual foi organizada em classes representativas das condições térmicas locais. Os especialistas avaliaram a influência relativa de cada faixa térmica na probabilidade de ocorrência de queimadas, considerando a relação entre temperaturas elevadas e redução da umidade. A média das pontuações foi adotada como valor final para padronização (Tabela 11).

Depois de fazer a reclassificação, a variável temperatura precisou ser poligonizada usando a ferramenta “Converter *Raster* para Vetor”. Após, esse polígono foi convertido novamente para *raster*, com a utilização da ferramenta “Converter Vetor

para *Raster*”, ajustando a resolução espacial para 30 metros, a fim de igualar as outras variáveis.

Tabela 11: Homogeneização do critério temperatura média anual

| Classe | Média (Especialistas) | Valor adotado na homogeneização |
|------------------------------|----------------------------------|--|
| Baixa Temperatura | 32,27 | 30 |
| Temperatura intermediária | 60,45 | 60 |
| Alta Temperatura | 92,72 | 95 |

Fonte: Autora, 2026.

Precipitação total anual: A variável precipitação foi classificada em faixas representativas do regime pluviométrico local. A avaliação considerou que menores volumes de precipitação tendem a estar associados a maior suscetibilidade ao fogo, em razão da redução da umidade da vegetação. Os valores médios atribuídos pelos especialistas foram empregados na reclassificação da variável (Tabela 12).

Assim como a variável Temperatura, após realizar a reclassificação, a variável da precipitação também precisou ser poligonizada e convertida novamente para *raster*, a fim de ajustar a resolução espacial para 30 metros.

Tabela 12: Homogeneização do critério precipitação total anual

| Classe | Média (Especialistas) | Valor adotado na homogeneização |
|-------------------------------|----------------------------------|--|
| Baixa Precipitação | 79,09 | 80 |
| Precipitação Intermediária | 54,09 | 55 |
| Alta Precipitação | 24,54 | 25 |

Fonte: Autora, 2026.

Proximidade de rodovias: A proximidade de rodovias foi considerada como fator antrópico associado ao risco de ignição, em função da maior circulação de pessoas e veículos. As classes definidas para essa variável foram avaliadas pelos especialistas, sendo adotada a média das pontuações para padronização (Tabela 13).

Tabela 13: Homogeneização do critério proximidade de rodovias

| Classe | Média (Especialistas) | Valor adotado na homogeneização |
|------------------------------|----------------------------------|--|
| Próximo às rodovias | 78,18 | 80 |
| Muito Próximo às rodovias | 93,18 | 95 |
| Distante às rodovias | 34,54 | 35 |

Fonte: Autora, 2026.

Densidade de ocupação por setor censitário: A densidade de ocupação foi usada como um indicador da pressão exercida pela presença humana na região. As diferentes classes de densidade foram avaliadas levando em conta o potencial de surgimento de focos relacionados às atividades humanas. Para determinar o valor final na reclassificação, utilizamos a média das pontuações atribuídas pelos especialistas (Tabela 14).

Quanto às variáveis individuais, como a distribuição espacial da população residente (V0001), foi realizada uma análise descritiva para entender melhor esse aspecto. No entanto, na modelagem multicritério de suscetibilidade, optou-se por usar a densidade populacional (habitantes por km²), ela representa de forma mais clara a intensidade da ocupação humana na área. É importante frisar, que a variável setor censitário precisou ser rasterizada, de maneira que ela ficasse compatível com as outras variáveis do projeto, devido ao fato de originalmente ela ser um vetor.

Tabela 14: Homogeneização do critério densidade de ocupação

| Classe | Média (Especialistas) | Valor adotado na homogeneização |
|-----------------|----------------------------------|--|
| Alta Densidade | 71,36 | 70 |
| Média Densidade | 75,45 | 75 |
| Baixa Densidade | 52,72 | 55 |

Fonte: Autora, 2026.

4.6. Processo Analítico Hierárquico (AHP)

Com as variáveis reclassificadas na escala de 0 a 100 conforme os especialistas, procedeu-se à definição dos pesos relativos por meio do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), método desenvolvido por Saaty (1977), amplamente utilizado em estudos ambientais que envolvem múltiplos critérios e tomada de decisão estruturada.

Segundo Dias (2023), o AHP permite integrar variáveis ambientais de diferentes naturezas por meio da comparação paritária entre critérios, possibilitando a obtenção de pesos estatisticamente consistentes. De forma complementar, Magalhães et al. (2017) destacam que a ponderação adequada dos fatores condicionantes é fundamental na modelagem espacial de áreas suscetíveis a incêndios.

No presente estudo, foram considerados oito critérios ambientais previamente definidos, os quais foram comparados par a par por meio de formulário eletrônico estruturado dirigido a especialistas. Nesse formulário, os respondentes atribuíram valores conforme a Escala Fundamental de Saaty (1 a 9) (Tabela 15), indicando a intensidade de importância relativa entre cada par de variáveis. Como forma de padronização, optou-se por não incluir os valores intermediários no formulário.

Tabela 15: Escala Fundamental de Saaty

| Valor | Definição |
|--------------|-------------------------|
| 1 | Igual importância |
| 3 | Fraca importância |
| 5 | Forte importância |
| 7 | Muito forte importância |
| 9 | Importância absoluta |
| 2,4,6,8 | Valores intermediários |

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

A partir das respostas dos especialistas, foram construídas matrizes quadradas de ordem 8×8 , obedecendo às propriedades fundamentais do método: valores iguais a 1 na diagonal principal e reciprocidade entre julgamentos ($a_{ij} = 1/a_{ji}$). Os pesos finais foram obtidos a partir da normalização da matriz e do cálculo do vetor próprio associado ao maior autovalor ($\lambda_{\text{máx}}$). A consistência dos julgamentos foi verificada por meio do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC), conforme as equações clássicas do método (Equação 1 e 2).

$$RC = \frac{IC}{RI} \quad (Eq. 1)$$

$$IC = \frac{(\lambda_{\text{máx}} - n)}{(n - 1)} \quad (Eq. 2)$$

Onde $\lambda_{m\acute{a}x}$ é a medida que indica o nível de consistência dos julgamentos feitos na matriz de comparação par a par e RI é o índice de consistência randômica. Para matrizes de ordem 8, adotou-se o valor de RI correspondente a 1,41 conforme metodologia de Saaty (1991). O $\lambda_{m\acute{a}x}$ é o autovalor principal da matriz de comparação par a par (Tabela 16) e serve, na prática, para medir o quanto a matriz se afasta da consistência perfeita. A Razão de Consistência (RC) obtida para a matriz de comparação par a par foi de 0,17, um valor um pouco acima do limite clássico de 0,10 sugerido por Saaty (1991). Esse resultado demonstra como o processo de tomada de decisão pode ser complexo e como as diferentes opiniões dos especialistas foram levadas em conta. Ainda assim, esse valor foi considerado no projeto, uma vez que as comparações envolvem múltiplos critérios e avaliações subjetivas.

Tabela 16: Matriz de comparação par a par dos critérios para definir a suscetibilidade a incêndios florestais

| Critérios | P | D | OE | US | A | T | SC | R |
|------------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|
| P | 1 | 5 | 5 | 1 | 3 | 1 | 1/5 | 1/3 |
| D | 1/5 | 1 | 1/3 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 1/7 | 1/7 |
| OE | 1/5 | 3 | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1/3 |
| US | 1 | 7 | 3 | 1 | 3 | 9 | 1/5 | 1/5 |
| A | 1/3 | 5 | 5 | 1/3 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/5 |
| T | 1 | 5 | 3 | 1/9 | 3 | 1 | 1/5 | 1/3 |
| SC | 5 | 7 | 3 | 5 | 3 | 5 | 1 | 3 |
| R | 3 | 7 | 3 | 5 | 5 | 3 | 1/3 | 1 |

Onde A = Altitude; D = Declividade; SC = Densidade populacional por setor censitário; OE = Orientação das encostas; P = Precipitação; R = Rodovias; T = Temperatura; e US= Uso do solo Fonte: Autora, 2026.

Após a obtenção dos pesos relativos pelo AHP, realizou-se a integração espacial das variáveis por meio da técnica de Combinação Linear Ponderada (*Weighted Linear Combination* – WLC). Essa abordagem consiste na multiplicação de cada critério homogeneizado pelo respectivo peso e posterior somatório dos resultados, conforme a Equação 3:

$$mapa\ final = \frac{\sum(crit\acute{e}rio\ homogeneizado \times pesos)}{\sum pesos} \quad (Eq. 3)$$

O procedimento foi executado no QGIS por meio da ferramenta “Calculadora Raster”, utilizando a Equação 4, resultando na geração do mapa final de risco de queimadas para o município de Itabirito.

mapa final de suscetibilidade à incêndios

$$= (P \times 0,106) + (US \times 0,149) + (A \times 0,078) + (T \times 0,087) + (D \times 0,021) \\ + (OE \times 0,046) + (R \times 0,209) + (SC \times 0,305) \quad (Eq. 4)$$

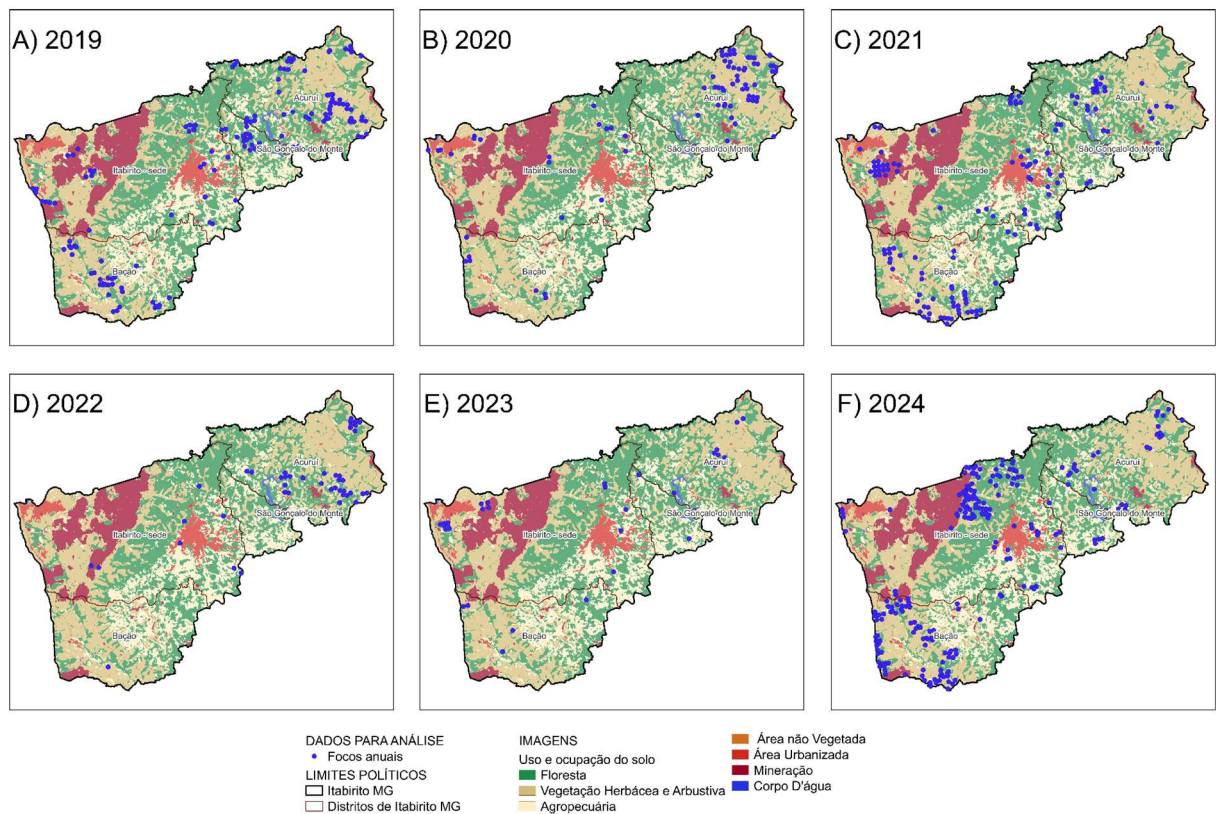
Onde A = Altitude; D = Declividade; SC = Densidade populacional por setor censitário; OE = Orientação das encostas; P = Precipitação; R = Rodovias; T = Temperatura; e US= Uso do solo.

