

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

YASMIN SANTOS ALVES

**MONITORAMENTO DOS FOCOS DE INCÊNDIO E PRECIPITAÇÃO NO
PANTANAL BRASILEIRO: UMA ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE 2019 A 2024**

LONDRINA

2025

YASMIN SANTOS ALVES

**MONITORAMENTO DOS FOCOS DE INCÊNDIO E PRECIPITAÇÃO NO
PANTANAL BRASILEIRO: UMA ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE 2019 A 2024**

**Fire hotspot and precipitation monitoring in the brazilian Pantanal: a
spatiotemporal analysis from 2019 to 2024**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária,
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador(a): Ligia Flávia Antunes Batista

LONDRINA

2025



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

YASMIN SANTOS ALVES

**MONITORAMENTO DOS FOCOS DE INCÊNDIO E PRECIPITAÇÃO NO
PANTANAL BRASILEIRO: UMA ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE 2019 A 2024**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária,
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 24/junho/2025

Ligia Flávia Antunes Batista
Doutorado em Ciências Cartográficas
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Marcelo Hidemassa Anami
Doutorado em Agronomia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rafael Montanhini Soares de Oliveira
Doutorado em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LONDRINA

2025

AGRADECIMENTOS

À minha família, meu mais profundo e sincero agradecimento.

Agradeço pelo apoio incondicional, pela paciência e pelo incentivo constante durante toda esta jornada. Sem o amor, a compreensão e a força de vocês, esta conquista não seria possível.

À Fernanda Vieira dos Santos, minha melhor amiga e companheira de vida, sou imensamente grata por estar ao meu lado neste momento tão especial. Nos dias mais difíceis, você foi meu suporte, meu porto seguro e minha força. Palavras não são suficientes para expressar tudo o que você representa para mim e tudo o que faz por mim.

Aos meus professores, responsáveis pela profissional que me tornei, sou profundamente grata pelos ensinamentos, orientações e incentivos ao longo destes anos. Em especial, à minha orientadora, Professora Dra. Lígia Flávia Antunes Batista, minha sincera gratidão por toda a dedicação, sabedoria e empenho ao me acompanhar nesta jornada.

Por fim, gostaria de agradecer a todos os meus amigos e a todas as pessoas que contribuíram para a realização desta graduação. Sou grata pelo apoio, pelos almoços compartilhados, pela paciência e por cada risada que tornou essa caminhada mais leve. Vocês fizeram toda a diferença.

Embora tenha exigido muito esforço e dedicação, essa conquista também é resultado do apoio, do carinho e da presença de pessoas especiais que estiveram ao meu lado ao longo dessa caminhada. Por isso, compartilho essa vitória com todos que, de alguma forma, fizeram parte dessa trajetória.

RESUMO

O bioma Pantanal é uma das maiores áreas úmidas contínuas do planeta, abrangendo regiões dos estados brasileiros de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, bem como porções dos territórios da Bolívia e do Paraguai. Influenciado pelos biomas Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e Chaco, o Pantanal apresenta ampla biodiversidade de fauna e flora. Nesse ecossistema, o fogo desempenha um papel importante, principalmente em razão do uso de queimadas para limpeza de pastagens, prática vinculada à atividade pecuária, vetor econômico expressivo da região. Entretanto, entre os anos de 2019 e 2020, registrou-se um aumento de quase 13 vezes na área queimada em relação a 2018, intensificando os debates sobre a preservação do bioma. As queimadas passaram a ocorrer com maior frequência e intensidade, ameaçando espécies nativas, comprometendo a qualidade de vida das populações locais e gerando impactos econômicos regionais e nacionais. Diante dessa realidade, este trabalho teve como objetivo analisar a distribuição espaço-temporal dos focos de incêndio no Pantanal, entre os anos de 2019 e 2024, por meio de uma abordagem quali-quantitativa. Foram mapeadas as áreas de maior concentração de queimadas, bem como os padrões de repetição do fenômeno, com foco em 11 sub-regiões fitogeográficas: Paiaguás/MS, Nhecolândia/MS, Barão de Melgaço/MT, Poconé/MT, Nabileque/MS, Cáceres/MT, Paraguai/MT/MS, Aquidauana/MS, Miranda/MS, Porto Murtinho/MS e Abobral/MS. Os resultados mostraram que os municípios de Miranda, Poconé e Barão de Melgaço lideraram o ranking de densidade de focos de incêndio, enquanto Corumbá, apesar do maior número absoluto, teve índice proporcionalmente menor devido à sua extensa área territorial. O ano de 2020 foi o mais crítico, com cerca de 4,1 milhões de hectares queimados. Em 2021 e 2022, observou-se uma redução na quantidade de focos, porém seguida de novo aumento em 2023, embora com menor densidade espacial. Já em 2024, os dados indicaram o reaparecimento de áreas com alta densidade de queimadas, revelando a persistência da vulnerabilidade do bioma à ocorrência de incêndios. Além disso, analisou-se a relação entre os focos e os padrões anuais de precipitação, observando a correlação entre a baixa precipitação e a alta incidência de fogo, especialmente nos anos de 2020 e 2024, quando a estiagem prolongada intensificou a inflamabilidade da vegetação e potencializou a propagação das chamas, evidenciando a vulnerabilidade do bioma à combinação entre estiagem prolongada e ações antrópicas.

Palavras-chave: áreas úmidas; queimadas; sensoriamento remoto; variabilidade climática.

ABSTRACT

The Pantanal biome is one of the largest continuous wetland areas on the planet, spanning regions of the Brazilian states of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul, as well as parts of Bolivia and Paraguay. Influenced by the Amazon, Cerrado, Atlantic Forest, and Chaco biomes, the Pantanal hosts a rich biodiversity of fauna and flora. In this ecosystem, fire plays a significant role, mainly due to the use of burning for pasture clearing, a practice linked to cattle ranching, a key economic activity in the region. However, between 2019 and 2020, there was a nearly 13-fold increase in the burned area compared to 2018, intensifying debates on the preservation of the biome. Fires have become more frequent and intense, threatening native species, compromising the quality of life of local populations, and generating both regional and national economic impacts. In this context, the present study aimed to analyze the spatiotemporal distribution of fire hotspots in the Pantanal between 2019 and 2024, using a qualitative and quantitative approach. Areas with the highest concentration of fires and recurrence patterns were mapped, focusing on 11 phytogeographic sub-regions: Paiaguás/MS, Nhecolândia/MS, Barão de Melgaço/MT, Poconé/MT, Nabileque/MS, Cáceres/MT, Paraguai/MT/MS, Aquidauana/MS, Miranda/MS, Porto Murtinho/MS, and Abobral/MS. The results showed that the municipalities of Miranda, Poconé, and Barão de Melgaço ranked highest in fire density, while Corumbá, despite having the highest absolute number, had a lower proportional index due to its large territorial area. The year 2020 was the most critical, with approximately 4.1 million hectares burned. In 2021 and 2022, a decrease in fire occurrences was observed, followed by a new increase in 2023, although with lower spatial density. In 2024, the data indicated a reappearance of high-density fire areas, highlighting the persistent vulnerability of the biome to fire occurrences. Additionally, the relationship between fire hotspots and annual precipitation patterns was analyzed, revealing a correlation between low rainfall and high fire incidence, especially in 2020 and 2024, when prolonged drought increased vegetation flammability and enhanced fire spread, emphasizing the biome's vulnerability to the combination of extended drought and human activities.

Keywords: wetlands; wildfires; remote sensing; climate variability.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	9
2.1	Objetivo geral	9
2.2	Objetivos específicos	9
3	REFERENCIAL TEÓRICO	10
3.1	Pantanal	10
3.2	Incêndios	11
3.3	Sensoriamento remoto e análises espaço-temporais	12
3.4	Trabalhos relacionados	15
3.4.1	Densidade dos focos de incêndio	15
3.4.2	Mapas condicionais.....	15
4	MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1	Área de estudo	18
4.2	Metodologia	22
4.2.1	Aquisição dos dados de focos de incêndio.....	23
4.2.2	Banco de dados geográficos	24
4.2.3	Mapas de Densidade de Focos de Incêndio	24
4.2.4	Mapas da Distribuição da Precipitação	26
4.2.5	Mapas Condicionais.....	27
5	RESULTADOS	28
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS	43
	ANEXO A - Código em JavaScript para Extração dos Dados de Precipitação no GEE	50

1 INTRODUÇÃO

O ser humano sempre agiu de forma a transformar o meio no qual vive, sendo o processo de industrialização, ainda no século XVIII, o responsável por transformações radicais ocorridas nesse cenário. De acordo com Amaral (2021, p. 11), nas últimas décadas, o estilo de vida humano tem se tornado cada vez mais intenso e acelerado, sendo impulsionado por mudanças econômicas, sociais e ambientais, evidenciando os impactos negativos das atividades humanas sobre o ambiente natural e tornando clara a relação desequilibrada entre o desenvolvimento da sociedade e a preservação dos recursos naturais.

Entre os impactos negativos resultantes das ações antrópicas, as modificações ambientais, como a fragmentação e o desmatamento de florestas, são elencadas por Andreoli *et al.* (2014, p. 459) como uma das principais causas de ameaça à biodiversidade, uma vez que eliminam habitats propícios ao desenvolvimento de diversas espécies. Além disso, as mudanças climáticas, intensificadas pelas intervenções antrópicas, limitam a capacidade de resposta da natureza, acelerando as taxas de extinção.

Dados do IPCC de 2022 (Pörtner H. O. *et al.*, 2022) alertam que, além do aumento da temperatura atmosférica, alterações na umidade relativa do ar e nos padrões de precipitação se tornarão cada vez mais frequentes, com maior incidência de eventos climáticos extremos, como fortes chuvas e períodos prolongados de seca, o que resultará em mudanças ambientais severas e impactos diretos na biodiversidade. Para Junk *et al.* (2013, p. 159), as mudanças climáticas globais irão estressar a fauna e a flora, favorecendo espécies invasoras e vetores de doenças.

No Pantanal, o fogo sempre teve um papel importante, visto que a pecuária é a principal atividade econômica do bioma e este é utilizado para limpeza de áreas de pastagem (Ferreira; Larcher; Rabelo, 2018, p. 566). Como afirma Neves (2021, p. 23), foi demonstrado que queimadas no bioma ganharam força nos anos de 2019 e 2020, evidenciando um aumento de quase 13 vezes no valor de área queimada em relação a 2018.

O desmatamento e o uso do fogo pelo agronegócio estão interligados e, muitas vezes, ocorrem de forma sequencial. A criação de gado e o cultivo de soja são as atividades agropecuárias predominantes no Pantanal, alimentando um ciclo de incêndios florestais que começa com o desmatamento, seguido pelo uso do fogo para

limpar áreas e, por fim, transformá-las em pastagens. No Alto Pantanal, essas áreas serão convertidas em plantações de soja ou outras monoculturas (Pinho, 2021).

A partir de 2020, especialmente, têm sido frequentes as notícias sobre queimadas e incêndios de grandes proporções no bioma, resultando na destruição de milhares de hectares do lugar (Alcântara, 2023). Essa realidade é extremamente preocupante, não só por colocar em risco a diversidade de espécies que habitam a região, mas também por afetar o bem-estar e a qualidade de vida das populações locais de maneira direta, além de interferir na cadeia produtiva, impactando negativamente tanto a economia local quanto, por extensão, a do país.

Partindo dessa condição especial à qual o Pantanal tem sido submetido, sobretudo nos últimos anos, este estudo tem como objetivo geral realizar uma análise espaço-temporal da distribuição dos focos de incêndio no bioma citado, com o intuito de identificar as áreas de maior concentração e os padrões de repetição do fenômeno durante o período analisado. Assim, busca-se a verificação da existência de sazonalidade nos focos de incêndio, apontando os anos de maior incidência e as regiões específicas mais vulneráveis a essas ocorrências.

Portanto, a relevância desta pesquisa reside na identificação e análise dos focos de incêndio, bem como na avaliação de sua relação com a variabilidade de precipitação. O estudo pretende observar como os padrões climáticos impactam a dinâmica desses eventos, além de fornecer uma base científica para melhor compreender suas causas subjacentes e os períodos de maior vulnerabilidade do local selecionado. Essa abordagem, assim, tenciona contribuir com o fortalecimento do debate acadêmico sobre o tema, além de ampliar o conhecimento sobre os mecanismos naturais que regulam a ocorrência de incêndios nesse bioma de importância global.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a distribuição espacial dos focos de incêndio e precipitação no bioma Pantanal no período de 2019 a 2024.

2.2 Objetivos específicos

- Compilar os dados de focos de incêndio do Pantanal entre 2019 e 2024, a partir do repositório BD Queimadas do INPE;
- Desenvolver um banco de dados geográficos com limites municipais, limite do bioma, hidrografia e pluviosidade;
- Gerar mapas de concentração de focos de incêndio para realizar uma análise espaço-temporal;
- Elaborar superfícies interpoladas de dias sem chuva e analisar a relação com os focos de incêndio por meio de mapas condicionais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Pantanal

O bioma Pantanal, foco central desta proposta, é uma das maiores áreas úmidas contínuas do planeta, com cerca de 195.000 km² de extensão e abrange regiões dos estados brasileiros de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, além de partes do território da Bolívia e do Paraguai (Brasil, 2025; Paschoal, 2019). A maior porção do Pantanal está localizada no Brasil, somando aproximadamente 150.355 km² (IBGE, 2004).

Localizado em uma região de transição, o Pantanal sofre influência dos biomas Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e do Chaco, este último situado no norte do Paraguai e no leste da Bolívia (Brasil, 2025). Essas características fazem do Pantanal um mosaico de paisagens naturais, com uma extraordinária concentração e abundância de espécies animais (Manoel *et al.*, 2014, p. 47). Reconhecido pela UNESCO como Patrimônio Natural da Humanidade e Reserva da Biosfera, o bioma destaca-se por sua importância ecológica e cultural, segundo o Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul (Governo de Mato Grosso do Sul, 2018).

Para Alho (2008, p. 958), o aspecto mais marcante do Pantanal é a combinação de vegetação méstica e xérica que crescem lado a lado, resultado das inundações sazonais. A vegetação méstica refere-se a plantas adaptadas a ambientes com muita água disponível (Henriques, 2010, p. 186), enquanto a vegetação xérica (Brasil, 2009, p. 394) inclui espécies adaptadas a ambientes secos, com pouca disponibilidade de água. Essa coexistência de habitats inundados, permanentes e temporários, juntamente com florestas de galeria e fragmentos de bosques, enriquece a diversidade da vegetação e aumenta a produtividade do sistema, sustentando, assim, a riqueza da fauna local (Alho, 2008, p. 958).

Estudos indicam que o bioma, em 2018, tinha 87,5% de seu território coberto por vegetação nativa (Belandi, 2020), abrigando cerca 2.000 espécies de angiospermas, das quais 240 são leguminosas e 212 gramíneas (Júnior *et al.*, 2014, p. 35), além de existirem 263 espécies de peixes, 41 espécies de anfíbios, 113 espécies de répteis, 463 espécies de aves e 132 espécies de mamíferos, sendo 2 endêmicas (Brasil, 2025).

A pecuária de corte, presente no Pantanal há mais de 200 anos, é a principal atividade econômica da região, representando cerca de 65% da receita do Mato

Grosso e do Mato Grosso do Sul e contabilizando um rebanho estimado de 16 milhões de cabeças (Pantanal, 2025). Além da criação bovina, destacam-se a pesca, sendo a segunda maior atividade econômica da região (Catella, 2003, p. 9) e a criação de equinos da raça Pantaneira, ovinos, e a produção de leite e mel. O bioma contribui com 7,3% do PIB do estado do Mato Grosso do Sul, gerando mais de R\$ 7 bilhões, sendo a agropecuária responsável por R\$ 1,2 bilhão, o que representa 17% dessa riqueza (Melo, 2021).

