

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE
PARQUE NACIONAL DO MAPINGUARI



**Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica do Instituto Chico Mendes de
Conservação da Biodiversidade- PIBIC/ICMBio**

Relatório de Final
Ciclo 2022-2023

**MAPEAMENTO DO HISTÓRICO DO FOGO NOS ENCLAVES DE
FISIONOMIAS CAMPESTRES E SAVÂNICAS DO PARQUE
NACIONAL MAPINGUARI COMO SUBSÍDIO ÀS AÇÕES DE MANEJO
INTEGRADO DO FOGO.**

Nome dos estudantes de IC: Gustavo Henrique Deniz Pinto (mar/2023-ago/2023)
Taína Novaes Martins (set/2022-fev/2023)

Orientador(a): Dr. Christian Niel Berlinck

Coorientador(a): Ma. Tatiane Rodrigues Lima

Coorientador(a): Dr. Daniel Borini Alves

Instituição do coorientador: Universidade Estadual do Paraná - UNESPAR

União da Vitória, PR
Setembro/2023

Resumo

Diferente das áreas de florestas tropicais, que correspondem a ecossistemas sensíveis ao fogo, as áreas de predomínio de fisionomias naturais abertas, tais como as savanas amazônicas, são consideradas paisagens com histórico evolutivo relacionado com a presença do fogo, onde este cumpre um importante papel para a manutenção da diversidade, da estrutura e da ciclagem de nutrientes dos habitats. No entanto, com a influência antrópica nas mudanças significativas desses regimes, tem ocorrido um quadro de prolongamento das estações secas e consequente favorecimento a ocorrências de grandes incêndios, provocando queimas mais severas e causando maiores impactos ao meio ambiente. Por isso, o monitoramento do fogo se mostra essencial para a melhor compreensão do regime de queimadas nesses ecossistemas. Nesse cenário, com base na análise de séries temporais de imagens de sensoriamento remoto orbital, a presente pesquisa buscou contribuir com a geração de dados da recorrência de áreas queimadas e dos padrões espaciais e temporais de incidência do fogo nas áreas de fisionomias campestres e savânicas nas áreas de enclaves de savana situadas no interflúvio do Purus-Madeira do Parque Nacional do Mapinguari e entorno imediato, ao sul do estado do Amazonas. Nos últimos 39 anos, um total de 859.422 mil hectares foram afetados pelo fogo nos enclaves da UC e seu entorno imediato, com destaque os anos de 1988 e 2010, ambos com mais de 53 mil hectares queimados. Comparando o período prévio e posterior a criação da UC, observou-se uma redução média de 12,8% nos subtotais anuais de área queimada. Os dados de acúmulo de material combustível fino verificados em campo sinalizam que 3 anos após a ocorrência do último fogo já se observam acúmulos totais similares aos observados em áreas com mais de 10 anos sem fogo. Tais informações subsidiam para o fortalecimento de ações vinculadas ao Plano de Manejo Integrado do Fogo desta unidade de conservação e demais áreas de savana amazônica situadas em áreas protegidas.

Palavras-chave: Áreas queimadas, sensoriamento remoto, savana amazônica.

Abstract

Areas of the predominance of open natural physiognomies, such as the Amazonian savannas, unlike tropical forest areas which correspond to a fire-sensitive ecosystem, are considered landscapes with an evolutionary history related to the presence of fire, where fire plays an important role in maintaining habitat diversity, structure, and nutrient cycling. However, with the anthropic influence on changes in regimes, there was an extension of the dry seasons and consequently favoring the occurrence of large fires, causing more severe burns and causing greater impacts on the environment. Therefore, fire monitoring is essential for a better understanding of the fire regime in these ecosystems. In this scenario, based on the analysis of time series of orbital remote sensing images and fieldwork information, this research seeks to contribute to the generation of data on the frequency of burned areas and spatial and temporal patterns of incidence of fire in areas with grassy and savanna physiognomies in the areas of Cerrado enclaves located in the Purus-Madeira interfluvium of the Mapinguari National Park (MNP), in the south of the state of Amazonas. In the last 39 years, a total of 859,422 thousand hectares were affected by fire in the savanna enclaves of the MNP and its surroundings, highlighting the years 1988 and 2010, both with more than 53 thousand hectares burned. An average reduction of 12.8% was observed in the annual subtotals of burned area comparing the period before and after the establishment of MNP. Fuel load accumulation data verified in the field indicate that areas where last fire occurred 3 years ago is similar to areas with more than 10 years without fire occurrence. Subsidize relevant information to strengthen actions linked to the integrated fire management in this conservation unit and other areas of the Amazonian Cerrado (the Brazilian neotropical savanna) located in conservation units.

Keywords: Burned areas, remote sensing, Amazonian savanna.

Lista de Figuras, Quadros, Tabelas, Abreviaturas e Siglas, Símbolos

Lista de Figuras

- Figura 1.** Mapa de localização do Parque Nacional do Mapinguari, identificando as áreas de enclave de savana amazônica objetos do presente estudo.....11
- Figura 2.** Demonstração do modo de detecção de áreas queimadas onde: (a) representa uma área que não apresenta queimas; (b) demonstração de como se apresentam cicatrizes de queimadas na imagem composição da mesma área; (c) treinamento de pixels em área queimada; (d) detecção de áreas queimadas (polígonos amarelos) pelo algoritmo BAM. Todas as imagens estão dispostas na composição R-G-B/SWIR-NIR-Red.....12
- Figura 3.** Localização dos pontos amostrados, situados no enclave da porção leste do PN Mapinguari.....14
- Figuras 4.** Procedimento de coleta de material combustível em campo (A). À direita, um exemplo de amostra antes (B) e depois da coleta (C)15
- Figura 5 .** Histórico anual de áreas queimadas (1984-2003) dentro dos enclaves de fisionomias campestres e savânicas do Parque Nacional do Mapinguari, obtidas pela base de dados gerada com BAM.....16
- Figura 6.** Histórico anual de áreas queimadas (2004-2022) dentro das enclaves de fisionomias campestres e savânicas do Parque Nacional do Mapinguari, obtidas pela base de dados gerada com BAM.....17
- Figura 7.** Áreas queimadas anuais do Parque Nacional Mapinguari durante a série temporal analisada (1984-2022).....18
- Figura 8.** Mapa do número de recorrências de queimadas nos Enclaves de fisionomias campestres e savânicas do Parque Nacional Mapinguari e arredores (1984-2022).....19

Figura 9. Relações entre a recorrência de fogo e o tipo de superfície afetada pelo fogo de acordo com a porcentagem de arborização (Sexton et al., 2013).....	21
Figura 10. Acúmulo de biomassa total em áreas com distintas idades de material combustível (último fogo distante um ano, dois anos, três anos e mais de 10 anos).....	22
Figura 11. Proporção de biomassa verde em áreas com distintas idades de material combustível (último fogo distante um ano, dois anos, três anos e mais de 10 anos).....	22
Figura 12. Comparação de duas áreas, a superior queimada no ano de 2022, a inferior queimada a mais de dez anos.....	23

Tabelas

Tabela 1. Tabela de contingência do mapeamento de recorrência de fogo nos Enclaves de fisionomias campestres e savânicas do PN Mapinguari (1984-2022).....	20
---	----

Sumário

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	9
3. MATERIAI E MÉTODOS	10
3.1. Área de estudo.....	10
3.2. Procedimentos metodológicos.....	11
4. RESULTADOS	16
4.1. Histórico do fogo PN Mapinguari	16
4.2. Diferenças de acúmulo de material combustível.....	21
5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES	24
6. RECOMENDAÇÕES PARA O MANEJO	26
7. AGRADECIMENTOS	27
8. CITAÇÕES E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1. Introdução

No Brasil, o bioma Amazônia abrange uma área de 4.196.943 km² do território nacional (IBGE, 2004); sendo deste total, 227 mil km² (5% de seu total) de áreas com predomínio de fisionomias naturais campestres e savânicas que estão distribuídas ao longo da floresta (SANTOS et al., 2007). Estas áreas constituem importantes redutos de biodiversidade associados à história geológica recente de retração e expansão das florestas tropicais nos períodos terciário e quaternário na região (CARNEIRO FILHO, 1993; HAFFER; PRANCE, 2002). A conservação da biodiversidade destas fisionomias abertas é de muita importância, já que o seu isolamento biogeográfico, em forma de enclaves em meio a grandes extensões de floresta tropical, pode resultar inclusive em processos de especiação concluídos e/ou em andamento (PRANCE, 1996), o que as fragilizam em meio a um contexto crescente de transformação destas áreas para usos antrópicos agropastoris (CARVALHO; MUSTIN, 2017).

Diferente das áreas de florestas tropicais, que correspondem a ecossistemas sensíveis ao fogo, as áreas de predomínio de fisionomias naturais abertas, tais como as savanas amazônicas, são consideradas paisagens com histórico evolutivo relacionado com a presença do fogo (HARDESTY; MYERS; FULKS, 2005; PIVELLO et al., 2021). Nas áreas de savana tropical da América do Sul, onde a presença do fogo data-se a períodos bem anteriores ao registro de assentamentos humanos na região (4 milhões de anos atrás vs. 16 mil anos atrás) (SIMON et al., 2009; POSTH et al., 2018), os regimes naturais de fogo estão associados à ocorrência de raios, cumprindo um importante papel para a manutenção da diversidade, da estrutura e da ciclagem de nutrientes dos habitats (RAMOS-NETO; PIVELLO, 2000; PIVELLO, 2011).

