

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DAS CICATRIZES DE QUEIMADAS USANDO MÉTRICAS DA ECOLOGIA DA PAISAGEM NA ZONA DE INFLUÊNCIA DA TERRA INDÍGENA KARIPUNA E PARQUE ESTADUAL GUAJARÁ-MIRIM – RONDÔNIA/BRASIL

Spatio-temporal analysis of fire scars using landscape ecology metrics in the zone of influence of the Karipuna Indigenous Land and Guajará-Mirim State Park – Rondônia/Brazil

Poliane Reis Berson

Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária – UNIR, Brasil

polianeraizer@gmail.com

Rodrigo Martins Moreira

Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental – UNIR, Brasil

rodrigo.moreira@unir.br

Gutieres Camatta Barbino

Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – UNIR, Brasil

gutieres.barbino@gmail.com

João Gilberto de Souza Ribeiro

Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – UNIR, Brasil

joao.gilberto@unir.br

Adão da Silva Oliveira

Mestre em Química – UNIR, Brasil

adao.oliveira@unir.br

Paulo Henrique de Souza

Docente na graduação e mestrado em Geografia – UNIFAL-MG, Brasil

paulohenrique.souza@unifal-mg.edu.br

Bruno César dos Santos

Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental – EESC/USP, Brasil

bruno-unifal@hotmail.com

Suellen Nascimento dos Santos

Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária – UNIR, Brasil

suellen12nascimentodossantos@gmail.com

Recebido: 07/07/2026

Aceito: 21/09/2026

Resumo

As áreas protegidas na Amazônia têm enfrentado pressões antrópicas crescentes, com as queimadas como um dos principais vetores de alteração da paisagem. Este estudo foi motivado pela necessidade de compreender os padrões espaço-temporais do fogo em duas importantes áreas protegidas em Rondônia, o Parque Estadual de Guajará-Mirim e a Terra Indígena Karipuna e suas zonas de influência, fornecendo subsídios para políticas de conservação e controle de queimadas na região. Foram utilizados dados do MapBiomas Fogo (1995-2024) para mapear as cicatrizes de queimadas. As métricas de paisagem (Área Média dos Fragmentos, Número de Fragmentos, Maior Mancha da Paisagem, Densidade de Bordas, Índice de Forma e Índice de Proximidade) foram calculadas usando o software Fragstats. O processamento espacial foi realizado no Google Earth Engine e QGIS, utilizando o SRC EPSG:31980. Identificou-se um crescimento exponencial da área queimada no Parque Estadual de Guajará-Mirim, atingindo 81.778,39 ha em 2024, com alta fragmentação (388 fragmentos). Na Terra Indígena Karipuna, a pressão foi predominantemente externa, com a zona de influência apresentando 10.063,71 ha queimados em 2024 e a Maior Mancha da Paisagem de 55,02%, indicando grandes manchas consolidadas no entorno. O Parque Estadual de Guajará-Mirim sofre com pressão interna intensa de fogo e alta fragmentação, e a Terra Indígena Karipuna enfrenta pressão externa consolidada, com grandes manchas de queimadas no entorno, o que coloca ambas as áreas protegidas sob grave ameaça e exige políticas específicas de controle e monitoramento.

Palavras-chave: Amazônia, Ecologia da Paisagem, Fragmentação Florestal, Geoprocessamento, Unidades de Conservação.

Abstract

Protected areas in the Amazon have faced increasing anthropogenic pressures, with fires as a main driver of landscape change. This study was motivated by the need to understand the spatio-temporal patterns of fire in two important protected areas in Rondônia, the Guajará-Mirim State Park and the Karipuna Indigenous Land and its zones of influence, providing subsidies for conservation policies and fire control in the region. Data from MapBiomas Fire (1995-2024) were used to map the scars of fires. Landscape metrics (Average Area of Fragments, Number of Fragments, Largest Landscape Patch, Edge Density, Shape Index, and Proximity Index) were calculated using the Fragstats software. Spatial processing was performed in Google Earth Engine and QGIS, using SRC EPSG:31980. An exponential growth of the burned area was identified in the Guajará-Mirim State Park, reaching 81,778.39 ha in 2024, with high fragmentation (388 fragments). In the Karipuna Indigenous Land, the pressure was predominantly external, with the zone of influence presenting 10,063.71 ha burned in 2024 and the Largest Landscape Spot of 55.02%, indicating large consolidated patches in the surroundings. The Guajará-Mirim State Park suffers from massive internal fire pressure and high fragmentation and the Karipuna Indigenous Land faces consolidated external pressure with large patches of fires in the surroundings, where both protected areas are under serious threat, requiring specific control and monitoring policies.

Keywords: Amazon, Landscape Ecology, Forest Fragmentation, Geoprocessing, Conservation Units.

1. INTRODUÇÃO

A paisagem amazônica tem passado por profundas transformações nas últimas décadas, impulsionadas principalmente pela expansão de atividades antrópicas como a agropecuária, a exploração madeireira e a mineração (Fearnside, 2017). Estas transformações resultam em alterações significativas na estrutura e função dos ecossistemas, com implicações diretas para a biodiversidade, os serviços ecossistêmicos e o clima regional e global (Davidson *et al.*, 2012). Neste contexto, o fogo emerge como uma ferramenta de manejo de terra e, simultaneamente, como uma força de degradação ambiental de grande magnitude, capaz de alterar a estrutura e a função da paisagem a longo prazo (Alencar *et al.*, 2015).

As queimadas representam um dos principais fatores de degradação ambiental em ecossistemas tropicais, especialmente na Amazônia. Esses eventos, muitas vezes associados a atividades antrópicas, acarretam perdas significativas de biodiversidade, fragmentação florestal, emissão de poluentes atmosféricos e prejuízos socioeconômicos. Além de comprometer a fauna e a flora, os incêndios florestais contribuem para o agravamento do efeito estufa e para o aquecimento global, afetando diretamente a qualidade de vida das populações humanas (Silva *et al.*, 2019; Ribeiro, Melo e Valente, 2020; Moreira *et al.*, 2021).

Os impactos das queimadas vão além da destruição imediata da vegetação, o fogo reduz a biodiversidade, altera a microbiota do solo, compromete a fertilidade e modifica propriedades físicas e químicas do solo e intensifica processos erosivos, afetando diretamente a dinâmica ecológica e regeneração dos ambientes florestais (Lopes; Santiago; Silva; Gurgel, 2023).

A ação do fogo provoca alterações ecológicas duradouras que afetam diretamente a estrutura e dinâmica da paisagem. A fragmentação florestal, definida como a subdivisão de habitats contínuos em pequenas manchas isoladas, tende a ser intensificada pelas queimadas, reduzindo a conectividade ecológica e ampliando o isolamento de espécies. Essa condição compromete processos essenciais, como a dispersão de sementes e do deslocamento da fauna, diminuindo a resiliência dos ecossistemas frente a novos distúrbios (Silva; Almeida; Gama, 2021).

A ecologia da paisagem se consolidou como um campo essencial para a compreensão dos padrões espaciais e temporais do ambiente, permitindo analisar

como a heterogeneidade, a conectividade e a configuração das unidades da paisagem são afetadas pelas ações humanas. O uso de métricas específicas possibilita quantificar níveis de fragmentação, diversidade e estrutura espacial, contribuindo para avaliar a intensidade dos impactos antrópicos e as consequências das queimadas. Nesse contexto, o avanço da atividade agropecuária e a substituição de habitats naturais intensificam a fragmentação florestal e alteram a dinâmica ecológica regional, reforçando a importância da ecologia da paisagem na interpretação dessas transformações (Jacob, 2017; Leal *et al.*, 2019).

