



GIOVANA DIAS GARCIA

INCÊNDIOS FLORESTAIS EM CORUMBÁ E LADÁRIO (MS):

**O PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE
FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

**INCÊNDIOS FLORESTAIS EM CORUMBÁ E LADÁRIO (MS):
O PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-graduação – Mestrado em Geografia, da Faculdade de Ciências Humanas, da Universidade Federal da Grande Dourados como requisito final para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Charlei Aparecido da Silva
Coorientadora: Profa. Dra. Amanda Trindade Amorim

Dourados – MS

2026

Banca Examinadora

Prof. Dr. Charlei Aparecido da Silva

Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD

Presidente da Banca e Orientador

Prof. Dra. Amanda Trindade Amorim

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – FCT / UNESP

Coorientadora

Prof. Dr. Rafael Brugnoli Medeiros

Universidade Federal da Grande Dourados – FCH - UFGD

Membro Titular Interno PPGG - UFGD

Prof. Dr. Vandervilson Alves Carneiro

Universidade Estadual de Goiás – UEG – Campus Cora Carolina

Membro Titular Externo – PPGEIO - UEG

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

G216i Garcia, Giovana Dias

INCÊNDIOS FLORESTAIS EM CORUMBÁ E LADÁRIO (MS): O PANTANAL
SUL-MATO-GROSSENSE FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS [recurso eletrônico] /
Giovana Dias Garcia. -- 2026.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Charlei Aparecido da Silva.

Coorientadora: Amanda Trindade Amorim.

Dissertação (Mestrado em Geografia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2026.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Mudanças climáticas. 2. Incêndios florestais. 3. Pantanal. 4. Geotecnologias. I. Silva, Charlei
Aparecido Da. II. Amorim, Amanda Trindade. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

AGRADECIMENTOS

Começo esse agradecimento dedicando a Deus, pela força e oportunidade de ter ingressado em uma faculdade, principalmente em uma pública e possibilitando o acesso ao título de mestre. Durante a longa caminhada até o presente momento, foi Deus e a minha fé que os desafios e os obstáculos seriam enfrentados e no final seria compensada com o melhor.

Agradeço a minha mãe, Selvina e ao meu pai, José, que sempre me apoiaram e tiveram ao meu amparo quando mais precisei. Todo apoio que me forneceram, financeiramente e emocionalmente, que me possibilitou chegar a esse mestrado. Quero reforçar meu agradecimento a minha mãe que sempre falou que iria me formar e nunca deixou de acreditar no meu potencial.

Ao meu namorado, Tiago, que está sempre ao meu lado, me encorajando a conquistar meus sonhos e que nunca deixou de acreditar em mim, tenho muito a agradecer. Uma pessoa maravilhosa que é extremamente companheira, que sempre me ofereceu o apoio, tanto psicológico e físico.

De forma muito carinhosa agradeço ao Charlei, meu querido orientador, que me aceitou e sempre me orientou de forma extremamente humana e dedicada. Tenho um enorme carinho e admiração pelo homem e o profissional que é. Tenho a consideração como um pai.

A Amanda, minha coorientadora, agradeço pelo apoio e o auxílio quando sempre necessitei, sempre disposta a ajudar e orientar. Uma pessoa extremamente admirável como pessoa e profissional. Agradeço pelo aceite na orientação.

Aos meus sogros, amigos e todos que me ajudaram ao longo dessa caminhada, somente gratidão e um carinho enorme, todos foram extremamente importantes em minha vida, sempre me dando apoio e acreditando em mim.

Por fim, agradeço à Universidade Federal da Grande Dourados, pelo acolhimento como discente, da graduação e pós-graduação. Agradeço também aos docentes, técnicos e os servidores dessa instituição, sou grata pelos ensinamentos e os auxílios diretos e indiretos.

RESUMO

O aquecimento global, intensificado pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, tem provocado alterações significativas nos padrões climáticos, resultando na intensificação de eventos extremos, como secas prolongadas, inundações severas e aumento da ocorrência de incêndios florestais. No bioma Pantanal, uma das maiores áreas úmidas do planeta, essas mudanças têm afetado diretamente o ciclo hidrológico, reduzindo o período de cheias e aumentando a vulnerabilidade ambiental da região. Este trabalho teve como objetivo analisar a ocorrência de incêndios florestais e sua relação com as mudanças climáticas no Pantanal Sul-mato-grossense, com ênfase nos municípios de Corumbá e Ladário. Para isso, foram utilizados dados bibliográficos, informações climáticas e técnicas de geotecnologias, com destaque para o sensoriamento remoto e o geoprocessamento, possibilitando a elaboração de produtos cartográficos e a análise multitemporal do uso e da cobertura da terra. Os resultados indicam que a intensificação dos incêndios está associada a períodos de estiagem prolongada, redução do regime de chuvas e alterações nos pulsos de inundação característicos do bioma. Observou-se que, apesar da capacidade de regeneração da vegetação, a recorrência de eventos extremos compromete o equilíbrio ecológico e afeta diretamente a biodiversidade, as atividades econômicas e as populações locais. O uso de geotecnologias mostrou-se fundamental para o monitoramento ambiental em áreas extensas e de difícil acesso, contribuindo para a compreensão das transformações ambientais e reforçando a necessidade de estudos contínuos sobre os impactos das mudanças climáticas no Pantanal. Diante dos resultados obtidos, evidencia-se a urgência de estratégias integradas que articulem políticas ambientais, planejamento territorial e ações de saúde pública, visando à mitigação dos impactos das mudanças climáticas, ao fortalecimento da resiliência socioambiental e à preservação do bioma.

Palavras-chave: Mudanças climáticas; Incêndios florestais; Pantanal; Geotecnologias.

ABSTRACT

Global warming, intensified by the increasing concentration of greenhouse gases in the atmosphere, has caused significant changes in climate patterns, resulting in the intensification of extreme events, such as prolonged droughts, severe floods, and an increased occurrence of wildfires. In the Pantanal biome, one of the largest wetlands in the world, these changes have directly affected the hydrological cycle, reducing the duration of flood periods and increasing the environmental vulnerability of the region. This study aimed to analyze the occurrence of wildfires and their relationship with climate change in the southern Mato Grosso do Sul portion of the Pantanal, with emphasis on the municipalities of Corumbá and Ladário. To this end, bibliographic data, climate information, and geospatial technologies were used, with emphasis on remote sensing and geoprocessing, enabling the development of cartographic products and the multitemporal analysis of land use and land cover. The results indicate that the intensification of wildfires is associated with prolonged drought periods, reduced rainfall, and changes in the flooding pulses characteristic of the biome. It was observed that, despite the vegetation's capacity for regeneration, the recurrence of extreme events compromises ecological balance and directly affects biodiversity, economic activities, and local populations. The use of geospatial technologies proved to be fundamental for environmental monitoring in large and difficult-to-access areas, contributing to the understanding of environmental changes and reinforcing the need for continuous studies on the impacts of climate change on the Pantanal. In view of the results obtained, there is an urgent need for integrated strategies that combine environmental policies, territorial planning, and public health actions, aiming to mitigate the impacts of climate change, strengthen socio-environmental resilience, and preserve the biome.

Keywords: Climate change; Forest fires; Pantanal; Geotechnologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evidências dos impactos das mudanças climáticas em muitas regiões do mundo.	23
Figura 2 - Perda de biodiversidade em diferentes áreas sob níveis crescentes de mudanças climáticas.	25
Figura 3 - Áreas afetadas pelo fogo no Brasil entre 1985 e 2024, por biomas, estados e municípios.....	41
Figura 4 - Reportagem sobre o fogo no Pantanal.	48
Figura 5 - Focos de incêndios no Pantanal em 2024.	49
Figura 6 - Principal bacia do pantanal com níveis negativos.....	49
Figura 7 – Áreas afetadas pelo incêndio no Brasil Entre 1985 e 2024.....	51
Figura 8 – Mapa de localização dos municípios de Corumbá e Ladário (MS). 70	
Figura 9 - Mapa dos tipos de solos de Corumbá e Ladário.	84
Figura 10 - Uso e ocupação da terra em Corumbá e Ladário	97
Figura 11 - Evolução anual da cobertura e uso da terra (1985-2024).....	98
Figura 12 - NDVI de Corumbá e Ladário dos anos de 2023 e 2024.....	101
Figura 13 - NDVI de Corumbá e Ladário no período de outono	103
Figura 14 - NDVI de Corumbá e Ladário no período de inverno.	105
Figura 15 - NDVI de Corumbá e Ladário no período da primavera.	107
Figura 16 - NDVI de Corumbá e Ladário no período de verão.	109
Figura 17 - Focos de incêndios no Pantanal.	111
Figura 18 – NDWI de Corumbá e Ladário dos anos de 2023 e 2024.....	116
Figura 19 – NDWI de Corumbá e Ladário do período do outono	118
Figura 20 – NDWI de Corumbá e Ladário período de inverno	120
Figura 21 - NDWI de Corumbá e Ladário do período da primavera.	122
Figura 22 - NDWI de Corumbá e Ladário do período do verão	124
Figura 23 - Densidade total dos focos e incidência de incêndios florestais considerando o ano de 2023 e 2024.	128
Figura 24- Densidade total dos focos e incidência de incêndios florestais do período do outono de 2023 e 2024.	131

Figura 25 -Densidade total dos focos e incidência de incêndios florestais do período de inverno de 2023 e 2024.....	134
Figura 26 - Densidade total dos focos e incidência de incêndios florestais do período de primavera de 2023 e 2024.	136
Figura 27 - Densidade total dos focos e incidência de incêndios florestais do período do verão de 2023 e 2024.	138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese da ocorrência de chuvas nos municípios de Corumbá e Ladário, considerando o inverno e a primavera de 2023 e o verão e o outono de 2024. 92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese da análise dos relatórios do IPCC.....	31
Quadro 2 - Procedimentos realizados durante a dissertação.....	56

LISTA DE SIGLAS

%	Porcentagem
µm	Unidade de medida de comprimento equivalente a um milionésimo de metro
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APA	Área de Proteção Ambiental
AR	Relatório de Avaliação
AUR-Pantanal	Área de Uso Restrito da Planície Pantaneira
BAP	Bacia do Alto Paraguai
CEMTEC	Centro de Monitoramento do Tempo e Clima
cm	Unidade de medida de comprimento
COP	Conferência das Partes
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
km	Unidade de medida de comprimento do Sistema Internacional de Unidades
m	Unidade de medida de comprimento metros
MIF	Manejo Integrado do Fogo
mm	Unidade de medida de comprimento milímetro
NDCs	Contribuições Nacionalmente Determinadas
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i>
°C	Unidade de medida de temperatura em graus Celsius
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONU	Organização das Nações Unidas
PEMIF	Plano Estadual de Manejo Integrado do Fogo
PNMC	Política Nacional sobre Mudança do Clima
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

ppm	Unidade de medida utilizada para expressar a concentração de soluções diluídas (parte por milhão)
SAH	Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Paraguai
SEMADE	Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico de Mato Grosso do Sul
SGB	Serviço Geológico do Brasil
SIBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SIGs	Sistemas de Informações Geográficas
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SSPs	<i>Shared Socioeconomic Pathways</i>
TFI	Força-Tarefa de Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	14
INTRODUÇÃO	16
CAPÍTULO 1: MUDANÇAS CLIMÁTICAS	22
1.1 Histórico dos tratados sobre as mudanças climáticas	26
1.2 Os relatórios do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas).....	30
1.3 Impactos na sociedade e no meio ambiente	33
1.4 Abordagens de mitigação e adaptação às mudanças climáticas	33
CAPÍTULO 2: INCÊNDIOS FLORESTAIS: CAUSAS, EFEITOS E A INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BIOMA PANTANAL	38
2.1 Diferenças conceituais entre incêndios florestais e queimadas	42
2.2 Causas naturais e antrópicas dos incêndios	45
2.3 A intensificação dos incêndios na última década	46
CAPÍTULO 3: MÉTODOS, TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DO ESTUDO ..	54
3.1 Análise qualitativa para a elaboração da dissertação	54
3.2 Análise quantitativa para a elaboração da dissertação	55
3.3 Aquisição e análise de dados climáticos	56
3.4 Aquisição, processamento e elaboração dos produtos cartográficos.....	57
3.3.1 Mapa de localização.....	58
3.3.2 Mapeamento do uso e cobertura da terra	58
3.3.3 Mapa do solo.....	59
3.3.4 Mapa do NDVI.....	60
3.3.5 Mapa do NDWI.....	62
3.3.6 Mapeamento da densidade dos focos de incêndios.....	63
CAPÍTULO 4: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	68
4.1 As especificidades geográficas, sociais e ambientais dos municípios de Corumbá e Ladário.....	71
4.2 – O ciclo das águas, características da hidrografia	75
4.3 – As características do clima.....	79
4.4 – Caracterização do solo.....	82

CAPÍTULO 5: ANÁLISE DOS RESULTADOS: A SAZONALIDADE DA OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS	90
5.1 – Análise dos dados climáticos	91
5.2 – Uso e cobertura da terra.....	94
5.3 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	99
5.4 – Índice de Água de Diferença Normalizada (NDWI)	113
5.5 – Ocorrência das incidências dos focos de incêndios	125
CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147

APRESENTAÇÃO

Este trabalho é resultado da pesquisa desenvolvida no curso de Mestrado em Geografia do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), vinculada à linha de pesquisa Políticas Públicas, Dinâmicas Produtivas e da Natureza, sob orientação do Professor Dr. Charlei Aparecido da Silva, responsável pelo Laboratório de Geografia Física, e coorientação da Professora Dra. Amanda Trindade Amorim.

A dissertação teve como objetivo analisar a ocorrência de incêndios florestais e sua relação com as mudanças climáticas no Pantanal Sul-mato-grossense. O estudo está estruturado em cinco capítulos:

Capítulo 1 – Mudanças Climáticas: Apresenta a contextualização das mudanças climáticas, abordando os principais tratados e acordos internacionais, os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), os impactos sobre a sociedade e o meio ambiente e as estratégias de mitigação e adaptação.

Capítulo 2 – Incêndios Florestais: causas, efeitos e a influência das mudanças climáticas no bioma Pantanal: Aborda os conceitos relacionados aos incêndios florestais e às queimadas, suas principais causas e efeitos, bem como a influência das condições climáticas na ocorrência e intensificação dos incêndios no Pantanal.

Capítulo 3 – Métodos, Técnicas E Procedimentos Do Estudo: Descreve os procedimentos metodológicos, as técnicas, os materiais e as fontes de dados utilizados para o desenvolvimento da pesquisa, incluindo as etapas de tratamento, análise e representação espacial das informações.

Capítulo 4 – Caracterização da Área de Estudo: Apresenta as principais características geográficas, sociais e ambientais da área analisada, contemplando aspectos relacionados ao ciclo das águas, à hidrografia, ao clima e aos solos.

Capítulo 5 – Análise dos Resultados: Sazonalidade da Ocorrência de Incêndios Florestais: Discute os resultados obtidos ao longo da pesquisa, com

ênfase na distribuição espacial e temporal dos incêndios e em sua relação com as condições ambientais e climáticas observadas na área de estudo.

INTRODUÇÃO

O aquecimento global configura-se como um fenômeno resultante do aumento da concentração de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), que intensificam a retenção da radiação infravermelha na atmosfera, promovendo a elevação da temperatura média do planeta. Esse processo tem provocado impactos de grande magnitude, refletidos em alterações nos padrões climáticos, na intensificação de fenômenos como o *El Niño* e a *La Niña*, na ocorrência de eventos extremos em larga escala, no desequilíbrio do ciclo hidrológico, no aumento da frequência e da intensidade dos incêndios florestais em regiões onde tais condições eram historicamente incomuns (Conrado *et al.*, 2000).

Nos últimos anos, as mudanças climáticas têm ganhado maior visibilidade nos meios de comunicação. Entretanto, conforme apontado por Silva (2022), os debates e ações direcionadas a esse tema têm se concentrado majoritariamente sobre a Amazônia e, em segundo plano, sobre o Cerrado, deixando o Pantanal em posição secundária. Embora o relatório Sexto Relatório de Avaliação (AR6) (2021) do IPCC não mencione explicitamente o Pantanal, isso não significa que esse bioma esteja imune aos efeitos das alterações climáticas, especialmente no que se refere à intensificação de eventos extremos que afetam seu delicado ciclo plurianual.

O Pantanal é reconhecido como uma das maiores áreas úmidas contínuas do planeta, situado na planície de inundação da bacia do Alto Rio Paraguai, na América do Sul. Abrange aproximadamente 179.300 km², distribuídos entre o Brasil (cerca de 78%), Bolívia (18%) e Paraguai (4%), sendo a maior porção localizada em território brasileiro (Marengo *et al.*, 2021). Dentro do Brasil, o bioma estende-se pelos estados de Mato Grosso (35%) e Mato Grosso do Sul (65%), sendo este último o principal detentor de sua área (Tomas *et al.*, 2020). Estima-se que a porção brasileira do Pantanal compreenda cerca de 140.000 km² (Pott e Pott, 2004; Alho e Silva, 2012), caracterizando-se como um sistema complexo e interconectado de ecossistemas aquáticos, terrestres e de zonas úmidas.

A posição geográfica do Pantanal, conforme destaca Marengo *et al.*, (2021), confere-lhe grande relevância ecológica, pois conecta importantes biomas sul-americanos: Cerrado, Chaco boliviano e a região sul da Amazônia brasileira. Além disso, o bioma atua como um reservatório natural, com defasagem de até cinco meses entre a entrada e a saída das águas, o que influencia diretamente o pulso de inundação que sustenta sua biodiversidade.

No estado de Mato Grosso do Sul, o Pantanal ocupa principalmente a porção oeste do território estadual, abrangendo municípios como Corumbá e Ladário, que constituem a área de estudo desta pesquisa. O município de Corumbá está localizado na região oeste de Mato Grosso do Sul, na fronteira com a Bolívia, a qual se separa por uma fronteira seca, enquanto Ladário encontra-se inserido na mesma região e apresenta forte relação territorial e socioambiental com Corumbá. Ambos estão inseridos no contexto da planície pantaneira, caracterizada pela alternância entre períodos de inundação e estiagem, condições que influenciam diretamente a dinâmica ambiental da região (Prefeitura Municipal de Corumbá, 2026).

Entretanto, os impactos das mudanças climáticas vêm alterando essa dinâmica. A planície pantaneira, historicamente marcada pela alternância entre períodos de cheias e secas sazonais, tem enfrentado períodos de estiagem prolongada e alterações nos volumes de precipitação. Entre os anos de 2018 e 2020, foram observados períodos de seca particularmente severos no Pantanal, evidenciando a ocorrência de alterações na dinâmica hidrológica do bioma.

Nesse contexto, os anos de 2023 e 2024, definidos como período de análise deste estudo, inserem-se em um cenário de variabilidade climática e ocorrência de eventos de seca e incêndios florestais, tornando-se relevantes para a investigação da possível relação entre as condições de estiagem e a ocorrência dos incêndios na região.

Em 2024, os incêndios atingiram níveis alarmantes. Segundo o presidente do IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), a região registrou o maior número de focos de incêndio já observado, totalizando cerca de 700 mil hectares queimados, aproximadamente 5% de todo o bioma (Resende, 2024).

Essas alterações impactam não apenas a biodiversidade e a paisagem do Pantanal, mas também suas funções ecossistêmicas, das quais dependem diretamente as comunidades locais, especialmente as populações ribeirinhas (Alho e Silva, 2012; Padovani, 2017). Atividades como a pesca artesanal e turística, a subsistência local e o turismo contemplativo, este último de expressiva importância econômica e cultural, são profundamente afetados (Bergier *et al.*, 2018).

Nesse contexto, as geotecnologias têm desempenhado papel fundamental no monitoramento e na análise das transformações ambientais. Por meio da integração de dados obtidos por sensores remotos, imagens de satélite e sistemas de posicionamento global, torna-se possível identificar padrões espaciais e temporais, detectar alterações na superfície terrestre e acompanhar fenômenos ambientais e eventos extremos com maior precisão. Entre as ferramentas que compõem esse conjunto de técnicas, destaca-se o geoprocessamento, que permite representar, analisar e interpretar espacialmente fenômenos sociais, econômicos e ambientais distribuídos no território (Lombardo, 2011).

No âmbito do Sensoriamento Remoto, os índices espectrais constituem importantes instrumentos para a análise das condições ambientais da superfície terrestre. Dentre eles, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), amplamente utilizado para avaliar a presença, a distribuição e as condições da cobertura vegetal (Meneses; Almeida, 2012 *apud* Ornellas; Lopes, 2020). Nesta pesquisa, o índice é empregado para analisar as variações espaciais e temporais da cobertura vegetal durante as estações de verão, outono, inverno e primavera dos anos de 2023 e 2024. Dessa forma, a utilização do NDVI possibilita identificar possíveis alterações nas condições da vegetação nos períodos investigados e contribuir para a compreensão das dinâmicas ambientais associadas à ocorrência dos incêndios florestais.

De forma complementar, o Índice de Diferença Normalizada da Água (NDWI) possibilita analisar aspectos relacionados à presença e à disponibilidade de água na superfície. Em um ambiente caracterizado por uma dinâmica

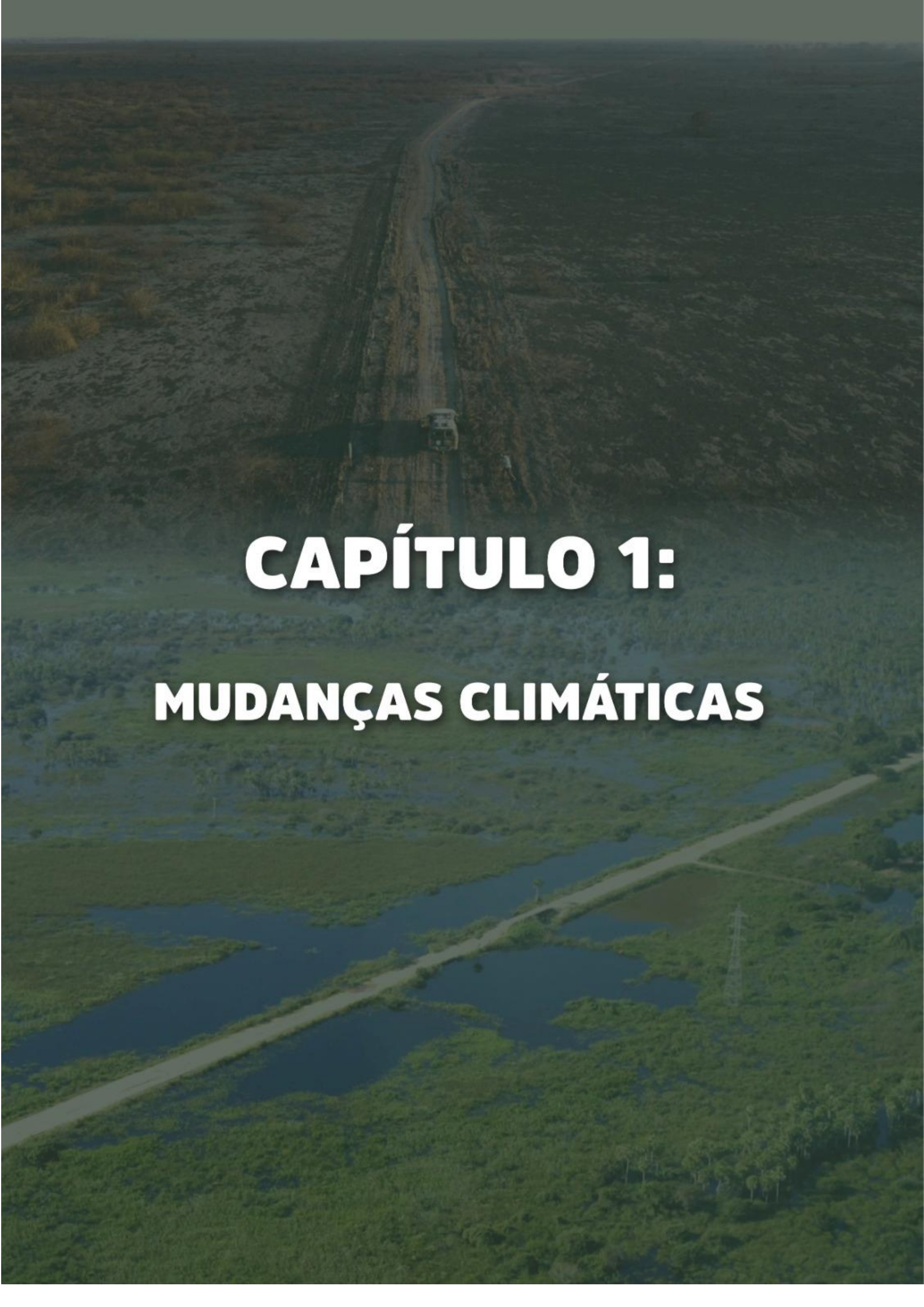
hidrológica complexa, como o Pantanal, a utilização desse índice torna-se particularmente relevante para a compreensão das variações espaciais e temporais relacionadas à disponibilidade hídrica (Pereira *et al.*, 2018).

Além da análise das condições da vegetação e da disponibilidade hídrica por meio dos índices espectrais, as ferramentas de geoprocessamento também possibilitam investigar a distribuição espacial dos focos de incêndio. Nesse sentido, a estimativa de densidade de Kernel constitui uma importante técnica de análise espacial, permitindo identificar áreas com maior concentração de ocorrências e representar a distribuição dos focos de incêndio durante o ano de 2023 e 2024 (Bergamaschi, 2010). A elaboração de mapas de densidade possibilita a visualização de padrões espaciais e a identificação de áreas de maior concentração desses eventos, contribuindo para a compreensão da dinâmica espacial dos incêndios florestais na área de estudo.

Assim, a integração entre os mapas de densidade dos focos de incêndio e a análise dos índices NDVI e NDWI possibilita uma abordagem integrada das condições ambientais associadas à ocorrência desses eventos. A análise comparativa realizada entre as estações de verão, outono, inverno e primavera dos anos de 2023 e 2024 permite identificar variações espaciais e temporais na distribuição dos focos de incêndio, nas condições da cobertura vegetal e na disponibilidade hídrica, contribuindo para a compreensão da dinâmica dos incêndios florestais nos municípios de Corumbá e Ladário, inseridos no Pantanal sul-mato-grossense.

Diante desse contexto, o objetivo central deste estudo é investigar a distribuição espacial e temporal dos focos de incêndios florestais nos municípios de Corumbá e Ladário, no estado de Mato Grosso do Sul, durante os anos de 2023 e 2024, bem como analisar sua possível relação com as condições ambientais observadas na área de estudo. Para tanto, busca-se avaliar as variações na cobertura vegetal e na disponibilidade hídrica por meio dos índices NDVI e NDWI, bem como identificar os padrões espaciais de concentração dos focos de incêndio mediante a estimativa de densidade de Kernel, considerando as diferentes estações do ano.

O primeiro capítulo da dissertação apresenta a fundamentação teórica acerca das mudanças climáticas, contemplando o histórico dos principais tratados e acordos internacionais relacionados à temática, os relatórios do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), os impactos decorrentes das alterações climáticas sobre a sociedade e o meio ambiente, bem como as principais estratégias de mitigação e adaptação frente a esse desafio. Essa abordagem fornece o embasamento necessário para compreender as discussões desenvolvidas ao longo da pesquisa, especialmente no contexto das alterações ambientais observadas no Pantanal.

An aerial photograph showing a road that splits into two paths. The upper path leads to a dry, cracked, and barren landscape, while the lower path leads to a flooded, lush green landscape. A small vehicle is visible on the road in the upper half. The text is overlaid on the image.

CAPÍTULO 1:

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

CAPÍTULO 1: MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As mudanças climáticas têm ganhado crescente relevância devido à gravidade e intensidade de seus efeitos negativos sobre as populações ao redor do mundo (Marques, 2023). Conceitualmente, essas mudanças referem-se às alterações no sistema climático ao longo de períodos prolongados, geralmente abrangendo décadas (UNFCCC, 1992). Embora façam parte de processos naturais, têm sido aceleradas pelas atividades humanas, que intensificam a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) (IPCC, 2022), gerando diversos impactos nos sistemas socioambientais.

Todas essas transformações são, principalmente, impulsionadas por fatores advindas das atividades humanas, como a emissão de gases de efeito estufa, provenientes da queima de combustíveis fósseis, desmatamento desfreado, ampliação de grandes indústrias, utilização de produtos que podem prejudicar a camada de ozônio, como um desodorante, além de outras atividades altamente prejudiciais ao meio ambiente (Ribeiro, 2002).

Vale ressaltar um ponto discutido por Sant`Anna Netto (2013 a), que afirma que o clima da terra pode se modificar tanto por ações advinda do ser humano quanto pela ação da natureza. Entretanto, é importante diferenciar as oscilações e variações cíclicas dos elementos do clima com as mudanças climáticas.

Os elementos climáticos, como a temperatura e a precipitação, podem apresentar diferentes formas de variações ao longo do tempo. Essas alterações podem ocorrer em ciclos curtos, relacionados à sucessão dos tipos de tempo, em ciclos sazonais, ligados às estações do ano, ou até mesmo em escalas interanuais, evidenciando a variabilidade temporal dos fenômenos climáticos. Em alguns casos, essas oscilações retornam aos padrões considerados normais após determinado período; porém, quando as alterações se mantêm por longos intervalos, podem ser caracterizadas como mudanças climáticas (Sant`Anna Netto, 2013b).

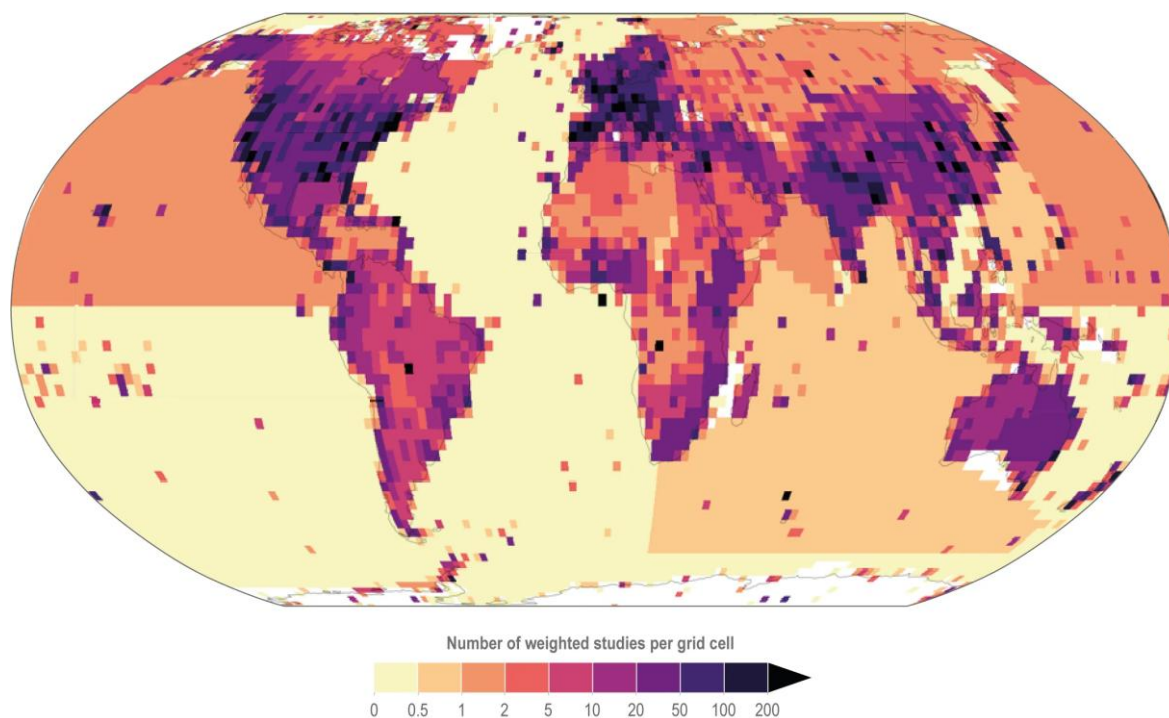
Segundo o IPCC (2021) o aumento das temperaturas médias globais está diretamente relacionado ao acúmulo desses gases na atmosfera, provocando

impactos adversos nos ecossistemas, na economia e na qualidade de vida das populações ao redor do mundo. O AR6 do IPCC confirma que o uso insustentável e desigual de energia e da terra, causaram o aquecimento global, com a temperatura da superfície atingindo 1,1°C a mais que no período de 1850-1900 em 2011-2020.

A amplitude desses impactos pode ser observada em diferentes regiões do planeta, conforme evidenciado pelo levantamento apresentado pelo IPCC (2022), que reúne evidências de impactos das mudanças climáticas provenientes de 77.785 estudos científicos. A distribuição espacial dessas evidências demonstra que os efeitos das mudanças climáticas já são registrados em diversas regiões do mundo, abrangendo diferentes sistemas naturais e socioambientais, como demonstrado pela figura 1 retirada do AR6.

Figura 1 - Evidências dos impactos das mudanças climáticas em muitas regiões do mundo.

Evidence of climate change impacts in many regions of the world



Fonte: AR6, 2022.

O mapa mostra a distribuição global das evidências de impactos das mudanças climáticas. Essas evidências foram identificadas por meio de técnicas

de aprendizado de máquina (*machine learning*) aplicadas a 77.785 estudos científicos. As diferentes cores do mapa representam a quantidade de estudos, ponderada, associada a cada célula da grade espacial, considerando todas as evidências relacionadas aos impactos climáticos (N = 77.785). Figura adaptada de Callaghan *et al.*, (2021).

As mudanças climáticas podem ser compreendidas como alterações duradouras nos padrões do clima, que ocorrem quando as variações em seus atributos passam a atingir grande parte ou quase todo o planeta, mantendo-se por períodos prolongados, geralmente superiores a 30 anos.

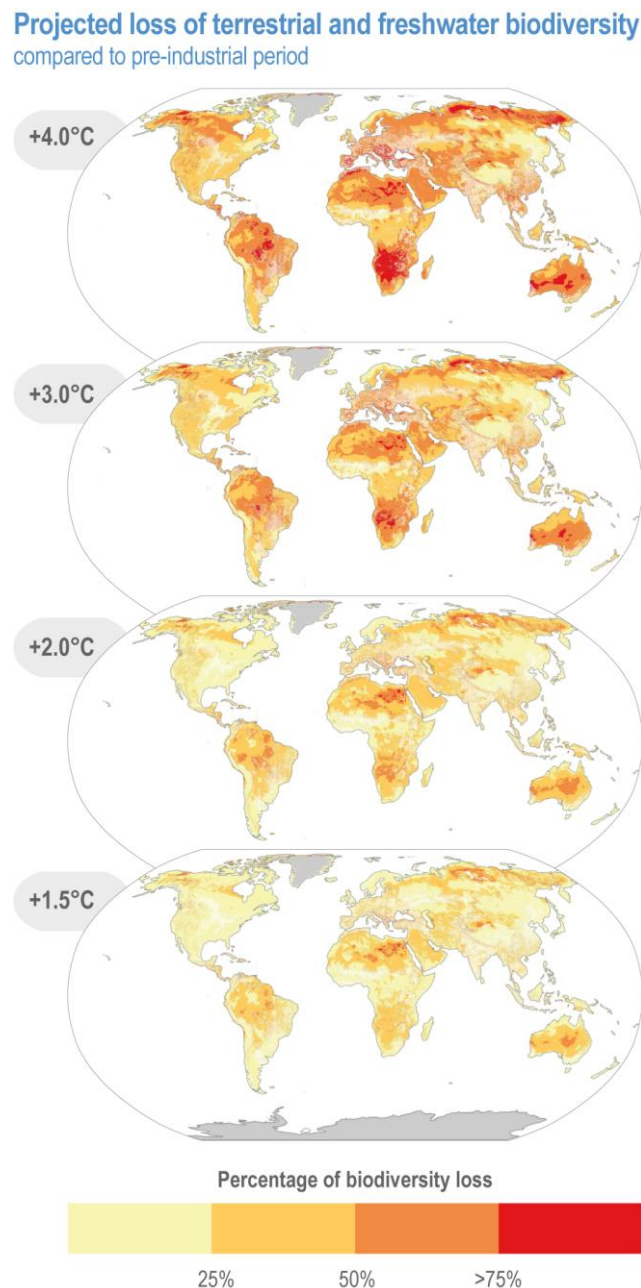
Essas mudanças não surgem apenas de fenômenos globais, podendo ter origem em modificações locais ou regionais de elementos climáticos, como o desmatamento, a intensa urbanização e industrialização ou até erupções vulcânicas. A partir dessas alterações iniciais, podem ocorrer interações complexas no sistema climático, capazes de influenciar outras regiões da Terra e produzir efeitos em escala planetária (Sant`Anna Neto, 2013b).

Durante os últimos 150 anos, a nossa sociedade está vivenciando avanços notáveis extremamente diversos e desafiadores, alguns até pode ser considerado positivo. Mas um dos mais emergentes é a queima de combustíveis fósseis, desmatamentos acelerados e incêndios florestais, esses processos aumentaram significativamente a concentração dos gases da atmosfera, como o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e ozônio (O₃), entre outros. Esses gases têm a função de absorver a radiação infravermelha, que é o calor emitido pela Terra para o espaço. Ao interceptar essa radiação, a atmosfera armazena o calor adicional, o que resulta no aumento da temperatura global (Artaxo, 2020).

Entre os impactos associados às mudanças climáticas, destaca-se também a perda de biodiversidade e o aumento dos riscos aos ecossistemas. À medida que a temperatura global aumenta, determinadas áreas podem apresentar condições climáticas cada vez menos adequadas à sobrevivência de diferentes espécies, comprometendo a integridade, o funcionamento e a resiliência dos ecossistemas. O IPCC (2022) projeta que o risco de perda de

biodiversidade se intensifica conforme aumentam os níveis de aquecimento global, conforme apresentado na Figura 2

Figura 2 - Perda de biodiversidade em diferentes áreas sob níveis crescentes de mudanças climáticas.



Fonte: IPCC (2022), adaptado de Warren *et al.*, 2018).

A Figura 2 evidencia que a proporção de espécies sob risco de perda local aumenta à medida que o aquecimento global se intensifica. As projeções consideram níveis de aquecimento de 1,5 °C, 2 °C, 3 °C e 4 °C em relação ao

período pré-industrial, demonstrando a ampliação dos riscos à biodiversidade e ao funcionamento dos ecossistemas em cenários de maior aquecimento (IPCC, 2022).

Cerca de 3,3 a 3,6 bilhões de pessoas encontra-se em contextos vulneráveis à mudança do clima. O aumento desses eventos meteorológicos e climáticos extremos expôs milhões de pessoas à insegurança alimentar aguda e reduz a segurança hídrica, além de ampliar as enchentes, secas e incêndios florestais (AR6, 2023). O autor Chomsky (2020) frisa ainda que as mudanças climáticas é a maior crise existencial de todos os tempos para a humanidade.

As mudanças climáticas globais avançam com ferocidade e as iniciativas de mitigação desses efeitos nocivos à sociedade e ao meio ambiente, decorrentes dessas alterações se apresentam de forma discreta e não acompanham a urgência da crise ambiental. As cidades com os centros urbanos populoso presenciam os efeitos desse fenômeno (Romero *et al.*, 2019). Com relação ao Brasil, as tendências climáticas (GDF/SMA/IBRAM, 2016) apontam para um país mais seco e quente até o fim do século XXI, em especial nas cidades brasileiras, onde vivem 85% da população do país.

