



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Caracterização das Queimadas no Município de Itajubá, MG

Geovane Carlos Miguel¹, Enrique Vieira Mattos², Michelle Simões Reboita³, Nívea Adriana Dias Pons⁴,
Marco Antônio de Oliveira Neto⁵

¹ Mestrando de Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), geovanecarlos.miguel@gmail.com, ORCID: 0009-0005-1008-8952; ² Docente da UNIFEI, enrique@unifei.edu.br, ORCID: 0000-0002-9590-3709; ³ Docente da UNIFEI, reboita@unifei.edu.br, ORCID: 0000-0002-1734-2395; ⁴ Docente da UNIFEI, npons@unifei.edu.br, ORCID: 0000-0002-6997-6576; ⁵ Tenente do Corpo de Bombeiros de Itajubá, marcooliveira9615@gmail.com, ORCID: 0009-0006-2056-4390.

Artigo recebido em 23/06/2024 e aceito em 26/08/2024

RESUMO

As queimadas são eventos que causam impactos negativos tanto ao meio ambiente, quanto à saúde e economia brasileira. Portanto, o conhecimento das áreas mais propensas e os períodos de maior ocorrência desses episódios em cada município é importante para o planejamento de medidas preventivas. Esse estudo avaliou os registros de queimadas (observações) e focos de calor (estimativas por satélites meteorológicos) no município de Itajubá - MG, entre 2019 e 2022, utilizando os registros de queimadas observadas pelo Corpo de Bombeiros de Itajubá e de focos de calor obtidos via sensoriamento remoto da atmosfera, do Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os objetivos deste estudo foram analisar a distribuição mensal e anual das ocorrências de queimadas e de focos de calor, bem como observar as suas relações com as variáveis ambientais (precipitação e umidade do solo), monóxido de carbono (CO) e material particulado de diâmetro inferior a 2,5 micrômetros (PM_{2,5}). Adicionalmente, com os dados de queimadas foram analisadas a frequência das queimadas por bairros e o tipo de natureza de suas origens. Por fim, foi analisado a relação entre as ocorrências de queimadas e de focos de calor. Os resultados mostraram que o período do ano com menor volume de precipitação e umidade do solo potencializa o aumento de ocorrência das queimadas, de forma que entre os meses de agosto e setembro há um pico nas ocorrências de queimadas (média de 60 registros) e focos de calor (média de 50 registros), contribuindo para o aumento das concentrações de CO e PM_{2,5} na atmosfera. Foi observado que as queimadas se concentram em áreas urbanas, com maior frequência nos bairros Pinheirinho, Nações, Medicina, Anhumas e Novo Horizonte e a principal natureza de origem das queimadas, são os incêndios em lote vago em área urbana. A relação entre queimadas e focos de calor, mostrou que há uma subestimativa nos registros de focos de calor em comparação aos registros de queimadas.

Palavras-chave: Queimadas, Focos de calor, Satélites, Registros in situ.

Characterization of Wildfires in the Municipality of Itajubá, MG

ABSTRACT

Wildfires events are occurrences that negatively impact the environment, health, and the Brazilian economy. Therefore, understanding the areas most prone to these events and the periods of highest occurrence in each municipality is essential for planning preventive measures. This study assessed the records of wildfires (observed occurrences) and heat spots (estimates from meteorological satellites) in the municipality of Itajubá - MG, from 2019 to 2022, using wildfires records observed by the Itajubá Fire Department and heat spots data obtained through atmospheric remote sensing from the Wildfires Program of the National Institute for Space Research (INPE). The objectives of this study were to analyze the monthly and annual distribution of wildfire and heat spots occurrences and to observe their relationships with environmental variables (precipitation and soil moisture), carbon monoxide (CO), and particulate matter with a diameter smaller than 2.5 micrometers (PM_{2,5}). Additionally, the wildfires data were used to analyze the frequency of wildfires by neighborhood and the nature of their origins. Finally, the relationship between wildfires occurrences and heat spots was analyzed. The results showed that the period with the lowest precipitation volume and soil moisture increases the occurrence of wildfires. Between August and September, there is a peak in wildfires (average of 60 records) and heat spots (average of 50 records), contributing to higher CO and PM_{2,5} concentrations in the atmosphere. wildfires were

observed to concentrate in urban areas, with higher frequencies in the neighborhoods Pinheirinho, Nações, Medicina, Anhumas, and Novo Horizonte. The primary origin of wildfires was found to be fires in vacant lots within urban areas. The relationship between wildfires occurrences and heat spots revealed an underestimation in the heat spot records compared to wildfires records.

Keywords: Wildfires, Heat spots, Satellites, In situ records.

Introdução

A região Sudeste do Brasil, principalmente durante a estação seca, é suscetível a incêndios florestais e queimadas. O incêndio florestal é caracterizado pelo fogo sem controle que avança sobre qualquer forma de vegetação, podendo ser iniciado pelo homem (intencional ou acidental) ou por fonte natural (relâmpagos). Em contrapartida, a queimada representa o uso do fogo, seja para manejo de áreas de agricultura e pecuária ou com objetivos de conservação ambiental, como redução do combustível florestal (prevenção de incêndios), manejo da paisagem e preservação dos ecossistemas dependentes do fogo (IBAMA, 2023). Estima-se que os seres humanos sejam responsáveis por cerca de 75% de todos os eventos de queimadas e incêndios florestais (WWF, 2020).

A queima de biomassa é um processo de combustão incompleta que ocorre ao ar livre e é influenciado por diversos fatores, como o tipo de matéria vegetal envolvida, sua densidade, umidade, entre outros, além das condições ambientais. Devido à sua natureza incompleta, esse processo resulta na emissão inicial de substâncias como monóxido de carbono (CO) e material particulado (fuligem) (Junior et al., 2015).

Segundo Freitas et al. (2005), a queima de biomassa é descrita em quatro estágios: i) ignição, ii) chamas, iii) brasas e iv) extinção. A ignição é influenciada por diferentes fatores, incluindo o tipo de biomassa, níveis de umidade e condições ambientais, como temperatura, umidade relativa e velocidade do vento. No estágio de chamas das queimadas, as altas temperaturas causam a quebra das moléculas da biomassa. Isso resulta na decomposição de componentes de alto peso molecular, como carvão e alcatrão, que servem como fonte de energia primária para as chamas. Além disso, é nessa fase em que se inicia a liberação de compostos gasosos como o CO (monóxido de carbono) e CO₂ (dióxido de carbono). No estágio de brasa, onde a temperatura está mais baixa, há uma redução na produção de CO₂, entretanto, há um aumento na emissão de compostos oxidados, como o CO, além de rápida formação de partículas por acreção de partículas orgânicas de carbono. Por último, a estágio de

extinção ocorre quando há uma diminuição na quantidade de biomassa disponível para queima.

As queimadas e incêndios florestais predominam em vários biomas do Brasil, e têm aumentado proporcionalmente em relação aos indicadores de desmatamento. Além disso, as projeções para as regiões, sugerem que os regimes de fogo se intensificarão em decorrência das mudanças climáticas, que tornam as regiões mais secas e inflamáveis. Assim, espera-se o dobro da área queimada por incêndios florestais até 2050 (BRASIL, 2020).

No Brasil, o uso da prática de queimadas ainda é amplamente empregado como método de preparação de áreas agrícolas destinadas ao cultivo de lavouras, renovação de pastagens, controle e combate de pragas e doenças de plantas, bem como para lidar com o crescimento de plantas invasoras (Capeche, 2012). Segundo Lima (2018), a expansão da fronteira agrícola, atividades humanas de manejo do solo e pastagem aumentaram a ocorrência de queimadas, principalmente nos biomas do Cerrado e Amazônia. Quando as queimadas são realizadas de forma incorreta, podem resultar em queimadas descontroladas que afetam áreas de cultivo e plantações, podendo levar à perda de colheitas e comprometimento da produção agrícola, bem como afetar áreas urbanas.

As queimadas têm uma série de impactos negativos ao meio ambiente como: a alteração da estrutura da vegetação, a mortalidade de espécies, a perda de biodiversidade e degradação permanente da área (Araújo et al., 2013; Abadias et al., 2020). A queima de biomassa contribui para a emissão de poluentes e partículas que têm o potencial de alterar a composição atmosférica e comprometer a qualidade do ar (Langmann et al., 2009; Souza et al., 2020). O aumento das concentrações de poluentes atmosféricos resultantes das queimadas, exerce um impacto significativo na saúde das populações expostas. Esses impactos incluem o aumento de admissões hospitalares, de visitas à emergência e de problemas respiratórios (Arbex et al., 2004; Coelho et al., 2023).

Os poluentes microscópicos, ao penetrarem nos sistemas respiratório e circulatório do organismo humano, podem provocar doenças agudas e crônicas (BRASIL, 2021). O aumento no

número de atendimentos de urgência e internações hospitalares por doenças respiratórias tem sido associado à exposição à fumaça resultante da queima de biomassa florestal. No entanto, apesar dessas evidências, os efeitos das queimadas na saúde humana ainda são pouco estudados (Mascarenhas et al., 2008; Pereira, 2020).

No Brasil, as queimadas (controladas ou acidentais) são monitoradas diariamente pelo Programa de Monitoramento de Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (disponível em: <https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/focos/csv/>), através de diversos satélites, como por exemplo os satélites em órbita geoestacionária (*Geoestationary Operational Enviromental Satellite – GOES* e *Meteosat de Segunda Geração - MSG*) e os de órbita polar (*National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA*, *TERRA*, *AQUA*, *METOP* e *NPP*) (INPE, 2023).

Os sensores não identificam diretamente as queimadas ou incêndios, mas estimam a localidade dos focos de calor. O princípio físico de detecção de focos de calor por sensores remotos está associado ao fato de que um corpo em chamas emite máxima radiação eletromagnética (REM) na faixa termal média do espectro óptico de 3,7 μm a 4,1 μm (INPE, 2023). Dessa forma, utilizando as imagens de diversos satélites que operam neste espectro, é selecionado o pixel (elementos de resolução) com maior temperatura e obtidos assim os focos de calor.