A Constituição Federal de 1988, em seu Artigo 255, estabelece que o meio ambiente ecologicamente equilibrado é um direito de todos, devendo ser protegido e preservado pelo poder público e pela coletividade, de forma a garantir qualidade de vida para as presentes e futuras gerações. Complementando esse princípio, a Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), definindo critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação. No Artigo 2º, o SNUC define essas áreas como espaços territoriais legalmente instituídos pelo poder público, destinados à proteção ambiental, com limites definidos e garantias de preservação. Além disso, o Artigo 11 da mesma lei estabelece a missão dos Parques Nacionais, que, além de assegurar a proteção da flora e fauna, devem possibilitar pesquisas científicas, atividades de educação ambiental, recreação em contato com a natureza e turismo ecológico, promovendo uma relação equilibrada entre ser humano e meio ambiente. Já a Lei nº 6.001, de dezembro de 1973, que dispõe sobre o Estatuto do Índio, prevê que as terras indígenas podem ser classificadas em diferentes modalidades, como reservas, parques e colônias agrícolas, assegurando o usufruto dos recursos naturais e garantindo meios de subsistência às comunidades indígenas.

O estado de Rondônia, localizado no chamado “arco do desmatamento”, é um dos palcos mais críticos dessas transformações. Historicamente, o estado tem apresentado elevadas taxas de desmatamento e queimadas, reflexo do avanço da fronteira agrícola e da ocupação desordenada do território (INPE, 2023).

As queimadas em Rondônia representam um desafio ambiental de longa data. Desde 1985 o estado apresenta variações significativas na ocorrência e intensidade de incêndios florestais, influenciados por fatores climáticos, geográficos e socioeconômicos (INPE, 2025). Nos últimos 40 anos, os focos de queimadas têm se

concentrado principalmente durante o período seco, com destaque para práticas humanas relacionadas à expansão agrícola e pecuária, o que evidencia a ação antrópica como principal fator impulsionador dos incêndios (MapBiomias, 2024).

Neste cenário, áreas protegidas assumem papel fundamental como barreiras ao desmatamento e à degradação ambiental, entre estas, destacam-se o Parque Estadual de Guajará-Mirim (PEGM) e a Terra Indígena Karipuna (TIK), ambas localizadas em região de intensa pressão antrópica e consideradas prioritárias para a conservação da biodiversidade amazônica (ISA, 2022).

A década de 2000 trouxe uma leve redução nos focos de calor, atribuída a políticas públicas mais rigorosas, fiscalização ambiental e ações de combate a incêndios (Governo do Estado de Rondônia, 2025). No entanto, episódios críticos, como o aumento expressivo das queimadas em 2019, reforçam a vulnerabilidade do estado diante de práticas ilegais de desmatamento e uso do fogo como método de manejo de terra (MapBiomias, 2024).

Entre 1985 e 2024, Rondônia experimentou oscilações significativas no número de hectares queimados, com picos em determinados anos, demonstrando a necessidade de estratégias integradas e contínuas de preservação e mitigação (INPE, 2024).

Essas ocorrências têm afetado diretamente tanto a zona de influência quanto as áreas protegidas, como o PEGM e a TIK, desde a década de 1980 (INPE, 2025). O PEGM, criado com o objetivo de conservar ecossistemas florestais estratégicos, e a TIK, área de preservação ambiental e cultural, enfrentam pressões contínuas devido a queimadas, muitas vezes associadas à expansão agrícola, pecuária e manejo inadequado do território (MapBiomias, 2024).

Apesar da reconhecida importância das áreas protegidas para a conservação da Amazônia, estudos que integram análises temporais de longa duração com métricas de paisagem para compreender a dinâmica do fogo nestas áreas ainda são escassos. Particularmente, análises que considerem não apenas o interior das áreas protegidas, mas também suas zonas de influência, são essenciais para compreender os processos de pressão e isolamento que afetam essas áreas (DeFries *et al.*, 2005).

A necessidade de compreender os impactos espaciais e temporais das queimadas motivou o desenvolvimento deste estudo, considerando que áreas legalmente protegidas, como unidades de conservação e terras indígenas, têm sofrido

pressões ambientais que colocam em risco a integridade de seus ecossistemas. A hipótese central é que, por meio das métricas da ecologia da paisagem, é possível identificar e quantificar os efeitos das cicatrizes de queimadas na configuração e funcionalidade da paisagem, evidenciando a perda de conexões ecológicas e o isolamento dos fragmentos florestais.

Diante desta lacuna científica e para contribuir com o debate acerca da urgência em conter o avanço do desmatamento e das queimadas na Amazônia, este trabalho teve como objetivo analisar a dinâmica espaço-temporal das cicatrizes de queimadas no Parque Estadual de Guajará-Mirim e na Terra Indígena Karipuna, e em suas zonas de influência, no período de 1995 a 2024, por meio de métricas da ecologia da paisagem. Especificamente, buscou-se: (i) quantificar a evolução temporal da área queimadas nestas áreas; (ii) analisar os padrões de fragmentação da paisagem decorrentes das queimadas; (iii) identificar diferenças nos padrões espaciais do fogo entre áreas protegidas e suas zonas de influência; e (iv) discutir as implicações dos resultados para políticas de conservação e manejo do fogo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em duas áreas protegidas localizadas no estado de Rondônia, Brasil, região sudoeste da Amazônia Legal brasileira. Ambas se encontram em uma das regiões mais críticas do chamado arco do desmatamento e figuram entre as áreas sob maior pressão antrópica no estado. Segundo a iniciativa MapBiomas (2023), o entorno do PEGM apresenta alguns dos maiores índices de avanço agropecuário e ocorrência de queimadas de Rondônia, com crescimento expressivo de áreas convertidas nos últimos anos. De modo semelhante, a TIK é reconhecida como uma das terras indígenas mais pressionadas da Amazônia, com registros contínuos de invasões, abertura de ramais ilegais e expansão de pastagens, fatores que intensificam queimadas e desmatamento em seu interior e entorno (MPF, 2022; ISA, 2023). Esses elementos justificam a escolha das áreas, uma vez que representam zonas prioritárias para monitoramento ambiental e avaliação da dinâmica das cicatrizes de queimadas.

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado no Parque Estadual de Guajará-Mirim (PEGM) e na Terra Indígena Karipuna (TIK), ambos localizados no estado de Rondônia, sudoeste da Amazônia brasileira, como podemos ver na figura 1.