Com base nas informações robustas e precisas do relatório do IPCC, pode-se observar que as mudanças climáticas constituem um fenômeno de ampla abrangência, cujo seus efeitos se manifestam de forma feroz sobre os sistemas naturais e sociais. O aumento das temperaturas, a intensificação dos eventos climáticos e dos incêndios florestais, contribuem a ampliação dos riscos à biodiversidade, aos ecossistemas e às populações. Nesse sentido, compreender a dinâmica das mudanças climáticas e seus impactos em diferentes escalas torna-se fundamental para o desenvolvimento de estratégias de adaptação e redução de riscos, considerando as especificidades ambientais e sociais de cada território.

1.1 Histórico dos tratados sobre as mudanças climáticas

A preocupação do ser humano com as mudanças climáticas remonta a mais de cinco séculos. Entretanto, as negociações e os acordos internacionais para mitigar os efeitos dessas alterações tiveram início há cerca de quatro

décadas (Warnava *et al.*, 2024). A descoberta do "buraco na camada de ozônio" em 1987 e a publicação do relatório *Nosso Futuro Comum* pela Comissão Brundtland foram marcos fundamentais para despertar o interesse da comunidade global sobre a questão ambiental (Bodansky, 2001).

Em 1988, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) criaram o IPCC, com a missão de elaborar avaliações sobre as mudanças climáticas e seus impactos, fundamentadas em dados científicos, além de propor medidas para mitigar esse fenômeno. Na década de 1990, com a divulgação do primeiro relatório do IPCC, a comunidade global foi oficialmente alertada sobre a gravidade das mudanças climáticas (Faria *et al.*, 2021).

A Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), aprovada na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992 (ECO-92), foi o marco inicial para o reconhecimento da necessidade de um esforço global no combate às questões climáticas. Esse evento intensificou a preocupação com o tema e levou à sua inclusão nas agendas políticas internacionais. No contexto da UNFCCC, a Conferência das Partes (COP) é o órgão máximo, reunindo anualmente os países membros para discutir e tomar decisões que garantam a implementação eficaz da Convenção e de outros instrumentos jurídicos (Warnava *et al.*, 2024).

Em 1997, na COP3, foi aprovado o Protocolo de Kyoto, um tratado internacional que estabeleceu, pela primeira vez, metas vinculativas para a redução das emissões de gases de efeito estufa. O Brasil ratificou o Protocolo em 2002 e, em 2009, implementou a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), formalizando o compromisso voluntário do país de reduzir as emissões de GEE entre 36,1% e 38,9% das projeções até 2020. A PNMC estabeleceu diretrizes e políticas para o monitoramento e a execução de ações de mitigação e adaptação às mudanças climáticas, sob a coordenação do Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2009).

O Acordo de Paris, estabelecido em 2015 durante a COP21, substituiu o Protocolo de Kyoto e entrou em vigor em 2016. O tratado visa reduzir

significativamente as emissões de gases de efeito estufa, com metas para limitar o aumento da temperatura global a 2°C, buscando restringir a 1,5°C. Ele prevê a revisão dos compromissos nacionais a cada cinco anos e o fornecimento de financiamento para países em desenvolvimento. O Acordo opera em ciclos quinquenais, com países apresentando, a cada período, planos de ação climática mais ambiciosos, conhecidos como Contribuições Nacionalmente Determinadas (NDCs) (Warnava *et al.*, 2024).

O mais atual tratado que descreve sobre a emergência das mudanças climáticas é a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, adotada pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU) em setembro de 2015, constitui um plano de ação global para erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir a prosperidade para todos. Composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a Agenda busca promover a integração entre o desenvolvimento econômico, a inclusão social e a sustentabilidade ambiental.

O ODS 13, voltado para a "Ação Climática", destaca a importância de tomar medidas urgentes para combater as mudanças climáticas e seus impactos, reconhecendo a necessidade de um esforço global coordenado para enfrentar essa crise. A implementação dessa agenda exige um compromisso conjunto de governos, empresas e sociedade civil, com a perspectiva de um desenvolvimento que respeite os limites ambientais e promova um futuro mais justo e equilibrado para as gerações futuras (ONU, 2015).

Nesse contexto, o VIII Relatório Luz da Sociedade Civil sobre a Agenda 2030 (2024) oferece um diagnóstico crítico sobre a implementação do ODS 13 no Brasil, especialmente após um período de quatro anos marcado por negacionismo climático e desestruturação institucional. Embora 2023 tenha representado uma tentativa de reorientação da governança climática, com a retomada de políticas públicas, instrumentos de planejamento e mecanismos de financiamento, o relatório evidencia que esses esforços ainda são insuficientes frente à gravidade da crise climática (GT Agenda 2030, 2024).

O relatório destaca que esse contexto é agravado por um ambiente normativo fragilizado, marcado pelo afrouxamento de quase 500 normas

ambientais e pela tramitação de projetos legislativos que ameaçam direitos socioambientais, conhecido como “pacote da destruição”. A tragédia socioambiental no Rio Grande do Sul, em curso no período de fechamento do relatório, ilustra de forma contundente as consequências desse processo, evidenciando a vulnerabilidade estrutural do país frente a eventos climáticos extremos e a insuficiência das políticas preventivas e de adaptação.

No que se refere à adaptação e à gestão de riscos, os dados revelam um quadro crítico. Entre 2013 e 2022, 93% dos municípios brasileiros registraram ao menos um desastre natural classificado como situação de emergência ou estado de calamidade pública, evidenciando progresso insuficiente no cumprimento da meta 13.1. Apenas em 2023, foram contabilizados 1.161 eventos extremos de origem hidro-geo-climática, que resultaram em mais de 524 mil pessoas desalojadas, cerca de 75 mil desabrigadas e 132 óbitos. No período de uma década, mais de 4,2 milhões de pessoas perderam ou abandonaram suas moradias em decorrência de desastres climáticos, reforçando o caráter estrutural da vulnerabilidade socioambiental no país (GT Agenda 2030, 2024).

Diante desse conjunto de evidências, o Relatório Luz 2024 classifica as metas do ODS 13 majoritariamente como insuficientes ou estagnadas, incluindo as metas 13.1, 13.2 e 13.3, enquanto as metas 13.a e 13.b permanecem estagnadas. Como resposta, o documento apresenta recomendações que enfatizam o fortalecimento da coordenação interministerial, a ampliação do financiamento climático, o avanço da adaptação com justiça climática, o combate ao racismo ambiental, a proteção de defensoras e defensores ambientais e de direitos humanos, bem como a demarcação de terras indígenas, a titulação de territórios quilombolas e a eliminação de subsídios aos combustíveis fósseis.

Essas recomendações dialogam diretamente com os resultados desta dissertação e reforçam a necessidade de políticas climáticas integradas, socialmente justas e territorialmente sensíveis para que o Brasil possa retomar um caminho consistente rumo ao cumprimento da Agenda 2030. Nesse sentido, torna-se fundamental fortalecer a governança multinível, articulando ações entre os entes federativos e promovendo a participação efetiva da sociedade civil nos

processos decisórios, especialmente de populações historicamente vulnerabilizadas.

1.2 Os relatórios do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas)

Com o objetivo de aprofundar o entendimento sobre as causas e os impactos das mudanças climáticas, foi criado, em 1988, um órgão internacional, o IPCC. Essa iniciativa foi desenvolvida pelo PNUMA em parceria com a OMM, sendo vinculada à UNFCCC. Desde então, o IPCC tornou-se referência mundial na produção e sistematização de conhecimento científico sobre o clima, reunindo uma ampla rede de pesquisadores voluntários que atuam em três frentes principais: fundamentos científicos, impactos e vulnerabilidades, e estratégias de mitigação e adaptação (Oliveira *et al.*, 2022).

O IPCC, vinculado à ONU, é responsável por coletar, revisar e resumir as informações científicas disponíveis sobre as alterações do clima em escala global. Sua missão é *"to assess the scientific, technical and socio-economic information relevant for the understanding of the risk of human-induced climate change"*, ou seja, avaliar e integrar conhecimentos que permitam compreender os riscos associados às mudanças climáticas provocadas pelas ações humanas (Marengo e Soares, 2003)

Composto por cientistas e representantes de governos de países membros da ONU e da OMM, o IPCC realiza reuniões anuais em plenária para definir sua liderança e direcionamento. A elaboração dos Relatórios de Avaliação é responsabilidade de três Grupos de Trabalho: o primeiro trata das bases científicas, o segundo aborda impactos, adaptação e vulnerabilidade, e o terceiro foca na mitigação das mudanças climáticas. Cada relatório é estruturado em três volumes, correspondendo a esses grupos, sendo o volume do Grupo I frequentemente citado como o "relatório do IPCC" (Oliveira *et al.*, 2009).

Os relatórios produzidos pelo IPCC, em especial o do Grupo de Trabalho 1 (GT1), são considerados referências essenciais para os estudos sobre o clima, esse documento reúne e atualiza o conhecimento científico também sobre oceanografia, ecologia e outras áreas que dialogam com as mudanças

climáticas. Como parte desse processo, o IPCC também realiza a tarefa de condensar as informações científicas mais relevantes em uma síntese acessível (Marengo e Soares, 2003).

O AR1, divulgado em 1990, apresentou evidências científicas consistentes sobre as mudanças climáticas, o que levou à recomendação da criação de um instrumento internacional voltado à sua mitigação. Como resultado, foi proposta a elaboração da UNFCCC, que se tornaria o principal fórum multilateral onde os países discutem e definem políticas para enfrentar os desafios climáticos. Essa convenção foi oficialmente estabelecida em 1992, durante a histórica ECO-92, realizada no Rio de Janeiro (Oliveira *et al.*, 2022).

A Síntese para Políticos do Primeiro Relatório do IPCC (1990) apontou que as emissões humanas estavam elevando a concentração de gases de efeito estufa e contribuindo para o aumento da temperatura média global. O documento estimou que, no século anterior, a temperatura da superfície terrestre havia aumentado entre 0,3 °C e 0,6 °C, embora ainda considerasse a possibilidade de influência de fatores naturais. Para o século XXI, projetou-se um aquecimento em torno de 0,3 °C por década, mas o relatório destacou que persistiam amplas incertezas nas previsões climáticas futuras (IPCC, 1990).

O Segundo Relatório de Avaliação do IPCC, publicado em 1995, trouxe como novidade a inclusão do primeiro Relatório de Síntese, consolidando informações-chave para facilitar a compreensão por parte dos formuladores de políticas. A partir desse relatório, o IPCC deu início a importantes avanços institucionais, como a divulgação, em 1996, das Diretrizes Revisadas para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa. Em 1998, foi criada a Força-Tarefa de Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa (TFI), com a missão de coordenar e supervisionar o Programa correspondente (Pinto *et al.*, 2021).

Desde 1999, a TFI conta com o apoio do governo japonês, fruto de acordos firmados no contexto das negociações do Protocolo de Quioto, assinado em 1997 e em vigor a partir de 2005. Complementando esses esforços, o IPCC lançou, no ano 2000, a publicação: “Orientação de Boas Práticas e Gestão de Incertezas nos Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa”, reforçando o

compromisso com a qualidade e a precisão na contabilização das emissões (Pinto *et al.*, 2021).

No Segundo Relatório de Avaliação (1995), o IPCC destacou o aumento significativo dos gases de efeito estufa desde o período pré-industrial, com o CO₂ passando de aproximadamente 280 para 360 ppm. O relatório indicou que a temperatura média global já havia aumentado entre 0,3 °C e 0,6 °C desde o século XIX e considerou improvável que esse aquecimento fosse atribuído apenas a causas naturais. Embora alguns indicadores climáticos já mostrassem sinais de mudança, ainda havia incertezas sobre a extensão da influência das atividades humanas nesse processo (Juras, 2008).

Publicado em 2001, o Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC indicou que a temperatura média da superfície terrestre havia aumentado 0,6 °C, com margem de erro de $\pm 0,2$ °C. A década de 1990 foi identificada como a mais quente do registro histórico iniciado em 1861, sendo 1998 o ano mais quente até então. Apesar das incertezas ainda existentes, os cientistas atribuíram, com alta probabilidade, o aquecimento das últimas cinco décadas ao aumento das concentrações de gases de efeito estufa. As projeções apontavam um possível aumento de temperatura entre 1,4 °C e 5,8 °C e uma elevação do nível do mar de 9 a 88 centímetros entre 1990 e 2100 (Juras, 2008).

O relatório mostrou que o aquecimento vinha ocorrendo de forma consistente ao longo das quatro décadas anteriores, afetando diferentes camadas da atmosfera até aproximadamente 8 km de altitude. Esse comportamento estava associado a diversos fatores, como a diminuição do ozônio estratosférico, a presença de aerossóis e a influência do fenômeno *El Niño*. Entre os impactos já detectados, destacava-se a redução de cerca de 10% na cobertura de neve e gelo desde 1960, a elevação do nível médio dos mares e o aumento do conteúdo energético dos oceanos (Marengo, 2003).

Observou-se também uma queda na frequência de temperaturas mínimas extremas, ao passo que os registros de máximas extremas se tornaram mais comuns. Por outro lado, não foram identificadas mudanças significativas em alguns elementos, como a área coberta por neve na Antártica desde 1978, nem

na frequência de tornados, tempestades ou ciclones tropicais e extratropicais (Marengo, 2003).

Outro ponto importante foi o avanço na confiabilidade dos modelos climáticos, que permitiu projeções mais consistentes sobre o futuro. As novas evidências indicavam que a maior parte do aquecimento ocorrido nos últimos 50 anos resultava diretamente da ação humana. As simulações apontavam que, ao longo do século XXI, a temperatura média global poderia subir entre 1,4 °C e 5,8 °C, superando as estimativas feitas em relatórios anteriores, além de provocar uma elevação do nível do mar entre 9 e 88 cm (Marengo, 2003).

Também se previam alterações no regime de chuvas em regiões de baixa latitude, com oscilações que incluíam tanto aumento quanto redução, marcadas por elevada variabilidade de ano para ano. Em relação ao *El Niño*, previa-se a manutenção da sua amplitude, embora houvesse a possibilidade de intensificação dos efeitos extremos de secas e inundações associados ao fenômeno (Marengo, 2003).

Em fevereiro de 2004, o IPCC apresentou seu Quarto Relatório de Avaliação, conhecido como AR4. Esse documento destacou, de maneira definitiva, os riscos associados ao aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera. O relatório apontou a dificuldade enfrentada pelos países desenvolvidos em efetivamente reduzir suas emissões, além da relutância de algumas nações em desenvolvimento em assumir compromissos para estabilizar ou diminuir a liberação desses poluentes (Marengo e Valverde, 2007).

De acordo com as projeções do AR4, teria um aumento da temperatura média global variando entre 2°C e 4,5°C em comparação aos níveis pré-industriais. A previsão mais aceita indicou um aquecimento médio de aproximadamente 3°C, considerando a hipótese de que a concentração de dióxido de carbono se estabilize em um patamar 45% superior ao atual. Essa nova projeção apresentou maior precisão em relação às estimativas anteriores, divulgadas. O Terceiro Relatório, publicado em 2001, estimava um aumento da temperatura global entre 1,4°C e 5,8°C até 2100 (Marengo e Valverde, 2007).

Enquanto o AR4, reforçou que haveria uma probabilidade de até 90% de que o aquecimento observado desde meados do século XX seja consequência das atividades humanas, especialmente da queima de combustíveis fósseis, um avanço em relação ao relatório de 2001, que considerava essa ligação como "provável" (66% ou mais). Discutiu-se o aumento da temperatura, os estudos do IPCC indicaram que o crescimento na frequência e intensidade de eventos extremos (Marengo e Valverde, 2007).

O Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (AR5), divulgado em 2013, confirmou que o aquecimento global é inequívoco desde meados da década de 1950 e que não possui precedentes nos últimos milhares de anos. O aquecimento afeta a atmosfera, os oceanos e os continentes, acompanhado pela elevação do nível do mar e pelo aumento das concentrações de gases de efeito estufa.

O relatório afirma que é “altamente provável” que as atividades humanas, especialmente a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, sejam a principal causa desse aquecimento. Isso representa um avanço significativo em relação ao Segundo Relatório de 1996, quando a influência humana era considerada apenas “discernível”, evidenciando o progresso da ciência no entendimento das mudanças climáticas e suas origens (Marengo e Souza, 2018).

O sexto relatório do IPCC, intitulado *Climate Change 2021: The Physical Science Basis* (AR6), foi divulgado em 9 de agosto de 2021. Elaborado por 234 autores e aprovado por 195 governos, incluindo o Brasil, o documento reúne mais de 3.900 páginas e baseia-se em pesquisas de mais de 14 mil estudos científicos. Considerado o relatório mais completo sobre mudanças climáticas já publicado, o AR6 supera em abrangência e detalhamento seu antecessor, o AR5, lançado em 2014 (Engelmann, 2021).

O AR6 foi descrito pelo secretário-geral da ONU António Guterres, como um “sinal vermelho para a humanidade”. Este relatório é ainda mais alarmante do que todos os anteriores do IPCC, destacando que os seres humanos são os principais responsáveis pelo aquecimento global, que afeta a atmosfera, os oceanos e a superfície terrestre como um todo, principalmente devido às

emissões de gases de efeito estufa e ao desmatamento insustentável (Miller, 2021).

Segundo o AR6 (2021), mesmo pequenas variações na temperatura média global produzem efeitos significativos no sistema climático, uma vez que cada meio grau de aquecimento intensifica de forma substancial os impactos ambientais e sociais. Atualmente, o planeta já apresenta um aumento aproximado de 1,1 °C em relação ao período pré-industrial (1850–1900), sendo esse aquecimento mais elevado nos continentes, onde alcança 1,6 °C, e menor nos oceanos, com cerca de 0,9 °C, esse cenário já resulta no agravamento de eventos climáticos extremos.

Se o planeta alcançar um aquecimento de 2°C, secas que antes aconteciam uma vez a cada dez anos poderão ocorrer até três vezes no mesmo intervalo, e eventos extremos, que eram raros, poderão se repetir até 14 vezes no mesmo período. Essas alterações trazem sérias consequências para a produção de alimentos, a disponibilidade de água, a biodiversidade, a saúde, a qualidade de vida nas cidades e a geração de energia, comprometendo atividades essenciais para a sobrevivência humana (Rocha, 2021).

O IPCC AR6 (2021) apresentou cinco novos cenários de emissões de gases de efeito estufa, conhecidos como SSPs (*Shared Socioeconomic Pathways*), usando modelos climáticos mais avançados e integrando dados de forma mais precisa. No cenário mais otimista (SSP1-1.9), as emissões de CO₂ cairiam rapidamente, alcançando emissões líquidas zero por volta de 2050 e se tornando negativas depois disso, exigindo ações de remoção de carbono, como reflorestamento em larga escala.

No cenário SSP1-2.6, esse equilíbrio seria atingido mais tarde, por volta de 2080. O cenário intermediário (SSP2-4.5) prevê aumento das emissões nos próximos anos, seguido de uma redução gradual, mas insuficiente para zerar as emissões até o final do século. Já nos cenários mais pessimistas (SSP3-7.0 e SSP5-8.5), as emissões continuariam crescendo nas próximas décadas, embora em diferentes intensidades, agravando ainda mais os impactos climáticos (Rocha, 2021).

Em todos os períodos analisados: curto (2021-2040), médio (2041-2060) e longo prazo (2081-2100), a tendência é que o aquecimento global atinja ou ultrapasse 1,5°C já nas próximas duas décadas, caso não sejam tomadas medidas imediatas e eficazes para reverter essa trajetória. O cenário mais compatível com a realidade atual é o SSP3-7.0, que projeta um aumento de mais de 2°C até 2050 e podendo chegar a 3,6°C ou até 4,6°C até 2100, o que acarretaria alterações climáticas extremas, com consequências potencialmente catastróficas para os ecossistemas e para a humanidade (Rocha, 2021).

Diante das evidências científicas reunidas nos sucessivos relatórios do IPCC, fica claro que o aquecimento global já está em curso, com impactos visíveis em diversos ecossistemas e na vida humana. As atividades humanas, sobretudo a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, seguem como as principais responsáveis pelo aumento das emissões de gases de efeito estufa e, conseqüentemente, pela intensificação das mudanças climáticas.

As projeções indicam que, sem ações globais urgentes e efetivas, a temperatura média continuará subindo, agravando eventos extremos e ameaçando a segurança alimentar, hídrica e energética do planeta. O AR6, além de confirmar esses riscos, também apresenta novas e mais detalhadas projeções sobre diferentes cenários de emissões, permitindo uma visão mais ampla dos possíveis caminhos futuros. Esses dados reforçam a urgência de implementar políticas públicas robustas e soluções sustentáveis que priorizem a mitigação dos impactos. O quadro 1 demonstra os principais pontos de cada relatório, sendo uma síntese da análise, a fim de indicar o processo de evolução dos debates.

Quadro 1 - Síntese da análise dos relatórios do IPCC.

TODOS OS RELATÓRIOS DO IPCC	SEUS PRINCIPAIS PONTOS	A SIGNIFICÂNCIA PARA O DEBATE
AR1(1990)	Apresentou evidências científicas sobre as mudanças climáticas; ocorreu a elaboração da UNFCCC; Demonstrou que as emissões provenientes das atividades humanas estavam elevando a concentração de GEE; Estimou-se que ao longo de cem anos a temperatura da superfície havia aumentado entre 0,3 °C e 0,6°C; projeções futuras para o século XXI aumento de 0,3 °C por década.	Marcou o início do debate climático em escala global ao sistematizar evidências científicas produzidas por inúmeros pesquisadores, conferindo maior credibilidade ao tema. O documento chamou a atenção dos tomadores de decisão para a necessidade de reconhecer a problemática ambiental que se delineava. Entre suas contribuições mais relevantes, destaca-se a criação de um marco institucional global.
AR2(1995)	Implantou o relatório de síntese; divulgou as Diretrizes Revisadas para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa; Serviu como fundamento científico para as negociações que resultaram no Protocolo de Kyoto (1997), o primeiro tratado internacional com metas obrigatórias de redução de emissões; destacou o aumento expressivo no GEE e apontou a elevação da temperatura média entre 0,3°C e 0,6°C.	Teve como preocupação a facilitação do entendimento da comunidade e de governantes, implantando o relatório de síntese. O que possibilitou a sustentação à assinatura do Protocolo de Kyoto, marcando a primeira vez que países industrializados se comprometeram formalmente a reduzir suas emissões.
AR3(2001)	Indicou que a temperatura média da superfície terrestre havia aumentado 0,6 °C, com margem de erro de 0,2 °C; a década de 1990 foram a mais quente, e que 1998 foi o ano mais quente de todo o período observacional (desde 1861); Mostrou que o aquecimento vinha ocorrendo de forma consistente ao longo das quatro décadas anteriores, afetando diferentes camadas da atmosfera até aproximadamente 8 km de altitude; Observou-se também redução de cerca de 10% na cobertura de neve e gelo desde 1960, a elevação do nível médio dos mares e o aumento do conteúdo energético dos oceanos e uma queda na frequência de temperaturas mínimas extremas, ao passo que os registros de máximas extremas se tornaram mais comuns.	A partir do AR3 a percepção de que as mudanças climáticas não eram apenas um desafio ambiental, mas um problema social, econômico e de segurança, começou a se tornar o destaque. Ele introduziu de forma mais contundente o debate sobre justiça climática, ao mostrar que países em desenvolvimento seriam mais vulneráveis apesar de terem contribuído menos para o problema. Esse relatório impulsionou políticas nacionais e regionais de mitigação e adaptação.
AR4 (2004)	Destacou, de maneira definitiva, os riscos associados ao aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera; Apontou a dificuldade enfrentada pelos países desenvolvidos em efetivamente reduzir suas emissões e relutância de algumas nações para assumir a responsabilidade de seus atos; Indicou um aquecimento médio de aproximadamente 3°C; Apresentou maior precisão em relação a estimativas anteriores indicou que houve o crescimento na frequência e intensidade de eventos extremos como secas, enchentes, furacões e ondas de calor e frio.	O AR4 teve enorme impacto político e social. Foi amplamente divulgado pela mídia e aumentou a conscientização pública sobre a gravidade da crise climática. A relevância desse relatório foi reconhecida mundialmente quando o IPCC recebeu o Prêmio Nobel da Paz (2007), em conjunto com <i>Al Gore</i> . Ele também influenciou diretamente a Conferência de Bali (2007), que estabeleceu um roteiro de negociações climáticas internacionais.
AR5 (2013)	Confirmou que o aquecimento global é inequívoco desde meados da década de 1950; Afirma que é “altamente provável” que as atividades humanas, especialmente a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, sejam a principal causa desse aquecimento; O relatório menciona que eventos climáticos extremos, como secas e incêndios florestais, evidenciam a grande vulnerabilidade e exposição de diversos ecossistemas e sistemas humanos às variações climáticas atuais.	Fundamental para a adoção do Acordo de Paris (2015), ao fornecer a base científica para o compromisso global de limitar o aquecimento a bem menos de 2 °C, com esforços adicionais para não ultrapassar 1,5 °C. Esse relatório também fortaleceu o debate sobre responsabilidades diferenciadas entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, além de enfatizar a importância de apoio financeiro e tecnológico para adaptação climática em nações mais vulneráveis.
AR6(2021)	Relatório mais completo sobre o tema das mudanças climáticas; Acende um alerta para a humanidade, demonstrando que até pequenas variações na temperatura global têm efeitos significativos sobre o clima; Mostrou que a terra aumento a sua temperatura cerca de 1,1°C; agravamento dos eventos climáticos extremos; Apresentou cinco novos cenários de emissões de gases de efeito estufa.	Representou um chamado urgente para a ação imediata, definindo a situação atual como uma emergência climática global. Evidenciou que os impactos já estão acontecendo em todas as regiões do planeta (ondas de calor, secas, inundações, elevação do nível do mar) e que eles se intensificarão se não houver redução rápida e profunda das emissões de gases de efeito estufa. E apresentou projeções detalhadas que mostram como diferentes trajetórias de emissão podem levar a aquecimentos de 1,5 °C, 2 °C ou mais.

Elaboração: A autora, 2025.

A publicação do primeiro relatório do IPCC representou um marco fundamental ao trazer para o centro das agendas governamentais e midiáticas a urgência das discussões sobre as mudanças climáticas. Desde então, o tema ganhou maior visibilidade internacional, influenciando políticas públicas, acordos multilaterais e estratégias de adaptação e mitigação em diferentes setores da sociedade. No entanto, mesmo diante da robustez das evidências científicas apresentadas ao longo das últimas décadas, ainda persiste o negacionismo climático.

O negacionismo climático, não apenas questiona a veracidade das mudanças climáticas, mas, subestima os seus efeitos adversos já evidentes e ocorrendo de forma feroz e rapidamente. Essa atitude, se torna um obstáculo para a tomada de decisões, compromete a efetividade das políticas ambientais e dificulta a implementação de ações mitigadoras.

O historiador francês Henry Rousso, ao estudar a Segunda Guerra Mundial, contribuiu para a difusão e consolidação do termo “negacionismo”. Segundo o autor, esse conceito diz respeito à negação intencional de fatos históricos ou científicos já estabelecidos e amplamente aceitos, realizada por meio do uso de argumentos pseudocientíficos, da manipulação de dados e da distorção da historiografia (Santos, 2025 *apud* Rousso, 1987).

Em um contexto de agravamento das mudanças climáticas, essa resistência ideológica pode ampliar desigualdades sociais, intensificar crises humanitárias e colocar em risco a segurança alimentar, hídrica e energética em diversas regiões do planeta. Em síntese, o IPCC desempenha um papel fundamental ao alertar sobre as mudanças climáticas e suas possíveis consequências caso nenhuma ação seja tomada. O documento destaca que já estão em curso transformações amplas, rápidas e irreversíveis em diferentes componentes do clima (IPCC AR6, 2021).

1.3 Impactos na sociedade e no meio ambiente

As mudanças climáticas têm gerado uma série de consequências preocupantes para a sociedade e os ecossistemas naturais. A elevação das temperaturas globais tem intensificado fenômenos climáticos extremos, como tempestades, inundações e longos períodos de seca, colocando em risco a produção de alimentos, o abastecimento de água e a infraestrutura das cidades.

No âmbito social, as populações em situação de vulnerabilidade enfrentam maiores dificuldades, sofrendo perdas econômicas e danos habitacionais. No ambiente natural, as alterações climáticas ameaçam a biodiversidade, aceleram o derretimento das calotas polares, modificam os ciclos ecológicos e comprometem o equilíbrio de habitats essenciais para inúmeras espécies.

O desequilíbrio ambiental, intensificado pelas mudanças climáticas, pode alterar significativamente o modo de vida de populações inteiras. A redução de áreas agricultáveis e a intensificação de eventos climáticos extremos agravam o deslocamento forçado por causas ambientais. Esse cenário demanda a criação de mecanismos políticos e jurídicos para garantir a proteção e os direitos fundamentais dessas pessoas, mesmo que migrem para outras regiões dentro de seus países (Blank, 2015).

Soares e Higuchi (2006) destacam que o efeito estufa é essencial para a manutenção do clima e para a vida na Terra. No entanto, quando os gases desse fenômeno se acumulam em excesso, formam uma camada densa que retém calor de maneira desproporcional, elevando a temperatura da superfície terrestre.

Esse desequilíbrio provoca mudanças climáticas com sérias consequências ambientais e econômicas, afetando especialmente regiões costeiras e pequenos países insulares devido ao aumento do nível do mar, resultado do derretimento das calotas polares e do aquecimento dos oceanos.

1.4 Abordagens de mitigação e adaptação às mudanças climáticas

A acelerada urbanização vivenciada pela sociedade contemporânea, aliada à crescente emergência climática, impõe desafios urgentes que

demandam medidas adaptativas. Essas transformações, que já se manifestam no cotidiano das populações, têm impactos diretos sobre os meios de vida e a subsistência das pessoas (Marques, 2023; Pardal, Christofolletti e Martinez, 2024). Conforme evidenciado pelo IPCC (2022), as mudanças climáticas não são mais uma ameaça distante, mas uma realidade concreta que requer ações imediatas e estratégicas para mitigar seus efeitos e promover uma convivência mais sustentável com o meio ambiente.

Os efeitos das mudanças climáticas têm sido sentidos de forma desigual, impactando de forma desproporcional as populações historicamente vulneráveis (Araújo *et al.*, 2024). Eventos extremos, cada vez mais frequentes e intensos, frequentemente resultam na perda de bens materiais e, em muitos casos, na própria ameaça à vida de comunidades que tiveram uma contribuição mínima para a origem desse fenômeno (Travassos *et al.*, 2020; Torres *et al.*, 2020). Essa desigualdade climática reforça a necessidade de medidas urgentes e específicas para proteger essas populações, garantindo condições de vida dignas e seguras.

Uma resposta eficaz às mudanças climáticas exige uma atuação ativa e estratégica por parte do Estado, que deve assumir a responsabilidade pela criação e implementação de políticas públicas específicas para enfrentar esse desafio (Aronoff *et al.*, 2020). O campo das políticas públicas, por sua natureza multidisciplinar (Souza, 2006; Dye, 2008; Faria, 2013), oferece importantes contribuições não apenas para a análise crítica desse fenômeno, mas também para a formulação de soluções viáveis que possam ser operacionalizadas no âmbito das instituições governamentais.

Essa perspectiva é reforçada por Giddens (2010), que destaca a necessidade de respostas institucionais sólidas e coordenadas para lidar com a complexidade das questões climáticas. O autor argumenta que apenas uma governança robusta e colaborativa será capaz de enfrentar a magnitude desse problema. Além disso, Giddens sublinha que a mudança climática desafia as bases tradicionais de formulação de políticas, demandando soluções inovadoras e uma profunda articulação entre diferentes níveis de governo, sociedade civil e agentes econômicos.

Considerando os desafios impostos pelas mudanças climáticas, a adoção de estratégias adaptativas torna-se imprescindível para mitigar seus impactos.

Entre essas estratégias, destacam-se medidas de infraestrutura que demandam planejamento e implementação contínuos, principalmente por meio de políticas públicas (Barbi, 2015). Nesse cenário, as cidades ocupam uma posição central, desempenhando um papel estratégico na aplicação de instrumentos de planejamento urbano.

Conforme apontado por diversos estudiosos (Barbi, 2015; Monier *et al.*, 2018; Giulio *et al.*, 2019; Ferreira, 2020; Espíndola & Ribeiro, 2020), instrumentos de planejamento urbano são fundamentais para que a gestão pública em frente de forma eficaz essa questão complexa e multissetorial. No entanto, apesar de sua indiscutível relevância, o tema das mudanças climáticas ainda ocupa um espaço limitado nas políticas públicas municipais no Brasil (Espíndola e Ribeiro, 2020).

A discussão apresentada neste capítulo é essencial para situar a pesquisa referente a mudanças climáticas. Ao revisar a evolução histórica dos acordos internacionais e a consolidação dos relatórios do IPCC, observou-se a crescente preocupação da comunidade científica e política com os impactos globais do aquecimento do planeta. Essa revisão fornece não apenas o embasamento conceitual necessário, mas também o suporte científico que legitima a relevância da pesquisa e elucida a compreensão dos fenômenos.

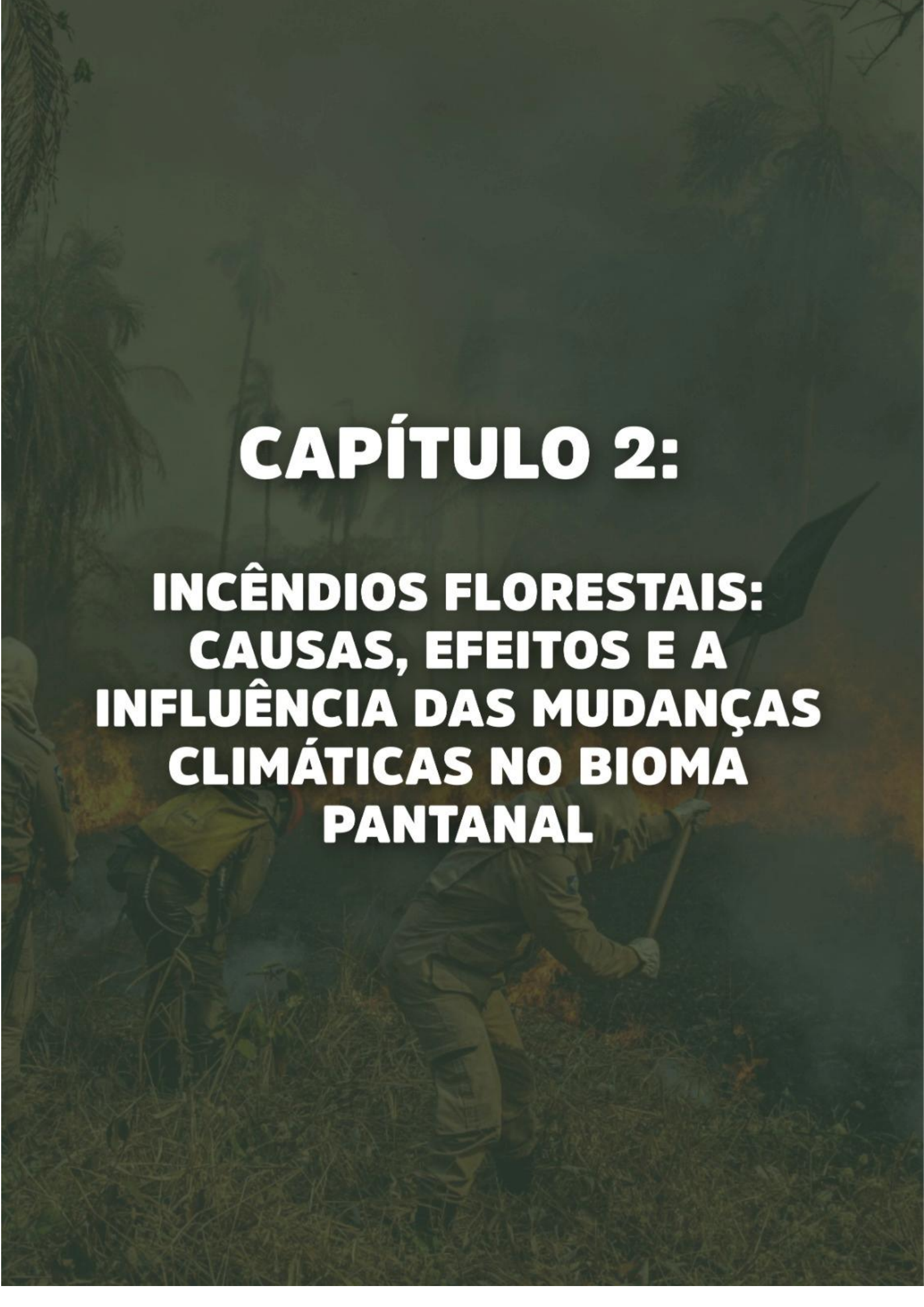
Ao buscar compreender sobre a temática das alterações climáticas, como seus fenômenos, como é derivado e quais foram os acordos até o momento que trata sobre o tema, serve como base para estudar e compreender esses efeitos nos municípios de Corumbá e Ladário. Importante compreender a relação entre as mudanças climáticas a intensificação de seus efeitos na área de estudo, devido ao contexto climático do Pantanal, onde a vulnerabilidade ambiental se soma a fatores socioeconômicos que amplificam esses riscos.

A reflexão desenvolvida auxilia na justificativa da pesquisa proposta, pois ampara as evidências de que os fenômenos globais, descritos em relatórios internacionais, encontram-se em crescente evolução e representam um grande desafio. Dessa forma, investigar as mudanças climáticas e seu papel na intensificação dos incêndios florestais nesses municípios é não apenas pertinente, mas necessário para ampliar o entendimento sobre como as mudanças climáticas se materializam em escalas regionais.

Além disso, compreender essa relação torna-se fundamental para subsidiar análises mais detalhadas sobre os impactos ambientais observados no bioma Pantanal, especialmente diante do aumento da frequência e da intensidade de eventos extremos registrados nas últimas décadas. A articulação entre o cenário global e as manifestações locais permite estabelecer uma base interpretativa consistente para a investigação proposta, reforçando a relevância científica e social do estudo.

Assim, este capítulo inicial cumpre o papel de construir a fundamentação teórica e histórica sobre as mudanças climáticas, preparando o leitor para a análise do espaço em que a pesquisa se insere, bem como para a compreensão das relações entre os fenômenos climáticos globais e suas manifestações em escala regional, que serão aprofundadas nos capítulos seguintes.

No capítulo seguinte, serão discutidos os incêndios florestais, suas causas, seus efeitos e a influência das mudanças climáticas no bioma Pantanal. Também será abordada a diferença conceitual entre incêndio florestal e queimada, aspecto fundamental para compreender os distintos usos do fogo no território e suas consequências ambientais, sociais e ecológicas, bem como sua relação com as práticas antrópicas e com as condições climáticas que favorecem a propagação do fogo.

The background image shows a forest fire with thick smoke and flames. In the foreground, two firefighters in full protective gear are visible. One firefighter is on the left, and another is on the right, using a tool to manage the fire. The scene is dark and smoky, emphasizing the severity of the fire.

CAPÍTULO 2:

INCÊNDIOS FLORESTAIS: CAUSAS, EFEITOS E A INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BIOMA PANTANAL

CAPÍTULO 2: INCÊNDIOS FLORESTAIS: CAUSAS, EFEITOS E A INFLUÊNCIA DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BIOMA PANTANAL

O bioma Pantanal vêm sofrendo com as secas históricas de suas áreas que antes ficavam totalmente alagadas. As planícies de inundação do local contêm grandes quantidades de biomassas orgânicas o que facilita os incêndios florestais e o agravamento desse fenômeno, em áreas de difícil acesso se torna impossível o controle do fogo. Essas consequências estão ligadas às alterações climáticas e também a ação humana, principalmente.