Nos últimos anos as informações provenientes de satélites têm sido amplamente empregadas na estimativa de focos de calor no Brasil. Sua aplicação tem desempenhado um papel crucial na obtenção de dados precisos e em tempo real sobre as queimadas que ocorrem no país (Mesquita, 2008; Santana, 2016; Lima, 2018; Santos et al., 2019). Por exemplo, Lima (2018) realizou um estudo que quantificou os focos de calor nos biomas da Amazônia e do Cerrado durante as estações chuvosa e seca do ano de 2017. Os resultados mostraram que a quantidade de focos de calor na estação seca foi maior que na estação chuvosa, com máxima no mês de setembro, devido à escassez de chuvas.

Santana (2016) realizou um mapeamento de áreas queimadas na Floresta Amazônica a partir de séries temporais do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) entre os anos de 2000 e 2014. Os resultados indicaram uma forte correlação entre a área total queimada e o

desmatamento, com as áreas desmatadas sendo responsáveis por mais de 70% da área total queimada anualmente. Esses resultados evidenciam a influência humana nos padrões de queimadas atuais, seja por meio do uso do fogo para desmatamento em novas áreas ou para a manutenção de pastagens e atividades agrícolas.

Pereira et al. (2014) avaliaram a distribuição mensal de focos de calor no estado de Minas Gerais entre 1999 e 2009, utilizando dados de focos de calor provenientes do satélite NOAA-12 e NOAA-15 que fazem parte da série de satélites polares da NOAA. Em relação à variação mensal de focos de calor, os maiores valores foram registrados entre os meses de julho e novembro, com um pico acentuado em outubro. Já Santos (2020) constatou que as ocorrências de focos de calor em Minas Gerais estão relacionadas com o regime de precipitação. Santos et al. (2019) analisaram a distribuição espaço-temporal de focos de calor de Minas Gerais, entre os anos de 2003 e 2017, utilizando dados do satélite AQUA. Os resultados revelaram uma defasagem de dois meses entre o período de menor pluviosidade (julho) e o pico de ocorrências de focos de calor (setembro).

Além da detecção e caracterização dos focos de calor com satélite, atualmente existem técnicas de sensoriamento remoto destinadas a observar e quantificar os efeitos dos gases emitidos pelas queimadas. Por exemplo, o satélite *Sentinel 5 Precursor* (S5P), lançado em 2017 pela *European Space Agency* (ESA) numa órbita sol-síncrona a 824 km de altura para monitorar a poluição do ar. O sensor integrado ao satélite é referido como TROPOMI (*TROPOspheric Monitoring Instrument*) (Disponível em: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p>).

A utilização do TROPOMI é considerada atualmente a forma mais inovadora de detectar os níveis de poluentes no mundo. O TROPOMI é um sistema de quatro espectrômetros que mede as concentrações de vários componentes atmosféricos nas faixas espectrais do ultravioleta (UV), ultravioleta-visível (UV-VIS), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de ondas curtas (SWIR) (Prunet et al., 2021).

A compreensão sobre a natureza da origem das queimadas (intervenção humana) é fundamental para a gestão ambiental e a preservação do meio ambiente. A distinção de queimadas que ocorrem em áreas urbanas e rurais pode auxiliar órgãos públicos a tomarem medidas

mais eficientes e assertivas no combate às queimadas. Em áreas urbanas, incêndios podem surgir devido à negligência humana, descarte impróprio de resíduos, ou até mesmo ações criminosas. Nas áreas rurais, as queimadas frequentemente têm origem em atividades agrícolas e pecuárias descontroladas.

Para diminuir os impactos das queimadas, diversas estratégias de detecção de queimadas são empregadas atualmente, incluindo: i) sistemas de torres de monitoramento, ii) câmeras de vigilância, iii) registros *in locu* e iv) monitoramento via satélite. Por exemplo, o Corpo de Bombeiros da cidade de Itajubá (2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá) possui um banco de dados de registros de queimadas desde 2019. Este banco de dados abrange registros verificados e confirmados *in locu*. No entanto, uma alternativa eficiente e adicional é a utilização de satélites para o monitoramento da ocorrência de queimadas. Os satélites meteorológicos permitem o monitoramento de áreas extensas, inclusive em regiões de difícil acesso e com uma alta resolução temporal.

Embora existam bases de dados relacionadas às queimadas, ainda não há estudos que relacionam informações de satélites e observações em solo de registros de queimadas no município de Itajubá. Nesse contexto, o presente trabalho visa identificar a distribuição espacial e temporal das queimadas no período de 2019 a 2022 no município. Espera-se com os resultados, entender melhor a dinâmica das queimadas e seus efeitos no município. Mais especificamente, esse estudo visa: (1) avaliar a frequência por bairros e a natureza de origem das queimadas em Itajubá, através do banco de dados disponibilizado pelo Corpo de Bombeiros de Itajubá; (2) avaliar a distribuição mensal e anual dos registros de queimadas observadas em solo pelo Corpo de Bombeiros de Itajubá e sua relação com as variáveis ambientais, CO e PM_{2,5}; (3) avaliar a distribuição mensal e anual dos registros de focos de calor observados por satélites e sua relação com as variáveis ambientais, CO e PM_{2,5}; (4) avaliar a relação entre os registros de queimadas identificadas pelo Corpo de Bombeiros de Itajubá com os focos de calor observados por satélites.

Metodologia

Região de estudo

O município de Itajubá está localizado na região Sul do Estado de Minas Gerais, a 22°30'30" de latitude sul, 45°27'20" de longitude oeste. O relevo apresenta variações entre 872 e 1510 metros de altitude (Figura 1). De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2023b), o município abrange uma área de aproximadamente 294.835 km² e possui uma população estimada em 90.658 habitantes. Segundo o MAPBIOMAS (disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>), o município possui cerca de 68,34% de área destinada à agropecuária; 26,32% de florestas; 5,32% de áreas não vegetadas e 0,02% de corpos d'água.

A classificação climática de Köppen-Geiger indica que o clima de Itajubá é classificado como Cwa, caracterizado como um clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (Reboita et al., 2016). Na literatura, esse tipo climático é conhecido também por clima de monção (Reboita et al., 2015), pois os verões são úmidos e os invernos secos. A precipitação média anual é de 1458 mm, sendo que cerca de 80% desse valor ocorre entre os meses de outubro a março.

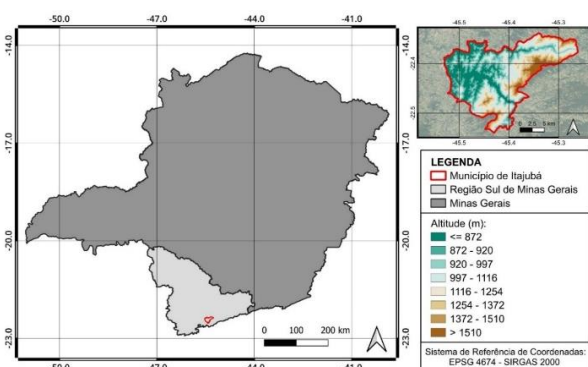


Figura 1. Localização e relevo do Município de Itajubá – MG. Fonte: IBGE (2023a); NASA (2023).

Dados

Registros de queimadas realizados pelo Corpo de Bombeiros

Segundo o 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá, durante todo o ano são recebidos através de canais oficiais de denúncias informações de ocorrências de queimadas no município de Itajubá. Os registros são realizados quando há guarnições de combate a incêndio ou guarnições especializadas de combate a incêndio florestal. Essas guarnições possuem a finalidade de extinguir o fogo, proteger a vida de possíveis vítimas,

preservar o meio ambiente, preservar indícios das causas do incêndio e evitar nova ignição. Conforme o manual técnico de padronização de registros de queimadas utilizado pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM

- Itajubá, as queimadas são classificadas em função do tipo de natureza. Para este estudo, foram observados 14 tipos de naturezas causadoras de queimadas, como indicado na Quadro 1.

Quadro 1. Sigla e tipo de natureza dos incêndios confirmados pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá no município de Itajubá - MG entre os anos de 2019 e 2022. Fonte: 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá.

Sigla	Tipo de Natureza	Definição
O02039	Incêndio em tronco de árvore	Incêndios ocorridos em troncos de árvore.
O04001	Incêndio em unidade de conservação (UC)	Incêndios ocorridos em Unidades de Conservação (UC) legalmente instituídas pelo poder público federal, estadual ou municipal, como estações ecológicas, reservas biológicas, parques, monumentos naturais, refúgios da vida silvestre, áreas de proteção ambiental, áreas de relevante interesse ecológico, florestas protegidas, reservas extrativistas, reservas de fauna, reservas de desenvolvimento sustentável e reservas particulares do patrimônio natural.
O04002	Incêndio no entorno de UC	Incêndios ocorridos no entorno de Unidades de Conservação (UC), também conhecidas como zonas de amortecimento.
O04003	Incêndio em produção agrícola / pasto	Incêndios ocorridos em áreas destinadas à agropecuária, sejam áreas de produção agrícola, cultivos de grãos, cereais e vegetais.
O04005	Incêndio em área rural pertencente a órgão público	Incêndios ocorridos em áreas rurais pertencentes a órgãos públicos em geral, poderes Executivo, Legislativo e Judiciário da União, Estado ou Município.
O04006	Incêndio em área rural pertencente a órgão privado	Incêndios ocorridos em áreas rurais pertencentes a órgãos privados em geral.
O04007	Incêndio em propriedade rural particular	Incêndios ocorridos em propriedades rurais em geral, como chácara, sítio, fazenda, rancho, estância e granja.
O04008	Incêndio em área rural não protegida	Incêndios ocorridos em áreas rurais não protegidas, como terras sem dono, não incorporadas ao domínio privado e sem uso pelo poder público.
O04009	Incêndio em área urbana pertencente a órgão público	Incêndios florestais ocorridos em áreas urbanas pertencentes a órgãos públicos em geral, poderes Executivo, Legislativo e Judiciário da União, Estado ou Município.
O04010	Incêndio em área urbana pertencente a órgão privado	Incêndios florestais ocorridos em áreas urbanas pertencentes a órgãos privados em geral.
O04011	Incêndio em área urbana não protegida	Incêndios florestais ocorridos em áreas urbanas não protegidas, sejam terras sem dono, não incorporadas ao domínio privado e sem uso pelo poder público.
O04012	Incêndio em lote vago (área urbana)	Incêndios em lotes vagos, áreas urbanas de propriedade particular não construídas.
O04013	Incêndio em pasto	Incêndios ocorridos em áreas de pasto ou vegetação utilizada para a alimentação do gado.
O04014	Incêndio às margens de rodovia	Incêndios ocorridos em vegetação às margens da rodovia.

