



Revista Brasileira de Geografia Física

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



Proposta de prevenção de incêndios florestais na Terra Indígena Governador (Maranhão): a detecção precoce e primeira intervenção

Emanuel de Oliveira¹, Kamilla Andrade de Oliveira^{2*}

¹ Dr. Pesquisador, Município de Paredes de Coura – Laboratório Rural; Centro de Ecologia Aplicada Prof. Baeta Neves (CEABN) da InBio - Rede de Investigação em Biodiversidade e Biologia Evolutiva; Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal, (+351) 213653232, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9594-5052>, emanuel.r.s.oliveira@outlook.pt; ^{2*} Professora Dra. Adjunta, Universidade Federal do Maranhão, BR 222, km 04, Bairro Boa Vista, s/n, CEP 65500-000, Chapadinha, Maranhão, kamilla.andrade@ufma.br (autora correspondente). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6401-4132>

Artigo recebido em 15/06/2024 e aceito em 30/06/2025

RESUMO

O município de Amarante do Maranhão, na região sudeste do estado é um dos dez maiores municípios maranhenses em extensão territorial e integra em seu território três Terras Indígenas (TI), precisamente a TI Araribóia, a TI Krikati e a TI Governador. Este município tem registrado nas últimas décadas um intenso processo de desmatamento, derivado do acentuado avanço da atividade agropecuária, com consequências ambientais e sociais sobre os povos indígenas. Entre 2013 e 2022, o total da área ardida acumulada foi equivalente a cerca de três vezes a área da TI Governador. Para reduzir os impactos negativos que frequentemente atingem o território, é fundamental implementar ações que permitam uma vigilância do território que incremente a detecção precoce, a par de uma atitude dissuasora e que por sua vez, permitam uma maior rapidez da primeira intervenção. Recorrendo-se a Sistemas de Informação Geográfica (SIG), esta investigação permitiu identificar e confirmar várias vulnerabilidades associadas à extinção de incêndios: a limitação na detecção precoce de um potencial incêndio; e o tempo de primeira intervenção que excede o limite de 30 minutos, fundamental para controle de um incêndio inicial, traduzindo-se numa maior complexidade no controle e extinção. A análise desenvolvida permitiu identificar a necessidade de implementar um sistema de vigilância assente na definição de um número de locais estratégicos e o reforço e distribuição de recursos por zonas, com o fim de garantir a detecção precoce e reduzir o tempo de primeira intervenção, aumentando assim a eficiência e a eficácia da prevenção e combate.

Palavras-chave: Incêndios florestais, detecção, ataque inicial, combate a incêndios, prevenção de incêndios florestais.

Proposals for preventing wildfires in the Governor Indigenous Land (Maranhão): early detection and first intervention

ABSTRACT

The municipality of Amarante do Maranhão, in the southeast of the state, is one of the ten largest municipalities in Maranhão in terms of surface area and includes three Indigenous Lands (TIs) in its territory: the Araribóia TI, the Krikati TI and the Governor TI. In recent decades, this municipality has experienced an intense process of deforestation, due to the marked advance of agricultural and livestock activity, with environmental and social consequences for the indigenous peoples. Between 2013 and 2022, the total accumulated burned area was approximately three times the size of the Governor Indigenous Land. To reduce the negative impacts that frequently affect the territory, it is essential to implement actions that allow for surveillance of the territory to increase the early detection of wildfires, along with a dissuasive attitude that, in turn, allows for a quicker first intervention. Using Geographic Information Systems (GIS), this research made it possible to identify and confirm various vulnerabilities associated with extinguishing wildfires: the limitation in the early detection of a possible wildfire; and the time used in the first intervention, which exceeds the 30-minute limit essential to control a wildfire that starts, which translates into greater complexity in control and extinction. The analysis carried out identified the need to implement a surveillance system based on the definition of a series of strategic locations and the reinforcement and distribution of resources by zones, in order to guarantee early detection and reduce the time required to control and extinguish wildfires.

Keywords: Wildfires, detection, initial attack, firefighting, wildfire prevention.

Introdução

Os incêndios florestais são responsáveis pela destruição de milhões de hectares de ecossistemas em grande parte do globo, gerando impactos ambientais, econômicos e sociais (Eugênio et al., 2016; Bezerra et al., 2018).

De acordo com os resultados da coleção 1 do MapBiomas Fogo, entre 1985 e 2020, cerca de 1,8% do território do Brasil arde anualmente, o que corresponde a pouco mais de 15 milhões de hectares por ano (MAPBIOMAS, 2021). Segundo os dados publicados, em 36 anos, 85% da área total ardida no país se concentra nos biomas de Amazônia (41%) e Cerrado (44%).

Os incêndios podem ter origem natural ou derivados de causas antrópicas relacionadas com alterações do uso e ocupação do solo (Silva Junior et al., 2018), por negligência, por causas acidentais, estruturais ou intencionais (Torres et al., 2020).

Para além da causalidade, a piroatividade no Brasil é determinada por vários fatores, em particular pelas condições meteorológicas e climáticas e pelas mudanças de uso do solo (Bezerra et al., 2018; Torres et al., 2018; IMESC, 2021a; Pivello et al., 2021; Fernandes et al., 2024).

No território do estado do Maranhão se encontram presentes os biomas de Amazônia, Cerrado e Caatinga, respectivamente 35%, 64% e 1% (Spinelli-Araújo et al., 2016) conferindo uma grande diversidade morfológica e ambiental (Bezerra et al., 2018). No entanto, constitui o estado brasileiro com o maior número de incêndios do Nordeste (Sales et al., 2019), apresentando altos índices de focos de incêndios, em particular na região sudeste e na região sul (Fernandes et al., 2024), com impactos que atingem todos os biomas, inclusive as áreas de proteção e conservação (Sales e Neto, 2020) e as terras indígenas (de Melo et al., 2022; Fernandes et al., 2024).

O incremento e agravamento da ocorrência de incêndios florestais, em particular, nas Terras Indígenas (TI), levou à implementação de diferentes iniciativas de gestão nos últimos anos, tais como a criação das brigadas indígenas e a introdução do Manejo Integrado do Fogo (MIF). As brigadas indígenas, constituídas por membros das próprias comunidades, surgiram como uma estratégia para o combate e a prevenção de incêndios, aproveitando o conhecimento tradicional sobre o uso do fogo e a dinâmica da vegetação (Mistry et al., 2005; Pivello, 2011; Welch et al., 2013; Schmidt e Eloy., 2020). O MIF, por sua vez, propõe uma abordagem diferenciada no manejo do fogo, considerando práticas

tradicionais de queima controlada com o fim de reduzir a carga de combustível vegetal e minimizar os impactos de grandes incêndios (Mistry et al., 2016; Carmenta et al., 2018). Apesar dessas estratégias terem contribuído para melhorar a capacidade local de enfrentamento aos incêndios e para fortalecer a autonomia das comunidades indígenas no manejo de seus territórios, os dados recentes indicam que a área total ardida nas TI não apresentou redução significativa ao longo dos anos (Barlow et al., 2019; Oliveira et al., 2022). Isto indica que, apesar dos avanços na prevenção e no controle do fogo, há desafios persistentes, como a insuficiência de recursos para equipar e capacitar as brigadas, a dificuldade de monitoramento em vastas extensões territoriais e a intensificação de pressões externas, como o avanço do desmatamento e da agropecuária (Falleiro et al., 2016; Alencar et al., 2021; Salomão et al., 2021; Silva-Junior et al., 2022; Flores et al., 2024).

O município de Amarante do Maranhão, situa-se na região de desenvolvimento do Tocantis Maranhense, no sudeste do estado, sendo um dos dez maiores municípios maranhenses em extensão territorial (IMESC, 2021b). Segundo dados do ISA (2024), aproximadamente 56% do território municipal encontra-se demarcado e distribuído por três Terras Indígenas (TI): a TI Araribóia, a TI Krikati e a TI Governador, esta última alvo deste estudo. O município de Amarante tem registrado nas últimas décadas um intenso processo de desmatamento, derivado do acentuado avanço da atividade agropecuária, com consequências ambientais e sociais sobre os povos indígenas (Oliveira et al., 2022; Fernandes et al., 2024).

O uso do fogo pelas comunidades indígenas ou tradicionais remonta ao início da humanidade e cujo uso é tanto mais amplo e diverso numa comunidade, quanto a complexidade da gestão dos diversos recursos (Vásquez-Varela et al., 2022). Nestas comunidades, cujo conhecimento é transmitido e transferido por aplicabilidade do fogo, a sua subsistência depende da fenologia dos cultivos e das plantas silvestres, das épocas de cria, dos períodos de caça, do controle de pragas e de proteção contra a fauna selvagem (Oliveira et al., 2023).

Os incêndios derivados do uso do fogo para conversão de terras, cuja prática se denomina como queimadas (Anderson e Marchezine, 2021) estão relacionados com desmatamento e com as atividades agropecuárias em diversos biomas do Brasil, com particular destaque no Cerrado (Leite-Filho et al., 2021; Leite et al., 2021; Ribeiro et al.,

2024). O aumento da frequência destes fogos antropogênicos no Cerrado maranhense tem como principal resultado a perda de biodiversidade (Abreu et al., 2017; Silva Junior et al., 2018). Embora, sendo prática comum pelos povos originários (Staden, 1557; de Léry, 1578; Bettendorff, 1699), tornou-se mais intensiva com a chegada do homem branco ao Brasil e a expansão das monoculturas agrícolas e da atividade pecuária (Leonel, 2000; Torres et al., 2020).

O fogo interage tanto como um processo físico quanto ecológico (Povak et al., 2018) com interações entre fatores meteorológicos, topográficos e material combustível (Lorezon et al., 2018). Com a expansão da fronteira agrícola, e o incremento dos conflitos territoriais afetando diretamente as populações indígenas, o fogo para além do seu papel como ferramenta para abertura de novas áreas para a exploração agropecuária, também constitui um meio de ameaça e de aplicação da ancestral tática de terra queimada, com o fim de limitar o acesso a recursos das populações dependentes (Oliveira et al., 2023; Fernandes et al., 2024).