Porém, o panorama das últimas décadas é de mudanças significativas desses regimes de fogo por meio de interferências antrópicas, que vão desde a alteração direta dos padrões de ignição de ocorrências de fogo, passando ainda pela sua influência no contexto de mudanças climáticas, que na região se reflete em um quadro de prolongamento das estações secas e consequente favorecimento a ocorrências de grandes incêndios (DURIGAN; RATTER, 2016; SCHMIDT; ELOY, 2020). Mesmo tratando-se de áreas de savana tropical, que evoluíram historicamente com a presença do fogo, a alteração destes regimes pode resultar em impactos severos para componentes da vegetação, solo e atmosfera, já que não se trata de ecossistemas adaptados ao fogo, mas sim a determinados regimes de fogo (PAUSAS; KEELEY, 2009).

Todos estes fatores retratam os grandes desafios ao que se insere o contexto de conservação da biodiversidade dos ecossistemas campestres e savânicos da Amazônia, ressaltando-se a importância do monitoramento e análise dos seus regimes de fogo com vistas

a adequar as estratégias de gestão territorial às especificidades as quais se insere a dinâmica de suas paisagens. Para isso, as áreas de Unidade de Conservação (UC) contam como instrumento com o Plano de Manejo Integrado do Fogo (PMIF), instrumento que visa o planejamento e adoção de ações que contemplem de uma maneira mais adequada o papel do fogo de acordo com as características dos ecossistemas afetados (BERLINCK; BATISTA, 2020), devendo nele conter informações sobre áreas de recorrência de incêndios florestais, tipos de vegetação e áreas prioritárias para proteção.

Em termos de avaliação e geração de informações de histórico de fogo, destaca-se o grande potencial proporcionado pelo uso de séries temporais de sensoriamento remoto orbital, e especial da série Landsat, que permite o mapeamento de áreas queimadas em escala regional desde 1984 até os dias atuais (PEREIRA, 2003). O avanço de algoritmos semiautomáticos de detecção de áreas queimadas (BASTARRIKA et al., 2014), combinados às possibilidades de uso gratuito de plataformas de processamento múltiplo de informações geoespaciais (GORELICK et al., 2017), facilitam a geração e análise multitemporal de padrões espaciais e temporais de áreas queimadas nas mais distintas regiões da superfície terrestre.

Nesse contexto, muitos trabalhos têm se dedicado ao mapeamento e análise dos padrões de área queimada em áreas de savana, permitindo monitorar a dinâmica multitemporal pós-fogo utilizando séries temporais Landsat. Exemplos desses levantamentos de histórico do fogo em áreas campestres e savânicas do Brasil estão demonstrados nos estudos em áreas de savana amazônica (ALVES; PÉREZ-CABELLO, 2017) e Cerrado (CARVALHO, 2023; DALDEGAN et al., 2014; LEMES et al., 2014; ALVARADO et al., 2017; BATISTA et al., 2018).

Nesta perspectiva, o presente projeto de pesquisa buscou contribuir com a geração de dados de recorrência de áreas queimadas com base na análise de séries temporais de sensoriamento remoto orbital, com vistas a subsidiar informações para o desenvolvimento de ações de manejo integrado de fogo em áreas de savana amazônica situadas em áreas protegidas. Mais precisamente, o estudo foca nas extensas áreas de enclaves de savana situadas no interflúvio do Purus-Madeira do Parque Nacional (PN) do Mapinguari e seu entorno, ao sul do estado do Amazonas.

O Plano de Manejo do PN Mapinguari (ICMBIO, 2018), documento que contempla o conjunto de aspectos associados à estratégia de conservação a ser implementado pela UC, retrata um tópico específico e classifica como estratégica a importância de desenvolver e implementar um PMIF nas áreas de savana amazônica situadas no interior da unidade. Ainda que algumas ações de manejo tenham sido iniciadas nos últimos quatro anos, com o intuito de

reduzir a ocorrência de grandes incêndios na área, a indisponibilidade de dados mais consistentes acerca dos padrões de ocorrência de fogo prévios e posteriores a criação da UC tem atuado como um importante gargalo para o fortalecimento de ações vinculadas ao PMIF. Frente ao exposto que a proposta de pesquisa se articulou, buscando aportar com a geração e análise destas informações e contribuir com o processo de gestão territorial da área.

2. Objetivos

O objetivo geral do presente trabalho consiste em caracterizar os padrões espaciais e temporais de incidência do fogo das áreas de fisionomias campestres e savânicas do Parque Nacional Mapinguari, com base na análise de séries temporais de imagens de sensoriamento remoto orbital dos últimos 39 anos (1984-2022), subsidiando informações relevantes para o fortalecimento de ações vinculadas ao Plano de Manejo Integrado do Fogo desta unidade de conservação.

Neste contexto, definem-se três perguntas específicas de pesquisa, cada uma com sua hipótese a ser verificada:

I - Com que frequência os enclaves de Cerrado do PN Mapinguari queimaram nas últimas décadas?

Hipótese: Espera-se que as áreas abertas do PN Mapinguari sejam afetadas majoritariamente pelo fogo a cada 4-7 anos no período avaliado, a exemplo da frequência observada em outras áreas de enclave de savana situadas nas proximidades da área estudada (ALVES; PÉREZ-CABELLO, 2017).

II - Há diferenças de regime de fogo antes e após a criação do PN Mapinguari?

Hipótese: Após a criação da unidade e o consequente maior isolamento dos enclaves de savana, se observará uma diminuição do número de ocorrências de queimadas. Em contrapartida, é possível que a falta de ações de MIF na área dos últimos anos tenha favorecido o aumento de eventos de grandes incêndios.

III - Qual é o intervalo mínimo de recorrência de fogo nas distintas fisionomias de cobertura vegetal abertas do PN Mapinguari?

Hipótese: Nas fisionomias campestres espera-se encontrar intervalos mínimos de recorrência de fogo superiores no comparativo com o observado nas fisionomias com maior densidade de espécies lenhosas.

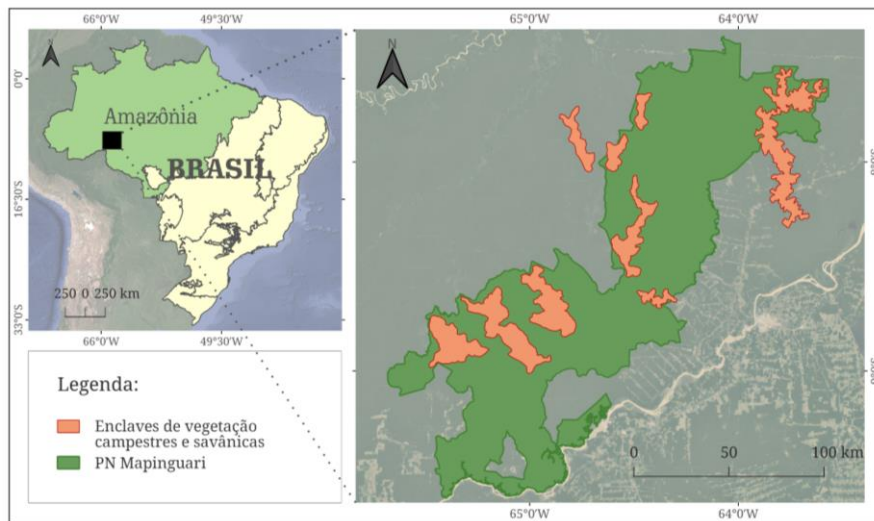
3. Material e Métodos

3.1. Área de estudo

O Parque Nacional Mapinguari, criado por meio do Decreto s/n de 05/06/2008, é uma unidade de conservação de proteção integral localizada na Amazônia Sul-ocidental e região de fronteira entre o sul do Estado do Amazonas e Rondônia. Seu objetivo de criação busca garantir a conservação da biodiversidade em especial de fragmentos de cerrado amazônicos do interflúvio Purus/Madeira e promover o desenvolvimento de pesquisas científicas, educação ambiental e uso público. Dentro dos seus limites de conservação encontram-se fragmentos de campos naturais (enclaves de savana) dispostos em meio à floresta ombrófila, cujas características ambientais únicas os classificam como ambientes frágeis, com potencial para ocorrência de endemismo de espécies e cuja formação biogeográfica é influenciada pela ocorrência periódica do fogo, seja de origem antrópica ou natural. O PN Mapinguari ocupa uma área de 1.776.915 hectares (Figura 1). A área caracteriza-se por grandes blocos de vegetação florestal e área de vegetação savânica (Cerrados e Campinaranas) estabelecidos em grande parte em solo hidromórfico (ICMBIO, 2018). Em termos climáticos, a região é caracterizada pela influência de altas temperaturas médias (24°C a 28°C) e altos índices pluviométricos anuais (2000 mm), com maior concentração nos meses de outubro e abril, enquanto nos meses de maio e setembro predomina um período de seca (MARENGO et al., 2001). No contexto do presente estudo, foca-se na avaliação das áreas de predomínio de fitofisionomias campestres e savânicas (Figura 1) situadas no interior do PN Mapinguari e no seu entorno imediato, que ocupam aproximadamente 305 mil hectares. Mais especificamente, dentro do PN MAPinguari esses enclaves representam uma área total de aproximadamente 241 mil hectares.

Os enclaves de savana isolados, são objeto de monitoramento dentro do processo finalístico de proteção (prevenção e combate aos incêndios). E neste sentido, tornou-se alvo prioritário para implementação das ações de Manejo Integrado do Fogo - MIF por sua vulnerabilidade à incidência de incêndios. Neste sentido, o presente projeto considerou relevante reduzir a lacuna de informações sobre o histórico de ocorrência e espacialização dos incêndios de origem antropogênica e natural sobre estes ambientes savânicos.

Figura 1. Mapa de localização do Parque Nacional do Mapinguari, identificando as áreas de enclave de savana amazônica objetos do presente estudo.