Registros de focos de calor

Foram utilizados dados de focos de calor provenientes das detecções de satélites polares e geoestacionários disponibilizados no portal BDqueimadas do INPE (disponível em: <https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/focos/csv/>). As ocorrências representam a data e hora do registro de um foco de calor em superfície realizado através do canal de 4 μm dos satélites. Os sensores dos satélites polares (geoestacionários) possuem resolução espacial de 750 m (2 km) e temporal de 12 horas (10 min).

CO e material particulado

Os registros de monóxido de carbono (CO) são fornecidos pelo satélite Sentinel-5p (S5P) (disponível em: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p>) com resolução espacial e temporal de 1,1 km e 1 dia, respectivamente. O conjunto de dados disponíveis na plataforma tem a data inicial em junho de 2018. O S5P é um satélite de observação terrestre desenvolvido pela *European Space Agency* (ESA) como parte do programa *Copernicus* de observação da Terra. Ele fornece as concentrações atmosféricas de ozônio, metano, formaldeído, aerossol, monóxido de carbono, óxido de nitrogênio e dióxido de enxofre (disponível em: <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p>). O sensor *Tropospheric Monitoring Instrument* (TROPOMI) fornece medições espectrais contínuas de alta resolução nas bandas ultravioleta (UV), visível (VIS), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de ondas curtas (SWIR) (disponível em: [https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5#:~:text=The%20Sentinel%2D5%20mission%20consists,3%20\(2305%2D2385nm\)](https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-5#:~:text=The%20Sentinel%2D5%20mission%20consists,3%20(2305%2D2385nm))). Acoplado ao S5P, o TROPOMI observa a abundância global de CO explorando medições de radiação da Terra em céu claro e céu nublado na faixa espectral de 2,3 μm da região do SWIR do espectro eletromagnético. As observações de céu claro do TROPOMI fornecem colunas totais de CO com sensibilidade à camada limite troposférica (Disponível em: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_OFF_L_L3_CO#description).

[engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_OFF_L_L3_CO#description](https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/COPERNICUS_S5P_OFF_L_L3_CO#description)).

Os dados de material particulado com tamanho inferior a 2,5 micrômetros ($\text{PM}_{2,5}$) são fornecidos pelo Grupo de Análise de Composição Atmosférica da Universidade de Washington nos Estados Unidos (disponível em: <https://wustl.app.box.com/v/ACAG-V5GL03-GWRPM25/folder/176283878461>) com resolução espacial de $0,01^\circ \times 0,01^\circ$ e temporal de 1 mês. Os dados disponíveis abrangem o período compreendido entre 1998 e 2021. A estimativa do $\text{PM}_{2,5}$ é realizada a partir da profundidade óptica de aerossol (AOD) estimada pelos sensores *Moderate-resolution Imaging Spectro-radiometer* (MODIS) e *Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer* (MISR) acoplados ao satélite TERRA e do sensor *Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor* (SeaWiFS) a bordo do satélite *OrbView 2* (também conhecido como *SeaStar*) com o modelo de transporte químico *GEOS-Chem* e posteriormente calibrado para observações terrestres globais usando uma Regressão Geograficamente Ponderada (Donkelaar et al., 2021).

Variáveis ambientais

Com o objetivo de avaliar a relação entre os focos de calor e registros de queimadas do 2°Pel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá com as variáveis ambientais, foram utilizados dados de precipitação e umidade do solo para o município de Itajubá. Os dados de precipitação foram fornecidos pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) através de sua estação meteorológica automática (disponível em: <https://meteorologia.unifei.edu.br/>). Para avaliar os períodos com maior ocorrência de precipitação em Itajubá durante o período de estudo, foram obtidos os acumulados mensais de precipitação durante os anos de 2019 a 2022.

Para avaliar a umidade do solo, foi utilizado o produto *soil_moisture_am* obtido pelo conjunto de dados *soil moisture radiometer enhanced* (disponível em: https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA_SMAP_SPL3SMP_E_005). O produto é proveniente da *Mission Soil Moisture Active Passive* (SMAP) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) (maiores informações sobre o satélite em: <https://space.oscar.wmo.int/satellites/view/smap>). A resolução espacial dos dados é de 9 km, enquanto

a resolução temporal é entre 2 e 3 dias e a unidade de medida é m^3/m^3 . Os dados disponíveis têm a data inicial de 31 de março de 2015. Os dados se referem à umidade da superfície do solo (representando aproximadamente os 5 cm

superiores da coluna do solo em média, dada em m^3/m^3 , denominada como “fração do volume”) (O'Neill et al., 2021).

Os detalhes dos dados utilizados neste trabalho podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1. Especificação dos dados utilizados no trabalho.

Dados	Fonte	Unidade	Resolução horizontal	Resolução temporal
Queimadas	2°Pel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá	-	-	-
Focos de calor	INPE (https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/focos/csv/)	-	750 m - 2 km	10 min - 12 h
Precipitação	UNIFEI (https://meteorologia.unifei.edu.br/)	mm	-	1 mês
Umidade do solo	Google Earth Engine (https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/NASA_SMAP_SPL3S_MP_E_005)	m^3/m^3	9 km	2-3 dias
PM _{2,5}	Grupo de Análise de Composição Atmosférica da Universidade de Washington (https://wustl.app.box.com/v/ACAG-V5GL03-GWRPM25/folder/176283878461)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,01°×0,01°	1 mês
CO	Google Earth Engine (https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/sentinel-5p)	DU	1,1 km	1 dia

Distribuição temporal e espacial e tipo de natureza das queimadas registradas pelo 2°Pel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá

Para analisar a distribuição das queimadas registradas pelo 2°Pel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá, foram coletados dados sobre as ocorrências de queimadas ocorridas durante o período de 2019 a 2022. Após a coleta, os dados foram organizados por:

- 1) Mês e ano de ocorrência;
- 2) Ocorrências por bairros de Itajubá;
- 3) Natureza principal de origem.

Distribuição temporal dos focos de calor estimados por satélites

Foram coletados dados de focos de calor no município de Itajubá para o período de 2019 a 2022. Por meio do portal BDqueimadas do INPE, realizou-se o *download* de todas as informações disponíveis referentes aos registros de focos de calor dentro dos limites municipais. Após a obtenção dos dados, procedeu-se à etapa de tratamento e organização. Nessa fase foram

realizados o controle de qualidade e padronização dos dados, visando eliminar inconsistências e garantir a confiabilidade dos resultados obtidos.

Distribuição temporal de CO, PM_{2,5} e das variáveis ambientais

Para avaliar o comportamento das concentrações de CO e PM_{2,5} em Itajubá, foi realizada uma análise temporal da distribuição mensal dessas variáveis. Essa abordagem permitiu identificar os padrões e o comportamento dessas variáveis durante as estações do ano.

Com os registros diários de CO obtidos por meio do satélite S5P durante o período compreendido entre 2019 e 2022, foram realizados:

- 1) Média mensal e anual da concentração de CO;
- 2) Média espacial mensal de CO.

Através dos dados mensais de PM_{2,5} disponibilizados pelo Grupo de Análise de Composição Atmosférica da Universidade de Washington referente ao período compreendido entre 2019 e 2021, foram realizados:

- 1) Média mensal e anual da concentração de $PM_{2,5}$;
- 2) Média espacial mensal de $PM_{2,5}$.

Foram utilizados dados das variáveis ambientais para estabelecer uma relação entre essas informações, com os resultados obtidos de CO, $PM_{2,5}$, registros de queimadas observados pelo 2°Pel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá e de focos de calor identificados por satélites. Por meio dessa análise, foi possível avaliar de que forma as condições ambientais podem exercer influência sobre a incidência de queimadas e a poluição atmosférica em Itajubá.

Por meio dos registros de precipitação mensal acumulada em Itajubá no período de janeiro de 2019 a dezembro de 2022, foi avaliada a distribuição mensal da precipitação acumulada.

Para avaliar a umidade do solo, utilizou-se o produto *soil_moisture_am* do conjunto de dados *soil moisture radiometer enhanced*, entre o período de janeiro de 2019 a dezembro de 2022. A partir desses dados, foram realizadas:

- 1) Média mensal e anual da umidade do solo;
- 2) Média espacial mensal de umidade do solo.

Resultados e discussão

Avaliação da natureza das queimadas e a sua frequência por bairros do município de Itajubá

A Figura 2 apresenta o acumulado dos registros de queimadas de 2019 a 2022 agrupados pela natureza principal de origem das queimadas. Observa-se que as naturezas de origem das

queimadas mais recorrentes são os incêndios em lote vago (área urbana) (O04012), incêndios em produção agrícola / pasto (O04003) e incêndios em área urbana não protegida (O04011). Os números de ocorrências para cada categoria foram de 350, 250 e 100, respectivamente.