3.2 Incêndios

O uso do fogo é uma forma rápida e econômica de limpeza da terra, devido à sua eficácia no controle de espécies invasoras e produção de cinzas que, temporariamente, atuam como nutrientes no solo (SENAR, 2018). No Brasil, as queimadas para fins agrícolas, como preparo de solo e manejo, são permitidas pela legislação, conforme o Código Florestal (Decreto nº 2.661/1998, art. 2) e a Lei 12.651/2012, art. 38 (Brasil, 1998; Brasil, 2012).

Um incêndio florestal caracteriza-se pelo fogo descontrolado que atinge a vegetação, podendo ser causado por ações humanas (intencionais ou negligentes) ou por fenômenos naturais, como os raios. Por sua vez, a queimada, ou seja, a queima controlada, é uma prática planejada e limitada a áreas específicas, usada na agricultura, manejo florestal e conservação ambiental, com o objetivo de evitar o acúmulo de material combustível e prevenir incêndios de difícil controle (Lemos *et al.*, 2010).

Ramos, Barros e Fonseca (2022, p. 2) destacam que, nos últimos anos, os incêndios florestais têm gerado grande preocupação para a sociedade e para os órgãos públicos, devido aos danos ambientais associados ao uso do fogo de maneira irregular, especialmente durante períodos de seca. A ocorrência de queimadas descontroladas, nesse caso, resulta na devastação e no comprometimento da flora e fauna, além de causar danos materiais e à saúde das pessoas que vivem próximas às regiões atingidas.

Os incêndios do ano de 2020 foram considerados, até então, os piores da história do Pantanal, resultando em mais de 26% de seu território (cerca de 3,9 milhões de hectares) destruído pelo fogo, atingindo, principalmente, a região norte do bioma (Poconé, Barão de Melgaço e Cáceres) e a Serra do Amolar, região sul (Sá, 2021). Estima-se que, entre janeiro e junho do mesmo ano, os incêndios no bioma

atingiram pelo menos 65 milhões de animais vertebrados nativos e 4 bilhões de invertebrados, gerando impactos incalculáveis sobre a biodiversidade, serviços ecológicos e saúde humana (Berlinck *et al.*, 2022).

Apesar do cenário catastrófico de 2020, entre janeiro e maio de 2024, o Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Lasa-UFRJ) registrou uma situação ainda pior, com mais de 517 mil hectares consumidos pelo fogo em todo o Pantanal: um aumento de 39% em relação ao mesmo período de 2020 (Câmara, 2024). Ainda, Berlinck *et al.* (2022) apontam que as projeções indicam, até 2030, uma perda de 74% da vegetação nativa do bioma, o que aumentará a probabilidade de secas e de novos eventos devastadores, em decorrência dos incêndios florestais.

3.3 Sensoriamento remoto e análises espaço-temporais

O sensoriamento remoto pode ser definido, de acordo com Novo (2010, p. 28), como:

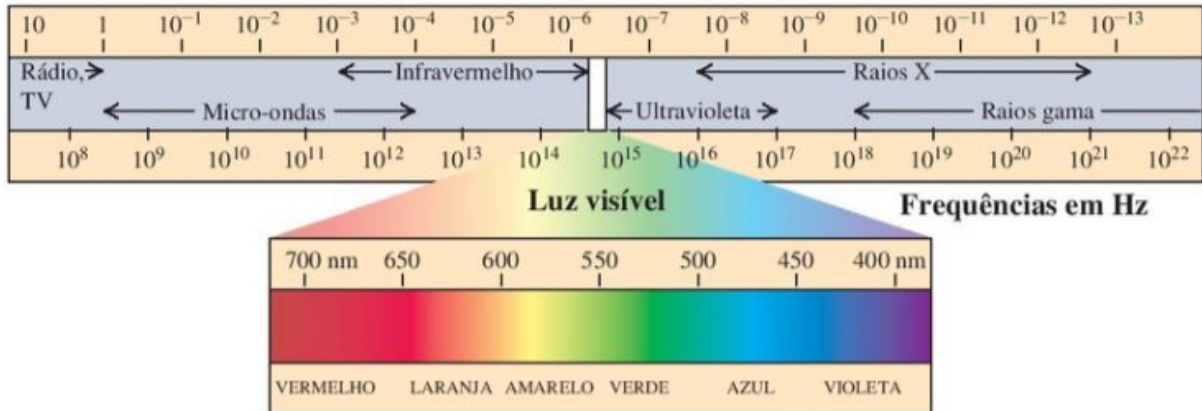
A utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos ou processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (Novo, 2010, p. 28).

O Sol, principal fonte de energia do Sensoriamento Remoto, produz radiação devido às interações próton-próton que ocorrem em seu núcleo, que se propaga na forma de ondas ou partículas em todas as direções (Novo, 2010, p. 44). Essa propagação de energia que ocorre por meio do eletromagnetismo é denominada Radiação Eletromagnética (REM). Sua interação com a superfície terrestre resulta em respostas que variam de acordo com a composição dos alvos e a transparência atmosférica no momento da aquisição dos dados (Novo, 2010, p. 45)

A REM propaga-se na forma de ondas à velocidade da luz, tanto no vácuo quanto em meios materiais, sendo caracterizada principalmente por dois parâmetros: frequência e comprimento de onda, que definem a segmentação do espectro eletromagnético em bandas distintas (Liu, 2007).

Na Figura 1, pode-se observar a organização das faixas espectrais da radiação eletromagnética, as quais estão arranjadas de acordo com seu comprimento de onda e frequência.

Figura 1 – Espectro eletromagnético



Fonte: Young; Freedman (2015)

As bandas do espectro eletromagnético são o intervalo entre dois comprimentos de onda (Quartaroli; Vicente; Araujo, 2014, p. 64), as quais são divididas em visíveis, onde o olho humano é capaz de distinguir as cores do violeta ao vermelho, e invisíveis, compreendendo as bandas de raios cósmicos, raios gama, infravermelho, ultravioleta, ondas de rádio e micro-ondas (Florenzano, 2002, p.11).

Apesar da principal fonte de radiação eletromagnética para sensoriamento remoto ser o Sol, qualquer corpo com temperatura acima do zero absoluto (0 K, ou -273°C) emite naturalmente radiação eletromagnética. Isso implica que os objetos terrestres também sejam fontes de radiação, embora com níveis de energia e propriedades significativamente diferentes das do Sol (Lillesand; Kiefer; Chipman, 2015, p. 6). Assim, os sensores são capazes de capturar a energia eletromagnética proveniente de um objeto, transformando-a em um sinal elétrico e registrando-a, de forma que possa ser convertida em informações que representem as feições dos objetos presentes na superfície terrestre (Moraes, 2002, p. 18).

As imagens de bandas espectrais obtidas por sensores a bordo de satélites são geradas a partir do registro da reflectância da radiação eletromagnética. Esse parâmetro é definido como a proporção entre a radiância, que corresponde à fração de radiação refletida em direção ao sensor, e a irradiância, representando o total de radiação incidente sobre a superfície. Além disso, as imagens resultantes fornecem

valores aproximados da reflectância em uma faixa específica do espectro eletromagnético, geralmente representados em escala monocromática (Liu, 2007).

As técnicas de sensoriamento remoto utilizam as bandas espectrais para destacar características ou fenômenos observáveis na superfície terrestre (Florenzano, 2002). Assim, de acordo com energia absorvida, refletida e transmitida pelos objetos, é possível acompanhar e analisar suas variações ao longo do tempo.

A detecção de focos de incêndio por satélites baseia-se na análise da radiação térmica emitida pela superfície terrestre. Sensores, como o MODIS do satélite AQUA, captam essa radiação em áreas denominadas “pixels” (com resolução espacial de 1 km² no caso do MODIS) e calculam a temperatura aparente do fogo a partir da energia medida (INPE, 2025).

Quando a temperatura registrada em um pixel excede os valores esperados para a cobertura terrestre local, este é classificado como um foco de incêndio. Essa análise considera a energia total emitida pelo pixel, que pode ser gerada por diferentes combinações de tamanho e intensidade das áreas em chamas. A conversão da energia em temperatura utiliza a Lei de Planck, enquanto fatores como a emissividade da superfície e a interferência da atmosfera (devido a gases e aerossóis) são considerados para garantir maior precisão na detecção (INPE, 2025).

De acordo com o INPE (2025), nem todas as queimadas são detectadas, devido a diversas condições que podem impedir ou prejudicar a observação pelos satélites. Entre essas condições estão as frentes de fogo com menos de 30 metros de extensão e a ocorrência de fogo apenas no chão de uma floresta densa, sem atingir a copa das árvores. Além disso, a presença de nuvens cobrindo a região de observação simboliza um grande obstáculo, embora as nuvens de fumaça não interfiram no monitoramento.

Igualmente, queimadas de curta duração que ocorrem fora do horário das imagens disponíveis também podem passar despercebidas. Outra dificuldade surge quando o fogo acontece em uma encosta de montanha, enquanto o satélite observa apenas o lado oposto. Por fim, a imprecisão na localização dos focos de queima é uma limitação significativa: mesmo nos melhores casos, essa imprecisão é de aproximadamente 375 metros, mas pode atingir até 6 quilômetros (INPE, 2025).

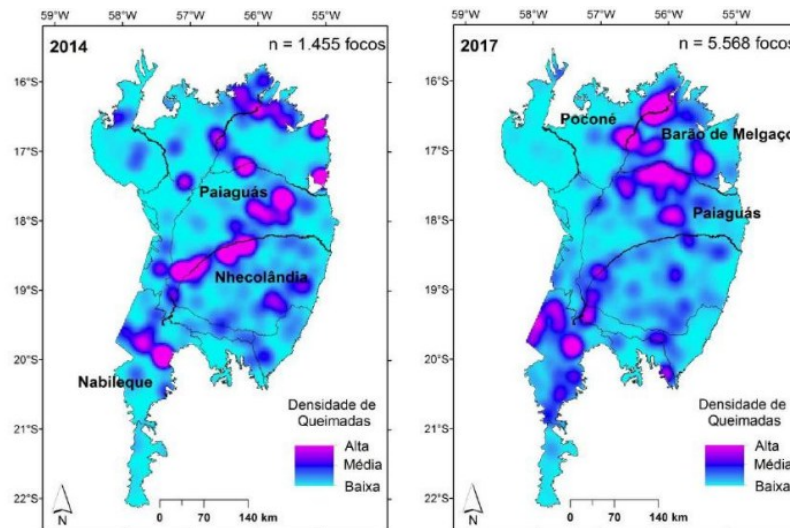
3.4 Trabalhos relacionados

Nesta seção, são apresentados alguns trabalhos relacionados às metodologias utilizadas, destacando as abordagens até o momento, bem como as lacunas que o presente estudo busca preencher.

3.4.1 Densidade dos focos de incêndio

Campello et al. (2018) utilizaram o método de Kernel para estimar e identificar a concentração de desmatamento e queimadas nas sub-regiões do Pantanal no período de 2014 a 2017. Os resultados indicaram que, em 2014, foram identificados 1.455 focos de queimadas na área de estudo, concentrados nas sub-regiões de Paiguás/MS, Nhecolândia/MS e Nabileque/MS. Já em 2017, houve um aumento de 4.413 focos, totalizando 5.568 focos de queimadas, sendo que as principais concentrações ocorreram nas sub-regiões de Poconé/MT, Barão de Melgaço/MT e Paiguás/MS, conforme a Figura 2:

Figura 2 - Mapa de densidade de focos de queimadas nas sub-regiões do Pantanal



Fonte: Campello et al. (2018)

3.4.2 Mapas condicionais

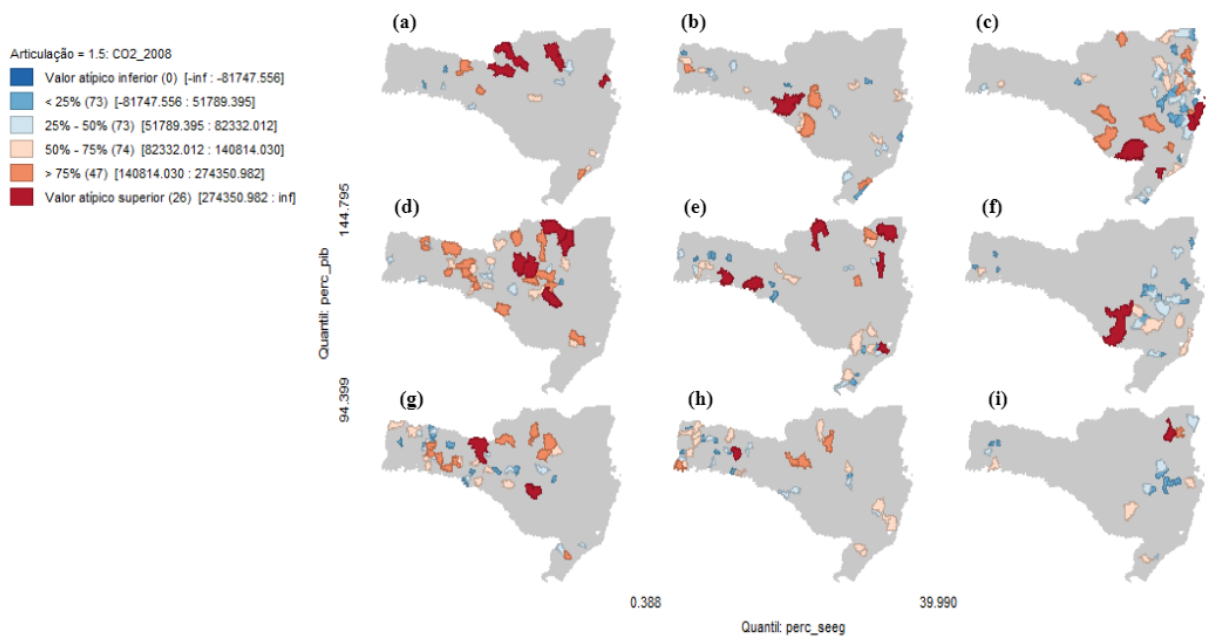
Os mapas condicionais são ferramentas eficazes para analisar a ocorrência de eventos em locais específicos. É um tipo de gráfico composto por múltiplos mapas, em que se torna possível avaliar, simultaneamente, o comportamento de três

variáveis: uma no eixo horizontal, uma no eixo vertical e a terceira na legenda de cores de cada mapa (Anselin, 2023).

Um exemplo é o trabalho de Taniwaki, Campos e Batista (2023), que buscou analisar a relação entre o desenvolvimento econômico, medido pelo Produto Interno Bruto (PIB), e as emissões de CO₂ nos municípios do estado de Santa Catarina nos anos de 2008 e 2018, objetivando verificar se havia um padrão espacial na relação entre essas variáveis, o que permitiria identificar regiões onde havia maior crescimento econômico e impacto ambiental.

A análise dos mapas condicionais da Figura 3 revela padrões distintos entre os municípios.

Figura 3 - Mapa condicional com as variáveis de aumento percentual do PIB e de emissões em 2008



Fonte: Taniwaki; Campos; Batista (2023)

No mapa, os municípios com os maiores aumentos percentuais no PIB se concentram na primeira linha, enquanto aqueles com as variações mais acentuadas nas emissões de CO₂ ocupam a última coluna. Destaca-se o grupo localizado na interseção entre a primeira linha e a terceira coluna, formado por municípios que registraram elevação significativa tanto no PIB quanto nas emissões. No entanto, como apontam Taniwaki, Campos e Batista (2023), há grande disparidade entre os

valores absolutos de CO₂ emitidos por esses municípios em 2008, o que evidencia trajetórias iniciais bastante distintas.

Contudo, o mapa na terceira linha e primeira coluna identifica municípios que já possuíam elevadas emissões de CO₂ em 2008, mas o crescimento econômico e aumento das emissões foram pouco expressivos ao longo do período analisado, indicando que, apesar de já serem grandes emissores, esses municípios não acompanharam o mesmo ritmo de crescimento de emissões observado em outras localidades (Taniwaki; Campos; Batista, 2023).

Os resultados mostraram que o crescimento econômico nos municípios de Santa Catarina não está necessariamente atrelado a um aumento proporcional das emissões de CO₂. Em algumas regiões, especialmente no nordeste e leste do estado, essa relação se mostra mais evidente, enquanto em outras áreas esse padrão não se repete. Esse cenário reforça a necessidade de políticas ambientais que atuem de forma independente do ritmo de crescimento econômico.