5. Resultados e discussão

5.1. Histórico de focos de queimadas (2019–2024)

Ao olhar para os dados históricos de focos de calor de 2019 a 2024, fica claro que os incêndios em Itabirito não seguem um padrão fixo. Eles acontecem em diferentes momentos, com variações tanto na quantidade quanto nos locais onde ocorrem ao longo desses anos. Essa distribuição pontual nos ajuda a entender exatamente onde cada incidente aconteceu, oferecendo uma visão mais detalhada da situação. Na Figura 3 está representada a localização dos focos detectados em cada ano da série.

Figura 3: Distribuição anual dos focos de calor (2019–2024)



Fonte: Autora, 2026.

Em 2019, percebe-se um padrão multipolar, com pontos de concentração principalmente na região de Acuruí, no setor nordeste, além de registros relevantes no sudoeste e na área central. A distribuição dos focos é relativamente dispersa, sem uma única região que domine a ocorrência.

No ano de 2020, há uma redução na dispersão territorial, com maior concentração no extremo nordeste do município. Fora dessa área, os registros tornam-se mais escassos, indicando que as ocorrências passaram a estar mais concentradas em uma região específica.

Já em 2021, o padrão espacial sofre uma mudança significativa. Observa-se uma expansão para os setores oeste e sul, com aumento no número de registros nessas áreas, o que resulta em um espalhamento maior do que o observado em 2020.

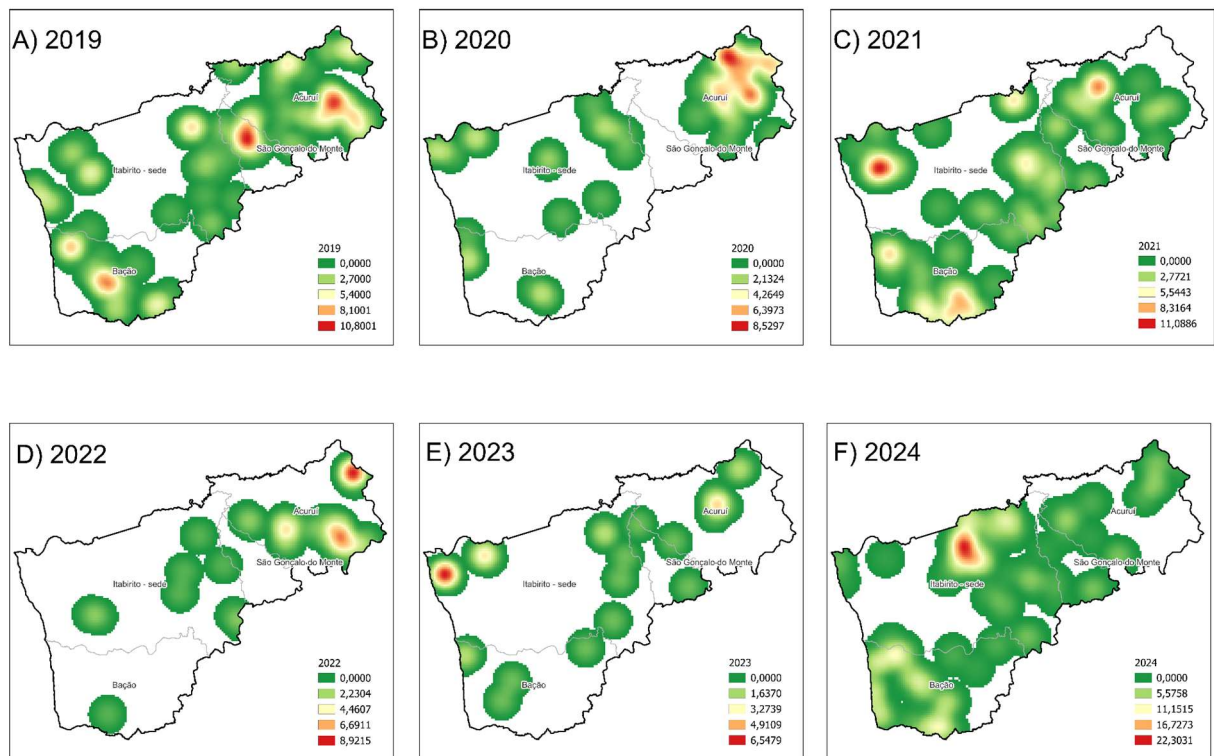
Em 2022, há uma diminuição no número de focos em comparação ao ano anterior, com a concentração voltando ao setor nordeste. As demais regiões continuam apresentando registros pontuais, menos agrupados.

O ano de 2023 apresenta o menor grau de expressão espacial na série. Os focos aparecem mais isolados, com pouca conexão entre eles e sem grandes concentrações territoriais evidentes.

Por fim, em 2024, há uma mudança marcante no padrão espacial. Os focos aumentam significativamente, concentrando-se fortemente no setor oeste e centro-oeste do município, além de registros importantes no sul e sudoeste. Diferente dos anos anteriores, o eixo principal das ocorrências desloca-se claramente para a região oeste.

Assim, para compreender melhor o comportamento dos focos, foi utilizada a Estimativa de Densidade Kernel (com raio de 2000 metros e pixel de 200 metros), que gera superfícies contínuas capazes de avaliar a intensidade relativa da agregação espacial dos focos. Assim, é possível identificar os *hotspots* anuais e suas variações. Os mapas anuais de densidade estão ilustrados na Figura 4.

Figura 4: Densidade Kernel anual dos focos de calor (2019–2024)



Fonte: Autora, 2026.

Podemos observar que no ano 2019 a intensidade foi moderada, com valor máximo de 10,8001. Assim, o Kernel confirmou o *hotspot* no setor nordeste, com núcleos secundários no sudoeste. Já para o ano de 2020, observamos o *hotspot* dominante no extremo nordeste, com agregação espacial concentrada nessa região e baixa intensidade nas demais áreas. Seu valor máximo foi de 8,5297;

Em 2021, a configuração foi multipolar com valor máximo de densidade de 11,0886. Formaram-se núcleos relevantes no oeste e no sul, evidenciando expansão territorial da agregação espacial. Para 2022 foi possível verificar um *hotspot* pequeno, porém intenso, no extremo nordeste, além de núcleo secundário na faixa leste. O valor máximo de densidade foi 8,9215.

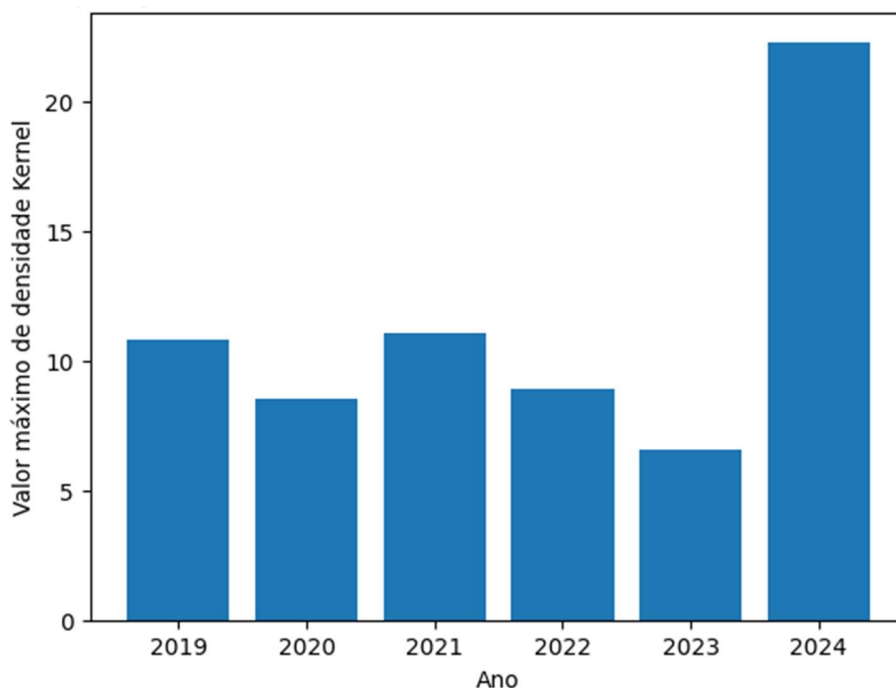
No ano de 2023 a intensidade foi a menor da série histórica, seu valor máximo foi de 6,5479, demonstrando uma redução significativa da agregação espacial, com manchas menos extensas. Já em 2024 foi uma intensificação abrupta, a maior da série histórica, com valor máximo de 22,3031. O *hotspot* principal desloca-se para o setor oeste/centro-oeste, apresentando intensidade aproximadamente duas vezes

superior à dos anos anteriores. Observa-se ampliação das áreas de densidade média em direção ao sul.

A comparação dos valores máximos evidencia três comportamentos distintos ao longo da série (Figura 5):

- 2019–2022: Intensidade relativamente estável, com valores entre 8,5 e 11,1, indicando padrão moderado de agregação;
- 2023: Redução acentuada da intensidade (6,5479), refletindo menor concentração territorial;
- 2024: Intensificação abrupta, com valor máximo de 22,3031, evidenciando aumento expressivo da agregação espacial.

Figura 5: Comparação da intensidade máxima da densidade Kernel (2019-2024)



Fonte: Autora, 2026.

A combinação entre a avaliação pontual dos focos de incêndio e a estimativa de densidade Kernel revela que não há um ponto fixo e constante de maior incidência ao longo dos seis anos analisados. Nos anos de 2019, 2020 e 2022, o setor nordeste se destacou, enquanto em 2021 os setores oeste e sul passaram a ter maior destaque, sendo que em 2024 essa tendência se intensificou ainda mais. Isso indica que o

padrão de concentração dos focos mudou ao longo do tempo, mostrando um deslocamento das áreas mais afetadas.

Diante desses resultados, é importante entender quais características físicas e territoriais do município podem estar relacionadas a essa dinâmica. Assim, realizamos uma análise detalhada das variáveis ambientais que podem influenciar na ocorrência e na propagação dos incêndios, buscando identificar possíveis fatores que contribuem para esse padrão de distribuição.

5.2. Mapeamento dos fatores ambientais que contribuem para suscetibilidade à incêndios florestais em Itabirito

Considerando a dinâmica espacial identificada na seção anterior, procede-se à avaliação individual das variáveis ambientais e territoriais selecionadas, com o objetivo de examinar sua distribuição no município de Itabirito e compreender de que maneira podem influenciar a ocorrência e a propagação de incêndios.