Neste contexto, a prevenção e a gestão de operações de combate aos incêndios florestais são fatores importantes para determinar políticas de segurança operacional (Araya-Córdova e Vásquez, 2018). A prevenção é, pois, essencial no combate aos incêndios florestais, o que obriga a implementação de diversas medidas, tais como a detecção precoce que permita o acionamento das equipes de extinção, garantindo uma mais rápida primeira intervenção a um incêndio que se inicia (Cosgun et al., 2023). A rápida detecção e localização dos incêndios florestais e o estado de prontidão e de intervenção das equipes de extinção podem reduzir os impactos ambientais e socioeconômicos causados pelos incêndios (Eugênio et al., 2016; Torres et al., 2020). No entanto, a eficiência dos sistemas de detecção e da primeira intervenção no ataque inicial a incêndios vai depender da localização dos locais de observação, dos circuitos de patrulhamento e da alocação das equipes de extinção (FAO, 2001; Rego e Catry, 2006; Rego et al., 2013; OTI, 2019).

Na região onde se insere a Terra Indígena Governador (TIG), as últimas pesquisas

apresentam a crescente ocorrência de incêndios florestais (Miranda et al., 2022; Oliveira et al., 2022; Fernandes et al., 2024), evidenciando a necessidade de novos instrumentos de gestão de incêndios florestais, tais como a prevenção, com o fim de garantir a manutenção dos processos ecológicos e a conservação ambiental, assim como a gestão sustentável dos recursos das populações tradicionais (Almada et al., 2024; Fernandes et al., 2024).

A elevada ocorrência de incêndios florestais na TIG, está diretamente relacionada com fatores antropogênicos, como o desmatamento e a expansão pecuária, bem como fatores ambientais, como períodos de seca e a disponibilidade da vegetação (Miranda et al., 2022; Oliveira et al., 2022). Considerando estas condições e o seu agravamento, condicionado pelo atual quadro de mudanças climáticas, a hipótese deste estudo é que a implementação de um sistema eficaz de detecção precoce e primeira intervenção na TIG, pode reduzir a área ardida, contribuindo para a conservação dos recursos endógenos e a segurança das comunidades indígenas. O objetivo deste estudo é avaliar a detecção precoce de incêndios florestais e o tempo de chegada da única brigada existente na TIG para o ataque inicial aos incêndios florestais e como contribui para o condicionamento do número e da dimensão dos incêndios no território.

Material e métodos

Localização e caracterização da área de estudo

A área de pesquisa definida para o presente trabalho foi a Terra Indígena Governador (TIG), situada no município de Amarante do Maranhão, região sudeste do Estado do Maranhão, a uma distância de 10 km da sede do município. O marco inicial da TI localiza-se nas coordenadas geográficas UTM -5.799722, -45.969444, (Figura 1). A TIG foi delimitada e homologada nos anos de 1978 e 1982 (Decreto Nº 88.001), respectivamente, e conta com uma área de 41.912,64 ha, abrigando as comunidades indígenas Gavião Pykopjê, Guajajara e Tabajara (ISA, 2024).

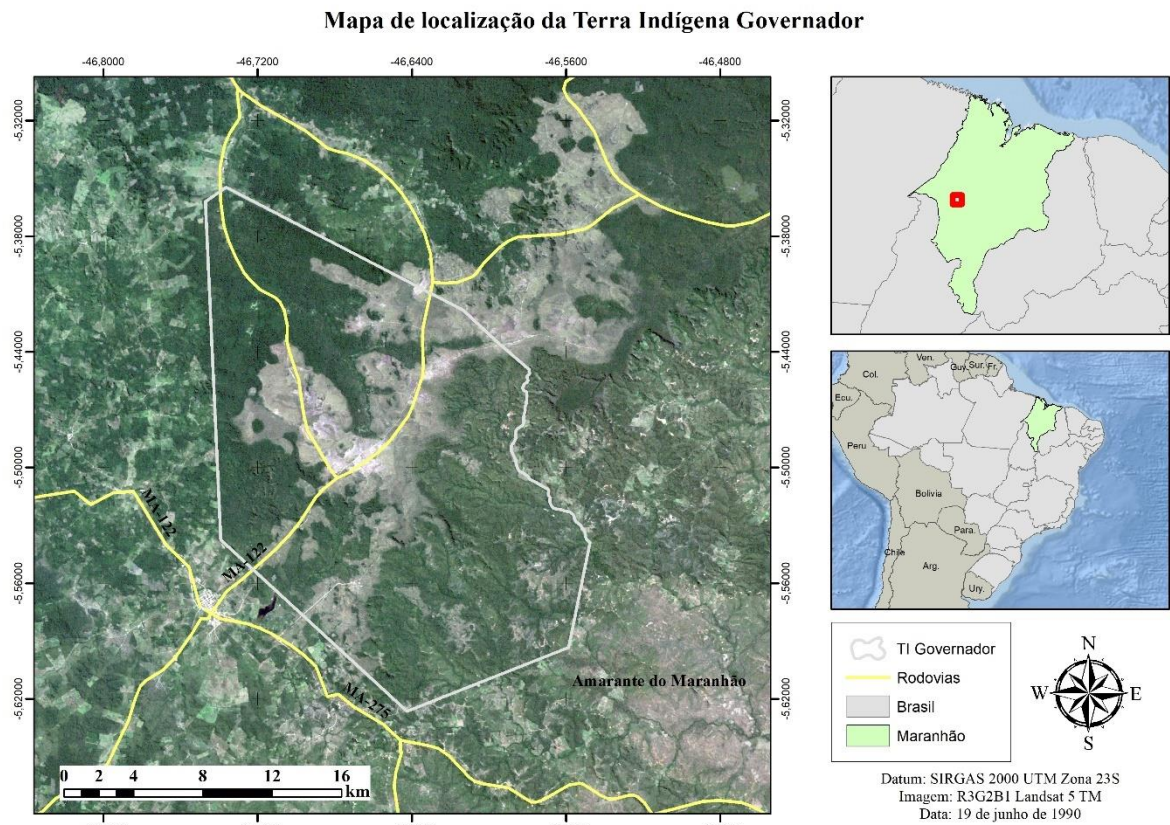


Figura 1. Mapa de localização da TI Governador, Amarante do Maranhão, Maranhão – Brasil.

O município de Amarante do Maranhão compreende uma área de 743.821 ha, com uma população estimada de 37.085 habitantes, distribuídos em 4,98 hab/km² de densidade demográfica (IBGE, 2024). Está centrado a uma altitude de 249 m e apresenta variação térmica que oscilam entre 19 e 35°C, com o clima da região caracterizado como tropical subúmido Aw de acordo com a classificação de Köppen, com período chuvoso que predomina entre os meses de dezembro e maio, e outro período mais seco, correspondente aos meses de junho a novembro (Correa Filho, 2011).

Amarante do Maranhão é um dos municípios do estado com maior número de cabeças de bovinos, sendo o setor pecuário o principal motor econômico do município (Leite et al., 2021)

A área da TIG localiza-se na transição dos biomas da Amazônia legal e do Cerrado (INCRA, 2023), concentrando no seu interior as características fitofisionômicas de coberturas vegetais o contato savana-floresta estacional, correspondendo a 21,63% da área, e floresta

estacional decidual, com 78,37% do território (ISA, 2024), com os entornos da TI sendo predominadas por coberturas de pastagens (Miranda et al., 2022).

A partir da análise hipsométrica da TIG constata-se que o território apresenta baixa rugosidade, com um intervalo altimétrico que varia entre os 200 e os 370 metros, cerca de 88,5% do território situa-se entre os 250 e os 350 metros e apenas cerca de 11,4% encontram-se abaixo dos 250 metros e apenas 0,2% acima dos 350 metros. Quanto à declividade, cerca de 90% do território apresenta declives suaves (inferiores a 10 graus), 9% de declives moderados (10 – 20 graus) e apenas 1% do território é caracterizado por declives acentuados. Quanto à orientação do relevo, praticamente todas as exposições têm uma representatividade muito aproximada, as exposições Este e Sul representam cada uma 18% do território, a exposição Oeste 17% e a Norte 16%. As zonas que recebem radiação solar durante todo o dia correspondem a 30% do território da TIG.

Metodologia para mensurar as áreas ardidadas

O período de obtenção de dados e de análise das áreas ardidas na TIG está compreendido entre 2013 e 2022 e referem-se ao período de maior piroatividade, entre 1 de maio e 30 de novembro de cada ano. Estes dados foram obtidos por meio de digitalização manual sistemática, a partir de séries históricas de 77 imagens, sem nuvens ou com uma cobertura mínima de nuvens, dos satélites Landsat 7 (ETM+), Landsat 8 (*Operational Land Imager* - OLI) e Sentinel-2 (*Multispectral Instrument* - MSI), apoiada em imagens Planet, o que permitiu um mapeamento mais detalhado e rigoroso, das áreas afetadas por fogos, de acordo com a metodologia já testada por Oliveira e Fernandes (2023). Sendo assim, para a detecção das áreas ardidas, foi aplicado o índice Normalized Burn Ratio (NBR), amplamente utilizado na identificação de superfícies afetadas pelo fogo, através da normalização da diferença entre a refletância no infravermelho próximo (NIR) e no infravermelho de ondas curtas (SWIR), aplicando a seguinte fórmula:

$$\text{NBR} = (\text{NIR} - \text{SWIR}) / (\text{NIR} + \text{SWIR})$$

Paralelamente, recorreu-se à composição de falsa cor (RGB), que permite realçar alterações na vegetação e facilitar a interpretação visual dos dados.

Após a obtenção das imagens NBR e RGB, os perímetros das áreas ardidas foram delineados manualmente, com apoio em imagens Planet, garantindo maior precisão na diferenciação entre áreas ardidas e outros tipos de cobertura do solo. A digitalização foi conduzida em escalas ajustadas à resolução das imagens (1:10 000 a 1:3 000), evitando a inclusão de áreas sem danos observável e delimitando ilhas interiores não ardidas.