Os incêndios florestais configuram-se como um dos principais problemas ambientais enfrentados no Brasil. No ano de 2023, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) registrou mais de 22 mil focos de incêndio no Pantanal, o maior número observado desde o início dos registros sistemáticos em 1998 (Ferreira; Silva, 2023). Os incidentes de incêndios acarretam o lançamento de gases de efeito estufa no planeta contribuindo para o aquecimento global e as mudanças climáticas (Nascimento *et al.*, 2023).

Os incêndios florestais causam impactos diretos, como a destruição da vegetação nativa, a redução da fauna e flora, prejuízos à produção agropecuária, danos à infraestrutura e perdas na exploração de produtos florestais. Entre os impactos indiretos, destacam-se o aumento de internações hospitalares por problemas respiratórios e também a interrupção do tráfego terrestre e aéreo (Anderson, 2019).

A utilização do fogo como método de manejo da vegetação constitui uma prática tradicional no Pantanal, sendo aplicada tanto na agricultura quanto na pecuária. Esse manejo ocorre predominantemente em áreas de campo limpo, campo cerrado e campo sujo (Soriano *et al.*, 2020). A diferenciação entre os incêndios e a utilização do fogo no manejo está explicado no tópico 2.1. No Pantanal, o fogo pode ter origem natural, como a partir da incidência de raios, ou ser decorrente de ações antrópicas, sejam elas acidentais ou intencionais (Libonati *et al.*, 2020).

A ocorrência e a propagação dos incêndios florestais estão intrinsecamente relacionadas às condições climáticas. A intensidade do fogo e a

velocidade com que ele se dissemina dependem, principalmente, da umidade relativa do ar, da temperatura e da velocidade dos ventos (Soriano, 2015). Diversos fatores influenciam tanto a ignição quanto o comportamento do fogo, entre eles o clima, a cobertura vegetal (ou o uso da terra), a topografia, a atividade humana (Wu *et al.*, 2014) e a textura do solo (Pradhan *et al.*, 2007; Pourtaghi *et al.*, 2016).

O clima é um dos principais fatores que contribuem para a ignição do fogo, sendo que a temperatura média anual e a precipitação são frequentemente utilizadas como variáveis climáticas para os regimes de incêndio. Esses parâmetros são determinantes no controle do teor de umidade do combustível e nas condições meteorológicas gerais (Xystrakis e Koutsias, 2013; Wu *et al.*, 2014).

As projeções climáticas para cenários futuros apontam para um aumento na temperatura global e maior frequência de eventos climáticos extremos (Júnior *et al.*, 2021), como tempestades, que têm o potencial de agravar ainda mais o risco atual de incêndios florestais (Busico *et al.*, 2019).

O Brasil apresenta a maior frequência de incêndios na América do Sul (Li *et al.*, 2020; De Oliveira Júnior *et al.*, 2021). Dentre os biomas brasileiros, o Cerrado é o único cuja dinâmica ecológica evoluiu em associação ao fogo (Schmidt e Eloy, 2020). No entanto, incêndios de grandes proporções historicamente afetaram não apenas o Cerrado, mas também a Amazônia e o Pantanal (Libonati *et al.*, 2020; Schmidt e Eloy, 2020).

Esses biomas registraram incêndios severos nas estações secas de 2019 e 2020, embora, na Amazônia, a seca desses anos não tenha sido tão intensa quanto nas de 2005, 2010 e 2015. Em 2019, a fumaça proveniente dos incêndios amazônicos atingiu São Paulo, localizada a mais de 2.700 km dos focos de incêndio, e, em 2020, cerca de um terço do Pantanal foi consumido pelo fogo (Libonati *et al.*, 2020; Schmidt e Eloy, 2020).

Tais eventos extremos não apenas reforçam a gravidade e a abrangência dos incêndios, como também evidenciam a fragilidade crescente dos biomas brasileiros diante das alterações climáticas e da intensificação das atividades humanas. O aumento do desmatamento, a deterioração dos ecossistemas e a maior incidência de períodos de estiagem favorecem a vulnerabilidade desses

ambientes ao fogo, comprometendo a estabilidade ecológica que historicamente sustentou a biodiversidade local.

Ademais, os impactos provocados pelos incêndios florestais extrapolam as áreas diretamente atingidas, alcançando também centros urbanos situados no entorno das regiões afetadas. Nos grandes incêndios registrados em 2023 e 2024, por exemplo, municípios como Bonito, Jardim, Dourados, entre outros, sofreram com a intensa presença de fumaça proveniente dos focos de incêndio, o que comprometeu a qualidade do ar e gerou consequências socioambientais significativas.

A propagação da fumaça por extensas áreas não apenas compromete a qualidade do ar e afeta a saúde pública, especialmente entre grupos mais vulneráveis, como crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias preexistentes, mas também causa danos significativos à fauna e flora locais. A perda de habitats naturais devido ao fogo coloca em risco diversas espécies, que enfrentam a destruição de seus territórios e a diminuição de recursos alimentares e abrigos.

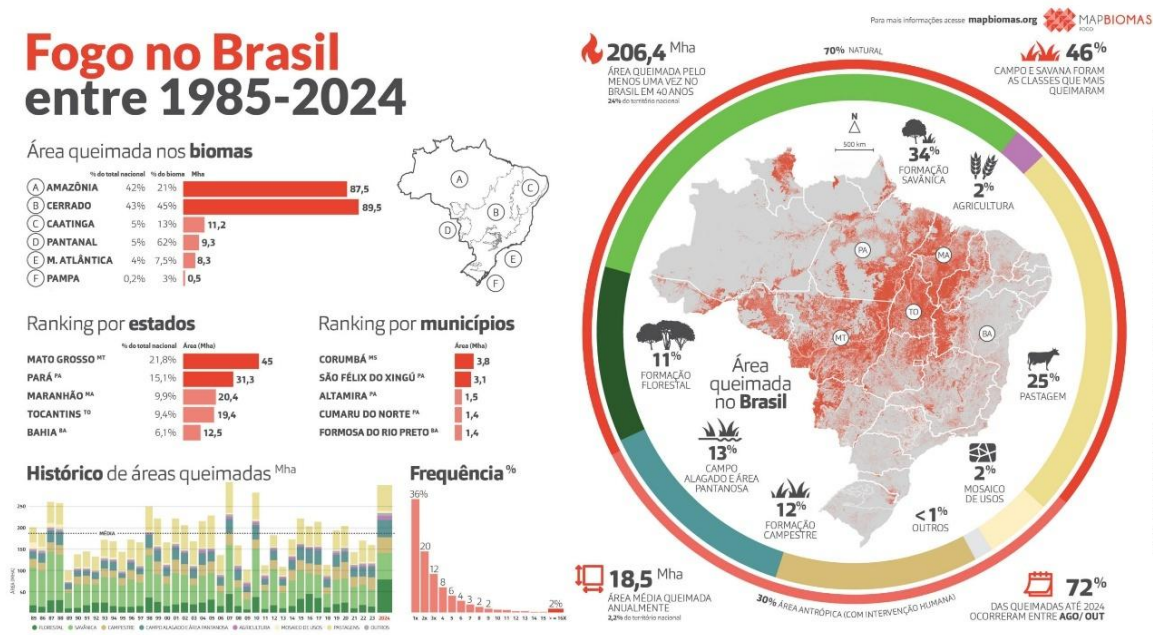
Além dos impactos à saúde e à biodiversidade, esses eventos geram prejuízos econômicos, com a interrupção de atividades turísticas e produtivas em regiões que dependem diretamente do meio ambiente preservado. Assim, os incêndios florestais revelam uma dimensão que ultrapassa a degradação ambiental, atingindo também aspectos sociais e econômicos das populações afetadas.

De acordo com dados do MapBiomas (1985–2024), o Brasil registrou a queima de aproximadamente 206,4 milhões de hectares, correspondendo a cerca de 24% do território nacional atingido pelo fogo ao menos uma vez nos últimos 40 anos. Observa-se que os biomas Cerrado e Amazônia concentram as maiores áreas afetadas pelo fogo, com 89,5 e 87,5 milhões de hectares respectivamente, o que evidencia a vulnerabilidade desses ecossistemas às pressões antrópicas e climáticas.

Em uma escala municipal, Corumbá (MS) aparece em primeiro lugar, acumulando cerca de 3,8 milhões de hectares queimados, o que reforça a centralidade do Pantanal nesse processo. Além disso, os dados revelam que 72% dos incêndios ocorrem entre agosto e outubro, coincidindo com o auge da

estiagem, e que grande parte da área afetada está relacionada a pastagens e formações savânicas, reforçando a estreita conexão entre uso da terra, expansão agropecuária e dinâmica do fogo. A figura 3 descreve essa situação.

Figura 3 - Áreas afetadas pelo fogo no Brasil entre 1985 e 2024, por biomas, estados e municípios.



Fonte: MapBiomias, 2025.

Esses dados nacionais, quando relacionados ao contexto pantaneiro, evidenciam ainda mais a gravidade da situação em Corumbá e Ladário. A comparação entre os anos evidencia que, embora existam padrões espaciais recorrentes, como a concentração no setor norte, há também oscilações sazonais importantes, que acompanham as fases de transição entre o período úmido e o seco.

Esse comportamento reforça a correlação entre a sazonalidade climática e a incidência de incêndios, confirmando que a seca prolongada atua como principal condicionante para a ampliação das áreas de risco. Além disso, a proximidade entre áreas de alta incidência e as zonas urbanas de Corumbá e Ladário sinaliza riscos socioambientais relevantes, tanto pela ameaça direta às populações quanto pelos impactos indiretos na qualidade do ar, na saúde pública, na fauna e flora e nas atividades econômicas dependentes da integridade dos ecossistemas pantaneiros.

2.1 Diferenças conceituais entre incêndios florestais e queimadas

As queimadas controladas e os incêndios florestais figuram entre as principais ameaças à preservação da biodiversidade em escala global. Além dos danos diretos causados à fauna e à flora, essas práticas também provocam impactos ambientais indiretos significativos, como o aumento da suscetibilidade do solo à erosão e a emissão de grandes volumes de gases de efeito estufa na atmosfera, contribuindo para o agravamento das mudanças climáticas (Soares; Batista, 2007; White *et al.*, 2013).

Ressalta-se que a queimada é uma prática planejada e controlada para o manejo da vegetação, enquanto o incêndio florestal é a queima inesperada e descontrolada, geralmente causada pela dificuldade em conter o fogo (Garcia *et al.*, 2024). Embora a queima controlada da biomassa seca vise reduzir o material combustível e, conseqüentemente, o risco de incêndios de grandes proporções, sua aplicação inadequada pode ocasionar a propagação do fogo para áreas de vegetação íntegra, contribuindo para a ocorrência de incêndios florestais (Ferreira; Silva, 2023).

No Pantanal, a utilização do fogo para a renovação de pastagens destinadas à criação de gado, bem como para o controle de parasitas e a limpeza da vegetação herbácea, constitui uma prática tradicional e histórica. No bioma pantaneiro, o uso controlado do fogo tem sido empregado há séculos por populações locais e pecuaristas como uma estratégia de manejo da paisagem e dos campos naturais.

Essa prática está associada às características ecológicas do Pantanal e ao sistema extensivo de pecuária, sendo considerada, em muitos casos, um método culturalmente consolidado para manter a produtividade das pastagens e facilitar o manejo do rebanho.

Diversos estudiosos têm chamado atenção para o uso inadequado e o manejo ineficiente do fogo em atividades pastoris, destacando que tais práticas não apenas ameaçam a conservação da biodiversidade (Marques, 2021), como também geram consequências econômicas e sociais prejudiciais para as

comunidades locais (Alho; Silva 2012; Alho *et al.*, 2019; Aragão *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2011; Marengo *et al.*, 2021).

A legislação federal brasileira, por meio do Decreto nº 2.661/1998, regula o uso do fogo, permitindo sua aplicação exclusivamente em práticas de manejo e produção agropecuária. O artigo 2º do decreto define a "queima controlada" como a utilização do fogo para fins agropastoris, florestais ou de pesquisa científica, desde que seja realizada em áreas previamente delimitadas (Brasil, 1998).

O artigo 3º estabelece que essa prática só pode ser realizada com autorização prévia do órgão competente do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), responsável pela região onde a queima ocorrerá. Dessa forma, a legislação busca garantir que o uso do fogo seja controlado e esteja em conformidade com as normas ambientais, equilibrando as necessidades de produção com a preservação ambiental (Brasil, 1998).

Ainda assim, diversos municípios têm adotado posturas mais restritivas, proibindo totalmente a prática em função dos impactos negativos à qualidade do ar e dos riscos à saúde pública provocados pela emissão de fuligem e outros poluentes (White; White, 2016). Temos como exemplos o Decreto nº 15.654/2021 que institui o Plano Estadual de Manejo Integrado do Fogo (PEMIF), que estabelece diretrizes para o uso controlado do fogo em atividades agropastoris e florestais, com o objetivo de prevenir e controlar incêndios florestais em Mato Grosso do Sul.

Além disso, a Resolução Conjunta SEMAC-IBAMA/MS nº 01/2013 proíbe a realização de queima controlada no território estadual entre 1º de agosto e 30 de setembro, estendendo-se até 31 de outubro nas áreas do Bioma Pantanal. No entanto, exceções são permitidas para casos específicos, como a queima de canaviais e capacitação técnica, desde que autorizadas pelos órgãos competentes (Mato Grosso do Sul, 2013).

Em 2023, foi sancionada a Lei nº 6.160, que trata da conservação, proteção, restauração e exploração ecologicamente sustentável da Área de Uso Restrito da Planície Pantaneira (AUR-Pantanal). Esta lei estabelece normas para o uso do fogo como ferramenta de proteção do bioma, desde que a queima seja

ambientalmente licenciada, seja como queima controlada ou prescrita (Mato Grosso do Sul, 2023).

Nesse contexto, o Manejo Integrado do Fogo (MIF) surgiu como uma resposta às limitações das estratégias tradicionais de combate ao fogo, propondo uma abordagem que busca equilibrar os impactos negativos das queimadas com os benefícios ecológicos, culturais e produtivos que o uso controlado do fogo pode proporcionar em determinados ecossistemas (Catapani, 2024).

O MIF associa dimensões ecológicas, culturais, socioeconômicas e técnicas, integrando ações voltadas para o uso racional do fogo. Fundamenta-se em um processo contínuo de monitoramento, avaliação, adaptação e redirecionamento das práticas, com o objetivo de reduzir as emissões de material particulado e gases de efeito estufa, conservar a biodiversidade, minimizar a severidade dos incêndios florestais e, ao mesmo tempo, respeitar os usos tradicionais e adaptativos do fogo por comunidades locais (Brasil, 2023).

Em reconhecimento à relevância dessa abordagem, foi instituída, em 2024, a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, a qual estabelece diretrizes para sua implementação em todos os biomas e regiões do país. Essa política valoriza os saberes tradicionais das comunidades locais e indígenas, promovendo a integração entre o conhecimento científico e os saberes ancestrais, com o objetivo de fortalecer a conservação ambiental e a resiliência dos ecossistemas brasileiros (Brasil, 2024).

A consolidação de políticas específicas, como o Manejo Integrado do Fogo e a recente Política Nacional de MIF, representa um avanço significativo ao reconhecer que soluções eficazes dependem da integração entre ciência, gestão ambiental, legislação e saberes tradicionais. Assim, o desafio atual consiste em fortalecer a governança, ampliar o monitoramento, promover a capacitação das comunidades locais e garantir que o uso do fogo ocorra de forma planejada, técnica e ambientalmente responsável.

Somente por meio de uma abordagem verdadeiramente integrada será possível reduzir a incidência de incêndios de grandes proporções, proteger a biodiversidade e assegurar a sustentabilidade dos ecossistemas pantaneiros e dos demais biomas brasileiros. Isso implica reconhecer que o fogo, enquanto

ferramenta ecológica, cultural e produtiva, não pode ser tratado apenas como um problema, mas como um fenômeno complexo.

2.2 Causas naturais e antrópicas dos incêndios

Os incêndios florestais podem ser desencadeados por uma variedade de fatores, classificados em causas naturais e antrópicas. As causas naturais, embora menos frequentes, ocorrem principalmente devido à ação de raios, que podem atingir áreas secas e inflamáveis durante tempestades. Por outro lado, a maioria dos incêndios tem origem antrópica, ou seja, está relacionada à ação humana, seja ela intencional ou acidental. A queima de vegetação para limpeza de pastagens, práticas agrícolas inadequadas, descarte incorreto de cigarros e fogueiras mal apagadas são exemplos recorrentes.

No contexto brasileiro, os incêndios florestais são majoritariamente provocados por ações humanas, com destaque para a queima de áreas destinadas à agropecuária, que representa a maior parcela, aproximadamente 63,7% da área total afetada. Outros fatores também relacionados ao comportamento humano incluem incêndios criminosos, responsáveis por 14,7% dos casos, e aqueles originados por acidentes ou atividades recreativas, que somam 11,6%. Há ainda outras causas menos expressivas, como fumantes (2,9%), proximidade com ferrovias (0,5%) e, por fim, os eventos naturais, que respondem por apenas 0,2% das ocorrências, segundo levantamento de Soares (1992).

O grau de perigo de um incêndio florestal é influenciado por dois tipos principais de fatores: os constantes e os variáveis. Os fatores constantes dizem respeito às características permanentes do ambiente, como o tipo de vegetação presente, que define o material combustível, e o relevo da área afetada. Já os fatores variáveis estão ligados às condições momentâneas do clima e da vegetação, como a umidade do material combustível e elementos meteorológicos como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade e direção dos ventos e ocorrência de chuvas (Torres *apud* Nunes, 2005).

Essa abordagem amplia a compreensão do fenômeno ao incluir não apenas os fatores ambientais, mas também as práticas, costumes e

comportamentos humanos que influenciam diretamente o surgimento do fogo (Torres *et al.*, 2011). Evidências arqueológicas indicam que, já em períodos pré-históricos, muitos incêndios florestais foram desencadeados por atividades humanas, intencionais ou não (Fiedler *et al.*, 2006).

Nesse contexto, a ausência de fiscalização eficiente e de políticas públicas voltadas à educação ambiental contribui para a manutenção de práticas perigosas e culturalmente enraizadas. Diante do exposto, fica evidente que os incêndios florestais no Pantanal não são resultado apenas de condições naturais, mas sim de uma complexa interação entre clima, vegetação e, principalmente, ações humanas.

Diante desse conjunto de fatores, torna-se evidente que os incêndios florestais no Pantanal resultam de uma dinâmica multifacetada, na qual elementos ambientais, climáticos e socioculturais se entrelaçam. Embora condições naturais, como descargas atmosféricas, possam atuar como gatilhos ocasionais, é a ação humana, intencional ou não, que exerce papel predominante na deflagração e propagação dos incêndios, especialmente quando associada a períodos de seca severa e ao acúmulo de material combustível.

Assim, compreender e enfrentar os incêndios florestais no bioma requer não apenas o monitoramento das condições ambientais, mas sobretudo a adoção de estratégias de gestão que integrem ciência, políticas públicas e atuação comunitária. Somente por meio dessa abordagem sistêmica será possível mitigar os impactos dos incêndios, proteger a biodiversidade pantaneira e promover a sustentabilidade socioambiental da região.

2.3 A intensificação dos incêndios na última década

A intensificação dos incêndios no Pantanal na última década tem se revelado um dos maiores desafios ambientais do Brasil, com consequências devastadoras para a fauna, a flora e as comunidades tradicionais da região. Esse bioma, conhecido por sua rica biodiversidade e por ser a maior planície alagável do mundo, tem sofrido com os incêndios florestais cada vez mais frequentes e

intensos, impulsionadas por longos períodos de seca, ações humanas ilegais e os efeitos das mudanças climáticas.

O Pantanal, localizado nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, tem passado por significativas transformações em função da expansão do agronegócio, setor que sustenta a base econômica da região. Nos últimos anos, observa-se uma crescente adoção de modelos produtivos voltados à monocultura, sobretudo de grãos, além da intensificação das atividades pecuárias. A pecuária, que tradicionalmente era praticada de forma extensiva, tem sido substituída por sistemas intensivos e semiextensivos, o que resulta, entre outras consequências, na substituição de pastagens nativas por áreas cultivadas (Dalla Nora *et al.*, 2024 *apud* Rossetto, 2015; Schulz *et al.*, 2019).

A maior planície úmida do planeta, o Pantanal, tem registrado um processo de secamento progressivo ao longo das últimas décadas. De acordo com o Projeto MapBiomas (2020), a diferença entre a área coberta por água e campos alagados durante as cheias de 1988/1989 e 2018 foi de 29%. Na cheia de 1988/1989, que marcou o início da série histórica de imagens de satélite analisadas pelo projeto, a área alagada totalizava 5,9 milhões de hectares. Já em 2018, essa área foi reduzida para 4,1 milhões de hectares. O cenário mais crítico foi observado em 2020, quando a área coberta por água e campos alagados caiu para apenas 1,5 milhão de hectares, o menor valor registrado nos últimos 36 anos.

Entre todos os biomas brasileiros, o Pantanal foi o que registrou o maior índice de incêndios nos últimos 36 anos, com 57% de seu território afetado pelo fogo em algum momento desse período, o que corresponde a 86.403 km². As áreas de vegetação campestre e savanas foram as mais impactadas, representando mais de 75% das áreas atingidas. No total, 93% dos incêndios ocorreram em vegetação nativa, enquanto apenas 7% afetaram áreas antrópicas (Dalla Nora *et al.*, 2024).

Em 2024, os incêndios registrados no Pantanal atingiram níveis históricos, considerando toda a série de monitoramento iniciada em 1998, sendo intensificados pelas condições associadas ao fenômeno *El Niño* (Rossi; Prazeres; Lemos, 2024). Segundo Câmara (2024), em 2020, aproximadamente 26% do bioma foi afetado por incêndios ao longo de vários meses, ocasionando

impactos sobre cerca de 65 milhões de animais vertebrados e 4 bilhões de invertebrados. No primeiro semestre de 2024, o número de focos de incêndio já havia ultrapassado em 8% o registrado no mesmo período de 2020, evidenciando a magnitude dos eventos ocorridos naquele ano.

O ano de 2024 ficou marcado por inúmeras reportagens discutindo sobre as áreas afetadas pelo fogo no Pantanal. Uma delas é a reportagem “Fogo no Pantanal: chamas consumiram área de 90 mil campos de futebol nos últimos 40 anos” (Figura 4) revelou dados alarmantes que ajudam a dimensionar o desgaste ambiental que acumulou em 2024. Segundo o MapBiomas, entre 1985 e 2024, aproximadamente 9,3 milhões de hectares do Pantanal foram atingidos pelas chamas, o que equivale à dimensão de cerca de 90 mil campos de futebol (França, 2025).

Figura 4 - Reportagem sobre o fogo no Pantanal.

Fogo no Pantanal: chamas consumiram área de 90 mil campos de futebol nos últimos 40 anos

Bioma é o mais afetado do país em termos de proporção da área atingida por incêndios, conforme aponta levantamento do MapBiomas. Estudo analisou dados que compreendem período de 1985 a 2024.

Fonte: G1, 2025.

Outra reportagem revelou a preocupação no ano de 2024 sobre os incêndios, mostrando que a situação no primeiro semestre foi alarmante, “Focos de incêndio no Pantanal crescem 931% no 1º semestre de 2024” (Figura 5). Os dados fornecidos pelo INPE mostraram que houve um salto de 91 focos no período de janeiro a junho de 2023 para 939 focos no mesmo intervalo de 2024, um aumento de 931%. Em Mato Grosso do Sul, por exemplo, os focos passaram de 52 para 521 no mesmo semestre, o que demonstrou que o bioma estava não apenas mais exposto, mas que a intensidade e frequência desses focos cresceram rapidamente (G1, 2024).

Figura 5 - Focos de incêndios no Pantanal em 2024.

Focos de incêndio no Pantanal crescem 931% no 1º semestre de 2024

Apenas em Mato Grosso do Sul, foram 521 focos neste ano. Bombeiros tentam conter fogo que se espalha em área alagada, na região de Corumbá (MS).

Por g1 MS

04/06/2024 18h43 · Atualizado há um ano

Fonte: G1, 2024.

Com a seca severa, além dos grandes incêndios florestais, como um dos grandes desafios para o Bioma, o registro do Rio Paraguai chegou a nível extremamente negativos, em 2024 indicando o pior da seca da história. A reportagem "Rio Paraguai, principal bacia do Pantanal, registra níveis negativos e projeções indicam pior seca da história", publicada em setembro de 2024 (Figura 6), destaca a situação crítica enfrentada pelo bioma pantaneiro. O Rio Paraguai, principal curso d'água da região, registrou níveis abaixo da média histórica, com a estação de Ladário (MS) atingindo -60 cm, apenas 1 cm acima do menor nível já registrado em 1964 (Câmara, 2024).

Figura 6 - Principal bacia do pantanal com níveis negativos.

Rio Paraguai: principal bacia do Pantanal registra níveis negativos e projeções indicam pior seca da história

Das 21 estações de medição no Rio Paraguai, 18 estão com níveis abaixo do esperado; três réguas estão em patamares negativos. Estiagem compromete a navegabilidade, expõe vegetação ao fogo e ameaça animais.

Por **José Câmara**, g1 MS

07/09/2024 03h30 · Atualizado há um ano

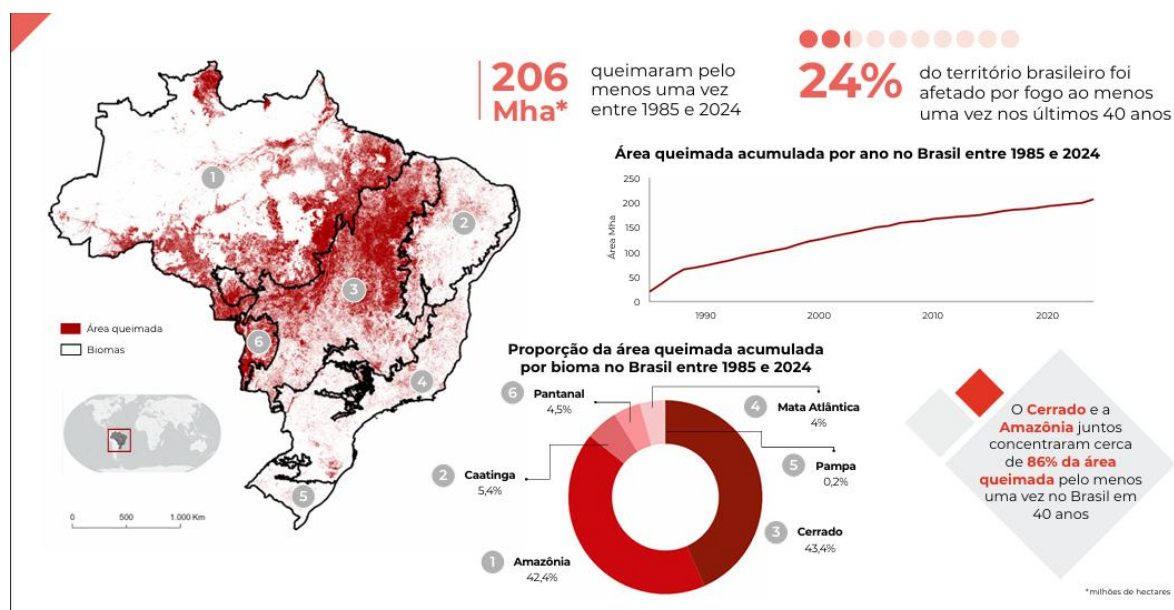
Fonte: G1, 2024.

O MapBiomas disponibiliza uma série de infográficos relacionados à ocorrência de incêndios no Brasil, constituindo uma importante base de dados para a análise temporal e espacial da ocorrência do fogo nos diferentes biomas do país. O Pantanal se destaca pela severidade dos impactos ecológicos provocados pelos incêndios, em razão de sua elevada biodiversidade, da presença de espécies altamente sensíveis às variações ambientais e de sua significativa fragilidade ecológica. Trata-se de um bioma caracterizado por um equilíbrio ambiental delicado, no qual alterações no regime hídrico e climático podem intensificar de forma expressiva a ocorrência e a propagação do fogo.

A Figura 7, referente ao Pantanal, evidencia que, a partir de 1998, a ocorrência do fogo passou a ocorrer de forma mais recorrente, indicando uma mudança no padrão histórico de ocorrência do fogo no bioma. Esse comportamento pode estar associado tanto às transformações no uso e ocupação da terra quanto às variações climáticas observadas nas últimas décadas.

No entanto, foi em anos considerados críticos, como 2020 e 2024, que os valores da área atingiram recordes históricos, revelando a elevada vulnerabilidade do Pantanal diante de eventos climáticos extremos. Esses períodos foram marcados por secas prolongadas, redução significativa do nível dos rios, aumento das temperaturas e intensificação do fenômeno *El Niño*, condições que favorecem o ressecamento da vegetação e aumentam consideravelmente a suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais.

Figura 7 – Áreas afetadas pelo incêndio no Brasil Entre 1985 e 2024.



Fonte: MapBiomias, 2025.

A partir da análise desses gráficos e imagens, é possível observar que, embora o Pantanal não esteja entre os biomas com as maiores médias anuais de áreas atingidas por incêndios, quando comparado ao Cerrado e à Amazônia, a ocorrência desses eventos apresenta relevância significativa devido à sua frequência, intensidade e aos impactos provocados sobre a vegetação e os ecossistemas.

Diante desse cenário, torna-se urgente a implementação de políticas públicas eficazes, fundamentadas em evidências científicas, voltadas à prevenção e ao controle do uso do fogo, bem como à proteção das áreas naturais remanescentes. Além disso, é fundamental fortalecer a fiscalização ambiental e promover modelos de desenvolvimento sustentável que respeitem os limites ecológicos do Pantanal, assegurando a conservação deste ecossistema único para as futuras gerações.

A discussão apresentada neste capítulo contribui para a compreensão da pesquisa ao evidenciar a complexidade dos incêndios florestais no bioma Pantanal, suas causas e dinâmicas. Esse aprofundamento permite reforçar que o problema ultrapassa as dimensões locais, estando diretamente articulado às

mudanças climáticas globais e às transformações no uso e cobertura da terra. Assim, a análise aqui construída fornece a base necessária para justificar a relevância do estudo realizado.

As inúmeras pesquisas e relatórios elaborados por instituições como o MapBiomass reforçam e confirmam os efeitos adversos das mudanças climáticas sobre o bioma Pantanal. A intensificação dos incêndios florestais, associada tanto a fatores climáticos quanto antrópicos, evidencia a necessidade de compreender como esses eventos se distribuem no espaço e no tempo, bem como de que forma sua ocorrência tem se tornado mais frequente e intensa nas últimas décadas.

A análise dessas informações possibilita identificar padrões, tendências e períodos críticos, aspectos fundamentais para subsidiar políticas públicas de mitigação, estratégias de manejo do fogo e ações voltadas à conservação ambiental. Além disso, o entendimento da dinâmica das áreas afetadas contribui para a avaliação dos impactos ecológicos, sociais e econômicos decorrentes desses eventos, especialmente em um bioma marcado por elevada sensibilidade às variações climáticas.

Nesse contexto, torna-se indispensável aprofundar o conhecimento sobre o espaço onde a pesquisa se desenvolve, considerando que as características naturais e socioambientais do Pantanal influenciam diretamente a ocorrência e a propagação dos incêndios florestais. Assim, o próximo capítulo foi dedicado à caracterização da área de estudo, apresentando uma descrição detalhada do bioma Pantanal, suas especificidades geográficas, ambientais e sociais, com ênfase no recorte espacial correspondente aos municípios analisados na pesquisa.

An aerial photograph of a city, likely Rio de Janeiro, showing a dense urban area with various buildings and green spaces. In the foreground, there is a body of water with a bridge and a large area of green vegetation. In the background, a range of mountains is visible under a clear sky.

CAPÍTULO 3:

A METODOLOGIA DO ESTUDO

CAPÍTULO 3: MÉTODOS, TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DO ESTUDO

Neste capítulo são apresentados os materiais e os métodos utilizados para a elaboração da pesquisa, bem como a descrição dos procedimentos adotados na coleta e análise de dados, incluindo as abordagens qualitativa e quantitativas, fontes utilizadas, o recorte temporal e espacial e as ferramentas de análises escolhidas.

3.1 Análise qualitativa para a elaboração da dissertação

Para a compreensão de dados, a integração de uma análise qualitativa e quantitativa se torna importante para obter melhores resultados e a escolha do método adequado para a pesquisa. Como destaca Proetti (2017):

Os métodos qualitativos e quantitativos não se excluem, e contribuem para o entendimento e a quantificação dos aspectos lógicos e essenciais de um fato ou fenômeno estudado. São procedimentos de cunho racional, intuitivo e descritivo que auxiliam os pesquisadores em seus estudos científicos e profissionais.

A etapa qualitativa baseou-se na interpretação dos dados climáticos e contextualização do que seria a mudança climática, os seus efeitos na sociedade e os impactos ambientais no Pantanal. Os procedimentos adotados foram os seguintes: Revisão bibliográfica, analisando artigos, revistas, capítulos de livros e reportagens de jornais, com foco em quatro eixos temáticos principais: incêndios florestais, eventos extremos climáticos, mudanças climáticas globais, regionais e locais; vulnerabilidade ambientais e ferramentas de geotecnologias.

Para a consulta aos dados utilizou relatórios oficiais, como os relatórios do IPCC, artigos científicos dos repositórios da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), sites de busca de artigos científicos como: *Scielo*, *Google Scholar* e *ResearchGate*. Entre as principais fontes utilizadas destacam-se os dados de órgão como INPE, IBAMA, WMO (*World Meteorological Organization*), e publicações de autores da área de estudo.

3.2 Análise quantitativa para a elaboração da dissertação

Esta etapa foi voltada à coleta, ao processamento e à análise de dados ambientais e climáticos, com o objetivo de mensurar e espacializar os efeitos dos incêndios florestais e suas consequências na área de estudo. Conforme os princípios estabelecidos por Richardson (1989), a abordagem quantitativa caracteriza-se pela utilização da quantificação tanto na etapa de coleta dos dados quanto na análise das informações, por meio de técnicas estatísticas que podem variar de procedimentos básicos a métodos analíticos mais avançados.

No contexto desta pesquisa, a abordagem quantitativa foi empregada a partir da utilização de dados ambientais, climáticos e espaciais, obtidos de fontes e bases de dados secundárias. Esses dados foram organizados, processados e analisados de forma sistemática, possibilitando a identificação de padrões, variações e relações entre as variáveis consideradas no estudo.

A análise dos dados foi realizada com o suporte de procedimentos estatísticos e técnicas de análise espacial, permitindo a quantificação e a representação da distribuição dos fenômenos investigados. Dessa forma, a abordagem quantitativa contribuiu para a avaliação das condições ambientais e climáticas associadas à ocorrência dos incêndios florestais, bem como para sua espacialização na área de estudo. Os procedimentos quantitativos realizados, estão descritos no quadro 2.

Quadro 2 - Procedimentos realizados durante a dissertação.

Procedimentos	Coleta	Data escolhida	Software escolhido
Análise da precipitação	Disponibilizados pela plataforma do Centro de Monitoramento do Tempo e Clima ¹ (CEMTEC) As estações escolhidas foram: Corumbá (sede), Corumbá – Cravo Vermelho e Corumbá – Fortaleza	O intervalo temporal analisado abrangeu o segundo semestre de 2023 (julho a dezembro) e o primeiro semestre de 2024 (janeiro a junho).	<i>Microsoft Excel</i>
Identificação dos focos de incêndios	Programa de Queimadas do INPE	Análise para o período do ano de 2023 e 2024. Assim como as estações correlatas: Verão e outono de 2023 e 2024. E verão e primavera de 2023 e 2024.	<i>QGIS</i>
Mapas cartográficos (localização, espacialização da densidade dos focos de incêndios, uso e cobertura da terra e o NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e NDWI (<i>Normalized Difference Water Index</i> , ou Índice de Água por Diferença Normalizada).	IBGE, INPE e MapBiomias.	Para o uso e cobertura da terra utilizou-se o ano de 2023 e 2024 para a análise. Para o mapa dos focos, NDVI e NDWI a análise foi o ano de 2023 e 2024. Assim como as estações correlatas: Verão e outono de 2023 e 2024. E verão e primavera de 2023 e 2024.	<i>QGIS e GEE</i>

Organização: Garcia, 2026.

3.3 Aquisição e análise de dados climáticos

A análise da precipitação nos municípios de Corumbá e Ladário – MS foi realizada a partir de dados disponibilizados pela plataforma gratuita do CEMTEC. No site, na seção Banco de Dados, encontra-se uma série histórica de informações meteorológicas que abrange o período de 2008 a 2025. Para este estudo, foram selecionados os anos de 2023 e 2024, considerando os arquivos em formato *.xlsx*, compatíveis com o *Microsoft Excel* e softwares semelhantes.

Os dados contêm registros de variáveis como temperatura mínima, umidade instantânea, umidade máxima, umidade mínima, velocidade máxima do vento, direção do vento, rajada do vento, precipitação e a localização das estações meteorológicas. Para a elaboração da dissertação, as estações escolhidas foram a de Corumbá (Sede), Corumbá – Cravo Vermelho (: A 724 e D 3371) e Corumbá – Fortaleza.

O processamento dos dados foi realizado no *Excel* e incluiu a seleção das estações de interesse, o cálculo da precipitação diária, total mensal, sazonal e anual, bem como a identificação dos dias com e sem ocorrência de chuva. Para tanto, utilizou-se a função SOMA para os totais mensais, MÉDIA para médias mensais e SE combinada com CONT.SE para classificar e contar os dias com precipitação. Os totais sazonais foram obtidos somando os totais mensais correspondentes a cada estação, considerando o segundo semestre de 2023 (julho a dezembro) e o primeiro semestre de 2024 (janeiro a junho).

Os dados foram organizados em tabelas estruturadas, permitindo a comparação entre estações e períodos, e visualizados por meio de gráficos de coluna e linha, representando a evolução da precipitação e os totais mensais. Além disso, foram verificadas a consistência e a completude dos dados, corrigindo-se valores ausentes ou inconsistentes por interpolação simples ou preenchimento com médias adjacentes, garantindo a confiabilidade das análises.

3.4 Aquisição, processamento e elaboração dos produtos cartográficos

As imagens utilizadas na elaboração dos mapas de NDVI e NDWI foram selecionadas considerando os períodos correspondentes às estações do outono, inverno, primavera e verão, contemplando os respectivos meses de cada estação. Todas as datas e os satélites utilizados para esse processo estão descritos nos anexos dos códigos de geração do NDVI e NDWI.

Para minimizar a influência da precipitação sobre os resultados dos índices espectrais, foram priorizadas imagens correspondentes a dias sem ocorrência de chuva, conforme os registros disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

3.3.1 Mapa de localização

Para o mapa de localização utilizou-se o *software* livre QGIS em sua versão 3.44, adicionando o *shapefile* da área de estudo, do Mato Grosso do Sul, do Brasil e da América do Sul, que estão todos disponibilizados no site do IBGE e no catalogo de metadados da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) , o acesso no site do IBGE inicia-se pelo menu lateral, representado pelo ícone com três linhas horizontais no canto superior esquerdo da página, seleciona a opção de geociências: organização do território: malhas territoriais: malhas municipais.

Os elementos visualizados no mapa, como os trechos de rodovias e hidrografias o *download* foi feito no site do IBGE: No canto superior esquerdo da página, seleciona a opção de geociências - > Cartas e Mapas -> Bases cartográficas contínuas -> Bases cartográficas contínuas – Estados -> *Download* do produto -> versao2023 -> *shapefile*.