3.2. Procedimentos metodológicos

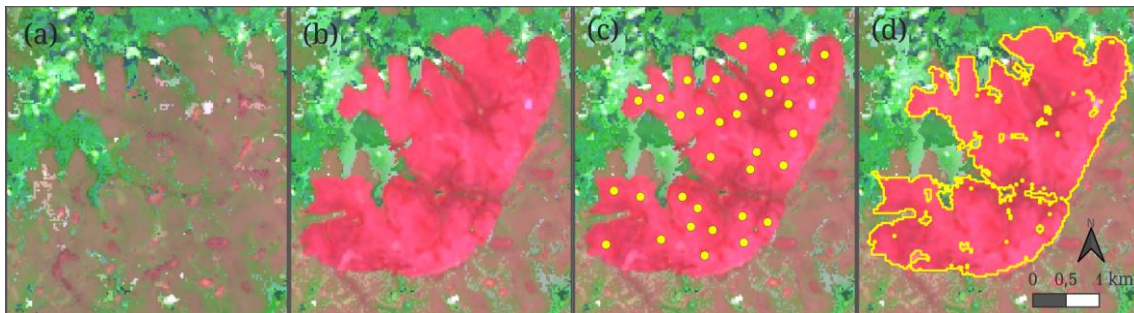
O processo de geração e análise do histórico de fogo do PN Mapinguari foi realizada em quatro principais etapas: i) extração semiautomática de cicatrizes anuais de áreas queimadas; ii) supervisão visual anual da extensão espacial de áreas queimadas; iii) estratificação e síntese dos dados de áreas queimadas; iv) avaliação em campo das áreas mapeadas.

A primeira etapa constituiu do uso do algoritmo *Burned Area Mapping Software* (BAMS) (BASTARRIKA et al., 2014) sobre a série multitemporal de imagens Landsat 5, 7 e 8 (TM - *Thematic Mapper*; ETM+ - *Enhanced Thematic Mapper Plus*; e OLI - *Operational Land Imager*, respectivamente) para a detecção de cicatrizes de fogo da área selecionada. Esta série disponibiliza imagens a cada 16 dias (que se reduz a 8 dias em períodos de operação simultânea de mais de um sensor) desde o ano de 1984 até os dias atuais. O BAMS se trata de um algoritmo semiautomático pois exige uma interação inicial do usuário no treinamento de amostras de áreas queimadas sobre uma imagem multiespectral, que são utilizados pelo algoritmo para calcular limiares de variações na reflectância espectral e gerar polígonos de áreas queimadas. Inicialmente desenvolvida como um complemento para o software Arcmap, esta ferramenta foi disponibilizada pelo produtor em forma de script para uso junto à plataforma Google Earth Engine (GEE) (GORELICK et al., 2017), permitindo o seu uso gratuito e otimizado através do acesso direto as coleções de imagens nos servidores da plataforma.

Em termos mais detalhados, foi gerada uma imagem composição anual, completando

uma série histórica de 39 anos (período de 1984-2022), agrupando todas as imagens disponíveis no período em um único registro anual, composto pelo conjunto de valores espectrais do sensor na data do ano em que atinge o seu valor máximo do índice espectral *Normalized Burned Index* (KEY; BENSON, 2006). Este índice é especialmente sensível a variações espectrais associadas aos efeitos imediatos do fogo em ambientes de savana tropical, sendo habitualmente utilizada na literatura para detecção e análise de áreas afetadas pelo fogo (LENTILE et al., 2006). Sobre cada imagem anual, composta em falsa cor para facilitar a diferenciação visual de alvos afetados/não afetados pelo fogo (bandas SWIR2 -NIR-Red/ 7-4-3 para os sensores TM e ETM+; e 7-5-4 para o sensor OLI) junto ao software livre QGIS, se realizou o treinamento de detecção de áreas queimadas (indicação de pontos notoriamente queimados na imagem anual, em um arquivo vetorial anual em formato shape file, de aproximadamente 150-500 pontos de treino), que posteriormente foi integrado ao algoritmo para a extrapolação da detecção de áreas afetadas pelo fogo sobre toda a imagem. Os resultados produzidos pelo BAMS permitem diferenciar áreas que foram atingidas com queimas e áreas que não sofreram, gerando-se assim polígonos de áreas queimadas (Figura 2).

Figura 2. Demonstração do modo de detecção de áreas queimadas onde: (a) representa uma área que não apresenta queimas; (b) demonstração de como se apresentam cicatrizes de queimadas na imagem composição da mesma área; (c) treinamento de pixels em área queimada; (d) detecção de áreas queimadas (polígonos amarelos) pelo algoritmo BAM. Todas as imagens estão dispostas na composição R-G-B/SWIR-NIR-Red.



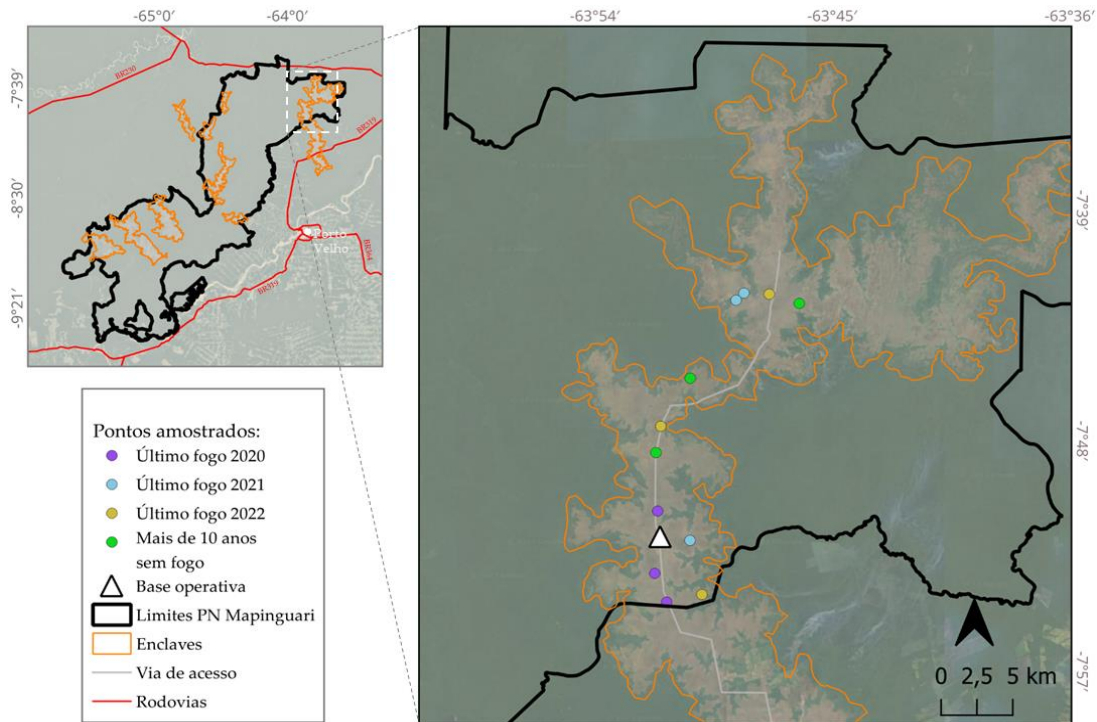
A segunda etapa, constitui-se de um esforço de supervisão visual das cicatrizes anuais de queimadas, mediante edição manual das mesmas no software QGIS em escala fixa de 1:15.000, visando superar possíveis erros de omissão (incluindo áreas efetivamente queimadas não contabilizadas pelo algoritmo) e comissão (excluindo áreas efetivamente não queimadas contabilizadas como queimadas pelo algoritmo). Cabe ressaltar que a geração de cicatrizes de fogo mediante método de interpretação visual é considerada de confiabilidade até superior a detecção mediante métodos automáticos e semiautomáticos (BOWMAN et al., 2003), sendo muitas vezes desconsiderada devido a ser demasiado custosa em termos de tempo, que

praticamente inviabiliza sua aplicação em vastas áreas e séries temporais longas.

A continuação, a terceira etapa constituiu-se na estratificação e síntese dos dados anuais de áreas queimadas. Em posse toda a base multitemporal supervisionada de áreas queimadas, álgebras de mapas foram aplicadas para gerar mapeamentos de frequência e último ano de queima, assim como se extraiu uma tabela de classes que explicitou os subtotais anuais de áreas queimadas para caracterizar a dinâmica do regime de fogo da área. A geração e análise dos produtos cartográficos e análise estatística descritiva dos dados permitiram responder ao conjunto de perguntas de pesquisa lançadas, caracterizando os padrões espaciais e temporais de fogo nas fisionomias campestres e savânicas do PN Mapinguari e seu entorno. A estratificação dos dados por tipo de cobertura vegetal afetada pelo fogo contou com o produto *Tree Cover Continuous Field* (SEXTON et al., 2013), que possui 30 metros de resolução espacial, sendo dividido em três categorias de cobertura vegetal arbórea: entre 0 e 15%; entre 15% e 30%; e maior que 30%. Adicionalmente, foram extraídas informações de anos de ocorrência de El Niño (através da página <<https://ggweather.com/enso/oni.htm>>), para verificar se os anos de ocorrência deste fenômeno coincidem ou não com subtotais anuais de área queimada maiores.

Por fim, a última etapa consistiu na realização de um trabalho de campo em áreas selecionadas do PN Mapinguari, para verificar as diferenças existentes entre áreas mapeadas com diferentes históricos de fogo na etapa anterior. Mais precisamente, entre os dias 23 e 25 de agosto de 2023 foi realizada uma incursão a campo em áreas de fisionomias campestres e savânicas do PN Mapinguari, registrando informações de 12 pontos (Figura 3). Tais pontos foram definidos a partir dos mapeamentos gerados nas etapas anteriores, incluindo: três pontos em áreas queimadas no ano de 2022; três pontos em áreas queimadas no ano de 2021; três pontos em áreas queimadas no ano de 2020; três pontos em áreas sem fogo há pelo menos 10 anos. A localização dos pontos foram definidas aleatoriamente utilizando a ferramenta “Pontos aleatórios no interior dos polígonos” no software QGIS, restritas ao enclave situado na porção leste da UC (o único que dispõe de acesso viário), em fisionomias de campo sujo, distantes como mínimo a 30 metros das vias de acesso. Em cada ponto visitado foram feitos registros fotográficos, acompanhados de um procedimento de coleta de acúmulo de material combustível fino (gramíneas, ervas e subarbustos) (Figura 4). Em termos específicos, em cada ponto foram coletadas três amostras de 0,50x0,50m, de áreas consideradas como predominantes em relação ao domínio da flora no ponto amostrado.