Dessa forma, o presente estudo expande as metodologias anteriormente adotadas na integração e análise de dados espaciais, permitindo a identificação de padrões ambientais complexos e subsidiando estratégias mais eficazes para a gestão ambiental.

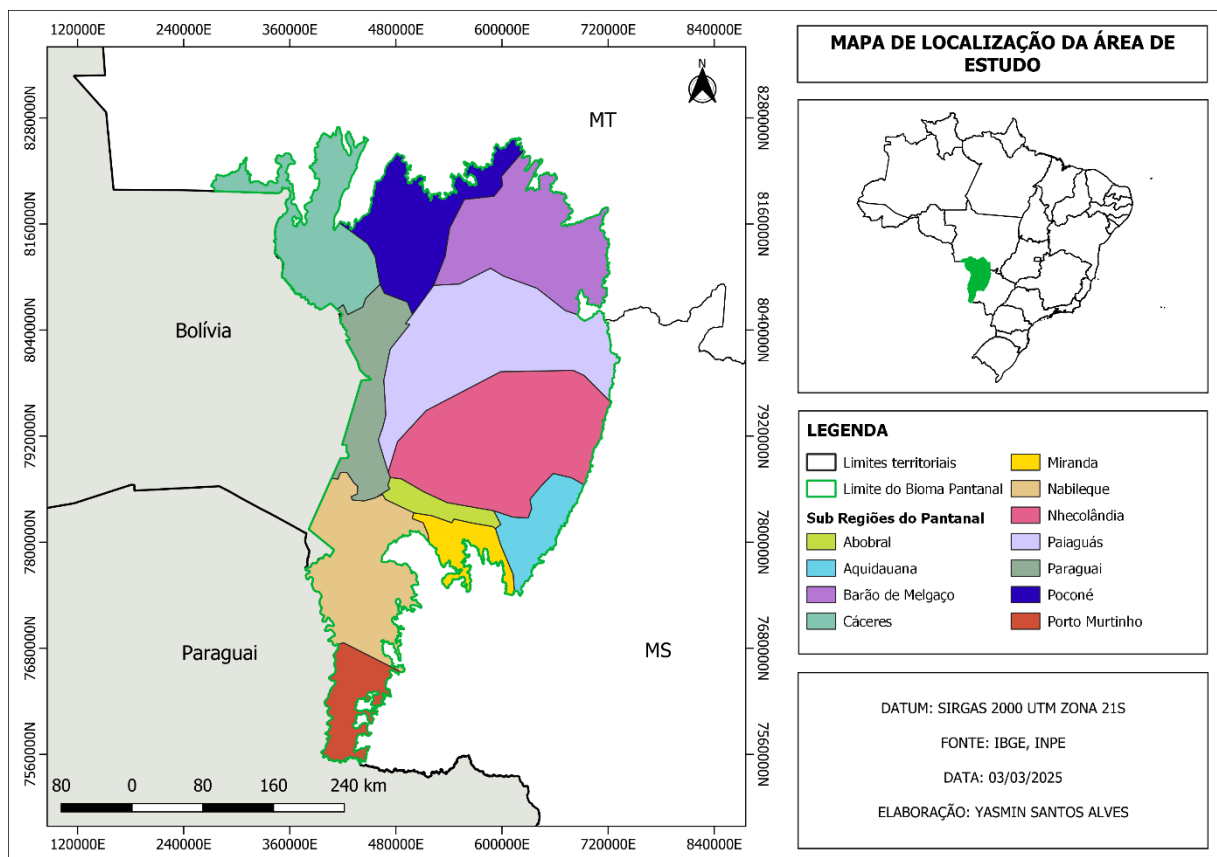
4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo definida para o presente trabalho incluiu as 11 sub-regiões fitogeográficas do Pantanal, conforme proposto por Silva e Abdon (1998): Paiaguás/MS, Nhecolândia/MS, Barão de Melgaço/MT, Poconé/MT, Nabileque/MS, Cáceres/MT, Paraguai/MT/MS, Aquidauana/MS, Miranda/MS, Porto Murtinho/MS e Abobral/MS. Essas sub-regiões abrangem uma área de aproximadamente 150.355 km², representando cerca de 1,8% do território brasileiro (IBGE, 2004).

A Figura 4 apresenta a localização da área de estudo, destacando a delimitação do bioma Pantanal nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. As sub-regiões fitogeográficas são identificadas por diferentes cores, o que facilita a compreensão da distribuição espacial, da extensão territorial e dos limites de cada sub-região dentro do bioma.

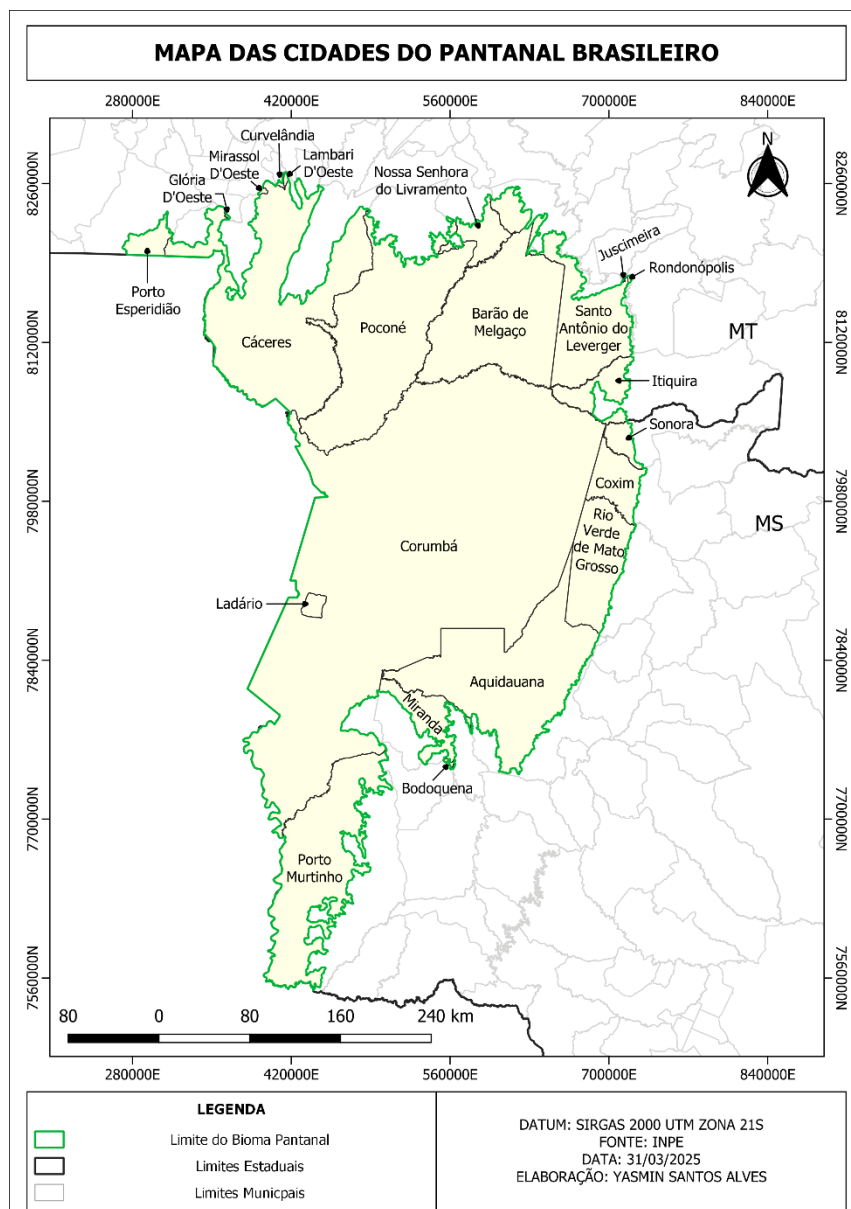
Figura 4 – Localização da área de estudo



Fonte: Autoria própria (2025)

Localizado na planície da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (Zanatta; Maciel, 2021), o Pantanal brasileiro abrange sete municípios no Estado do Mato Grosso, que representam cerca de 35,36% da área do bioma, e nove municípios no Estado do Mato Grosso do Sul, que ocupam o restante da área (Silva; Abdon, 1998, p. 1706). A Figura 5 apresenta os municípios que atualmente integram o bioma Pantanal. Ao todo, foram identificados 22 municípios, número superior ao citado por Silva e Abdon (1998), uma vez que a base de dados utilizada considera municípios que interceptam o bioma em pequenas porções, geralmente localizados nas bordas da delimitação do Pantanal.

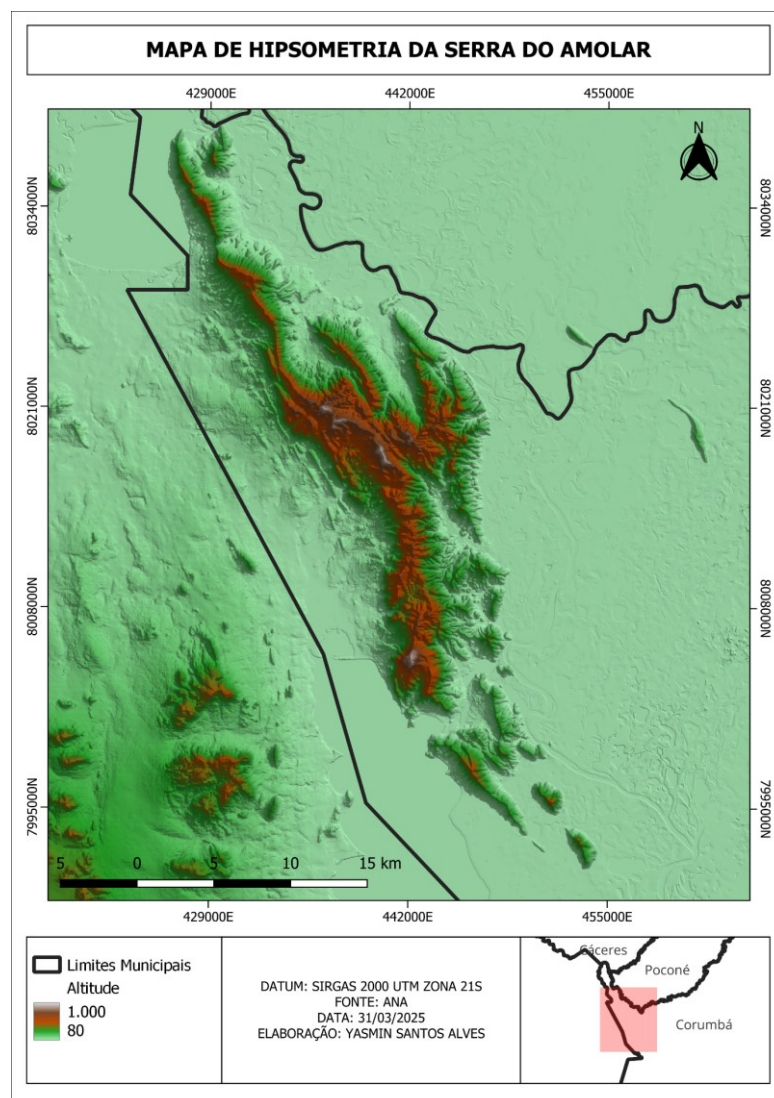
Figura 5 – Mapa das cidades que compõem o bioma



Fonte: Autoria própria (2025)

A Serra do Amolar, localizada em Corumbá (MS) (Figura 6), é uma das regiões mais relevantes para a conservação da biodiversidade do Pantanal, destacando-se pelas suas particularidades naturais, geográficas e ecológicas. A combinação de fatores como relevo, clima e ecossistemas específicos cria ambientes únicos, capazes de abrigar espécies exclusivas da região, não encontradas em outras áreas do bioma. Além de sua importância ecológica, a Serra do Amolar funciona como uma barreira natural ao fluxo das águas, diferenciando-se completamente da planície pantaneira. Sua diversidade de terrenos e paisagens com elementos da Mata Atlântica, do Pantanal e da Amazônia reforça ainda mais sua riqueza biológica e sua importância estratégica para a manutenção dos ciclos naturais do bioma (Instituto Homem Pantaneiro, 2024).

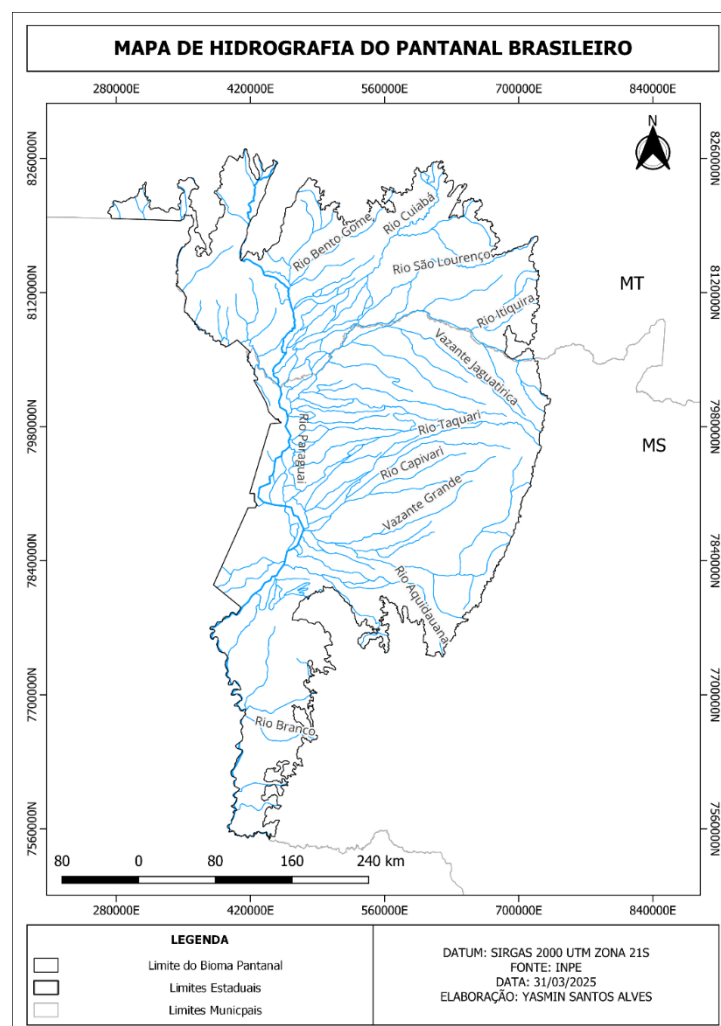
Figura 6 – Mapa de hipsometria da Serra do Amolar



Fonte: Autoria própria (2025)

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o Pantanal enquadra-se no tipo climático Aw, definido como clima tropical com estação seca ou clima de savana (Mendes; Silva; Farinaccio, 2024, p. 214). O regime pluviométrico apresenta-se em dois períodos bem definidos: chuvoso, de outubro a março, e seco, de abril a setembro (Garcia, 1984). Este bioma é considerado um mosaico natural devido à sua localização em uma região de quatro províncias fitogeográficas: Cerrado, Amazônica, Chaco e Atlântica. Na planície pantaneira a heterogeneidade espacial da vegetação que a recobre existe principalmente devido à influência das províncias fitogeográficas vizinhas, a uma grande rede hidrográfica, ao seu regime de cheias e secas, e ao fato de estar localizada na região tropical (Alho, 2005). A Figura 7 representa o mapa da hidrografia do Pantanal, com destaque para o rio Paraguai, um dos mais importantes do bioma.