De maneira geral, as principais naturezas de origem dos focos de queimadas ocorrem em áreas urbanas (O04012 e O04011). Ocorrências como essas, foram observadas por Crispim (2010) e Assis e Lucas (2018). Os autores ressaltaram que as queimadas em áreas urbanas podem ocorrer junto ao meio fio, no quintal das residências e nos imóveis comerciais, bem como em terrenos baldios. Os autores indicam que essas áreas servem como uma espécie de depósito de resíduos para moradores locais, onde, após um certo período de acúmulo, optam pela prática da queima como meio de limpeza dessas áreas.

A segunda natureza de origem de queimadas mais comum (O04003) ocorre em áreas rurais. Essas práticas são comuns em regiões tropicais como o Brasil, especialmente em áreas destinadas à agropecuária. Na literatura podem ser observados estudos que corroboram com esses resultados. Segundo Crispim (2010), as queimadas em fazendas possuem a finalidade de manejo das áreas de pastagem ou de facilidade para a colheita em áreas de agricultura. Em adição, Rocha e Nascimento (2021) mostraram que as queimadas possuem estreita relação com o desmatamento e as atividades agropecuárias nos biomas brasileiros, onde as queimadas são empregadas pelos povos tradicionais e são utilizadas para limpeza de pastos e preparo de áreas para plantio.

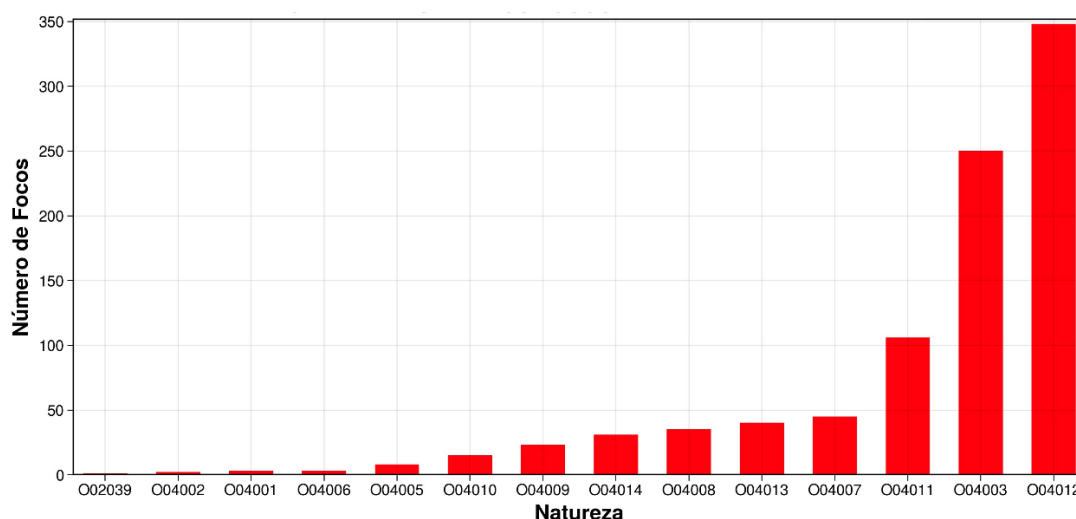


Figura 2. Acumulado de queimadas por natureza principal de origem entre 2019 e 2022. Fonte: 2°Pel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá.

A Figura 3 apresenta o acumulado anual e total dos registros de queimadas de 2019 a 2022, agrupados por bairros de ocorrência, fornecidos pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá. No total, foram registradas 948 queimadas, com um aumento significativo em 2020, que apresentou 572 ocorrências. Ao relacionar as ocorrências de queimadas com o regime de precipitação, nota-se que 2020 foi o ano com o menor índice de precipitação (1315 mm) e com maior número de queimadas, indicando uma relação entre períodos de seca e o aumento da ocorrência de queimadas. Estudos realizados para avaliar a relação entre

queimadas e precipitação mostraram resultados semelhantes, onde foram constatados que há um aumento nas ocorrências de queimadas em períodos de baixa precipitação (Caldas et al., 2014; Almeida e Guimarães, 2022; Silva et al., 2022).

Na Figura 3, pode ser observado que o bairro Pinheirinho apresentou o maior número de queimadas, com 68 ocorrências. Em sequência, os bairros das Nações e Medicina figuram com 39 ocorrências cada. Outros dois bairros, Anhumas e Novo Horizonte, também tiveram um número significativo de registros de queimadas, ambos com 35 ocorrências.

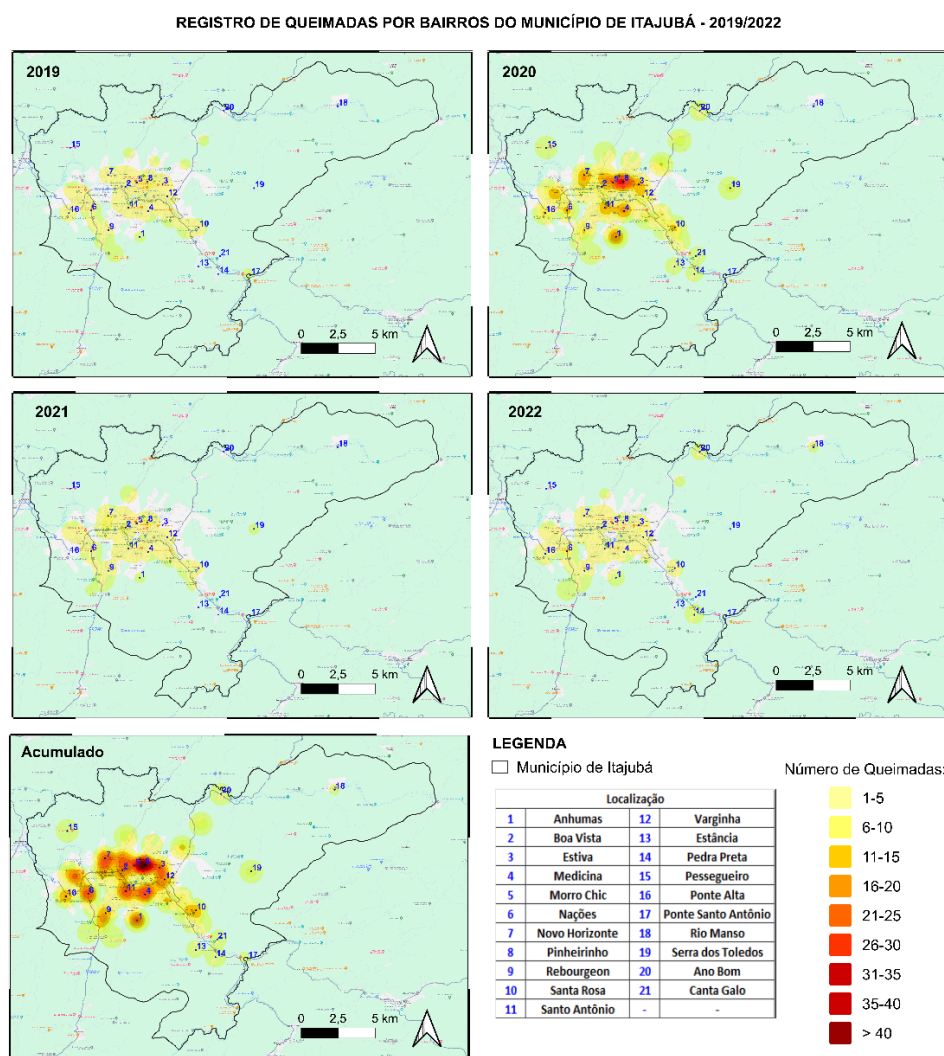


Figura 3. Mapa espacial do acumulado anual e total dos registros de queimadas por bairros em Itajubá. Fonte: 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá.

Distribuição temporal dos focos de calor, registro de queimadas pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá e precipitação

A Figura 4a apresenta a variação anual e acumulada dos registros de queimadas pelo

2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá. Observa-se um aumento no número de queimadas nos meses de agosto e setembro, atingindo o pico em agosto, com uma média de 60 registros. Paralelamente, os resultados de ocorrências de focos de calor

provenientes do BDqueimadas do INPE, mostraram um aumento no número de focos de calor nos meses de agosto e setembro, atingindo o pico em setembro, com uma média de 50 focos (Figura 4b).

Ao relacionar esses resultados com o acumulado mensal de precipitação (Figura 4c), observa-se uma relação entre a sazonalidade das queimadas, focos de calor e a precipitação. Nos meses com maior pluviosidade (outubro a março, média mensal de precipitação > 100 mm), os registros de queimadas apresentam baixa incidência (média < 30 registros), assim como os focos de calor (média < 10 focos). Também pode ser observado que o período de maior ocorrência de queimadas (agosto) e focos de calor (setembro) se inicia até dois meses após o período de maior escassez de chuva (julho). Isso ocorre porque a redução da precipitação não corresponde ao aumento imediato na ocorrência de queimadas em vegetação, pois o solo e o material combustível para queima continuam úmidos até um certo período.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram com os resultados encontrados por Santos et al. (2019). Esses autores identificaram que o período de máxima ocorrência de queimadas em Minas Gerais compreende os meses de julho a outubro, situando-se entre a estação seca e o início da chuvosa no sudeste do Brasil, sendo setembro o mês de maior incidência. Além disso, destacaram a relevância da precipitação na distribuição dos focos de calor no estado de Minas Gerais, embora reconheçam que outras variáveis também podem influenciar sua ocorrência.

A relação entre queimadas e focos de calor, mostrou que há uma subestimativa nos registros de focos de calor em comparação aos registros de queimadas (Figuras 4a e 4b). Isso ocorreu porque nem todos os focos de calor são detectados por satélites, devido a algumas condições que impedem ou prejudicam muito a detecção dos focos de calor.