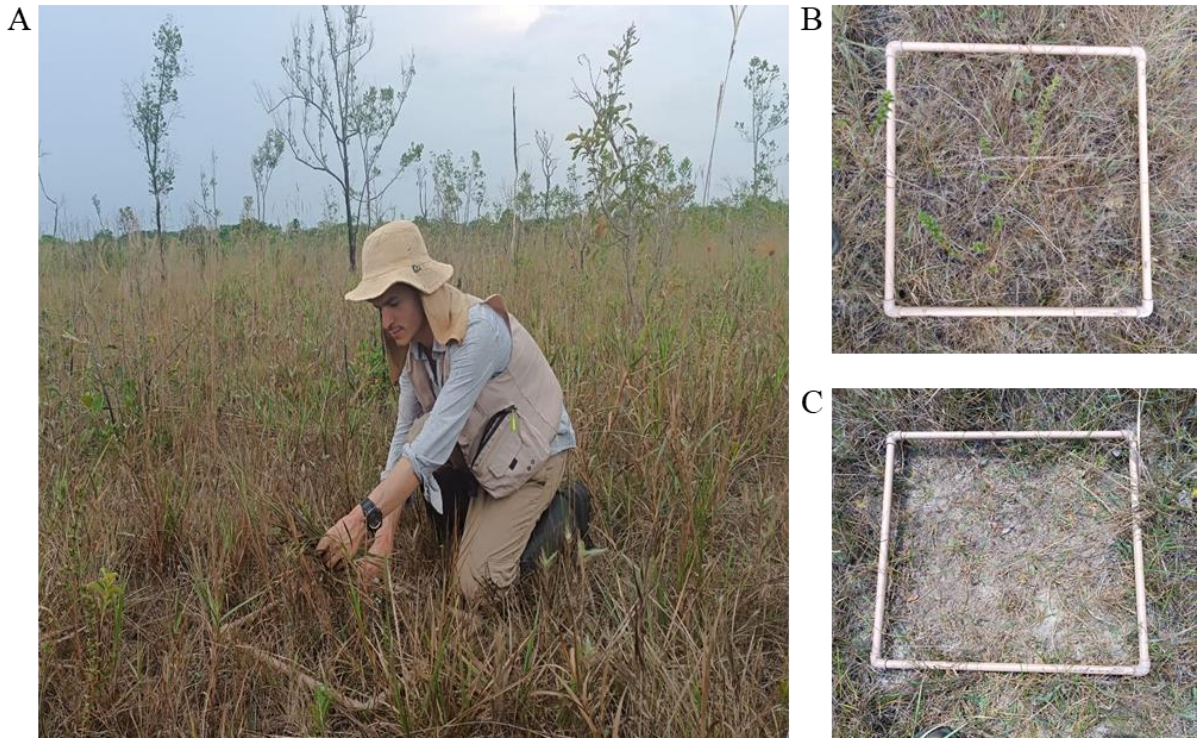
Figura 3. Localização dos pontos amostrados, situados no enclave da porção leste do PN Matinguari.



Tais coletas foram posteriormente triadas no Herbário Rondoniense da Universidade Federal de Rondônia, separando em dois grupos: biomassa verde e biomassa seca. Após a triagem, o material foi seco em estufa (pelo período de 48h, em temperatura de 70°C), e pesado, obtendo-se assim o total de acúmulo de material combustível fino de cada amostra (biomassa total), assim como seus subtotais verde e seco. A metodologia utilizada é atualmente aplicada na estimação de material combustível em áreas com predomínio de cobertura vegetal herbácea, sendo igualmente estabelecida em outros estudos conduzidos em áreas core do cerrado brasileiro (SCHIMIDT ET AL, 2018). A análise dos dados consistiu na comparação das médias dos dados agrupados pelos grupos de diferentes idades de acúmulos de material combustível, buscando diferenciar uma área recentemente queimada de outras com maior tempo de ausência de fogo.

Ressalta-se ainda que o conjunto de etapas metodológicas foram desenvolvidas apenas com o uso de materiais, softwares e plataformas livres, garantindo a viabilidade de obtenção e análise dos resultados previstos.

Figuras 4. Procedimento de coleta de material combustível em campo (A). À direita, um exemplo de amostra antes (B) e depois da coleta (C).



4. Resultados

4.1. Histórico de fogo do PN Mapinguari

Os mapeamentos gerados resultaram em uma série temporal de 39 anos (1984-2022) de registros de áreas queimadas nos enclaves de fisionomias campestres e savânicas do Parque Nacional Mapinguari e do seu entorno imediato, sendo cada ano da série temporal demonstrado nas imagens a seguir (Figuras 5 e 6).

Figura 5. Histórico anual de áreas queimadas (1984-2003) dentro dos enclaves de fisionomias campestres e savânicas do Parque Nacional do Mapinguari e entorno imediato.

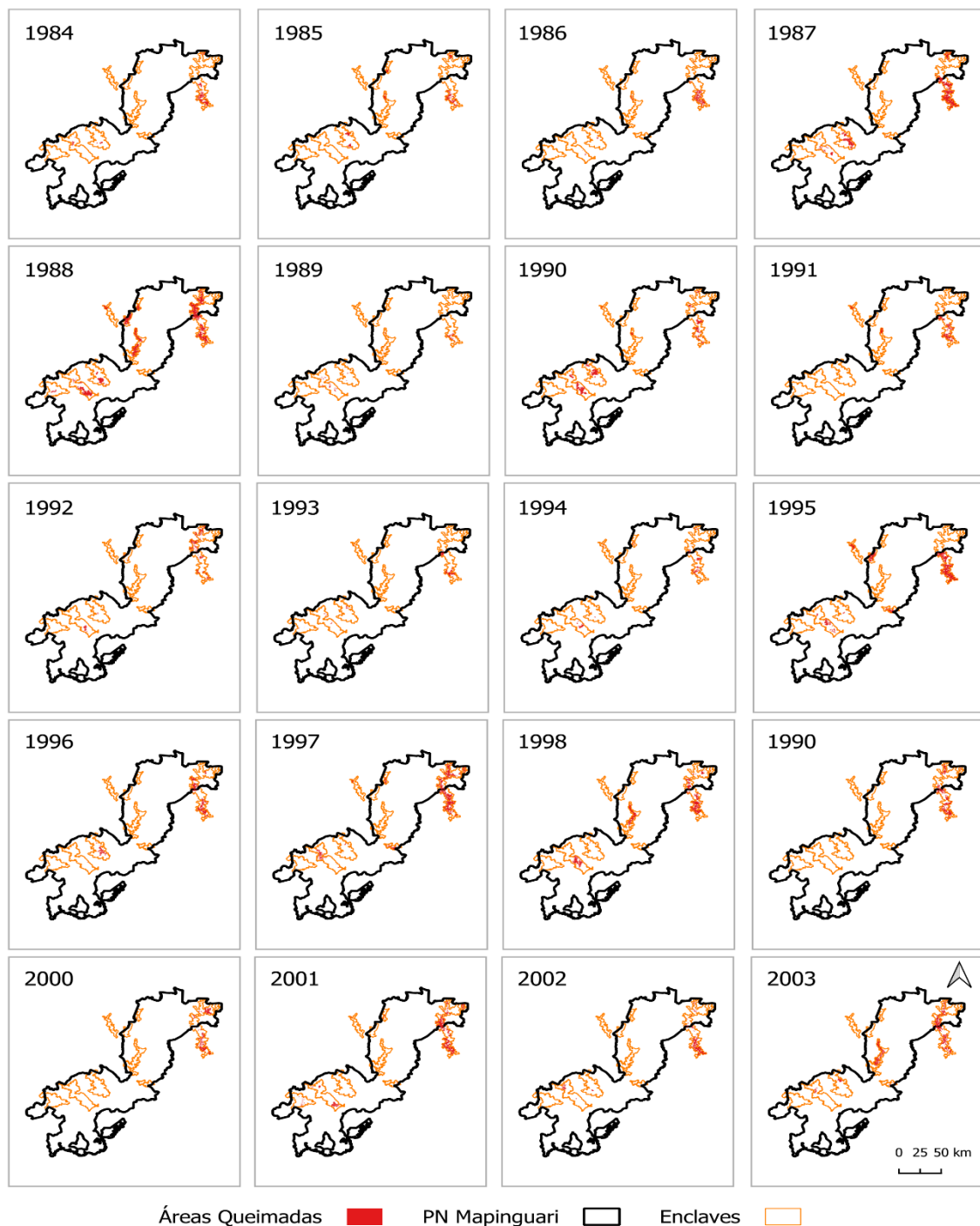
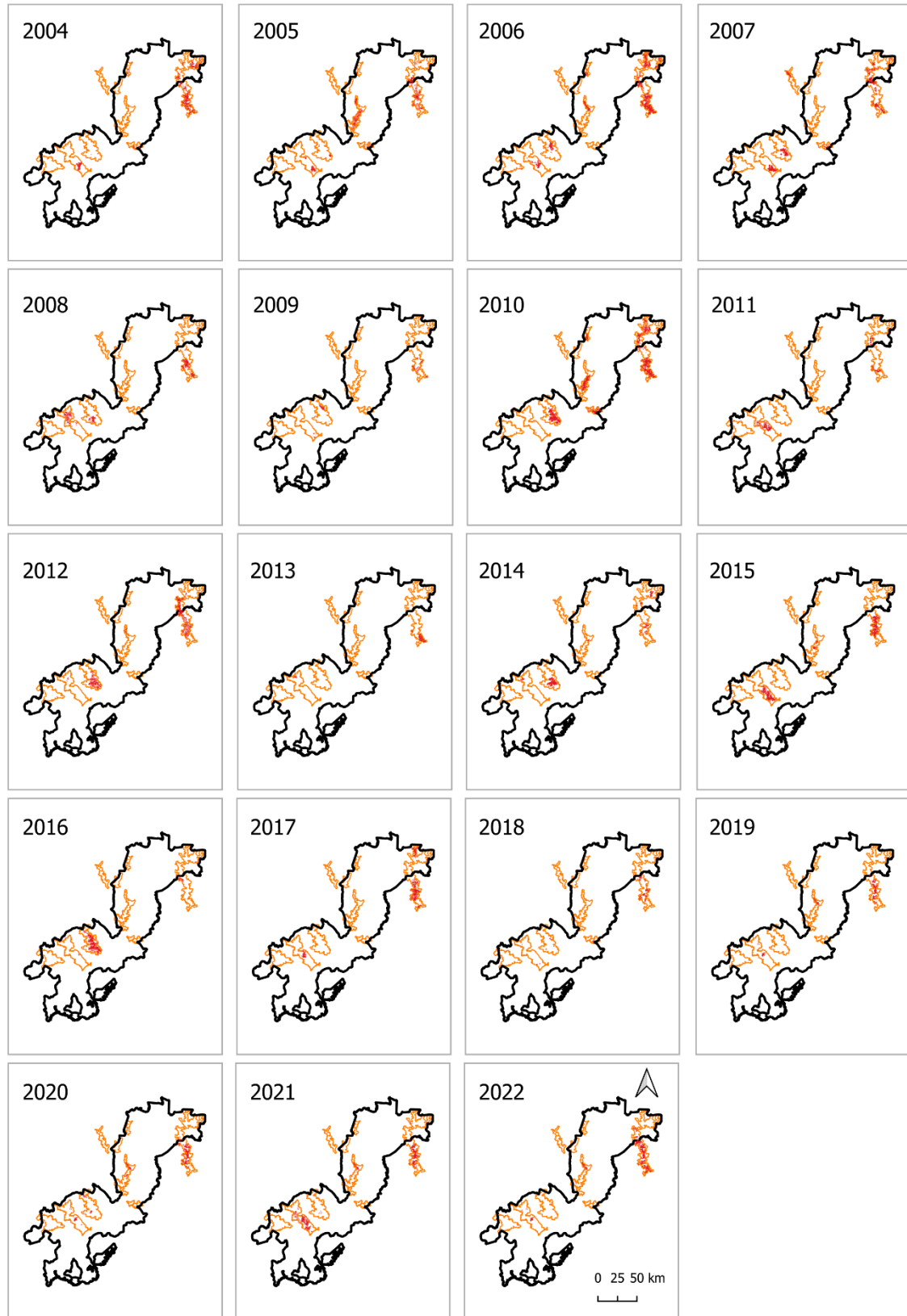