Para a elaboração do mapa, reprojeto as coordenadas do *shapefile* da área de estudo para o sistema SIRGAS 2000, UTM 21 Sul, seguindo os seguintes passos: clique com o botão direito do mouse sobre o item desejado – Selecione a opção Exportar -> Guardar elementos como -> Selecionar a projeção desejada na opção SRC. Após reprojeto, inicia-se a composição do *layout* do mapa.

3.3.2 Mapeamento do uso e cobertura da terra

O mapa de uso e cobertura da terra foram utilizadas as informações fornecidas pelo Map Biomas por meio do *Google Earth Engine* (GEE) *Code Editor*. Para o acesso, necessário entrar no site do Map Biomas, na aba Mapas e Dados - > *Downloads* -> Mapas da coleção -> 2. *Download* por estado, bioma, município e qualquer outra geometria desejada por meio dos Toolkits preparados no *Google Earth Engine* (GEE) -> Cobertura e Uso da Terra (coleção 9) -> Será direcionado para o site do GEE, é necessário realizar/cadastrar o login para o acesso -> Na tela do GEE, terá o *prompt* pronto do Map Biomas, para dar início ao processo selecionar a opção “*Run*”, ao lado

direito irá aparecer opções para selecionar a área de interesse, para a área de estudo da pesquisa o filtro utilizado foi: *Region: Map Biomas-brazil; Collection: collection-9.0; Tables: Political Level 2; Properties: NAME; Features: [Mato Grosso do Sul][MS]; Data Type: Coverage; Buffer: None; Layers:* Foi escolhido do ano de 2023 e 2024 -> *Export Images to Google Drive* -> Após selecionar e exportar, a imagem será carregada para o drive que foi feito o *login*.

Com as imagens *raster* baixadas no computador, o próximo passo foi trabalhar no QGIS, em sua versão de 3.44.1, como o dado estava para o estado todo, foi necessário um recorte para o município de Corumbá e Ladário. Na janela *Raster*, selecionar a opção: Extrair -> Recortar *raster* pela camada de máscara -> inserir a camada de entrada e a camada de recorte, escolher a projeção do SRC de destino e salvar em uma pasta. Com o recorte pronto, o próximo passo foi atribuir a composição, para esse processo utilizei o código de legendas disponibilizado pelo próprio Map Biomas, seguindo essas etapas: No site do Map Biomas, na aba Mapas e Dados - > *Downloads* -> Mapas da coleção -> No final da página na opção “Detalhamento de legenda” -> Busca a opção “A paleta de cores RGB de cada classe da legenda está disponível também para o uso no *ArcMap* ou no QGIS.”

Com o download do código da legenda, no Qgis, ao clicar com o botão direito do mouse sobre a camada *raster* do dado do uso e ocupação do solo, selecionar a opção de propriedades -> simbologia -> estilo -> carregar estilo -> buscar nas pastas do computador onde foi salva os códigos adquiridos do mapbiomas e importar. Ao importar o código, retornará para a janela de simbologia, é necessário clicar na opção de classificar, como as legendas estão no idioma da língua inglesa, alterei para a língua portuguesa. Por fim, o último passo é a composição do *layout* do mapa.

3.3.3 Mapa do solo

Para a elaboração do mapeamento dos solos dos municípios de Corumbá e Ladário, os dados foram obtidos por meio do site do IBGE, na aba: Geociências -> Informações ambientais -> Pedologia -> Pedologia 1:250.000 -> Base de Dados Espacial 1:250.000 Brasil -> no arquivo versão 2023 -> selecionei o

arquivo nomeado: pedo_area.zip. Finalizado o download, é necessário descompactar o arquivo para utilizar no *software* QGIS. O arquivo é de abrangência nacional, sendo necessário o recorte para a área de estudo e a reprojeção para as coordenadas adequadas.

Com o dado pronto, ao clicar com o botão direito na camada recortada, selecione a opção de propriedade, após isso na aba: Simbologia -> Alterar a opção que está “Sem símbolo” para “Categorizado” -> Valor -> Opção de “Legenda” -> Clique na opção: Classificar. Com isso, a pedologia para área de estudo foi classificada, as cores definidas pelo *software* podem ser aleatórias, para isso utilizei as cores definidas pelo próprio IBGE, que está disponibilizada no mesmo local do *shapefile* da pedologia. Após esses passos, foi feito a composição do *layout* do mapa.

3.3.4 Mapa do NDVI

Para a elaboração do mapa de NDVI e o NDWI utilizou-se o GEE em razão do tamanho da área de estudo e das limitações encontradas durante as tentativas de processamento por meio do QGIS e da obtenção de imagens via *USGS Earth Explorer*. Nessas plataformas, houve dificuldade em localizar imagens de satélite correspondentes às mesmas datas de interesse para a área de estudo, além da elevada presença de nuvens nas cenas disponíveis, o que comprometeria a qualidade e a confiabilidade dos resultados do NDVI.

Diante dessas limitações, o GEE mostrou-se uma alternativa metodológica mais adequada, por disponibilizar um amplo acervo de imagens de diferentes sensores (como *Landsat* e *Sentinel*), já pré-processadas, com correções radiométricas e atmosféricas, além de permitir a aplicação de filtros automáticos de cobertura de nuvens. A plataforma possibilita, ainda, a criação de composições temporais (como medianas ou mosaicos), o que reduz significativamente os efeitos de nuvens e sombras, garantindo maior consistência espacial e temporal dos dados analisados.

Para a obtenção do NDVI, utilizou-se a Equação 1 (Rouse *et al.*, 1974, p.309).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \text{ (Equação 1)}$$

Onde: NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

ρ_{NIR} : reflectância da Banda 5 (Infravermelho próximo);

ρ_{RED} : reflectância da Banda 4 (Vermelho).

Utilizando a imagem de satélite do *Landsat* 8, usa-se a banda 4 corresponde à faixa espectral do vermelho e a banda 5 corresponde à faixa espectral do infravermelho próximo. Enquanto, no *Landsat* 7, utilizado para o ano de 2000, usou-se a banda 4 (Banda do infravermelho próximo) e 3 (Banda do vermelho).

Tais bandas são amplamente utilizadas para avaliar a vegetação por suas características específicas de interação com a luz e a cobertura vegetal. A vegetação saudável absorve a luz visível, especialmente na banda do vermelho (0,64 a 0,67 μm) e tem maior reflexão na banda do infravermelho próximo (0,85 a 0,88 μm), devido a estrutura celular das folhas (Trucker, 1979, p.127-151; Florenzano, 2007; Jensen e Epiphany, 2009).

O GEE é uma plataforma de computação em nuvem que permite a análise e visualização dos dados geoespaciais, utiliza a linguagem de programação conhecida como *JavaScript*. Possui uma capacidade de processar e integrar grandes volumes de informações provenientes de satélites e outras fontes (Andrada, 2025). Para a produção dos mapas utilizou-se dois vídeos tutoriais¹ para a aplicação do código no GEE, precisando de algumas alterações para atender a área de estudo. Os códigos utilizados na elaboração dos mapas de NDVI e NDWI estão no Anexo 1.

Para a elaboração dos mapas do NDVI foi realizado uma análise do ano de 2023 e 2024, fazendo essa comparação anual. Assim, como a análise das estações correlatada, do verão e outono do ano de 2023 e 2024 e o inverno e a primavera de 2023 e 2024. A delimitação temporal buscou contemplar os extremos climáticos que influenciam diretamente os processos ecológicos, a disponibilidade hídrica e a ocorrência e o aumento dos focos de incêndios.

Essa escolha permitiu avaliar as variações e padrões de mudanças nessas datas escolhidas, abrangendo períodos de maior e menor ocorrência de

eventos climáticos críticos. Essa janela temporal foi definida para integrar dados mais recentes e robustos, permitindo comparações com informações históricas e reforçando a análise dos impactos das mudanças climáticas sobre Corumbá e Ladário.

3.3.5 Mapa do NDWI

O NDWI é um método utilizado nas aplicações de geoprocessamento para estudos dos recursos hídricos ou da umidade. É semelhante ao NDVI, há duas equações utilizadas: a primeira foi desenvolvida por Gao em 1996 e a segunda pelo McFeeters (1996). Embora compartilhem a mesma nomenclatura, o NDWI proposto por Gao (1996) e o de McFeeters (1996) apresentam concepções distintas.

A formulação de Gao tem como objetivo principal estimar a quantidade de água líquida contida na vegetação, servindo como indicador da umidade do dossel. Já a proposta de McFeeters foi elaborada com a finalidade de realçar corpos hídricos superficiais, facilitando sua identificação e mapeamento em imagens de sensoriamento remoto (Pereira *et al.*, 2018).

O método escolhido para a dissertação, foi o índice proposto por McFeeters (1996), que tem por objetivo realçar e delinear automaticamente as águas abertas através de operação que utiliza as bandas multiespectrais do verde e do infravermelho próxima. A aplicação do NDWI resulta em uma nova imagem, cujos valores de pixels variam entre -1 e 1. O valor zero funciona como limite de separação entre áreas de água e não água.

Dessa forma, pixels com valores menores ou iguais a zero são classificados como não correspondentes a corpos hídricos ($NDWI \leq 0$), enquanto aqueles com valores positivos ($NDWI > 0$) indicam a presença de água. Nessa representação, os corpos d'água aparecem realçados, apresentando maior intensidade de brilho, ao passo que as áreas de solo exposto e vegetação têm sua resposta espectral atenuada (Gil *et al.*, 2019).

A partir da aplicação do índice definido por McFeeters (1996), foi possível gerar mapas temáticos que representam a distribuição espacial da água na área de estudo em diferentes períodos sazonais e anos de referência. Esses produtos

cartográficos permitem visualizar, de maneira comparativa, as variações entre os períodos de cheia e seca, bem como identificar possíveis alterações na dinâmica hídrica ao longo do tempo.

No presente estudo, o NDWI foi calculado a partir das bandas verde (*Green*) e infravermelho próximo (*NIR*) das imagens do Landsat 7 e Landsat 8, seguindo a metodologia proposta por McFeeters (1996), de acordo com a equação 2:

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \text{ Equação 2}$$

- **Green (Verde):** Sensível à absorção de água na superfície e reflete a vegetação e o solo.
- **NIR (Infravermelho próximo):** É fortemente refletido por vegetação e solo seco, mas fortemente absorvido pela água.

Esse índice indica que valores positivos do NDWI representam a presença de água, enquanto valores próximos de zero ou negativos correspondem a solo exposto ou vegetação. Para a elaboração do mapa de NDWI também se utilizou o GEE. Para a elaboração dos mapas do NDWI, a análise foi feita do ano de 2023 e 2024, fazendo essa comparação anual. Assim, como a análise das estações correlatada, do verão e outono do ano de 2023 e 2024 e o inverno e a primavera de 2023 e 2024.

3.3.6 Mapeamento da densidade dos focos de incêndios

Para os mapas que exibem a espacialização da densidade dos focos de incêndio, o processamento dos dados, foi realizado por meio do interpolador de *Kernel* (Mapa de calor) no *software QGIS*, versão 3.44.1. A estimativa de densidade por *Kernel* consiste em uma técnica estatística utilizada para mensurar a intensidade de ocorrência de pontos em uma determinada área geográfica, considerando a influência espacial de cada ponto dentro de um raio pré-definido. Essa abordagem permite identificar padrões de concentração e dispersão a partir de dados pontuais distribuídos no espaço (Bergamaschi, 2010).

Conforme Kawamoto (2012, p. 16–17), trata-se de um estimador não paramétrico da intensidade de processos espaciais, fundamentado em uma função *Kernel*, que suaviza a distribuição dos dados sem pressupor uma forma específica. As entradas do modelo correspondem às localizações dos eventos ou ocorrências da variável de interesse, expressas em um sistema de coordenadas espaciais.

De acordo com Câmara e Carvalho (2004, p. 5), a função de densidade *Kernel* calcula a concentração de eventos em torno de uma localização de interesse, considerando todos os pontos situados dentro de uma determinada área de influência e atribuindo pesos conforme a distância entre esses pontos e o centro da análise.

Em outras palavras, quanto mais próximo um ponto está do local analisado, maior será sua contribuição para o valor estimado de densidade. A formalização matemática desse estimador é apresentada na Equação 1, conforme proposto por Silverman (1998).

Equação 1:
$$f(x_t) = \frac{1}{Nh} \sum K(x_t, x_i)$$

Onde:

N – é o número de amostras;

H – é o reio de busca;

$K(x_t, x_i)$ – é a função de *Kernel*.

Com o aumento da concentração de focos em uma determinada região, os valores estimados pela densidade de *Kernel* tendem a se sobrepor, resultando em zonas com maior intensidade representada. No presente procedimento, adotou-se um tamanho de célula de 95 metros para a malha de interpolação.

A classificação das densidades foi realizada com base no número de focos registrados, permitindo a identificação de áreas com alta e baixa concentração dentro dos limites territoriais do município, conforme a metodologia proposta por Silva *et al.*, (2019).

Para realização do procedimento, os pontos de focos de incêndios, disponibilizados pelo Programa de Queimadas do INPE, conforme mencionado no texto acima (4.2), foram acionados no *software* QGIS e reprojetados para o

sistema de coordenadas planas: EPSG:31981 - SIRGAS 2000 / UTM zone 21S, pois estavam com a projeção: EPSG:4326 – WGS 84. No seguinte passo: Na aba vetor: Gerenciar Dados -> Acrescentar a camada dos pontos e colocar o SRC de destino, escolhendo a projeção adequada.

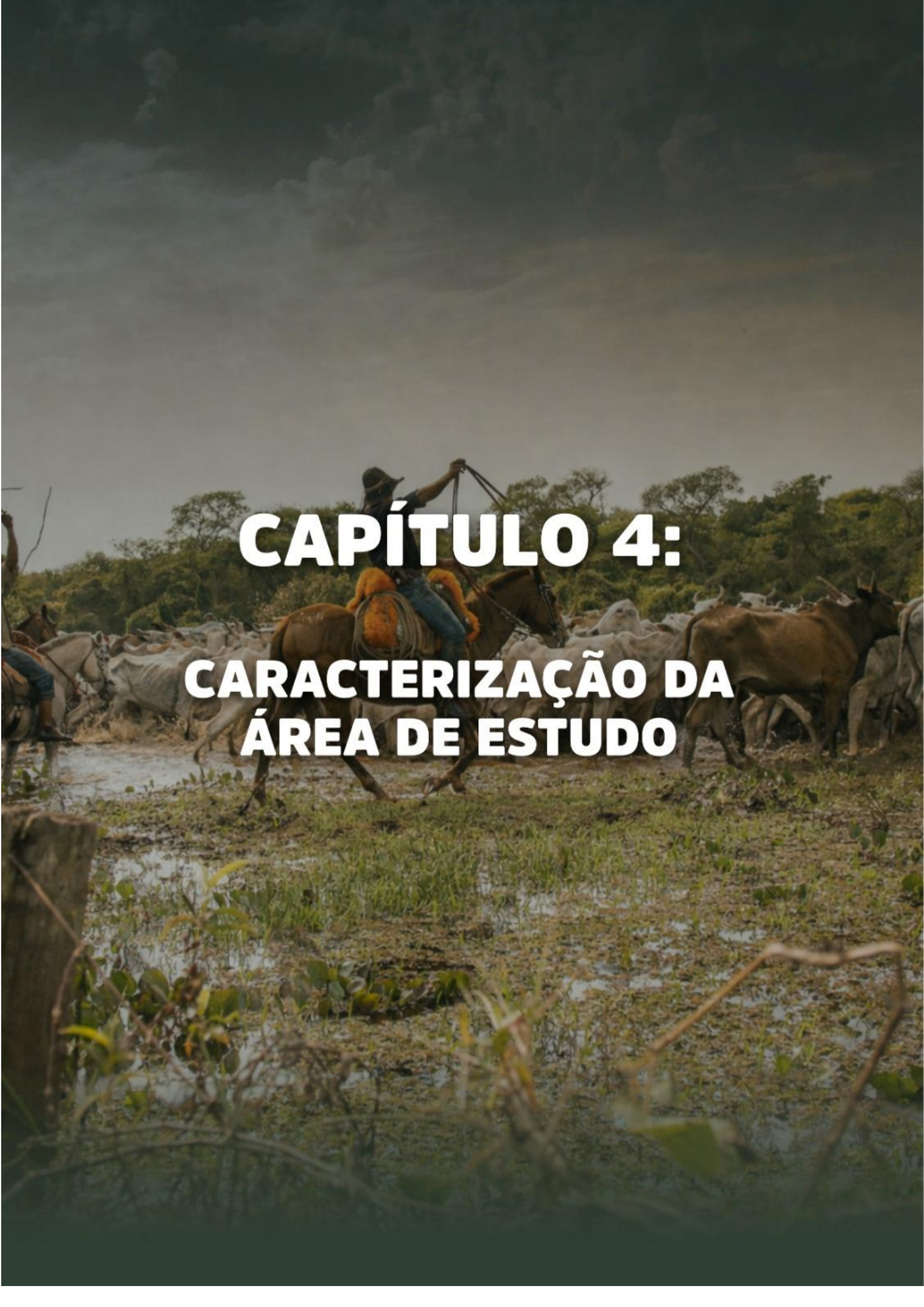
Os pontos que estava fora do limite da área, precisaram ser recortados, de acordo com o seguinte procedimento: Na aba Vetor: Geoprocessamento -> Recortar-> camada de entrada -> Adicionou o *shapefile* dos pontos -> Camada de sobreposição -> A camada da área de estudo -> Salvar na pasta e finalizar. Para a geração da densidade de *kernel*: -> Caixa de Ferramenta -> Na Aba de busca -> Digitar a palavra *Kernel* -> Interpolar -> Mapa de calor -> Camada de pontos: *Shapefile* dos focos -> o raio utilizado foi de 95000 -> Alterou-se a coluna ao lado do raio para quilômetros -> O *pixel* definido: 100 -> Escolher se irá já salvar na pasta do computador ou criar uma camada temporária e depois salvar -> Executar. Finalizado, em propriedades e em simbologia modificou-se a rampa de cores para a visualização.

Assim como os mapas do NDVI e NDWI, para o mapa dos focos de incêndios a análise foi feita do ano de 2023 e 2024, fazendo essa comparação anual. Assim, como a análise das estações correlatada, do verão e outono do ano de 2023 e 2024 e o inverno e a primavera de 2023 e 2024.

O próximo capítulo apresenta os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, evidenciando as análises realizadas a partir dos dados coletados e das metodologias aplicadas. Os produtos gerados são expostos de forma organizada, incluindo mapas temáticos, gráficos, tabelas e interpretações resultantes das análises espaciais e temporais, com o objetivo de demonstrar como as mudanças climáticas e as condições ambientais têm influenciado a ocorrência de incêndios florestais nos municípios de Corumbá e Ladário.

Além da apresentação dos resultados, o capítulo busca discutir as principais relações identificadas entre o aumento das áreas expostas aos incêndios e as alterações climáticas. A interpretação desses elementos permite compreender os padrões de ocorrência do fogo na região e identificar áreas mais vulneráveis, contribuindo para uma análise integrada entre os aspectos naturais e antrópicos que atuam sobre o território.

Dessa forma, o capítulo seguinte constitui a etapa final da pesquisa, na qual os resultados são apresentados e discutidos à luz do referencial teórico abordado nos capítulos anteriores, possibilitando a consolidação das análises e o alcance dos objetivos propostos. Ademais, oferece subsídios para estudos futuros e para o planejamento de ações voltadas à mitigação dos impactos ambientais no bioma Pantanal.

A photograph of a person riding a brown horse, herding a large group of cattle through a muddy, water-filled field. The person is wearing a dark shirt, blue jeans, and a hat. The cattle are mostly white and brown. The background shows a line of trees under a cloudy sky. The text is overlaid in the center of the image.

CAPÍTULO 4:

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

CAPÍTULO 4: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Com uma área total estimada em 179.300 km², o Pantanal tem 78% de sua extensão territorial localizada no Brasil, 18% na Bolívia e 4% no Paraguai. No território brasileiro, o bioma está distribuído entre os estados de Mato Grosso (35%) e Mato Grosso do Sul (65%), onde ocupa aproximadamente 140.000 km². O Pantanal é um sistema ambiental de elevada complexidade, composto por ecossistemas aquáticos, terrestres e zonas úmidas, todos interligados em dinâmicas ecológicas que respondem diretamente ao ciclo hidrológico regional (Marengo *et al.*, 2021).

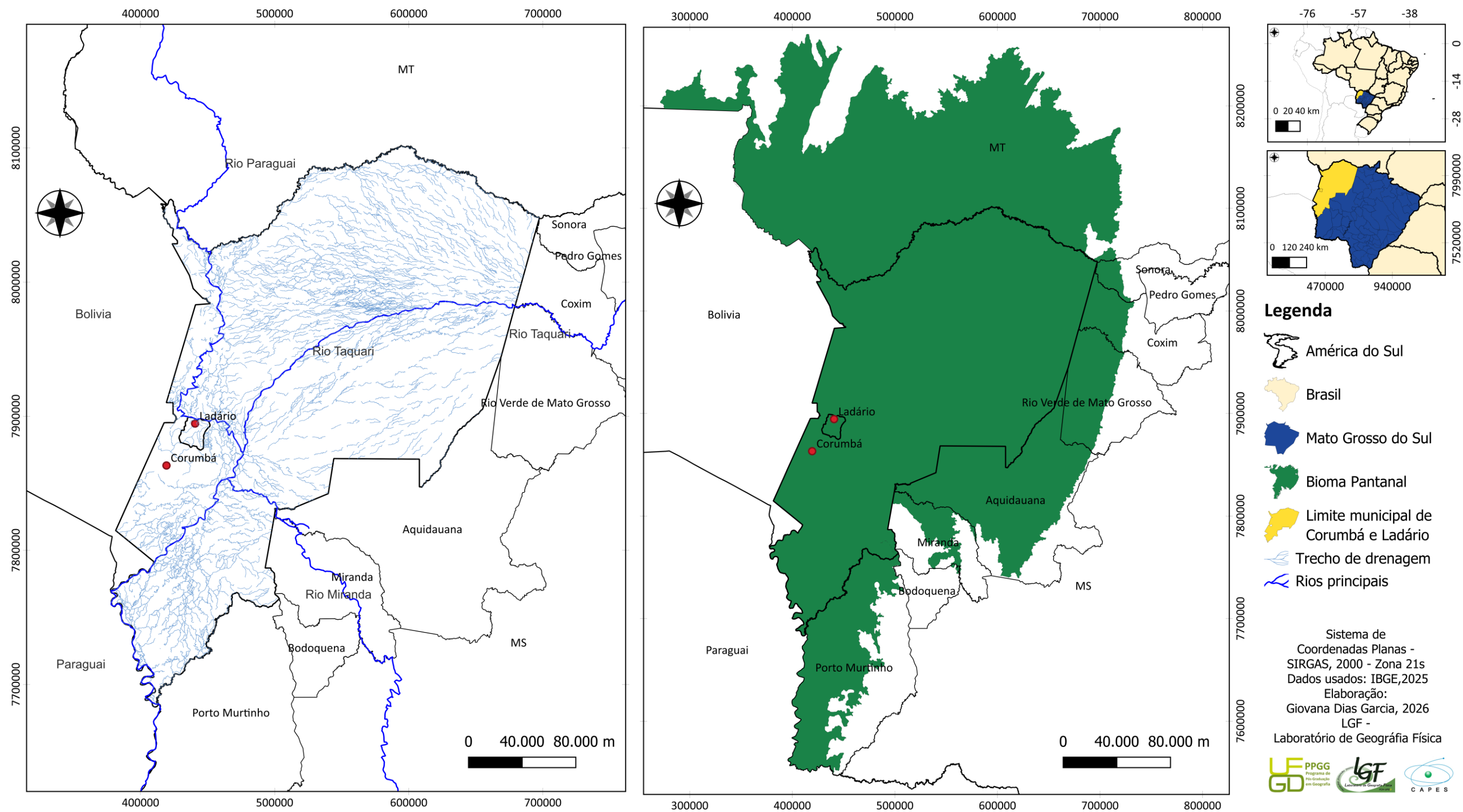
A localização estratégica do Pantanal o coloca em contato com outros importantes biomas sul-americanos, como o Cerrado, o Chaco boliviano e a região amazônica. Essa interconectividade biogeográfica contribui para sua notável biodiversidade. Além disso, o Pantanal atua como um grande reservatório natural, armazenando águas pluviais e de cheia, o que provoca uma defasagem de até cinco meses entre a entrada e a saída da água (Marengo *et al.*, 2021).

O ciclo das águas constitui o principal fator de controle ecológico do bioma Pantanal, sendo responsável por regular os processos naturais que garantem o equilíbrio ambiental da região. Suas três fases conhecidas são: cheia, vazante e estiagem. Esses ciclos promovem a renovação contínua dos ecossistemas, influenciando diretamente a dinâmica da vegetação, da fauna e dos processos geomorfológicos, além de sustentar a elevada biodiversidade característica desse bioma (Boin *et al.*, 2019).

Na fase de vazante, ocorre a transição para o período seco, quando as águas escoam gradualmente para o leito dos rios, principalmente para o rio Paraguai, que constitui o eixo central da drenagem pantaneira e exerce papel fundamental na organização hidrológica da região. Já no período de estiagem, a redução do nível das águas expõe grandes áreas de vegetação seca, aumentando a suscetibilidade do ambiente à ocorrência dos incêndios florestais, especialmente quando associados a períodos de seca prolongada e aumento das temperaturas (Guimarães *et al.*, 2018).

A Figura 8 ilustra a localização dos municípios de Corumbá e Ladário no contexto da porção sul do Pantanal, evidenciando a rede hidrográfica principal, as áreas suscetíveis a inundações e os principais eixos de infraestrutura, como rodovias e ferrovias. A representação cartográfica permite visualizar a forte relação entre a hidrografia regional e a ocupação do território, uma vez que a distribuição das áreas urbanas, das atividades econômicas e das vias de transporte está diretamente condicionada pelo regime das águas.

Figura 8 – Mapa de localização dos municípios de Corumbá e Ladário (MS).



Elaboração: Garcia, 2026.

García e Castro (1986) identificaram três zonas climáticas distintas na Bacia do Alto Paraguai, que influenciam diretamente o regime hídrico do Pantanal:

- **Grupo 1:** Nordeste da bacia, com elevada pluviosidade entre novembro e março, caracterizado por clima úmido mesotérmico;
- **Grupo 2:** Região central, com clima seco megatérmico;
- **Grupo 3:** Sul da bacia, com clima subúmido mesotérmico.

Assim, compreender as dinâmicas do bioma Pantanal é essencial para a análise territorial e ambiental de Corumbá e Ladário, visto que essas cidades estão diretamente condicionadas às variações hidrológicas e climáticas dessa região singular. Tal compreensão permite não apenas interpretar os padrões de uso e cobertura da terra, mas também antecipar impactos decorrentes de eventos extremos, como cheias e secas prolongadas, que influenciam a localidade.

4.1 As especificidades geográficas, sociais e ambientais dos municípios de Corumbá e Ladário

A consulta aos portais oficiais dos municípios de Corumbá e Ladário permite compreender como a memória histórica local é narrada pelas próprias administrações públicas. Essas informações oferecem não apenas uma linha do tempo de fatos marcantes, mas também ressaltam aspectos culturais, sociais e econômicos que contribuíram para a formação da identidade regional.

No caso de Corumbá, o nome tem origem no termo tupi-guarani *Curupah*, que significa “lugar distante”. Ao longo de sua trajetória, a cidade recebeu diferentes denominações, sendo atualmente conhecida como “cidade branca”, em referência à tonalidade clara do solo calcário característico da região.

A ocupação do território remonta ao século XVI, quando expedições portuguesas exploravam a área em busca de metais preciosos, com registros documentados desde 1524. Entretanto, a fundação oficial ocorreu apenas em 1778, com a criação do Arraial de Nossa Senhora da Conceição de Albuquerque,

que desempenhou papel estratégico na defesa das fronteiras brasileiras frente ao avanço espanhol (Corumbá, 2025).

A localização privilegiada, às margens do rio Paraguai, contribuiu para que Corumbá se consolidasse rapidamente como entreposto comercial, sobretudo após a liberação da navegação fluvial para embarcações brasileiras e paraguaias. Esse dinamismo levou à sua elevação à condição de distrito em 1838 e de município em 1850 (Corumbá, 2025).

Durante a Guerra do Paraguai, a então freguesia de Santa Cruz de Corumbá foi ocupada por tropas de Solano López em 1865, resultando em destruição parcial da cidade. A retomada, em 1870, sob comando do tenente-coronel Antônio Maria Coelho, marcou o início da reconstrução e coincidiu com um fluxo migratório de europeus e sul-americanos, que impulsionou o desenvolvimento urbano e econômico (Corumbá, 2025).

Até a década de 1930, Corumbá chegou a figurar como o terceiro maior porto da América Latina, dada a intensidade do comércio fluvial. Esse período foi marcado pela integração regional promovida pelos rios Paraguai, Paraná e Prata, ao mesmo tempo em que o isolamento geográfico favoreceu a incorporação de influências culturais dos países vizinhos.

A partir do século XX, o cenário econômico se transformou com a chegada da Estrada de Ferro Noroeste do Brasil, que deslocou parte da centralidade para Campo Grande. Mesmo assim, a cidade direcionou suas atividades para a mineração e agropecuária, ganhando força com a industrialização da década de 1940, especialmente na exploração de calcário. Já a partir da década de 1970, o turismo passou a desempenhar papel central, sustentado pelo patrimônio histórico e pela posição de destaque no Pantanal, o que lhe rendeu o título de “Capital do Pantanal” (Corumbá, 2025).

Já Ladário, município vizinho, também possui uma história vinculada ao rio Paraguai e ao processo de ocupação regional. Fundada em 1778 por João Leme do Prado, a localidade permaneceu vinculada administrativamente a Corumbá até conquistar sua emancipação político-administrativa em 1953, com a instalação oficial do município em 1954. Seu território, localizado no coração do Pantanal Sul-mato-grossense, dispõe de riquezas minerais como ferro,

manganês, calcário, areia e argila, além de uma posição estratégica próxima à fronteira com a Bolívia (Ladário, 2025).

Apesar de possuir um núcleo urbano reduzido de Ladário, de acordo o último censo do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2022, a cidade conta com uma população de 21.522, enquanto Corumbá o número de habitantes é de 96.268. Ladário consolidou-se como espaço de relevância cultural e econômica.

A presença da Marinha se destaca como um dos símbolos locais, especialmente com a Base Naval e o Pórtico da Fortaleza, réplica do Arco do Triunfo francês, que se tornou cartão-postal da cidade. As manifestações culturais e religiosas, como a Festa de Nossa Senhora dos Remédios e o tradicional São João Pantaneiro, reforçam a identidade da comunidade e atraem visitantes de toda a região.

De acordo com a Secretaria do Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico de Mato Grosso do Sul (SEMADE), e com a caracterização da cidade no RADAMBRASIL, o município de Corumbá divide-se em três regiões geomorfológicas: Região do Pantanal Mato-Grossense; Região da Depressão do Alto Paraguai e Região da Bodoquena e Morrarias do Urucum-Amolar (Viganó *et al.*, 2018).

No aspecto econômico, a cidade baseia-se principalmente na pecuária, pesca, turismo e navegação, além da participação conjunta com Corumbá na exploração da mina de Urucum. Destaca-se também por abrigar o único terminal multimodal do Centro-Oeste, integrando transporte hidroviário, rodoviário e ferroviário, o que amplia seu potencial logístico e comercial.

Iniciativas de preservação ambiental, como a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) Baía Negra, situada em Ladário, reforçam ainda mais o papel dos municípios na promoção de um desenvolvimento sustentável, associado ao ecoturismo e à valorização dos recursos naturais.

Assim, tanto Corumbá quanto Ladário revelam histórias marcadas por uma forte ligação com os rios, com as fronteiras internacionais e com o próprio bioma Pantanal, compondo um cenário histórico-cultural singular no estado de Mato Grosso do Sul. A formação e o desenvolvimento desses municípios estão diretamente relacionados à navegação pelo rio Paraguai, às relações comerciais

com países vizinhos e às condições naturais impostas pela planície pantaneira, fatores que influenciaram a organização do território, as atividades econômicas e o modo de vida da população local ao longo do tempo.

Os municípios de Corumbá e Ladário estão situados na Mesorregião dos Pantanaís Sul-Mato-Grossenses, integrando a Microrregião do Baixo Pantanal, uma área caracterizada pela predominância de planícies inundáveis, baixa declividade do relevo e forte influência do regime hidrológico do rio Paraguai e de seus afluentes.

Essa localização confere à região características ambientais específicas, nas quais as variações sazonais do nível das águas exercem papel determinante sobre a ocupação do solo, a mobilidade, as atividades econômicas e a dinâmica dos ecossistemas. O município de Ladário encontra-se completamente inserido no território de Corumbá, configurando um enclave urbano que compartilha das mesmas condições geográficas, climáticas e ambientais.

Essa proximidade territorial faz com que ambos os municípios apresentem grande semelhança em seus processos históricos, sociais e econômicos, além de enfrentarem desafios ambientais comuns, especialmente aqueles relacionados às cheias, às secas prolongadas e à ocorrência de incêndios florestais no Pantanal. Dessa forma, a análise conjunta desses municípios torna-se fundamental para compreender a dinâmica regional e os impactos das mudanças climáticas sobre o território estudado.

As dinâmicas da paisagem regional são profundamente marcadas pelo ciclo das águas, diretamente condicionado pelas variações sazonais de precipitação. A alternância entre períodos úmidos e secos determina os processos ecológicos, hidrológicos e socioeconômicos que moldam a realidade dos municípios inseridos no Pantanal Sul-mato-grossense. Assim, o regime climático exerce papel central na configuração da paisagem, especialmente no que diz respeito à frequência, intensidade e distribuição das chuvas ao longo do ano.

Dessa forma, compreender a história dos municípios inseridos no Pantanal Sul-mato-grossense exige considerar não apenas os aspectos político-administrativos de sua formação, mas também os condicionantes ambientais que moldaram suas trajetórias. A estreita relação entre o ciclo das águas e a dinâmica territorial demonstra como os elementos naturais influenciaram os modos de vida, as estratégias de ocupação e os padrões de desenvolvimento regional. Ao longo do tempo, a interação entre sociedade e natureza tem produzido arranjos específicos, revelando uma paisagem em constante transformação, marcada tanto pela sazonalidade climática quanto pelas escolhas humanas.

4.2 – O ciclo das águas, características da hidrografia

O Pantanal constitui uma das maiores extensões alagável da terra, e, por essa razão, tem despertado crescente interesse internacional. Sua relevância está associada, sobretudo, ao papel que desempenha na regulação e no manejo dos recursos hídricos, na qual é compartilhada por três países: Brasil, Bolívia e Paraguai.

Trata-se de uma planície de origem sedimentar, caracterizada pela presença de áreas sujeitas a inundações permanentes e por um regime de chuvas que condiciona o ciclo anual de cheias. Entre os seus rios o mais importante é o Paraguai, eixo nutrido por uma intrincada rede hídrica. Navegável em grande parte de sua extensão, juntamente com os seus afluentes (Alves *et al.*, 2023).

É evidente que o pulso de inundação é o elemento essencial para o funcionamento do sistema Pantanal, na relação planalto-planície (Brasil, 1997 *apud* Martins, 2018). Por se tratar de um sistema integrado, em que os elementos da paisagem mantêm relações de interdependência, o relevo e a geologia configuram-se como fatores determinantes para a dinâmica do fluxo hidrológico:

Finalmente, o fator chave mais importante, são as peculiaridades de relevo e geologia que funcionam como verdadeiras barragens ao fluxo das águas. São no jargão científico, chamados de controles geológicos, ou embasamentos rochosos acoplados a morrarias que ocorrem ao longo do percurso do rio Paraguai. Segundo estudos efetuados pelo projeto RADAMBRASIL, esses controles geológicos estão localizados na região do Amolar, Porto da Manga e Fecho dos Morros. Observando as imagens de radar, nota-se grande concentração de lagoas e/ou “baías” no anteparo formado pelo alinhamento serrano do Amolar que funciona como uma barragem natural ao escoamento das águas de superfície, formando-se no local uma das zonas mais alagadas do Pantanal, constituindo uma das áreas mais piscosas da região. Os relevos residuais do maciço do Urucum atuam como um segundo controle geológico, com os embasamentos rochosos agindo como barragem natural, promovendo o alagamento de extensas áreas entre a margem direita do rio Paraguai e os relevos residuais do maciço do Urucum, alcançando a região do Porto da Manga (Resende, 2004, p. 2).

O Pantanal está inserido na Bacia do Alto Paraguai (BAP), o bioma é formado pelo rio Paraguai e seus afluentes, principalmente aqueles situados na margem esquerda, em território brasileiro. O rio Paraguai, por sua vez, constitui um dos principais afluentes da Bacia do Prata, a segunda maior bacia hidrográfica da América do Sul, com 3,1 milhões de km², drenando aproximadamente 20% do continente. Ao longo de seus 2.612 km de extensão, 1.683 km percorrem o Brasil, com trechos compartilhados com Bolívia e Paraguai (Gonçalves *et al.*, 2011).

A BAP é composta por duas áreas distintas: o Planalto e a Planície do Pantanal. O primeiro apresenta altitudes superiores a 200 metros, podendo alcançar 1.400 metros, com drenagem bem definida; já a planície situa-se entre 80 e 150 metros de altitude, caracterizando-se por drenagem lenta, lagos, baías e áreas sazonalmente alagadas.

Sua formação está associada a processos de afundamento tectônico que ocorreram simultaneamente ao surgimento da Cordilheira dos Andes. A oeste, o

Chaco compõe esse sistema, com precipitação inferior a 1.000 mm anuais e extensas áreas alagadas de drenagem indefinida (Gonçalves *et al.*, 2011).

O Pantanal está localizado no centro dessa bacia, onde os rios inundam as planícies e alimentam um intrincado sistema de drenagem composto por extensos, lagos, corpos hídricos divergente e áreas de drenagem sazonal e alagadas. A região apresenta altitudes que variam de 80m a 150m, e foi formada pelo afundamento de uma extensa área, que ocorreu simultaneamente com o surgimento da Cordilheira dos Andes (Silva, 1984).

No Brasil, a área de inundação dos leques aluviais apresenta uma média de 50.000 km², sendo que a estação fluviométrica de referência é Ladário.

Do lado boliviano, a estação de Ladário também é a referência. Quando o nível varia de 4 a 5 m, a cheia é pequena; de 5 a 6 m, é normal, e acima de 6 m é uma grande cheia. Em anos chuvosos, como aconteceu em 1988 (6,64 m, a maior marca histórica) e 1995 (6,56 m, terceira marca do século), o rio Paraguai, no Pantanal, expande seu leito por inundação, alcançando até 20 km de largura. A profundidade de submersão de terras no Pantanal varia em média de 0,5 a 1,5 m. A duração da submersão é bastante variável. Em algumas áreas pode alcançar até seis meses. Cheias localizadas em sub-bacias não influem diretamente nas inundações do Pantanal (Mato Grosso do Sul, 2005, p.26).

A formação da BAP é constituída por 175 rios, totalizando 1400 quilômetros de extensão, dentro do território brasileiro, o Rio Paraguai desempenha grande influência no comportamento hidrológico, conformação e funcionamento do Pantanal.

O Rio Paraguai percorre por 2.621 km, sendo 1.683 km em território brasileiro, e possui como principais tributários no Mato Grosso do Sul os rios Piquiri, Taquari, Negro, Miranda, Aquidauana, Sepotuba e Apa. Na área boliviana, identificou-se como afluentes do Rio Paraguai os rios Quebrada Bahia Cáceres e o Pimiento, sendo que tanto a Lagoa Cáceres quanto o Canal Tamengo fazem parte dos contribuintes do Rio Paraguai (Martins, 2018).