Figura 7 – Hidrografia do Pantanal Brasileiro



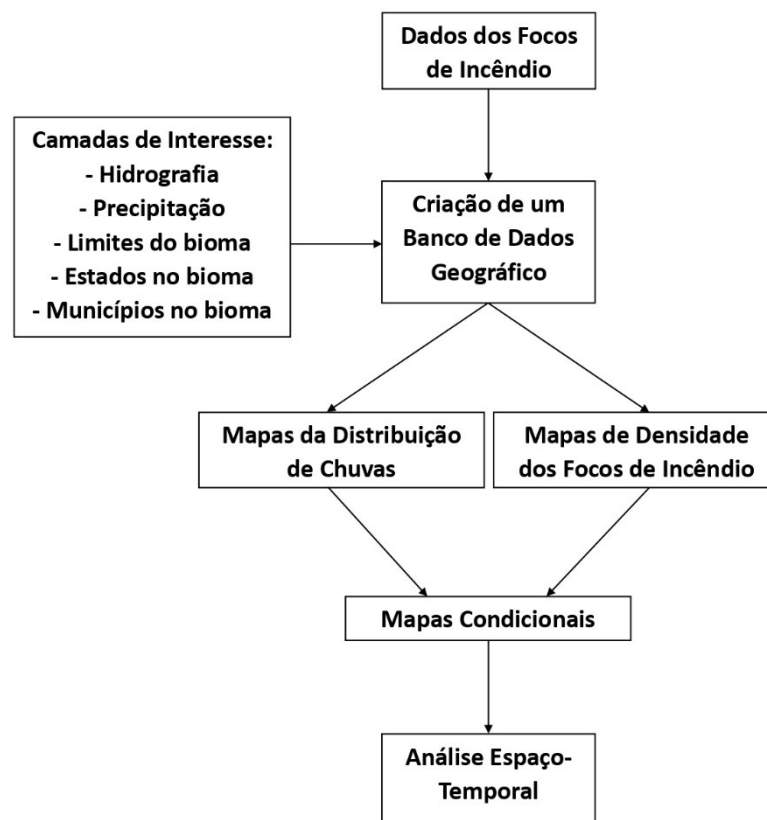
Fonte: Autoria própria (2025)

4.2 Metodologia

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, uma vez que utiliza informações para desenvolver produtos que poderão subsidiar discussões relacionadas ao planejamento e à gestão ambiental e territorial no Pantanal. Adotou-se uma abordagem quali-quantitativa, integrando a caracterização da área de estudo à análise dos focos de incêndio, padrões de precipitação e suas relações por meio de métodos de representação especial e cartográfica, permitindo a avaliação da dinâmica e evolução desses fenômenos na região.

A Figura 8, que será apresentada abaixo, representa o fluxograma metodológico adotado neste estudo, organizado em etapas que descrevem a integração de dados espaciais para a análise dos focos de incêndio no Pantanal.

Figura 8 - Fluxograma da metodologia adotada



Fonte: Autoria própria, 2024

Inicialmente, foram utilizadas duas fontes principais de informações: os dados quantitativos dos focos de incêndio e as camadas de interesse, que incluem informações geoespaciais da área de estudo. Esses dados foram reunidos em um

banco de dados geográfico, uma base que permitiu o processamento e cruzamento de informações, e possibilitou a geração de dois tipos principais de produtos cartográficos: mapas da distribuição de chuvas e mapas de densidade dos focos de incêndio.

Esses mapas, por sua vez, foram combinados para a criação de mapas condicionais, que proporcionaram uma análise mais aprofundada das relações entre a precipitação e os focos de incêndio, de forma a subsidiar a análise espaço-temporal e permitir que a evolução e a dinâmica desses fenômenos sejam avaliadas ao longo do tempo.

4.2.1 Aquisição dos dados de focos de incêndio

Para realizar a análise espaço-temporal dos focos de incêndio no Pantanal, foram considerados os dados, em formato *shapefile*, fornecidos gratuitamente pelo Banco de Dados de Queimadas (BD Queimadas), uma aplicação *WebGis* que permite acesso ao acervo de focos de fogo produzido pelo Programa Queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2025).

Essa plataforma oferece dados com representação pontual, recursos de filtragem, camadas de mapas e ferramentas de navegação. Esses dados são gerados a partir de imagens dos satélites polares NOAA-18 e 19, METOP-B e C, NASA TERRA e AQUA, NPP-Suomi e NOAA-20, e dos satélites geoestacionários GOES-16 e MSG-13, os quais abrangem todo o território nacional (INPE, 2025).

Os satélites em órbita polar produzem, individualmente, dois conjuntos de imagens por dia, enquanto os satélites geoestacionários produzem seis imagens por hora, totalizando mais de 200 imagens diárias. Esses dados são processados pelo INPE para a detecção de focos de queima de vegetação (INPE, 2025).

O satélite AQUA_M-T (sensor MODIS), selecionado como fonte principal de dados para este estudo, é utilizado pelo INPE desde 2002 como satélite de referência para o monitoramento de focos de calor. Ele realiza passagem no início da tarde, o que o diferencia do satélite anterior, o NOAA-12 (sensor AVHRR), que operava entre 1998 e 2002 com passagem no final da tarde, ocasionando uma descontinuidade na quantidade de focos (INPE, 2025). Entretanto, o uso deste sensor apresentava limitações, uma vez que foi originalmente desenvolvido para observações meteorológicas, podendo gerar incertezas nas estimativas de áreas queimadas (Piromal *et al.*, 2008, p. 78).

O sensor MODIS trouxe maiores avanços significativos, destacando-se por suas 36 bandas espectrais e resolução radiométrica de 12 bits, um número superior ao de outros imageadores de baixa a média resolução espacial já lançados, permitindo a captura de informações mais detalhadas sobre a superfície terrestre (Anderson *et al.*, 2003). Assim, essas melhorias técnicas beneficiam o monitoramento de áreas queimadas, para o qual o MODIS se mostra particularmente adequado devido à geometria de aquisição de dados aprimorada e bandas espectrais específicas, projetadas para identificar fogos ativos com alta radiância de saturação (Piromal *et al.*, 2008, p. 78).

Esses dados foram processados e modelados no software QGIS 3.40, utilizando-se do Método de Kernel (detalhado na seção 4.2.3), possibilitando uma visão quantitativa dos focos de incêndio no Pantanal.

4.2.2 Banco de dados geográficos

O desenvolvimento do banco de dados geográficos para análise do bioma Pantanal e suas dinâmicas exigiu a coleta de dados geoespaciais representativos, que foram organizados em camadas temáticas. Esses dados foram obtidos através plataforma TerraBrasilis (INPE, 2025).

Quando integrados, esses dados proporcionaram uma visão abrangente do bioma, considerando não apenas os aspectos ambientais, mas também os fatores sociopolíticos que influenciam e moldam a realidade do Pantanal.

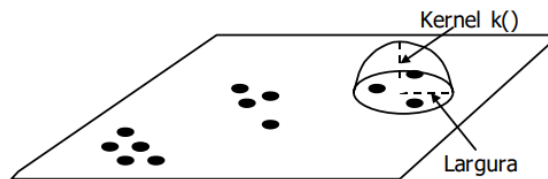
4.2.3 Mapas de Densidade de Focos de Incêndio

O estimador de densidade (ou Kernel) é um método simplificado para se obter a estimativa de intensidade de um fenômeno por valor de área (Carnaúba, 2021, p. 13). De acordo com Carvalho e Câmara (2002, p. 5), essa abordagem envolve o ajuste de uma função bidimensional sobre os eventos, criando uma superfície que representa a densidade de pontos por área. Para cada localização, essa função considera uma região de influência ao redor, contabilizando a quantidade de pontos presentes e os ponderando pela distância.

Na Figura 9, é apresentado o funcionamento do método de Kernel. Cada ponto preto representa um evento, como focos de incêndio. A função Kernel $k()$ é ilustrada por uma superfície curva que cobre os pontos próximos, calculando a

densidade em relação à área abrangida. A largura corresponde à distância utilizada para determinar o raio de influência do Kernel ao redor de cada ponto. O método atribui pesos maiores aos pontos mais próximos do centro da análise e menores àqueles mais distantes. Como resultado, gera-se uma superfície contínua que evidencia as áreas de maior ou menor densidade no espaço estudado.

Figura 9 – Método de Kernel



Fonte: Carvalho; Câmara (2002, p. 5)

O estimador de Kernel depende de dois parâmetros básicos: um raio de influência e a função de estimação. O raio de influência é de grande importância, pois define a vizinhança ao redor de um ponto, ou seja, um raio muito pequeno poderá gerar uma superfície muito descontínua e um raio muito grande pode mascarar as irregularidades da superfície, descaracterizando pequenos detalhes do fenômeno (Carvalho; Câmara, 2002, p. 5-6).

A função de interpolação (k) é dada de acordo com a equação 4.1.

$$k(h) = \frac{3}{\pi} (1 - h)^2 \quad (4.1)$$

Nessa equação, o termo h representa a distância normalizada entre o ponto de estimação (h) e os eventos observados (h_i), variando entre 0 (para pontos próximos ao centro) e 1 (para pontos localizados no limite do raio de influência). A função kernel é modelada de forma que os pontos mais próximos ao centro de análise recebam maior peso, enquanto os mais distantes contribuam menos para a estimativa. O fator $\frac{3}{\pi}$ atua como uma constante de normalização, ajustando a função ao espaço bidimensional, enquanto o termo $(1 - h)^2$ determina o peso decrescente em função da distância.

A partir dos valores de k obtidos através da equação 1, é possível estimar a densidade de Kernel, por meio da equação 4.2, onde τ é o raio da função.

$$\lambda\tau(h) = \sum_{h_i \leq \tau} \frac{3}{\pi\tau^2} \left(1 - \frac{h_i^2}{\tau^2}\right)^2 \quad (4.2)$$

Para estimar a densidade de Kernel ($\lambda\tau(h)$), a equação 4.2 utiliza-se da função Kernel (equação 4.1) no ponto de interesse (h). Essa densidade é calculada a partir da soma a de todos os eventos (hi) localizados dentro do raio de influência (τ). O termo $\frac{3}{\pi\tau^2}$ ajusta a densidade ao tamanho do raio de influência no espaço bidimensional, enquanto $\left(1 - \frac{hi^2}{\tau^2}\right)^2$ atribui pesos a cada evento com base na sua distância relativa em relação ao ponto h . Assim, eventos mais próximos contribuem mais significativamente, enquanto aqueles próximos ao limite do raio de influência têm peso reduzido. O raio definido para as análises foi de 100 Km.

A definição da resolução espacial utilizada para a elaboração dos mapas de densidade kernel baseou-se na metodologia proposta por Hengl (2006), a qual fornece critérios empíricos e estatísticos para a escolha de uma resolução adequada em função de propriedades dos dados de entrada. Neste estudo, optou-se por adotar a escala cartográfica efetiva como parâmetro principal, inserindo esse valor na planilha de cálculo disponibilizada pelo autor. A partir do valor da escala determinado através do QGIS (1:7.740.000), o sistema gerou um intervalo de resoluções recomendadas, sendo a resolução mais fina de aproximadamente 774 metros, a mais grosseira de 19.350 metros, e a resolução “ótima” de cerca de 3.870 metros.

Com base nesses resultados, adotou-se uma resolução de 1.000 metros, valor que se encontra dentro do intervalo recomendado e representa uma escolha balanceada entre detalhamento e viabilidade computacional. A resolução utilizada foi, portanto, checada e validada conforme os parâmetros metodológicos propostos por Hengl (2006), garantindo coerência com a escala de trabalho e a qualidade da representação espacial.

4.2.4 Mapas da Distribuição da Precipitação

Os dados de precipitação utilizados neste estudo foram obtidos por meio da plataforma de processamento de dados georreferenciados em nuvem chamada Google Earth Engine (GEE), sendo utilizado o conjunto de dados CHIRPS Daily, que apresenta resolução espacial de $0,05^\circ$ (cerca de 5km). Os dados foram extraídos por meio da execução de um código em JavaScript no ambiente do GEE, que somou a precipitação diária para cada ano no período de 2019 a 2024, considerando o recorte espacial correspondente à área de estudo.

Para a variável relacionada à precipitação, adotou-se o total o acumulado anual da precipitação (em milímetros). A escolha pelo uso do valor acumulado teve como objetivo a análise da variação total da precipitação entre os anos estudados, permitindo uma melhor avaliação espacial e temporal do volume de chuvas.

Os dados de precipitação do GEE foram escolhidos porque os registros históricos das estações pluviométricas da ANA apresentavam muitas lacunas, além de valores extremamente elevados que não condizem com a realidade da região. Quando comparados a outras fontes (Silva Neto *et al.*, 2024), esses dados geravam totais anuais superiores a 20.000 mm em algumas estações, enquanto o valor esperado para a região não ultrapassa, em média, 2.000 mm, mesmo nas áreas mais úmidas ao norte da bacia.

4.2.5 Mapas Condicionais

Os mapas condicionais permitem visualizar interações entre até quatro variáveis ao mesmo tempo, dividindo os dados em subconjuntos e usando uma ou duas variáveis condicionantes para agrupar as informações. Dessa forma, são criados micromapas, facilitando a interpretação das variações espaciais e permitindo identificar se existe ou não relação especial entre os dados (Anselin, 2023).

5 RESULTADOS

Após a organização do banco de dados geográficos, foram elaborados os mapas de distribuição dos focos de incêndio no Bioma Pantanal entre os anos de 2019 e 2024, conforme apresentado nas Figuras 10 e 11. Também foi desenvolvida a Tabela 1, onde se apresenta a contagem total de focos por município ao longo do período analisado. Cabe destacar que apenas a área dos municípios pertencente ao bioma foi considerada na análise.

Tabela 1 – Distribuição dos focos de incêndio por município por ano, acumulado do período e em relação à área do município

Município	FOCOS DE INCÊNDIO POR ANO						Total (2019- 2024)	Área (km ²)	Total / Área
	2019	2020	2021	2022	2023	2024			
AQUIDAUANA	1095	272	983	113	493	1408	4364	13245,11	0,33
BARÃO DE MELGAÇO	692	3737	323	74	803	2022	7651	11432,75	0,67
BODOQUENA	0	1	1	0	0	3	5	32,16	0,16
CÁCERES	506	2511	1125	88	488	2325	7043	17422,29	0,40
CORUMBÁ	6192	8105	3720	789	1714	5309	25829	64074,63	0,40
COXIM	16	0	6	2	0	23	47	2020,97	0,02
CURVELÂNDIA	0	4	0	1	1	0	6	32,99	0,18
GLÓRIA D'OESTE	0	2	0	0	0	1	3	15,37	0,20
ITQUIRA	7	73	3	1	55	17	156	1726,76	0,09
JUSCIMEIRA	1	6	0	0	0	0	7	7,00	1,00
LADÁRIO	7	45	2	2	0	29	85	344,00	0,25
LAMBARI D'OESTE	0	0	0	0	0	0	0	35,75	0,00
MIRANDA	338	77	234	22	241	597	1509	1989,49	0,76
MIRASSOL D'OESTE	0	0	1	3	1	0	5	33,75	0,15
NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO	70	212	13	24	32	102	453	1424,96	0,32
POCONÉ	376	5572	666	213	2274	1304	10405	13924,14	0,75
PORTO ESPERIDIÃO	38	24	11	12	3	29	117	834,36	0,14
PORTO MURTINHO	452	366	900	221	145	739	2823	10366,10	0,27
RIO VERDE DE MATO GROSSO	57	42	46	13	31	30	219	4625,43	0,04
RONDONÓPOLIS	0	0	0	0	0	0	0	18,06	0,00
SANTO ANTÔNIO DO LEVERGER	154	1056	207	40	276	529	2262	6643,25	0,34
SONORA	6	1	9	13	2	18	49	711,73	0,07
TOTAL	10007	22106	8250	1631	6559	14484	63038	150961,05	0,42

Fonte: Autoria própria (2025)

A distribuição dos focos de incêndio registrada entre 2019 e 2024 revela, na última coluna da tabela, a densidade de ocorrências por quilômetro quadrado de cada município, calculada a partir do total acumulado de focos em relação a sua área territorial pertencente ao bioma. Dessa forma, observa-se que Miranda, Poconé e Barão de Melgaço apresentam os maiores valores de totais de foco em relação à área, acima do valor do bioma, que ficou em 0,42 focos / km², indicando uma forte concentração de queimadas em seus territórios. Já Corumbá, mesmo apresentando o maior total de focos, atinge índice de total por área inferior, devido à sua maior extensão territorial, enquanto Rondonópolis, Lambari D' Oeste e Coxim registram as menores concentrações, indicando uma menor intensidade de ocorrência.