Figura 6. Histórico anual de áreas queimadas (2004-2022) dentro dos enclaves de fisionomias campestres e savânicas do Parque Nacional do Mapinguari e entorno imediato.

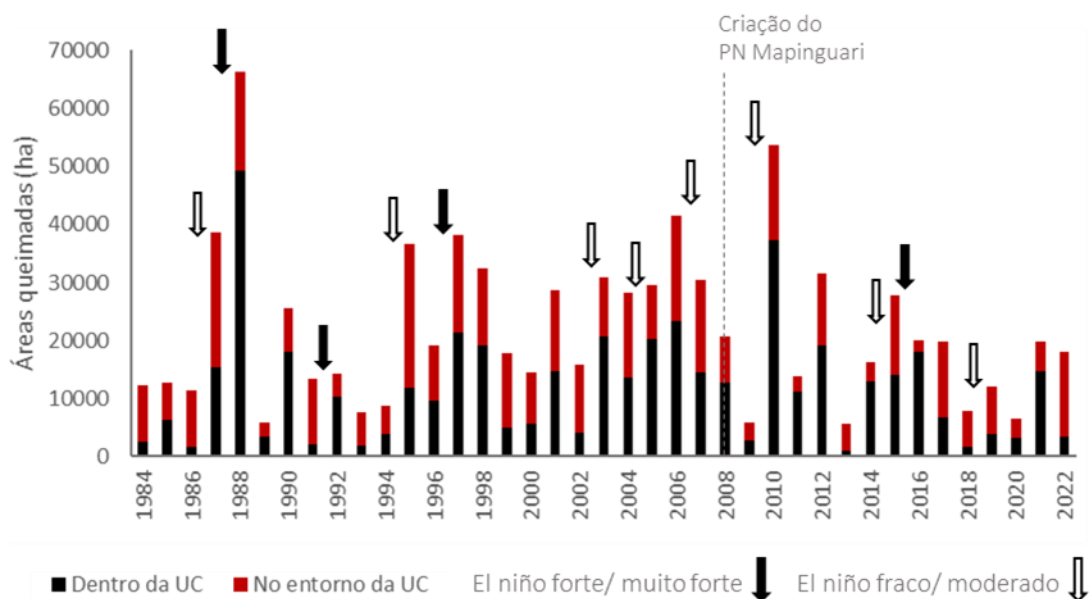


Nos 39 anos mapeados, foram registrados como queimados um total de 859.422 mil hectares nas áreas de enclave do Parque Nacional Mapinguari e seu entorno imediato. Considerando apenas as áreas internas da UC, esse total é de 460.947 mil hectares (Figura 7). Foi observado também que, na série temporal estudada, o ano que apresentou a maior área de queima foi o de 1988, sendo queimados 66.324 mil hectares. O ano de 2010 também se destaca apresentando altos valores de queima, sendo 53.795 mil hectares. Também se observou que o ano que menos queimou foi o de 2013, sendo queimados 5.617 mil hectares, seguido pelo ano de 1989, tendo 5.763 mil hectares queimados naquele ano.

Os dois picos principais da série (1988 e 2010) coincidem com ocorrência de El Niño “forte” e “moderado”, respectivamente. Porém, observa-se que a ocorrência deste evento em outros momentos da série não demonstrou efeitos diretos na elevação dos subtotais anuais, como é o caso dos anos de 1991 e 1992, onde um evento “forte” de El Niño ocorre e os subtotais anuais foram inferiores a 15 mil hectares queimados.

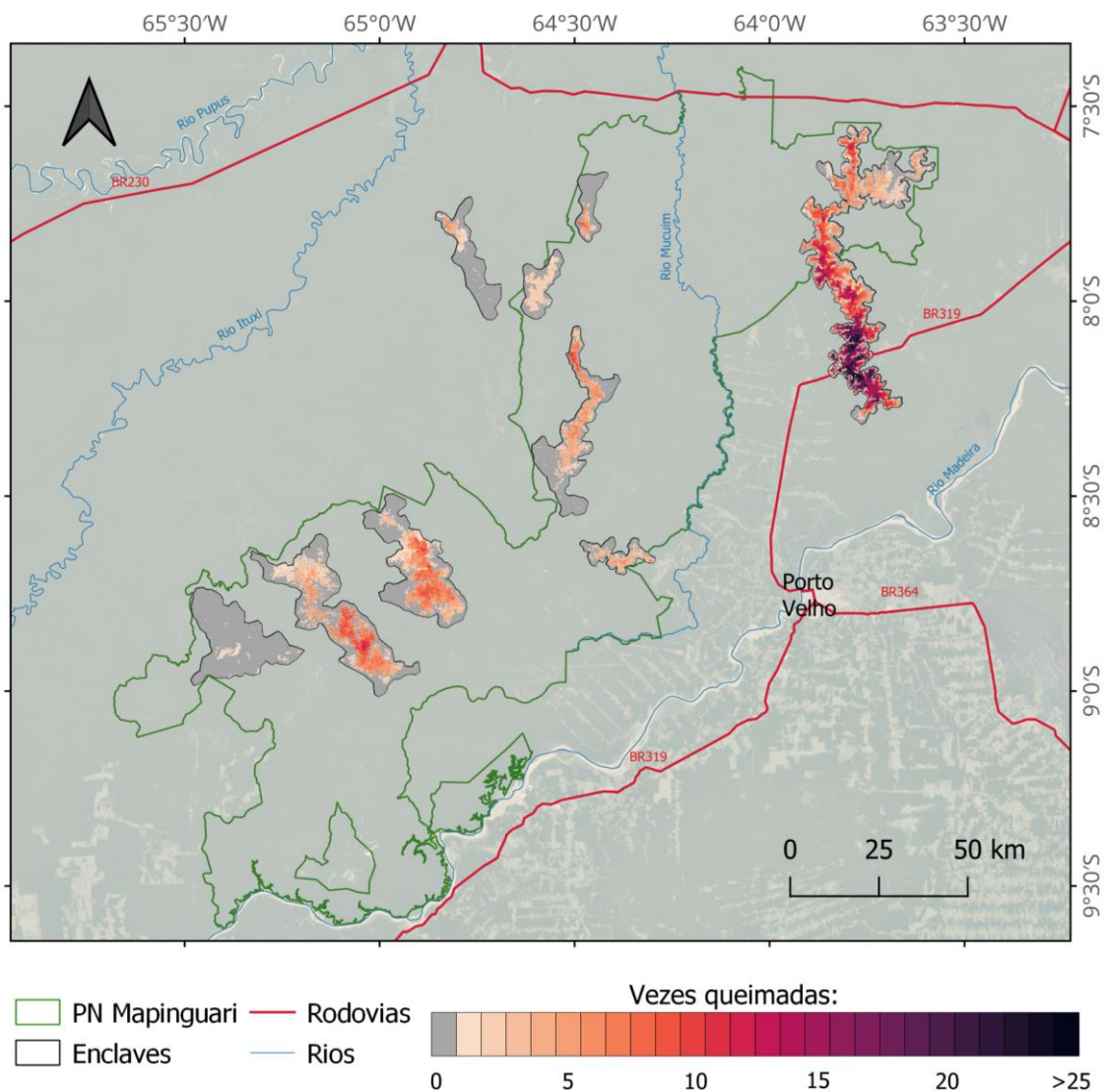
Dividindo-se os dados em “antes” e “depois” da criação do PN Mapinguari, observou-se que os subtotais anuais de áreas queimadas apresentaram uma redução média de 12,84% (média de 12.433 hectares para período de 1984-2007; e 10.836 hectares, no período de 2008-2022). Porém, verifica-se também que o segundo pico mais alto da série se situa no ano de 2010, com 37.315 hectares queimados, já após o estabelecimento da UC.