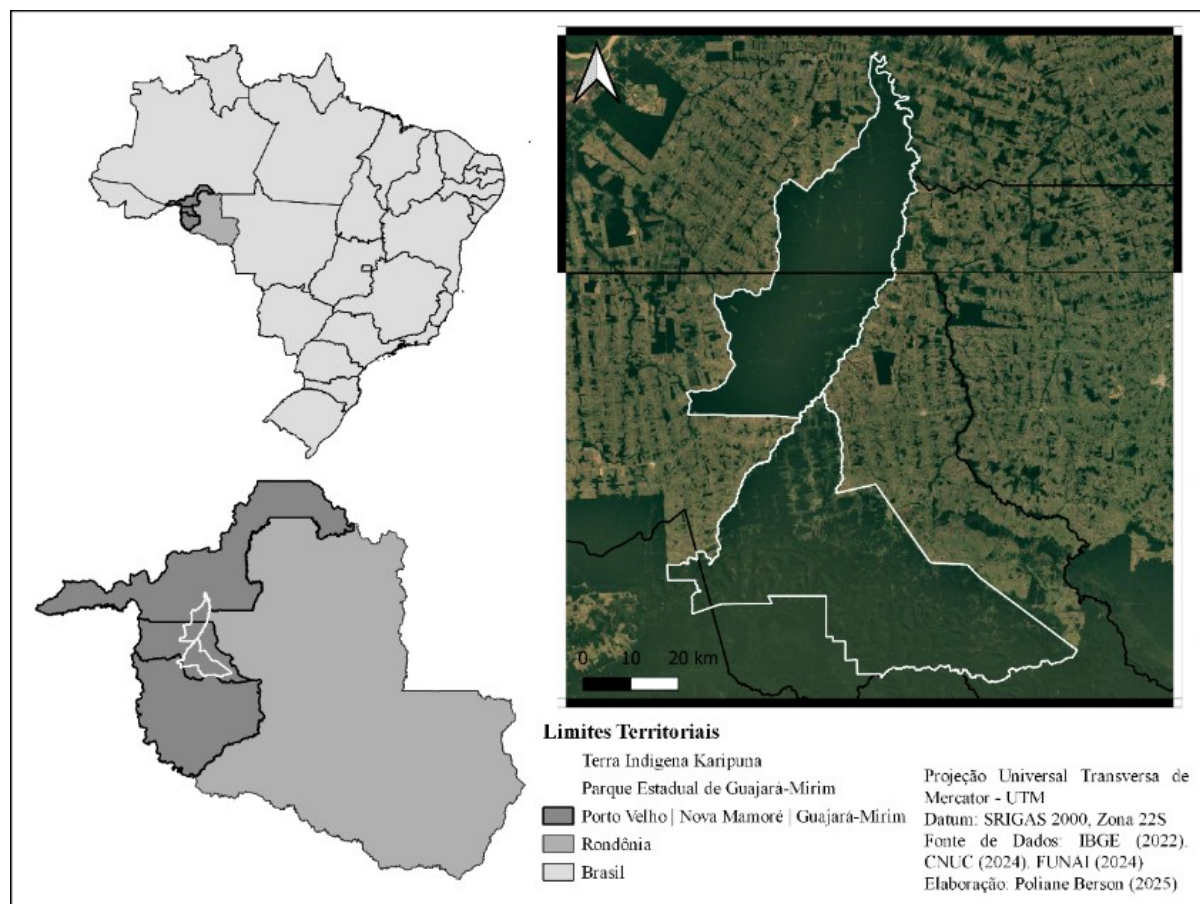


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo

Fonte: elaborado pelos autores.

O Parque Estadual Guajará-Mirim (PEGM) é uma unidade de conservação situa-se nas coordenadas geográficas aproximadas de 10°20'S e 64°40'W, abrangendo parte dos municípios de Nova Mamoré e Guajará-Mirim. Criado pelo Decreto nº 4.575, de 23 de março de 1990, possui uma área total de aproximadamente 220 mil hectares e está inserido no bioma amazônico (CNUC, 2024). O Parque Estadual de Guajará-Mirim caracteriza-se por abrigar formações vegetais de florestas ombrófila densa, com presença de igapós e várzeas ao longo dos rios que cortam a unidade. O clima da região é do tipo Aw na classificação de

Köppen, tropical úmido-seco, com estação seca bem definida entre maio e setembro, período no qual se concentram a maioria das queimadas (Alvares *et al.*, 2013).

A Terra Indígena Karipuna (TIK), localiza-se nas coordenadas aproximadas de 10°45'S e 64°15'W, nos municípios de Porto Velho e Nova Mamoré. Homologada pelo Decreto sem número, de 08 de setembro de 1998, a Terra Indígena Karipuna possui uma área de aproximadamente 153 mil hectares, com uma população estimada em 55 habitantes e também está inserida no bioma amazônico (FUNAI, 2024). A reduzida dimensão populacional, associada ao histórico de pressões externas sobre o território, acentua a vulnerabilidade sociocultural do povo Karipuna e reforça a importância da proteção territorial e ambiental da região (ISA, 2025). A vegetação predominante é de floresta ombrófila densa, com similaridades fitoecológicas do Parque Estadual de Guajará-Mirim. O clima segue o mesmo padrão tropical úmido-seco.

Para cada área protegida, foi delimitada uma Zona de Influência (ZI), definida como um buffer (área de amortecimento) de 1.000 metros a partir de seus limites. Esta distância foi estabelecida com base em estudos anteriores que indicam ser esta uma escala adequada para capturar os efeitos de borda e as pressões antrópicas imediatas sobre áreas protegidas (Laurance *et al.*, 2002). A zona de influência representa assim a área de transição e pressão antrópica direta sobre os limites do Parque Estadual de Guajará-Mirim e da Terra Indígena Karipuna, onde atividades como agricultura, pecuária e assentamentos humanos podem exercer influência significativas sobre as áreas protegidas.

2.2. Dados utilizados

Para a execução da pesquisa, foram utilizados múltiplos conjuntos de dados, provenientes de fontes oficiais e reconhecidas cientificamente, cobrindo diferentes aspectos necessários à análise proposta.

Para o mapeamento das cicatrizes de queimadas, utilizou-se a série histórica do MapBiomas Fogo (Coleção 2), disponíveis para os anos de 1995, 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 e 2024. O MapBiomas Fogo é uma iniciativa multi-institucional que produz mapeamentos anuais de áreas queimadas para todo o território brasileiro a partir de imagens de satélites, utilizando algoritmos de classificação automática e validação por especialistas (MapBiomas, 2024). A coleção 2 apresenta resolução

espacial de 30 metros e foi validada com acurácia global superior a 85% para a classe de área queimada na Amazônia.

Os limites territoriais oficiais do Parque Estadual de Guajará-Mirim foram obtidos do Cadastro Nacional de Unidade de Conservação (CNUC, 2024), mantido pelo Ministério do Meio ambiente. Os limites da Terra Indígena Karipuna foram fornecidos pela Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI, 2024), órgão federal responsável pela demarcação e proteção das terras indígenas no Brasil. A base municipal de referência foi adquirida do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), por meio da malha municipal digital na escala 1:250.000.

Todos os dados espaciais foram harmonizados para o mesmo Sistema de Referência de Coordenadas (SRC) para garantir consistência nas análises. O SRC adotado foi o EPSG:31980 – SIRGAS 2000 /UTM zone 20S, que é um sistema projetado adequado para análise de área e distância na região de estudo, minimizando distorções métricas.

2.3. Procedimentos de análise

O fluxo de trabalho adotado na pesquisa seguiu etapas sequenciais e integradas, desde a aquisição dos dados até a geração dos resultados.

A primeira etapa consistiu na aquisição e pré-processamento dos dados de cicatrizes de queimadas. Esta etapa foi realizada na plataforma Google Earth Engine (GEE), que permite o processamento de grandes volumes de dados geoespaciais em ambiente de computação em nuvem. Os dados do MapBiomas Fogo foram acessados via catálogo de dados do GEE e extraídos para os limites do PEGM, TIK e suas respectivas ZI. Foram gerados mosaicos anuais para cada ano de análise, contendo apenas a classe de área queimada.

A segunda etapa envolveu o processamento espacial avançado no software QGIS (versão 3.28). Os arquivos raster gerados no GEE foram exportados no formato GeoTIFF e importados no QGIS. Realizou-se verificação da qualidade dos dados, correção de eventuais falhas e reamostragem quando necessário. Todo o processamento foi mantido no SRC EPSG:31980 para preservar a integridade métrica das análises. Foram calculadas estatísticas básicas de área queimada para cada ano e área de estudo.

A terceira e principal etapa consistiu no cálculo das métricas de paisagem utilizando o software Fragstats (versão 4.2). As imagens de cicatrizes de queimadas, já recortadas e reprojetadas, foram utilizadas como entrada no Fragstats. O cálculo das métricas foi realizado a nível de classe (classe “queimada”) para cada ano e área de estudo (PEGM/ZI; TIK/ZI). As métricas selecionadas para análise foram:

- I. Área Média dos Fragmentos (AM): representa o tamanho médio das manchas de queimada, calculada como a soma das áreas de todos os fragmentos dividida pelo número de fragmentos. Valores maiores indicam predominância de manchas de grande extensão.
- II. Número de Fragmentos (NF): quantidade total de manchas de queimada na paisagem. Reflete o grau de fragmentação da área queimada.
- III. Maior Mancha da Paisagem (LPI - %): percentagem da paisagem coberta pela maior mancha de queimada. É um indicador de dominância, onde valores elevados indicam a presença de uma grande mancha contígua.
- IV. Densidade de Bordas (DE – m/ha): quantidade de borda de fragmento por unidade de área. Indica complexidade de bordas.
- V. Índice de Forma (FDI): mede a complexidade da forma do fragmento em relação a uma forma circular padrão. Valores próximos de 1 indicam formas simples e regulares, enquanto valores maiores indicam formas mais complexas e irregulares.
- VI. Índice de Proximidade (PCI): mede o grau de isolamento ou conectividade entre os fragmentos de queimada. Valores mais altos indicam maior conectividade entre as manchas de fogo.