Os dados indicam uma variação na quantidade de focos de incêndio ao longo do período analisado. Em 2019, foram registrados 10.007 focos. Já em 2020, esse número saltou para 22.106, sendo considerado como o ano de maior intensidade. A partir de 2021, observa-se uma tendência de queda, com 8.250 registros e redução ainda mais acentuada em 2022, que contabilizou apenas 1.631 focos, o menor número do período. Em 2023, os focos voltaram a crescer, somando 6.559 ocorrências. Por fim, em 2024, foram registrados 14.485 focos, número que reacende o alerta sobre possível retomada do estado crítico observado em 2020.

Ao todo, foram registrados 63.038 focos de incêndio no período analisado, com média de aproximadamente 2.865 focos por município. No entanto, essa média esconde uma concentração dos incêndios em poucos territórios. O município de Corumbá (MS) se destaca de forma expressiva, com 25.829 focos registrados, o que representa cerca de 41% do total contabilizado. Dessa forma, o município pode ser considerado como o principal epicentro dos incêndios no Pantanal, superando em quase dez vezes a média geral e evidenciando a vulnerabilidade da região. Ressalta-se que Corumbá é o maior município do bioma, correspondendo a aproximadamente 42,5% da área total, o que explica a elevada concentração de focos. Considerando-se a densidade média de focos no bioma de 0,42 focos/km² no período analisado, observa-se que Corumbá apresenta uma densidade ligeiramente abaixo do valor calculado para a área do bioma inteiro.

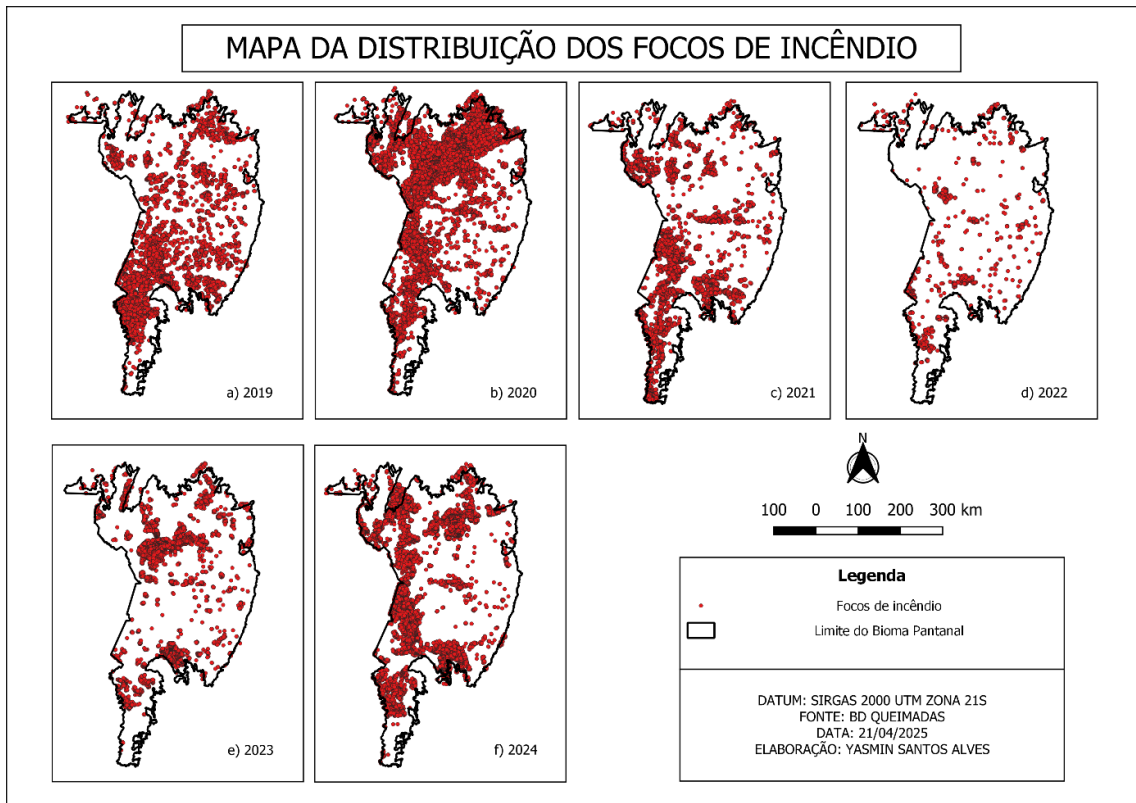
Além de Corumbá, os municípios de Poconé (MT), Barão de Melgaço (MT), Cáceres (MT) e Aquidauana (MS) também se encontram entre os mais afetados, com totais que variam entre 4.364 e 10.405 focos no período. Por outro lado, municípios como Rondonópolis (MT), Lambari D' Oeste (MT), Glória D'Oeste (MT), Bodoquena

(MS) e Mirassol D'Oeste (MT) apresentaram números muito baixos, com menos de 10 focos durante o período analisado. Essa baixa incidência pode estar relacionada à menor extensão de áreas pantaneiras nesses territórios ou, ainda, a uma maior eficácia nas ações preventivas e de fiscalização ambiental.

De acordo com Pelissari *et al.* (2023), as áreas com maior probabilidade de ocorrência de incêndios ambientais no Pantanal brasileiro concentram-se, majoritariamente, nos municípios de Cáceres e Poconé, no estado de Mato Grosso, e em Corumbá, no Mato Grosso do Sul. Corumbá, além de ser o município com maior extensão territorial do estado, destaca-se por sua relevância econômica, ocupando o segundo maior Produto Interno Bruto (PIB) entre os municípios pantaneiros e apresentando uma das maiores populações da região.

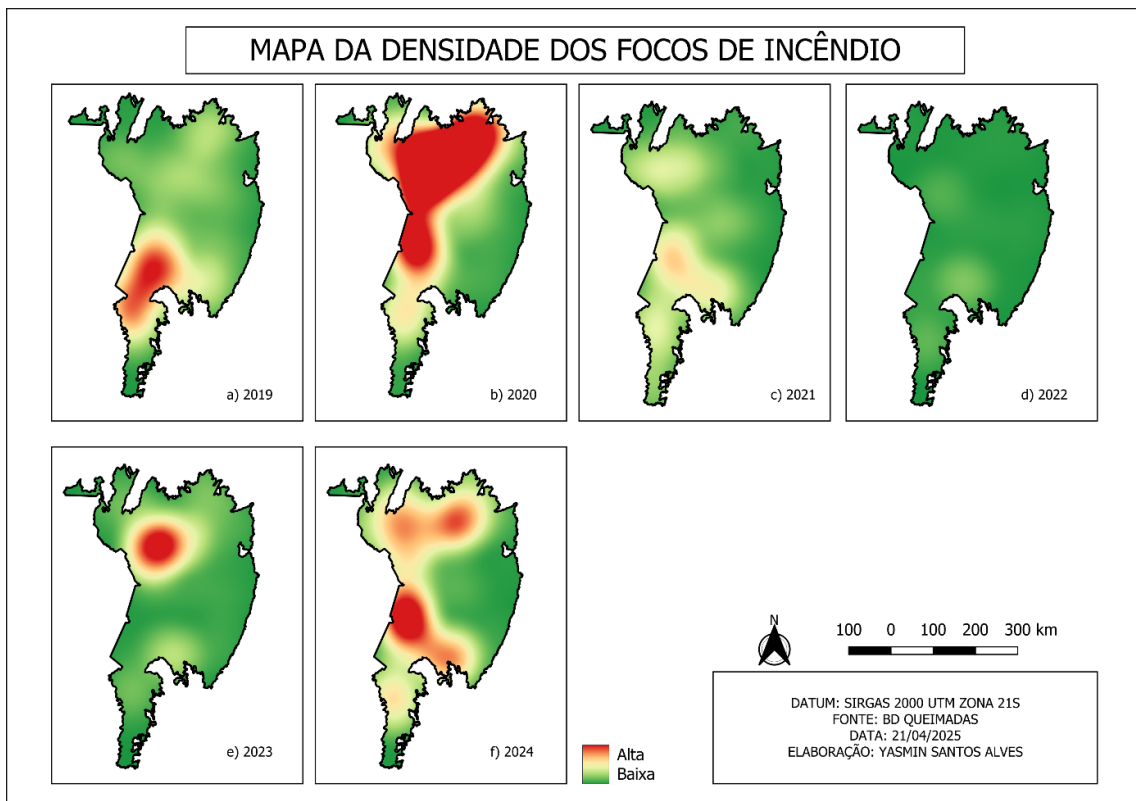
No Mato Grosso, Cáceres se sobressai como principal município pantaneiro, sendo o líder estadual em número de cabeças de gado, com um rebanho de mais de 1,1 milhão, além de abrigar o segundo maior número de propriedades voltadas à pecuária e ocupar o terceiro lugar em PIB no contexto do Pantanal mato-grossense. Poconé, por sua vez, é considerado a porta de entrada do Pantanal no estado, com forte presença de estabelecimentos turísticos ao longo da Rodovia Transpantaneira e atividades econômicas expressivas como a pecuária, mineração e agricultura. A combinação entre vegetação nativa, atividade agropecuária intensiva e pressões econômicas torna esses municípios particularmente vulneráveis à ocorrência e à propagação de incêndios (Pelissari *et al.*, 2023).

Figura 10 – Mapa de distribuição dos focos de incêndio no bioma



Fonte: A autoria própria (2025)

Figura 11 – Mapa de densidade dos focos de incêndio



Fonte: A autoria própria (2025)

Em 2019, (Figura 10a), os registros apresentam uma distribuição relativamente dispersa, com maior concentração de focos nas porções centrais e sul do bioma, enquanto o ano de 2020 (Figura 10b) se destaca pelo número elevado de focos, com alta densidade nas porções norte e central do Pantanal, refletindo a severa crise ambiental enfrentada nesse período, marcada por uma estiagem prolongada entre os anos de 2019 e 2020 (Mendes, 2023).

Segundo Dias (2020), dados de um monitoramento realizado pelo INPE indicam que os anos de 2005 e 2019 se destacaram pela grande extensão de áreas queimadas no Pantanal, totalizando aproximadamente 2,7 milhões e 2 milhões de hectares, respectivamente. Contudo, foi em 2020 que se registrou o maior impacto já observado. Comparando-se aos dados de 2019, o aumento foi expressivo: o total de área queimada saltou de cerca de 1,8 milhão para 4,1 milhões de hectares, representando um acréscimo de 127,58%.

Em 2021, observa-se uma redução significativa na quantidade de focos de incêndio em comparação a 2020, com concentrações pontuais localizadas nas porções central e sudoeste do Pantanal, conforme representado pela Figura 10c. No ano de 2022, os focos apresentaram uma distribuição mais dispersa e o menor total do período analisado para o bioma, como mostrado na Figura 10d. No ano de 2023 (Figura 10e), embora os registros tenham sido expressivos em termos quantitativos, a densidade dos focos foi mais restrita, com destaque para a região de transição do norte para o centro-sul do bioma. Em 2024, de acordo com a Figura 10f, os dados indicam um novo aumento na atividade de fogo (segundo maior valor acumulado para o período), com o reaparecimento de áreas de alta densidade, especialmente nas regiões oeste, norte e sul do Pantanal.

Observa-se, a partir da Figura 11, que os maiores níveis de concentração ocorreram nos anos de 2020 e 2024, ambos com manchas de média e alta densidade distribuídas nas porções norte, central e sul do bioma. Em contrapartida, os anos de 2021 e 2022 apresentaram menores densidades, refletindo a diminuição do número de focos e a dispersão espacial das ocorrências.

Em 2023, a concentração de focos reaparece de forma mais localizada, em áreas do centro-norte, enquanto em 2024 observa-se novamente uma ampliação das áreas de densidade moderada a alta, principalmente nas regiões oeste, norte e sul, indício de um novo ciclo de intensificação das queimadas. Um ponto de destaque é que, durante todo o período analisado, a porção leste do Pantanal não apresentou

áreas com alta densidade de focos de incêndio, mantendo-se consistentemente em níveis baixos. Essa característica pode ser explicada pelas condições geomorfológicas e hidrológicas locais, uma vez que essa região é mais úmida, por ser o destino natural do escoamento das águas oriundas do planalto da bacia do Alto Paraguai, especialmente após os períodos de cheia provocados pelas chuvas (SOS Pantanal, 2025).

Os grandes incêndios registrados nos últimos anos no Brasil podem estar diretamente associados aos períodos de forte seca provocados pelo fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS) (Rossi; Santos, 2020). Esse fenômeno é caracterizado pelo aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico equatorial, o que altera os padrões de circulação atmosférica e afeta a distribuição de umidade e temperatura em várias partes do planeta (Cunha *et al.*, 2011).

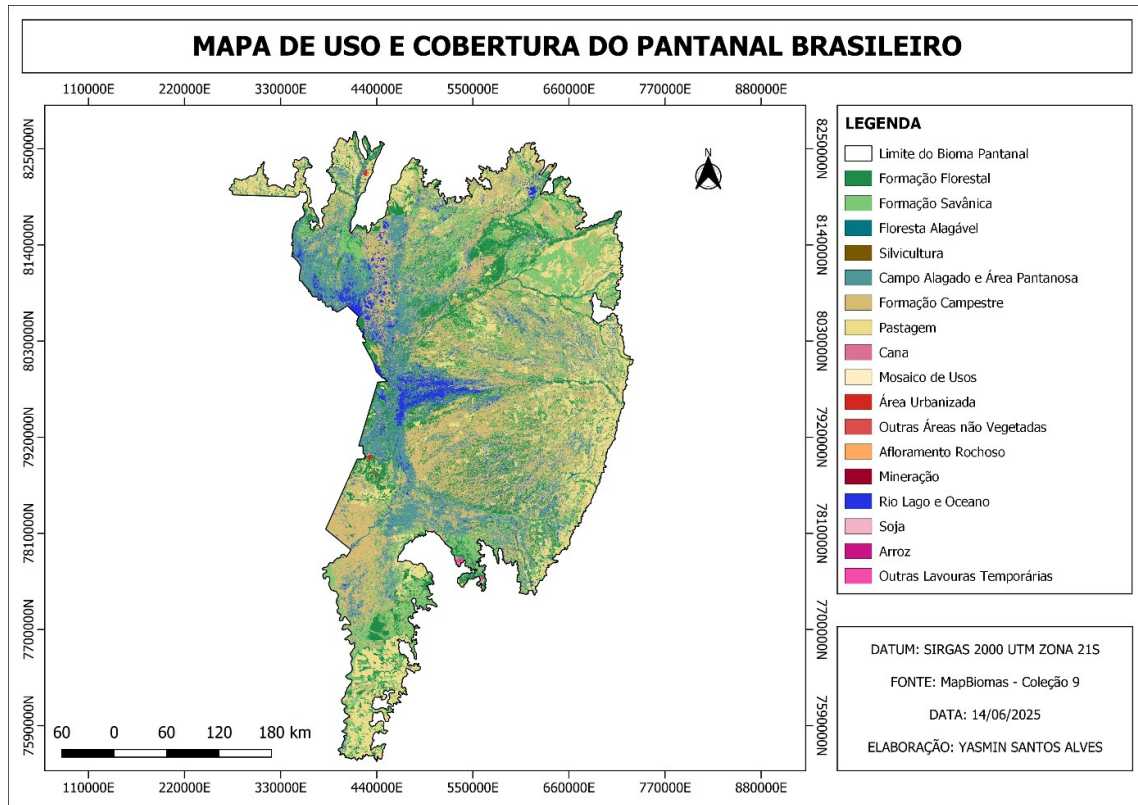
De acordo com o MapBiomias (2025), o aumento das queimadas no Brasil, especialmente entre 2023 e 2024, está diretamente associado aos efeitos acumulados de uma estiagem prolongada que atingiu extensas regiões do país. A redução da umidade torna a vegetação mais seca e inflamável, facilitando a propagação do fogo e intensificando os danos ambientais nos biomas atingidos. No caso do Pantanal, o pico da área queimada em 2024 ocorreu em agosto, ficando atrás apenas do registrado em 2020. A seca extrema de 2024, comparável à de 2020, contribuiu significativamente para a maior vulnerabilidade do bioma à ocorrência e à disseminação dos incêndios.