Figura 7. Áreas queimadas anuais do Parque Nacional Mapinguari durante a série temporal analisada (1984-2022).



A sobreposição dos mapas anuais de mapas queimadas (Figura 8), revela que ao menos 45,24% da área total dos enclaves de fisionomias campestres e savânicas do PN Mapinguari já registrou ao menos 1 ocorrência de fogo ao longo dos últimos 39 anos. Áreas que queimaram entre 1 e 7 vezes ocupam, cada uma delas, ao menos 10 mil hectares (Tabela 1). Ao mesmo tempo, 4.820 hectares foram registrados como queimados nas categorias de recorrência 20 ou superior, ou seja, queimaram com intervalo médio de recorrência superior a uma vez a cada dois anos no período de 1984 a 2022.

Figura 8. Mapa do número de recorrências de queimadas nos Enclaves de fisionomias campestres e savânicas do Parque Nacional Mapinguari e arredores (1984-2022).



Observa-se que essas áreas que registram maior recorrência estão localizadas principalmente no enclave situado nordeste da área estudada, que desde 2008 é parcialmente

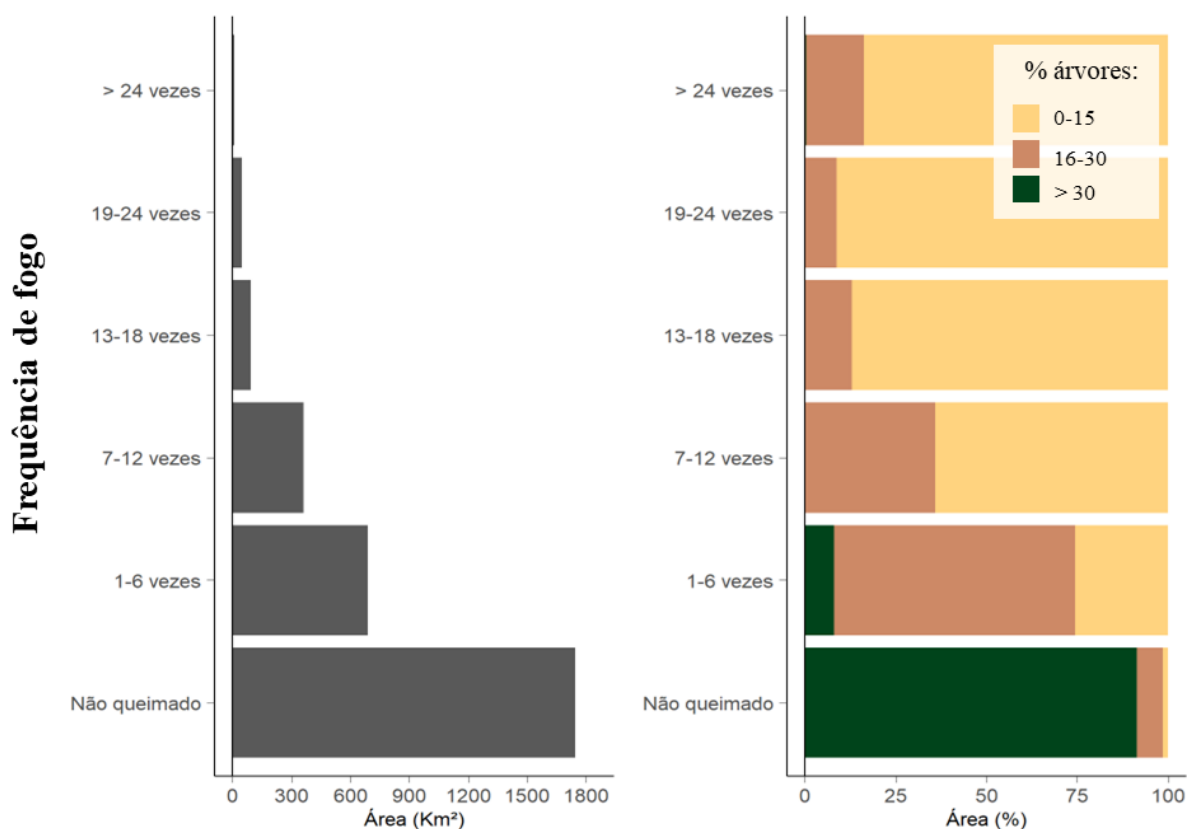
protegido a partir da implementação do PN do Mapinguari. O setor do enclave mais frequentemente afetado pelo fogo está situado justamente no setor que não se configura como área protegida, onde há acesso viário pela BR-319.

Tabela 1. Tabela de contingência do mapeamento de recorrência de fogo nos Enclaves de fisionomias campestres e savânicas do PN Mapinguari (1984-2022).

Vezes queimado	Área (ha)	Vezes queimado	Área (ha)
1	21004	14	1922
2	16357	15	1649
3	12762	16	1213
4	14516	17	1288
5	13470	18	1084
6	11794	19	1029
7	10185	20	971
8	8188	21	894
9	6668	22	733
10	4653	23	544
11	3640	24	418
12	2702	>25	877
13	2090	Sem fogo	163685

Em termos de tipo de cobertura vegetal afetada, observou-se que as áreas mais frequentemente afetadas pelo fogo correspondem predominantemente a fisionomias mais abertas em comparação às áreas mais arborizadas situadas no interior dos enclaves (Figura 9). Mais especificamente, áreas não queimadas, ou com recorrência de fogo inferior a 6 ocorrências nos últimos 39 anos, correspondem predominantemente a áreas de maior proporção de vegetação de porte arbóreo (>15 % de arborização), situadas principalmente nas áreas de mata ciliar ou nas transições para as áreas de floresta amazônica nas bordas no enclave. Por outra parte, verifica-se que as áreas com uma recorrência média de um fogo a cada 3 anos (nas que se registrou 13 ou mais ocorrências de fogo na série avaliada) correspondem a áreas com arborização baixa.

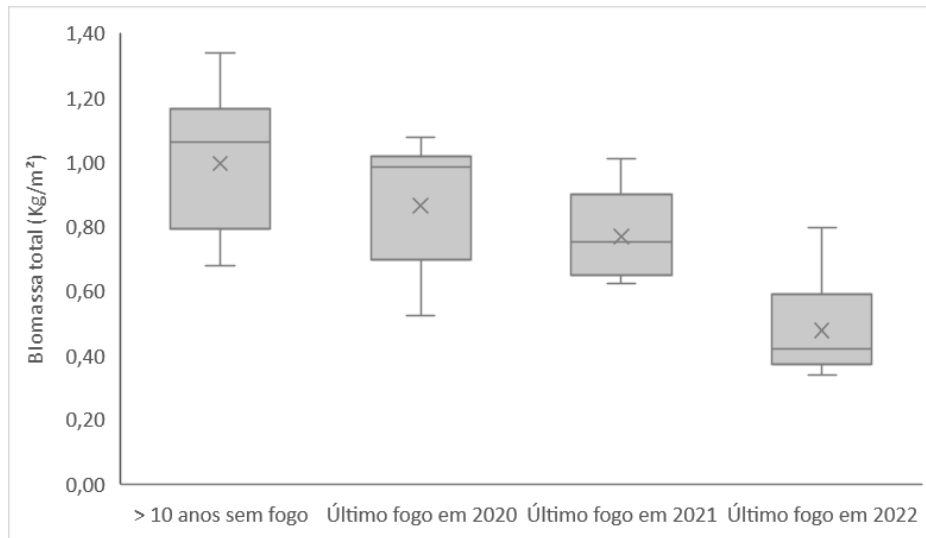
Figura 9. Relações entre a recorrência de fogo e o tipo de superfície afetada pelo fogo de acordo com a porcentagem de arborização (Sexton et al., 2013).



4.2. Diferenças de acúmulo de material combustível

Com base nos dados de mapeamento do histórico de fogo da área, foi possível identificar e avaliar as diferenças nos padrões de acúmulo de material combustível, conforme se observa na Figura 10. O total de biomassa é menor nas áreas em que o fogo ocorreu mais recentemente, nesse caso 2022 (um ano antes das coletas), onde a média do acúmulo foi de 0,476 Kg/m². As amostras onde o último fogo ocorreu pela última vez nos anos de 2021 e 2020 apresentam padrões de acúmulo mais similares, onde a quantidade média da biomassa alcançou 0,768 e 0,864 Kg/m², respectivamente. Apesar da média de biomassa das áreas onde o fogo ocorreu em 2020 e 2021 serem semelhantes, a mediana das áreas com 3 anos de idade do material combustível (um total de 0,984 Kg/m²) - que queimou em 2020 - demonstra que este grupo já se assemelha a áreas onde o fogo ocorreu há mais de dez anos (um total de 1,060 kg/m²), onde a diferença foi de 0,076 Kg/m².