A quarta etapa consistiu na análise estatística dos resultados. As métricas calculadas foram organizadas em planilhas e submetidas à análise descritiva e tendências temporais. Foram gerados gráficos e mapas temáticos para visualização dos padrões espaciais e temporais identificados.

Por fim, realizou-se a interpretação ecológica dos resultados, relacionando os padrões observados com a literatura científica sobre dinâmica do fogo e ecologia da paisagem na Amazônia. Esta interpretação considerou o contexto socioeconômico e político da região, bem como as particularidades de cada área protegida estudada.

3. Resultados

3.1. Série Histórica de Área Queimada

A análise da série histórica de área queimada revelou padrões temporais distintos entre o PEGM e a TIK e suas respectivas ZI. Pode-se observar uma tendência de crescimento exponencial da área queimada ao longo do período analisado no PEGM, conforme a Figura 2.

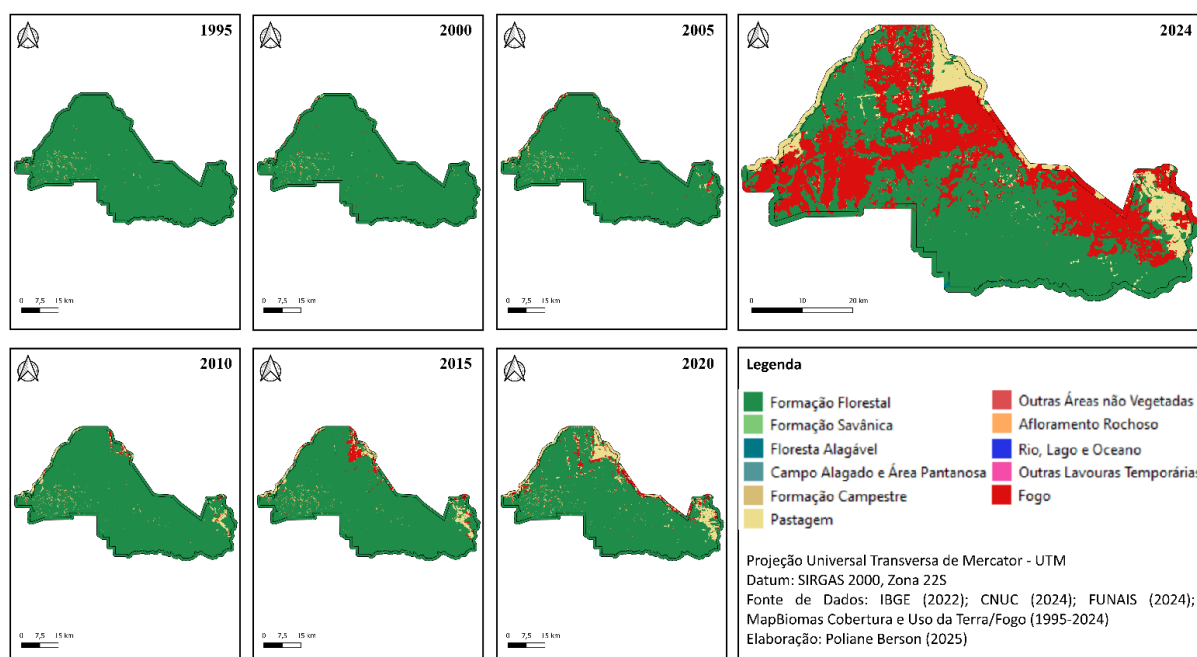


Figura 2 - Série histórica da área de uso e ocupação no Parque Estadual de Guajará-Mirim e da Zona de Influência no período de 1995 a 2024.

Fonte: elaborado pelos autores.

Em 1995, registrou-se apenas 16,54 hectares queimados dentro do parque, representando menos de 0,01% da área total da unidade. Este valor manteve-se relativamente baixo até o ano de 2000, quando foram registrados 153,70 hectares queimados. A partir de 2005, no entanto, observou-se aumento significativo, com 1.192,27 hectares queimados. Os anos de 2015 a 2020 apresentaram valores de 5.395,47 e 6.116,22 hectares, respectivamente. O pico absoluto foi registrado em 2024, com 81.778,39 hectares queimados, representando aproximadamente 41% da área total do parque.

A ZI do PEGM seguiu tendência semelhante, porém com valores absolutos predominantemente inferiores aos registrados dentro do parque, exceto nos anos

iniciais. Em 2024, a ZI do parque registrou 6.781,49 hectares queimados conforme a Figura 3.

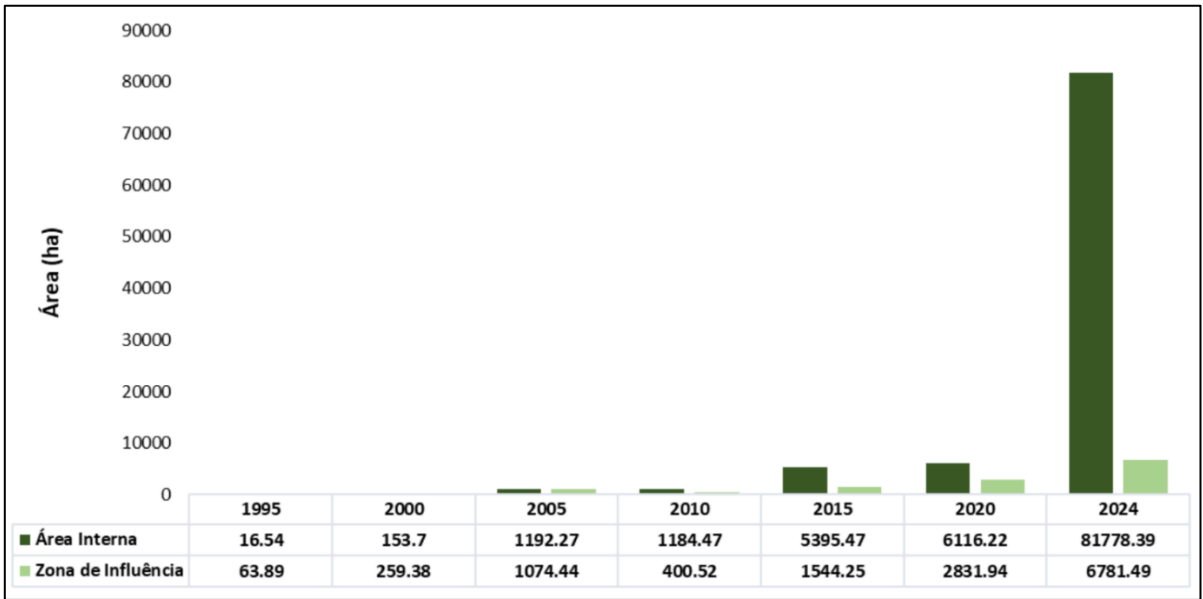


Figura 3 - Quantitativo da área queimada no Parque Estadual de Guajará-Mirim e da Zona de Influência no período de 1995 a 2024.

Fonte: elaborado pelos autores com dados do MapBiomas Fogo (2024).

Na TIK, a dinâmica temporal apresentou padrão distinto conforme a Figura 4.