Na Figura 6 está apresentada a distribuição espacial das classes de declividade no município de Itabirito, elaborada a partir do MDE e reclassificada conforme intervalos percentuais de inclinação do terreno.

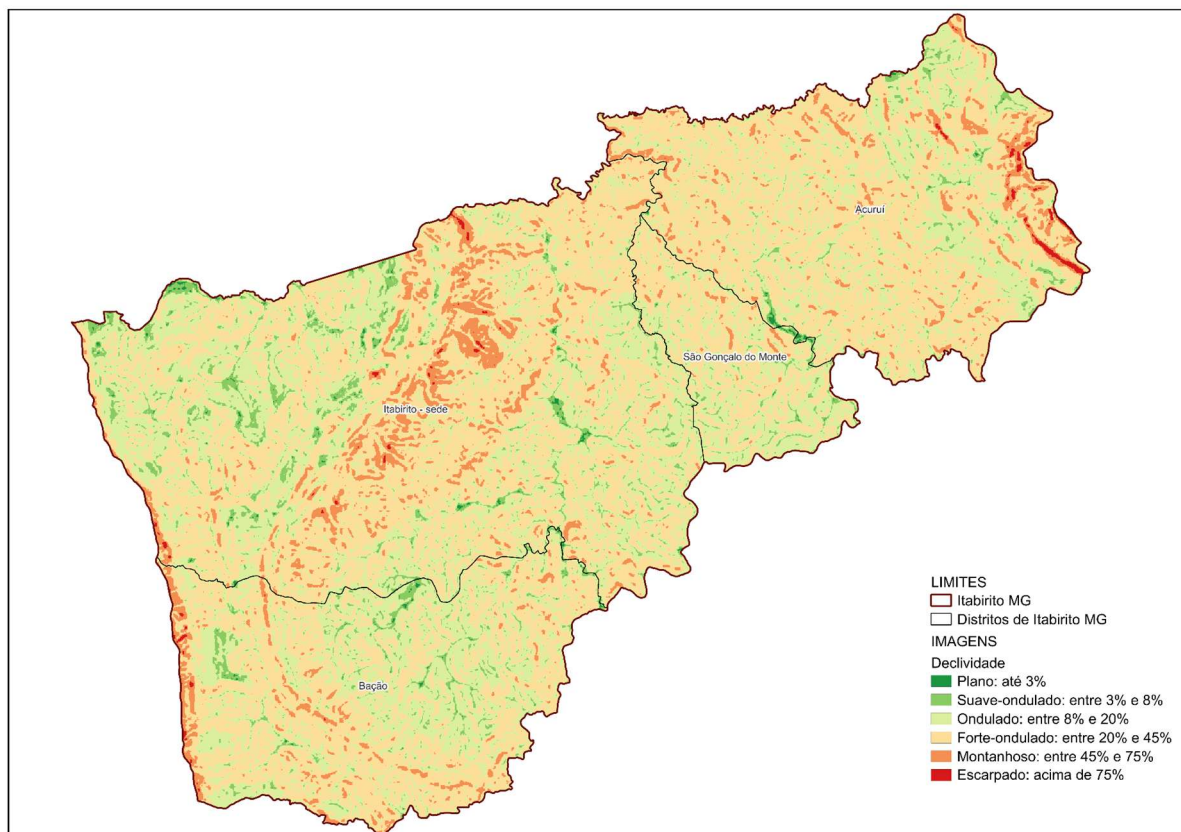
Percebe-se que as áreas com relevo suave ondulado, que variam de 3% a 8%, e ondulado, que vão de 8% a 20%, estão bastante distribuídas por quase todo o município. Essas regiões são mais comuns especialmente na parte centro-leste e nas áreas próximas à sede urbana. Já as zonas com relevo mais acentuado, como o forte ondulado (20% a 45%), montanhoso (45% a 75%) e escarpado (acima de 75%), ficam principalmente na região oeste e em faixas alongadas na área central do município.

Também há setores no distrito de Acuruí, onde as encostas são mais íngremes devido às formações serranas do Quadrilátero Ferrífero. Por outro lado, as áreas mais planas ou com menor declive estão basicamente nos fundos de vale e próximas às principais linhas de drenagem, acompanhando assim o curso natural dos rios e riachos.

Do ponto de vista da dinâmica do fogo, a inclinação do terreno exerce influência direta sobre o comportamento das chamas, uma vez que o aumento da declividade favorece o pré-aquecimento do material combustível localizado a montante da frente de fogo, intensificando os processos de transferência de energia por convecção e

radiação. Estudos experimentais indicam que o incremento da declividade está associado ao aumento da velocidade de propagação e da intensidade do fogo, além da redução do tempo de propagação (Juvanhol *et al.*, 2024).

Figura 6: Declividade do município de Itabirito - MG

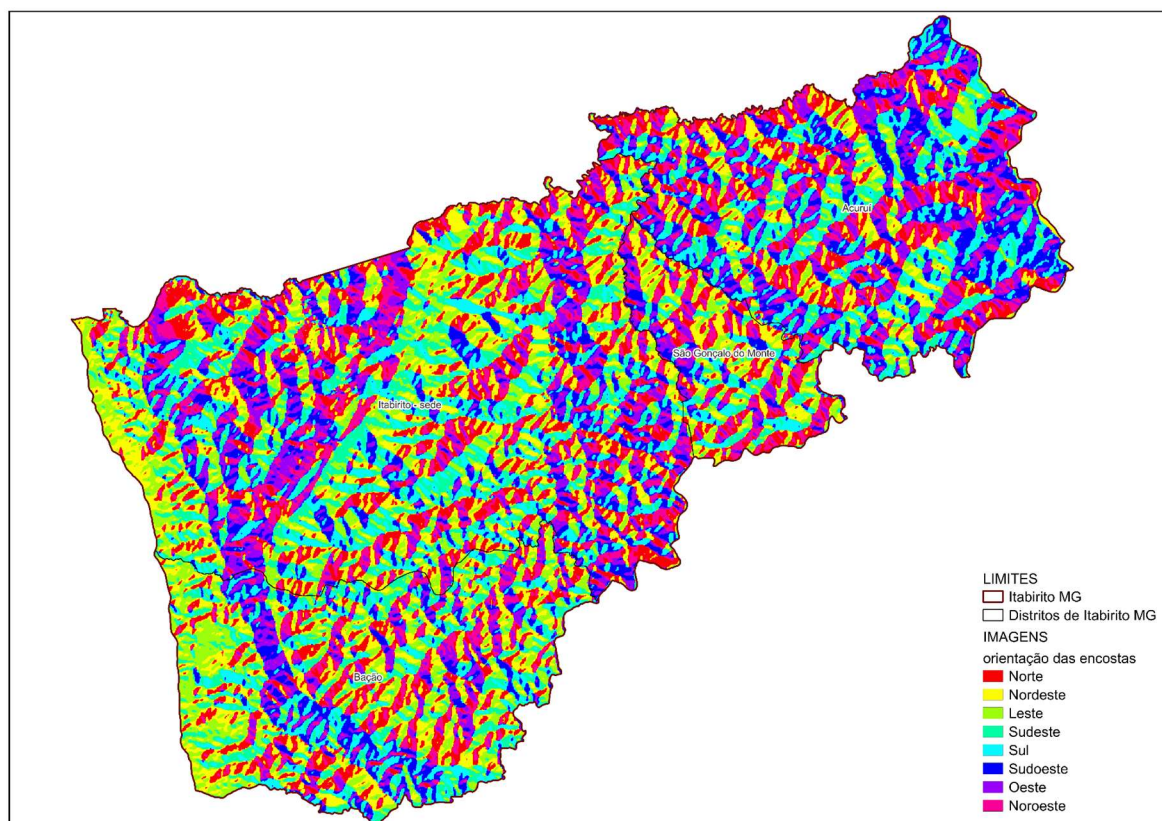


Fonte: Autora, 2026.

Assim, mesmo que a maior parte do município seja composta por áreas com declives moderados, a existência de corredores e faixas com inclinações mais acentuadas em alguns setores do território revela variações importantes no potencial de rápida propagação do fogo. Isso mostra que a inclinação do terreno é um fator físico relevante na análise das condições que favorecem os incêndios florestais em Itabirito.

Na Figura 7 está apresentada a distribuição espacial da orientação das vertentes no município de Itabirito, evidenciando padrão altamente compartimentado e alternado, característico de relevo serrano e ondulado.

Figura 7: Orientação das vertentes no município de Itabirito - MG



Fonte: Autora, 2026.

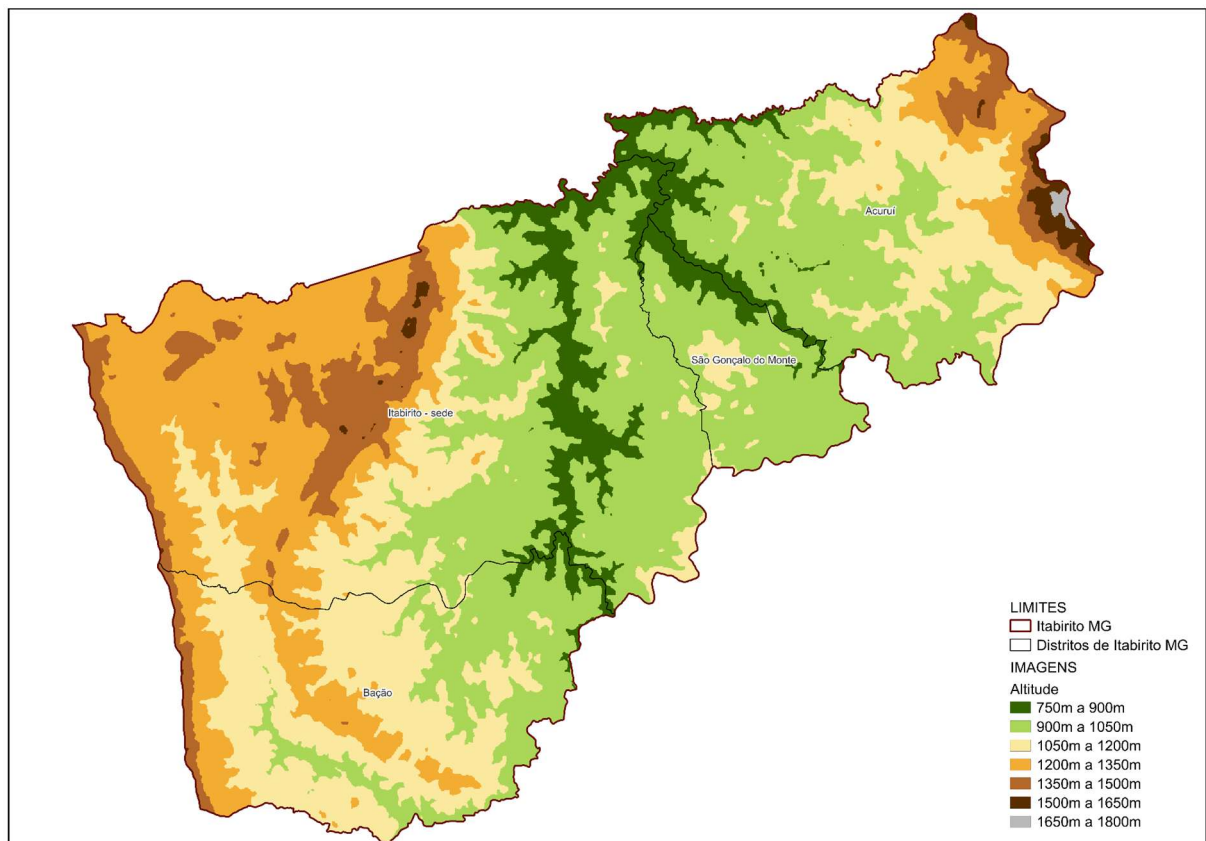
Ao longo de todo o território, é possível perceber a presença de todas as principais orientações de exposição, tanto cardeais quanto intercardeais, sem que nenhuma delas domine completamente a região. Próximo à área urbana, há faixas com orientações voltadas para o Oeste, Noroeste e Sudoeste. Já no distrito de Acuruí, destacam-se encostas que apontam para o Leste e Nordeste, entremeadas por vertentes voltadas para o Sul. Na parte sul do município, incluindo áreas de Bação, observa-se uma maior incidência de orientações voltadas para o Sudeste e Sul, seguindo a disposição dos vales e divisores de drenagem da região.