Como resultado do ciclo das águas, surgem formas de relevo peculiares aos pantanais, conhecidas regionalmente como: baías (imensas lagoas que invadem os campos limpos); corixos (cursos de água que resistem ao estio prolongado e que, normalmente, são recobertos por vegetação aquática, como aguapés e camalotes); cordilheiras (elevações com cerca de dois metros de

altura, situadas entre duas baías, que servem de sede para as fazendas e abrigo para o gado); e vazantes (áreas localizadas entre cordilheiras, intermitentes ou perenes, que funcionam como canais de escoamento dos rios e das baías, alcançando vários quilômetros de extensão) (Araujo, 2006).

Nas cheias, os rios que formam a bacia do Paraguai extravasam seus limites, permitindo que lagoas apareçam, que lagoas permanentes se ampliem, que grandes áreas fiquem submersas e que braços d'água se interliguem. Essas lagoas apresentam formas diversas, como circulares, elípticas, piriformes, crescentiformes e irregulares, podendo ocorrer alinhadas e conectadas, recebendo contribuição de águas superficiais durante as cheias, o que mantém a predominância de águas doces. Algumas, no entanto, encontram-se isoladas da drenagem atual, sendo raramente invadidas pelas águas de inundação e caracterizadas pela presença de águas salobras, recebendo a denominação local de salinas (Assine, 2004 *apud* Araujo, 2006).

As lagoas maiores são chamadas pelos pantaneiros de baías, e, quando as cheias se tornam mais intensas, essas baías ampliam-se e interligam-se por canais denominados corixos, constituindo assim as vazantes. Destacam-se ainda as planícies fluviais dos rios Paraguai, Itiquira/Piquiri e Negro, sendo que a planície fluvial do rio Paraguai, especialmente ao norte da cidade de Corumbá, tornou-se um típico sistema meandrante, com inúmeras pequenas lagoas cujos níveis d'água flutuam em resposta aos ciclos anuais de inundação.

Com base nas características das inundações, nos tipos de solo e na composição da vegetação, o Pantanal tem sido subdividido em diferentes pantanaís, refletindo a compartimentação geomorfológica da planície, entre os quais se destacam o do Paiaguás, Nhecolândia, Paraguai, Nabileque, Porto Murtinho, Abobral, Miranda e Aquidauana, no Mato Grosso do Sul, além de Cáceres, Poconé e Barão do Melgaço, em Mato Grosso (Araujo, 2006).

Discutir sobre as características da hidrografia, especialmente no bioma Pantanal, voltadas aos municípios de Corumbá e Ladário, é fundamental para compreender a influência das águas no microclima regional, além de compreender como a alternância entre os períodos de cheia e seca pode regular a disponibilidade de umidade no solo e na atmosfera e como atua na moderação térmica.

Ao analisar a condição da hidrografia, é possível observar quais alterações estão ocorrendo e quais os efeitos. Dessa forma, compreender a organização e o funcionamento da rede hidrográfica é essencial para relacionar os processos naturais de inundação e estiagem com os impactos climáticos que afetam a sociedade e os ecossistemas locais.

4.3 – As características do clima

A discussão referente às características do clima nesta dissertação é fundamental para compreender a dinâmica atmosférica que atua sobre a região de Corumbá e Ladário. O clima, além de regular os ciclos sazonais de chuvas e estiagem, exerce influência direta na frequência, intensidade e duração dos eventos extremos, que tendem a se acentuar diante do atual cenário de mudanças climáticas.

Nesse contexto, a análise climática não apenas fornece subsídios para a compreensão dos padrões ambientais locais, mas também permite identificar vulnerabilidades e impactos potenciais sobre os ecossistemas, as atividades econômicas e a qualidade de vida da população.

O clima de Mato Grosso do Sul resulta da interação entre fatores geográficos e da influência de sistemas atmosféricos tropicais e extratropicais. Enquanto o norte do estado recebe maior influência dos sistemas amazônicos, o sul é mais afetado por circulações extratropicais. As massas de ar equatoriais, tropicais e polares, juntamente com linhas de instabilidade e frentes frias, moldam a alternância entre períodos úmidos (primavera-verão) e secos (outono-inverno), produzindo um ritmo climático tropical com marcantes variações regionais.

Essa interação de influências atmosféricas se reflete diretamente nas particularidades climáticas do Pantanal. Zavattini (2009, p. 68) descreve:

O Pantanal brasileiro, existem duas regiões pluviométricas distintas: um norte bem regado (Cuiabá), com ritmo interanual bem marcado e tendência crescente nas chuvas, diferindo do setor centro-sul (Corumbá e Porto Murtinho), detentor de índices mais fracos e ritmo interanual pouco acentuado, apontando para uma tendência equilibrada na distribuição das chuvas.

O Pantanal, um bioma de uma singular importância ecológica, exibe um clima Tropical típico, classificado como Aw segundo Köppen. Essa classificação denota a presença de duas estações claramente distintas: um período de estiagem, que coincide com o inverno, e uma estação chuvosa, característica do verão (Garcia, 1984). As condições médias anuais revelam uma temperatura em torno de 25°C, acompanhada por uma umidade relativa que, em média, alcança 82% (Marcuzzo *et al.*, 2010).

Contudo, o cenário climático atual, sob a influência das mudanças climáticas globais, tem imposto alterações na frequência, duração e intensidade desses períodos seco e chuvoso. É importante ressaltar que, embora essas variações sejam notórias, não se observam tendências sistemáticas de longo prazo que apontem para um aprofundamento contínuo das condições mais secas ou mais úmidas (Marcuzzo *et al.*, 2010).

Em vez disso, as variações interanuais e interdecadais emergem como fatores de maior relevância. Tais variações estão intrinsecamente ligadas à variabilidade do clima, ocorrendo em escalas temporais semelhantes às dos fenômenos interdecadais manifestados nos oceanos Pacífico e Atlântico tropicais (Marengo, 2008).

A precipitação no Pantanal decorre da interação entre diversos sistemas atmosféricos, como sistemas convectivos, ZCAS, Alta da Bolívia e frentes frias. O comportamento das chuvas está diretamente relacionado à circulação das massas de ar úmidas e instáveis que atuam na região. Apesar de o relevo pantaneiro apresentar poucas barreiras de grande altitude, as serras existentes ainda influenciam o clima, modulando tanto a temperatura quanto os padrões de precipitação (Brasil, 1979).

No Pantanal, a média anual de precipitação é de aproximadamente 1.184,3 mm. Mais da metade das estações pluviométricas registram totais médios variando entre 1.100 e 1.200 mm, distribuídos em dois períodos distintos: o chuvoso, de outubro a março, que concentra cerca de 80% da precipitação anual, e a estiagem, de abril a setembro.

O trimestre de maior pluviosidade corresponde a dezembro, janeiro e fevereiro, somando em média 533 mm, o que equivale a cerca de 46% do acumulado anual. Dentro desse intervalo, janeiro se destaca como o mês mais

chuvoso, com média de 203 mm. Em contraste, o trimestre de junho a agosto representa apenas 4,5% do total anual, sendo julho o mês mais seco (Soriano, 2020).

Em uma análise climática no recorte dos municípios, de acordo com a tipologia climática proposta por Köppen, o município de Corumbá-MS enquadra-se na categoria Awa. Esse tipo climático corresponde ao tropical de altitude, megatérmico, caracterizado por apresentar temperaturas médias superiores a 18 °C mesmo no mês mais frio, além de registrar uma estação seca no inverno e concentração das chuvas durante o verão (Soriano, 1997). Como o município de Ladário encontra-se integralmente inserido nos limites territoriais de Corumbá e ambos compartilham as mesmas condições climáticas.

O clima local tem grande relevância na determinação da quantidade de biomassa disponível para a queima de uma área. O tempo local, através da temperatura, precipitação, umidade e o vento, determinam condições necessárias para a ocorrência do fogo e seu comportamento. Os impactos ambientais dos incêndios florestais dependerão das características dos tipos de tempo que estiverem atuando no momento de sua ocorrência (Coutinho *et al.*, 2002).

De maneira geral, o efeito do fogo sobre a vegetação pode variar em função das condições ambientais da área, como a época do ano (início, meio ou fim da seca), a frequência da queima sobre a área (bianual, anual, bienal ou trienal); as condições climáticas no dia da queima (velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar, teor de umidade do solo e das plantas) e a quantidade de combustível (material morto ou seco) a ser queimado, determinando a sua duração e intensidade (Junior e Silva, 2012).

Assim, compreender o regime climático de Corumbá e Ladário vai além da descrição de suas características meteorológicas: trata-se de reconhecer o papel estruturante que o clima exerce na dinâmica ecológica, social e econômica local. O comportamento das chuvas e da temperatura regula desde os ciclos hidrológicos do Pantanal até a disponibilidade de recursos naturais essenciais para a população.

Além disso, a variabilidade interanual e as mudanças associadas ao clima global tornam-se fatores críticos para a gestão territorial, o planejamento urbano,

a conservação ambiental e a prevenção de desastres, sobretudo incêndios florestais e inundações. Dessa forma, a análise climática apresentada constitui um eixo fundamental para a compreensão das interações entre natureza e sociedade na região estudada.

4.4 – Caracterização do solo

O mapa, Figura 9, dos solos predominantes dos municípios de Corumbá e Ladário (IBGE, 2025) evidencia uma expressiva diversidade de classes de solos, cada uma desempenhando funções específicas na dinâmica ambiental local e influenciando diretamente a vulnerabilidade da paisagem à ocorrência de incêndios florestais.

A formação dos solos do Pantanal está diretamente relacionada à estrutura geológica da região, constituída por uma ampla bacia sedimentar que condiciona o acúmulo de sedimentos provenientes das áreas mais elevadas do entorno (Souza *et al.*, *apud* 2021; Coringa *et al.*, 2014). Esses sedimentos resultam de processos geomorfológicos e hidrológicos que, ao longo do tempo, contribuíram para a formação de diferentes classes de solos, conferindo ao Pantanal uma grande diversidade pedológica.

Essa diversidade está associada ao caráter de planície aluvial do bioma, no qual a deposição e a redistribuição de materiais transportados pelos rios desempenham papel fundamental na constituição dos solos (Nascimento *et al.*, 2013). A dinâmica fluvial, marcada por ciclos periódicos de cheia e vazante, favorece o transporte, a deposição e a reorganização dos sedimentos, influenciando diretamente as características físicas e químicas dos solos ao longo da planície.

Nesse contexto, os solos do Pantanal, sob o ponto de vista geológico, desenvolveram-se a partir de sedimentos arenosos, siltico-arenosos, argilo-arenosos e arenoconglomeráticos, que variam de semiconsolidados a consolidados, resultantes de processos deposicionais associados à dinâmica da bacia sedimentar pantaneira (Souza *et al.*, *apud* 2021; Beirigo *et al.*, 2010).

Observa-se, ainda, uma significativa diversidade pedológica na região, cuja morfologia está diretamente relacionada às condições do regime hídrico em

cada área, especialmente à frequência, duração e intensidade das inundações sazonais (Souza *et al.*, *apud* 2021; Beirigo *et al.*, 2010). Dessa forma, as características dos solos refletem a dinâmica ambiental do Pantanal, sendo influenciadas pela alternância entre períodos de cheia e estiagem, o que resulta em variações na drenagem, na estrutura e na composição dos perfis pedológicos.

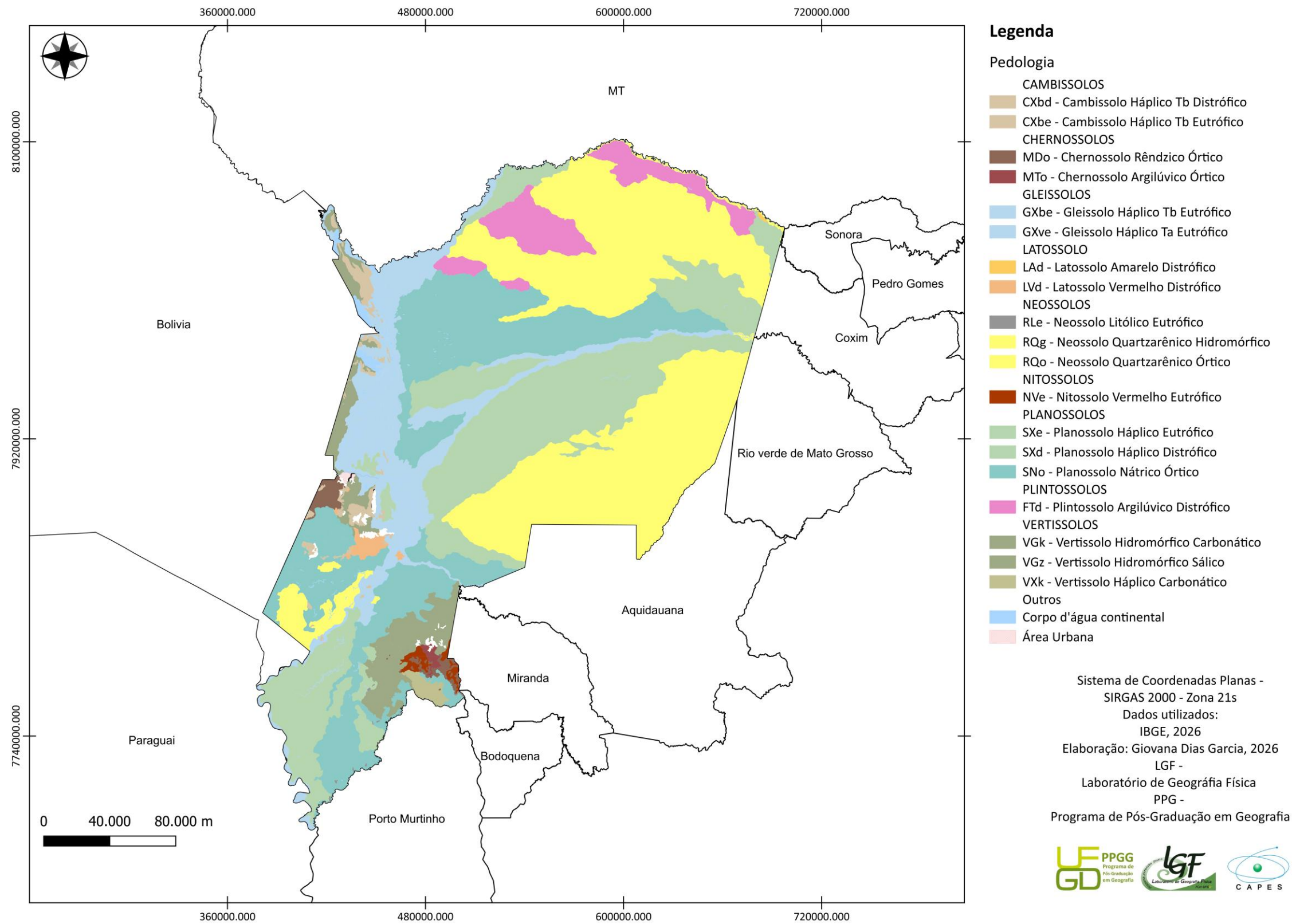
Essa heterogeneidade desempenha papel fundamental na organização da paisagem pantaneira, influenciando diretamente a distribuição da cobertura vegetal, o comportamento da água na superfície e no subsolo, bem como a suscetibilidade do ambiente a processos naturais e antrópicos, como erosão, alagamentos sazonais e ocorrência da incidência dos focos de incêndios.

As diferentes características físicas e químicas dos solos, associadas ao regime hidrológico e às variações do relevo, condicionam a forma como a vegetação se estabelece e se desenvolve, determinando áreas mais úmidas ou mais secas ao longo da planície.

Nesse contexto, essas variações também interferem na disponibilidade de material combustível vegetal e no grau de umidade do solo, fatores que influenciam diretamente a propagação do fogo, especialmente durante períodos prolongados de estiagem.

Assim, a heterogeneidade pedológica do Pantanal contribui para a formação de um mosaico ambiental complexo, no qual determinadas áreas apresentam maior vulnerabilidade à ocorrência de incêndios florestais, sobretudo quando associadas às mudanças climáticas e à intensificação de eventos extremos, que têm se tornado mais frequentes nas últimas décadas.

Figura 9 - Mapa dos tipos de solos de Corumbá e Ladário.



Elaboração: Garcia, 2026.

Nas áreas de planície associadas ao Pantanal, predominam solos hidromórficos, caracterizados por condições de saturação temporária ou permanente devido à influência das inundações sazonais que ocorrem na região, todas as informações referentes a pedologia foram extraídas do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) em sua 6ª edição, do ano de 2025, em escala 1:5.000.000 (IBGE, 2025).

Os Cambissolos identificados na área de estudo são solos minerais que possuem um horizonte B incipiente situado nos primeiros 200 cm do perfil, imediatamente abaixo do horizonte superficial. Não incluem solos com horizonte hístico muito espesso ou com horizonte A chernozêmico associado a B incipiente de alta atividade. Representam um estágio inicial ou intermediário de desenvolvimento pedogenético, com diferenciação moderada de horizontes e menor intemperização em comparação a solos mais evoluídos, como Latossolos e Argissolos (SiBCS, 2025).

Os Plintossolos são solos minerais definidos pela presença de um horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário. Esse horizonte pode iniciar-se até 40 cm da superfície, ou ocorrer até 200 cm de profundidade quando precedido por um horizonte glei ou por horizontes A ou E de coloração pálida, variegada ou com muitos mosqueados. Essas características refletem processos pedogenéticos ligados à formação, acumulação e eventual endurecimento de concreções ricas em ferro e/ou alumínio, que influenciam a estrutura e o funcionamento do perfil do solo (SiBCS, 2025).

Os Gleissolos são solos de drenagem deficiente, geralmente mal ou muito mal drenados, formados por material mineral e definidos pela presença de um horizonte glei iniciado até 50 cm de profundidade, ou entre 50 e 150 cm quando situado abaixo de horizontes A, E ou H hístico pouco espesso. Predominam nas planícies do Pantanal, onde a alta saturação hídrica no período chuvoso reduz a ocorrência de fogo. Contudo, durante a estiagem, o rebaixamento do lençol freático deixa exposto material vegetal seco, aumentando significativamente o risco e a propagação de incêndios (SiBCS, 2025).

Latossolos são solos minerais caracterizados pela presença de um horizonte B latossólico, identificado dentro dos primeiros 200 cm do perfil do solo quando precedido por qualquer tipo de horizonte A. Caso o horizonte A

apresente espessura superior a 150 cm, o horizonte B latossólico pode estar localizado até 300 cm de profundidade. Esses solos são típicos de ambientes tropicais e subtropicais, onde processos intensos de intemperismo e lixiviação resultam em perfis profundos, bem desenvolvidos e com alta concentração de óxidos de ferro e alumínio no horizonte B (Ker, 1997).

Os Chernossolos são solos minerais definidos pela presença de um horizonte A chernozêmico, rico em matéria orgânica, com alta saturação por bases e, frequentemente, teores elevados de carbonato de cálcio. Formam-se a partir de rochas ricas em cálcio e magnésio, contendo minerais do grupo das esmectitas, que conferem alta atividade à fração argila e favorecem condições de reação neutra a alcalina. Sua classificação depende desse horizonte A chernozêmico instalado sobre um horizonte B textural de caráter argilúvico e argila de alta atividade, indicando um estágio de desenvolvimento pedogenético ainda relativamente inicial (Zaroni, 2021).

Os Nitossolos são solos minerais argilosos, com mais de 350 g kg⁻¹ de argila inclusive no horizonte A, e possuem um horizonte B nítico dentro dos primeiros 200 cm do perfil. Esse horizonte é marcado por argila de baixa atividade ou de alta atividade com caráter alumínico, especialmente nos primeiros 100 cm. A policromia pode auxiliar na distinção entre Nitossolos e Argissolos quando suas características são semelhantes; entretanto, os Nitossolos não apresentam policromia nos primeiros 150 cm do perfil (SiBCS, 2025).

Os Argissolos são solos minerais que apresentam horizonte B textural imediatamente abaixo dos horizontes A ou E, localizado dentro dos primeiros 200 cm do perfil do solo. O horizonte B textural caracteriza-se pela predominância de argila de baixa atividade ou de argila de alta atividade combinada com baixa saturação por bases ou caráter alumínico, presentes na maior parte do horizonte. A ocorrência de horizontes plíntico, concrecionário, litoplíntico, glei ou B espódico, quando presentes, descaracteriza a classificação como Argissolo, direcionando a classificação para Plintossolos, Gleissolos ou Espodossolos, respectivamente (SiBCS, 2025).

Os Neossolos são solos pouco desenvolvidos, formados por material mineral ou por material orgânico com espessura inferior a 20 cm, que não

apresentam qualquer tipo de horizonte B diagnóstico ao longo do perfil. A presença de horizontes como hístico, glei, plântico, concrecionário, litoplântico, vértico ou A chernozêmico, quando observados, não ocorre em condições diagnósticas para as classes correspondentes aos Organossolos, Gleissolos, Plintossolos, Vertissolos e Chernossolos, respectivamente, mantendo assim a classificação do solo como Neossolo (SiBCS, 2025).

Os Planossolos são solos constituídos predominantemente por material mineral que apresentam uma sequência característica no perfil: um horizonte superficial do tipo A ou E, seguido por um horizonte B plânico, ambos localizados dentro dos primeiros 200 cm do solo. O horizonte B plânico é definido por uma textura mais fina e maior densidade, que restringe a infiltração de água, resultando em condições temporariamente saturadas no horizonte superior e favorecendo processos de redução química, que podem gerar manchas de cor e características gleicas em solos adjacentes (SiBCS, 2025).

Os Vertissolos são solos minerais com um horizonte vértico iniciado nos primeiros 100 cm do perfil e que, embora argilosos, não apresentam contraste textural suficiente para definir um horizonte B textural. Contêm 30% ou mais de argila em todo o perfil e não são hidromórficos, exceto quando apresentam restrições temporárias à percolação. Caracterizam-se pela forte variação de volume conforme a umidade, formando fendas profundas na estação seca e exibindo superfícies de fricção (*slickensides*) associadas a grandes estruturas internas inclinadas (Cunha *et al.*, 2021).

A diversidade pedológica observada na área de estudo exerce um papel fundamental na dinâmica ambiental do Pantanal, influenciando diretamente nos processos de ocorrência, propagação e a intensidade dos incêndios florestais na localidade. Os solos hidromórficos, como o Gleissolos e Plintossolos, tendem a reduzir a suscetibilidade ao fogo durante os períodos de inundação, porém, enquanto na estação da seca, o rebaixamento do nível da água favorece o acúmulo de material orgânico e o tornando-o um combustível de grande extensão.

Por outro lado, solos mais bem drenados e desenvolvidos, como Latossolos, Argissolos e Nitossolos, podem sustentar maior cobertura vegetal, o

que contribui para maior disponibilidade de combustível, especialmente sob condições prolongadas de estiagem.

Assim, a relação entre solo, regime hidrológico, cobertura vegetal e condições climáticas demonstra que a vulnerabilidade da paisagem aos incêndios não depende de um único fator, mas do conjunto de características naturais que controlam a dinâmica ecológica regional.

Dessa forma, a compreensão integrada das características pedológicas torna-se essencial para o planejamento ambiental, para o monitoramento das áreas mais vulneráveis e para a elaboração de estratégias de prevenção e controle do fogo no Pantanal, especialmente diante do aumento da frequência de eventos extremos associados às mudanças climáticas.

O próximo capítulo apresenta, de forma detalhada e sistematizada, a metodologia utilizada neste estudo, descrevendo os procedimentos adotados para o desenvolvimento da pesquisa. Foram apresentados os materiais e métodos empregados, as bases de dados utilizadas, bem como as ferramentas e técnicas aplicadas para a obtenção, tratamento e análise das informações.

Além disso, são descritas as etapas metodológicas seguidas ao longo do trabalho, desde a definição da área de estudo, a coleta e organização dos dados, até os processos de análise, interpretação e elaboração dos resultados finais.

A descrição detalhada da metodologia torna-se fundamental para garantir a confiabilidade, a reprodutibilidade e a consistência científica da pesquisa, permitindo que os resultados obtidos sejam compreendidos de forma clara e possam servir de base para estudos futuros relacionados às mudanças climáticas e aos incêndios florestais no bioma Pantanal.

An aerial photograph of a flooded landscape. In the foreground, a large, light blue house with a brown roof is partially submerged in dark water. To its right, a smaller, similar house is also in the water. The background shows a dense forest of green trees, some of which are also in the water. The overall scene depicts a significant flooding event in a rural or semi-rural area.

CAPÍTULO 5 :

ANÁLISE DOS RESULTADOS: A SAZONALIDADE DA OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

CAPÍTULO 5: ANÁLISE DOS RESULTADOS: A SAZONALIDADE DA OCORRÊNCIA DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos na pesquisa, com foco na análise integrada dos principais elementos físicos e ambientais dos municípios de Corumbá e Ladário. A abordagem adotada visa compreender como os fatores naturais e antrópicos se articulam no espaço geográfico, influenciando diretamente a dinâmica ambiental local. Para isso, foram considerados os dados climáticos, o uso e cobertura da terra, a distribuição dos focos de incêndios e os índices espectrais NDVI e NDWI.

O Pantanal é um bioma marcado por uma intensa interação entre a planície e o planalto, cuja conexão se dá por meio de suas características naturais compartilhadas. O funcionamento desse sistema depende diretamente do ciclo hidrológico, especialmente da alternância entre os períodos de cheia e de estiagem, regulados pelas chuvas ao longo do ano (Boin *et al.*, 2019). Essa relação mútua entre os elementos do ambiente molda a dinâmica hidrofluvial da região, que pode ser facilmente alterada diante de secas prolongadas ou inundações severas.

A ocorrência de secas prolongadas ou a redução significativa do volume de chuvas compromete o ciclo das cheias, resultando na diminuição das áreas alagadas. Com isso, extensas porções de terra e matéria orgânica que normalmente permaneceriam submersas ficam expostas por períodos mais longos. Essa exposição prolongada torna o ambiente mais suscetível à incidência de incêndios florestais, especialmente quando associada a condições meteorológicas favoráveis à combustão (Couto *et al.*, 2009).

A utilização dos índices NDVI e NDWI permitiram identificar e monitorar variações na cobertura vegetal e na presença de água superficial, fornecendo informações cruciais sobre a saúde dos ecossistemas do Pantanal. Esses índices possibilitam avaliar a vulnerabilidade de determinadas áreas frente a incêndios, seca ou alterações no regime hidrológico, além de auxiliar na compreensão dos impactos de atividades humanas sobre o ambiente natural. Dessa forma, a integração de dados espaciais e índices espectrais contribui para uma análise mais detalhada e fundamentada da dinâmica ambiental local,

oferecendo subsídios importantes para estratégias de manejo e conservação da região.

Em síntese, os resultados indicam que a dinâmica ambiental dos municípios de Corumbá e Ladário é determinada por uma complexa interação entre fatores naturais e humanos, sendo essencial a utilização de ferramentas de monitoramento remoto para acompanhar as mudanças ao longo do tempo. A combinação de dados sobre focos de incêndios, uso e cobertura da terra, NDVI, NDWI, relevo, solos e hidrografia oferece uma visão integrada que subsidia ações de conservação, manejo de recursos hídricos e prevenção de incêndios, contribuindo para a sustentabilidade do bioma Pantanal.

5.1 – Análise dos dados climáticos

A análise dos dados climáticos de precipitação constitui uma etapa fundamental para a compreensão da dinâmica ambiental da área de estudo, especialmente em regiões sujeitas a forte variabilidade hidrológica, como o Pantanal. A precipitação é um dos principais elementos responsáveis pelo controle do regime de cheias e secas, influenciando diretamente na umidade do solo, na disponibilidade hídrica, na cobertura vegetal e, conseqüentemente, na suscetibilidade à ocorrência de incêndios florestais.

Para a realização desta análise, foram utilizados dados históricos de precipitação obtidos por meio de bases meteorológicas oficiais e/ou produtos climáticos de sensoriamento remoto, permitindo avaliar a variabilidade temporal ao longo dos anos estudados.

Os dados foram organizados em séries temporais, possibilitando a identificação de períodos com anomalias positivas e negativas de chuva, bem como a ocorrência de anos secos e anos chuvosos. A Tabela 1 apresenta a síntese da ocorrência de chuvas na área de estudo, contemplando as estações do inverno e da primavera de 2023, bem como do verão e do outono de 2024.

Tabela 1 - Síntese da ocorrência de chuvas nos municípios de Corumbá e Ladário, considerando o inverno e a primavera de 2023 e o verão e o outono de 2024.

Ano Estações Meses	2023 – Chuvas em mm						2024 – Chuvas em mm					
	Inverno			Primavera			Verão			Outono		
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
Média Histórica	18,17	22,90	45,63	92,13	136,90	153,13	167,17	146,77	128,63	70,63	58,40	24,47
Média Registrada	9,7	12,5	31,8	51,7	136,3	139,3	203,8	146,3	105,8	39,6	1,6	0,0
Média de dias sem chuva	30,0	29,3	25,3	26,0	22,3	20,7	20,7	17,0	16,5	20,5	29,0	30,0
Total médio de dias sem chuva em 12 meses						287,3						
Média histórica						1058,2						
Total registrado em 12 meses						878,0						
Abaixo da média anual						-17%						
Média histórica sazonal		Inverno				Primavera	Verão	Outono				
		86,7				382,2	442,6	153,6				
Total registrado sazonal		54,0				327,3	455,9	41,2				
Abaixo da média sazonal		-37,7%				-14,4%	+3%	-73,2%				

Fonte: Garcia, Silva e Amorim, 2024.

Os dados analisados indicam uma redução significativa no volume de chuvas ao longo dos 12 meses estudados, representando uma diminuição de aproximadamente 17% em comparação com a média histórica anual. Entre as estações do ano, apenas o verão apresentou precipitação ligeiramente acima da média, com um acréscimo de cerca de 3%, enquanto o inverno, a primavera e o outono registraram índices pluviométricos inferiores ao esperado. Essa redução evidencia uma alteração no regime climático regional, fator que interfere diretamente na dinâmica ambiental do Pantanal, especialmente no equilíbrio entre períodos de cheia e estiagem.

O outono destacou-se como a estação com maior redução no volume de chuvas, apresentando uma queda acentuada de 73,2% em relação à média histórica. Esse decréscimo coincidiu com o aumento expressivo nos registros de incêndios florestais na região, indicando uma possível relação entre a diminuição da umidade e a maior suscetibilidade da vegetação ao fogo. A escassez de precipitação contribui para o ressecamento da cobertura vegetal e do solo, criando condições favoráveis para a ignição e propagação das chamas, principalmente em áreas onde já existe material combustível acumulado.

A análise conjunta dos dados climáticos e dos registros dos incêndios reforça a hipótese de que as variações no regime de chuvas estão diretamente relacionadas à intensificação dos incêndios florestais nos municípios de Corumbá e Ladário. Em um bioma como o Pantanal, cuja dinâmica natural depende fortemente do ciclo hidrológico, alterações na quantidade e na distribuição das chuvas podem provocar desequilíbrios significativos, afetando a vegetação, a fauna e as atividades humanas. Além disso, períodos prolongados de estiagem, associados ao aumento das temperaturas, tendem a potencializar a ocorrência de eventos extremos, tornando o ambiente mais vulnerável.

Dessa forma, os resultados obtidos ao longo desta pesquisa demonstram que a redução dos índices pluviométricos, aliada às mudanças climáticas e às condições ambientais do Pantanal, exerce influência direta sobre o aumento da frequência e da intensidade dos incêndios florestais na região estudada. A compreensão dessas relações torna-se fundamental para o planejamento de ações de prevenção, monitoramento e manejo do fogo, contribuindo para a preservação dos ecossistemas pantaneiros e para a redução dos impactos

ambientais, sociais e econômicos associados às ocorrências dos incêndios florestais.

5.2 – Uso e cobertura da terra

O mapeamento do uso e cobertura da terra é uma ferramenta essencial para compreender a dinâmica de transformação do território de Corumbá e Ladário – MS. Por meio da comparação de dois cenários, dos anos 2024 e 2023, é possível identificar alterações nas paisagens naturais e nas áreas destinadas a atividades antrópicas, evidenciando tendências de expansão, substituição ou intensificação de determinados usos.

Devido à grande extensão da área de estudo utilizou-se os dados do MapBiomas, que fornecem séries históricas de uso e cobertura da terra consolidadas, classificações de ampla cobertura e elevada acurácia em escalas nacional e regional. Embora essa acurácia possa ser limitada quando aplicada à escala local, a aquisição pelo projeto representou a única alternativa viável e suficientemente confiável para a produção do mapa, sendo utilizada a versão mais atual disponível, referente ao ano de 2023 e 2024.

Os dados obtidos pelo MapBiomas, possibilitou a classificação e representação espacial de diferentes classes, como: Afloramento rochoso, área urbana, campo alagado, formação campestre, formação savânica, mineração, mosaico de uso, outras áreas não vegetadas, outras lavouras temporárias, pastagem, corpo d'água e soja. A comparação entre os períodos oferece subsídios para identificar tendências ambientais associadas ao agravamento da seca, variações hidrológicas e aumento da suscetibilidade ao fogo, possibilitando analisar de que forma fatores climáticos, sociais e econômicos influenciaram a intensificação desses eventos ao longo do tempo.

Além disso, a análise comparativa entre os dois períodos possibilita identificar áreas onde a paisagem se tornou mais vulnerável devido à alteração de classes de uso e cobertura, como a expansão de vegetação combustível, a redução de áreas úmidas e a intensificação de atividades antrópicas. Esses elementos, quando associados ao aumento da variabilidade climática, especialmente eventos extremos de seca prolongada, ajudam a explicar a maior

recorrência e intensidade dos focos de incêndio observados nas últimas décadas.

Com base na Figura 10, observa-se que, em ambos os anos, as áreas classificadas como campo alagado e áreas pantanosas, bem como os corpos hídricos (rios e lagoas), mantêm forte concentração na porção centro-oeste da área de estudo, refletindo a influência direta do regime hidrológico do rio Paraguai e sua planície de inundação. No entanto, ao comparar os dois períodos, nota-se uma redução espacial dessas áreas úmidas em 2024, possivelmente associada à variabilidade hidrológica interanual e a períodos de menor inundação.

Paralelamente, verifica-se uma expansão relativa das áreas de pastagem e mosaico de usos em 2024, principalmente nas porções mais elevadas e periféricas da planície. Essa dinâmica pode estar relacionada tanto à retração das áreas alagadas quanto ao avanço de atividades antrópicas, especialmente a pecuária extensiva, que é dominante na região. Essa substituição de áreas naturais por usos produtivos indica uma pressão crescente sobre os ecossistemas naturais, ainda que de forma difusa.

As formações savânicas e campestres apresentam relativa estabilidade espacial entre os anos analisados, sugerindo que essas fitofisionomias possuem maior resiliência às variações sazonais e hidrológicas. Entretanto, pequenas alterações na distribuição dessas classes podem estar associadas a eventos climáticos extremos, como secas prolongadas, que impactam diretamente a estrutura e composição da vegetação.

Outro ponto relevante é a manutenção das áreas de silvicultura e agricultura (soja e outras lavouras temporárias) em proporções reduzidas, porém com leve incremento em 2024. Esse comportamento pode indicar uma tendência de intensificação do uso da terra em áreas específicas, embora ainda limitada quando comparada à dominância das pastagens.

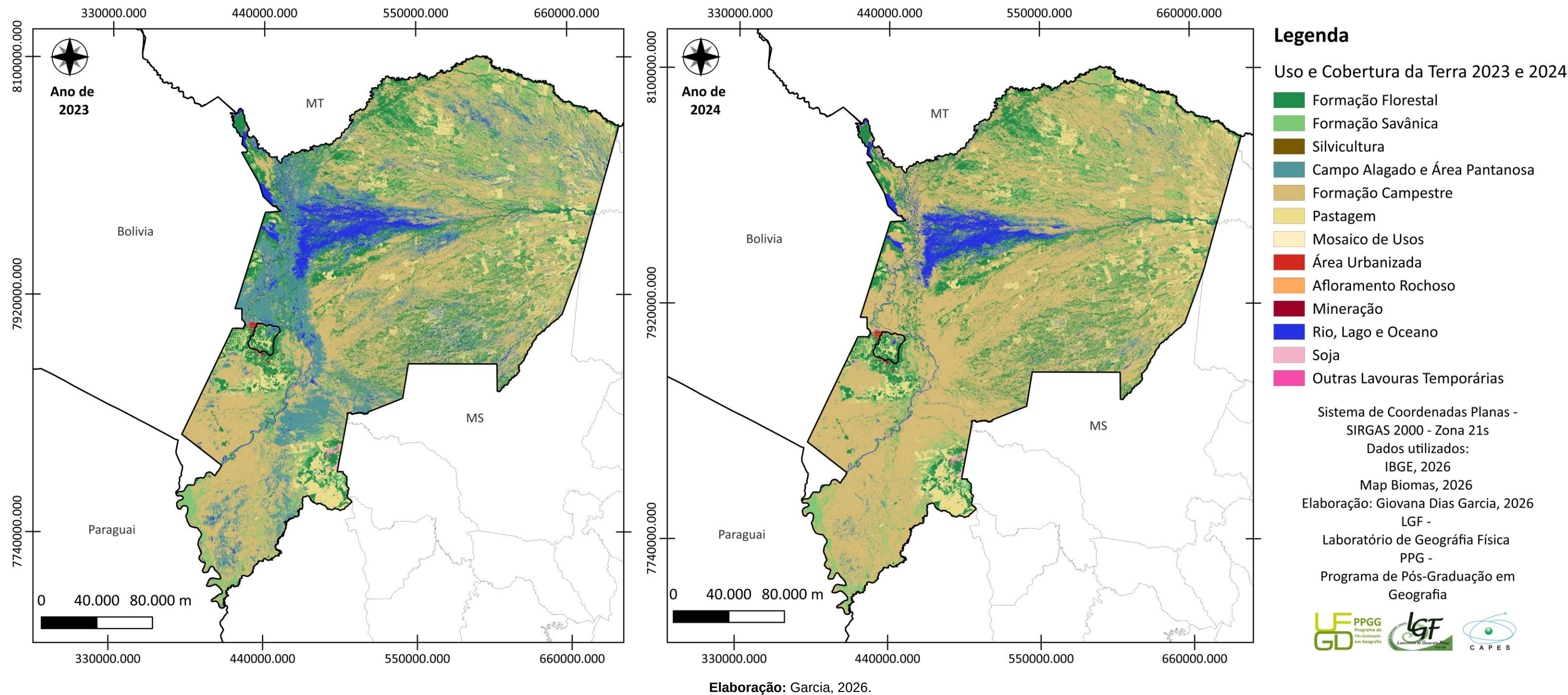
Eventos recentes têm demonstrado que há uma maior frequência de períodos de seca prolongada e irregularidade na distribuição das chuvas, o que afeta diretamente a manutenção das áreas alagadas e ocasionam essas mudanças drásticas no bioma, afetando seu funcionamento ecológico.

Além disso, a interação entre mudanças climáticas e uso da terra atua de forma sinérgica, potencializando os impactos sobre a paisagem. A conversão de áreas naturais em pastagens, associada à redução da umidade superficial, pode acelerar processos de perda de biodiversidade, alteração dos ciclos hidrológicos e fragilização dos ecossistemas.

Os incêndios florestais emergem como também como um dos principais agentes de transformação da paisagem pantaneira, atuando tanto como consequência quanto como intensificadores das mudanças climáticas e das alterações no uso da terra. A redução das áreas úmidas, associada ao aumento das temperaturas e à ocorrência de secas prolongadas, favorece o acúmulo de material combustível e a propagação do fogo em grandes extensões.