Em dezembro de 2024, o Pantanal registrou a queima de 7,6 mil hectares, dos quais 72% correspondiam a áreas de formação campestre (MapBiomias, 2025). Esse dado reforça a observação de Oliveira-Júnior *et al.* (2020), que identificaram a região sul do município de Corumbá/MS, onde predominam formações campestres, campos alagados e áreas pantanosas, como uma das áreas com maior recorrência de focos de incêndio ao longo dos anos estudados. A predominância dessas fitofisionomias, aliada às condições de seca extrema, contribui para a alta vulnerabilidade da região à propagação do fogo (Oliveira-Júnior *et al.*, 2020).

A Figura 12 representa o mapa de uso e cobertura do solo do bioma Pantanal, elaborado com base nos dados da Coleção 9 do MapBiomias. Observa-se a predominância de formações campestres, campos alagados e áreas pantanosas, seguidas por áreas de formações florestais, pastagens e áreas destinadas a

agricultura, refletindo os diferentes padrões de ocupação e uso do território ao longo do bioma e reforçando a observação de Oliveira-Júnior *et al.* (2020).

Figura 12 – Mapa de Uso e Cobertura do Pantanal Brasileiro

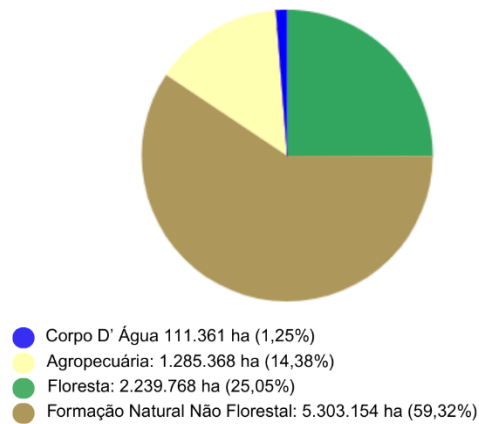


Fonte: Autoria própria (2025)

Dessa forma, os dados analisados indicam que o Pantanal permanece suscetível à ação do fogo, sobretudo em anos marcados por eventos climáticos atípicos. A recorrência de grandes incêndios, como os de 2020 e 2024, salienta a necessidade de estratégias de monitoramento, prevenção e mitigação que considerem as especificidades ecológicas e climáticas do bioma, com foco na preservação de sua biodiversidade e na resiliência dos seus ecossistemas.

A Figura 13 representa as classes de uso e cobertura do solo no bioma analisado, conforme dados da Coleção 9 do MapBiomas. Observa-se que a maior parte da área é ocupada por formações naturais não florestais (59,32%), seguida por áreas de floresta (25,05%) e agropecuária (14,38%).

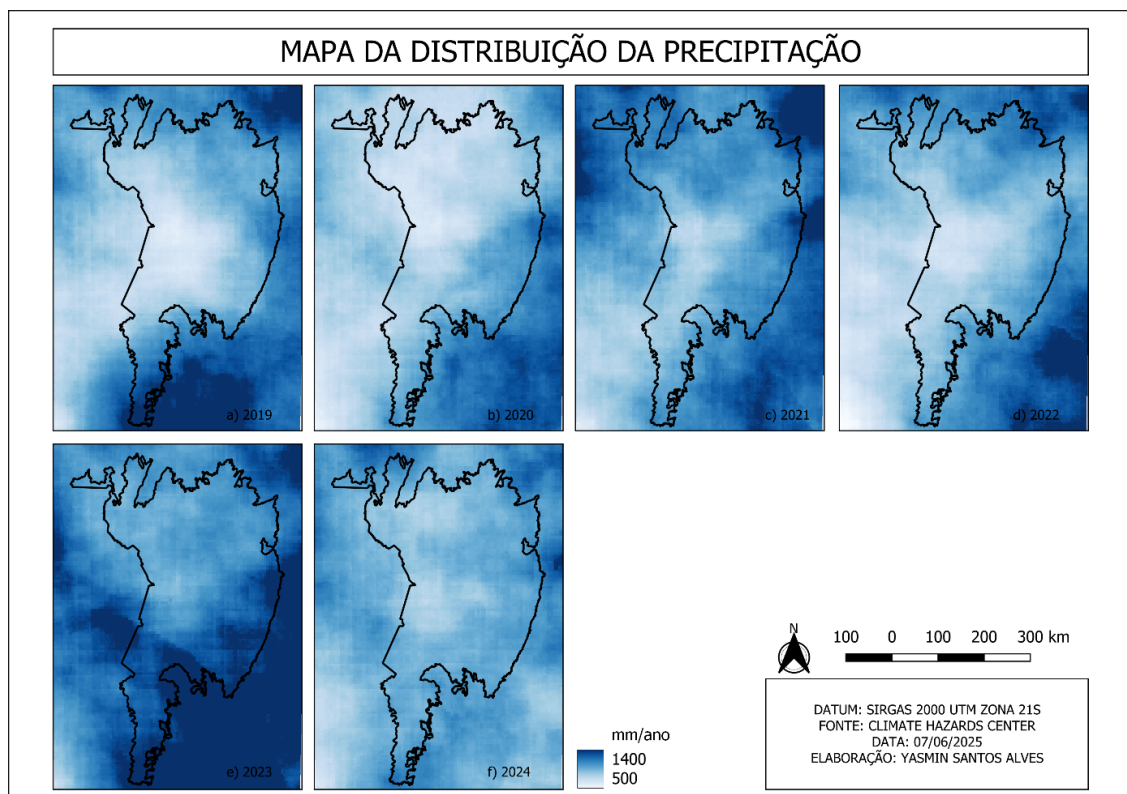
Figura 13 – Classes de Uso e Cobertura do Pantanal Brasileiro



Fonte: Adaptado de MapBiomias (2025)

A Figura 14 apresenta a distribuição da precipitação acumulada no bioma durante o período analisado. As tonalidades mais claras indicam regiões com menores volumes de chuva, a partir de 500 mm/ano, enquanto as áreas em tons mais escuros correspondem a maiores índices pluviométricos, que podem ultrapassar 1400 mm/ano.

Figura 14 – Mapa de distribuição da precipitação



Fonte: Autoria própria (2025)

Os anos de 2019 e 2020 foram marcados por um período de seca no bioma Pantanal (Marengo *et al.*, 2021). De acordo com as Figuras 14a e 14b, em 2019 e 2020, as regiões centro-norte e oeste do bioma apresentaram baixos volumes acumulados de precipitação, enquanto as regiões sul e sudeste receberam volumes relativamente maiores. Marengo *et al.* (2021) também destacam que o verão de 2019 já havia sido caracterizado por condições de seca, com acúmulo de estresse hídrico. A ausência de chuvas suficientes para reabastecer as áreas úmidas contribuiu para a maior vulnerabilidade do bioma à ocorrência de incêndios.

Segundo Marengo *et al.* (2021), a escassez de chuvas nos verões de 2019 e 2020 esteve relacionada à diminuição do fluxo de ar quente e úmido proveniente da região amazônica em direção ao Pantanal. Em vez disso, massas de ar seco e quente, originadas em latitudes subtropicais, passaram a predominar sobre a região. Essa alteração nos padrões atmosféricos comprometeu o período chuvoso, especialmente durante o auge da estação das monções, resultando em uma seca prolongada e severa que afetou profundamente o regime hidrológico do Pantanal.

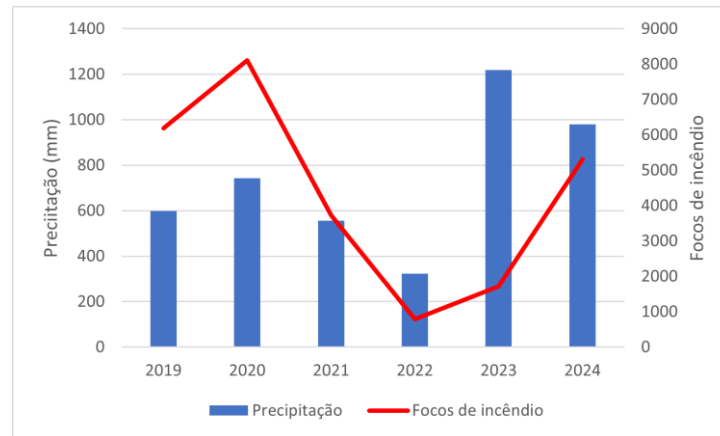
Em 2021, de acordo com a Figura 14c, observa-se uma maior concentração de chuvas nas porções norte e leste da área analisada, enquanto a região central apresenta os menores volumes acumulados, caracterizando-se como a área mais seca do bioma naquele ano. Em 2022 (Figura 14d), nota-se uma redução da precipitação na porção central e sul, tornando essa região relativamente mais seca em comparação a 2021, ainda que as demais áreas mantenham uma distribuição semelhante de chuvas.

Em 2023 (Figura 14e), nota-se uma maior concentração de chuvas, sobretudo na porção sudoeste e sul da área de estudo. As tonalidades mais escuras nessas regiões indicam precipitações mais elevadas, sugerindo que esse foi um ano mais chuvoso em relação à média dos anos anteriores, marcados por um contexto de seca desde 2019. Já em 2024 (Figura 14f), verifica-se uma redução nos volumes acumulados de precipitação, com predominância de tons mais claros em relação ao ano anterior, o que mostra a redução da precipitação mesmo nas regiões que anteriormente se destacavam por maiores volumes.

De acordo com Azevedo (2025), o Rio Paraguai manteve-se abaixo da cota de normalidade ao longo de todo o ano de 2024, mesmo durante a estação chuvosa. Em importantes pontos de medição, como Ladário e Porto Murtinho, ambas no Mato Grosso do Sul, os níveis do rio ficaram entre um e um metro e meio abaixo da cota de

referência, indicando que as chuvas ocorridas não foram suficientes para reverter o quadro de escassez. Ainda segundo o autor, desde fevereiro do mesmo ano, a Bacia do Rio Paraguai encontra-se sob condição de seca excepcional e para 2025, é provável que as vazões continuem abaixo da média histórica.

Gráfico 1 – Relação entre a precipitação anual e os focos de incêndio em Corumbá



Fonte: Autoria própria (2025)

De acordo com o Gráfico 1, observa-se uma tendência inversa entre as duas variáveis, ou seja, anos com menor volume de chuvas, como 2020, apresentaram maior número de focos de incêndio, enquanto anos com maior precipitação, como 2023, a redução destes focos. No entanto, o ano de 2024 foge deste padrão, mesmo com níveis de precipitação mais altos, foi registrado um aumento expressivo no número de focos de incêndio em relação ao ano anterior, comportamento que pode estar relacionado a fatores como o aumento de atividades antrópicas e mudanças na distribuição temporal das chuvas, em decorrência das mudanças climáticas.

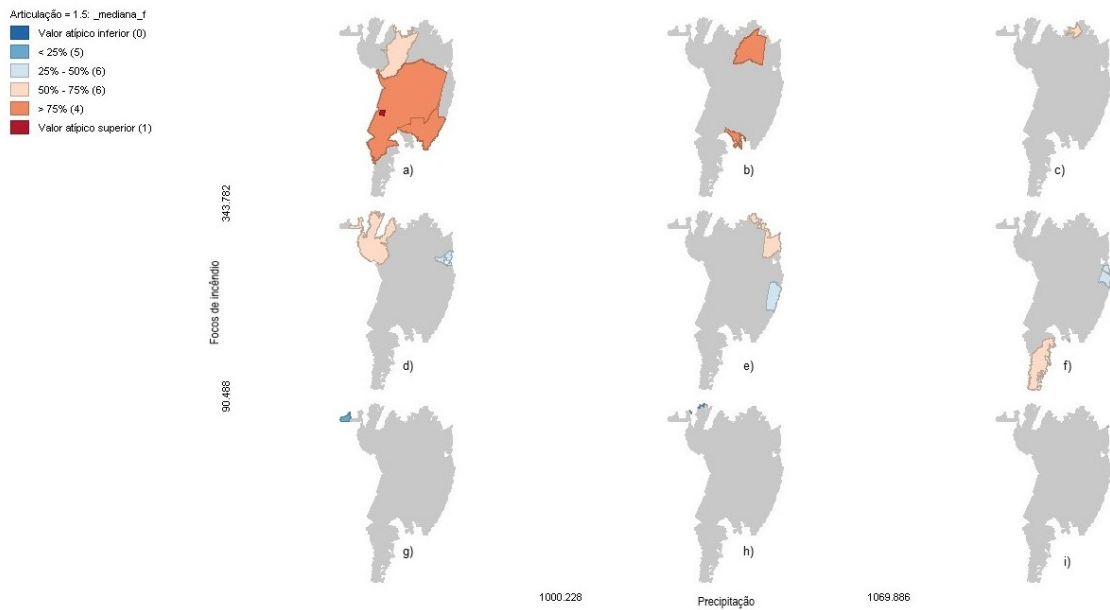
Ressalta-se, no entanto, que os dados de precipitação dos anos de 2019, 2021 e 2022 estavam incompletos na base consultada, o que pode limitar a interpretação precisa para esses períodos.

A partir da análise espacial dos dados de precipitação anual acumulada e da ocorrência de focos de calor, foram gerados os mapas condicionais apresentados nas Figuras 15 a 20. Esses mapas foram construídos com base na divisão dos dados em quantis, de modo a permitir uma análise conjunta das variáveis e facilitando a identificação da existência padrões.

Nos mapas condicionais, cada linha representa um intervalo de quantis da precipitação anual, sendo que a primeira linha corresponde aos maiores totais de focos e a última coluna ao quantil de maior pluviosidade. Para representar a tendência

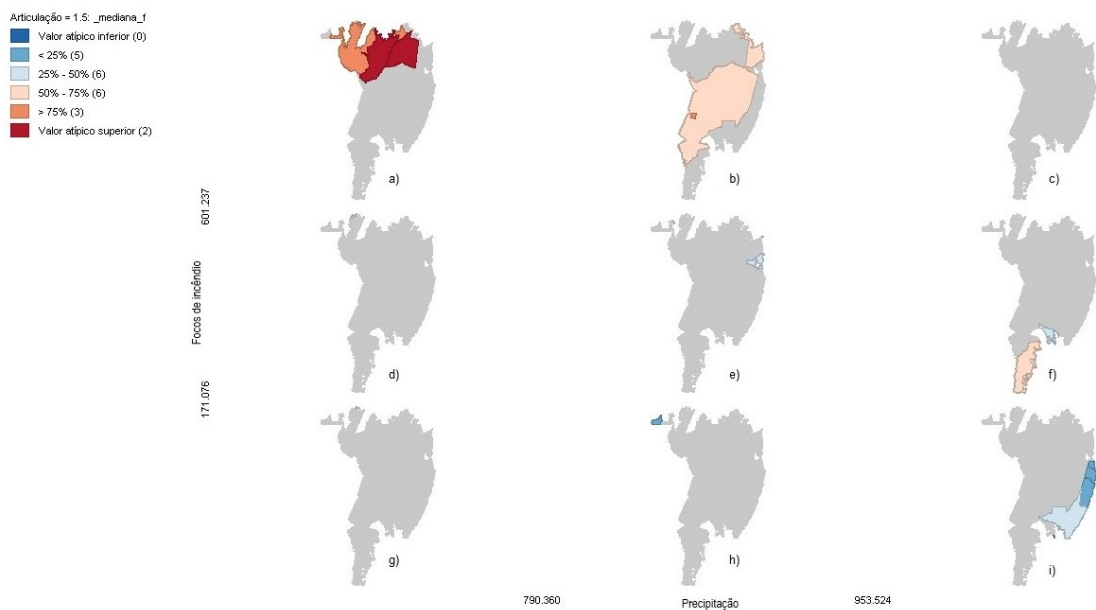
dos dados em cada classe, foi utilizada a mediana de focos (associada à cor dos municípios) uma vez que ela é menos influenciada por valores extremos do que a média (Reis; Reis, 2002, p.34).