Com o fim de complementar a análise dos perímetros das áreas ardidas, procedeu-se à datação de cada polígono obtido, com recurso aos dados vetoriais em formato ponto, dos focos de calor registrados no Banco de Dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2022; INPE, 2023). Para tal, foram considerados registros de focos de calor captados por sensores a bordo dos satélites NOAA-20, Suomi NPP, Terra e Aqua (MODIS) e Meteosat. Neste estudo, analisou-se o conjunto de dados correspondente aos focos de calor detetados pelos diferentes sensores no território da TIG, no período de 2013 a 2022. A partir da distribuição espacial dos focos de calor e da sua sobreposição com os perímetros mapeados, de acordo com as datas de aquisição das imagens

de satélite, foi possível atribuir uma data aos perímetros das áreas ardidas.

Os resultados deste trabalho de mapeamento das áreas ardidas na TIG serão abordados de forma detalhada em outro artigo sobre a descrição dos fogos neste território.

Análise de vigilância e detecção

Com base no Modelo Digital de Elevações (MDE) de resolução espacial de 12,5 metros obtido a partir de imagens do satélite *Advanced Land Observing Satellite* – ALOS (ASF, 2023), procedeu-se à conversão da imagem raster (ALOS-PALSAR) em pontos, de modo a identificarem-se as zonas que apresentavam os locais com maior valor de cota no território da TIG (superior a 350 metros de altitude). Deste processo foram obtidos 10 locais potenciais para posto de observação e vigilância fixa, preferencialmente, próximos da rede viária para facilitar a acessibilidade, menor cobertura arbórea e proximidade de aldeias. Para cada um destes pontos foram calculadas as bacias de visibilidade mediante o processo de “*Viewshed*” a partir da ferramenta *Spatial Analyst Tools* na aplicação ArcGIS (Catry et al., 2007; Eugênio et al., 2016). Igualmente, do mesmo modo, procedeu-se ao cálculo da bacia de visibilidade a partir da sede da única brigada indígena, situada na Aldeia de Governador. Uma vez estimadas cada uma das bacias de visibilidade, selecionaram-se aquelas que apresentavam uma maior área de cobertura e em princípio, mais eficiente para a instalação de torres de vigilância, tendo sido identificados 6 locais. Estas bacias foram posteriormente somadas para estimar a intervisibilidade a partir de cada um dos 6 locais de observação (Tabela 1).

Tabela 1. Localização da base da Brigada Indígena (BI) e a localização identificada para a instalação de pontos de observação/torres de vigilância (Sistema de Coordenadas Geográficas WGS 1984, Projeção Universal Transversa de Mercator – UTM, Zona 23S).

Local	Altitude	Coordenada X	Coordenada Y
Base BI	279	314930	9385228
A	370	312780	9391290
B	370	316650	9402960
C	350	319510	9394320
D	360	315720	9381010
E	330	324810	9386940
F	350	317860	9400250

Estimativa do tempo de primeira intervenção

A primeira intervenção encontra-se integrada na fase de ataque inicial de um incêndio e é a efetuada pelo primeiro meio a chegar ao Teatro de Operações (TO). O tempo da primeira intervenção será o tempo que decorre entre o tempo de alerta ou avistamento da fumaça e o tempo em que o primeiro meio chega ao local da ocorrência (Félix e Lourenço, 2017). O tempo de resposta dos meios de supressão de incêndios constitui um fator crítico no âmbito do sistema de defesa contra incêndios, uma vez que só tempos de intervenção relativamente curtos (inferiores a 30 minutos) poderão evitar que os incêndios assumam proporções de difícil controle. A estimativa do tempo de chegada para primeira intervenção foi calculada considerando a base da Brigada Indígena instalada na Aldeia de Governador. Para o efeito, em ambiente SIG, recorreu-se à informação georreferenciada em formato vetor, disponibilizada pela plataforma colaborativa Open Street Maps (OSM, 2023) e complementada, mediante a digitalização manual de estradas, caminhos e trilhas com base em imagens do Google Earth e Bing e corrigida sobre imagens Planet. Após a sua digitalização, a rede viária obtida foi classificada quanto à velocidade média de um carro de combate, variando entre 15 e 80 km/h, de acordo com o tipo de via (piso, largura e estado da plataforma). Neste estudo o tempo de chegada foi calculado a partir do ficheiro arquivo matricial da rede viária, mediante o processo de “*Cost Distance*” na aplicação software ArcGIS que permite uma análise do melhor caminho entre dois pontos usando o método de caminho de menor custo (Venâncio, 2016).

Também foram realizadas amostragens com recurso a GPS em ações de campo no período de 2019 a 2023 (Figura 2).



Figura 2. Atividades de campo na TI Governador, no período de 2019 a 2023 a) e b) localização da sede da brigada de incêndios, c) acesso às aldeias próximas; d), e) áreas de

queimas prescritas no Manejo Integrado do Fogo-PrevFogo Brigada.

permitiu a digitalização de 5 534 polígonos, correspondendo a um total de área ardida acumulada de 127 563,8 hectares, o que equivale a cerca de 3 vezes a área da TIG (Figura 3).

Resultados

A metodologia aplicada para o mapeamento das áreas ardidas entre 2013 e 2022,

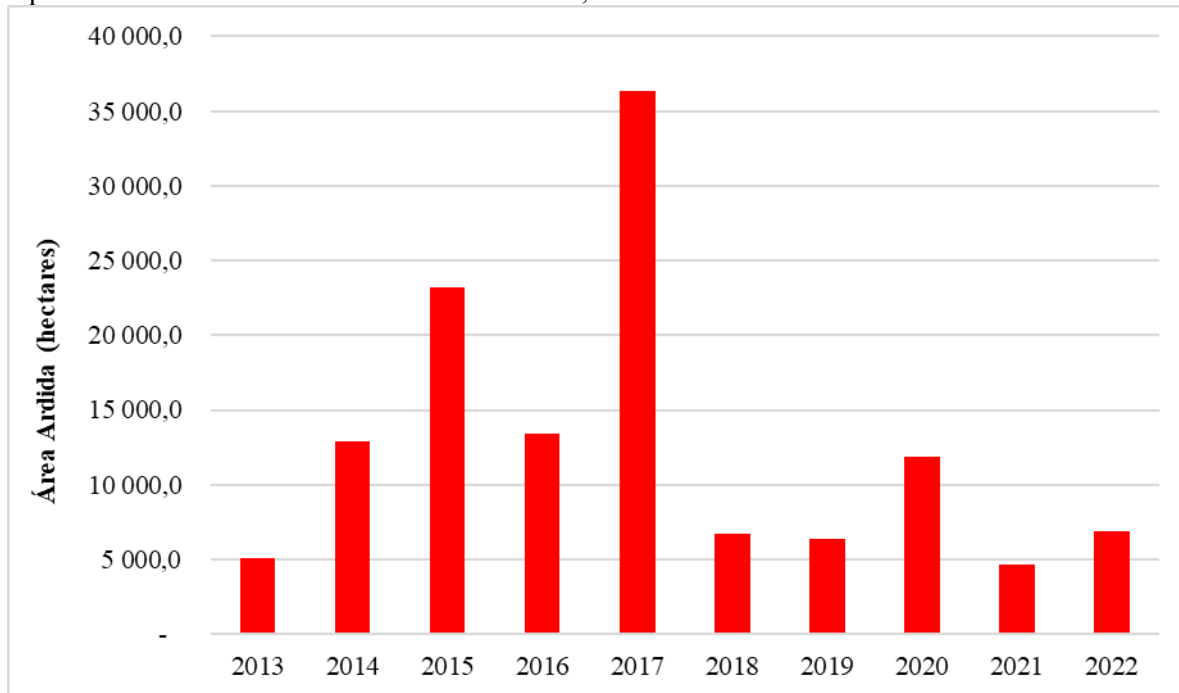


Figura 3. Distribuição anual da área ardida na Terra Indígena Governador, considerando o período entre 1 de maio e 30 de novembro, de 2013 a 2022. Fonte: Autores (resultados da digitalização manual).

Os resultados obtidos a partir desta pesquisa, permitiram verificar uma maior frequência em determinadas zonas do território da TIG que contribuem para a degradação do meio, em todos os níveis e estratos (Figura 4) dado o curto período temporal (uma década) e praticamente nos meses mais secos (de junho a agosto). Analisando as zonas de maior frequência, estas situam-se onde existe uma maior concentra-

-ção de habitantes e onde a rede viária é também mais densa, assim como a distância à base da única brigada indígena da TIG é também maior. Pelo contrário, as zonas de menor frequência são precisamente as zonas com menor número de núcleos habitacionais (aldeias) e menor densidade de rede viárias ou mesmo inexistente para trânsito motorizado.