A orientação das vertentes influencia diretamente as condições microclimáticas locais, especialmente no que se refere à incidência de radiação solar e à umidade do material combustível. Estudos demonstram que vertentes voltadas para o Norte, no hemisfério sul, recebem maior quantidade de energia solar ao longo do ano, favorecendo condições de maior aquecimento e menor umidade relativa, o que pode contribuir para maior suscetibilidade à ocorrência de incêndios (Torres *et al.*, 2016).

Assim, a variação na direção das encostas no município revela que há diferenças nas condições de exposição ao sol e no microclima de cada região. Essa orientação das vertentes acaba sendo um fator importante na hora de entender como os incêndios acontecem e se espalham pelo município.

Na Figura 8 está apresentada a distribuição espacial das classes altimétricas no município de Itabirito, evidenciando variação que oscila entre 750 m e 1800 m. As menores altitudes estão, principalmente, ao longo dos fundos de vale e no centro do território, seguindo as principais linhas de drenagem. Já as altitudes intermediárias, que variam entre 1050 e 1350 metros, predominam na maior parte da área do município. As elevações mais altas, acima de 1350 metros, ficam principalmente nas regiões oeste e nordeste, onde se encontram as formações serranas do Quadrilátero Ferrífero, incluindo algumas áreas do distrito de Acuruí.

Figura 8: Classes altimétricas do município de Itabirito - MG



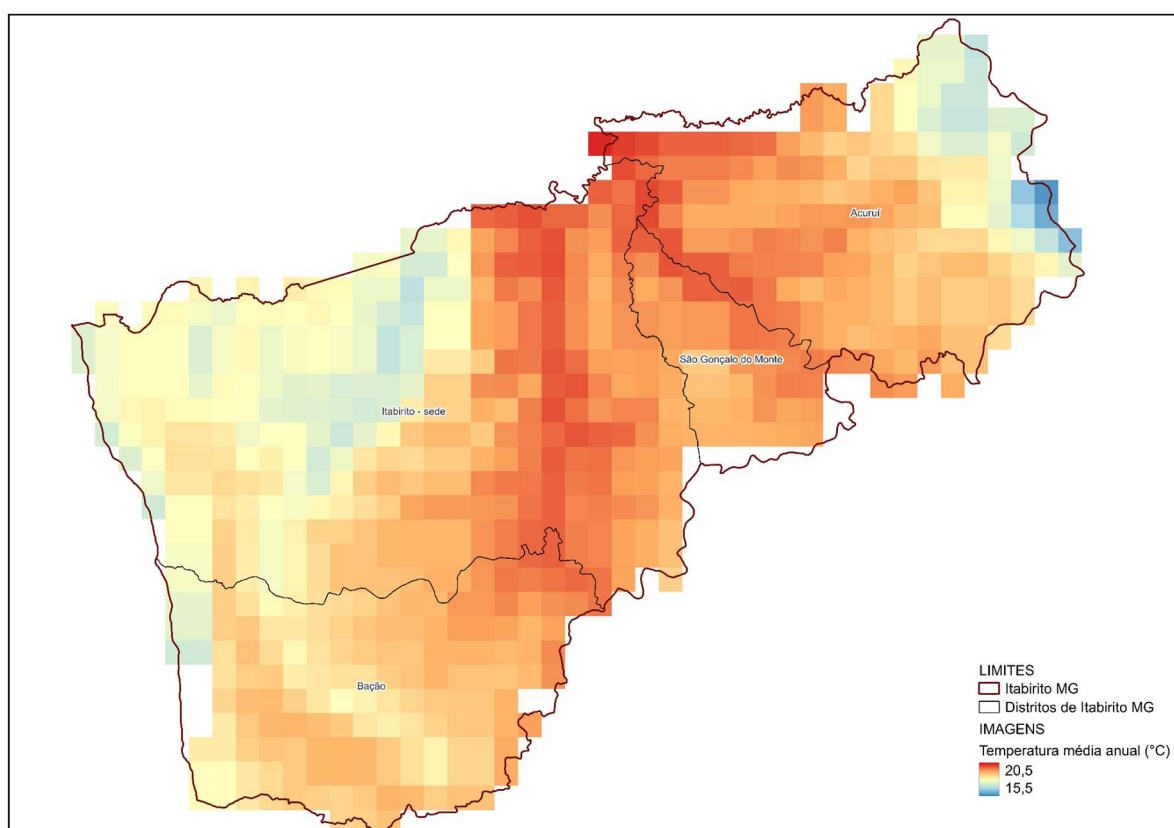
Fonte: Autora, 2026.

A altitude exerce influência indireta sobre a ocorrência de incêndios ao interferir nas condições climáticas locais, especialmente temperatura, umidade e regime de precipitação. Estudos indicam que áreas de menor altitude tendem a apresentar maior número de ocorrências de queimadas, enquanto altitudes mais elevadas podem estar associadas a temperaturas mais baixas e maior teor de umidade do combustível, reduzindo a probabilidade de ignição e propagação (Dias, 2023).

Assim, a maneira como o município é organizado em termos de altitude revela diferenças importantes no território. Áreas mais baixas podem ter condições mais propensas a incêndios, enquanto as regiões mais elevadas geralmente se mostram menos vulneráveis, dependendo das condições climáticas.

A Figura 9 evidencia a distribuição espacial da temperatura média anual no município de Itabirito, com variação aproximada entre 15,5 °C e 20,5 °C.

Figura 9: Temperatura média anual do município de Itabirito - MG



Fonte: Autora, 2026.

Perceber um gradiente de temperatura que acompanha a divisão do relevo, onde os valores mais altos estão concentrados principalmente na região central do território e em áreas de menor altitude (Figura 9). Já as temperaturas médias mais baixas aparecem nas partes mais elevadas, especialmente na borda nordeste do município.

A temperatura constitui variável climática relevante na dinâmica dos incêndios, pois influencia diretamente os processos de evapotranspiração e o teor de umidade do material combustível. Valores térmicos mais elevados favorecem o aquecimento e a secagem da vegetação, ampliando sua inflamabilidade. Conforme destacado por Dias (2023), a temperatura integra o conjunto de variáveis determinantes na avaliação da fragilidade ambiental associada a queimadas.

A influência térmica tende a se intensificar em condições atmosféricas de baixa umidade e menor disponibilidade hídrica, quando o aquecimento superficial acelera a perda de água do combustível vegetal. Estudos indicam que a intensidade do fogo apresenta maior ocorrência em contextos de déficit hídrico e temperaturas elevadas (Lotufo *et al.*, 2020).

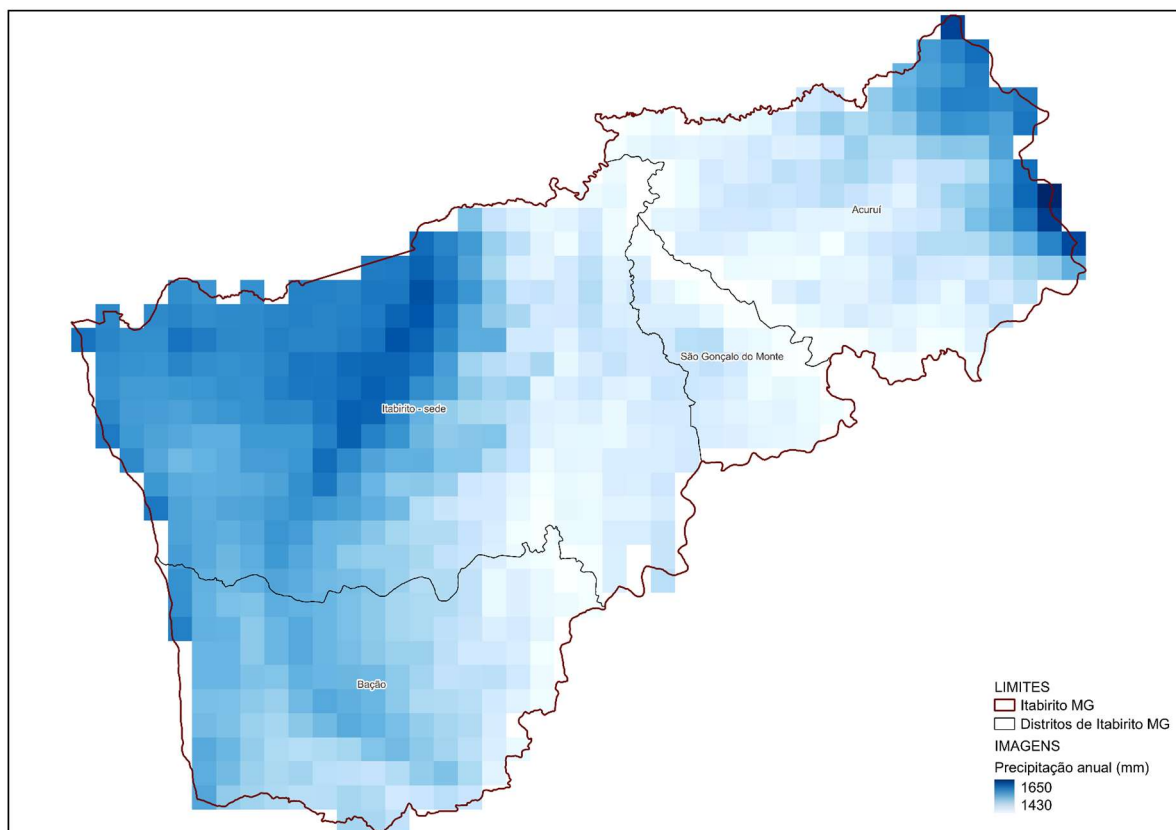
Dessa forma, a distribuição da temperatura na cidade indica que áreas com temperaturas médias mais altas podem ser mais suscetíveis à ignição e à propagação de incêndios, especialmente em situações de menor umidade do ar.

Na Figura 10 está apresentada a distribuição espacial da precipitação média anual no município de Itabirito, com valores variando aproximadamente entre 1430 mm e 1650 mm.

Observa-se, conforme a figura de precipitação, uma maior concentração de índices pluviométricos nas porções oeste e extremo norte do território, enquanto os menores valores se distribuem predominantemente na região central e sudeste, incluindo áreas próximas à sede municipal.

A precipitação exerce papel determinante na manutenção da umidade do solo e da vegetação, influenciando diretamente a disponibilidade hídrica do material combustível. De acordo com Dias (2023), a redução dos índices pluviométricos está associada ao aumento da fragilidade ambiental frente à ocorrência de queimadas, sendo considerada variável essencial na modelagem de suscetibilidade.