De acordo com o INPE (2023), essas limitações incluem frentes de fogo menores que 1 x 30 m; fogo apenas no chão de uma floresta densa sem afetar a copa das árvores; nuvens cobrindo a região; queimada de pequena duração, ocorrendo entre o horário das imagens disponíveis e fogo em uma encosta de montanha. Além disso, a detecção de focos de calor é limitada à resolução horizontal dos sensores dos satélites, onde um foco de calor pode estar associado a vários focos de queimadas. A relação foco de calor e queimada não é direta nas

imagens de satélite. Um foco de calor indica a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (pixel), que varia de 375 m x 375 m até 5 km x 4 km, dependendo do satélite. Neste pixel pode haver uma ou várias frentes de fogo ativo distintas que a indicação será de um único foco.

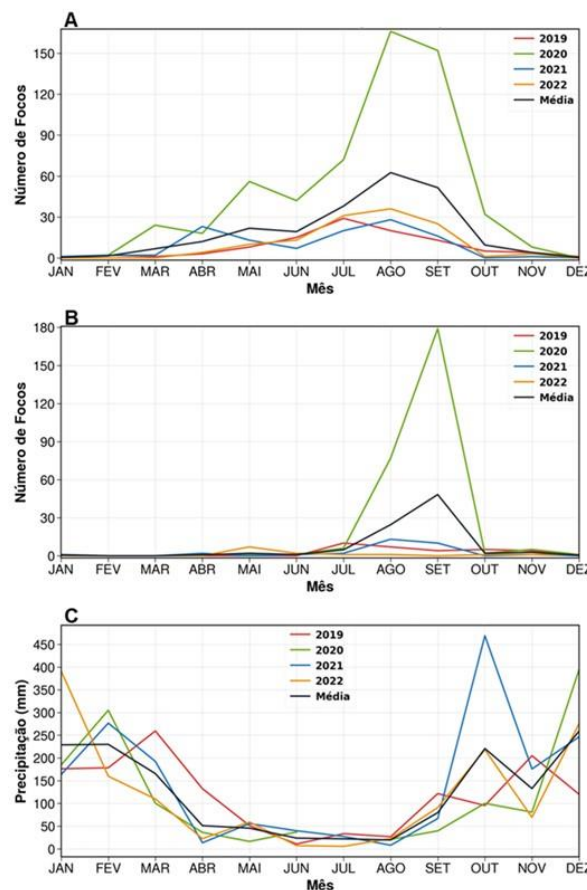


Figura 4. Distribuição média e anual de queimadas, focos de calor e precipitação em Itajubá. (a) Queimadas a partir dos dados fornecidos pelo 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá, (b) Focos de calor registrados a partir das informações do BDqueimadas do INPE e (c) Precipitação acumulada mensal (mm/mês) registrada pela estação meteorológica automática da UNIFEI. As linhas vermelha, verde, azul, amarela e preta representam, respectivamente, as variações das variáveis para os anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e a média mensal dos anos de estudo. Fonte: 2ºPel/1ªCia/7ªCiaIndBM – Itajubá; INPE; UNIFEI.

Distribuição mensal das concentrações de CO, PM_{2,5} e umidade do solo

A utilização de satélites para mapear as concentrações de PM_{2,5} e CO na atmosfera é

essencial para o monitoramento de queimadas, já que durante eventos de queimadas há a liberação de CO e PM_{2,5} para a atmosfera. Ao analisar a distribuição média mensal da concentração de CO (Figura 5a) e PM_{2,5} (Figura 5b), observa-se que ambas as concentrações apresentam pico no mês de setembro, com valores médios superiores a 70 DU e 16 µg/m³, respectivamente. Esse pico em setembro está associado às maiores frequências de queimadas registradas pelo 2°Pel/1ªCia/7ªCiaIndBM - Itajubá, juntamente com os focos de calor identificados pelos satélites de monitoramento (Figuras 4a e 4b).

A partir do mês de outubro é observado um decréscimo das concentrações de CO e PM_{2,5}. Esse efeito é atribuído a fatores como precipitação e umidade do solo. Durante a estação chuvosa em Itajubá (outubro a março) são observados acumulados de precipitação com média superior a 100 mm/mês (Figura 4c), que auxilia no aumento da disponibilidade de água no solo (Figura 5c), e dificulta a queima de material combustível como a biomassa. Além disso, a diminuição da concentração de PM_{2,5} na atmosfera é justificada pela deposição dessa partícula devido à ocorrência de precipitação. Outros estudos apresentaram resultados semelhantes. Shikwambana e Kganyago (2020), Sarra e Mülfarth (2021) e Oliveira et al. (2024) demonstraram que durante períodos de seca há um aumento nas ocorrências de queimadas, bem como nas concentrações de CO e PM_{2,5} na atmosfera. Em contraste, durante o período úmido observaram uma redução desses parâmetros.

A relação entre as variáveis ambientais, CO, PM_{2,5} e queimadas já foram estudadas em várias partes do mundo e reforçam os resultados encontrados no presente estudo. De acordo com Galanter et al. (2000) a queima de biomassa tem o maior impacto global sobre as contribuições de CO na atmosfera, contribuindo de 15 a 30% em todo o CO troposférico global. Soares (1985) avaliou que o material combustível com alto teor de umidade não queima. Isso se deve à “umidade de extinção”, dada pelo conteúdo de umidade entre 25 e 30% do material combustível. Dessa forma, a umidade acima desse limite impede a combustão e a propagação de queimadas.

Distribuição espacial das concentrações de CO, PM_{2,5} e umidade do solo

As Figuras 6 e 7 apresentam a distribuição média espacial mensal de CO e PM_{2,5},

respectivamente, para o município de Itajubá. Os resultados indicam uma relação entre as concentrações dessas variáveis, evidenciando que, no final do período seco na região (setembro), ocorrem as maiores concentrações. Nesse período, as concentrações de CO e PM_{2,5} ultrapassam 70 (DU) e 15 (µg/m³), respectivamente. Após o pico, durante o início do período úmido (outubro a dezembro), ocorre uma redução gradativa na concentração dessas variáveis.

As queimadas e os incêndios florestais compõem a principal fonte de emissão de poluentes atmosféricos em várias regiões do Brasil. A queima de biomassa decorrente de atividades antrópicas, além de liberar gases de efeito estufa, libera também grandes quantidades de PM_{2,5} (WRI BRASIL, 2021). Estudos realizados no Brasil indicam que as maiores (menores) concentrações de PM_{2,5} e CO na atmosfera são observadas durante a estação seca (úmida), sendo essas variações causadas, principalmente, pelo aumento do número de focos de queimadas (Silva et al., 2010; Andrade et al., 2012; Ribeiro et al., 2020; Almeida e Guimarães, 2022).

A Figura 8 apresenta a distribuição média espacial mensal de umidade do solo (m³/m³) para o município de Itajubá. Entre os meses de abril a setembro observa-se os menores valores de umidade no solo (< 0,23 m³/m³). Já entre os meses de outubro a março são observados os maiores valores de umidade no solo (> 0,23 m³/m³). Dessa forma, pode ser observado o caráter sazonal da disponibilidade de água no solo. Durante o período seco, há uma redução significativa na umidade do solo, aumentando assim, a vulnerabilidade da superfície e o risco de queimadas. Por outro lado, no período úmido, o aumento das chuvas eleva a umidade do solo, reduzindo consideravelmente a vulnerabilidade da superfície e reduzindo os eventos de queimadas.

O aumento da probabilidade de ocorrência de queimadas está relacionado a vários fatores, sendo um deles a redução da precipitação (Almeida e Guimarães, 2022; Silva et al., 2022). Além de aumentar a umidade do solo, a precipitação também aumenta o teor de umidade do material combustível, diminuindo a possibilidade de incêndios na vegetação, por outro lado, a falta de chuvas durante uma seca prolongada, diminui o teor de umidade do solo e do material combustível, tornando-o mais suscetível ao fogo (Nepstad et al., 2007).