Figura 15 – Mapa Condicional da Relação entre Precipitação Acumulada e Focos de Calor – 2019



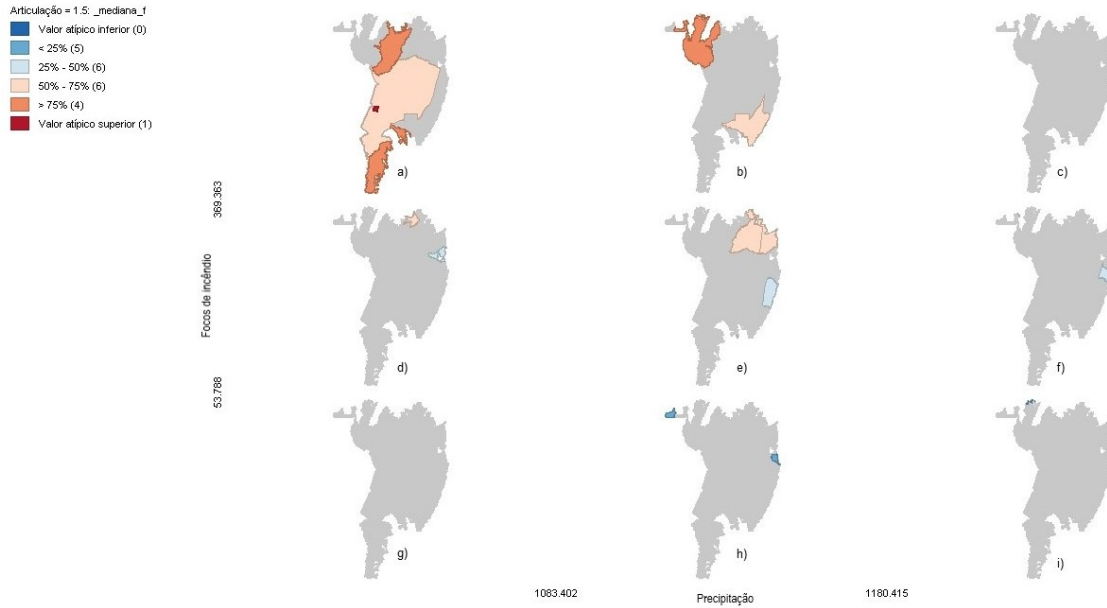
Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 16 – Mapa Condicional da Relação entre Precipitação Acumulada e Focos de Calor – 2020



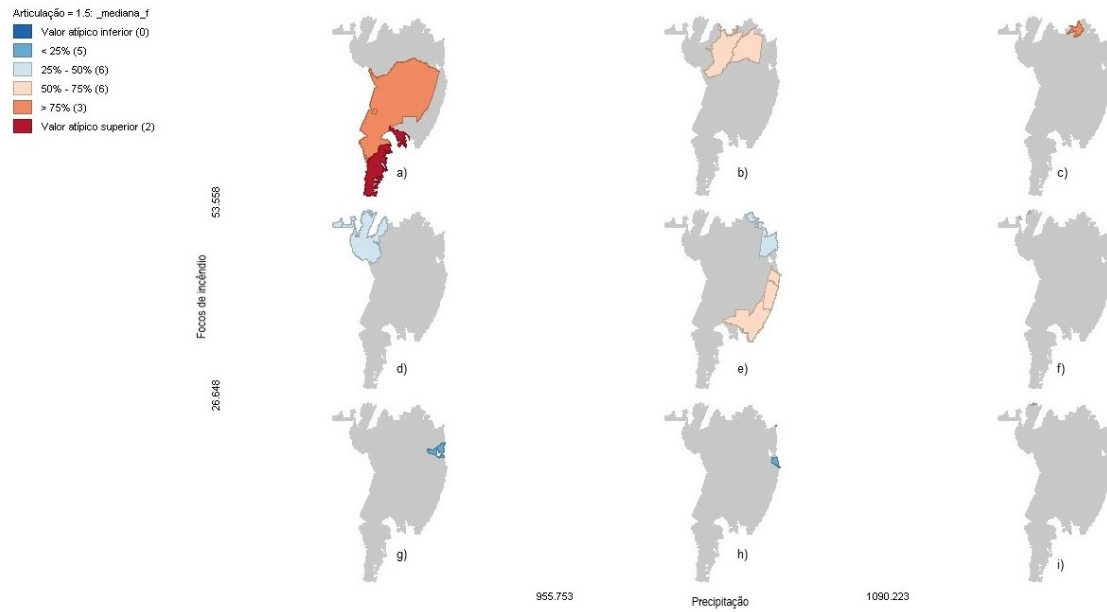
Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 17 – Mapa Condicional da Relação entre Precipitação Acumulada e Focos de Calor – 2021



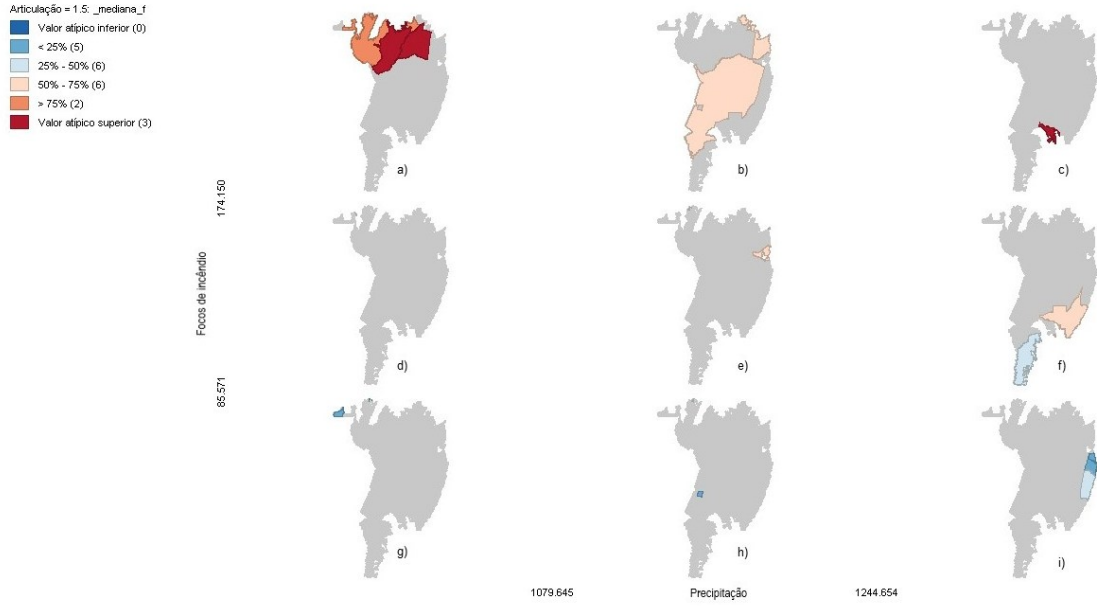
Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 18 – Mapa Condicional da Relação entre Precipitação Acumulada e Focos de Calor – 2022



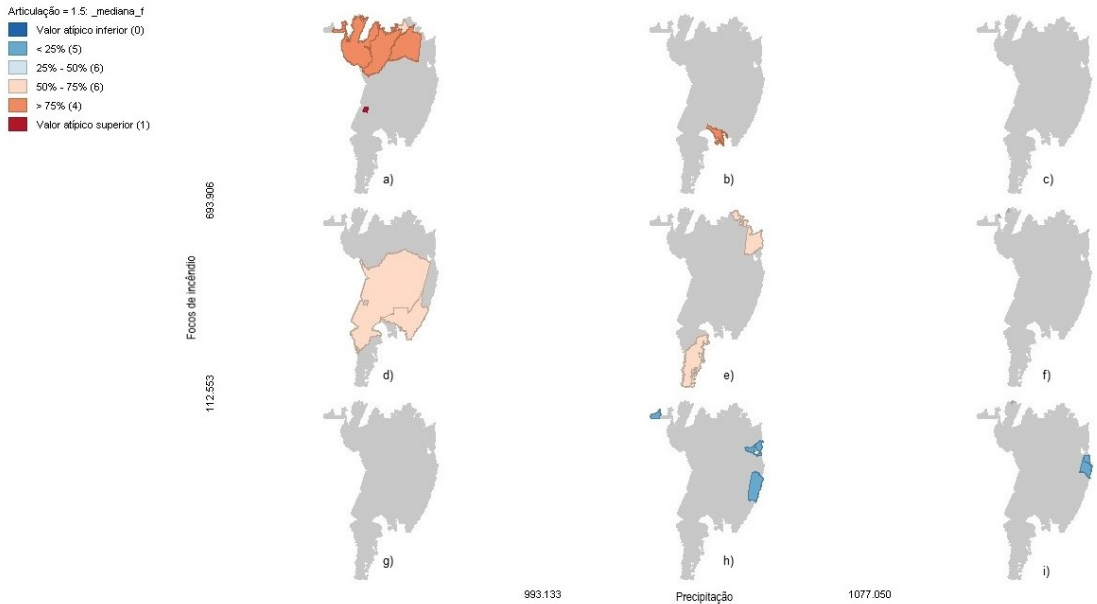
Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 19 – Mapa Condicional da Relação entre Precipitação Acumulada e Focos de Calor – 2023



Fonte: Autoria própria (2025)

Figura 20 – Mapa Condicional da Relação entre Precipitação Acumulada e Focos de Calor – 2024



Fonte: Autoria própria (2025)

As Figuras 15 a 20 apresentam a distribuição espacial dos focos de incêndio e dos índices de precipitação, com base em três quantis. Assim, de acordo com as

Figuras 15c e 18c, nos anos de 2019 e 2022, o município de Nossa Senhora do Livramento (MT) apresentou altas concentrações de focos de incêndio e elevados índices de precipitação. Já em 2023, conforme a Figura 19c, esse mesmo comportamento foi observado no município de Miranda (MS).

Observa-se que há uma relação frequente entre a baixa precipitação e a alta incidência de focos de incêndio nos municípios analisados. Em 2019 (Figura 15a), destacam-se os municípios de Poconé (MT), Corumbá (MS), Ladário (MS) e Aquidauana (MS) como áreas com altos valores atípicos de focos de incêndio, ao mesmo tempo em que apresentaram baixos volumes de precipitação. Nos anos de 2023 (Figura 19a) e 2024 (Figura 20a), essa correlação permanece visível, com destaque novamente para Ladário (MS) e Poconé (MT), além de Barão de Melgaço (MT) e Cáceres (MT), que também apresentam altos números de focos em condições de precipitação reduzida. Esses municípios se repetem entre os anos analisados, o que sugere uma vulnerabilidade persistente à ocorrência de incêndios em períodos de estiagem.

Já nos anos de 2021 e 2022 há recorrência de um padrão nos municípios de Corumbá, Ladário, Miranda e Porto Murtinho. Esses municípios apresentaram valores elevados de focos de incêndio, predominantemente nas classes superiores ao terceiro quartil ou como valores atípicos superiores. Adicionado a esse fato, há índices de baixa precipitação nessas regiões, principalmente em 2022, fato que reforça uma possível correlação entre a escassez hídrica e a intensificação dos incêndios. Em 2021, além desses municípios, destaca-se também Poconé, que apresentou um comportamento semelhante.

Ademais, a análise dos mapas revela que a vulnerabilidade aos incêndios não se restringe apenas à ocorrência de valores extremos. A inclusão dos quantis intermediários mostra que municípios situados no segundo e terceiro quantil de incidência de focos de calor já apresentam condições críticas que demandam atenção especial, sobretudo em períodos de estiagem prolongada. A sobreposição espacial entre regimes de baixa precipitação e faixas médias ou elevadas de concentração de focos sugere que esses territórios têm potencial para evoluir para estados mais severos, caso as tendências climáticas desfavoráveis persistam.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise espaço-temporal realizada entre os anos de 2019 e 2024 permitiu a identificação de padrões na distribuição dos focos de incêndio no bioma Pantanal, evidenciando a concentração recorrente de queimadas em determinados municípios, como Corumbá (MS), Poconé (MT), Barão de Melgaço (MT), Cáceres (MT) e Aquidauana (MS), que figuraram de forma contínua entre os mais afetados. Essa repetição ao longo dos anos analisados revela uma vulnerabilidade persistente e fortemente associada a fatores como extensão territorial, atividade pecuária intensiva, vegetação inflamável e ocorrência de secas severas.

O ano de 2020 foi considerado como o evento mais extremo do período, com um número recorde de 22.106 focos de incêndio, o que correspondeu à devastação de mais de 26% do bioma. A análise dos mapas condicionais reforçou ainda a correlação entre a baixa precipitação e a alta incidência de fogo, especialmente em 2020 e novamente em 2024, anos em que a estiagem prolongada intensificou a inflamabilidade da vegetação e potencializou a propagação das chamas.

O estudo mostrou ainda que tanto fatores antrópicos quanto naturais influenciam na intensificação dos incêndios. Embora o fogo seja um elemento tradicionalmente utilizado no manejo de pastagens na região, sua utilização em um cenário de intensas mudanças climáticas, resulta em incêndios de grandes proporções e de difícil controle. A recorrência de queimadas nas mesmas localidades ao longo dos anos acende um alerta para a necessidade de estratégias de gestão territorial que considerem as particularidades de cada região.

Diante do exposto, os resultados reforçam a necessidade de políticas públicas específicas voltadas à prevenção e ao controle de queimadas no bioma por meio da integração de ações de monitoramento contínuo, gestão territorial, fiscalização ambiental e educação socioambiental. Considerando a riqueza ecológica e a relevância socioeconômica do bioma, torna-se urgente reconhecer os territórios com recorrência de incêndios como prioritários na formulação de estratégias que promovam a resiliência ambiental e a conservação do Pantanal, um patrimônio natural de importância global, de forma duradoura.

REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, F. Ebulição ambiental e Pantanal: desafios, impactos e perspectivas para a sobrevivência. **Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra**, s.l., 05 dez. 2023. Disponível em: <https://mst.org.br/2023/12/05/ebulicao-ambiental-e-pantanal-desafios-impactos-e-perspectivas-para-a-sobrevivencia/>. Acesso em: 04 fev. 2025.

ALHO, C. J. R. Biodiversity of the Pantanal: response to seasonal flooding regime and to environmental degradation. **Brazilian Journal Of Biology**, [S.L.], v. 68, n. 4, p. 957-966, nov. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/cTbDFzkGmpNjD4RKnsxfTwn/>. Acesso em: 02 fev. 2025.

_____. The Pantanal. In: FRASER, L. H.; KEDDY, P. A. **The World's Largest Wetlands: ecology and conservation**. United Kingdom: Cambridge University Press, 2005.

AMARAL, T. G. **As queimadas de 2020 no Bioma Pantanal e seus respectivos reflexos socioambientais**. 2021. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2021. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/29416/1/queimadaspantanalreflexossocioambientais.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2024.

ANDERSON, L. O. *et al.* **Sensor modis: uma abordagem geral**. São José dos Campos: INPE, 2003.

ANDREOLI, C. V. *et al.* **Biodiversidade: A Importância Da Preservação Ambiental Para Manutenção Da Riqueza E Equilíbrio Dos Ecossistemas**. S.l.: s.n. 2014. Disponível em: https://www.agrinho.com.br/site/wp-content/uploads/2014/09/28_Biodiversidade.pdf. Acesso em: 08 dez. 2024.

ANSELIN, L. **An Introduction to Spatial Data Science with GeoDa**. S.l.: s.n, 2023. E-book. Disponível em: https://lanselin.github.io/introbook_vol1/. Acesso em: 02 fev. 2025.