Figura 10. Acúmulo de biomassa total em áreas com distintas idades de material combustível (último fogo distante um ano, dois anos, três anos e mais de 10 anos).



Dos totais observados, é possível avaliar a sua composição em termos da proporção e de biomassa verde em relação a biomassa seca (Figura 11). Nesse sentido se destacam as áreas anos em que o fogo ocorreu mais recentemente, nesse caso 2022, onde foi obtido uma porcentagem média de biomassa verde de 59,11%, alcançando até 69,19% em uma das amostras, demonstrando que conforme mais recente a área é atingida pelo fogo, há uma maior tendência de que a quantidade da biomassa verde seja proporcionalmente maior ao subtotal seco.

Nas áreas onde o fogo ocorreu há três anos, o acúmulo de biomassa verde totalizou uma média de 45,03%, demonstrando que o material seco tende a se sobressair após dois anos da ocorrência do último fogo, representando um aumento da porcentagem média de acúmulo de material seco de 14,08% após esse período.

Figura 11. Proporção de biomassa verde em áreas com distintas idades de material combustível (último fogo distante um ano, dois anos, três anos e mais de 10 anos).

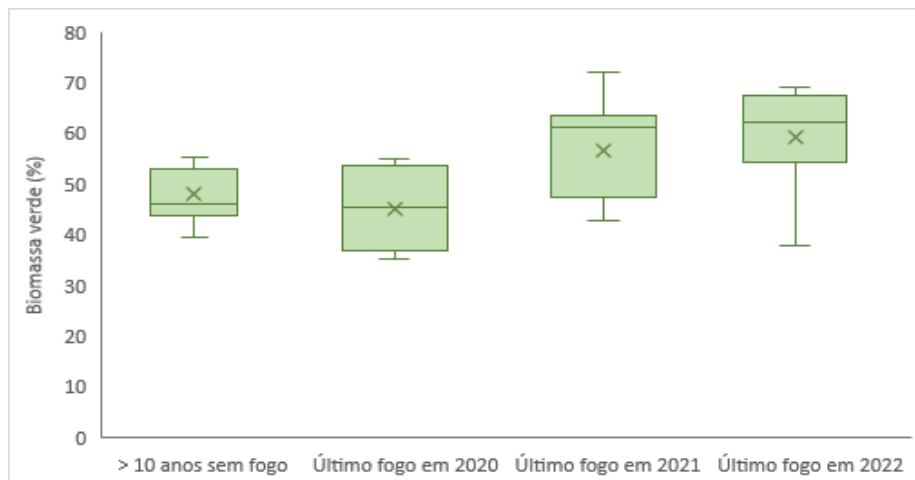
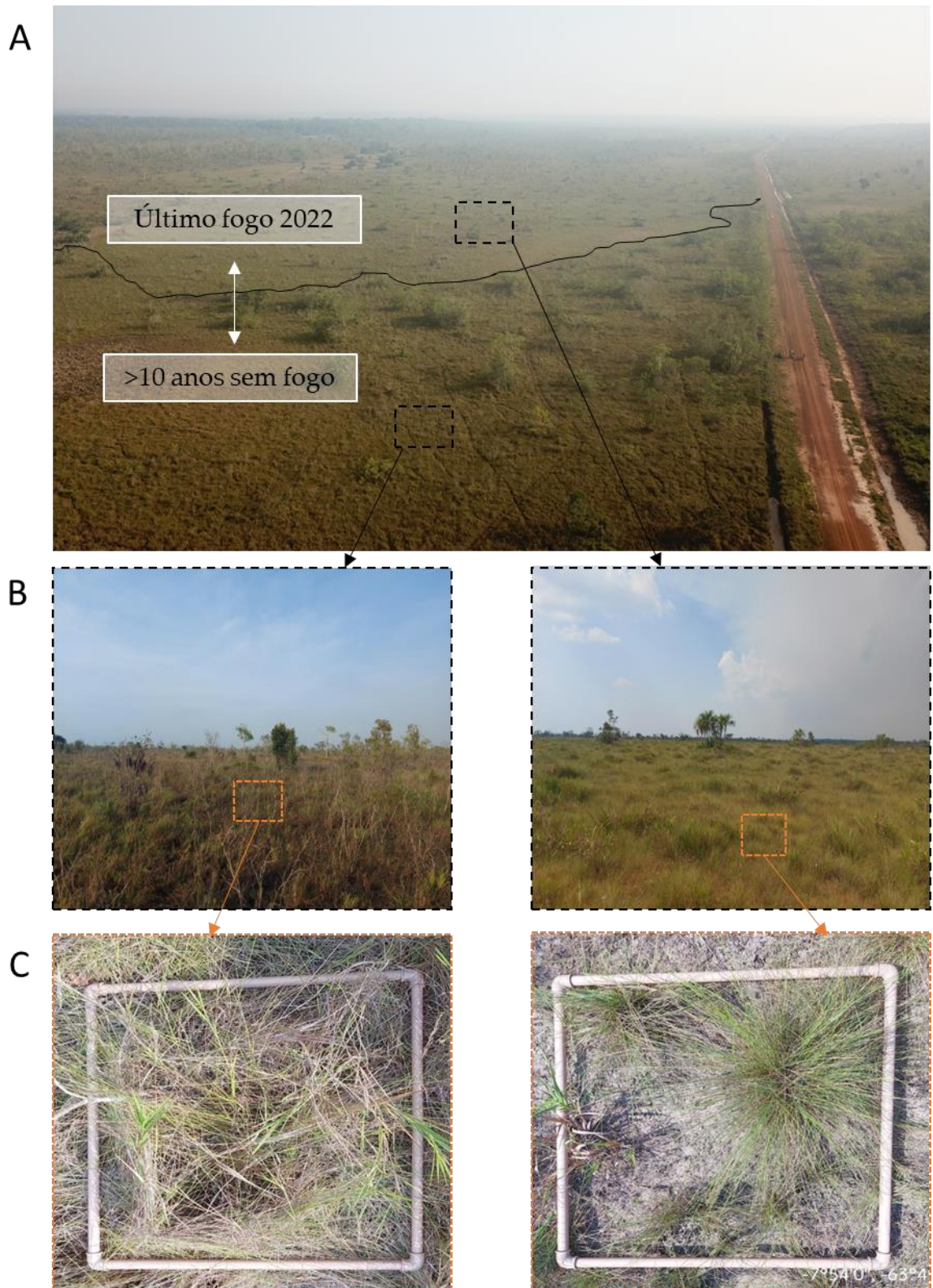


Figura 12. Comparação de duas áreas, a superior queimada no ano de 2022, a inferior queimada há mais de dez anos.



5. Discussão e Conclusões

Os procedimentos metodológicos aplicados permitiram gerar dados relevantes sobre a dinâmica do fogo no território estudado. A análise da série completa revela que um total de 859.422 mil hectares queimaram nos enclaves de fisionomias campestres e savânicas do PN Mapinguari e que ao menos 46,23% desta área já registrou ao menos 1 ocorrência de fogo ao longo dos últimos 39 anos. Tais dados demonstram a relevância desse fator para esse ecossistema.

Observa-se no mapeamento anual, que a área queimada de determinado ano acaba atuando no controle do que se detecta como queimado no ano anterior e posterior. Um exemplo disso é o ano de 2009, 2010 e 2011, em que foi observado um baixo número ocorrência de fogo em 2009, seguido por um pico com alto número de áreas queimadas em 2010 e sucedido por índices bem baixos de queima em 2011. Isso ocorre em função da disponibilidade e indisponibilidade de material combustível, onde o acúmulo deste material acaba por favorecer a ocorrência de grandes incêndios. Esta situação também ocorre em outras pesquisas que levantam o histórico de fogo anual de áreas de enclaves de savana amazônica, como o observado no Enclave de Cerrado dos Campos Amazônicos (ALVES; PÉREZ-CABELLO, 2017).

Com a criação do PN Mapinguari, registrou-se um declínio nos subtotais de área queimada de aproximadamente 12%, que provavelmente tem relação com as ações conduzidas pela gestão em conjunto com a sua Brigada de Incêndios. Ainda assim, observou-se um pico muito alto da série anual de áreas queimadas após a criação da UC, no ano de 2010, que corresponde ao segundo mais alto de toda a série. Tal pico pode ter sido influenciado com a ocorrência de El Niño forte nos anos de 2009 e 2010, que pode resultar no prolongamento das estações secas e conseqüentemente pesar no número de ocorrência de incêndios.

Também se observa que as áreas que registram maior recorrência de queima no período de 1984 a 2022, estão localizadas principalmente no enclave situado nordeste da área estudada. Isso possivelmente ocorre, pois, o setor do enclave mais frequentemente afetado pelo fogo está situado justamente no setor que não se configura como área protegida, onde há acesso viário pela BR-319 e conseqüentemente transformação destas áreas para usos antrópicos. Este fator revela a importância de dar continuidade a estudos mais específicos, em que se considere o contexto de cada um dos enclaves do PN Mapinguari, que explore os dados em detalhe de acordo com as dinâmicas espaciais que ali ocorram.

Em relação aos dados obtidos em campo, percebeu-se que nas áreas onde o fogo ocorreu há três anos a quantidade de material combustível é similar a áreas onde está sem a ocorrência de fogo há mais de dez anos. Tal padrão também observado nos estudos do Parque Nacional dos Campos Amazônicos (ALVES; PÉREZ-CABELLO, 2017), onde se demonstra que após 3 anos da ocorrência do fogo não há diferenças estatisticamente significativas no total de material combustível fino acumulado em comparação com áreas há mais de 10 anos sem fogo.