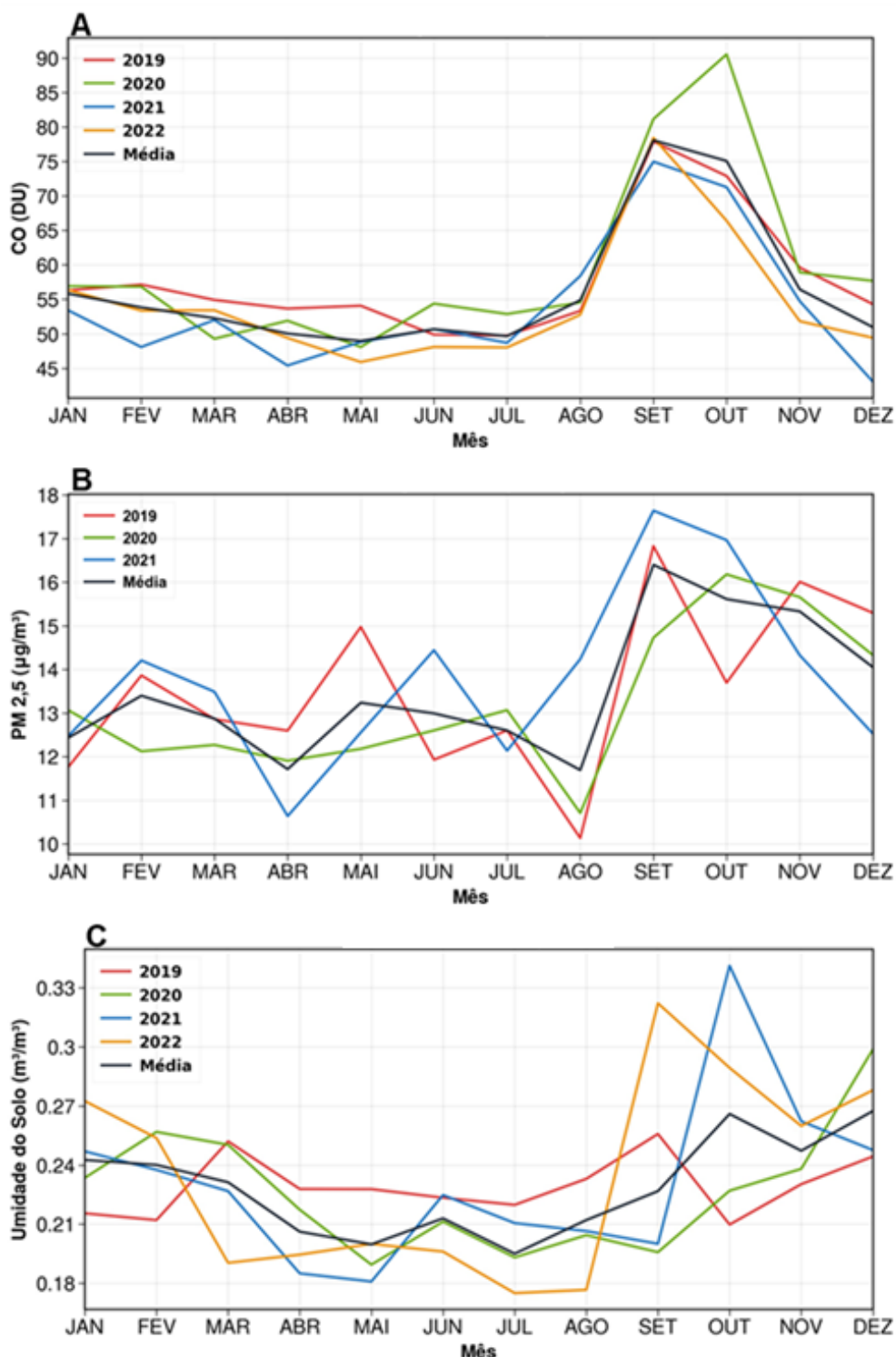


Figura 5. Distribuição média e anual de CO, PM_{2,5} e umidade do solo em Itajubá. (a) Concentração de CO (Unidade Dobson-DU) proveniente do sensor TROPOMI do satélite S5P, (b) Concentração de PM_{2,5} (µg/m³) proveniente do Grupo de Análise de Composição Atmosférica da Universidade de Washington e (c) Disponibilidade de umidade do solo (m³/m³) proveniente do produto *soil_moisture_am* do conjunto de dados *soil moisture radiometer enhanced*. As linhas vermelha, verde, azul, amarela e preta representam, respectivamente, as variações das variáveis para os anos de 2019, 2020, 2021, 2022 e a média mensal dos anos de estudo (Figuras 5a, 5b e 5c). Para o ano de 2022 não havia dados de PM_{2,5} disponíveis. Fonte: *Google Earth Engine*; Grupo de Análise de Composição Atmosférica da Universidade de Washington.

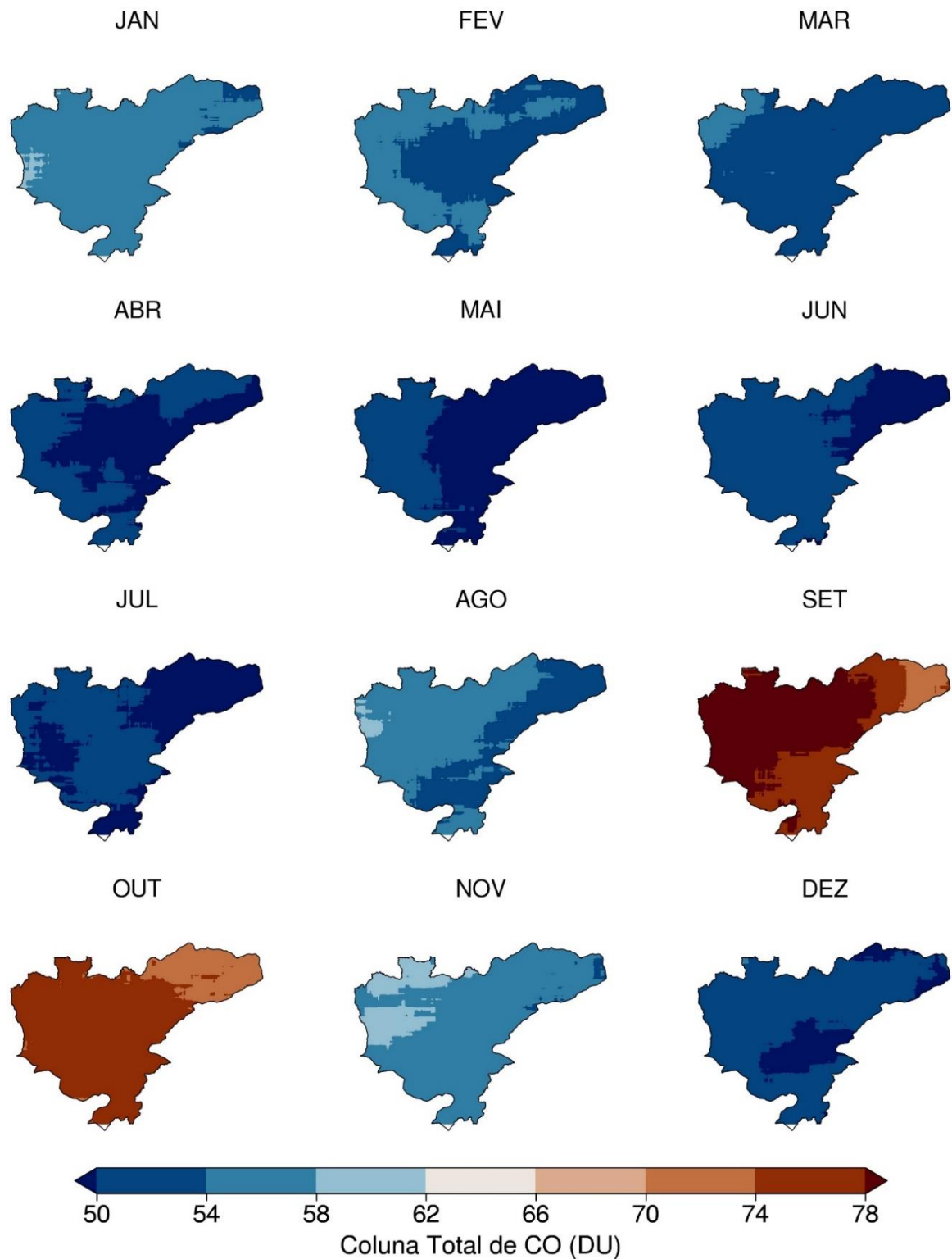


Figura 6. Distribuição espacial da concentração média mensal de CO (DU) em Itajubá proveniente do sensor TROPOMI do satélite S5P. Fonte: *Google Earth Engine*.

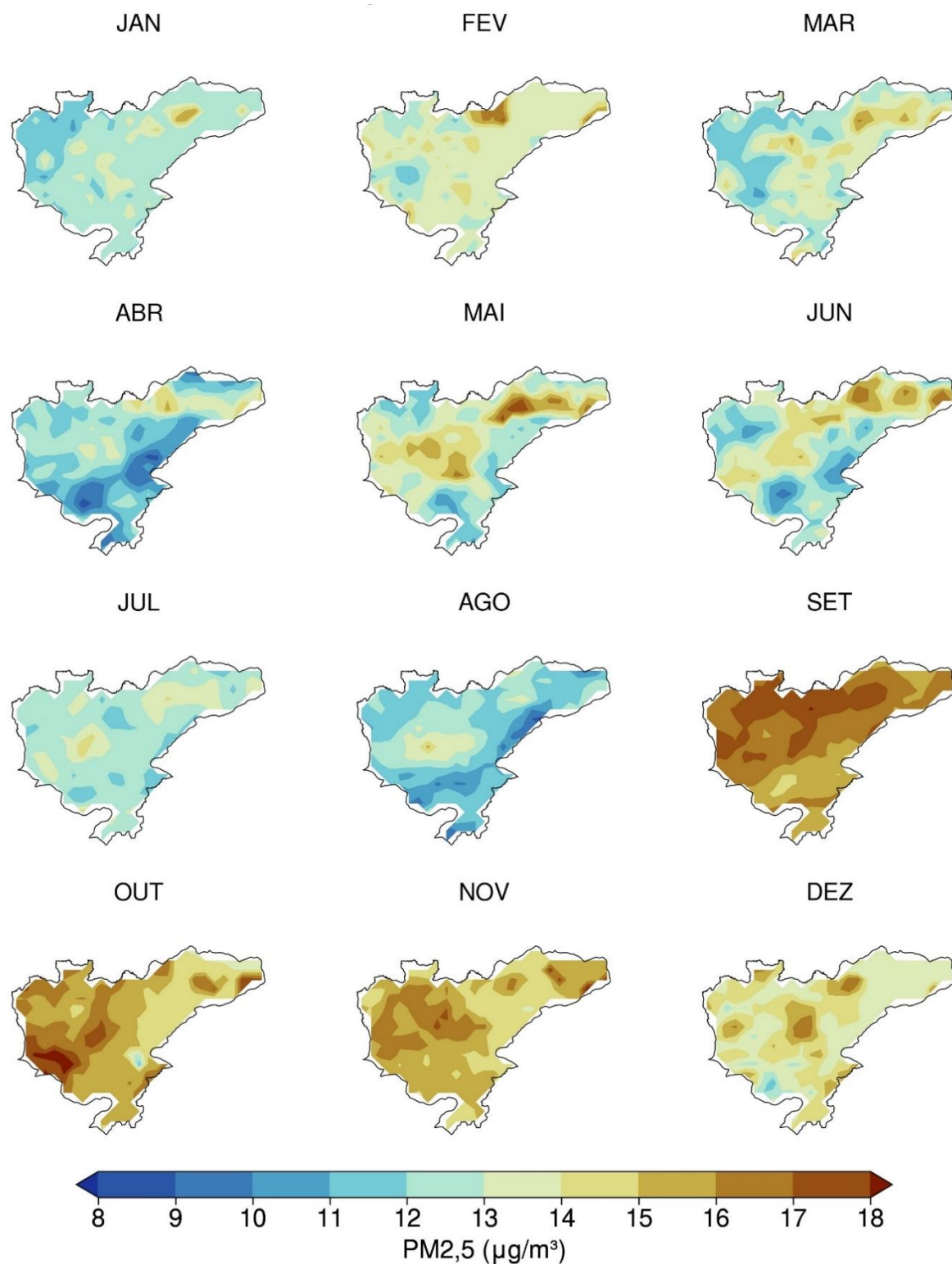


Figura 7. Distribuição espacial da concentração média mensal de PM_{2,5} (µg/m³) em Itajubá proveniente do Grupo de Análise de Composição Atmosférica da Universidade de Washington. Fonte: Grupo de Análise de Composição Atmosférica da Universidade de Washington.