AZEVEDO, A. L. **Pantanal entra em alerta para seca tão severa quanto a de 2020, ano com recorde de incêndios**. 2025. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/meio-ambiente/noticia/2025/03/21/pantanal-entra-em-alerta-para-seca-tao-severa-quanto-a-de-2020-ano-com-recorde-de-incendios.ghtml>. Acesso em: 08 jun. 2025.

BELANDI, C. IBGE retrata cobertura natural dos biomas do país de 2000 a 2018. **Agência IBGE Notícias**, s.l., 24 set. 2020. Disponível em: [https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/28944-ibge-retrata-cobertura-natural-dos-biomas-do-pais-de-2000-a-2018#:~:text=A%20pesquisa%20mostra%20tamb%C3%A9m%20que,%25\)%20de%202000%20a%202018](https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/28944-ibge-retrata-cobertura-natural-dos-biomas-do-pais-de-2000-a-2018#:~:text=A%20pesquisa%20mostra%20tamb%C3%A9m%20que,%25)%20de%202000%20a%202018). Acesso em: 03 fev. 2025.

BERLINCK, C. N. *et al.* The Pantanal is on fire and only a sustainable agenda can save the largest wetland in the world. **Brazilian Journal of Biology**, v. 82, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/vJXtjDhPMggc33J4rSnQCvC/?lang=en>. Acesso em: 03 fev. 2025.

BRASIL. **Decreto nº 2.661, de 08 de julho de 1998**. Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (código florestal), mediante o estabelecimento de normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, e dá outras providências. Diário Oficial da União: Brasília, DF. 09 jul. 1998. Seção 1, p.1. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2661.htm. Acesso em: 02 fev. 2025.

BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012. Diário Oficial da União: Brasília, DF. 28 mai. 2012. Seção 1, p.1. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em 02 fev. 2025.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Glossário ilustrado de morfologia**. Brasília: MAPA, 2009. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos/publicacoes-insumos/10829_glossario_ilustrado_morfologia-3.pdf. Acesso em: 02 fev. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Pantanal**. 2025. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/biomas/pantanal.html>. Acesso em: 06 fev. 2025.

CÂMARA, J. Pantanal: incêndio de 2024 supera o registrado no mesmo período de 2020, ano recorde de queimadas. **G1**, Mato Grosso do Sul, 20 jun. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/ms/mato-grosso-do-sul/noticia/2024/06/20/pantanal-incendio-de-2024-supera-o-registrado-no-mesmo-periodo-de-2020-ano-recorde-de-queimadas.ghtml>. Acesso em: 10 dez. 2024.

CAMPELLO, L. M. *et al.* Dinâmica espacial e temporal do desmatamento e queimadas nas sub-regiões do Pantanal no período de 2014 a 2017. *In: 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, 2018, Jardim. **Anais do 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Jardim: Embrapa, 2018. p. 470-480. Disponível em: <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m16b/2022/05.20.18.14/doc/thisInformationItemHomePage.html>. Acesso em: 04 fev. 2025.

CARNAÚBA, E. A. A. **Uso do Modelo de Densidade de Kernel para uma Análise de Casos de Dengue na Cidade de Fortaleza**. São José dos Campos: INPE, 2021.

CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G. Análise de Eventos Pontuais. *In: DRUCK, S. et al. Análise Espacial de Dados Geográficos*. Brasília: EMBRAPA, 2002. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/10.07.14.53/doc/cap2-eventos.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2025.

CATELLA, A. C. **A Pesca no Pantanal Sul: situação atual e perspectivas**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/799005/1/DOC48.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2025.

CUNHA, G. R. DA. El Niño/La Niña - Oscilação Sul e seus impactos na agricultura brasileira: fatos, especulações e aplicações. **Revista Plantio Direto**, Passo Fundo, ed. 121, p. 18-22, jan./fev. 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/903716/el-ninola-nina---oscilacao-sul-e-seus-impactos-na-agricultura-brasileira-fatos-especulacoes-e-aplicacoes>. Acesso em: 08 jun. 2025.

OLIVEIRA-JUNIOR, J. F. de *et al.* Fire foci related to rainfall and biomes of the state of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Agricultural And Forest Meteorology**, [S.L.], v. 282-283, p. 1-13, mar. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192319304770?via%3Dihub>. Acesso em: 08 jun. 2025.

DIAS, M. **Pantanal em chamas: de onde vem o fogo?**. 2020. Disponível em: <https://www.ufsm.br/midias/arco/pantanal-em-chamas>. Acesso em: 08 jun. 2025.

FERREIRA, S. W. T.; LARCHER, L.; RABELO, A. P. C. Análise da distribuição espaço temporal dos focos de incêndio no Pantanal (2000-2016). *In: 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2018, Jardim*. **Anais do 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Jardim: Embrapa, 2018. p. 563-573. Disponível em: <http://mtc-m16b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m16b/2022/05.20.18.14/doc/thisInformationItemHomePage.html>. Acesso em: 04 fev. 2025.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GARCIA, E. A. C. **O clima no Pantanal Mato-grossense**. Corumbá: EMBRAPA/UEPAE de Corumbá, 1984. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/787712/1/CT14.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2025.

GOVERNO DE MATO GROSSO DO SUL. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. **Hoje é o Dia do Pantanal, Patrimônio da Humanidade e Reserva da Biosfera**. Campo Grande: IMASUL, 12 nov. 2018. Disponível em: <https://www.imasul.ms.gov.br/hoje-e-o-dia-do-pantanal-patrimonio-da-humanidade-e-reserva-da-biosfera/#:~:text=O%20bioma%20Pantanal%20%C3%A9%20o,Reserva%20da%20Biosfera%20pela%20Unesco>. Acesso em: 07 fev. 2025.

HENGL, T. Finding the right pixel size. **Computers & Geosciences**, [S.L.], v. 32, n. 9, p. 1283-1298, nov. 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0098300405002657>. Acesso em: 08 jun. 2025.

HENRIQUES, A. B. **Botânica I**. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Limites Pantanal-Cerrado-Amazônia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/biomas/pdf/Lim06_PantCerr.pdf. Acesso em: 02 fev. 2025.

INPE. **BD Queimadas**. São José dos Campos. 2025. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/faq/index.html>. Acesso em: 04 fev. 2025.

INSTITUTO HOMEM PANTANEIRO. **Região da Serra do Amolar contribui para formar corredor de biodiversidade para proteção ambiental**. 2024. Disponível em: https://institutohomempantaneiro.org.br/regiao-da-serra-do-amolar-contribui-para-formar-corredor-de-biodiversidade-para-protECAo-ambiental/#google_vignette. Acesso em: 08 jun. 2025.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. *In: XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais (ABEP)*, Caxambu, MG, 18 a 22 de setembro de 2006. **Anais do XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais (ABEP)**. Disponível em: <https://1library.org/document/qm3kn59y-uso-metodos-interpolacao-espacial-dados-nas-analises-sociodemograficas.html>. Acesso em: 03 fev. 2025.

JÚNIOR, G. A. D. *et al.* FISIONOMIAS VEGETAIS. *In: GUIMARÃES, E; TREVELIN, C. C; MANOEL, P. S. Pantanal: paisagens, flora e fauna*. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271764978_PantanalPaisagensflora_e_fauna. Acesso em: 02 fev. 2025.

JUNK, W. *et al.* Current state of knowledge regarding the world's wetlands and their future under global climate change: a synthesis. **Aquat Sci**, v. 75, p. 151–167, 2013. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00027-012-0278-z#citeas>. Acesso em: 08 dez. 2024.

LEMOS, A. F. *et al.* **Manual para Formação de Brigadista de Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. Brasília: ICMBio, 2010. Disponível em: <https://ava.icmbio.gov.br/mod/data/view.php?d=17&rid=3089>. Acesso em: 3 fev. 2025.

LILLESAND, T.M.; KIEFER, R.W.; CHIPMAN, J.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2007.

MANOEL, P. S. *et al.* FISIONOMIAS VEGETAIS. *In: GUIMARÃES, E; TREVELIN, C. C; MANOEL, P. S. Pantanal: paisagens, flora e fauna*. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271764978_PantanalPaisagensflora_e_fauna. Acesso em: 02 fev. 2025.

MAPBIOMAS. **Área queimada no Brasil cresce 79% em 2024 e supera os 30 milhões de hectares**. 2025. Disponível em:

<https://brasil.mapbiomas.org/2025/01/22/area-queimada-no-brasil-cresce-79-em-2024-e-supera-os-30-milhoes-de-hectares/>. Acesso em: 08 jun. 2025.

MAPBIOMAS. **Plataforma MapBiomas – Coleção de Dados de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 16 jun. 2025.

MARENGO, J. A. *et al.* Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: characterization, causes, and impacts. **Frontiers In Water**, [S.L.], v. 3, n. 1, p. 1-20, 23 fev. 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/water/articles/10.3389/frwa.2021.639204/full>. Acesso em: 08 jun. 2025.

MELO, A. B. P. Um olhar socioeconômico e ambiental ao Pantanal de MS. **FAMASUL**, Campo Grande, 03 fev. 2021. Disponível em: <https://famasulvantagens.com.br/>. Acesso em: 04 fev. 2025.

MENDES, B. **As causas da seca extrema do Pantanal**. 2023. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/as-causas-da-seca-extrema-do-pantanal/>. Acesso em: 08 jun. 2025.

MENDES, D. DE M.; SILVA, R. G. DA; FARINACCIO, M. A. A influência da estiagem e do fogo na família asteraceae em uma unidade de conservação ambiental no Pantanal de MS, Brasil. **Revista Geopantanal**, Corumbá, v. 19, n. 36, p. 213-226, jan/jun. 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/revgeo/article/view/20329>. Acesso em: 02 fev. 2025.

MORAES, E. C. DE. Fundamentos de sensoriamento remoto. *In: Curso de uso de sensoriamento remoto no estudo do meio ambiente*. São José dos Campos: INPE, 2002. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/banon/2001/04.06.10.52.39/doc/mirrorget.cgi?metadat arepository=sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18.55&choice=full&languagebutton=pt-BR>. Acesso em: 04 fev. 2025.

NEVES, T. H. M. **Dinâmica Espaço-Temporal das Queimadas no Pantanal Brasileiro de 2011 a 2020**. 2021. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2021. Disponível em: https://sip.prg.ufla.br/arquivos/php/bibliotecas/repositorio/download_documento/baixa_r_por_anosemestre_matricula.php?arquivo=20202_201410628. Acesso em: 10 dez. 2024.

NOVO, E. M. L. DE M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2010. Disponível em: https://www.google.com.br/books/edition/Sensoriamento_remoto/RErIDwAAQBAJ?hl=pt-BR&gbpv=0. Acesso em: 04 fev. 2025.

PANTANAL. **WWF Brasil**. 2025. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/nossosconteudos/biomas/pantanal/>. Acesso em: 02 fev. 2025.

PASCHOAL, F. Pantanal: a maior área úmida do mundo. **SOS Pantanal**, Campo Grande, 08 mar. 2019. Disponível em: <https://www.sospantanal.org.br/pantanal-a-maior-area-umida-do-mundo/>. Acesso em: 10 dez. 2024.

PELLISSARI, T. D *et al.* Dynamics of major environmental disasters involving fire in the Brazilian Pantanal. **Scientific Reports**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 1-18, 07 dez. 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-023-49154-6>. Acesso em: 08 jun. 2025.

PINHO, C. S. de. FOGO NO PANTANAL: é a casa das comunidades tradicionais pantaneiras que queima. **Agro é Fogo**, s.l., 2021. Disponível em: <https://agroefogo.org.br/dossie/fogo-no-pantanal-e-a-casa-das-comunidades-tradicionais-pantaneiras-que-queima/>. Acesso em: 10 dez. 2024.

PIROMAL, R. A. S. *et al.* Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 1, p. 77–84, 2008.

PÖRTNER H. O. *et al.* (ed.). **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>. Acesso em: 02 fev. 2025.

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção 9.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado em 14 de junho de 2025 através do link: [

REIS, E. A.; REIS, I. A. *Análise descritiva de dados*. Belo Horizonte: Departamento de Estatística da UFMG, 2002. Relatório Técnico. Disponível em: <https://www.est.ufmg.br/portal/wp-content/uploads/2023/01/RTE-02-2002.pdf>. Acesso em: 08 jun. 2025.

ROSSI, F. S.; SANTOS, G. A. DE A. Fire dynamics in Mato Grosso State, Brazil: the relative roles of gross primary productivity. **Big Earth Data**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 23-44, 23 jan. 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/20964471.2019.1706832>. Acesso em: 08 jun. 2025.

SÁ, F. Comparando os incêndios de 2020 com 2021 no pantanal: o que mudou? **SOS Pantanal**, Campo Grande, 27 dez. 2021. Disponível em: <https://regrasparatcc.com.br/primeiros-passos/pesquisa-historica>. Acesso em: 10 dez. 2024.

Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR). **Fogo: prevenção e controle no meio rural**. Brasília: SENAR, 2018.

SILVA, J. D. S. V. DA; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 33, p.1703-1711, out. 1998. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/5050>. Acesso em: 04 fev. 2025.

SILVA NETO, E. P. da *et al.* MUDANÇAS NA PRECIPITAÇÃO DO PANTANAL: ANÁLISE DAS ÚLTIMAS DÉCADAS NA BACIA DO ALTO PARAGUAI. In: XVII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 17., 2024, João Pessoa. **Anais do XVII SRHNe - Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. João Pessoa: ABRHidro, 2024. p. 1-10. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/237/XVII-SRHNE0297-1-20240715-174652.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2025.

SOS PANTANAL. **Cheia e seca no Pantanal**. 2025. Disponível em: <https://sospantanal.org.br/pantanal/cheia-e-seca-no-pantanal/>. Acesso em: 11 jun. 2025.

TANIWAKI, P. Y.; CAMPOS, V. A.; BATISTA, L. F. A. Análise espacial da relação entre emissões de CO₂ e PIB no estado de Santa Catarina. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2023, Florianópolis. **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 20. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/analise-espacial-da-relacao-entre-emissoes-de-co2-e-pib-no-estado-de-santa-catar?lang=pt-br>. Acesso em 03 fev. 2025.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Sears and Zemansky física III: eletromagnetismo**. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2015. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 28 maio 2025.

ZANATTA, S. C. S.; MACIEL, J. C. Pantanal ameaçado: a construção de represas e a insignificância da energia hídrica produzida. **Interações**, Campo Grande, v. 22, n. 2, p. 333-348, Abr/ Jun. 2021. Disponível em: <https://interacoes.ucdb.br/interacoes/article/view/2811>. Acesso em: 08 dez. 2024.

**ANEXO A - Código em JavaScript para Extração dos Dados de Precipitação
no GEE**

```

// Substitui o pantanal pela geometria desenhada
// Certifique-se de que o nome seja 'geometry'
var area = geometry; // Use a geometria que você desenhou

// Define os anos de interesse
var anos = [2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024];

// Carrega os dados de precipitação do CHIRPS diário - 5km de res. espacial
var chirps = ee.ImageCollection('UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY');

// Função para calcular e exportar precipitação anual
var calcularEExportar = function(ano) {
  var inicio = ee.Date.fromYMD(ano, 1, 1);
  var fim = ee.Date.fromYMD(ano, 12, 31);

  var precipitacaoAnual = chirps
    .filterDate(inicio, fim)
    .sum()
    .clip(area)
    .set('ano', ano)
    .rename('precipitacao_' + ano);

  // Visualização no mapa
  Map.addLayer(precipitacaoAnual,
    {min: 500, max: 2500, palette: ['blue', 'cyan', 'green', 'yellow', 'orange',
  'red']}),
    'Precipitação ' + ano);

  // Exportação para o Google Drive
  Export.image.toDrive({
    image: precipitacaoAnual,
    description: 'Precipitacao_' + ano,
    folder: 'GEE_Precipitacao_Personalizada',
    fileNamePrefix: 'precipitacao_' + ano,
    region: area,
    scale: 5000,
    crs: 'EPSG:4326',
    maxPixels: 1e13
  });
};

// Executa para todos os anos
anos.forEach(calcularEExportar);

// Centraliza o mapa na área desenhada
Map.centerObject(area, 6);

```