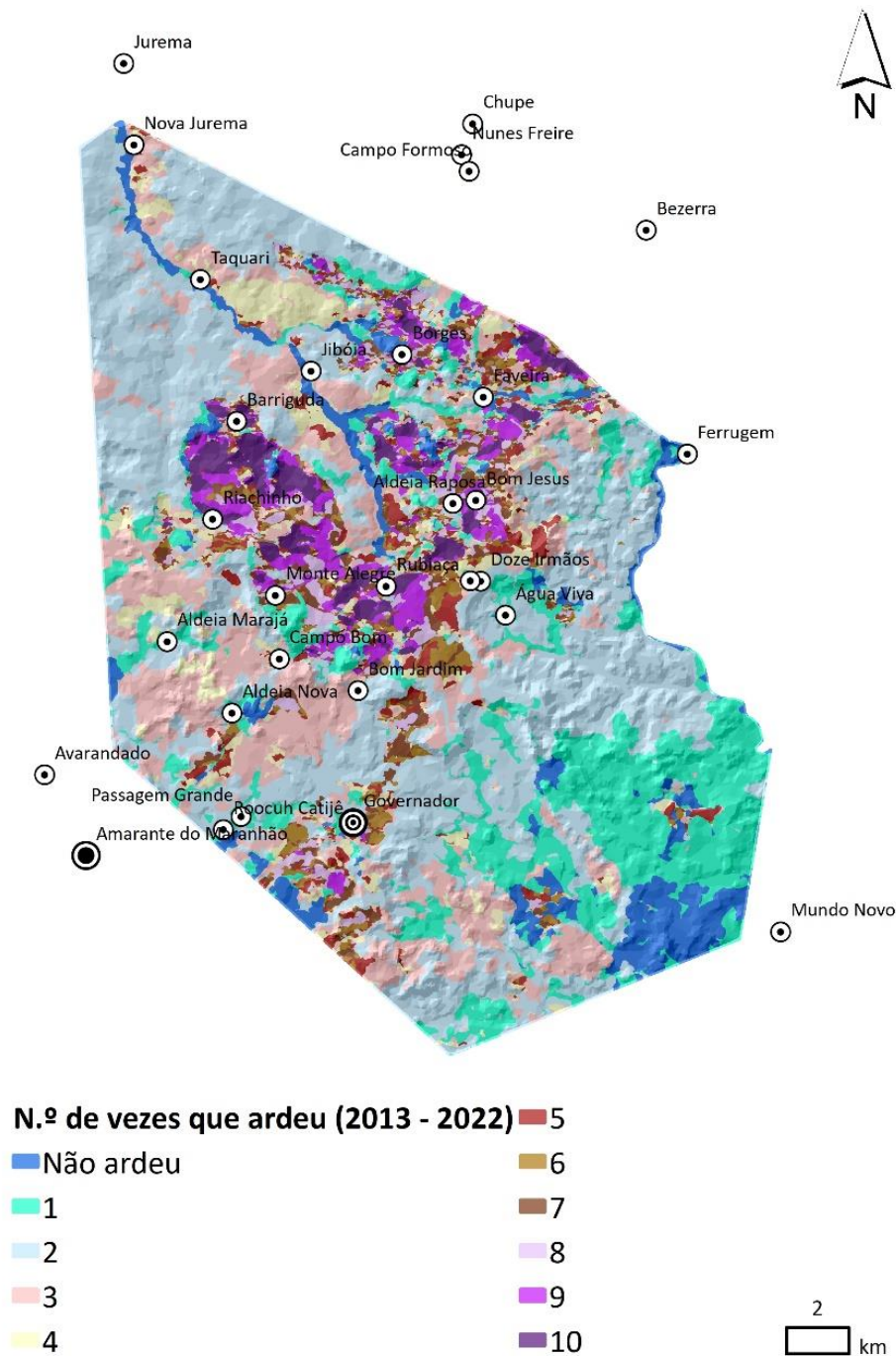


Figura 4. Distribuição da frequência dos fogos entre 2013 e 2022 no território da TIG.

Pela sobreposição da bacia de visibilidade a partir da base da brigada indígena situada na Aldeia de Governador e do total de focos de calor registrados pelo INPE entre 2013 e 2022, foi possível estimar de forma muito aproximada a capacidade de detecção, ou seja, no momento que a fumaça se eleva a uma altura que permite a sua visualização desde a base. Os resultados obtidos demonstram uma grande limitação na detecção

precoce de um potencial incêndio, uma vez que apenas uma área de 813 hectares é coberta a partir da base, o que corresponde a apenas 2% do território (Figura 5). Dos cerca de 6.949 focos registrados sobre o território da TIG, apenas 1.4% poderá ter sido observado a partir da base da brigada, o que é um valor muito residual, considerando o total da área ardida acumulada

entre 2013 e 2022 (127.564 ha) e cuja média anual do período é de 12.756 ha.

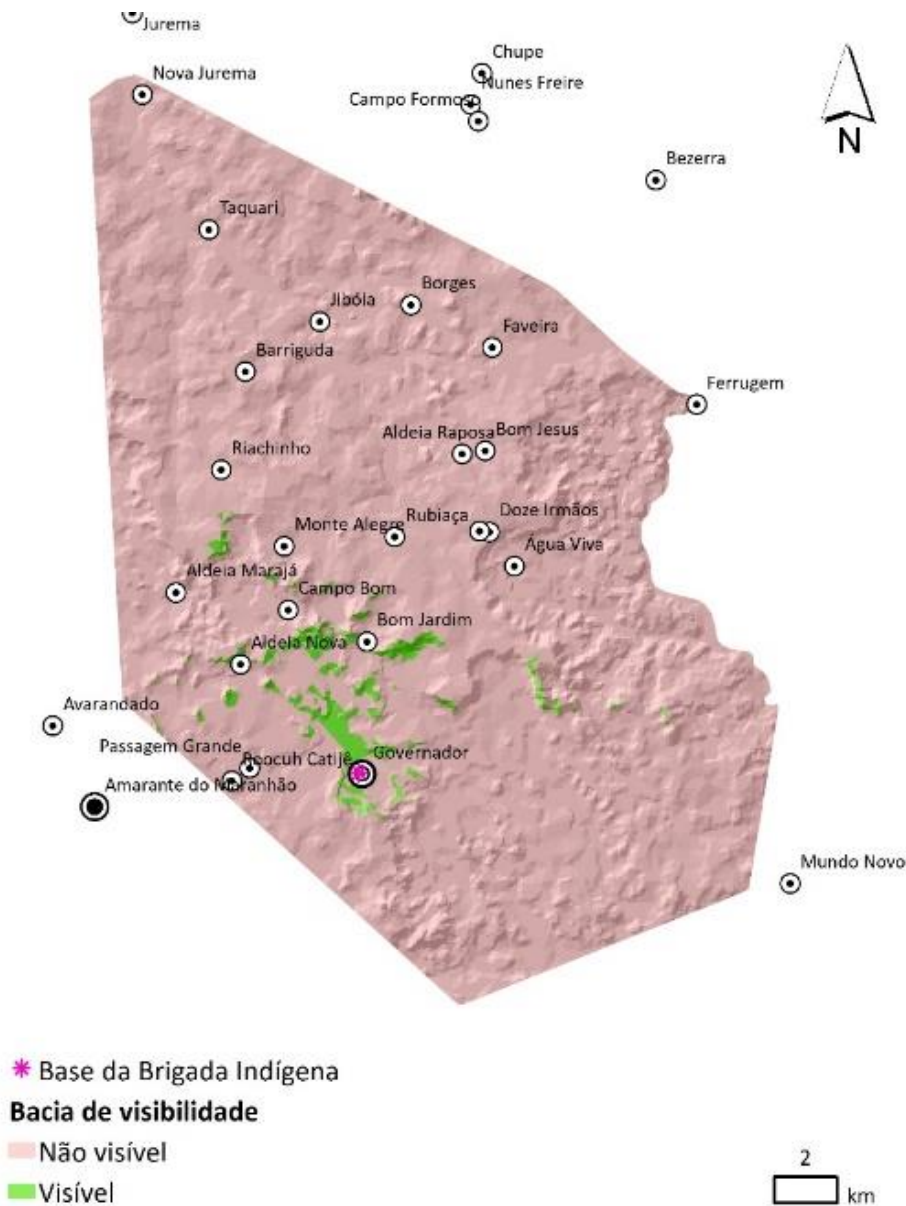


Figura 5. Bacia de visibilidade considerando a localização da base da Brigada Indígena, TIG.

Considerando-se esta limitação com impactos diretos e condicionamento do sucesso de uma primeira intervenção para a extinção de um foco de incêndio, procedeu-se conforme descrito na metodologia, ao estudo e análise de locais potenciais que permitam ampliar a capacidade de vigilância e detecção precoce de incêndios. Pela sobreposição a partir dos 6 locais identificados no processo e da sua cobertura de Intervisibilidade so-

-bre o território da TIG e pela sobreposição do total de focos de calor registrados pelo INPE no período de estudo, verificou-se um considerável aumento da capacidade, em cerca de 57% do total de focos detectáveis. (Figura 6 e Tabela 2). Esta ampliação da cobertura em termos de área observável, ou seja, 22.729 hectares, corresponde a 54% do território da TIG.