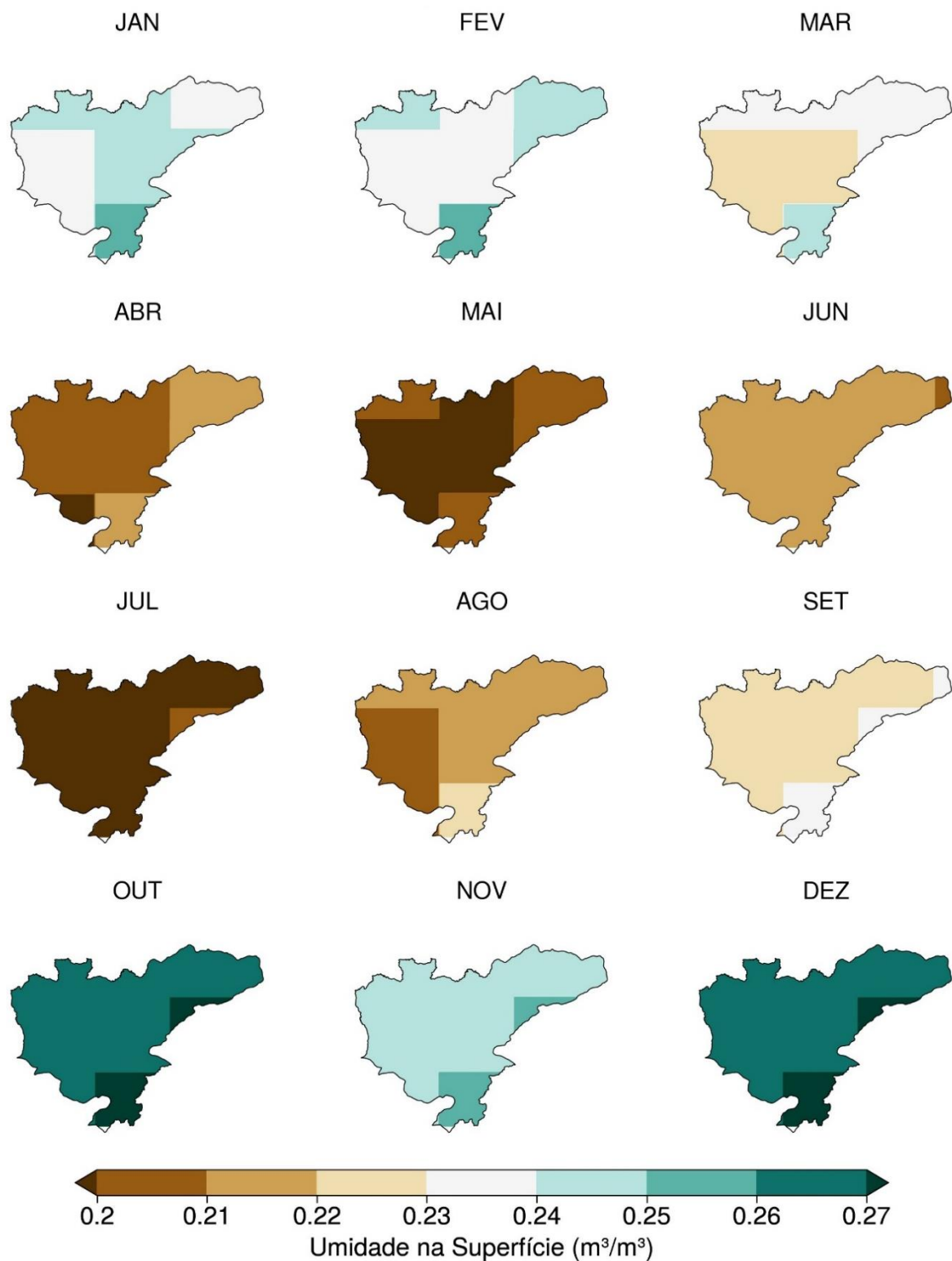


Figura 8. Distribuição espacial média mensal da umidade do solo (m³/m³) em Itajubá proveniente do produto *soil_moisture_am* do conjunto de dados *soil moisture radiometer enhanced*. Fonte: Google Earth Engine.

Conclusão

O presente estudo avaliou os registros de queimadas e de focos de calor e seus efeitos no município de Itajubá durante o período de 2019 a 2022. No total foram detectadas 948 queimadas (registros provenientes do Corpo de Bombeiros de Itajubá) e 348 focos de calor (registros provenientes de satélites meteorológicos) entre os anos de 2019 e 2022, respectivamente.

Foram avaliadas a frequência por bairros e a natureza de origem das queimadas em Itajubá, através do banco de dados disponibilizado pelo Corpo de Bombeiros de Itajubá. Os resultados mostraram que os bairros com maior incidência de queimadas durante o período de estudo foram Pinheirinho (68 ocorrências), Nações e Medicina (39 ocorrências) e Anhumas e Novo Horizonte (35 ocorrências).

Em relação à natureza principal de origem das queimadas, pode-se dizer que as origens das queimadas mais recorrentes são os incêndios em lote vago (área urbana) (O04012), incêndios em produção agrícola / pasto (O04003) e incêndios em área urbana não protegida (O04011). O número de focos registrados para cada categoria foi de 350, 250 e 100, respectivamente. De maneira geral, as ocorrências de focos de queimadas têm origem em áreas urbanas (O04012 e O04011).

A distribuição mensal dos registros de queimadas observadas em solo pelo Corpo de Bombeiros de Itajubá mostrou que o período crítico em Itajubá ocorre em agosto, apresentando uma média de 60 registros. A distribuição mensal dos registros de focos de calor observados por satélites mostrou que o período crítico em Itajubá ocorre em setembro, apresentando uma média de 50 focos de calor. O pico nas concentrações de CO e PM_{2,5} ocorre em setembro, com valores médios ultrapassando 70 DU e 16 µg/m³, respectivamente. Esse evento está associado às maiores frequências de queimadas observadas em solo pelo Corpo de Bombeiros de Itajubá e de focos de calor identificados pelos satélites. Após o início do período úmido (entre de outubro e dezembro) ocorre uma redução gradual nas ocorrências de queimadas e focos de calor, o que por sua vez influencia na diminuição das concentrações de CO e PM_{2,5}.

O ano de 2020 se destacou com 572 registros de queimadas, 273 focos de calor, coincidindo com o menor acumulado de precipitação (1315 mm). Os meses com maiores

acumulados de precipitação e umidade do solo (outubro a março) correspondem ao período com menores registros de focos de calor e de queimadas. Já o pico de registros de queimadas (agosto) e focos de calor (setembro), ocorre logo após o período de registro dos menores acumulados de precipitação e de umidade no solo (julho).

A relação entre as ocorrências de queimadas identificadas pelo Corpo de Bombeiros de Itajubá com os focos de calor observados por satélites, mostrou que há uma subestimativa nos registros de focos de calor (estimativas por satélites meteorológicos) em comparação aos registros de queimadas (observações). Isso ocorreu porque nem todos os focos de calor são detectados por satélites. Fatores limitantes, como a extensão das frentes de fogo, nebulosidade, topografia, vegetação, duração das queimadas e resolução horizontal dos sensores de satélites, impedem a detecção de todos os focos de calor.

Esse estudo é pioneiro no município de Itajubá e mostra-se de grande relevância para formulação de políticas públicas, pois os resultados obtidos trazem informações importantes para direcionar esforços em fiscalização, repressão a crimes ambientais, educação ambiental e programas de conservação. Além disso, a criação de uma ferramenta dedicada a alertas sobre ocorrências de focos de calor permitiria informar aos gestores de instituições locais sobre a potencial incidência de queimadas, proporcionando um meio único de acompanhamento e prevenção.

Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições que disponibilizaram os dados utilizados neste estudo e à Pró-Reitoria de Extensão da UNIFEI (PROEX) pelo suporte no desenvolvimento da pesquisa, bem como à FAPEMIG e CNPq.

Referências

- Abadias, I. M.; Fonseca, P. R. B. da.; Barbosa, C. H. (2020). Manejo da pecuária: uma análise sobre impactos ambientais. *Revista EDUCAmazônia*, 25(1), 113-125. <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/educamazonia/article/view/7669/5366>
- Almeida, W. P. de; Guimarães, C. L. da S. (2022). Impactos das queimadas em época de estiagem sobre a qualidade do ar de Porto Velho (Rondônia) e seus possíveis efeitos na saúde.