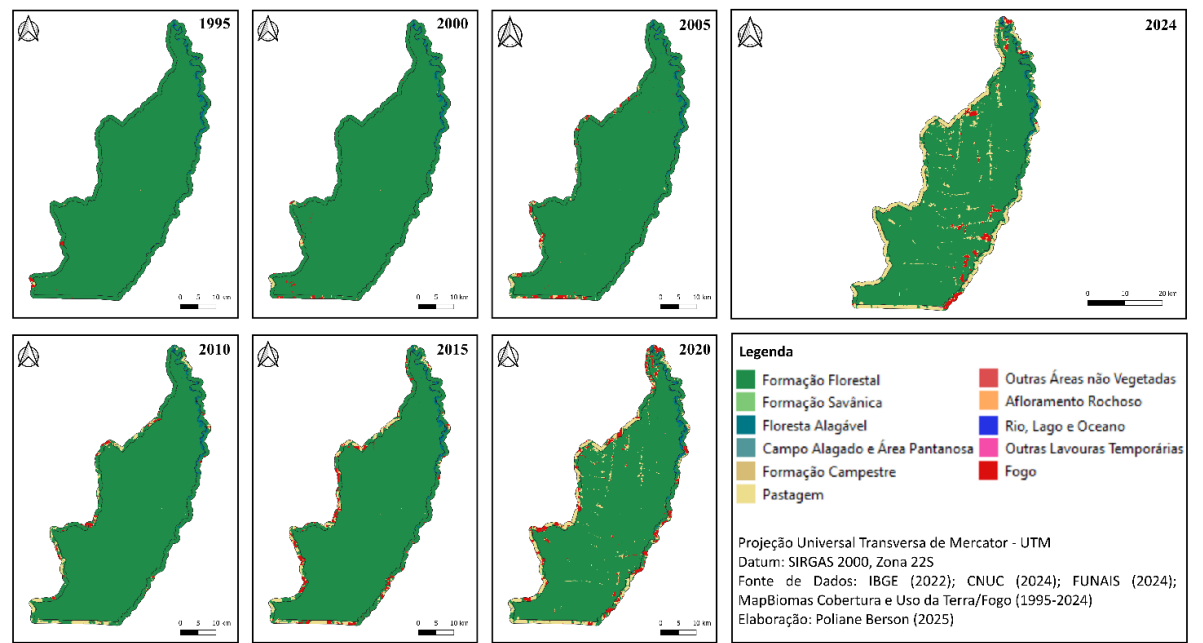


Figura 4 - Série histórica da área de uso e ocupação na Terra Indígena Karipuna e da Zona de Influência no período de 1995 a 2024.

Fonte: elaborado pelos autores com dados do MapBiomas Fogo (2024).

O cenário mais crítico para a TIK revelou-se em sua ZI. Aqui, os valores de área queimada foram consistentemente superiores aos registrados dentro do território indígena a partir de 2005. Em 2024, a ZI da TIK apresentou 10.063,71 hectares queimados, valor aproximadamente cinco vezes maior que a área queimada dentro da terra indígena e superior inclusive ao registro na ZI do parque. Este padrão indica que a pressão do fogo sobre a TIK é predominantemente externa, com as queimadas concentrando-se no entorno imediato do território indígena.

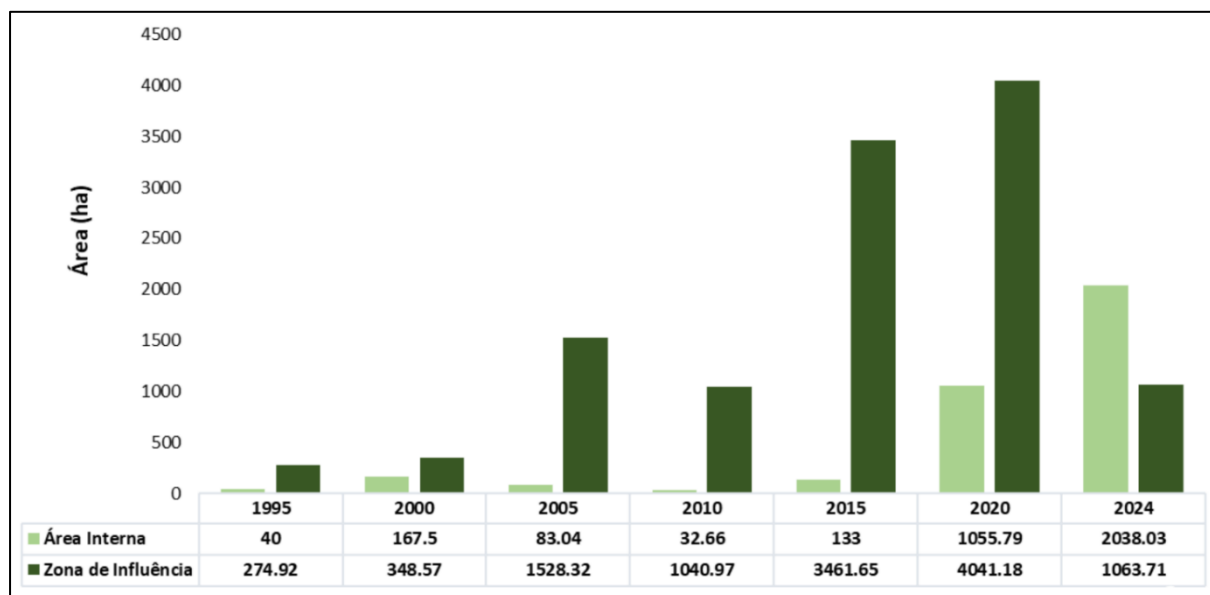


Figura 5 - Quantitativo da área queimada na Terra Indígena Karipuna e da Zona de Influência no período de 1995 a 2024.

Fonte: Elaborado pelos autores com dados do MapBiomas Fogo (2024).

3.2. Métricas de Paisagem no Parque Estadual de Guajará-Mirim e Zona de Influência

As métricas de paisagem calculadas no PEGM e sua ZI revelaram processos intensos de fragmentação decorrentes das queimadas, conforme a Figura 6.

O Número de Fragmentos (NF) no interior do parque apresentou aumento constante ao longo do período analisado, evoluindo de apenas 10 fragmentos em 1995 para 388 fragmentos em 2024. Este aumento de quase 40 vezes no número de fragmentos indica uma pulverização progressiva da paisagem queimada dentro do PEGM.

A Área Média dos fragmentos (AM) no parque apresentou comportamento não linear. De 16,83 m² em 1995, a área média aumentou consistentemente até atingir o

pico de 398,73 m² em 2015, sugerindo uma fase de consolidação de grandes manchas de queimada. No entanto, a partir de 2015, observou-se tendência de redução, com a área média caindo para 216,831 m² em 2024. Esta redução, associada ao aumento do número de fragmentos, indica que o fogo passou a criar manchas menores e mais numerosas, padrão característico da fragmentação avançada.