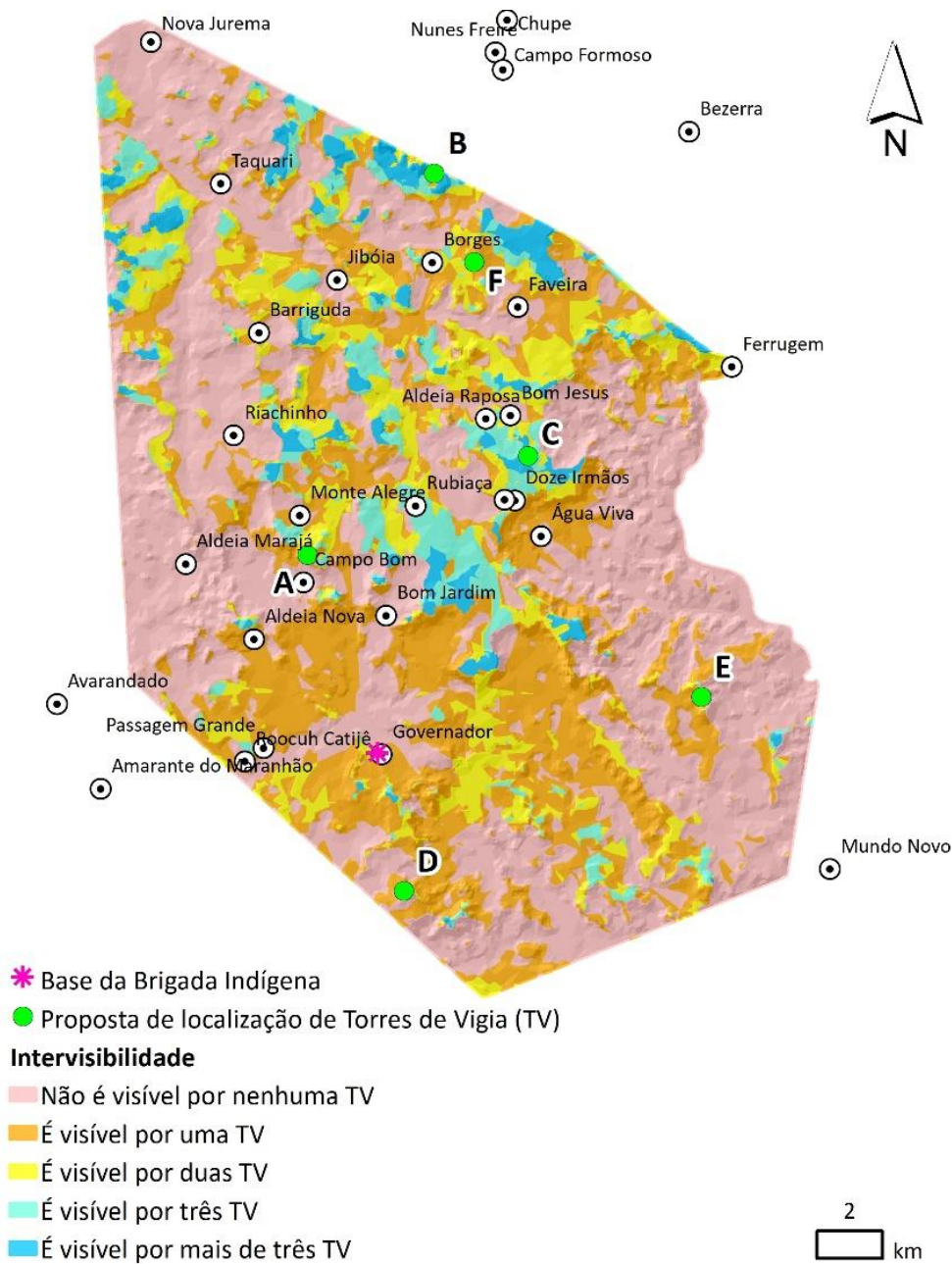


Figura 6. Bacia de visibilidade considerando a localização da base da Brigada Indígena, TIG.

Tabela 2 – Quantitativo estimado de focos de calor detectados a partir da localização atual da base da brigada indígena da TIG e da localização proposta para pontos de observação/torres de vigia.

Existente Base da Brigada Indígena	Nº de Focos de Calor	Proposta 6 Locais de Observação	Nº de Focos de Calor
Não visível	6854	Não é visível por nenhuma TV	3007
Visível	95	É visível por uma TV	1974
		É visível por duas TV	1038
		É visível por três TV	592
		É visível por mais de três TV	338
Total	6949	Total	6949

Do processo de obtenção e tratamento de dados, digitalização e classificação da rede viária foi possível obter 435 km de estradas, caminhos e trilhas. Analisando a localização atual da única base de brigada existente na TIG e as características da rede viária, verificou-se que os tempos de chegada a partir da Aldeia de Governador às restantes zonas do território excedem os 30 minutos, podendo-se traduzir numa maior complexidade na supressão quando a brigada indígena chega ao teatro de operações, tendo uma maior dificuldade nos trabalhos de controle do incêndio e na própria segurança (Figura 7a). Mais de 60% da rede viária (266 km) utilizada pela brigada, desde a sua base, excede em larga medida os 30 minutos que garantam o melhor sucesso no combate. Observando a Figura 7a, pela sobreposição do tempo de chegada sobre as zonas com maior frequência de fogos, constata-se que estas coincidem com as zonas mais distantes da base da brigada, o que implica mais tempo de deslocação (superior aos 30 minutos), traduzindo-se num maior impacto dos incêndios no território, dada a dificuldade da brigada para o controle do incêndio no momento da chegada.

Considerando a necessidade melhorar os tempos de chegada e de primeira intervenção, simulou-se o reforço do dispositivo de extinção da TIG, com a alocação de mais duas equipas, uma na aldeia de Rubiácea e outra na aldeia de Borges (Figura 7b). Na Tabela 3 descreve-se a rede viária segundo as classes de tempo de primeira intervenção. Como se pode verificar, com apenas um reforço de duas equipas situadas em zonas estratégicas da terra indígena, estima-se um incremento da rapidez da primeira intervenção em 82% do total da rede viária disponível, num tempo inferior a 30 minutos.

Apenas 18% do total da rede viária utilizada pelas brigadas, estima-se que ultrapasse os 30 minutos. A Figura 7b, por sua vez, torna evidente que nas zonas com maior frequência de incêndios, com o reforço de mais duas equipas, o tempo de primeira intervenção seria reduzido para valores até 30 minutos, permitindo uma eventual e necessária redução da área ardida e um menor número de incêndios.

Tabela 3 – Tempos de chegada estimados para a primeira intervenção, por classes (intervalo de minutos) e distância abrangida de rede viária, a partir da localização da atual base da brigada indígena na Aldeia de Governador e a partir das localizações propostas (Rubiácea e Borges)

Tempo de 1ª Intervenção (min)	BI Governador Rede Viária (km)	Proposta 3 BI Rede Viária (km)
[0 - 5]	16	60
[5 - 10]	16	86
[10 - 15]	28	84
[15 - 30]	109	126
[30 - 60]	239	56
[60 - ...]	27	22
Total	435	435

Fonte: Autores

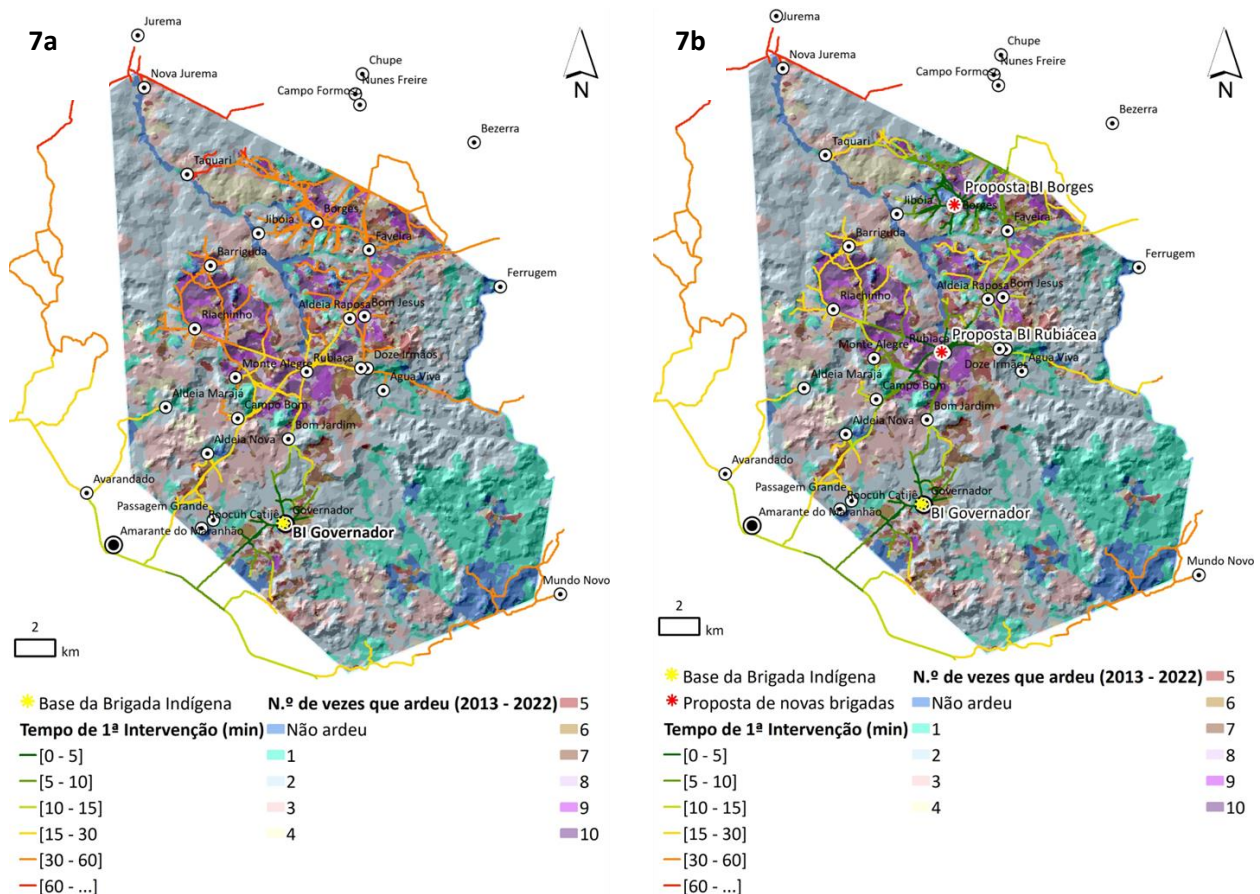


Figura 7. Mapas do potencial tempo de chegada estimado para a 1.^a intervenção a partir da base da Brigada Indígena instalada na Aldeia de Governador, com a distribuição espacial da frequência dos fogos entre 2013 e 2022 (7a) e a partir de possíveis localizações de equipes na aldeia de Rubiácea e na aldeia de Borges, com a distribuição espacial da frequência dos fogos entre 2013 e 2022 (7b)