- Revista Brasileira do Meio Ambiente*, 10(1), 124-136.
<https://www.revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/1108/332>
- Andrade, V. S.; Artaxo, P.; Hacon, S.; Carmo, C. N. (2012). Influência do material particulado (PM_{2.5}) de queimadas e variáveis meteorológicas na morbidade respiratória de crianças em Manaus, AM. *Revista Geonorte*, (1)4, 744-758.
<https://www.periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1871/1748>
- Arbex, M. A.; Cançado, J. E. D.; Pereira, L. A. A.; Braga, A. L. F.; Saldiva, P. H. do N. (2004). Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. *Jornal Brasileiro De Pneumologia*, 30(2), 158-172. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132004000200015>
- Araújo, H. J. B.; Oliveira, L. C.; Vasconcelos, S. S.; Correia, M. F. 2013. Danos provocados pelo fogo sobre a vegetação natural em uma floresta primária no estado do Acre, Amazônia brasileira. *Ciência Florestal*, 23(2), 297-308.
<https://doi.org/10.5902/198050989276>
- Assis, S. S. de.; Lucas, F. da M. (2018). Queimadas urbanas em Ituiutaba (MG). *Revista Inova Ciência & Tecnologia*, 4(1), 32-40.
<https://periodicos.iftm.edu.br/index.php/inova/article/view/226/265>
- BRASIL. (2020). *Queimadas e incêndios florestais: alerta de risco sanitário e recomendações para a população*. MS/CGDI. https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/queimadas_incendios_florestais_alerta_risco.pdf
- BRASIL. (2021). *Queimadas e incêndios florestais: atuação da vigilância em saúde ambiental*. MS/CGDI. <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/svsa/vigilancia-ambiental/queimadas-e-incendios-florestais-atuacao-da-vsa/view>
- Capeche, C. L. (2012). *Impactos das queimadas na qualidade do solo: degradação ambiental e manejo e conservação do solo e água*. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/82108/1/II-Encontro-Cientifico.pdf>
- Caldas, J. M.; Silva, F. B.; Silva Junior, C. H. L. (2014). *Análise de focos de queimadas no Parque Estadual do Mirador utilizando um Sistema de Informação Geográfica – SIG, estado do Maranhão, Brasil*. <https://copec.eu/congresses/shewc2014/proc/works/29.pdf>
- Coelho, T. F.; Souza, A. R. de.; Souza, J. A. P. L. de L. e. Pedroza, M. M. (2023). Impactos dos poluentes resultantes das queimadas na saúde humana. *Revista de Engenharia e Tecnologia*. 15(1), 1-15.
<https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/21752/209209217791>
- Crispim, S. M. A. (2010). *Queimadas na área urbana e no Pantanal*. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/883792/1/FOL156.pdf>
- Donkelaar, A. van. et al. (2021). Monthly Global Estimates of Fine Particulate Matter and Their Uncertainty. *Environmental Science & Technology*, 55(22), 15287-15300.
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.1c05309?ref=pdf>
- Freitas, S. R. et al. (2005). Monitoring the transport of biomass burning emissions in South America. *Environmental Fluid Mechanics*, 5, 135-167. <https://doi.org/10.1007/s10652-005-0243-7>
- Galanter, M.; Levi, H.; Carmichael, G. R., (2000). Impacts of biomass burning on tropospheric CO, NO_x, and O₃. *Journal of Geophysical Research*, 105(5), 6633-6653.
<https://doi.org/10.1029/1999JD901113>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023a). *Malha Municipal*. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2023b). *Panorama*. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/itajuba/panorama>
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2023). Perguntas frequentes. <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/porta/faq/index.html>
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2023). *Incêndios florestais*. <https://www.gov.br/ibama/pt-br/acesso-a-informacao/perguntas-frequentes/incendios-florestais>
- Junior, R. A. M.; Júnior, R. S. da S.; Coelho, S. M. S. da C.; Medina, B. L. (2015). Estudo da dispersão de monóxido de carbono emitido por queimadas na Amazônia legal em 19 agosto de 2010 baseado em: simulações do modelo

- WRF-CHEM e Sensoriamento Remoto. *Ciência e Natura*, 37, 145-151. <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/artic le/view/16230/pdf>
- Langmann, B.; Duncan, B.; Textor, C.; Trentmann, J.; van der Werf, G. R. (2009). Vegetation fire emissions and their impact on air pollution and climate. *Atmospheric Environment*, 43(1), 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.047>
- Lima, I. C. 2018. *Monitoramento dos focos de queimadas nos biomas Amazônia e Cerrado nas estações seca e chuvosa de 2017*. Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia, Trabalho de Conclusão de Curso, 37 p.
- Mascarenhas, M. D. M; Vieira, L. C; Lanzieri, T. M; Leal, A. P. P. R; Duarte, A. F; Hatch, A. L. (2008). Poluição atmosférica devido a queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil - Setembro, 2005. *J Bras Pneumol*, 34(1), 42-46. <https://doi.org/10.1590/S1806-37132008000100008>
- Mesquita, A. G. G. (2008). Impactos das queimadas sobre o ambiente e a biodiversidade Acreana. *Revista Ramal de Ideias*, 1(1).
- NASA. National Aeronautics and Space Administration. (2023). Earthdata Search. <https://dwtkns.com/srtm30m/>
- Nepstad, D. C., Tohver, I. M., Moutinho, P., Cardinot, G. (2007). Mortality of large trees and lianas following experimental drought in an Amazon forest. *Ecology*, 88(9), 2259-2269. <https://doi.org/10.1890/06-1046.1>
- Oliveira, B.; Souza, R.; Andreoli, R. (2024). Qualidade do ar na cidade de Manaus: material particulado e suas relações com as queimadas. *Revista Geoconexões*, 4(2), 108-118. <https://doi.org/10.53528/geoconexes.v4i2.155>
- O'Neill, P. E. et al. (2021). *SMAP Enhanced L3 Radiometer Global and Polar Grid Daily 9 km EASE-Grid Soil Moisture, Version 5 [SPL3SMP_E]*. https://nsidc.org/sites/default/files/spl3smp_e-v005-userguide.pdf
- Pereira, A. A; Barros, D. A. de; Pereira, J. A. A; Júnior, F. W. A; Morelli, F; Scolforo, J, R, S. (2014). Frequência espaço-temporal dos focos ativos em Minas Gerais durante o período de 1999 a 2009. *CERNE*, 20(3), 459-469. <https://doi.org/10.1590/01047760201420031518>
- Pereira, R. G. 2020. *Relação entre os casos de internações por crises respiratórias e focos de calor*. Curso de Graduação em Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Itajubá, Trabalho de Conclusão de Curso, 32 p.
- Prunet, P.; Lezeaux, O.; Camy-Peyret, C.; Thevenon, H. (2021). Analysis of the NO2 tropospheric product from S5P TROPOMI for monitoring pollution at city scale. *City and Environment Interactions*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2020.100051>
- Reboita, M. S.; Corrêa, M. de P.; Rodrigues, M.; Silva, J. P. R. da. (2016). Um balanço do curso de ciências atmosféricas no sul de Minas Gerais: ensino, pesquisa, extensão e benefícios à sociedade. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(7), 2312-2324. <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20160165>
- Reboita, M. S.; Rodrigues, M.; Silva, L. F.; Alves, M. A. (2015). Aspectos climáticos de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia*, 17, 206-226. <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/41493/27319>
- Ribeiro, O. I. et al. (2020). Impact of biomass burning on a metropolitan area in the Amazon during the 2015 El Niño: The enhancement of carbon monoxide and levoglucosan concentrations. *Environmental Pollution*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114029>
- Rocha, M. I. S.; Nascimento, D. T. F. (2021). Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(3), 1220-1235. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1220-1235>
- Santana, N. C. *Monitoramento de queimadas no Sudoeste do Pará, a partir de séries temporais do sensor MODIS*. 2016. 51f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília.
- Santos, B. A. et al. (2019). Distribuição Espaço-Temporal dos Focos de Calor no Estado de Minas Gerais. *Anuário do Instituto de Geociências*, 42(3), 64-84. https://doi.org/10.11137/2019_3_64_84

- Santos, M. J. M. dos. *Focos de incêndios em Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e suas relações com as variáveis meteorológicas e eventos de friagens*. 2020. 74f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- Sarra, S. R.; Mülfarth, R. C. K. (2021). Impactos das queimadas da região Centro-Oeste do Brasil sobre as cidades do estado de São Paulo. *Brazilian Journal of Development*, 7(5), 51237-51257:
<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/30161>
- Shikwambana, L.; Kganyago, M. (2020). Observations of Emissions and the Influence of Meteorological Conditions during Wildfires: A Case Study in the USA, Brazil, and Australia during the 2018/19 Period. *Atmosphere*, 12(1).
<https://doi.org/10.53528/geoconexes.v4i2.155>
- Silva, A. M. C. da et al. (2010). Material particulado (PM_{2.5}) de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 13(2), 337-351.
<https://doi.org/10.3390/atmos12010011>
- Silva, E. M. da; Vasconcelos, F. L.; Costa, A. A. (2022). Nexo Entre a Climatologia de Precipitação e as Ocorrências de Incêndios em Vegetação nos Municípios ao Longo da Rodovia CE-060 - Região de Interesse Econômico do Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37(4), 467-475.
<https://doi.org/10.1590/0102-77863740080>
- Soares, R. V. (1985). *Incêndios florestais: controle e uso do fogo*.
- Souza, A. A. de; Oviedo, A.; Santos, T. M. dos. 2020. *Impactos na qualidade do ar e saúde humana relacionados ao desmatamento e queimadas na Amazônia Legal brasileira*.
<https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/i1d00039.pdf>
- WRI BRASIL - World Resources Institute Brasil. (2021). *O estado da qualidade do ar no Brasil*.
<https://www.wribrasil.org.br/sites/default/files/wri-o-estado-da-qualidade-do-ar-no-brasil.pdf>
- WWF - World Wide Fund for Nature. (2020). *Fires, Forests and the Future: A crisis raging out of control?*.
https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/wwf_forestfiresreport2020_final.pdf.