Figura 10: Precipitação total anual do município de Itabirito - MG

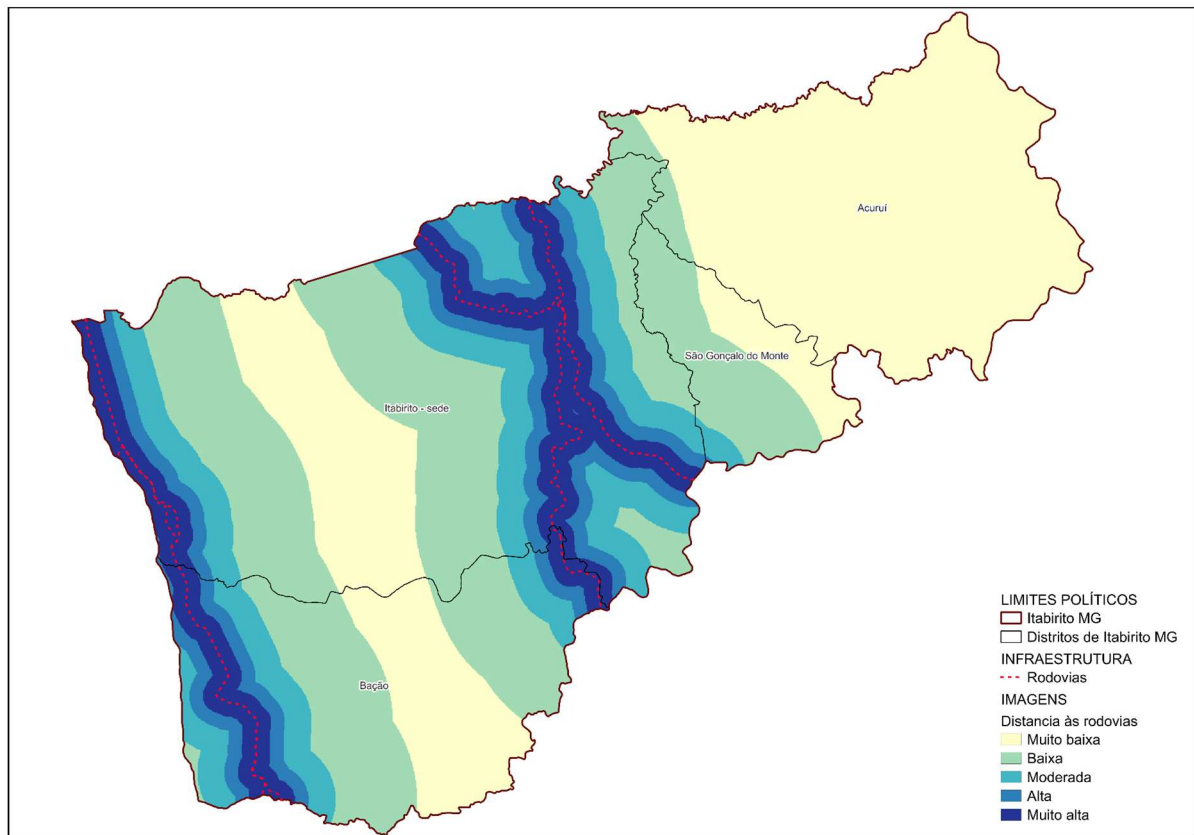


Fonte: Autora, 2026.

A diminuição acumulada dos volumes de chuva ao longo do ciclo anual pode comprometer a recuperação hídrica da vegetação e favorecer condições de estresse hídrico prolongado. Nesse contexto, a menor disponibilidade de umidade contribui para maior vulnerabilidade do combustível vegetal, ampliando as condições propícias à combustão (Lotufo *et al.*, 2020). Sendo assim, a distribuição espacial dos menores índices pluviométricos no município indica setores potencialmente mais sensíveis à ocorrência de incêndios quando combinados a temperaturas elevadas e baixa umidade relativa do ar.

Na Figura 11 estão evidenciadas que as classes de maior influência rodoviária (Muito alta e Alta) se distribuem como corredores lineares acompanhando os principais eixos viários que atravessam o município, formando faixas contínuas de proximidade.

Figura 11: Distância às rodovias do município de Itabirito - MG



Fonte: Autora, 2026.

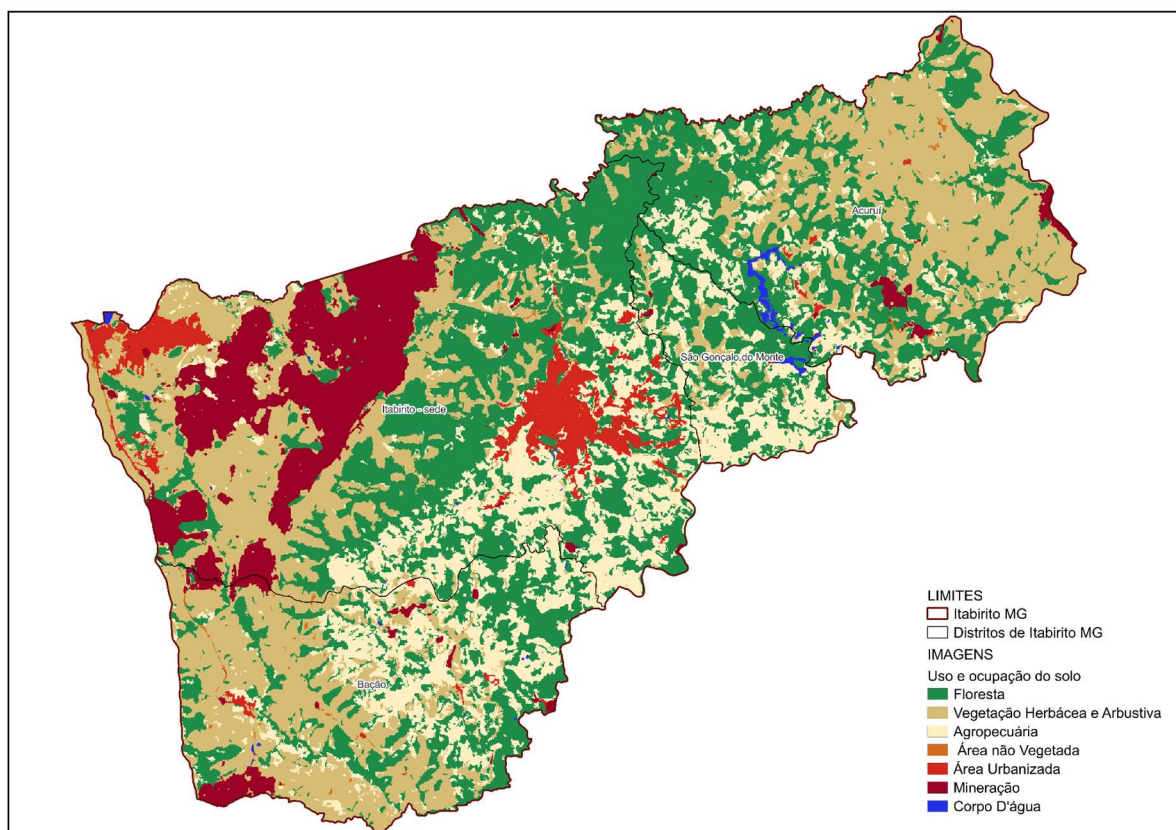
Na Figura 11 fica evidenciado a influência viária estrutura-se de forma linear e contínua, evidenciando o papel da infraestrutura como vetor espacial de acessibilidade no território municipal. As classes Moderada e Baixa funcionam como zonas de transição ao redor desses corredores, enquanto a classe de Muito baixa influência predomina nas porções mais afastadas da malha viária, sobretudo em áreas periféricas do território.

Esse arranjo espacial é coerente com o padrão descrito na literatura, segundo o qual a maior parte das ignições tende a ocorrer muito próxima às rodovias. Em Portugal, Catry *et al.* (2007) observaram que 70% das ignições estavam a menos de 500 m das rodovias principais e 98% a menos de 2 km. De forma semelhante, Morrison (2007) verificou que 94,9% dos incêndios de causa humana ocorreram a menos de 800 m de uma rodovia e 60,7% nos primeiros 200 m, indicando forte relação negativa entre distância à estrada e frequência de ocorrências.

Assim, no contexto municipal, as áreas classificadas com maior proximidade representam setores com maior acessibilidade e, portanto, maior potencial de exposição a ignições antrópicas, enquanto as áreas mais distantes tendem a refletir menor influência direta da infraestrutura viária.

A paisagem de Itabirito é predominantemente formada por regiões de floresta, vegetação herbácea e arbustiva, além de atividades agrícolas, mineração e áreas urbanas (Figura 12). Analisando os distritos, é possível notar diferenças importantes na distribuição dessas áreas, o que pode ou não ter influência na ocorrência de incêndios na região.

Figura 12: Uso e cobertura da terra em 2024 para o município de Itabirito - MG



Fonte: Autora, 2026.

Na sede podemos notar um núcleo urbano compacto, circundado por mosaico de agropecuária e vegetação herbáceo-arbustiva. Essa transição urbano-vegetação configura zonas de interface onde a presença humana é mais intensa, aspecto relevante porque, conforme Dias (2023), a suscetibilidade ao fogo varia segundo o

tipo de cobertura e o grau de interferência antrópica. A matriz agropecuária no entorno imediato amplia a continuidade de combustíveis finos, favorecendo ignições em períodos secos.

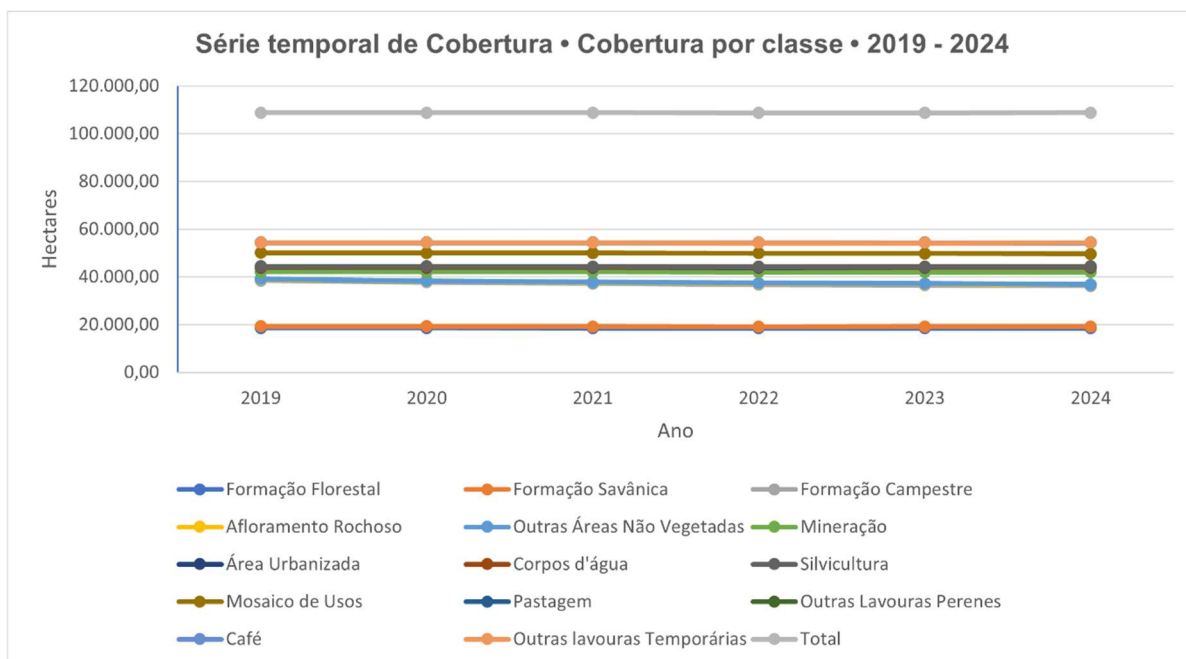
No distrito de Acuruí, observamos que predominam formações naturais, com extensas manchas de floresta intercaladas por vegetação herbácea e parcelas agropecuárias. A maior continuidade de cobertura vegetal sugere disponibilidade de material combustível em áreas amplas; contudo, a vulnerabilidade à ignição depende do tipo de cobertura e da pressão antrópica local, conforme destacado por Dias (2023).