Em conclusão, foi possível ressaltar a forte influência do fogo na dinâmica desse ecossistema e a importância do uso de séries multitemporais de sensoriamento remoto para o mapeamento e análise de séries temporais de áreas queimadas, que geraram relevantes informações que servem de auxílio para a gestão destas áreas, que podem ser usados para melhor gerir o fogo nestes ecossistemas inflamáveis.

Ressalta-se ainda, a importância de futuros estudos na área observarem a diferença entre cada enclave, onde é possível registrar que nos enclaves onde o acesso viário não é possível, demonstra que o número de ocorrências de fogo nessas áreas seja menor.

6. Recomendações para o manejo

Os dados gerados a respeito do histórico de fogo dos Enclaves de Cerrado da área estudada demonstram que este elemento vem influenciando a dinâmica desses ecossistemas em período muito maior do que o intervalo de tempo desde a criação do PN Mapinguari até os dias de hoje. Os mapeamentos estão a disposição da gestão, e poderão auxiliar na compreensão dos padrões de ocorrência interanuais do fogo da UC, e subsidiar a otimização e implementação do Plano de Manejo Integrado do Fogo do PN Mapinguari.

Especial atenção deve ser dada ao enclave situado no setor leste da UC, onde os padrões de ocorrência apresentaram-se com frequência muito altas. Ainda que os ecossistemas abertos tenham evoluído com o fogo e as comunidades possuem uma série de mecanismos de resiliência, altas frequências de fogo como as observadas podem acabar sendo negativas para a conservação da área.

Ainda com vistas ao desenvolvimento do PMIF da UC, os dados de acúmulo de combustível sinalizam que áreas com 3 anos sem fogo já dispõem de quantidade e continuidade espacial para a propagação do fogo. O uso de queimas prescritas, a exemplo do ocorrido de em outras UCs do Cerrado e também de áreas de enclave de fisionomias campestres e savânicas da Amazônia, deve ser considerado pela gestão para fragmentar a continuidade das áreas com alto acúmulo de combustível e evitar grandes incêndios. É importante adicionar que o panorama de mudanças climáticas previsto para as próximas décadas pode impactar diretamente no prolongamento das estações secas no sul da Amazônia, e conseqüentemente no aumento da probabilidade de ocorrência de grandes incêndios na região, o que demandam a consolidação de ações planejadas a curto, médio e longo prazo no âmbito do manejo de fogo da área.

Por fim, ressalta-se que ainda que este trabalho de iniciação finalize com o presente relatório, há planos de continuidade dos estudos, incluindo a atualização dos dados (com eventos de fogo), e avançando na avaliação dos padrões sazonais para

7. Agradecimentos

Agradeço aos meus orientadores Dr.Christian Niel Berlinck, Ma.Tatiane Rodrigues Lima e Dr. Daniel Borini Alves pela oportunidade e ao Conselho Nacional de Pesquisas e Desenvolvimento (CNPQ, processos número 126772/2022-3) juntamente ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO), que financiam atividades de pesquisa no Parque Nacional do Mapinguari, com as quais o atual trabalho se vinculam. Especial agradecimento ainda a servidora Bárbara, pelo apoio na logística de campo, e ao monitor Fernandes, da Equipe de Monitoramento da Biodiversidade do PN Mapinguari, pelo acompanhamento e apoio durante as ações em campo.

8. Citações e referências bibliográficas

ALVARADO, S. T.; FORNAZARI, T.; CÓSTOLA, A.; MORELLATO, L. P. C.; SILVA, T. S. F. Drivers of fire occurrence in a mountainous Brazilian cerrado savanna: Tracking long-term fire regimes using remote sensing. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 270–281, 2017.

ALVES, D. B.; PÉREZ-CABELLO, F. Multiple remote sensing data sources to assess spatio-temporal patterns of fire incidence over Campos Amazônicos Savanna Vegetation Enclave (Brazilian Amazon). **Science of The Total Environment**, v. 601–602, p. 142–158, dez. 2017.

BASTARRIKA, A. et al. BAMS: a tool for supervised burned area mapping using Landsat data. **Remote Sensing**, v. 6, p. 12360–12380, 2014.

BATISTA, E. K. L.; RUSSELL-SMITH, J.; FRANÇA, H.; FIGUEIRA, J. E. C. An evaluation of contemporary savanna fire regimes in the Canastra National Park, Brazil: Outcomes of fire suppression policies. **Journal of Environmental Management**, v. 205, p. 40–49, 2018.

BERLINCK, C. N.; BATISTA, E. K. L. Good fire, bad fire: it depends on who burns. **Flora**, v. 268, n. December 2019, p. 151610, 2020.

BOWMAN, D. M. J. S. et al. Experimental comparison of four remote sensing techniques to map tropical savanna fire-scars using Landsat-TM imagery. **International Journal of Wildland Fire**, v. 12, n. 4, p. 341, 2003.

BRASIL. IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil** Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

CARNEIRO FILHO, A. Cerrados amazônicos: fósseis vivos? Algumas reflexões. **Revista do Instituto Geológico**, v. 14, n. 1, p. 63–68, 1993.

CARVALHO, W. D. de; MUSTIN, K. The highly threatened and little known Amazonian savannahs. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, p. 0100, 2017.

DALDEGAN, G. A.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RIBEIRO, F. de F.; MCMANUS, C. Spatial patterns of fire recurrence using remote sensing and GIS in the Brazilian savanna: Serra do Tombador Nature Reserve, Brazil. **Remote Sensing**,

v. 6, n. 10, p. 9873–9894, 2014.

CARVALHO, Izadora S De. et al. How does the fire regime change after creating a protected area in the Brazilian Cerrado?. **Journal for Nature Conservation**, v. 71, p. 126318, 2023.

DURIGAN, G.; RATTER, J. A. The need for a consistent fire policy for Cerrado conservation. **Journal of Applied Ecology**, v. 53, n. 1, p. 11–15, 2016.

GORELICK, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18–27, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>>.

HAFFER, J.; PRANCE, G. T. Impulsos climáticos da evolução na Amazônia durante o Cenozóico: sobre a teoria dos refúgios da diferenciação biótica. **Estudos Avançados**, v. 12, n. 46, 2002.

HARDESTY, J.; MYERS, R.; FULKS, W. Fire, ecosystems and people: a preliminary assessment of fire as a global conservation issue. **Fire Management**, v. 22, n. 4, p. 78–87, 2005.

ICMBIO, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo do Parque Nacional do Mapinguari** - Volume I - Diagnóstico. 2018.

ICMBIO, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo do Parque Nacional do Mapinguari** - Volume II - Planejamento. 2018.

KEY, C. H.; BENSON, N. C. **Landscape assessment (LA)**: Sampling and analysis methods. In: LUTES, D. C. et al. (Ed.). FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system. Fort Collins, CO, USA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 2006. p. 1–55.

LEMES, G. P.; MATRICARDI, E. A. T.; COSTA, O. B.; LEAL, F. A. Spatiotemporal assessment of forest fires occurred in the Serra da Canastra National Park between 1991 and 2011. **Ambiência**, v. 10, n. 1, p. 247–266, 2014.

LENTILE, L. B. et al. Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects. **International Journal of Wildland Fire**, v. 15, n. 3, p. 319–345, 2006.

MARENGO, J. A. et al. Onset and end of the rainy season in the Brazilian Amazon Basin. **Journal of Climate**, v. 14, n. 5, p. 833–852, 2001.

PAUSAS, J. G.; KEELEY, J. E. A burning story: The role of fire in the history of life. **BioScience**, v. 59, n. 7, p. 593–601, 2009.

PEREIRA, J. M. C. Remote sensing of burned areas in tropical savannas. *International Journal of Wildland Fire*, v. 12, n. 4, p. 259–270, 2003.

PIVELLO, V. R. The use of fire in the cerrado and amazonian rainforests of Brazil: past and present. **Fire Ecology**, v. 7, n. 1, p. 24–39, abr. 2011.

PIVELLO, V. R. et al. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 3, p. 233–255, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.06.005>>.

POSTH, C. et al. Reconstructing the Deep Population History of Central and South America. **Cell**, v. 175, n. 5, p. 1185–1197.e22, nov. 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0092867418313801>>.

PRANCE, G. T. Islands in Amazonia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 351, n. 1341, p. 823–833, 1996.

RAMOS-NETO, M. B.; PIVELLO, V. R. Lightning fires in a Brazilian Savanna National Park: rethinking management strategies. **Environmental Management**, v. 26, n. 6, p. 675–684, 2000.

SANTOS, C. P. F. et al. Mapeamento dos remanescentes e ocupação antrópica no Bioma Amazônia. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE, Florianópolis, SC, Brazil, p. 6941–6948, 2007.

SCHMIDT, I. B.; MOURA, L. C.; FERREIRA, M. C.; ELOY, L.; SAMPAIO, A. B.; DIAS, P. A.; BERLINCK, C. N. Fire management in the Brazilian savan: First Steps and the way forward. **Journal of Applied Ecology**, 2018

SCHMIDT, I. B.; ELOY, L. Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and man agement. **Flora**, v. 268, n. May, p. 151613, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.flora.2020.151613>>.

SEXTON, J.O.; SONG, X.-P.; FENG, M.; NOOJIPADY, P.; ANAND, A.; HUANG, C.; KIM, D.-H.; COLLINS, K.M.; CHANNAN, S.; DIMICELI, C.; TOWNSHEND, J.R. Global, 30-m resolution continuous fields of tree cover: Landsat-based rescaling of MODIS Vegetation Continuous Fields with Lidar-based estimates of error. **International Journal of Digital Earth**, n. 8947, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/17538947.2013.786146>>

SIMON, M. F. et al. Recent assembly of the Cerrado, a neotropical plant diversity hotspot, by in situ evolution of adaptations to fire. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 106, n. 48, p. 20359–20364, 1 dez. 2009. Disponível em: <<http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0903410106>>.