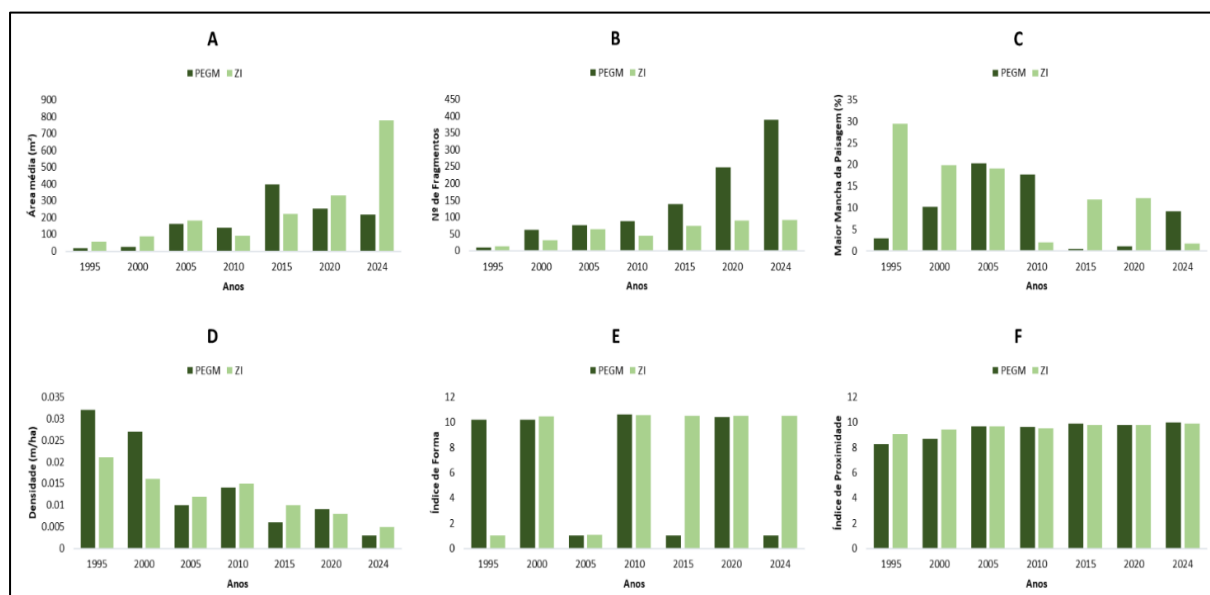


Figura 6 - Métricas da paisagem para o Parque Estadual de Guajará-Mirim (PEGM) e da Zona de Influência (ZI).

Fonte: elaborado pelos autores com dados do MapBiomass Fogo (2024) processados no Fragstats.

O Índice da Maior Mancha (LPI) no parque variou significativamente ao longo do período. Após atingir o pico de 20,22% em 2005, indicando a dominância de uma grande mancha contígua de queimada, o LPI reduziu drasticamente para 0,57% em 2015, recuperando-se parcialmente para 9,24% em 2024. Esta flutuação reflete a complexa dinâmica espacial do fogo dentro do parque.

A Densidade de Bordas (DE) apresentou tendência geral de redução, de 0,032 m/ha em 1995 para 0,003 m/ha em 2024. Esta redução pode estar associada ao aumento na complexidade geral da paisagem queimada, com as bordas tornando-se mais difusas e interconectadas.

O Índice de Forma (FDI) alternou entre valores próximos a 1,0 e valores em torno de 10,0, indicando variações na complexidade das formas dos fragmentos de

queimada. Valores mais altos, observados na maioria dos anos, sugerem formas complexas e irregulares, típicas de queimadas de origem antrópica com padrões espaciais descontínuos.

O Índice de Proximidade (PCI) mostrou tendência de crescimento constante ao longo de toda a série temporal, evoluindo de 8,27 em 1995 para 9,98 em 2024. Este aumento progressivo indica maior conectividade entre os fragmentos de queimada, potencialmente facilitando a propagação futura do fogo.

Na ZI do PEGM, as métricas revelaram padrões distintos. O Número de Fragmentos aumentou de 12 em 1995 para 91 em 2024, indicando também processo de fragmentação, porém menos intenso que no interior do parque. A Área Média na ZI apresentou crescimento consistente, atingindo 777,72 m² em 2024, valor consideravelmente superior ao registrado dentro do PEGM. Este dado sugere que as queimadas no entorno do parque tendem a formar manchas maiores e mais consolidadas.

O LPI na zona de influência do parque, apresentou valores elevados nos anos iniciais (29,43% em 1995), reduzindo-se progressivamente até 1,74% em 2024. Esta redução indica perda de dominância de grandes manchas únicas, com a paisagem queimada tornando-se mais distribuída entre múltiplos fragmentos.

3.3. Métricas de Paisagem na Terra Indígena Karipuna e Zona de Influência

As métricas de paisagem calculadas para a TIK e sua ZI revelaram padrões espaciais distintos dos observados no PEGM, como pode-se observar na Figura 7. O Número de Fragmentos (NF) dentro da TIK variou consideravelmente ao longo do período, de 9 fragmentos em 1995 para 59 fragmentos em 2024. Esta variação reflete a dinâmica descontínua do fogo dentro do território indígena.

A Área Média dos Fragmentos (AM) na TIK flutuou ao longo da série temporal. Comparado com o PEGM, a área média do território indígena foi consideravelmente inferior, indicando que as queimadas dentro do território tendem a formar manchas menores.

Em 2024, o LPI foi de 16,39%, valor superior ao registrado no PEGM no mesmo ano, sugerindo maior dominância de manchas individuais dentro da TIK.

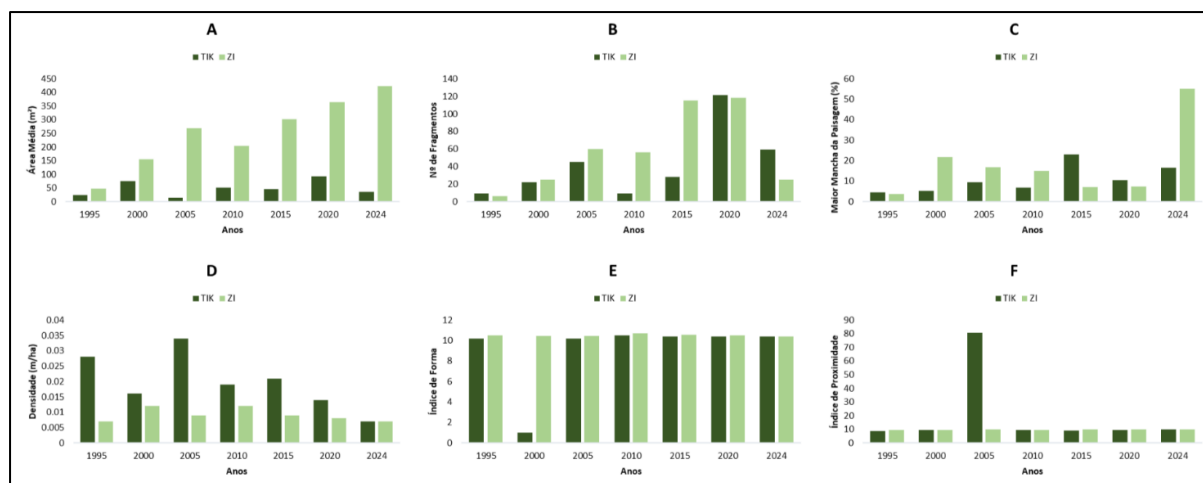


Figura 7 - Métricas da paisagem para o Parque Estadual de Guajará-Mirim (PEGM) e da Zona de Influência (ZI).

Fonte: elaborado pelo autor com dados do MapBiomass (2024) processados no Fragstats.

O cenário mais crítico foi observado na ZI da TIK, onde o LPI atingiu 55,02% em 2024, valor extremamente elevado que demonstra a existência de uma ou poucas manchas de queimada muito extensas e dominantes na paisagem do entorno. Este padrão é consistente com processos de conversão de uso da terra em larga escala.

A Área Média da TIK apresentou crescimento constante, alcançando 423,432 m² em 2024. Este valor, associado ao alto LPI, confirma a consolidação de grandes áreas queimadas no limite da TIK. O PCI elevado e constante no interior e entorno da área, ao longo dos anos mais recentes indica uma paisagem de queimadas com alta conectividade, o que eleva o risco de ignições futuras.

4. Discussão

4.1. Dinâmica Espaço-Temporal das Queimadas

Os resultados demonstram padrões distintos de dinâmica do fogo entre o Parque Estadual de Guajará-Mirim e Terra Indígena Karipuna, refletindo diferentes contextos de pressão antrópica e eficácia de proteção. O crescimento exponencial da área queimada no Parque Estadual de Guajará-Mirim, particularmente o pico de 81.778,39 hectares em 2024, representa uma situação crítica e sem precedentes para uma unidade de conservação de proteção integral na Amazônia. Este valor, equivalente a aproximadamente 41% da área total do parque, indicando um colapso na capacidade de proteção e controle de incêndios na unidade.