Já em São Gonçalo do Monte, a presença marcante de corpos d'água e formações naturais cria descontinuidades na matriz combustível. Segundo Dias (2023), corpos d'água apresentam suscetibilidade muito baixa ao fogo, funcionando como barreiras naturais. Ainda assim, parcelas agropecuárias e herbáceas no entorno mantêm potencial de ignição sazonal.

No distrito do Bação, há uma maior participação de agropecuária e vegetação herbácea, com padrão fragmentado. Classes associadas a pastagens e usos agropecuários tendem a maior vulnerabilidade à ignição quando comparadas a corpos d'água, conforme a hierarquização apresentada por Dias (2023), o que torna esse setor relevante na análise espacial do risco.

A mineração também merece destaque, com extensos polígonos localizados na parte oeste do município. Mesmo que em áreas sem vegetação tenham uma menor propensão a pegar fogo por conta própria, as bordas dessas áreas e os locais onde elas entram em contato com a vegetação natural formam zonas de transição que precisam ser observadas com cuidado na análise. Para verificar alterações recentes na estrutura territorial, foi elaborado um gráfico representando a série temporal entre 2019 e 2024 (Figura 13).

Figura 13: Histórico do uso e cobertura da terra do município de Itabirito - MG



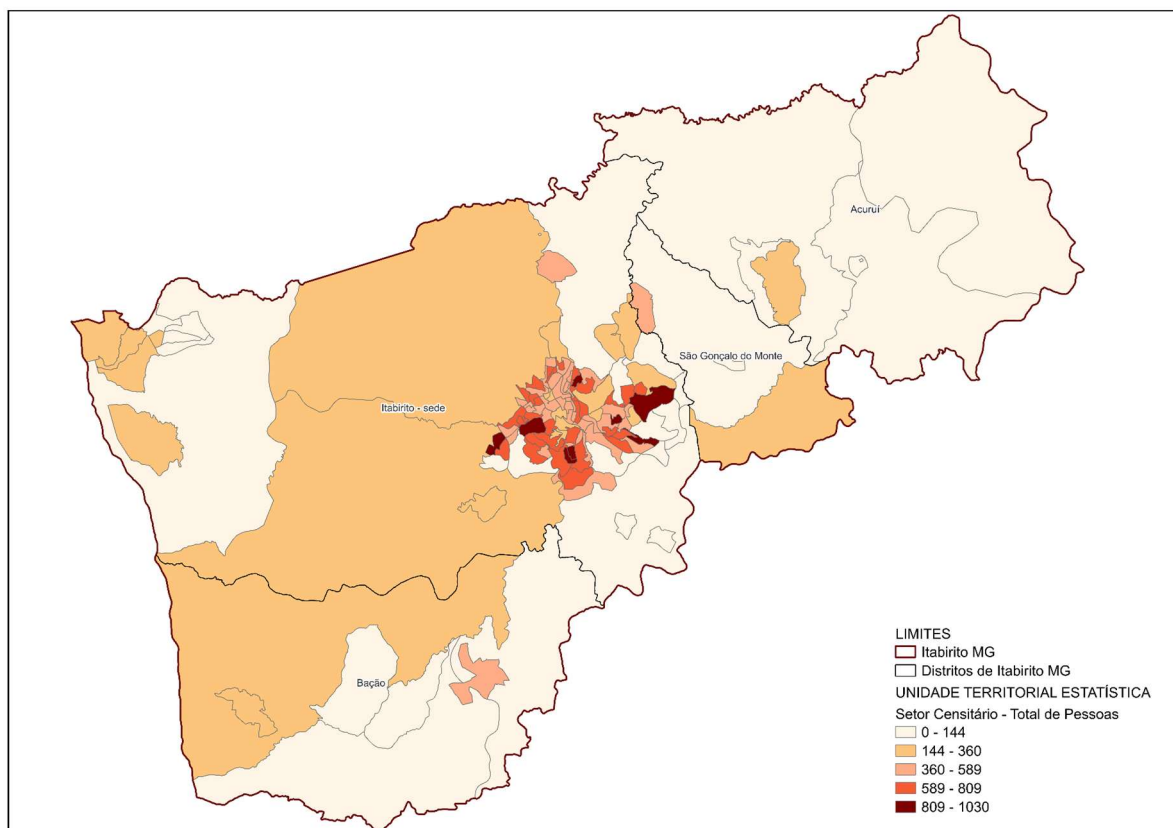
Fonte: Autora, 2026.

O gráfico demonstra estabilidade das principais classes ao longo do período, com linhas praticamente paralelas e sem grandes variações consideradas. Não se identificam conversões estruturais entre vegetação natural e usos antrópicos que indiquem mudança significativa na disponibilidade de material combustível no intervalo analisado.

Assim, a configuração espacial do uso e cobertura da terra manteve-se quase constante entre os anos de 2019 e 2024. Considerando que a suscetibilidade ao fogo está associada às características das classes de cobertura e à presença humana (DIAS, 2023), a compreensão da dinâmica das ignições no município requer, na sequência, a análise da distribuição populacional por setores censitários.

Na Figura 14 está evidenciado que a distribuição populacional de Itabirito apresenta forte concentração na Itabirito-sede, onde predominam setores censitários classificados nas faixas superiores (589–809 e 809–1030 habitantes).

Figura 14: Distribuição populacional por setor censitário do município de Itabirito - MG



Fonte: Autora, 2026.

Nota-se que há um núcleo central composto por áreas mais densamente povoadas, geralmente com uma configuração mais fragmentada e menor área territorial, característica comum das regiões já urbanizadas. Por outro lado, distritos como Acuruí, São Gonçalo do Monte e várias partes de Bação apresentam setores com populações menores (de 0 a 144 ou de 144 a 360 habitantes), formando um padrão de ocupação mais espalhado. Nessas áreas, os setores censitários são territorialmente mais extensos, porém com menor contingente populacional absoluto, refletindo características rurais e baixa densidade demográfica.

Ressalta-se que o mapa mostra a quantidade total de pessoas em cada setor (V0001), e não a densidade populacional por área. Ou seja, setores urbanos, mesmo sendo menores em tamanho, geralmente têm mais habitantes, enquanto as áreas rurais podem ser bem maiores, mas com menos gente vivendo nelas. Saber dessa

diferença é crucial para não fazer interpretações incorretas acerca de como o território é utilizado e da pressão que as comunidades exercem nele.

Do ponto de vista da dinâmica das ignições, a concentração populacional constitui variável relevante, uma vez que a presença humana está diretamente associada à probabilidade de início de incêndios de origem antrópica. Weber e Wollmann (2016), ao analisarem a distribuição espacial de incêndios urbanos em Santa Maria (RS), identificaram maior concentração de ocorrências em áreas com maior adensamento populacional, evidenciando a influência da intensidade da ocupação urbana na frequência dos eventos.

Os autores destacam ainda que os incêndios tendem a incidir com maior frequência em áreas caracterizadas por vulnerabilidades socioambientais e determinados padrões construtivos (Weber e Wollmann, 2016, apud Cherubini, 2014), indicando que a dimensão demográfica, associada às condições de ocupação do solo, pode atuar como fator condicionante da distribuição espacial das ocorrências.

Em Itabirito, a área central apresenta maior concentração de habitantes, o que leva a uma movimentação diária mais intensa e uma ocupação do espaço mais elevada, fatores que elevam o risco de incêndios causados por ações humanas. Por outro lado, os distritos com menos moradores têm uma pressão demográfica menor, embora possam estar sujeitos a outros tipos de uso do fogo, principalmente relacionados às atividades rurais.

Estudando os setores censitários, conseguimos perceber de que maneira a distribuição populacional influencia na incidência e na regularidade dos incêndios na cidade. Esses dados são importantes para entender como os incêndios se espalham pelo espaço e para planejar ações de prevenção e combate mais eficientes.

5.3. Mapeamento das áreas susceptíveis à ocorrência de incêndios florestais em Itabirito

Após a aplicação do método AHP com a integração das variáveis reclassificadas, foi possível elaborar o mapa final de suscetibilidade a queimadas no município de Itabirito (Figura 15). Na Tabela 17 estão apresentados os pesos finais obtidos para cada variável, representando sua influência relativa no modelo.

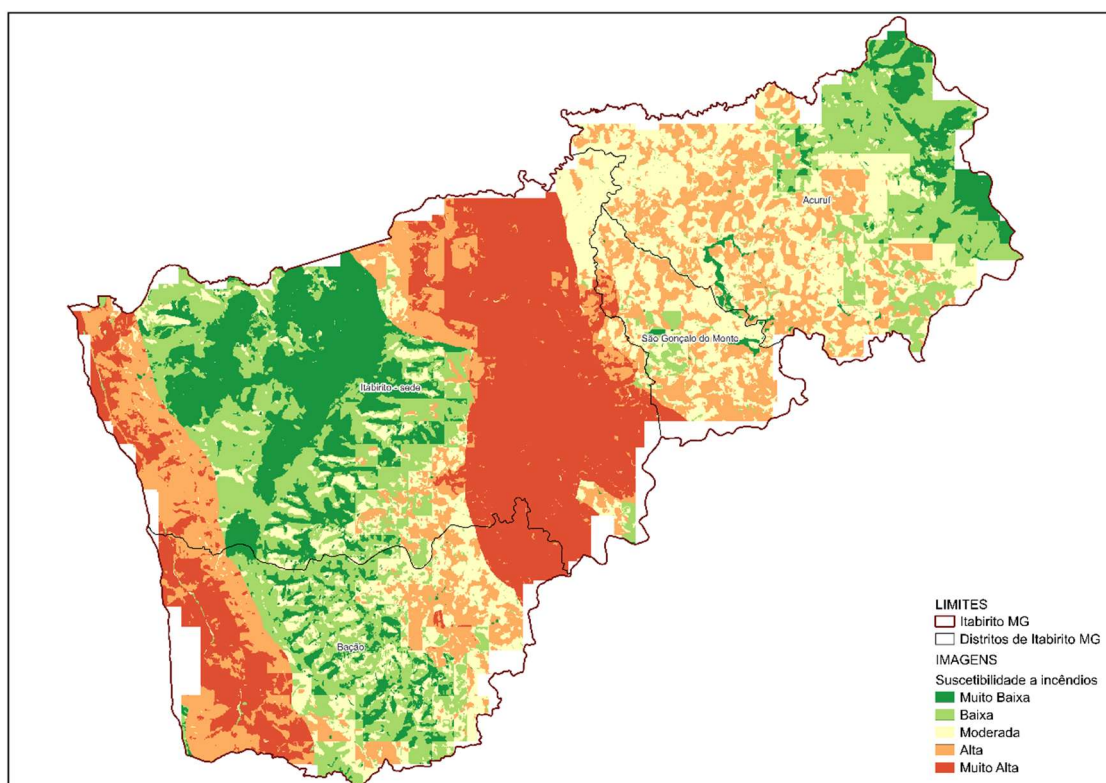
Tabela 17: Pesos das variáveis de acordo com a pesquisa com especialistas

| Variável | Pesos obtidos |
|-------------------------|---------------|
| Precipitação | 0,106 |
| Declividade | 0,021 |
| Orientação das Encostas | 0,046 |
| Uso do solo | 0,149 |
| Altitude | 0,078 |
| Temperatura | 0,087 |
| Setor Censitário | 0,305 |
| Rodovias | 0,209 |

Fonte: Autora, 2026.