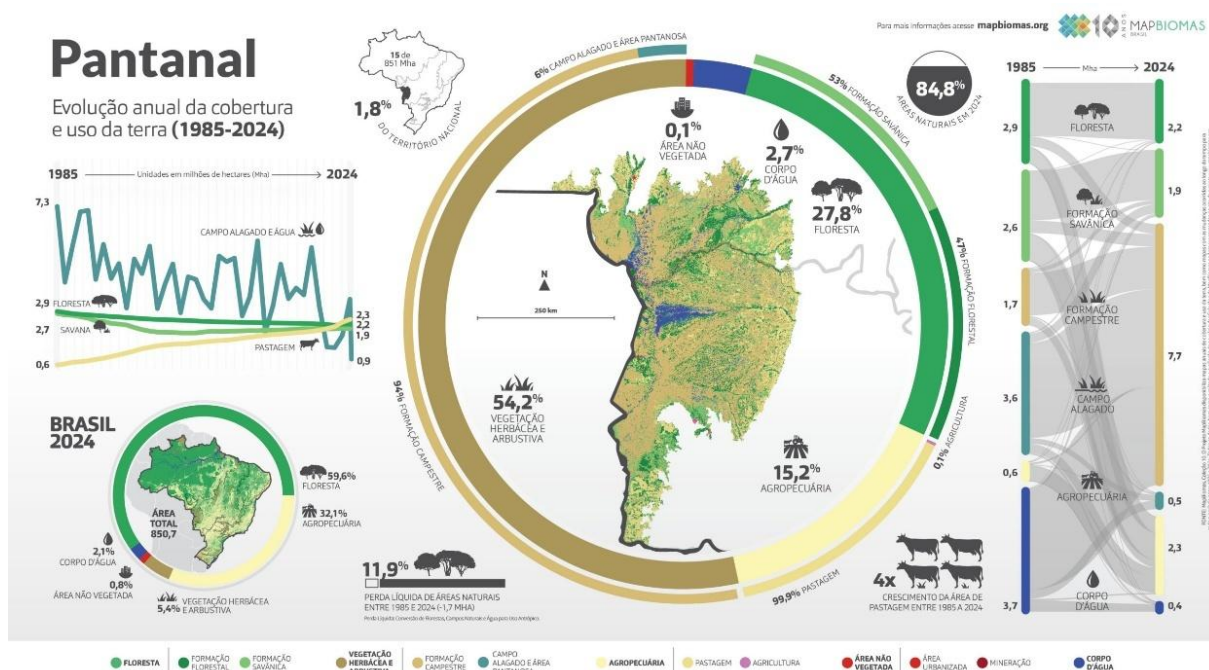
Além disso, práticas antrópicas, como o manejo inadequado do solo e o uso do fogo incorreto nessas áreas, contribuem para o aumento dos focos de calor. Dessa forma, os incêndios passam a exercer um papel central na dinâmica ambiental do Pantanal, promovendo a degradação da vegetação nativa, a emissão de gases de efeito estufa e a retroalimentação dos processos de aquecimento, o que reforça a necessidade de compreender esses eventos de forma integrada às mudanças climáticas e às transformações no uso e cobertura da terra.

Figura 10 - Uso e ocupação da terra em Corumbá e Ladário, anos de 2023 e 2024.



No contexto mais amplo do Pantanal, os dados apresentados pelo MapBiomas (1985–2024), figura 11, reforçam a tendência observada em Corumbá e Ladário, ao apontar a expressiva redução das áreas naturais e a ampliação dos usos antrópicos. A vegetação campestre e arbustiva, embora ainda represente a maior parcela da cobertura (54,2%), vem cedendo espaço principalmente para a expansão das pastagens, que quadruplicaram no período analisado.

Figura 11 - Evolução anual da cobertura e uso da terra (1985-2024).



Fonte: MapBiomas, 2025.

Esse avanço está diretamente associado ao fortalecimento da pecuária como atividade econômica dominante, em detrimento de formações florestais e savânicas. Além disso, destaca-se o crescimento da agropecuária, que hoje ocupa 15,2% do território pantaneiro, sinalizando um processo de intensificação produtiva que ameaça a resiliência dos ecossistemas locais.

Apesar da manutenção significativa de áreas alagadas e da rede hidrográfica, a conversão de habitats e a fragmentação da paisagem tornam-se cada vez mais evidentes, confirmando a pressão contínua sobre a biodiversidade e a dinâmica natural do bioma.

5.3 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O uso do geoprocessamento aliado ao sensoriamento remoto tem se consolidado como uma ferramenta essencial nos estudos ambientais, uma vez que permite compreender os processos responsáveis pelas mudanças na paisagem e orientar práticas de manejo em áreas de interesse ecológico (Albert; Geneletti; Kopperoinen, 2017 *apud* Ornellas; Lopes, 2020).

Nesse contexto, destaca-se O NDVI, desenvolvido para identificar a cobertura vegetal a partir da interação entre as faixas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo. Por meio dessa relação espectral, o índice evidencia a presença ou ausência de vegetação, sendo amplamente utilizado na estimativa de biomassa devido à sua forte correlação linear com a densidade vegetal (Meneses; Almeida, 2012 *apud* Ornellas; Lopes, 2020).

Para a análise utilizou-se como base o ano de 2023 e 2024, assim como o período de abril a junho (outono), julho a setembro (inverno), outubro a dezembro (primavera) e janeiro a março (verão). O ano de 2023 e 2024, figura 12, há uma predominância de valores de NDVI entre 0,60 e 0,90, indicando a presença de vegetação relativamente densa em grande parte da área de estudo.

Entretanto, ao comparar os dois períodos, observa-se uma redução sutil, porém espacialmente significativa, das áreas com valores elevados de NDVI no ano de 2024, acompanhada pelo aumento de áreas com valores intermediários (0,40 a 0,60) e baixos (<0,40), principalmente na porção oeste da área de estudo, próxima à fronteira com a Bolívia, e em setores do sul do Pantanal.

No mapa referente a 2023, nota-se maior continuidade das classes com NDVI elevado, o que sugere melhores condições de umidade do solo e maior vigor da vegetação naquele período. Já em 2024, verifica-se maior fragmentação dessas áreas e aumento de manchas com valores mais baixos, indicando possível redução da atividade fotossintética, associada a condições mais secas ou maior ocorrência de incêndios.

Essas diferenças podem estar relacionadas à intensificação de eventos climáticos associados à variabilidade interanual, como períodos prolongados de

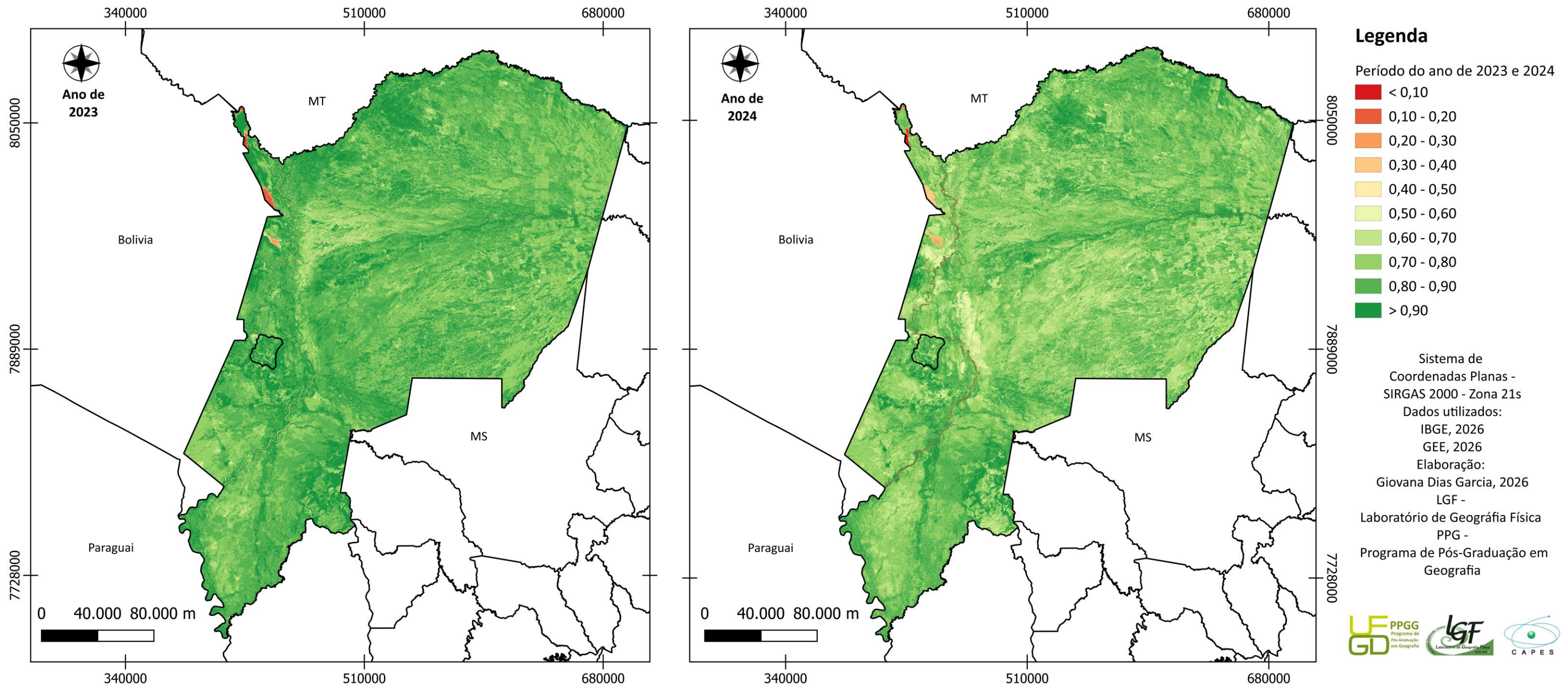
estiagem e aumento das temperaturas, fatores que vêm sendo registrados com maior frequência na planície pantaneira nas últimas décadas.

Dessa forma, a comparação entre os mapas de NDVI indica uma tendência de diminuição do vigor vegetacional em 2024 na área estudada, esses resultados corroboram a literatura que aponta o bioma como altamente sensível às mudanças climáticas, devido à sua dependência do regime hidrológico e da sazonalidade das chuvas.

Além disso, os padrões observados no NDVI também refletem a influência direta dos incêndios florestais sobre a dinâmica da vegetação no Pantanal. Áreas afetadas pelo fogo tendem a apresentar redução abrupta nos valores do índice, devido à remoção da biomassa e à diminuição da atividade fotossintética, sendo posteriormente seguidas por processos de regeneração que podem variar conforme a intensidade e a frequência dos incêndios.

No entanto, a recorrência de incêndios em intervalos curtos pode comprometer essa capacidade de recuperação, resultando em vegetação mais rala, fragmentada e com menor vigor, o que se traduz em valores mais baixos de NDVI. Assim, a diminuição observada em 2024 pode estar associada não apenas às condições climáticas mais secas, mas também ao aumento da incidência dos focos de incêndios, evidenciando a interação entre fatores climáticos e antrópicos na degradação da cobertura vegetal e no funcionamento ecológico do bioma

Figura 12 - NDVI de Corumbá e Ladário dos anos de 2023 e 2024.



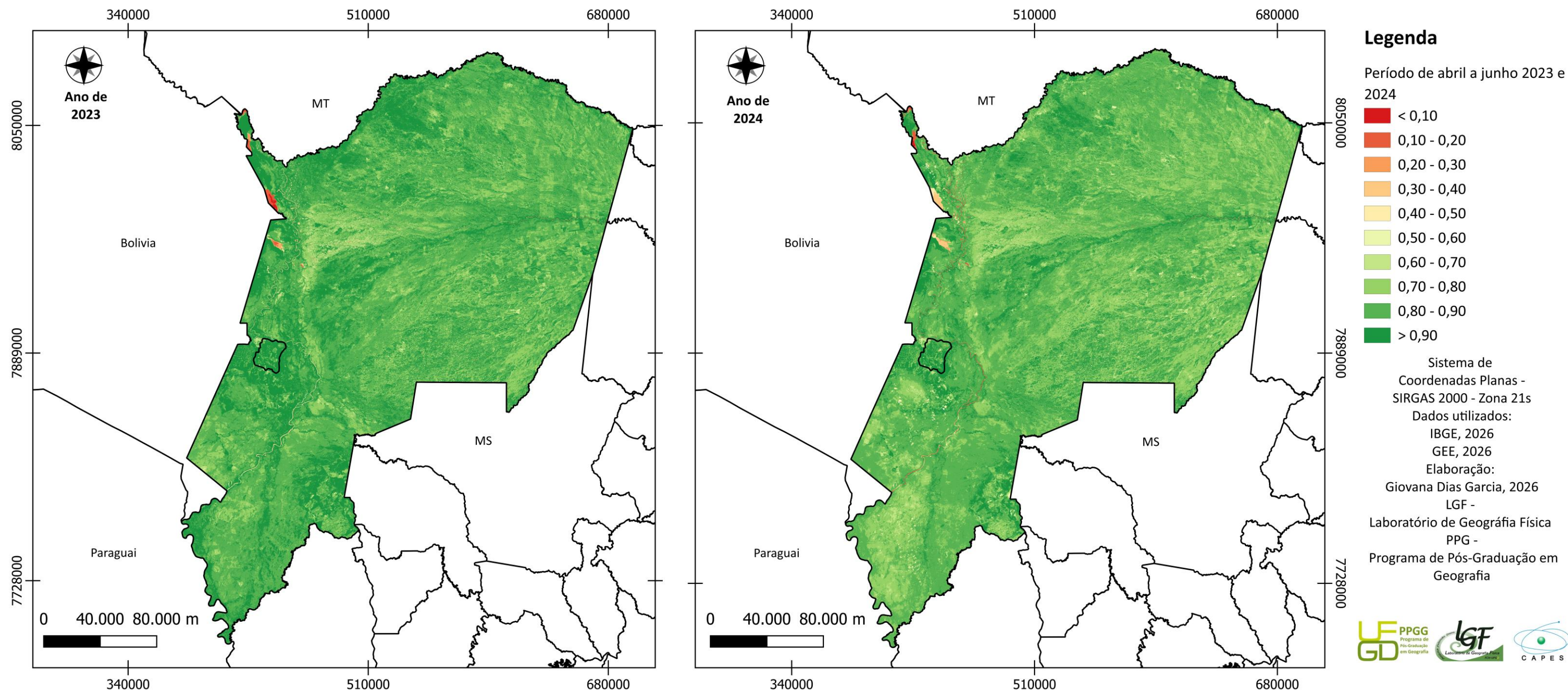
O período analisado de abril a junho (outono) de 2023 e 2024, Figura 13, revela um comportamento estável da cobertura vegetal na área, com a predominância dos índices elevados em ambos. Observa-se que em grande parte do território apresente valores entre 0,70 e 0,90. Ainda assim, o outono de 2024, embora ainda haja predominância de valores altos de NDVI, nota-se uma leve redução na uniformidade espacial, com maior presença de classes intermediárias (0,50 a 0,70), sobretudo em setores do oeste e sudoeste da área de estudo.

Outro elemento relevante para a análise é que a comparação entre as estações sugere que o outono de 2024, a vegetação responde de maneira mais seletiva às condições ambientais, evidenciando maior contraste entre as áreas mais resilientes e áreas mais vulneráveis. Isso pode ser interpretado como um indício de que o sistema ambiental se encontrava mais suscetível a variações climáticas ou pressões de uso da terra nesse período.

Do ponto de vista sazonal, o outono atua como uma fase de transição em que a vegetação começa a refletir não apenas as condições passadas (verão), mas também sinais iniciais de possíveis restrições futuras (inverno). Nesse sentido, as diferenças observadas entre 2023 e 2024 podem representar respostas antecipadas da vegetação a cenários ambientais distintos, ainda que de forma sutil.

Assim, a análise evidencia que, mesmo em contextos de aparente estabilidade, a vegetação apresenta dinâmicas espaciais complexas, que só se tornam perceptíveis por meio de comparações interanuais. Esses padrões reforçam a importância de abordagens espaciais detalhadas na interpretação do NDVI, permitindo identificar não apenas variações nos valores médios, mas também mudanças na organização e na conectividade da cobertura vegetal ao longo do tempo.

Figura 13 - NDVI de Corumbá e Ladário no período de outono de 2023 e 2024.



Elaboração: Garcia, 2026

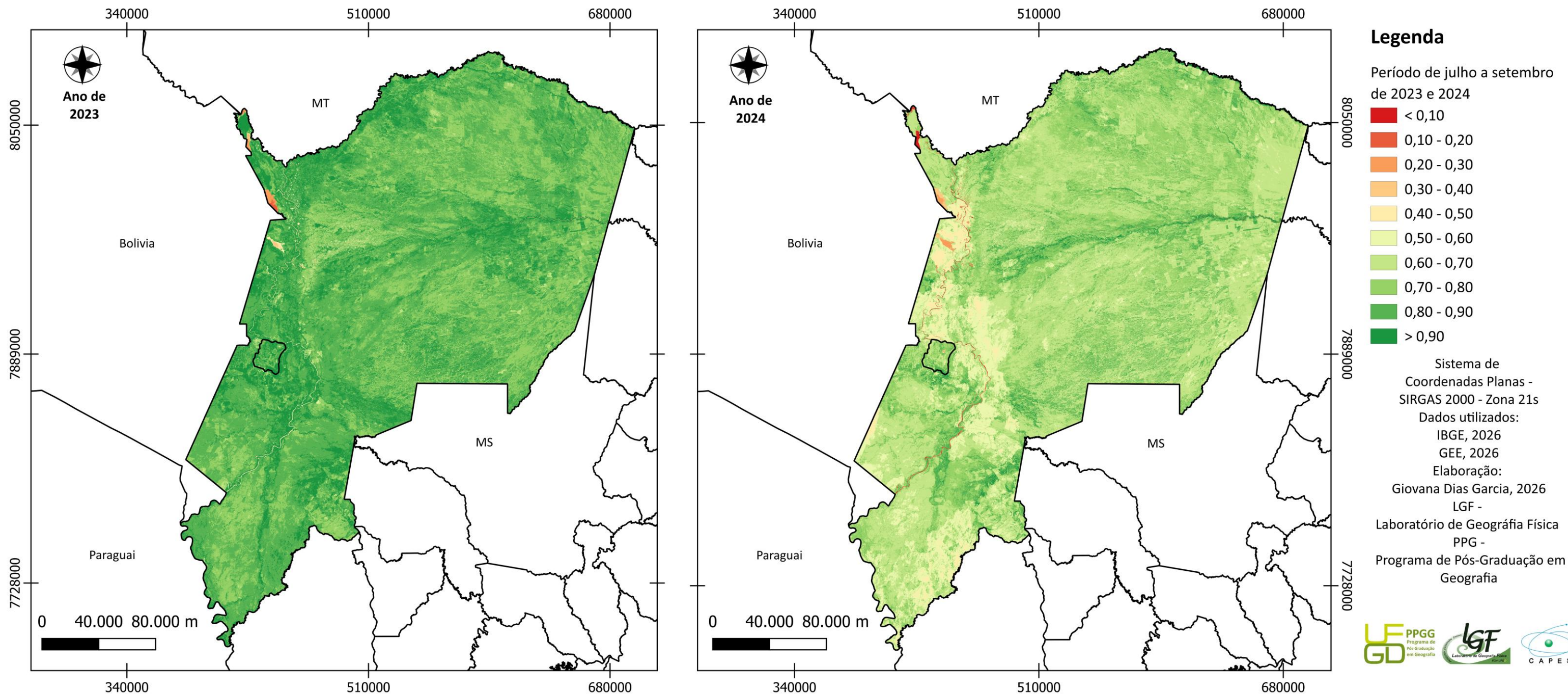
A análise do período de julho a setembro, que corresponde ao inverno, do ano de 2023 e 2024, Figura 14, possibilita observar as mudanças espaciais relevantes na dinâmica da cobertura vegetal na área de estudo. Dessa forma, o inverno do ano de 2023 apresentou uma predominância dos valores do NDVI elevados, acima de 0,70, indicando a presença da vegetação densa e vigorosa. Ao analisar a de 2024, há uma redução desses valores e o aumento pontual das áreas com baixos índices (0,40), especialmente em regiões específicas do setor oeste e sudoeste.

Assim, a redução observada em 2024 sugere condições menos favoráveis ao desenvolvimento da vegetação, possivelmente relacionadas à diminuição das chuvas no período anterior ou durante o inverno, bem como ao aumento das temperaturas médias, fatores que contribuem para o estresse hídrico das plantas. Outro aspecto relevante é a distribuição espacial dessas mudanças. Em 2023, a homogeneidade dos valores elevados indica uma cobertura vegetal relativamente contínua, o que pode estar associado à boa recuperação de áreas de pastagem e vegetação nativa após períodos chuvosos.

Além dos fatores climáticos, o uso e ocupação do solo também desempenham papel fundamental na interpretação desses resultados. Áreas agrícolas podem apresentar variações sazonais mais acentuadas, especialmente em função do calendário de plantio e colheita. Já áreas de vegetação nativa tendem a apresentar maior estabilidade, embora ainda sejam impactadas por eventos extremos.

A possível expansão de áreas antrópicas, como pastagens degradadas ou agricultura intensiva, pode contribuir para a redução dos valores de NDVI observada em 2024. A presença de valores muito baixos em regiões pontuais, especialmente próximos à fronteira oeste, pode indicar áreas de solo exposto, afetado pelo fogo ou degradação da cobertura vegetal.

Figura 14 - NDVI de Corumbá e Ladário no período de inverno de 2023 e 2024.



Elaboração: Garcia, 2026.

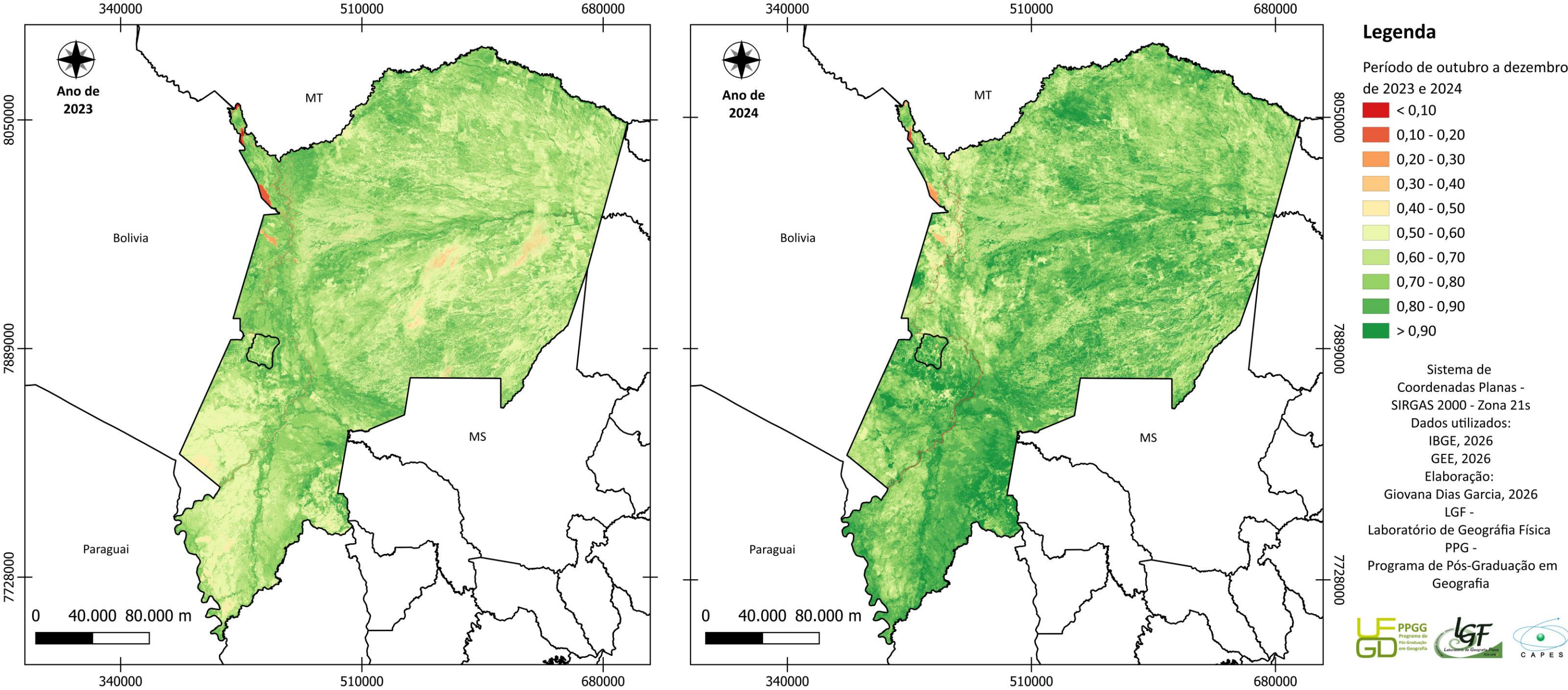
A Figura 15 mostra a diferença entre outubro a dezembro, que seria a primavera de 2023 e 2024, observa-se que a cobertura vegetal do ano de 2023 se encontrava com níveis baixos do NDVI, indicando que a vegetação se encontrava em processo de recuperação, ainda não atingindo seu máximo vigor. Esse padrão sugere um início gradual da resposta vegetativa, possivelmente condicionado por uma retomada mais lenta das chuvas ou por um período seco anterior mais prolongado, que retardou o restabelecimento da biomassa.

Em contraste, a primavera de 2024 apresenta uma intensificação mais evidente dos valores de NDVI, com expansão das classes superiores (acima de 0,70), sobretudo nas porções sul e sudoeste da área de estudo. Esse comportamento indica uma resposta mais rápida e vigorosa da vegetação, possivelmente associada a uma antecipação ou maior regularidade das chuvas no início da estação, favorecendo o desenvolvimento mais acelerado da cobertura vegetal.

De modo geral, a comparação entre as primaveras de 2023 e 2024 indica que o segundo ano apresentou condições mais favoráveis à rápida recuperação da vegetação, resultando em maior vigor e continuidade espacial dos índices de NDVI. Esse contraste reforça o papel da primavera como uma estação-chave para a análise da dinâmica da vegetação, pois revela com maior clareza a capacidade de resposta do sistema ambiental às variações climáticas interanuais.

Assim, os resultados destacam que a primavera não apenas marca a transição entre a estação seca e chuvosa, mas também funciona como um indicador sensível das condições ambientais que irão influenciar o comportamento da vegetação nos meses subsequentes.

Figura 15 - NDVI de Corumbá e Ladário no período da primavera de 2023 e 2024.



Elaboração: Garcia, 2026.

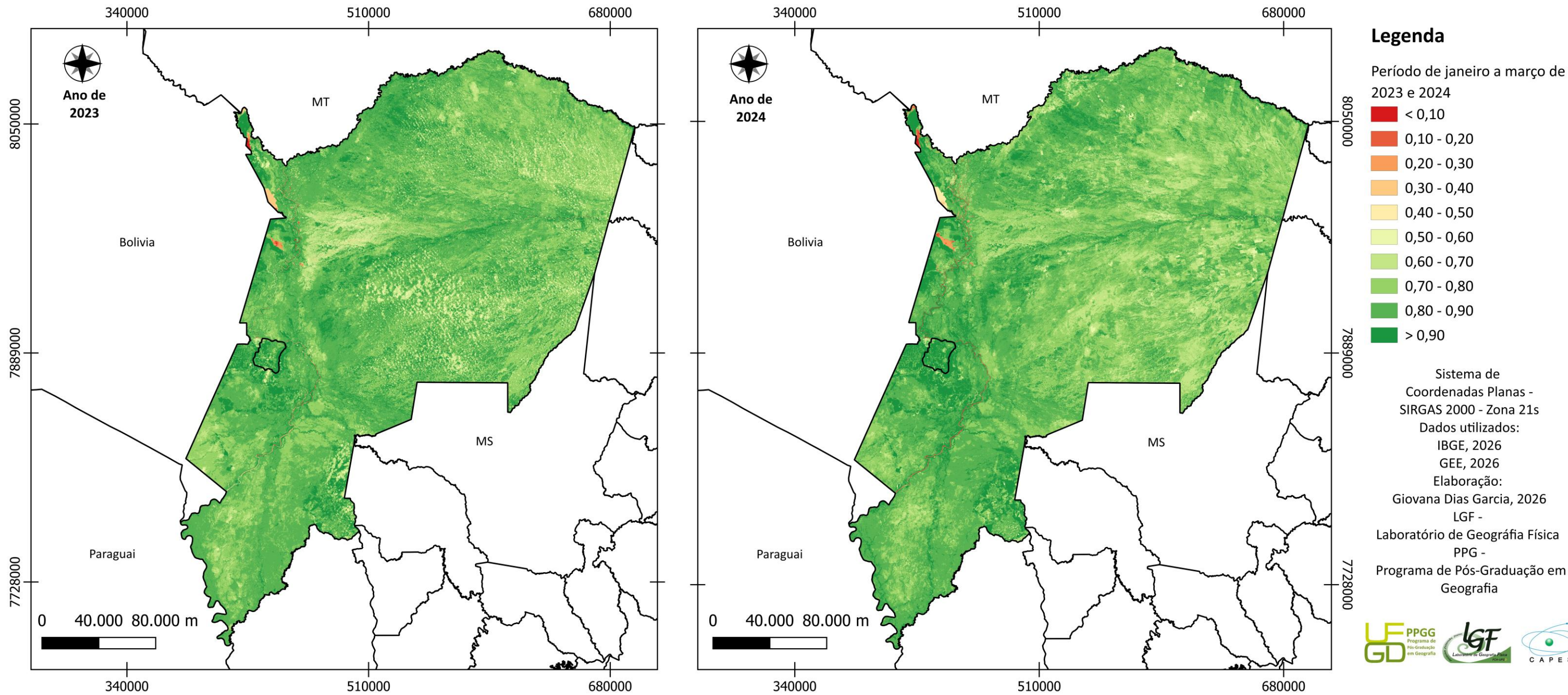
A análise de janeiro a março, que corresponde ao verão do ano de 2023 e 2024 demonstra um bom índice do vigor vegetativo, que pode estar relacionado com a influência do pico do regime chuvoso. Em ambos os anos, predominam valores elevados do índice, especialmente nas classes acima de 0,70, o que indica elevada densidade de biomassa e intensa atividade fotossintética (Figura 16).

Ainda que a imagens dos satélites do ano de 2023 mostra alguns resquícios de nuvens ou de fumaça podemos observar a distribuição relativamente ampla de valores altos de NDVI, porém com presença mais perceptível de áreas em classes intermediárias, sugerindo certa variabilidade na resposta da vegetação. Esse comportamento pode indicar diferenças locais na disponibilidade hídrica ou no tipo de cobertura vegetal, evidenciando que, mesmo em condições favoráveis, a resposta da vegetação não ocorre de maneira totalmente uniforme.

Já no verão de 2024, nota-se um padrão ligeiramente distinto, com maior consolidação das classes superiores de NDVI em algumas porções do território, especialmente no setor sul e sudoeste. Esse aspecto sugere um cenário em que a vegetação atingiu níveis mais elevados de vigor em determinadas áreas, possivelmente em resposta a uma distribuição mais eficiente das chuvas ou à manutenção de umidade no solo por períodos mais prolongados.

De modo geral, a comparação entre os verões de 2023 e 2024 aponta para diferenças sutis, porém significativas, na intensidade e na organização espacial do vigor vegetativo. Enquanto 2023 apresenta um comportamento mais heterogêneo, 2024 evidencia uma maior consolidação de padrões, com áreas de alto e médio NDVI mais bem definidas.

Figura 16 - NDVI de Corumbá e Ladário no período de verão de 2023 e 2024.



Elaboração: Garcia, 2026.

A análise integrada do NDVI ao longo das estações de 2023 e 2024 permite compreender, de forma consistente, a dinâmica temporal e espacial da cobertura vegetal na área de estudo. Os resultados evidenciam um comportamento sazonal bem definido, no qual o vigor vegetativo acompanha o regime climático regional, ao mesmo tempo em que revela diferenças interanuais importantes.

O verão se destaca como o período de maior atividade fotossintética, com predominância de valores elevados de NDVI, refletindo o auge da disponibilidade hídrica. Nesse contexto, foi possível identificar o potencial máximo da vegetação, bem como áreas que, mesmo sob condições favoráveis, apresentam limitações estruturais. O outono, por sua vez, atua como uma fase de transição, mantendo ainda valores relativamente altos, mas já indicando sinais iniciais de reorganização da cobertura vegetal, com variações mais sutis entre os anos.

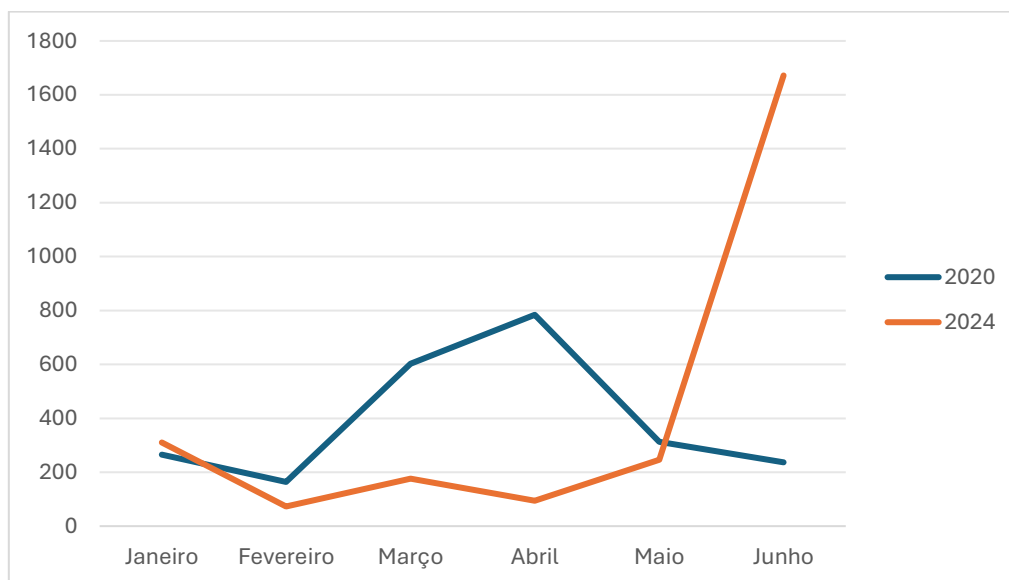
No inverno, observa-se uma redução mais evidente do NDVI, associada à diminuição da umidade e ao aumento do estresse hídrico, especialmente em 2024, quando a queda nos índices se mostrou mais expressiva e espacialmente heterogênea. Esse comportamento reforça a sensibilidade da vegetação às condições climáticas adversas, destacando áreas mais vulneráveis dentro do sistema ambiental.

A primavera, por fim, evidencia a retomada do crescimento vegetativo, funcionando como um período-chave para avaliar a capacidade de recuperação da vegetação. As diferenças entre 2023 e 2024 nesse período indicam respostas distintas ao início das chuvas, com 2024 apresentando uma recuperação mais rápida e espacialmente mais conectada em determinadas áreas.

De forma geral, a comparação entre os anos demonstra que, embora o padrão sazonal se mantenha, há variações interanuais que influenciam tanto a intensidade quanto a distribuição espacial do NDVI. Essas diferenças estão relacionadas, principalmente, à variabilidade climática, mas também refletem a influência do uso e ocupação do solo ou incêndios florestais que condiciona a resposta da vegetação em diferentes porções do território.

Em 2024, importante salientar que o bioma superou o registro do período de 2020 de incêndios, que havia sido considerado o pior ano para o Pantanal, 2024 foi considerado um ano recorde de incêndios. Dados coletados pelo o Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais da Universidade Federal do Rio de Janeiro (LASA- UFRJ) registrou mais de 517 mil hectares que foram consumidos pelo fogo, somente na metade do ano de 2024 (Câmara, 2024). A Figura 17, demonstra os focos de incêndios no Pantanal, em uma comparação entre 2020 e 2024, evidenciando que o 2024 ultrapassou o ano de 2020 no período de junho, sendo o pico de focos de incêndios.

Figura 17 - Focos de incêndios no Pantanal.



Elaboração: A autora, 2025.
Fonte: BDQueimas, INPE, 2025.

De acordo com Souza *et al.*, (2009), as mudanças climáticas são um fator-chave nas alterações da precipitação, o que tem impactos profundos nos ciclos hidrológicos e na disponibilidade de água. O estudo aponta que o aumento da temperatura média e a modificação dos padrões de chuva intensificam a variabilidade das chuvas. Esse fenômeno, por sua vez, contribui para a ocorrência de eventos extremos, como inundações e secas, que se tornam mais severos e frequentes.

Os eventos extremos de incêndios impactam diretamente a vegetação, refletindo-se nos índices de NDVI, especialmente durante o período seco, quando a biomassa já se encontra reduzida e a vegetação mais vulnerável. Além

disso, o aumento da frequência e intensidade dos incêndios reforça a influência de mudanças climáticas sobre a dinâmica do Pantanal, já que períodos prolongados de seca, temperaturas elevadas e maior variabilidade climática potencializam a propagação do fogo.

O efeito cumulativo desses fatores não apenas compromete a resiliência ecológica do bioma, mas também ameaça a manutenção de serviços ecossistêmicos, a fauna local e as atividades socioeconômicas dependentes da vegetação, como a pecuária e o turismo ambiental.

Ao fazermos a análise dos mapas gerados pelo NDVI para os períodos de inverno, primavera, verão e outono, conseguimos compreender de forma integrada a dinâmica única do Pantanal, o que se torna claro a forte dependência do bioma em relação à sazonalidade climática e ao regime hidrológico, para que tudo funcione normalmente no habitat.

Mesmo após grandes incêndios o sistema pantaneiro pode se ressurgir de forma esplêndida e natural, mas que se houver uma continuidade de devastações essa regeneração pode ir diminuindo a cada ciclo. Quando comparados os anos de 2023 e 2024, nota-se que, embora o padrão sazonal geral seja mantido, há diferenças na distribuição espacial dos valores do NDVI, com maior irregularidade em alguns períodos, principalmente na transição entre estações.

Em determinados setores da área de estudo, observam-se manchas com valores mais baixos persistentes ao longo dos mapas, o que pode indicar áreas mais sensíveis a variações climáticas, sujeitas a estiagens prolongadas, incêndios ou alterações no regime de inundação.

Dessa forma, o monitoramento temporal do NDVI mostrou-se eficiente para identificar alterações na cobertura vegetal e compreender a resposta do Pantanal às oscilações climáticas sazonais e interanuais. A continuidade desse tipo de análise é fundamental para avaliar tendências futuras e subsidiar estudos sobre os impactos das mudanças climáticas na dinâmica ecológica da planície pantaneira.

5.4 – Índice de Água de Diferença Normalizada (NDWI)

O NDWI, permite avaliar as variações na presença de água superficial ao longo do tempo e identificar mudanças na dinâmica hidrológica da planície pantaneira. Para o estudo, também se utilizou a análise do ano de 2023 e 2024, assim como assim como o período de abril a junho (outono), julho a setembro (inverno), outubro a dezembro (primavera) e janeiro a março (verão).

A Figura 18, referente ao período de 2023 e 2024, em 2023 há uma distribuição relativamente homogênea dos valores, com a predominância de classes baixas a intermediárias, indicando uma paisagem ainda relativamente contínua. Nota-se a presença de faixas mais expressivas ao longo da drenagem principal, especialmente associadas ao rio Paraguai, sugerindo uma certa manutenção, ainda que moderada, do pulso de inundação.