A trajetória temporal observada no Parque Estadual de Guajará-Mirim corrobora estudos anteriores que apontam para a crescente pressão sobre unidades de conservação no arco do desmatamento (Adeney *et al.*, 2009). O aumento acelerado a partir de 2015 coincide com períodos de redução na fiscalização ambiental e cortes orçamentários em órgãos ambientais, fatores que têm sido associados ao aumento do desmatamento e queimadas na Amazônia (Ferrante e Fearnside, 2019).

Na Terra Indígena Karipuna, o padrão observado de pressão externa predominante é consistente com a literatura sobre terras indígenas na Amazônia, que frequentemente atuam como barreiras efetivas ao desmatamento interno, mas sofrem pressões crescentes em suas bordas (Nepstad *et al.*, 2006). O fato da área queimada na Zona de influência da Terra Indígena Karipuna ter sido consistentemente superior à área queimada interna a partir de 2005 sugere que o território indígena tem conseguido, até certo ponto, conter a entrada do fogo, embora a pressão externa seja extrema e crescente.

4.2. Padrões de Fragmentação e seus Significados Ecológicos

Os padrões de fragmentação revelados pelas métricas de paisagem têm implicações importantes para a conservação da biodiversidade e a funcionalidade ecossistêmica. A pulverização da paisagem queimada no Parque Estadual de Guajará-Mirim, evidenciada pelo alto número de fragmentos (388) e redução da área média dos fragmentos em 2024, cria um ambiente propício para efeitos de borda generalizados (Laurance *et al.*, 2002). Estes efeitos incluem aumento da temperatura, redução da umidade, maior incidência de ventos e alterações na composição de espécies, que podem se estender por centenas de metros para dentro dos fragmentos florestais remanescentes.

A complexidade das formas fragmentadas, indicada pelos valores elevados do FDI na maioria dos anos, sugere que as queimadas seguem padrões espaciais irregulares, típicos de incêndios de origem antrópica com múltiplos pontos de ignição (Cochrane & Laurance, 2002). Este padrão contrasta com queimadas naturais, que tendem a apresentar formas mais regulares e previsíveis.

O aumento progressivo do PCI em ambas as áreas indica crescente conectividade entre os fragmentos de queimada, o que facilita a propagação do fogo

em eventos futuros e reduz a capacidade de contenção natural pelas matrizes florestais (Brando *et al.*, 2020). Esta conectividade é particularmente preocupante no contexto das mudanças climáticas, que tendem a aumentar a frequência e intensidade de eventos de seca extrema na Amazônia (Marengo *et al.*, 2018).

4.3. Diferença entre Áreas Protegidas e Implicações para Gestão

As diferenças nos padrões observados entre o Parque Estadual de Guajará-Mirim e a Terra Indígena Karipuna refletem distintos contextos socioinstitucionais e de governança. Terras Indígenas frequentemente beneficiam-se de vigilância contínua por parte das comunidades locais e possuem regimes de posse da terra mais definidos, fatores que contribuem para maior eficácia na proteção territorial (Ricketts *et al.*, 2010). Em contraste, unidades de conservação como o Parque Estadual de Guajará-Mirim dependem principalmente de ações estatais de fiscalização, que são frequentemente insuficientes face às pressões antrópicas.

O padrão observado na Zona de Influência da Terra Indígena Karipuna, com LPI elevado (55,02%) em 2024, é característico de desmatamento de grande porte para formação de pastagens ou agricultura em larga escala (Alencar *et al.*, 2020). Esta configuração espacial representa grave ameaça à integridade do território indígena, pois grandes áreas contíguas queimadas no entorno facilitam a entrada do fogo e aumentam o risco de invasões.

4.4. Implicações dos resultados para políticas públicas de prevenção e manejo de queimadas

Os resultados deste estudo evidenciam tanto o PEGM quanto a TIK encontram-se sob intensa pressão antrópica associada ao uso recorrente do fogo, embora apresentem padrões espaciais distintos de ocorrências das queimadas. Essa diferenciação reforça a necessidade de políticas públicas específicas e territorialmente direcionadas para a prevenção e o manejo do fogo em áreas protegidas do estado de Rondônia.

No caso do PEGM, os dados indicam uma expansão significativa das cicatrizes de queimadas em seu interior ao longo da série histórica analisada, acompanhada por elevados níveis de fragmentação da paisagem. Esse padrão sugere a ocorrência de múltiplos focos de incêndio associados à ocupação irregular, abertura de áreas para pastagem e consolidação de atividades agropecuárias ilegais dentro dos limites

da unidade de conservação. Esse processo está diretamente relacionado a decisões políticas e legislativas no âmbito estadual, como a flexibilização de limites do parque e a aprovação de normas que acabam por legitimar invasões e grilagem de terras, enfraquecendo o papel institucional da unidade de conservação (Furtado, 2024).

Esses achados corroboram o entendimento de que a fragilização da estrutura legal e a redução da capacidade de fiscalização ambientam contribuem para o avanço do desmatamento e das queimadas em áreas legalmente protegidas. A recorrência de alterações nos limites do PEGM, associado à omissão ou insuficiência das ações de controle territorial, cria um ambiente propício à utilização do fogo como instrumento de conversão do uso do solo, conforme evidenciado tanto pelos dados de sensoriamento remoto quanto pelas métricas de ecologia da paisagem aplicadas neste estudo.

Na TIK, por sua vez, os resultados apontam que a maior parte das cicatrizes de queimadas concentra-se na ZI, com a presença de grandes manchas consolidadas no entorno do território indígena. Esse padrão indica que, embora o interior da TIK ainda atue como uma barreira parcial à proporção do fogo, a pressão externa decorrente da expansão agropecuária, da abertura de ramais ilegais e da conversão da floresta em pastagem representa uma ameaça crescente à integridade ambiental e sociocultural da terra indígena. Estudos anteriores já destacam que a pressão antrópica no entorno de terras indígenas na Amazônia compromete sua função de proteção ambiental e aumenta a vulnerabilidade desses territórios ao fogo (ISA, 2022; MPF, 2022).

Do ponto de vista das políticas públicas, os resultados reforçam a importância de instrumentos federais como o Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza (SNUC), o Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm) e a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo. Esses instrumentos estabelecem diretrizes para o monitoramento, a fiscalização e o combate aos incêndios florestais, mas sua efetividade depende da articulação entre os diferentes níveis de governo e da continuidade das ações de controle ambiental (Brasil, 2000; Brasil, 2017).

Em nível estadual, Rondônia dispõe do Zoneamento Socioeconômico-Ecológico (ZSEE) e de planos específicos de prevenção e combate às queimadas. Entretanto, alterações sucessivas o zoneamento e em legislação complementares

têm historicamente enfraquecido a proteção das áreas conservadas, ao permitir a regularização de ocupações ilegais e reduzir a efetividade das unidades de conservação estaduais (Furtado, 2024). Os padrões espaciais de queimadas identificados neste estudo oferecem evidências empíricas dos impactos dessas decisões, demonstrando que a flexibilização normativa se reflete diretamente no aumento da degradação ambiental.

O uso integrado de dados de sensoriamento remoto, séries históricas de queimadas e métricas da ecologia da paisagem apresenta-se como uma ferramenta estratégica para subsidiar políticas públicas de prevenção e manejo do fogo. Os indicadores gerados permitem identificar áreas prioritárias para fiscalização, orientar a delimitação e o fortalecimento das zonas de amortecimentos e avaliar a eficácia das ações implementadas ao longo do tempo. Dessa forma, os resultados deste trabalho podem contribuir para o aprimoramento da gestão ambiental no PEGM e na TIK, fortalecendo a tomada de decisão baseada em evidências científicas e promovendo maior efetividade na conservação dessas áreas protegidas.