Percebe-se que a variável com maior peso foi a do setor censitário, o que indica que esse fator tem uma influência mais significativa na distribuição espacial das queimadas no município. Logo em seguida, destaca-se a variável de rodovias, enquanto as demais tiveram uma contribuição menor no modelo.

Figura 15: Mapa de suscetibilidade a queimadas no município de Itabirito - MG



Fonte: Autora, 2026.

O mapa final de suscetibilidade divide o território do município em cinco categorias: Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta. Essa classificação reflete a potencialidade de ocorrência de queimadas, considerando uma combinação ponderada das variáveis analisadas. Pode-se perceber que, as áreas com Alta e Muito Alta suscetibilidade estão concentradas principalmente na região centro-oeste e em partes do sul do município. Essas áreas formam manchas contínuas que indicam uma junção de fatores ambientais e humanos que favorecem tanto a ignição quanto a propagação do fogo.

Porém, é importante entender que o produto gerado pelo modelo multicritério é diferente do mapa de densidade Kernel. Os mapas de Kernel são baseados em registros reais de focos de calor detectados por satélites ao longo dos anos, mostrando onde as queimadas realmente aconteceram em cada período analisado. Tais registros podem ser influenciados por diversos fatores, sejam climáticos ou de atividade humana.

Já o mapa de suscetibilidade não mostra onde as queimadas ocorreram, mas indica onde elas têm maior probabilidade de acontecer, levando em conta a estrutura do território. Ele foi elaborado a partir da avaliação técnica de especialistas, que ponderaram variáveis ambientais e humanas para identificar áreas mais propensas ao fenômeno. Desta maneira, trata-se de uma ferramenta prospectiva, que aponta regiões onde as condições favorecem o desenvolvimento de queimadas, independentemente de elas terem ocorrido ou não em anos passados.

Quando os mapas anuais de Kernel são comparados ao mapa final de suscetibilidade, o objetivo não é uma correspondência exata ponto a ponto, mas sim verificar se há coerência na distribuição territorial. Podemos notar que em áreas que apresentaram focos recorrentes em diferentes anos, especialmente na região centro-oeste e em setores do nordeste, geralmente estão classificadas como Moderada a Muito Alta suscetibilidade. Uma sobreposição parcial mostra que o modelo conseguiu captar regiões estruturalmente favoráveis às queimadas, mesmo com a variação observada ao longo do tempo.

Por isso, a validação do modelo não depende de reproduzir exatamente os focos anuais, mas sim de sua coerência conceitual com os fatores que influenciam a dinâmica do território. O mapa final deve ser entendido como uma ferramenta para

orientar ações de planejamento e prevenção. Ele pode subsidiar estratégias de monitoramento, fiscalização e priorização das áreas mais críticas no município de Itabirito.

6. Conclusão

Este estudo buscou entender quais áreas do município de Itabirito (MG) estão mais predispostas a queimadas e incêndios, combinando informações sobre o ambiente natural e a presença humana usando um SIG. Ao analisar os registros de focos entre 2019 e 2024, nota-se que os incêndios não acontecem de forma aleatória por toda a região. Eles tendem a se concentrar em pontos específicos, especialmente nas zonas de transição entre vegetação nativa e áreas urbanizadas. Através de uma técnica chamada estimativa de densidade Kernel, identificou-se áreas que constantemente apresentam maior incidência de focos, mostrando que esses eventos têm raízes em características do território, e não apenas ocorrem de forma pontual ao longo do tempo.

Ao avaliar cada variável individualmente, ficou claro que fatores como relevo irregular, orientações específicas das encostas com maior incidência de sol, períodos de seca no clima e a presença de vias de acesso influenciam na vulnerabilidade ao fogo. Proximidade às rodovias e às fronteiras entre áreas urbanas e rurais também estão relacionadas aos focos de incêndio, reforçando o papel das ações humanas na origem dos incêndios. Assim, pode-se dizer que o risco na região resulta da interação entre as condições físicas do Quadrilátero Ferrífero e as atividades humanas relacionadas ao uso do solo.

Para integrar todas essas informações, utilizou-se uma técnica AHP, que combina diferentes critérios em um mapa que mostra as áreas com maior potencial de risco. Apesar da razão de consistência ($RC = 0,17$) estar um pouco acima do limite ideal, esse resultado aconteceu devido as diferentes opiniões dos especialistas envolvidos, que possuem percepções distintas sobre a importância relativa das variáveis. Isso mostra a complexidade do fenômeno e o quanto há diferentes interpretações técnicas sobre o risco de queimadas.

Ao final, pode-se afirmar que Itabirito possui regiões com distintos níveis de vulnerabilidade, distribuídas espacialmente e influenciadas pela combinação de fatores ambientais e pressões humanas. Este trabalho fornece uma ferramenta valiosa para apoiar o planejamento territorial e a gestão ambiental do município, ajudando na identificação de áreas prioritárias para ações preventivas. Além disso, fortalece as estratégias de monitoramento e controle de incêndios, contribuindo para

um ambiente mais seguro e bem cuidado. Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação de métodos quantitativos de validação da suscetibilidade, amplamente utilizados em estudos ambientais, com o objetivo de avaliar a eficiência do modelo a partir da proporção de focos de calor incidentes em cada classe de suscetibilidade. Essa abordagem poderá contribuir para uma avaliação quantitativa da coerência entre o mapeamento gerado e a distribuição espacial das ocorrências registradas.

7. Referências bibliográficas

- ANDERSON, L. O. *et al.* Modelo conceitual de sistema de alerta e de gestão de riscos e desastres associados a incêndios florestais e desafios para políticas públicas no Brasil. *Territorium*, v. 26, n. 1, p. 43–61, 2019. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_26-1_4.
- ARAÚJO, A. N.; MESQUITA, P. I. S.; MORAIS, E. G. Análise espacial e identificação de alterações no zoneamento urbano da cidade de Altamira – PA. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 11, n. 22, p. 139–156, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.18677/Enciclopedia_Biosfera_2015_077.
- BDQueimadas – Banco de Dados de Queimadas - INPE. Disponível em <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>. Acesso em 20 de dezembro de 2025.
- BOUHMAD, K.; PERUCCA, F. Revitalização da bacia de detenção do Vilarinho. Belo Horizonte: SUDECAP, 2007.
- BOWMAN, D. M. J. S. *et al.* The human dimension of fire regimes on Earth. *Journal of Biogeography*, v. 38, n. 12, p. 2223–2236, 2011.
- BOWMAN, D.M.J.S., BALCH, J.K., ARTAXO, P., BOND, W.J., CARLSON, J.M., COCHRANE, M.A., D'ANTONIO, C.M., DEFRIES, R.S., DOYLE, J.C., HARRISON, S.P., JOHNSTON, F.H., 2009. Fire in the Earth system. *Science* 324 (5926), 481–484.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 28 maio 2012.
- BRASIL. Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024. Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo e altera as Leis nºs 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, 12.651, de 25 de maio de 2012, e 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. *Diário Oficial da União*: Brasília, DF, 31 jul. 2024.

- 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. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 13 fev. 1998.
- BRITO, Í. A.; FIGUEIREDO, M. A. Impactos de atividades ciclísticas nos solos de ambientes naturais no distrito de São Gonçalo do Baçõ, município de Itabirito, MG. *Revista Territorium Terram*, v. 6, n. 9, p. 289–309, 2023. ISSN 2317-5419.
- BURROUGH, Peter A.; MCDONNELL, Rachael A. Principles of geographical information systems. 3. ed. Oxford: Oxford University Press, 1998.
- CAO, Y., WANG, M., & LIU, K. (2017). Wildfire Susceptibility Assessment in Southern China: A Comparison of Multiple Methods. *International Journal of Disaster Risk Science*, 8, 164-181. <https://doi.org/10.1007/s13753-017-0129-6>.
- CARVALHO FILHO, A. Solos e ambientes do Quadrilátero Ferrífero (MG) e aptidão silvicultural dos Tabuleiros Costeiros. 2008. 245 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.
- CARVALHO, A. C., ARTAXO, P., SOUZA, L. F. B. DE, MELO, R., & MARTINS, A. P. D. (2018). Causas, consequências e políticas públicas para o manejo de fogo em áreas naturais no Brasil. *Natureza & Conservação*, 16(2), 123-137, p. 126.
- CARVALHO, L. Z. G. Avaliação dos efeitos do fogo no sudeste do bioma da Mata Atlântica através de uma abordagem espacial e funcional. 2021. Dissertação (Mestrado em Desastres Naturais) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), São José dos Campos, 2021.
- CATRY, F. X.; DAMASCENO, P.; SILVA, J. S.; GALANTE, M.; MOREIRA, F. Spatial Distribution Patterns of Wildfire Ignitions in Portugal. (2007). In: Proceedings of the fourth International wildland fire conference, 13-17, Ministerio de Medio Ambiente, Serrville, Spain, mai. 2007.
- DIAS, B. A.S. *Proposta de mapeamento de riscos de queimadas e incêndios no estado de Minas Gerais*. 2023. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

- DOMICIANO, S. M. R. *Modelagem espacial do perigo de incêndios florestais no município de Juiz de Fora – MG*. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2024.
- EO PORTAL. *NOAA-20 (JPSS-1), 2025. Disponível em: <https://www.eoportal.org/satellite-missions/noaa-20>. Acesso em 11 de setembro de 2025.
- Eslami, R., Azarnoush, M., Kialashki, A., & Kazemzadeh, F. (2021). GIS-BASED FOREST FIRE SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT BY RANDOM FOREST, ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND LOGISTIC REGRESSION METHODS. *Journal of Tropical Forest Science*, 33, 173-184. <https://doi.org/10.26525/jtfs2021.33.2.173>.
- FAGUNDES, G. (2019). Fire normativities: environmental conservation and quilombola forms of life in the Brazilian savanna. *Vibrant: Virtual Brazilian Anthropology*. <https://doi.org/10.1590/1809-43412019v16d501>.
- FITZ, P. R. “Geoprocessamento sem complicação”. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- FLORENZANO, T. G. *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de textos, 2008.
- FRANCISCO, H. R. et al. Análise espacial de eventos pontuais para estimar o potencial produtivo da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). *Research, Society and Development*, v. 9, n. 9, e855998038, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i9.8038.
- GARCIA, P. M. B.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; CASAGRANDE, P. B. Índice geomorfológico como subsídio ao planejamento urbano. *Mercator*, Fortaleza, v. 19, e19003, 2020. DOI: 10.4215/rm2020.e19003.
- GONÇALVES, R. M.; OLIVEIRA, A. V. M.; CARVALHO, V. S. D. Geoprocessamento aplicado à análise de risco de incêndios florestais: o caso do Parque Estadual do Ibitipoca – MG. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 04, n. 02, p. 262-275, 2011.