Podemos confirmar essa afirmativa a partir da informação do Serviço Geológico do Brasil (SGB), o rio Paraguai atingiu, em 7 de 2023, o nível de 4,15 metros na estação fluviométrica de Ladário (MS), configurando o maior registro observado desde 2019. As informações são provenientes do Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Paraguai (SAH Paraguai) (SBG, 2023).

Apesar da elevação, o evento foi classificado como uma cheia de pequena magnitude, uma vez que, conforme os critérios estabelecidos pelo Relatório Final do Programa de Ações Estratégicas para o Gerenciamento Integrado do Pantanal e da Bacia do Alto Paraguai (ANA/GEF/PNUMA/OEA), níveis entre 4 e 5 metros correspondem a cheias pequenas. De acordo com as projeções hidrológicas para as semanas subsequentes ao evento, a tendência indicada foi de estabilização seguida de queda dos níveis do rio (SBG, 2023).

Em contraste, o cenário de 2024 apresenta alterações marcantes. Há um aumento evidente da heterogeneidade espacial, com maior fragmentação da paisagem e ampliação de áreas classificadas nas faixas mais baixas. Esse padrão é particularmente perceptível nas porções centro-sul e sudoeste da área de estudo, abrangendo extensas áreas de Corumbá e avançando em direção a Ladário. Tal configuração indica uma redução significativa da umidade superficial e um possível enfraquecimento do vigor da vegetação, refletindo condições mais severas de déficit hídrico.

O SGB, alertou que a seca no Pantanal atingiu níveis sem precedentes históricos, conforme evidenciado pelos dados hidrológicos do rio Paraguai. Em 12 de 2024, a cota registrada na estação fluviométrica de Ladário (MS) alcançou -62 cm, esse valor superou o mínimo anteriormente registrado, de -61 cm, observado no ano de 1964. Considerando a série histórica iniciada em 1900, esse episódio configura o menor nível já documentado em mais de um século de monitoramento, caracterizando a mais grave seca já registrada no sistema hidrológico do Pantanal (SGB, 2024).

Mas, ao fazer a comparação lado a lado do ano de 2023 e 2024, fica perceptível que o ano de 2024 está com tons mais azulados, essa característica não indica, necessariamente, maior disponibilidade hídrica no sistema. Em contextos de seca extrema, como o observado em 2024, a água tende a se concentrar nos canais principais de drenagem, especialmente no rio Paraguai, resultando em maior contraste espectral e intensificação dos valores do índice nessas áreas.

Dessa forma, o aparente aumento de áreas com valores elevados do índice reflete, na realidade, um processo de concentração da água, e não de expansão da lâmina hídrica, sendo consistente com os registros hidrológicos que indicam níveis historicamente baixos do rio Paraguai no período. Também, temos que considerar que a área de estudo é extensa e ao coletar as imagens de satélites as cenas disponíveis muitas vezes não são suficientes para cobrir a área toda, mesmo utilizando o critério de escolher os dias sem chuva, algumas imagens podem ser sido registra logo após a chuva, o que pode interferir no resultado visual.

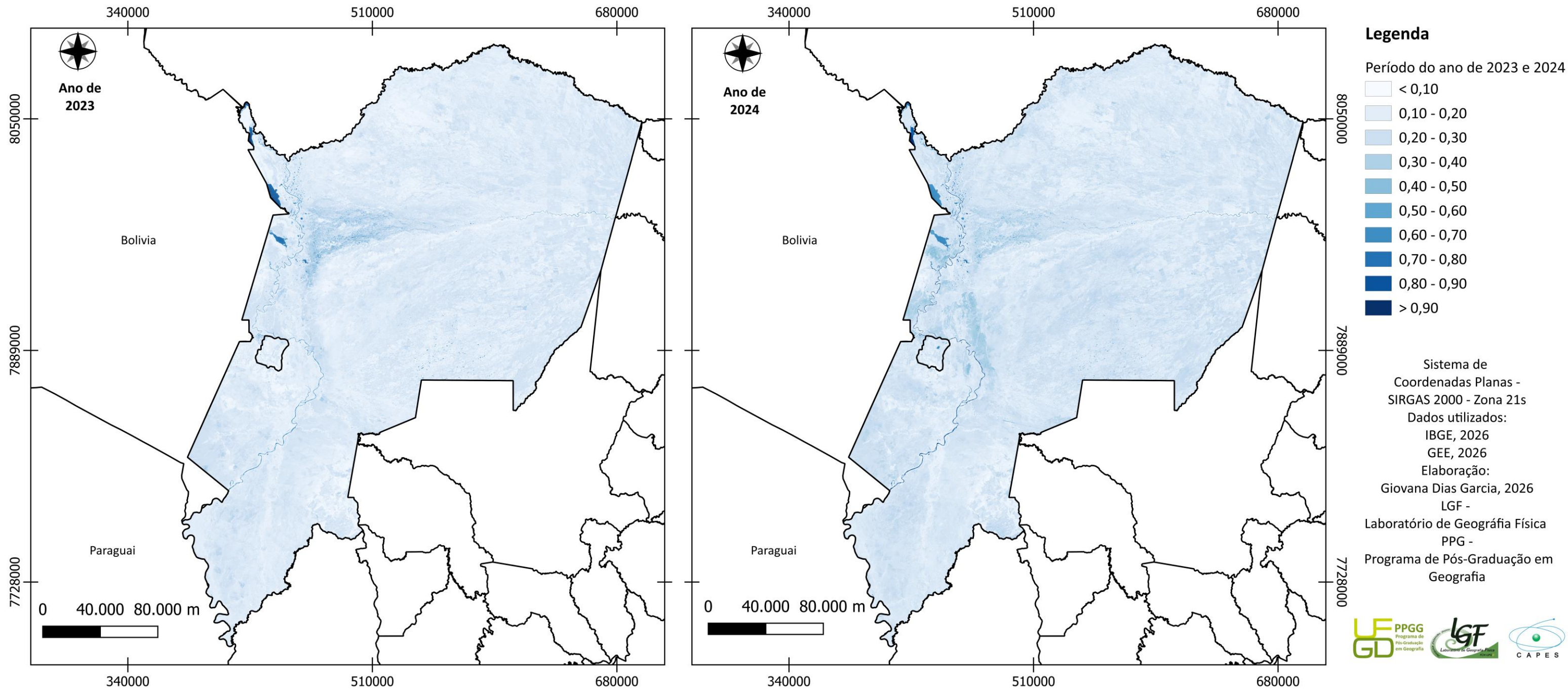
Ainda assim, essas mudanças indicam um aumento do estresse ambiental sobre a vegetação, possivelmente associado à combinação de estiagens prolongadas, elevação das temperaturas e maior evapotranspiração. No contexto das mudanças climáticas, tais padrões são coerentes com a intensificação de eventos extremos na região, como secas mais severas e prolongadas. A diminuição dos níveis do rio Paraguai, especialmente na região de Ladário, reforça essa interpretação, evidenciando uma alteração no regime hidrológico regional.

Esse cenário pode levar, progressivamente, à transformação de áreas tradicionalmente alagáveis em ambientes mais secos, processo que implica mudanças estruturais na paisagem. Entre os principais impactos potenciais, destacam-se a substituição de formações vegetais típicas do Pantanal por fisionomias adaptadas a condições mais secas, a perda de habitats aquáticos e a redução da biodiversidade associada aos ambientes úmidos.

Esse contexto de maior estresse ambiental favorece significativamente a ocorrência e a propagação de incêndios florestais, a redução da umidade do solo, aliada à diminuição das áreas alagáveis, contribui para o aumento da inflamabilidade da vegetação, tornando o bioma mais suscetível ao fogo, especialmente durante a estação seca. Como consequência, observa-se não apenas a ampliação das áreas afetadas pelo fogo, mas também o aumento da severidade dos incêndios, que passam a atingir com maior intensidade tanto formações campestres quanto savânicas.

Esse processo intensifica a degradação ambiental, uma vez que o fogo recorrente pode comprometer a regeneração natural da vegetação, alterar a estrutura dos ecossistemas e acelerar a perda de biodiversidade, reforçando a relação direta entre mudanças climáticas, dinâmica hidrológica e a intensificação dos incêndios na planície pantaneira.

Figura 18 – NDWI de Corumbá e Ladário dos anos de 2023 e 2024.



Elaboração: Garcia, 2026.

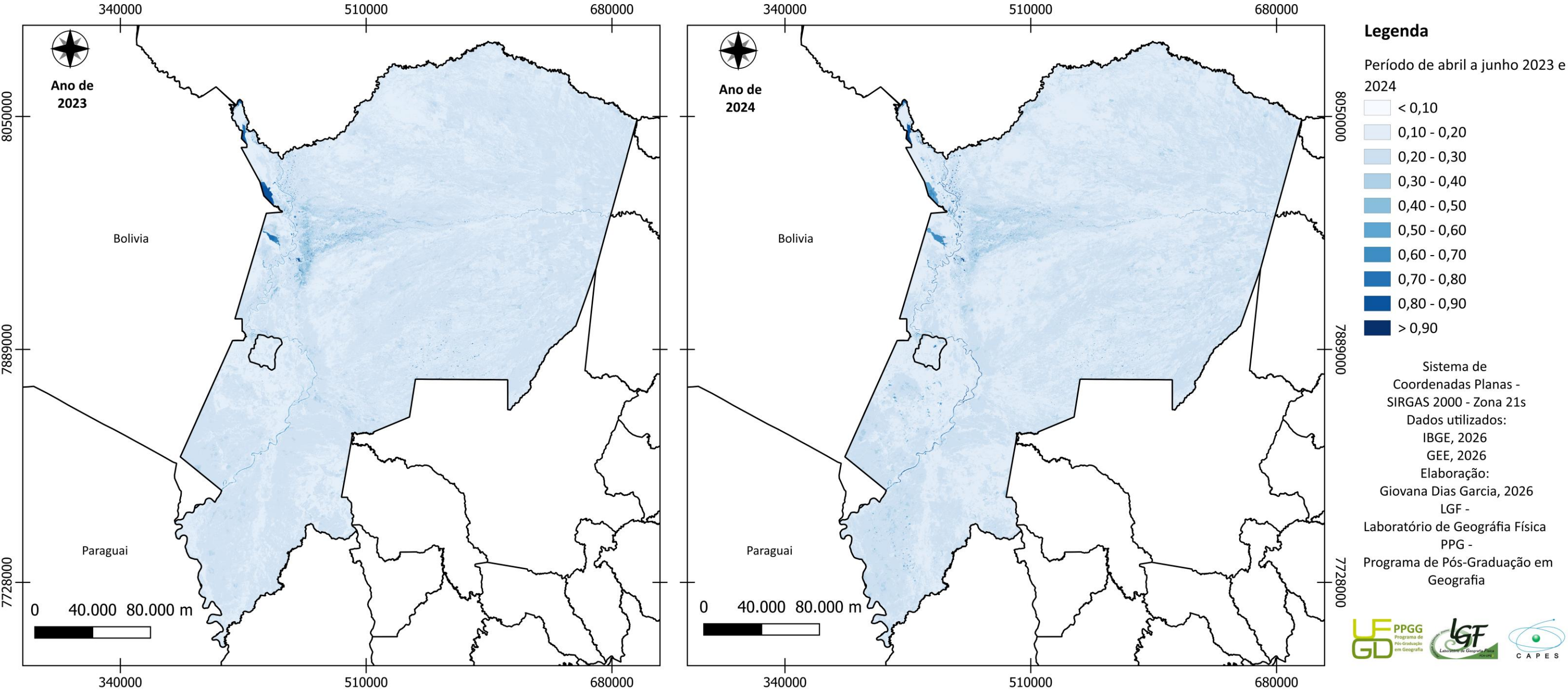
O período de abril a junho de 2023 e 2024 (outono) como mostra a Figura 19, evidencia uma pequena diferença entre o outono de cada ano. Em ambos os períodos predominam baixos a médios valores de NDWI, especialmente nas classes inferiores a 0,30, indicando que a vegetação apresenta vigor moderado, compatível com uma estação de transição entre o período chuvoso e o início da redução da disponibilidade hídrica.

Em 2023 observa-se predominância de baixos valores do índice em grande parte da área de estudo, com extensas superfícies em tons claros, sugerindo menor conteúdo hídrico superficial e início da retração das áreas inundáveis. Os valores mais elevados concentram-se sobretudo ao longo das drenagens, áreas úmidas e na porção oeste do município, associadas à planície pantaneira e ao sistema do rio Paraguai, evidenciando a permanência de água em setores naturalmente mais sujeitos ao pulso de inundação.

Já em 2024 percebe-se uma distribuição relativamente mais homogênea de valores intermediários de NDWI e ligeira ampliação de áreas com maior umidade superficial, especialmente em setores da planície inundável e em áreas próximas à rede hidrográfica. Embora ainda predominem baixos valores, nota-se uma condição mais úmida em comparação com 2023, sugerindo maior retenção hídrica no sistema, possivelmente relacionada à persistência de áreas sazonalmente inundadas ou ao comportamento hidrológico precedente.

Comparativamente, o outono de 2024 apresenta uma resposta hídrica discretamente superior ao observado em 2023, com maior expressão espacial de umidade e conectividade em áreas úmidas. Enquanto 2023 demonstra uma retração mais evidente das superfícies com água, 2024 indica maior permanência do pulso hídrico na paisagem pantaneira. Essa diferença, ainda que sutil, evidencia variações interanuais importantes na dinâmica das águas superficiais.

Figura 19 – NDWI de Corumbá e Ladário do período do outono de 2023 e 2024.



Elaboração: Garcia, 2026.

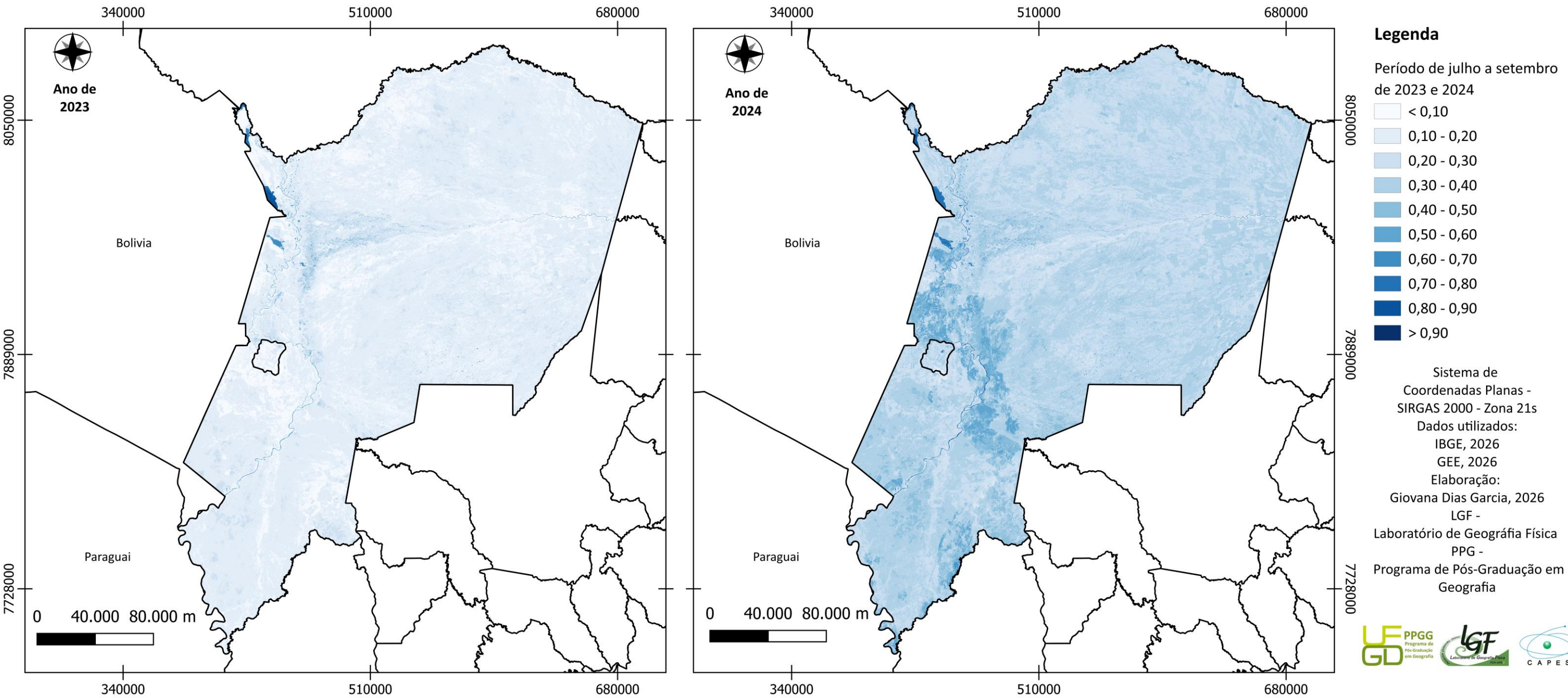
No período de julho a setembro, que seria a estação do inverno de 2023 e 2024, podemos analisar a diferença dos índices do NDWI, enquanto o inverno a predominância dos valores de $<0,10$ é perceptível, o de 2024 há uma recuperação dessa disponibilidade hídrica. Esse padrão pode estar associado à intensificação da seca na localidade e possivelmente os efeitos acumulados dos focos de incêndios (Figura 20).

Observa-se predomínio de tons muito claros no período de 2023, indicando valores reduzidos de NDWI em grande parte do território, com pouca expressão de áreas com maior presença de água superficial. Os valores mais elevados concentram-se principalmente ao longo de cursos d'água, áreas inundáveis e setores próximos ao rio Paraguai e suas drenagens associadas, revelando que, nesse período, a disponibilidade hídrica esteve mais restrita às feições naturais de retenção de água.

Esses resultados também dialogam com a dinâmica ecológica pantaneira, uma vez que a permanência de maiores níveis de umidade durante o inverno favorece a manutenção de habitats aquáticos, áreas de refúgio para fauna e suporte à vegetação adaptada ao pulso de inundação. Por outro lado, os baixos valores observados em 2023 podem indicar maior intensidade da seca, potencializando estresse hídrico e maior vulnerabilidade ambiental, especialmente em contexto de eventos climáticos extremos e mudanças climáticas.

Portanto, a comparação entre os invernos de 2023 e 2024 revela que, embora a estação seca imponha redução da água superficial em ambos os anos, o inverno de 2024 apresentou maior expressão de áreas úmidas e melhores condições de disponibilidade hídrica quando comparado a 2023, evidenciando variações importantes na dinâmica hidrológica e na resiliência da paisagem pantaneira.

Figura 20 – NDWI de Corumbá e Ladário período de inverno de 2023 e 2024.



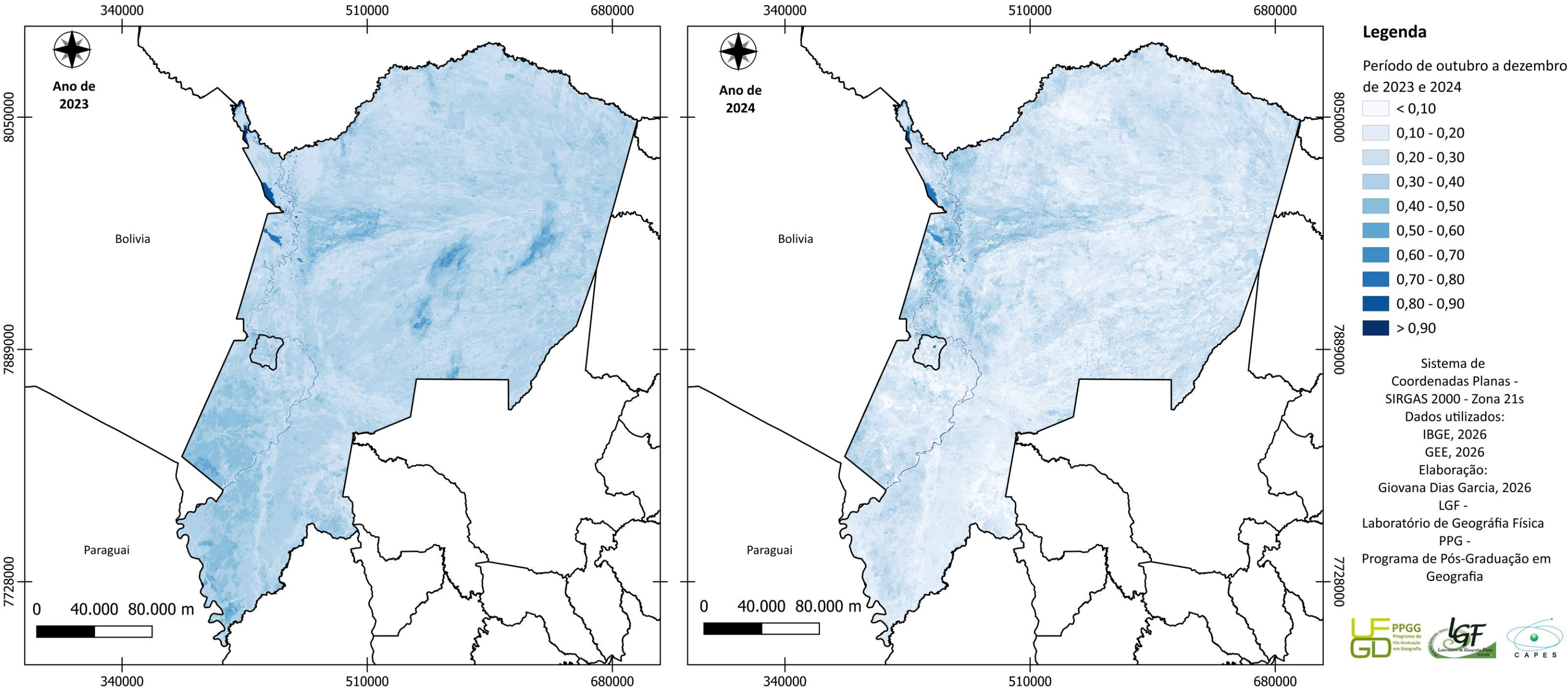
Elaboração: Garcia, 2026.

A análise de outubro a dezembro, a estação da primavera, de 2023 e 2024. No mapa de 2023, podemos observar uma distribuição mais homogênea e a presença de valores maiores em comparação a 2024. Ainda que não predominem valores elevados (acima de 0,60), a paisagem demonstra condições que sugerem manutenção parcial das áreas alagáveis típicas do Pantanal, especialmente nas regiões associadas às planícies fluviais e áreas de drenagem (Figura 21).

O cenário de 2024 há uma boa diminuição desses valores e uma maior presença de classes mais baixa do NDWI, o que indica uma redução da umidade superficial e possível retração das áreas alagadas. A espacialização desse padrão sugere um ambiente mais seco, com menor disponibilidade hídrica, o que pode estar associado à irregularidade das chuvas e ao aumento das temperaturas observado nos últimos anos.

Como destacado em reportagem do G1 (2024), o município de Corumbá, localizado no Pantanal sul-mato-grossense, enfrentou um período superior a 50 dias consecutivos sem precipitação, conforme indicado por meteorologistas da região. Ainda segundo a reportagem, a escassez hídrica afetou diretamente a dinâmica da bacia do Rio Paraguai, considerada a principal do bioma e responsável por abranger cerca de 48% do estado de Mato Grosso e 52% de Mato Grosso do Sul. Todas essas condicionantes auxiliam para que há uma forte retração das áreas alagadas no bioma, o que pode explicar os valores baixos do NDWI no ano de 2024, mostrando como o bioma é frágil a alteração climática e condições severas.

Figura 21 - NDWI de Corumbá e Ladário do período da primavera de 2023 e 2024.



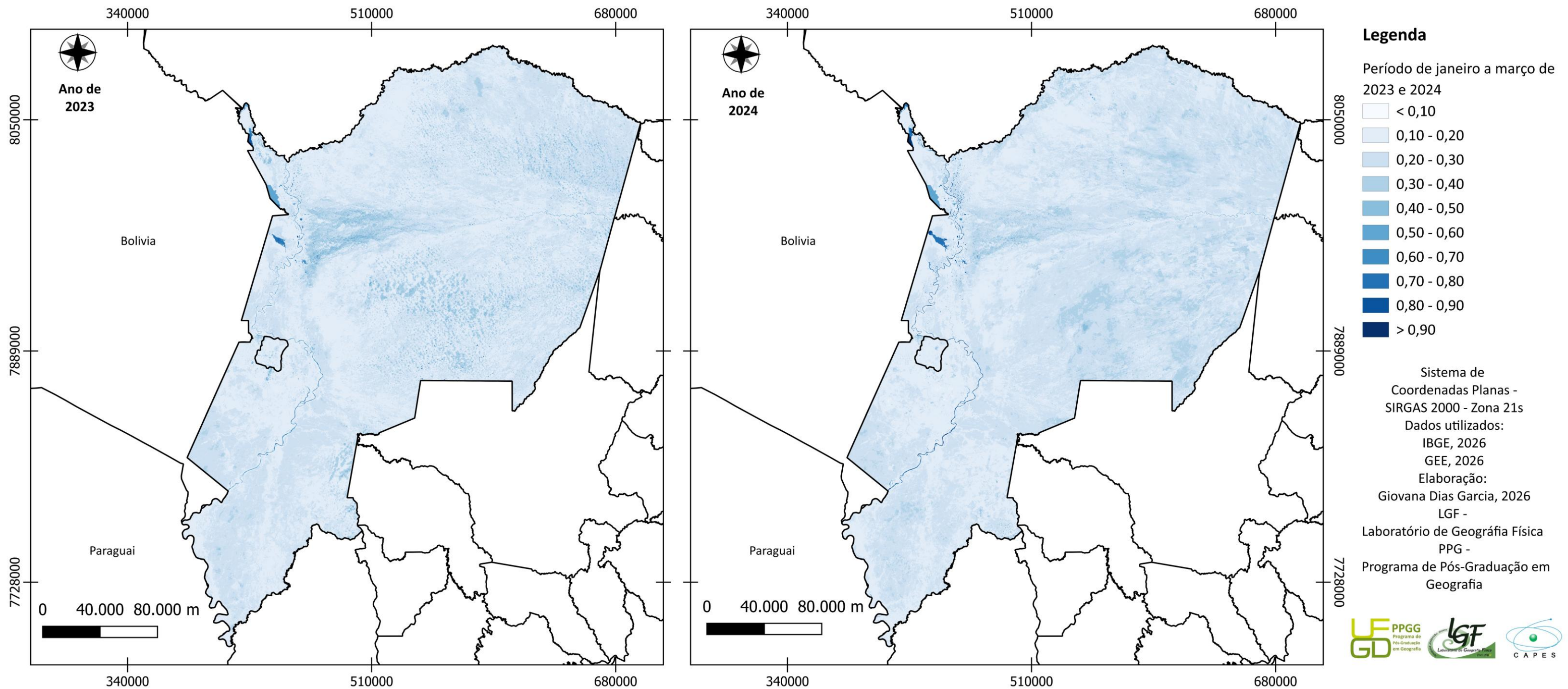
Elaboração: Garcia, 2026.

Enquanto, o período de janeiro a março de 2023 e 2024 (Figura 22) esse período, caracterizado historicamente por maior precipitação e expansão das áreas inundáveis, é fundamental para a manutenção do pulso de inundação, que sustenta o funcionamento ecológico do bioma.

No cenário de 2023, observa-se predominância de valores de NDWI nas classes entre 0,20 e 0,50, com algumas áreas apresentando valores mais elevados, especialmente ao longo das planícies fluviais e regiões de maior conectividade hídrica. Esse padrão indica a presença significativa de umidade superficial e a expansão das lâminas d'água, compatível com a sazonalidade típica do Pantanal.

Para 2024, embora ainda se observe a influência do período chuvoso, há uma leve redução na intensidade dos valores de NDWI, com maior presença de classes mais baixas (inferiores a 0,20) em comparação a 2023. Esse comportamento indica uma possível diminuição da extensão ou da persistência das áreas alagadas, mesmo durante a estação úmida.

Figura 22 - NDWI de Corumbá e Ladário do período do verão de 2023 e 2024.



Elaboração: Garcia, 2026

Essa perda de áreas alagadas impacta diretamente a ocorrência dos focos de incêndios em Corumbá e Ladário. Com menos água disponível na superfície, o balanço energético local se altera: há menor evapotranspiração, maior absorção de calor pelo solo exposto e consequente intensificação das temperaturas. Além disso, o enfraquecimento do pulso de inundação compromete a resiliência do ecossistema pantaneiro, diminuindo sua capacidade de mitigar os efeitos das mudanças climáticas.

Além da diminuição da capacidade de mitigação, a área extremamente seca pode se tornar um grande propulsor para incêndios florestais sem controle. A matéria orgânica acumulada no ambiente se torna um combustível extremamente inflável e eficiente para devastar extensas áreas do Pantanal, afetando sua fauna, flora e até mesmo populações ribeirinhas e das cidades. Essa tendência é coerente com projeções que apontam o aumento da frequência e intensidade dos focos de incêndios na região Centro-Oeste, evidenciando os riscos socioambientais para as populações de Corumbá e Ladário.

5.5 – Ocorrência das incidências dos focos de incêndios

Considerando o aumento expressivo dos focos de incêndios nos municípios de Corumbá e Ladário durante o período analisado, e levando em conta que ambos os territórios estão inseridos no bioma Pantanal, buscou-se investigar o comportamento das chuvas a partir de uma perspectiva comparativa com os padrões históricos médios anuais, sazonais e mensais.

O objetivo principal foi verificar se houve, de fato, uma redução nos volumes de precipitação e, a partir disso, identificar possíveis relações com a intensificação dos incêndios florestais. Adicionalmente, verificou-se que o total de dias sem ocorrência de chuvas no período analisado ultrapassou 287 dias.

Esse dado evidencia a extensão da estiagem e reforça a hipótese de que o aumento na incidência de incêndios florestais está diretamente relacionado ao prolongamento do período seco e à redução nos volumes de precipitação, o que favorece as condições para ignição e propagação do fogo. Para a análise utilizou-se como base o ano de 2023 e 2024, assim como o período de abril a

junho (outono), julho a setembro (inverno), outubro a dezembro (primavera) e janeiro a março (verão).

A Figura 23 apresenta a comparação da distribuição espacial das incidências de focos de incêndios no Pantanal, em recorte para os municípios de Corumbá e Ladário, dos anos de 2023 e 2024. Ambas as datas foram marcadas por grandes incêndios florestais. A leitura integrada dos mapas evidencia tanto permanências estruturais quanto mudanças significativas na dinâmica do fogo entre os dois anos, permitindo inferências relevantes para a compreensão dos condicionantes ambientais e climáticos.

Em ambos os anos, observa-se a manutenção de um padrão espacial estruturado em gradiente latitudinal, no qual a porção norte da área de estudo concentra os maiores níveis de incidência de incêndios (classes muito altas), enquanto as porções sul e sudoeste apresentam predominância de classes baixas a muito baixas. Esse comportamento recorrente indica forte controle exercido por fatores ambientais relativamente estáveis, como a distribuição da cobertura vegetal, a topografia e, sobretudo, o regime hidrológico associado à planície de inundação do Rio Paraguai.

A maior permanência de umidade nas áreas mais baixas e sujeitas à inundação sazonal atua como elemento limitante à propagação do fogo, configurando um padrão já esperado para o Pantanal. Entretanto, ao se analisar comparativamente os dois anos, tornam-se evidentes diferenças expressivas na intensidade, continuidade espacial e expansão das áreas suscetíveis ao fogo.

No ano de 2023, a distribuição da incidência apresenta maior heterogeneidade espacial. As áreas com incidência muito alta concentram-se de forma mais restrita na porção norte, com uma transição relativamente gradual para áreas intermediárias e, posteriormente, para áreas de baixa incidência. Essa configuração sugere um cenário em que, apesar da ocorrência de incêndios expressivos, ainda há certa fragmentação das áreas críticas, o que pode estar relacionado à atuação de barreiras naturais, como a rede de drenagem e áreas com maior retenção de umidade no solo.

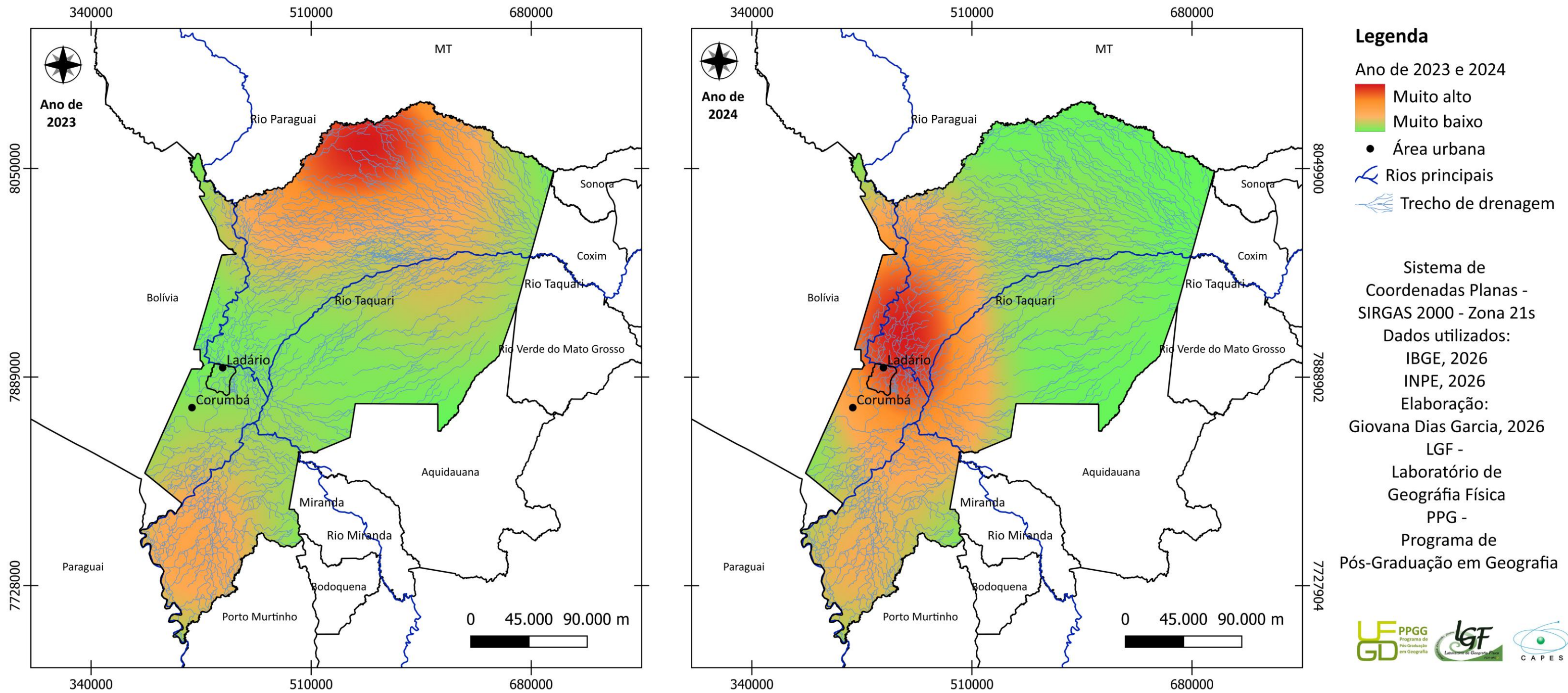
Por outro lado, o ano de 2024 apresenta um cenário substancialmente distinto e mais preocupante. Observa-se uma expansão significativa das áreas com incidência moderadas e muito alta, com aumento da continuidade espacial

dessas áreas, especialmente no sentido norte centro e avançando em direção ao sudoeste. Essa configuração indica não apenas maior ocorrência de focos de incêndio, mas também maior capacidade de propagação do fogo na paisagem, possivelmente devido à redução da umidade do solo e da vegetação.

Um aspecto particularmente relevante em 2024 é o avanço das áreas com incidência mais elevadas sobre áreas que, em 2023, apresentavam baixa incidência. Regiões próximas a Corumbá e Ladário passam a registrar maior presença de áreas moderadas, sugerindo uma diminuição da efetividade dos mecanismos naturais de controle, como a saturação hídrica do solo e a presença de corpos d'água. Esse comportamento pode indicar alterações no regime hidrológico, como atraso ou redução da inundação sazonal, além de maior intensidade de eventos climáticos extremos.

A análise comparativa dos anos de 2023 e 2024 evidencia essa intensificação da dinâmica dos incêndios florestais no Pantanal, marcada pela ampliação das áreas suscetíveis ao fogo e pela maior continuidade espacial das áreas de maior incidência. Esse padrão reforça a influência dos fatores climáticos e ambientais que exercem sobre o bioma. Os resultados apontam para um cenário de crescente vulnerabilidade da paisagem pantaneira, no qual os incêndios deixam de ser pontuais e se tornam mais recorrentes e abrangente.

Figura 23 - Densidade total dos focos e incidência de incêndios florestais considerando o ano de 2023 e 2024.



Fonte: Garcia, Silva e Amorim, 2024.

A análise da rede hidrográfica reforça essa interpretação. Em 2023, a presença de canais fluviais atuava de forma mais evidente como elemento de contenção, contribuindo para a fragmentação das áreas de alta incidência. Já em 2024, embora a hidrografia continue sendo um fator relevante, sua capacidade de limitar a propagação do fogo parece reduzida, possivelmente devido a níveis mais baixos de água ou à intensificação do ressecamento da vegetação adjacente.

Do ponto de vista climático, as diferenças observadas entre os dois anos podem estar associadas à intensificação de condições de seca e ondas de calor em 2024, que promovem o aumento da inflamabilidade da biomassa e favorecem a propagação dos incêndios em larga escala. Esse cenário está em consonância com discussões recentes sobre os efeitos das mudanças climáticas no Pantanal, especialmente no que se refere à maior frequência de eventos extremos e à alteração do pulso hidrológico.

Em síntese, a comparação entre 2023 e 2024 evidencia uma transição de um padrão mais fragmentado e relativamente controlado (2023) para um cenário mais contínuo, intenso e espacialmente abrangente (2024). Essa mudança não apenas indica agravamento das condições ambientais favoráveis ao fogo, mas também sugere uma crescente vulnerabilidade do sistema pantaneiro, inclusive em áreas tradicionalmente menos suscetíveis.

Dessa forma, os resultados reforçam a necessidade de abordagens integradas de monitoramento e gestão, considerando a interação entre clima, hidrologia e cobertura vegetal, bem como a urgência de estratégias adaptativas frente ao avanço das mudanças climáticas e seus impactos sobre a dinâmica dos incêndios no Pantanal. Após a análise anual dos anos de 2023 e 2024, o período de outono (abril a junho) possibilita identificar a distribuição espacial da suscetibilidade à incidência de incêndios florestais em Corumbá e Ladário.

Esse período corresponde à fase de transição entre a estação chuvosa e a estação seca no Pantanal Sul-mato-grossense, sendo caracterizado pela redução gradual das precipitações e pela diminuição dos níveis hidrológicos, fatores que influenciam diretamente a disponibilidade de combustível vegetal e a umidade do solo.