Discussão

São evidentes os impactos dos fogos na TIG, registrados mediante um processo de mapeamento mais detalhado a partir das séries históricas das imagens obtidas dos sensores de satélite, traduzindo-se em valores de área ardida anualmente superiores aos documentados por outras fontes (Oliveira e Fernandes, 2023). Considerando os dados obtidos neste estudo, a elevada frequência dos fogos estimada na última década (2013 a 2022), apenas confirma a tendência verificada no passado por outros autores que desenvolveram pesquisas neste território, embora com registros de área ardida muito inferiores ao do presente estudo (Miranda et al., 2022; Oliveira et al., 2022; Fernandes et al., 2024). Estas diferenças resultam sobretudo das fontes utilizadas e dos sistemas de processamento para a obtenção das áreas ardidas. É evidente que a TIG é afetada por fogos essencialmente de origem antropogênica, cujas causas vão desde o uso tradicional do fogo associado às roças, ou seja, incêndios de causa

negligente e acidental, assim como incêndios resultantes de causas estruturais, com origem em comportamentos e atitudes reativas e derivadas de conflitos, mas também incêndios com origem em causas intencionais baseadas em ações premeditadas com interesse em provocar danos (Torres et al., 2020; Fernandes et al., 2024). Assim, essa elevada piroatividade presente na TIG, muito diversificada quanto à origem, tem impactos negativos na conservação dos habitats e dos ecossistemas, na degradação do Cerrado, com a perda da biodiversidade e na própria sustentabilidade dos recursos que suportam as comunidades indígenas. O custo associado ao combate e aos prejuízos resultantes de perdas e danos provocados pelos incêndios florestais é normalmente muito superior aos encargos com medidas de prevenção, de fiscalização e dissuasão (Pérez e Labat, 2007; Rodríguez y Silva, 2007; Vázquez Vázquez et al., 2014). Tendo em consideração estes impactos recorrentes, é

essencial um planejamento de acordo com as reais necessidades de um território e suas realidades e o desenvolvimento de medidas que permitam reduzir, de modo mais eficaz e eficiente, o impacto dos incêndios florestais, quer em número e em área ardida, quer na severidade. Se por um lado, as condições climáticas, fenológicas e meteorológicas não são controláveis, por outro lado, é fundamental implementar ações que permitam uma vigilância do território que incremente a detecção precoce, a par do efeito dissuasor e que por sua vez, permitam uma maior rapidez da primeira intervenção. A vigilância e a detecção precoce e a primeira intervenção no ataque inicial a incêndios florestais são determinantes no sucesso do combate e consequentemente na redução da área ardida (Catry et al., 2007; Eugênio et al., 2016; Venâncio, 2016; Félix e Lourenço, 2017; OTI, 2019).

Os resultados demonstrados neste trabalho evidenciam a necessidade urgente de implementar uma rede de vigilância fixa, se possível com a instalação de torres de vigia em número suficiente que garantam uma maior cobertura de observação do território da TIG (Eugênio et al., 2016; Kucuk et al., 2017; Cosgun et al., 2023). Segundo Lorenzon et al. (2018) a cobertura de 70 a 80% da área visualizada a partir de torres de vigia seria suficiente. Por outro lado, nas denominadas zonas sombra, onde não é possível a observação e detecção, é fundamental garantir uma vigilância e patrulhamento móvel motorizado que tenha a função de detecção e de vigilância dissuasora. Segundo Assis (2014), as áreas não visualizadas pelas torres de observação podem ser monitoradas por meio de patrulhamento com veículos motorizados, animais de montaria ou a pé. Contudo, o ideal é que as brigadas, além de realizar a vigilância e detecção, também possam executar operações de extinção de incêndios de forma ágil, evitando que o fogo se propague e atinja proporções que dificultem seu controle e supressão. Neste contexto, o Sistema de Informações Geográficas (SIG) surge como uma ferramenta essencial para apoiar os planos de manejo, proteção e combate a incêndios florestais (Moreira et al., 2020).

Os resultados obtidos nesta de investigação com recurso às ferramentas de SIG e de sensoriamento remoto, permitiram constatar as condições verificadas em campo, pela dificuldade de uma só equipe responder a várias ocorrências simultâneas ou apenas a uma ocorrência de incêndio distante da sua base, desde a detecção à primeira intervenção. O tempo de chegada é

fundamental para garantir a eficácia das ações de controle e supressão de incêndios florestais. O tempo de resposta dos meios de extinção de incêndios constitui um fator crítico neste território, uma vez que só tempos de intervenção relativamente curtos (até 30 minutos) poderão condicionar o desenvolvimento dos incêndios florestais e que estes não assumam proporções de difícil controle.

A análise desenvolvida permitiu identificar a necessidade de implementar um sistema de vigilância assente em seis locais estratégicos e o reforço e distribuição de recursos por três zonas, de modo a garantir a detecção precoce e de reduzir o tempo de chegada, aumentando assim a eficiência e a eficácia da prevenção e combate.

Por outro lado, a integração de tecnologias avançadas, como drones equipados com sensores térmicos, representa uma importante estratégia complementar, ampliando a cobertura e a eficácia das ações de vigilância, especialmente em áreas de difícil acesso (Morelli et al, 2019; dos Santos e dos Santos Junior, 2023; Barros et al, 2024). Neste sentido, a capacitação das comunidades indígenas no uso de tecnologias de monitoramento de incêndios florestais registrados nos seus territórios, contribui para uma maior eficiência na resposta, contribuindo para a detecção precoce e à mitigação dos potenciais danos e prejuízos, quer ambientais quer socioeconômicos, assim como na melhoria da gestão dos seus recursos (Barros, 2021; Valim, 2023; Ribeiro et al, 2024). Igualmente, a participação ativa das comunidades indígenas no planejamento e execução destas medidas é essencial para garantir sua eficácia e sustentabilidade a longo prazo. A integração de conhecimentos tradicionais com abordagens técnicas e científicas proporciona soluções mais adaptadas às realidades locais, aumentando a resiliência das comunidades na prevenção e combate aos incêndios florestais. Vários estudos demonstram que o planejamento e gestão participativa, associado ao saber tradicional indígena, desempenha um papel fundamental na proteção dos seus territórios e na conservação do conhecimento ecológico tradicional e na preservação ambiental (Cavallo, 2018; Lopes et al., 2021).

Conclusão

A ação de planejamento da prevenção e de gestão das equipes de extinção de incêndios é fundamental na redução dos custos e na redução dos impactos ambientais e socioeconômicos. A

pesquisa permitiu verificar que existem dificuldades na detecção dos incêndios florestais, devido à extensão territorial da TIG, com o tempo de chegada ineficiente para um ataque inicial mais eficaz em campo. A metodologia proposta na presente pesquisa, de instalação de seis torres de observação, e o pré-posicionamento de três brigadas para o ataque inicial aos incêndios florestais, demonstra a possibilidade de aplicação de soluções viáveis que permitam ir ao encontro das expectativas das comunidades indígenas que se veem ameaçadas anualmente pelos efeitos devastadores dos incêndios florestais que ao longo da última década têm promovido a degradação do seu território. Os trabalhos desenvolvidos neste estudo, recorrendo às ferramentas SIG, permitem verificar a importância da tecnologia para avaliar a eficiência no planejamento dos recursos necessários à prevenção e combate aos incêndios florestais. As ferramentas SIG são fundamentais para apoio à tomada de decisão, de forma objetiva, permitindo um monitoramento mais adequado e uma melhor compreensão das variáveis que determinam a evolução e o impacto dos incêndios. Esta pesquisa permitiu identificar vulnerabilidades da resposta no combate aos incêndios na Terra Indígena Governador, quer pelo número de recursos quer pela sua distribuição no território.

Os dados obtidos e o processo metodológico adotado neste estudo podem ser replicados para outras terras indígenas ou unidades de conservação, auxiliando os gestores no planejamento da prevenção e combate aos incêndios florestais.

Agradecimentos

Os autores agradecem o financiamento da pesquisa pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e PrevFogo/IBAMA, para o projeto de processo número: 443014/2018-3 para o edital: Chamada CNPq/Prevfogo-Ibama Nº 33/2018 - Pesquisas em ecologia, monitoramento e manejo integrado do fogo. Os autores também estendem sua apreciação ao povo Gavião e membros da brigada indígena atuantes na TIG e Fundação Nacional do Índio – FUNAI.

Referências

Abreu, R. C. R., Hoffmann, W. A., Vasconcelos, H. L., Pilon, N. A., Rossatto, D. R., Durigan, G. (2017). The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. *Science Advances* [Online] 3. Disponível:

<http://advances.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/sciadv.1701284>. Acesso: 11 jun. 2024.

- Alencar, A., Castro, I., Laureto L., Guyot, C. Stabile, M., Moutinho, P. (2021). *Amazônia em Chamas - desmatamento e fogo nas florestas públicas não destinadas: nota técnica nº 7*. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2021. Disponível em: <https://ipam.org.br/bibliotecas/amazonia-em-chamas-7-desmatamento-e-fogo-nas-florestas-publicas-nao--destinadas>. Acesso: 11 jun. 2024.
- Almada, H. K., Macedo, M. N., Lenza, E., Maracahipes, L., Silvério, D. V. (2024). Indigenous lands and conservation units slow down non-GHG climate change in the Cerrado-Amazon ecotone. *Perspectives in Ecology and Conservation*. [Online] 22. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2024.03.002> Acesso: 11 dez. 2024.
- Anderson, L., Marchezini, V. (2021). Mudanças na exposição da população à fumaça gerada por incêndios florestais na Amazônia: o que dizem os dados sobre desastres e qualidade do ar? *Saúde em Debate* [Online] 44. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0103-11042020E220>. Acesso: 11 dez. 2024.
- Araya-Córdova, P. J., Vásquez, Ó. C. (2018). The disaster emergency unit scheduling problem to control wildfires. *International Journal of Production Economics* [Online] 200. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.04.004>. Acesso: 10 nov. 2024.
- ASF - Alaska Satellite Facility. 2023. ALOS PALSAR – About. Alaska. Disponível: <https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS>. Acesso: 14 ago. 2023.
- Assis, F. R. V., de Mendonça, I. F. C., da Silva, J. E. R., Lima, J. R., (2014). Uso de geotecnologias na locação espacial de torres para detecção de incêndios florestais no semiárido nordestino. *Revista Floresta* [Online] 44. Disponível: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/viewFile/32618/22134>. Acesso: 01 mar. 2014.
- Barlow, J., Berenguer, E., Carmenta, R., França, F. (2019). Clarifying Amazonia's burning crisis. *Global Change Biology* [Online] 26. Disponível: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1/gcb.14872>. Acesso: 01 fev. 2020.
- Barros, R. F. (2021). Vigilância territorial indígena e tecnologias: avanços e desafios para autonomia na era digital. *Novas Reflexões Indigenistas*. In book: Parte II: Desafios e