GUIMARÃES, P. P.; SOUZA, S. M.; FIEDLER, N. C.; SILVA, A. G. Análise dos impactos ambientais de um incêndio florestal. *Agrarian Academy*, Goiânia, v. 1, n. 1, p. 38–58, 2014.

HARGRAVE, J.; KIS-KATOS, K. Economic causes of deforestation in the Brazilian Amazon: A panel data analysis for the 2000s. *Environmental and Resource Economics*, 54, p. 471- 494. 2013.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Queima controlada: definição e orientações técnicas. Brasília, 2023.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). Cidades: Itabirito - MG. Acesso em 5 de outubro de 2025.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.. *Manual técnico de geomorfologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2024. Cidades: Itabirito - MG. Acesso em 5 de outubro de 2025.

IBGE. IBGE Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística, 2022. Cidade Itabirito. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/itabirito/panorama>. Acesso em 5 de outubro de 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. Nota técnica: comportamento pluviométrico e variabilidade interanual das estações chuvosas em Minas Gerais. Belo Horizonte: INMET, 2017.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Programa Queimadas: perguntas frequentes. Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/faq/index.html>. Acesso em 27 de junho de 2025.

ITABIRITO (MG). Lei nº 3.344, de 24 de setembro de 2019. Dispõe sobre a proibição do manuseio, utilização e soltura de fogos de artifício e artefatos pirotécnicos de efeito sonoro ruidoso no Município de Itabirito. Itabirito, 24 set. 2019.

ITABIRITO (MG). Lei nº 4.021, de 10 de janeiro de 2024. Dispõe sobre medidas para o combate à poluição ambiental e o controle de queimadas e incêndios no Município de Itabirito. Itabirito, 10 jan. 2024.

- ITABIRITO (MG). Lei nº 4.489, de 04 de dezembro de 2025. Altera a Lei Municipal nº 4.021, de 2024, que dispõe sobre medidas para o combate à poluição ambiental e controle de queimadas e incêndios no Município de Itabirito. Itabirito, 04 dez. 2025.
- ITABIRITO. Prefeitura Municipal. Dados geográficos. Itabirito, s.d. Disponível em: <https://itabirito.mg.gov.br/descubra-itabirito/dados-geograficos/>. Acesso em 29 de janeiro de 2026.
- JANUÁRIO, R. R.; MINUZZI, R. B. Risco de incêndio sazonal em área descampada e de floresta para diferentes cenários climáticos no município de Águas Mornas. *Geosul*, Florianópolis, v. 35, n. 75, p. 580–597, maio/ago. 2020. DOI: 10.5007/1982-5153.2020v35n75p580.
- JESUS, J. B.; ROSA, C. N.; BARRETO, Í. D. C.; FERNANDES, M. M. Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 176–191, jan./mar. 2020. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509837696>.
- JONES, M., ABATZOGLOU, J., VERAVERBEKE, S., ANDELA, N., LASSLOP, G., FORKEL, M., SMITH, A., BURTON, C., BETTS, R., WERF, G., SITCH, S., CANADELL, J., SANTÍN, C., KOLDEN, C., DOERR, S., & QUÉRÉ, C. (2022). Global and Regional Trends and Drivers of Fire Under Climate Change. *Reviews of Geophysics*, 60. <https://doi.org/10.1029/2020rg000726>.
- JUVANHOL, R. S. et al. Estimativa do comportamento do fogo em queimas de *Eucalyptus grandis* sob diferentes declividades. *Scientia Naturalis*, Rio Branco, v. 6, n. 1, p. 142–153, 2024. DOI: 10.29327/269504.6.1-9.
- LOTUFO, J. B. S. *et al.* Índices espectrais e temperatura de superfície em áreas queimadas no Parque Estadual do Araguaia em Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 2, p. 648–663, 2020.
- MAGALHÃES, S. R. et al. Comportamento do fogo em diferentes períodos e configurações de uma paisagem no nordeste de Portugal. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 457-469, abr./jun. 2017.

- MAPBIOMAS. Perguntas frequentes. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/perguntas-frequentes/>. Acesso em 11 de janeiro de 2026.
- MAPPA. SIRGAS 2000 e WGS84: o que são e quais as diferenças? Disponível em: <https://mappa.ag/blog/sirgas-2000-e-wgs84-o-que-sao/>. Acesso em 5 de janeiro de 2026.
- MINAS GERAIS. Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Diário do Executivo: Belo Horizonte, 17 out. 2013.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; Instituto Estadual de Florestas. Resolução Conjunta SEMAD/IEF nº 2.988, de 24 de julho de 2020. Estabelece os critérios de uso, monitoramento e controle do fogo na prática de atividade agropastoril, florestal ou fitossanitária, bem como para fins de pesquisa científica e tecnológica no âmbito do Estado de Minas Gerais. Diário do Executivo: Belo Horizonte, 25 jul. 2020.
- MORRISON, P. H. Roads and wildfires. Washington: Pacific Biodiversity Institute, Winthrop, 40p, 2007.
- MOTHÉ, R. et al. One Health pela perspectiva da saúde ambiental: incêndios florestais. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA Учредители: Centro Científico Conhecer, v. 17, n. 34, 2020.
- MOURA, M. G. A. Itabirito, um centro urbano emergente, seu papel e suas transformações. 2007. Dissertação (Mestrado em Tratamento da Informação Espacial) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- NATIONAL ENVIRONMENTAL SATELLITE, DATA, AND INFORMATION SERVICE (NESDIS). Joint Polar Satellite System. NOAA. Disponível em: <https://www.nesdis.noaa.gov/our-satellites/currently-flying/joint-polar-satellite-system>. Acesso em 12 de setembro de 2025.

- NOAA, s.d. JPSS Performance Status. Disponível em: <https://www.ospo.noaa.gov/operations/jpss/status.html>. Acesso em 11 de setembro de 2025.
- NOAA. NOAA's newest polar-orbiting satellite celebrates milestone, 2022. Disponível em: <https://www.nesdis.noaa.gov/news/noaas-newest-polar-orbiting-satellite-celebrates-milestone>. Acesso em 11 de setembro de 2025.
- NOROOZI, F., GHANBARIAN, G., SAFAEIAN, R., & POURGHASEMI, H. (2024). Forest fire mapping: a comparison between GIS-based random forest and Bayesian models. *Natural Hazards*, 120, 6569 - 6592. <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06457-9>.
- OLIVEIRA, A. A. de; BORGES, J. T. Análise da vulnerabilidade populacional aos riscos tecnológicos ambientais na área urbana da cidade de Manaus-AM. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Curitiba, v. 49, p. 283–304, 2018. DOI: 10.5380/dma.v49i0.59260.
- OLIVEIRA, M. C. F.; SOUZA JÚNIOR, J. A.; CRUZ, P. P. N.; SOUZA FILHO, J. D. Risco de ocorrência de queimada e de incêndio e as medidas de prevenções, em Belém – PA, ano de 2015. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 4, p. 1030–1042, 2016.
- PIVELLO, V. R. The use of fire in the cerrado and Amazonian rainforests of Brazil: past and present. *Fire Ecology*, v. 7, n. 1, p. 24–39, 2011.
- RIFFEL, E. S.; GUASSELLI, L. A.; BRESSANI, L. A. Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão de literatura. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 36, n. 2, p. 285–306, maio/ago. 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3371/337146915006.pdf>. Acesso em 7 de dezembro de 2025.
- SAATY, T. L. A scaling method for priorities in a hierarchich structure. *Journal of Mathematical Psychology*, 15, p. 234-281, 1977. [https://doi.org/10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/10.1016/0022-2496(77)90033-5) SAATY, T. L. Método de Análise Hierárquica. Tradução de Wainer da Silveira e Silva, McGraw-Hill, Makron, São Paulo, 1991.

- SALES, G. M. *et al.* Identificação de áreas críticas à ocorrência de fogo na área de endemismo Belém. *Caminhos de Geografia*, v. 20, n. 71, p. 572–589, 2019. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG207148550>.
- SANTOS J., V. J.; PRADO, R. B.; LIMA, E. P. Modelagem geoecológica da suscetibilidade aos incêndios no Parque Estadual da Lapa Grande, Minas Gerais, Brasil. *Nucleus*, Ituverava, v. 17, n. 2, p. 101–121, out. 2020. DOI: 10.3738/1982.2278.3767.
- SANTOS, T. O.; FILHO, V. S. A.; ROCHA, V. M.; MENEZES, J. S. The impacts of deforestation and burning of anthropogenic climate of the Brazilian Amazon: A review. *Revista Geografia Acadêmica*, v. 11, n. 2, p. 157-181, 2017.
- SILVA, J.M.; BATISTA, A.C.; BATISTA, P.V.G.; SANTOS, J.C.P.B. Análise espacial do risco de incêndio florestal na região da bacia hidrográfica do rio das Velhas - Minas Gerais - Brasil: uma abordagem utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. *Revista Árvore*, volume 38, nº1, pág:149-158, jan-fev., 2014.
- SOUZA NETO, L. T. et al. O uso do mapa de Kernel como subsídio para identificação da dispersão dos focos de queimadas no município de Mossoró (RN). *Revista de Geografia (Recife)*, v. 38, n. 2, p. 244–262, 2021.
- TETTO, A. F.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Prevenção e combate aos incêndios florestais. Curitiba: SENAR-PR, 2011. 76 p. (Coleção SENAR-PR; 258).
- TONELLO, K.C.; DIAS, H.C.T.; SOUZA, A.L.; RIBEIRO, C.A.S.; LEITE, F.P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães MG. *Revista Árvore*, v. 30, p. 84-9-857, 2006.
- TORRES, F. T. P.; RIBEIRO, G. A.; MARTINS, S. V.; LIMA, G. S. Influência do relevo nos incêndios em vegetação em Juiz de Fora (MG). *Geographia*, v. 18, n. 36, p. 170–182, 2016.
- UTHAPPA, A., DAS, B., RAIZADA, A., KUMAR, P., JHA, P., & PRASAD, P. (2025). Forest fire susceptibility mapping using multi-criteria decision making and machine learning models in the Western Ghats of India.. *Journal of environmental management*, 379, 124777 . <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124777>.

- VALERIANO, M. M. *TOPODATA: processamento dos dados SRTM*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2008. 79 p. (INPE-16702-RPQ/854).
- VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L. *Fundamentos de topografia*. Curitiba: UFPR, 2007.
- WEATHER SPARK. Clima e condições meteorológicas médias em Itabirito no ano todo. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/30596/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Itabirito-Minas-Gerais-Brasil-durante-o-ano>. Acesso em 24 julho de 2026.
- WEBER, A. A.; WOLLMANN, C. A. Mapeamento dos incêndios residenciais na área urbana de Santa Maria, RS, Brasil utilizando o estimador de densidade Kernel. *Investigaciones Geográficas (Chile)*, Santiago, n. 51, p. 49–60, 2016.
- WMO – World Meteorological Organization. Observing Systems Capability Analysis and Review Tool (OSCAR): NOAA-20, 2023. Disponível em: https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/noaa_20. Acesso em 11 de setembro de 2025.
- WORLDCLIM. WorldClim Version 2.1 – Global Climate Data. Disponível em: <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>. Acesso em 5 de fevereiro de 2026.