4.5 Limitações do Estudo e Perspectivas Futuras

Algumas limitações devem ser consideradas na interpretação dos resultados. A resolução espacial de 30 metros do MapBiomas Fogo pode não capturar queimadas muito pequenas ou subestimar áreas queimadas em florestas densas. Além disso, o estudo considerou apenas a presença/ausência de queimadas, não incorporando informações sobre a severidade do fogo ou eventos recorrentes na mesma área.

Estudos futuros poderiam beneficiar-se da integração de dados de maior resolução espacial e temporal, além de incorporar variáveis socioeconômicas para melhor compreensão dos diversos subjacentes aos padrões observados. A análise da severidade do fogo e sua relação com a regeneração florestal também representam fontes importantes para pesquisas futuras.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Parque Estadual de Guajará-Mirim apresenta processo avançado de fragmentação por queimadas internas, com pulverização da paisagem em numerosos fragmentos e taxa de área queimada criticamente elevada em 2024, indicando colapso na capacidade de proteção da unidade.

A Terra Indígena Karipuna sofre pressão externa consolidada, com grandes manchas de queimada em seu entorno representando grave ameaça à integridade do território, embora mantenha relativa efetividade na contenção de queimadas internas.

As métricas de paisagem demonstraram ser ferramentas eficazes para diagnosticar padrões distintos de pressão do fogo em áreas protegidas, revelando processos ecológicos subjacentes não capturados por análises convencionais de área queimada.

A crescente conectividade entre fragmentos de queimada, indicada pelo Índice de Proximidade, representa fator de risco adicional para propagação futura do fogo, particularmente em cenários de mudanças climáticas.

As zonas de influência constituem áreas-chave para intervenções de preservação e controle de queimadas, requerendo políticas específicas que considerem as particularidades de cada contexto territorial.

São necessárias políticas diferenciadas de controle e monitoramento para cada tipo de área protegida, considerando seus distintos contextos socioinstitucionais e padrões de pressão antrópica.

A situação crítica identificada demanda ações urgentes de fiscalização, combate ao desmatamento, tanto para unidades de conservação para terras indígenas.

REFERÊNCIAS

ADENEY, J. M.; CHRISTENSEN JR., N. L.; PIMM, S. L. Reservas protegem contra incêndios florestais na Amazônia. **PLoS One**, v. 4, n. 4, p. e5014, 2009.

ALENCAR, A. A. et al. Fragmentação da paisagem, seca severa e o novo regime de incêndios na floresta amazônica. **Aplicações Ecológicas**, v. 25, n. 6, p. 1493-1505, 2015.

ALVARES, C. A. et al. Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 6, p. 711-728, 2013.

BRANDO, P. M. et al. A tempestade de fogo que se aproxima no sul da Amazônia. **Science Advances**, v. 6, n. 2, p. eaay1632, 2020.

BRASIL. **Constituição (1988)**. Constituição da República Federativa do Brasil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm. Acesso em: 24 out. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 8.972, de 23 de janeiro de 2017**. Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 24 jan. 2017.

BRASIL. **Decreto de 8 de setembro de 1998**. Homologa a demarcação administrativa da Terra Indígena Karipuna, localizada nos Municípios de Nova Mamoré e Porto Velho, Estado de Rondônia. 1998.

BRASIL. **Lei nº 6.001, de 19 de dezembro de 1973**. Dispõe sobre o Estatuto do Índio. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6001.htm. Acesso em: 7 nov. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 24 out. 2024.

CNUC. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2024.

COCHRANE, M. A.; LAURANCE, W. F. O fogo como um efeito de borda em grande escala nas florestas amazônicas. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, n. 3, p. 311-325, 2002.

DAVIDSON, E.; ARAÚJO, A.; ARTAXO, P. et al. A bacia amazônica em transição. **Natureza**, v. 481, p. 321-328, 2012.

DEFRIES, R. et al. Aumento do isolamento de áreas protegidas em florestas tropicais nos últimos vinte anos. **Ecological Applications**, v. 15, n. 1, p. 19-26, 2005.

FERRANTE, L.; FEARNSIDE, P. M. O novo presidente do Brasil e os “ruralistas” ameaçam o meio ambiente da Amazônia, os povos tradicionais e o clima global. **Conservação Ambiental**, v. 46, n. 4, p. 261-263, 2019.

FUNAI. **Relatórios de monitoramento territorial**. Brasília: Fundação Nacional dos Povos Indígenas, 2024.

FURTADO, R. S. **Análise multitemporal da remoção da cobertura vegetal e mudança da paisagem do Parque Estadual Guajará-Mirim-RO**. 2024. 77 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Fundação Universidade Federal de Rondônia, Campus Ji-Paraná, Ji-Paraná, 2024.

IBGE. **Malhas territoriais**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2022.

INPE. **Projeto PRODES: monitoramento do desmatamento da Floresta Amazônica por satélite**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2023.

INPE. **Projeto PRODES: monitoramento do desmatamento da Floresta Amazônica por satélite**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2024.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA). **Invasões e pressões sobre a Terra Indígena Karipuna aumentam em 2023**. 2023. Disponível em: <https://www.socioambiental.org>.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA). **Terras Indígenas no Brasil**. São Paulo: ISA, 2022.

JACOB, P. P. P. **Avaliação da fragmentação da paisagem natural de Cerrado decorrente do espraiamento urbano de Brasília**. 2017. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

LAURANCE, W. F. et al. Degradação do ecossistema de fragmentos florestais amazônicos: uma investigação de 22 anos. **Conservation Biology**, v. 16, n. 3, p. 605-618, 2002.

LEAL, F. A. et al. Análise temporal da fragmentação da paisagem no entorno de florestas nacionais em Rondônia. **Nativa**, v. 7, n. 1, p. 94-100, 2019.

LOPES, M. J. S.; SANTIAGO, B. S.; SILVA, I. N. B.; GURGEL, E. S. C. Impacto do desmatamento e queimas na biodiversidade invisível da Amazônia. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 1-14, 2023. DOI: 10.17765/2176-9168.2023v16n1e9608.

MAPBIOMAS. **Coleção 2 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil e Coleção Fogo**. 2024.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual de Desmatamento e Queimadas no Brasil – Coleção 8**. São Paulo: MapBiomass, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org>.

MARENGO, J. A. et al. Mudanças climáticas e de uso da terra na região amazônica: variabilidade e tendências atuais e futuras. **Frontiers in Earth Science**, v. 6, p. 228, 2018.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL (MPF). **Relatório de ações contra invasões na Terra Indígena Karipuna**. Porto Velho: MPF, 2022. Disponível em: <https://www.mpf.mp.br>.

NEPSTAD, D. et al. Inibição do desmatamento e incêndios na Amazônia por parques e terras indígenas. **Conservation Biology**, v. 20, n. 1, p. 65-73, 2006.

RICKETTS, T. H. et al. Terras indígenas, áreas protegidas e desaceleração das mudanças climáticas. **PLoS Biology**, v. 8, n. 3, p. e1000331, 2010.

RONDÔNIA. **Decreto nº 4.575, de 23 de março de 1990**. Cria, nos municípios de Guajará-Mirim e Vila Nova do Mamoré, Estado de Rondônia, o Parque Estadual de Guajará-Mirim, e dá outras providências. 1990.

SILVA, A. L. et al. Classificação de fragmentos florestais urbanos com base em métricas da paisagem. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1254-1269, 2019.

SILVA, E. K.; ALMEIDA, A. S.; GAMA, L. H. O. Ilhas ameaçadas com o desflorestamento: análise da fragmentação florestal da ilha de Cotijuba, Belém, Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi – Ciências Naturais**, Belém, v. 16, n. 2, p. 203-213, 2021. DOI: 10.46357/bcnaturais.v16i2.467.

Recebido: 07/07/2026

Aceito: 21/09/2026