- perspectivas. Disponível: <https://amazonianativa.org.br/wp-content/uploads/2021/12/Livro-Novas-Reflexoes-Indigenistas-8.12.2021.pdf>
- Barros, Q. S., Brito, L. R., Carvalho, H. P., Pinheiro, R. M., Gerreira, E. J. L., Silva, V. E. P., (2024). Utilização de drones estudos florestais: uma revisão sistemática. *Diversitas Journal* [Online] 9. Disponível: https://diversitasjournal.com.br/diversitas_journal. Acesso: 11 dez. 2024.
- Bettendorff, J. F. (1699). *Crônica da missão dos padres da Companhia de Jesus no estado do Maranhão*. Brasília: Senado Federal, Conselho Editorial, 2010. Disponível: <http://www.senado.gov.br/web/conselho/conseelho.htm>. ISBN: 978-85-7018-267-8 Acesso: 12 jun. 2024.
- Bezerra, D. Dias, B., Rodrigues, L., Tomaz, R., Santos, A., Silva-Junior, C. (2018). Análise dos focos de calor e seus impactos no Maranhão durante eventos de seca no período 1998 a 2016. *Revista Brasileira de Climatologia* [Online] 22. Disponível: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14049>. Acesso: 11 dez. 2024.
- Brando, P., Macedo, M., Silvério, D., Rattis, L., Paolucci, L., Coe, M., Amorim, C., Rolfs, H. (2020). Amazon wildfires: Scenes from a foreseeable disaster. *Flora*, [Online] 268. Disponível: <https://doi.org/10.1111/gcb.14872>. Acesso: 11 dez. 2024.
- Carmenta, R., Coudel, E., Steward, A. M. (2018). Forbidden fire: Does criminalising fire hinder conservation efforts in swidden landscapes of the Brazilian Amazon? *The Geographical Journal* [Online] 185. Disponível: <https://doi.org/10.1111/geoj.12255> Acesso: 11 dez. 2024.
- Catry, F., Rego, F., Santos, T. Almeida, J., Relvas, P. (2007). Forest Fires Prevention in Portugal - Using GIS to Help Improving Early Fire Detection Effectiveness. In *Proceedings of the 4th International Wildland Fire Conference*.
- Cavallo G. A. (2018). Conhecimentos ecológicos indígenas e recursos naturais: a descolonização inacabada. *Estudos Avançados* [Online] 32. Disponível: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0024>. Acesso: 11 dez. 2024.
- Correa Filho, F. L. (2011). Relatório diagnóstico do município de Amarante do Maranhão. CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Disponível: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/15352/1/rel-amarante_ma.pdf. Acesso: 12 jun. 2024.
- Cosgun, U., Coşkun, M., Toprak, F., Yıldız, D., Coşkun, S., Taşoğlu, E., Öztürk, A. (2023). Visibility Evaluation and Suitability Analysis of Fire Lookout Towers in Mediterranean Region, Southwest Anatolia/Türkiye. *Fire* [Online] 6. Disponível: <https://doi.org/10.3390/fire6080305>. Acesso: 11 dez. 2024.
- de Léry, J. 1578. *Histoire d'un voyage faict en la terre du Brésil*. Nouvelle Édition / avec une introduction des notes par Paul Gaffarel. Alphonse Lemerre, Éditeur. Paris. 1880.
- dos Santos, P. D., dos Santos Junior, D. A. (2023). A importância do uso de drones no patrulhamento ambiental. *Brazilian Journal of Development* [Online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.34117/bjdv9n6-145>. Acesso: 11 dez. 2024.
- Eugênio, F., Santos, A., Fiedler, N., Ribeiro, G., Silva, A., Juvanol, R., Schettino, V., Fonseca, G., Santos, G., Pezzopane, J., Duguy, B., Banhs, A., Martins, Lima. (2016). GIS applied to location of fires detection towers in domain area of tropical forest. *The Science of the total environment* [Online] 562. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.231>. Acesso: 11 dez. 2024.
- Falleiro, R., Santana, M., Ribas, C., (2016). As Contribuições do Manejo Integrado do Fogo para o Controle dos Incêndios Florestais nas Terras Indígenas do Brasil. *Biodiversidade Brasileira - BioBrasil* [Online] 6. Disponível: <https://doi.org/10.37002/biodiversidadebrasileira.v6i2.655>. Acesso: 11 dez. 2024.
- FAO. 2001. *International handbook on forest fire protection. Technical guide for the countries of the Mediterranean basin*.
- Félix, F., Lourenço, L. (2017). O tempo de resposta do ataque inicial a incêndios florestais nos espaços mais sensíveis de Portugal. O exemplo prático da serra da Lousã. *Territorium* [Online] 24. Disponível: https://doi.org/10.14195/1647-7723_24_14. Acesso: 11 dez. 2024.
- Fernandes, H. G. P; Costa, W. S; Nogueira, F. L. S; Braga, E. V; Leão, P. H. A; Rodrigues, T. C. S; Silva Junior, C. H. L. (2024). Análise do uso e cobertura da terra e suas relações com o fogo nas terras indígenas do município de Amarante, Maranhão, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* [Online] 17. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.3.p1738-1753>. Acesso: 11 dez. 2024.

- Flores, B. M., Montoya, E., Sakschewski, Nascimento, N., Staal, A., Betts, R. A., ... & Hirota, M., (2024). Critical transitions in the Amazon forest system. *Nature* [Online] 626. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06970-0>. Acesso: 12 dez. 2024.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2024. Censo 2022. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ma/amarante-do-maranhao.html>. Acesso: 12/06/2024.
- INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. (2022). Relatório de Análise de Mercado de Terras – RAMT. Disponível: https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/relatorio-de-analise-de-mercados-de-terras/RAMT_MA_2022.pdf. Acesso: 12 jun. 2024
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2022). Base de Dados de Queimadas. Disponível: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>. Acesso: 17 jul. 2022
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2023). Base de Dados de Queimadas. Disponível: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas/>. Acesso: 13 jul. 2023
- IMESC - Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos Cartográficos. (2021a). As Dinâmicas Climáticas do Estado do Maranhão entre 1989 e 2018: precipitações, umidade atmosférica e evapotranspiração potencial / Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos Cartográficos-IMESC. - São Luís: IMESC, 2021. 228 p. ISBN: 978-65-87226-24-8
- IMESC - Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos Cartográficos. (2021b). Enciclopédia dos Municípios Maranhenses: região de desenvolvimento do Tocantins Maranhense São Luís: IMESC, 2021b. v. 7: il; 517 p. ISBN: 978-65-87226-12-5
- ISA – Instituto Socioambiental. (2024). Terra Indígena Governador. Disponível: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3672>. Acesso: 12 jun. 2024
- Kucuk, O., Topaloglu, O., Altunel, A.O. Cetin, M. (2017). Visibility analysis of fire lookout towers in the Boyabat State Forest Enterprise in Turkey. *Environ Monit Assess* [Online] 189. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6008-1>. Acesso: 12 jun. 2024
- Leite-Filho, A.T., Soares-Filho, B.S., Davis, J.L., Abrahão, G.M. e Borner, J. (2021). O desmatamento reduz as chuvas e as receitas agrícolas na Amazônia brasileira. *Nat Commun* [Online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22840-7>. Acesso: 12 jun. 2024.
- Leite, M. J. H., Pinto, A. V. F e Rodrigues Huniot, L. A. R. (2021). Legislação na Agronomia [eletrônico]: responsabilidade social para um futuro melhor. Campina Grande: Editora Ampila. 180 pp.
- Leonel, M. (2000). O uso do fogo: o manejo indígena e a piromania da monocultura. *Estudos Avançados*. [Online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142000000300019>. Acesso: 12 jun. 2024.
- Lopes, M., Marques, P., Estevão, P. (2021). Community Environmental Monitoring: the management of commons in Cassurubá Extractive Reserve. *Ambiente & Sociedade*. [Online] 24. Disponível: <https://doi.org/10.1590/18094422asoc20190153r2vu202111ao>. Acesso: 12 jun. 2024.
- Lorenzon, A., Martins, M., Brianezi, D., Valderato, E. (2018). Comportamento do fogo. Viçosa, MG. Editora UFV. Incêndio Florestal – Princípios, manejos e impactos. p. 66 – 91.
- MAPBIOMAS. (2021). Relatório Anual de Desmatamento 2019 Disponível: <https://alerta.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/17/2024/03/MBI-relatorio-desmatamento-2019-FINAL5.pdf> Acesso: 12 jun. 2024.
- Miranda, G. J. D., de Mendonça, B. A. F., de Oliveira, E. R. S., de Oliveira, K. A., Romeiro, J. M. N., Torres, F. T. P. (2022). Large Fires and Fire Danger Indices in ‘Governador’ Indigenous Territory, Maranhão State. *Floresta*, [Online] 52. Disponível: <https://doi.org/10.5380/RF.V52I1.78027>. Acesso: 12 jun. 2024
- Mistry, J., Berardi, A., Andrade, V., Krahô, T., Krahô, P., Leonardos, O., (2005). Indigenous Fire Management in the Cerrado of Brazil: The Case of the Krahô of Tocantins. *Human Ecology* [Online] 33. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s10745-005-4143-8>. Acesso: 12 jun. 2024.
- Mistry, J., Bilbao, B., Berardi, A. (2016). Community owned solutions for fire management in tropical ecosystems: Case studies from Indigenous communities of South America. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*.

- [Online] 371. Disponível: <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0174>. Acesso: 12 jun. 2024.
- Moreira, P., Mendes, T., Santos, D., (2020). Avaliação de locais potenciais para instalação de torres de observação para prevenção de risco de incêndios florestais. *Ciência Florestal*. [Online] 30. Disponível: <https://doi.org/10.5902/1980509839686>. Acesso: 12 jun. 2024.
- Morelli, F., Pasoos, H., Nogueira, J., Romão, M., Martins, G., Setzer, A., Schroeder, W. (2019). Procedimentos no uso de drones para validar a detecção de queimadas por satélites. v. 9 n. 1 (2019): Wildfire Conference: Resumos
- Oliveira, A. K.; Oliveira, K. A.; Sousa, W. S.; Silva, C. A. A. C.; Silva, E. A.; Silva, R. O. (2022). Caracterização de cicatrizes de incêndios na terra indígena governador, Maranhão/BR. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, [Online] 13. Disponível: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.006.0021>. Acesso: 12 jun. 2024.
- Oliveira, E., Fernandes, P. (2023). Uma cartografia aperfeiçoada das áreas ardidas no Alto Minho (Noroeste de Portugal) entre 2001 e 2020 (An improved mapping of burned areas in Alto Minho (Northwest Portugal) between 2001 and 2020). *Finisterra*. [Online] 58. Disponível: http://scielo.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0430-50272023000100015 Acesso: 12 jun. 2024.
- Oliveira, E., Colaço. M. C., Fernandes, P. M.; Sequeira, A. C. (2023) Remains of traditional fire use in Portugal: A historical analysis. *Trees, Forests and People* [Online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2023.100458>. Acesso: 12 jun. 2024.
- Oliveira, U., Soares-Filho B., Bustamante, M., Gomes, L., Ometto, J.P., Rajão, R., (2022). Determinants of Fire Impact in the Brazilian Biomes. *Frontiers in Forests and Global Change* [Online] 5. Disponível: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.735017>. Acesso: 12 jun. 2024.
- OSM – OpenStreetMap (2023). Base de Dados. Disponível: <https://download.geofabrik.de/south-america/brazil.html> . Acesso: 04 jul. 2022.
- OTI - Observatório Técnico Independente. Castro Rego F., Fernandes P., Sande Silva J., Azevedo J., Moura J.M., Oliveira E., Cortes R., Viegas D.X., Caldeira D., e Duarte Santos F. (2019). A valorização da primeira intervenção no combate a incêndios rurais. Assembleia da República. Lisboa. Disponível: https://www.parlamento.pt/Documents/2019/novembro/Versao_Final_ESTUDO_OTI.pdf Acesso:11 jun. 2024.
- Pérez, S. F. Ortuño, L., J. L. Fernández-Cavada. (2007). Evaluación económica de los daños por incendios forestales. *Congreso Internacional Wildfire 2007*. Sevilla – España
- Pivello, V. R. (2011). The Use of Fire in the Cerrado and Amazonian Rainforests of Brazil: Past and Present. *Fire Ecology*. [Online] 7. Disponível: <https://doi.org/10.4996/fireecology.0701024>. Acesso:11 jun. 2024.
- Pivello, V., Guimarães V. I., Christianini, A., Ribeiro, D. Berlinck, C., Melo, F., Marengo, J., Tornquist, C., Tomas, W., Overbeck, G. (2021). Tradução do artigo: White paper entendendo os incêndios catastróficos no Brasil: Causas, consequências, e a política necessária para evitar tragédias futuras. *Perspectives in Ecology and Conservation*. [Online] 19. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.005>. Acesso:11 jun. 2024.
- Povak, N. A., Hessburg, P. F., Salter, R. B. (2018). Evidence for scale-dependent topographic controls on wildfire spread. *Ecosphere*. [Online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.1002/ecs2.2443> Acesso: 10 jun. 2024.
- Rago, F., Catry, F. (2006). Modelling the effects of distance on the probability of fire detection from lookouts. *International Journal of Wildland Fire*. [Online] 15. Disponível: <https://doi.org/10.1071/WF04016>. Acesso: 10 jun. 2024.
- Rago, F., Catry, F., Molina, C., Karlsson, O. (2013). Influence of territorial variables on the performance of wildfire detection systems in the Iberian Peninsula. *Forest Policy and Economics*. [Online] 29. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2012.11.007>. Acesso: 10 jun. 2024.
- Ribeiro, A. F. S., Santos, L., Randerson, J. T., Uribe, M. R., Alencar, A. A. C., Macedo, M. N., Morton, D. C., Zscheischler, J., Silvestrini, R. A., Rattis, L., Seneviratne, S. I. Brando, P. M. (2024). The time since land-use transition drives changes in fire activity in the Amazon-Cerrado region. *Communications Earth & Environment* [Online] 5. Disponível: <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01248-3> Acesso: 10 dez. 2024.
- Ribeiro, D. Q., Carvalho, L. F., Fushimi, M., Masullo, Y. A. G., (2024). Tecnologia e tradição: o uso de geotecnologias na Terra Indígena Araribóia – Maranhão. *Anais do XX*

- SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & IV ELAAGFA - Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente... Campina Grande: Realize Editora. Disponível: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/18327>. Acesso: 10 dez. 2024.
- Rodríguez y Silva, F., (2007). Coste y eficiencia en las operaciones de extinción de incendios forestales, fundamentos y herramientas para su estudio y análisis. Congreso Internacional Wildfire 2007. Sevilla – España
- Sales, D., Marques de O. N., F. (2020). Análise da distribuição das queimadas no cerrado maranhense, Brasil (2014-2018). *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade*. [Online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.22292/mas.v9i18.880>. Acesso: 10 dez. 2024.
- Sales, L., Silva, D. Lima, E., Coelho, G., Almeida, G., Botelho R. J. (2019). 10 municípios maranhenses mais atingidos por focos de queimadas nos anos de 2014 e 2015. *Revista de Geografia*. [Online] 36. Disponível: <https://doi.org/10.51359/2238-6211.2019.230387>. Acesso: 11 jun. 2024.
- Salomão, C.S.C., Stabile, M.C.C., Souza, L., Alencar, A., Castro, I., Guyot, C., Moutinho, P., (2021). Amazônia em Chamas - desmatamento, fogo e pecuária em terras públicas: nota técnica nº 8. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia Disponível: amazonia-em-chamas-8-desmatamento-fogo-e-pecuaria-em-terras-publicas.
- Schmidt, I. B., Eloy, L. (2020). Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management. *Flora* [Online] 268. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151613>. Acesso: 11/06/2024.
- Silva-Junior, C., Anderson, L., Aragão, L., Rodrigues, B. (2018). Dinâmica das Queimadas no Cerrado do Estado do Maranhão, Nordeste do Brasil. *Geography Department University of Sao Paulo*. 35. 10.11606/rdg.v35i0.142407.
- Silva-Junior, C. H. L., Buna, A. T. M., Bezerra, D. S., Costa, O. S., Jr.-Santos, A. L., Basson, L. O. D., Santos, A. L. S., Alvarado, S. T., Almeida, C. T., Freire, A. T. G., (2022). Forest Fragmentation and Fires in the Eastern Brazilian Amazon–Maranhão State, Brazil. *Fire* [Online] 5. Disponível: <https://doi.org/10.3390/fire5030077> Acesso: 11 jun. 2024.
- Spinelli-Araújo, L. Bayma-Silva, G. Torresan, F. E. Vicente, L. E. Bolfe, E. L. Manzatto, C. (2016). Conservação da biodiversidade do estado do Maranhão: cenário atual em dados geoespaciais. *Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente*. 28 (Documentos / Embrapa Meio Ambiente) Disponível: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1069715/1/SerieDocumentos108Luciana.pdf>. Acesso: 11 jun.2024.
- Staden, H. 1557. Suas viagens e captiveiro entre os selvagens do Brazil. Tradução da Primeira Edição Original, com anotações explicativas. Edição Comemorativa do 4.º Centenário. Instituto Histórico e Geográfico de S. Paulo. Typ. Da Casa Eccletica. S. Paulo. 1900.
- Torres, F. T. P., Lima, G. S., Oliveira, E. R. de S., Lourenço, L. F., Félix, F. R. F., Ribeiro, G. A. (2020). Manual de prevenção e combate de incêndios florestais (Manual for preventing and fighting wildfires) [Online] 1. Disponível: <https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2021/03/manual-prevencao-combate-incendios-florestais.pdf> Acesso: 11 jun. 2024.
- Torres, F. T. P., Romeiro, J. M. N., Santos, A. C. de A., de Oliveira Neto, R. R., Lima, G. S., Zanuncio, J. C. (2018). Fire danger index efficiency as a function of fuel moisture and fire behavior. *Science of the Total Environment* [Online] 631. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.121> . Acesso: 11 jun. 2024.
- Valim, R., (2023). Os Povos indígenas e o uso das tecnologias da informação como recursos EAD na defesa e difusão de suas culturas. In: ARAÚJO, Vanessa Freitag de (org.). Educação: política, estado e formação humana 2. Ponta Grossa-Pr: Atena, p. 210. Disponível: <http://repositorio.ifro.edu.br/handle/123456789/784>. Acesso: 11 jun. 2024.
- Vázquez-Varela, C., Martínez-Navarro, J. M., Abad-González, L., (2022). Traditional Fire Knowledge: A Thematic Synthesis Approach. In: *Fire* [Online] 5. Disponível: <https://doi.org/10.3390/fire5020047>. Acesso: 11 jun. 2024.
- Vázquez Vázquez, M. C., Chas Amil, M. L., Touza, J. M. (2014). Estimación de los costes de las operaciones de extinción de incendios forestales: Estudio de caso en el Distrito Forestal De A Limia. *Revista Galega de Economía* [Online] 23. Disponível: <https://doi.org/10.15304/rge.23.1.2459>. Acesso: 11 jun. 2024.
- Venâncio, P. (2016). Workshop de Análise Espacial com QGIS – Análise de Redes. 3.º Encontro de Utilizadores de QGIS Portugal.

Porto, Welch J.R., Brondízio E.S., Hetrick S.S.,
Coimbra Jr C.E.A. (2013) Indigenous Burning
as Conservation Practice: Neotropical Savanna
Recovery amid Agribusiness Deforestation in

Central Brazil [Online] 8. Disponível:
<https://doi.org/doi:10.1371/journal.pone.0081226>.
Acesso: 11 jun. 2024.