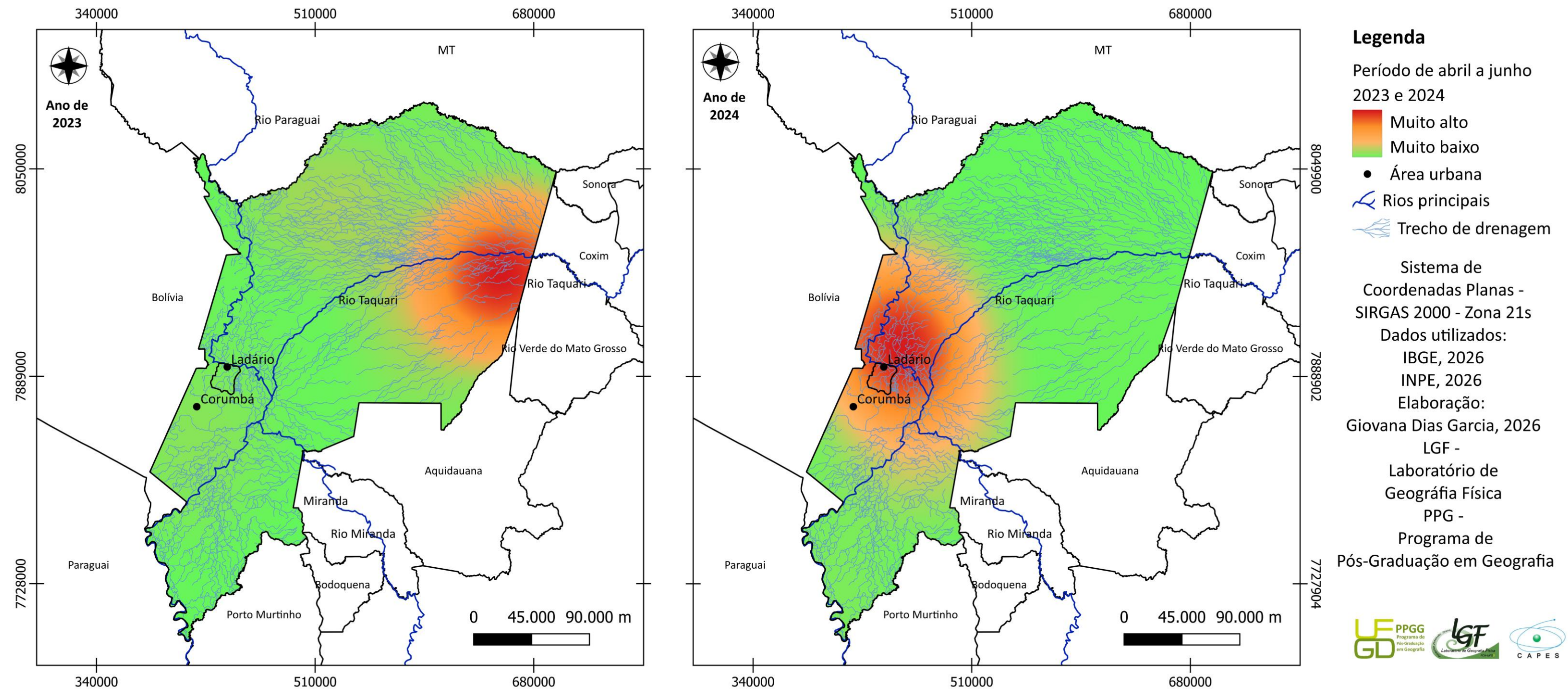
Em 2023, podemos observar que as áreas com mais focos de incêndios concentram-se principalmente na porção leste da área de estudo, acompanhando zonas de transição entre áreas sazonalmente inundáveis e regiões ligeiramente mais elevadas. Esse padrão indica que, mesmo durante o outono, já há setores onde a redução da umidade favorece o início da secagem da biomassa, tornando essas áreas mais propensas à ignição.

O aumento expressivo dos focos no outono de 2023 (Figura 24), aliado à sua maior proximidade de áreas urbanas e do Rio Paraguai, indica uma expansão espacial do risco de incêndios, sugerindo alterações no comportamento sazonal do fogo no Pantanal. Esse cenário reforça a hipótese de que as mudanças climáticas, ao modificar o regime de chuvas e intensificar períodos de seca, estão contribuindo para a antecipação e ampliação da temporada de incêndios, tornando o bioma progressivamente mais vulnerável a eventos extremos e à degradação ambiental.

Ao analisar o mapa do ano de 2024, há uma intensificação significativa do aumento dos focos, com uma maior mancha no mapa, especialmente na porção central-oeste, abrangendo o entorno de Corumbá e Ladário. Isso pode sugerir que as condições de seca ocorreram de forma mais intensa em comparação ao ano anterior. De acordo com o MapBiomass, em 2024, a área atingida pelo fogo no primeiro semestre apresentou um aumento de 529% em comparação à média dos anos anteriores, o mês de junho no bioma concentrou em 79% dessa área, configurando como o maior registro já observado (MapBiomass, 2024).

A análise da rede hidrográfica reforça essa interpretação. Em 2023, os rios ainda desempenham um papel mais evidente na redução da suscetibilidade ao fogo, funcionando como zonas de maior umidade. Já em 2024, essa influência parece atenuada, sugerindo menor disponibilidade hídrica mesmo durante o outono, o que amplia a vulnerabilidade da planície pantaneira.

Figura 24- Densidade total dos focos e incidência de incêndios florestais do período do outono de 2023 e 2024.



Fonte: Garcia, Silva e Amorim, 2024.

O período de julho a setembro, que seria o inverno, é caracterizado pela intensificação da estiagem e pela redução da influência do pulso de inundação do Rio Paraguai, tende a criar condições mais favoráveis à ocorrência de incêndios. No inverno de 2023 (julho a setembro), foram identificados 609 focos de incêndios florestais na área correspondente ao mega leque do rio Taquari, evidenciando uma distribuição espacial relativamente concentrada, com maior incidência na porção leste e, em menor intensidade, na região sul (Figura 25).

O megaleque do rio Taquari constitui uma das principais feições geomorfológicas do Pantanal e apresenta características particulares entre os megaleques fluviais da região, com geometria aproximadamente circular, cerca de 250 km de diâmetro e área estimada em 50.000 km², correspondente a aproximadamente 37% da área total do Pantanal (Assine, 2009).

A dinâmica desse sistema fluvial é marcada por processos de autorregulação, nos quais as mudanças na configuração e no curso dos canais resultam da interação entre fatores externos ao sistema, como as variações climáticas, e fatores inerentes à própria dinâmica fluvial, relacionados à construção, migração e abandono de lobos deposicionais. Essas características influenciam a distribuição espacial da água, da umidade e da vegetação, contribuindo para a diferenciação das condições ambientais e, consequentemente, da suscetibilidade à ocorrência de incêndios na região Pantanal (Assine, 2009).

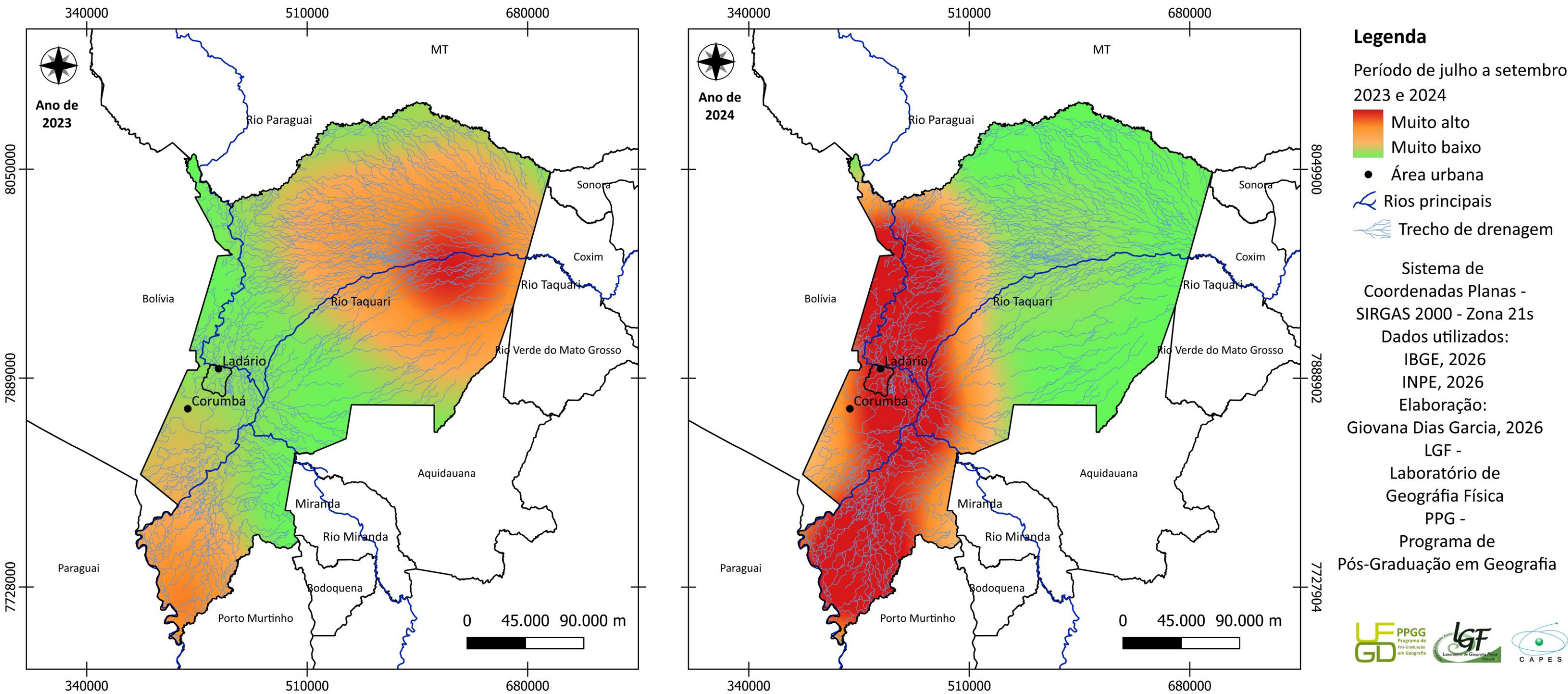
No ano de 2023, as áreas de maior suscetibilidade concentram-se predominantemente na porção central e leste da área, acompanhando a bacia do rio Taquari e zonas adjacentes. Embora haja presença de áreas classificadas como de alta incidência, estas se distribuem de forma relativamente moderada no território, com predomínio de classes intermediárias (médio a alto). As porções oeste e sudoeste, próximas ao rio Paraguai e às áreas mais inundáveis, apresentam menor suscetibilidade, evidenciando ainda algum efeito residual da umidade, mesmo durante o período seco.

Em contraste, o cenário de 2024 revela uma intensificação expressiva da suscetibilidade aos incêndios, com ampla expansão das áreas classificadas como de alta e muito alta incidência, especialmente na porção oeste, central e sul da região. De acordo com o INPE, a área no período do inverno, em 2024 a

quantidade de focos de incêndios chegou ao 2.386 (INPE, 2026). Destaca-se a formação de um corredor contínuo de alta suscetibilidade que se estende desde o sul do Pantanal, próximo à fronteira com o Paraguai, até a região de Corumbá e Ladário. Esse padrão indica condições ambientais extremamente críticas, favorecendo a ocorrência e propagação de incêndios em larga escala.

Outro aspecto relevante é a redução da influência das áreas úmidas como fator de contenção. Em 2024, mesmo regiões tradicionalmente associadas a maior disponibilidade hídrica, como aquelas próximas ao rio Paraguai, apresentam elevados níveis de suscetibilidade. Esse comportamento sugere uma seca mais severa e prolongada, possivelmente associada a anomalias climáticas, como temperaturas elevadas, déficit hídrico e alterações no regime de cheias do Pantanal.

Figura 25 -Densidade total dos focos e incidência de incêndios florestais do período de inverno de 2023 e 2024.



Fonte: Garcia, Silva e Amorim, 2024

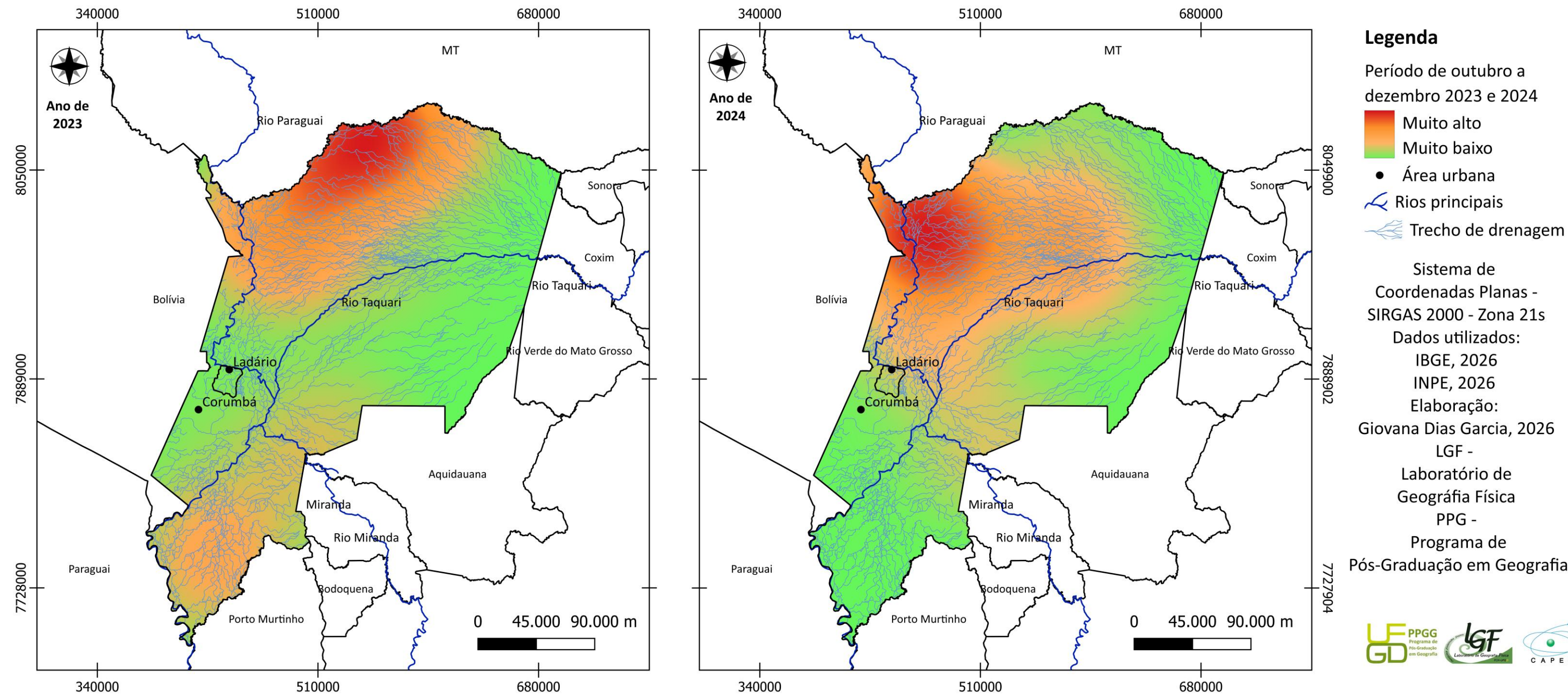
A análise do período de outubro a dezembro, a primavera de 2023 e 2024, observa-se que o ano de 2023 ficou com a concentração dos focos mais evidentes, principalmente na porção norte e nordeste da área. As porções sul e oeste, por sua vez, apresentam menor suscetibilidade, possivelmente em função da retomada mais efetiva da umidade e da influência das áreas sazonalmente inundáveis (Figura 26).

Ao comparar com 2024, podemos notar uma mudança significativa na distribuição espacial dos focos, as áreas de maior suscetibilidade tornam-se mais concentradas na porção central-norte, com reduções relativas das classes mais críticas em comparação a 2023. Apesar disso, ainda se observa uma faixa contínua de suscetibilidade moderada a alta atravessando a região no sentido oeste-leste, indicando que o risco de incêndios permanece elevado mesmo com o avanço do período chuvoso.

Esse comportamento pode estar fortemente associado a uma rápida recuperação da condição vegetal da área ou até mesmo fortes chuvas no período do levantamento dos dados. Por outro lado, a manutenção de áreas com suscetibilidade intermediária indica que os efeitos da estação seca ainda persistem na paisagem, especialmente em locais com maior dificuldade de retenção hídrica.

A análise comparativa entre os dois anos evidencia que, embora a primavera represente um período de redução gradual do risco de incêndios, ainda há forte influência das condições climáticas precedentes. A variabilidade observada entre 2023 e 2024 reforça a complexidade da dinâmica do fogo no Pantanal, onde fatores como regime de chuvas, topografia e hidrologia interagem de forma integrada.

Figura 26 - Densidade total dos focos e incidência de incêndios florestais do período de primavera de 2023 e 2024.



Fonte: Garcia, Silva e Amorim, 2024.

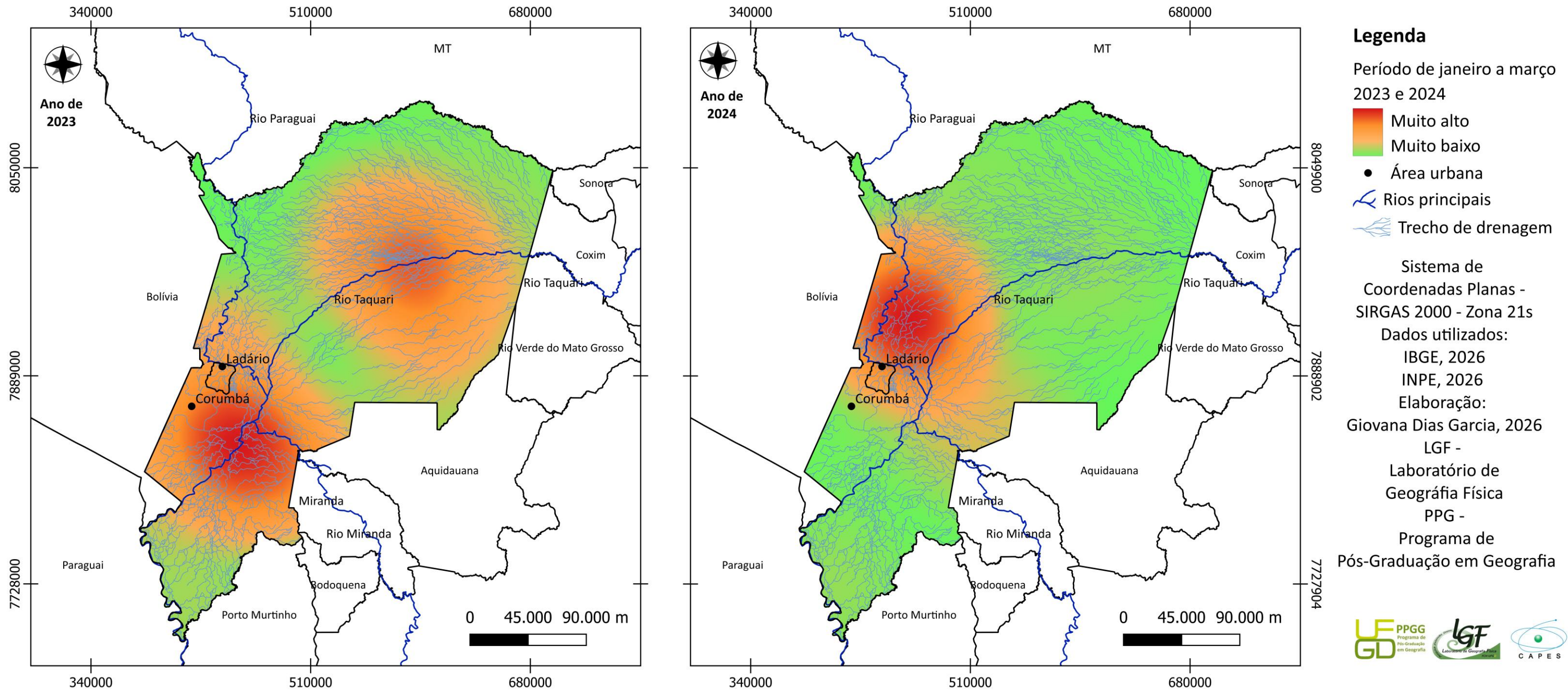
O mapa da Figura 27 mostra a análise do período de janeiro a março de 2023 e 2024, esse período é marcado por elevados índices pluviométricos, maior saturação do solo e expansão das áreas inundáveis, fatores que, em geral, reduzem significativamente o risco de ocorrência e propagação de incêndios. No ano de 2023, há uma maior parte da área que apresente a intensidade da classe alta em relação a de 2024, abrangendo pela porção central até o sudoeste da área de estudo, assim como o entorno de Corumbá e Ladário e avançando em direção às áreas mais baixas da planície.

Em 2024, verifica-se uma leve mudança na distribuição espacial da suscetibilidade, com concentração mais evidente de áreas de maior risco na porção central-oeste da área de estudo, especialmente próximas ao eixo do rio Paraguai e no entorno das áreas urbanas. Apesar disso, há uma predominância mais expressiva de classes de baixa suscetibilidade em comparação a 2023, sobretudo nas regiões sul e leste, sugerindo maior influência das condições úmidas nesse período.

A relação com a rede hidrográfica é particularmente evidente no verão. Em ambos os anos, as áreas próximas aos principais cursos d'água apresentam menor suscetibilidade, refletindo a influência direta da inundação e da elevada umidade na limitação da propagação do fogo. No entanto, a persistência de áreas com suscetibilidade intermediária, especialmente em 2023, reforça que o risco de incêndios no Pantanal não é totalmente ausente nem mesmo durante a estação chuvosa.

A comparação entre os dois anos indica que, embora o verão seja o período de menor risco relativo, há variações espaciais importantes associadas às condições hidrológicas e climáticas específicas de cada ano. Em 2024, a maior concentração do risco em áreas específicas pode indicar uma distribuição mais heterogênea das chuvas ou diferenças na dinâmica de inundação.

Figura 27 - Densidade total dos focos e incidência de incêndios florestais do período do verão de 2023 e 2024.



Fonte: Garcia, Silva e Amorim, 2024.

A análise das incidências dos focos de incêndios florestais no bioma Pantanal, possibilitou identificar um padrão espacial sazonal, o qual mantém a relação diretamente com a diminuição das chuvas registradas nos últimos anos no Pantanal. A avaliação mensal dos últimos doze meses, combinada ao mapeamento, evidenciou variações significativas na frequência das ocorrências, que estão ligadas aos fatores climáticos.

Podemos observar que o período que houve maior densidade da incidência dos focos de incêndios foi no inverno de 2024, onde o boletim de 16 de julho do Pantanal, elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, descreve que nesse período cerca de 225 ha foram queimados, o que auxilia na explicação da quantidade da densidade dos focos de incêndios na área (MMA, 2024).

Os resultados revelaram que, durante os períodos de seca, houve uma maior concentração de focos de incêndios, correlacionando-se com a diminuição da umidade e o aumento das temperaturas. Esse comportamento sazonal destaca a vulnerabilidade da região aos incêndios e reforça a necessidade de estratégias de mitigação e prevenção, ajustadas às mudanças climáticas. As atividades humanas representam um fator determinante na intensificação dos incêndios, principalmente por meio do desmatamento de áreas protegidas e do uso inadequado do fogo na gestão de pastagens (Garcia *et al.*, 2024).

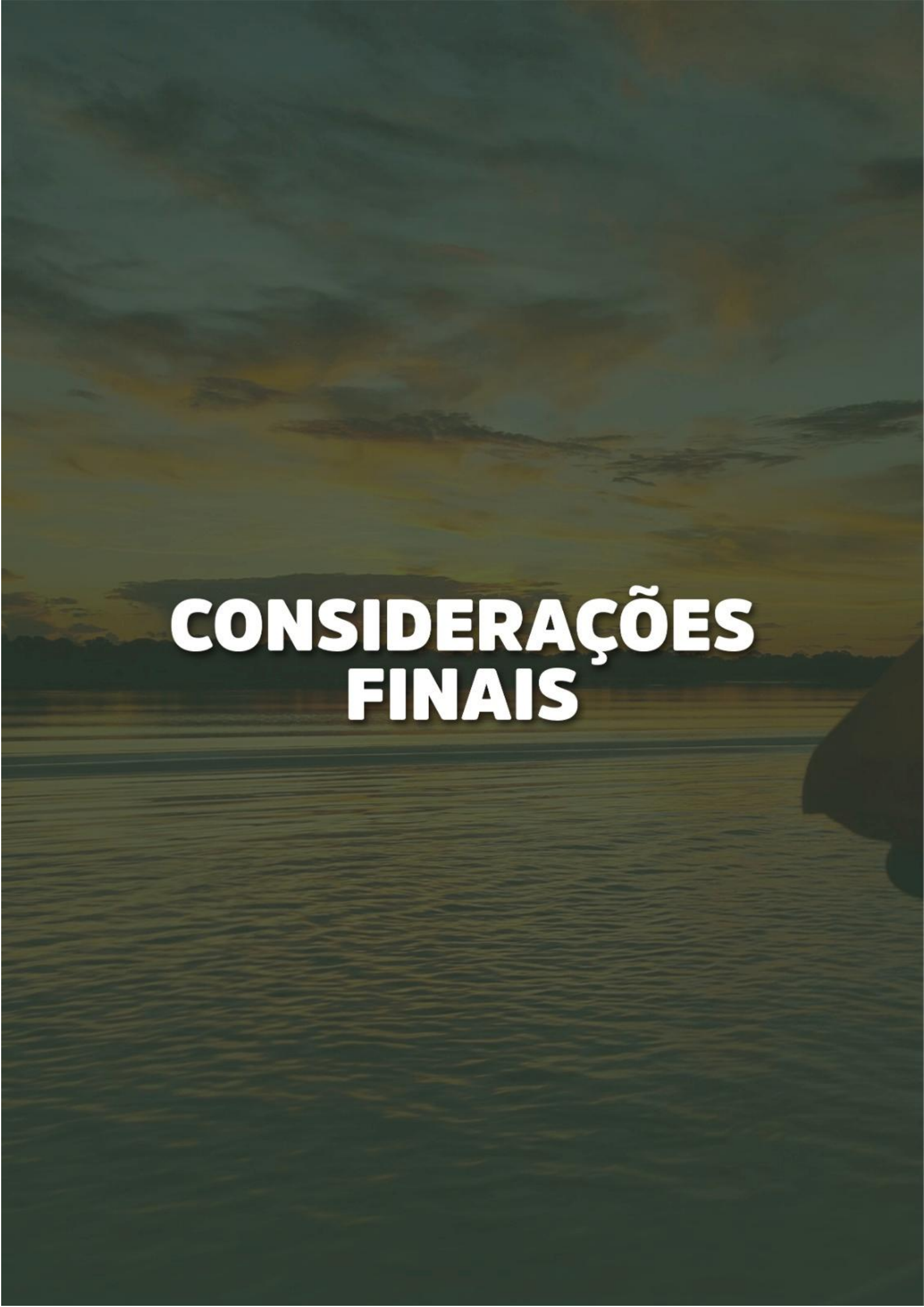
Esses incêndios provocam impactos ambientais significativos, comprometendo a biodiversidade local e a qualidade do ar, além de repercutirem diretamente na saúde das populações que residem nas proximidades. Ademais, a economia regional, fortemente vinculada ao turismo, sofre efeitos diretos, especialmente em setores como pesca esportiva e ecoturismo, que dependem da preservação dos recursos naturais e da integridade ambiental do Pantanal.

Assim, é imprescindível o desenvolvimento de políticas públicas e ações efetivas, voltadas não apenas à redução da incidência dos incêndios, mas também à implementação de estratégias que mitiguem os efeitos das mudanças climáticas e promovam a conservação do Pantanal. Além disso, é crucial criar mecanismos que incentivem práticas de manejo sustentável e educação

ambiental, com o objetivo de minimizar os impactos negativos das ações humanas e assegurar a preservação da biodiversidade local.

Dessa forma, os resultados apontam que as mudanças climáticas podem estar alterando não apenas a intensidade, mas também a sazonalidade dos incêndios no Pantanal, tornando o sistema mais vulnerável já em períodos de transição. Esse cenário reforça a necessidade de estratégias de monitoramento e prevenção que considerem a antecipação do risco, especialmente em áreas próximas a ocupações humanas e em zonas de interface entre ambientes secos e inundáveis.

Por fim, o último capítulo traz as considerações finais para a dissertação, nos quais são sintetizados os principais resultados obtidos pelo estudo, avaliando a metodologia e quais foram os desafios e a chamada para o cuidado com o bioma e a necessidade de tomar devidas decisões para preservar esse bioma que é de extrema importância e relevância.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações obtidas por meio da elaboração desta dissertação evidenciaram a situação de vulnerabilidade dos municípios de Corumbá e Ladário, inseridos no Pantanal, uma das maiores planícies alagáveis do mundo. Os resultados demonstraram a ocorrência expressiva de incêndios e alterações na cobertura vegetal, associados principalmente às condições de estiagem e à redução da disponibilidade hídrica, além da influência das atividades antrópicas.

Nesse contexto, os resultados encontrados convergem com as discussões e projeções relacionadas ao aquecimento global e às mudanças climáticas, reforçando a necessidade de ampliar a visibilidade da problemática e fortalecer ações de prevenção, monitoramento e mitigação dos impactos ambientais na região.

Os mapas cartográficos e a análise dos dados coletados confirmaram que os incêndios não ocorrem de forma isolada, apresentando relação com os períodos de estiagem, a redução do regime de chuvas e o aumento da vulnerabilidade ambiental da região. Essas condições intensificam os riscos para a biodiversidade de um bioma de elevada importância ecológica e ambiental. Além disso, os efeitos dos incêndios e das condições climáticas adversas ultrapassam a dimensão ambiental, alcançando as populações locais e produzindo impactos sobre diferentes atividades econômicas e sociais.

Outro aspecto relevante refere-se à dimensão social dos eventos extremos. Comunidades ribeirinhas, agricultores e famílias que apresentam menor infraestrutura e capacidade de adaptação podem estar mais expostos aos efeitos das alterações ambientais e climáticas. A partir dos dados analisados, observa-se que essas condições podem repercutir sobre a saúde pública, a segurança hídrica e a economia local, especialmente em atividades como turismo, pesca e produção de alimentos.

Nesse sentido, a utilização de geotecnologias, como o sensoriamento remoto e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), mostrou-se fundamental para o desenvolvimento da pesquisa. Essas técnicas possibilitaram o estudo de uma área extensa, inclusive em locais de difícil acesso, contribuindo para a

elaboração das cartas temáticas referentes à espacialização dos focos de incêndio e à identificação de alterações na cobertura do solo, na vegetação e nos recursos hídricos.

A metodologia adotada permitiu compreender aspectos da dinâmica ambiental dos municípios estudados e suas relações com as condições climáticas e a ocorrência de incêndios. A revisão bibliográfica e a análise documental forneceram um panorama sobre as mudanças climáticas globais, regionais e locais, bem como sobre seus possíveis efeitos no bioma Pantanal e sua relação com a ocorrência e intensificação dos incêndios.

A integração de dados científicos, relatórios oficiais e literatura especializada permitiu identificar aspectos relacionados à vulnerabilidade da região, reforçando a relevância do monitoramento contínuo das variáveis climáticas e da adoção de ações preventivas. Além disso, a análise qualitativa subsidiou a seleção das ferramentas de geotecnologias utilizadas no estudo, como o *QGIS* e o *Google Earth Engine* (GEE), orientando a construção e interpretação dos produtos cartográficos.

A integração das abordagens qualitativa e quantitativa possibilitou uma compreensão mais abrangente das relações entre as variáveis climáticas, o uso e a cobertura da terra e a ocorrência de eventos extremos. Foi possível observar a associação entre períodos de menor precipitação e maior ocorrência de focos de incêndio, bem como alterações na vegetação e nos corpos hídricos, evidenciando condições de estresse ambiental na região estudada. A análise combinada de dados climáticos, imagens de satélite e ferramentas de análise espacial contribuiu, portanto, para a compreensão das condições ambientais observadas nos municípios de Corumbá e Ladário.

Os métodos aplicados mostraram-se adequados à caracterização dos padrões de precipitação, da incidência de incêndios e das alterações no uso e cobertura do solo nos municípios estudados. O uso do Excel para tratamento dos dados, do *QGIS* para as análises geoespaciais e do GEE para o processamento de imagens e cálculo de índices de vegetação e recursos hídricos mostrou-se pertinente à complexidade da área de estudo, contribuindo para a obtenção e interpretação dos resultados.

A extensão da área de estudo demandou a utilização de diferentes cenas do satélite *Landsat*, preferencialmente obtidas no mesmo período, de modo a garantir maior comparabilidade entre as análises. Entretanto, a presença significativa de nuvens em determinadas cenas dificultou a padronização temporal das imagens e influenciou a qualidade de algumas informações obtidas. Para minimizar essa limitação, foi necessário recorrer à plataforma do GEE que possibilitou o processamento e a seleção de imagens de acordo com os critérios estabelecidos para a pesquisa. O domínio dessa ferramenta, entretanto, também exigiu um período adicional de adaptação metodológica e técnica.

Outra limitação importante refere-se ao recorte temporal adotado nesta pesquisa. O período de aproximadamente dois anos possibilitou analisar condições meteorológicas recentes e sua associação com os focos de incêndio observados, porém é insuficiente para comprovar mudanças climáticas regionais, estabelecer tendências de longo prazo ou determinar relações de causalidade entre as variáveis analisadas.

Dessa forma, os resultados devem ser interpretados dentro dos limites temporais e metodológicos estabelecidos, evitando-se generalizações que ultrapassem o período investigado. Estudos futuros, com séries históricas mais extensas, poderão contribuir para verificar a existência de tendências climáticas de longo prazo e aprofundar a compreensão das relações entre variabilidade climática, uso da terra, disponibilidade hídrica e ocorrência de incêndios no Pantanal.

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos são relevantes para a compreensão das condições ambientais recentes de Corumbá e Ladário e reforçam a importância da continuidade de pesquisas que integrem sensoriamento remoto, dados climáticos, informações ambientais e análises espaciais.

Nesse sentido, como perspectiva de continuidade das pesquisas, destaca-se a necessidade de pensar em estratégias integradas de prevenção e enfrentamento aos incêndios, articulando políticas ambientais, saúde pública, monitoramento climático e planejamento territorial. Entre as possibilidades estão

a elaboração de planos municipais e regionais de prevenção a incêndios, com o mapeamento de áreas prioritárias para vigilância, a definição de rotas de acesso para o combate ao fogo e a instalação de bases operacionais temporárias durante os períodos de maior risco.

Também se destaca a importância do fortalecimento e da capacitação contínua das brigadas locais, ampliando a capacidade de resposta diante dos eventos de incêndio. Outra possibilidade consiste na definição de zonas prioritárias para o manejo preventivo do fogo, considerando as características ambientais, a recorrência dos incêndios, a cobertura vegetal, a proximidade de áreas habitadas e a vulnerabilidade socioambiental.

Como perspectiva futura, considera-se ainda relevante o desenvolvimento de um Zoneamento de Risco de Incêndio, instrumento que poderá contribuir para identificar espacialmente áreas com diferentes níveis de suscetibilidade e orientar ações de prevenção, fiscalização, monitoramento e planejamento territorial. A elaboração de estudos dessa natureza poderá representar uma importante contribuição para o planejamento ambiental e para a gestão dos incêndios no Mato Grosso do Sul, especialmente diante da necessidade de instrumentos que integrem informações climáticas, ambientais e territoriais.

Assim, conclui-se que o Pantanal, embora apresente capacidade de resiliência, encontra-se submetido a pressões ambientais e climáticas que exigem atenção contínua do poder público, da comunidade científica e da sociedade. O enfrentamento dessa problemática demanda não apenas ações emergenciais durante os períodos de incêndio, mas também medidas preventivas, planejamento territorial, monitoramento permanente e produção de conhecimento científico.

Dessa forma, o fortalecimento das políticas públicas, das ações de conservação, das estratégias de prevenção e das pesquisas científicas constitui um caminho fundamental para ampliar a capacidade de resposta e a resiliência socioambiental dos municípios de Corumbá e Ladário diante dos eventos extremos e das mudanças ambientais observadas no Pantanal.

A stork stands on a nest made of sticks, perched on a dead tree in a wetland landscape. In the background, there are green fields, a body of water, and a range of mountains under a clear sky. The entire image has a dark, semi-transparent overlay.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBERT, Christian; GENELETTI, Davide; KOPPEROINEN, Leena. 7.2 *Application of ecosystem services in spatial planning. **Mapping ecosystem services***, p. 303, 2017.
- ALHO, Cleber JR; SILVA, João SV. *Effects of severe floods and droughts on wildlife of the Pantanal wetland (Brazil)—a review. **Animals***, v. 2, n. 4, p. 591-610, 2012.
- ALVES, Gilberto Luiz; MERCANTE, Mercedes Abid; FAVERO, Silvio. **Pantanal Sul-mato-grossense: ameaças e propostas**. Autores Associados, 2023.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Sanemaneto Básico. Catálogo de Metadados da ANA. Disponível em: [Catálogo de Metadados da ANA](#). Acesso em: 02/09/2025.
- ANDERSON, Liana Oighenstein *et al.* Modelo conceitual de sistema de alerta e de gestão de riscos e desastres associados a incêndios florestais e desafios para políticas públicas no Brasil. **Territorium**, n. 26 (I), p. 43-61, 2019.
- ANDRADA, Isadora. **Google Earth Engine: saiba mais sobre a plataforma e o seu uso**. UFG. Goiânia – Goiás. 2025. Disponível em: *Google Earth Engine: saiba mais sobre a plataforma e o seu uso* | Lapig UFG. Acesso em 23/08/2025.
- ALHO, Cleber JR *et al.* *Threats to the biodiversity of the Brazilian Pantanal due to land use and occupation. **Ambiente & Sociedade***, v. 22, p. e01891, 2019.
- ARAUJO, Ana Paula Correia De. PANTANAL: UM ESPAÇO EM TRANSFORMAÇÃO. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 29, n. 2, p. 238-239, 2006.
- ARAÚJO, Gabriel Pires De; DUNDER, Beatriz Duarte. **POLÍTICAS PÚBLICAS PARA MUDANÇAS CLIMÁTICAS: A IMPORTÂNCIA DE UMA ABORDAGEM INTERDISCIPLINAR**. Conference: 48º Encontro Anual da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais. Campinas – SP. 2024
- ARONOFF, K. *et al.* **Um Planeta a Conquistar: A Urgência de um Green New Deal**. São Paulo: Autonomia Literária, 2020. 245p. Título Original: *A Planet to Win: Why We Need a Green New Deal*.
- ARTAXO, Paulo. As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas. *Estudos avançados*, v. 34, p. 53-66, 2020.
- ASSINE, Mario Luis. Taquari: um rio mutante. **Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá**, p. 7-11, 2009.
- BARBI, Fabiana. Mudanças climáticas e respostas políticas nas cidades: os riscos na Baixada Santista. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2015. 246 p.

BERGAMASCHI, R. B. **SIG aplicado a segurança no trânsito** – estudo de caso no município de Vitória – ES. 74 f. (Monografia de Graduação). UFES: Vitória, 2010.

BLANK, Dionis Mauri Penning. O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas. **Mercator (Fortaleza)**, v. 14, n. 2, p. 157-172, 2015.

BOIN, M. N.; MARTINS, P. C. S.; SILVA, C. A.; SALGADO, A. A. R. The Pantanal: the brazilian wetlands. In: André Augusto Rodrigues Salgado; Leonardo José Cordeiro Santos; Julio César Paisani. (Org.). **The Physical Geography of Brazil: Environment, Vegetation and Landscape**. 1ªed. Dordrecht: Springer, 2019, p. 75-91.

BRASIL. **Decreto nº 2.661**, de 8 de julho de 1998. Regula o uso do fogo nas atividades agropastoris e florestais. Diário Oficial da União, Brasília, 9 jul. 1998.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. **Manejo integrado do fogo**. Brasília – DF. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/incendios-florestais/plano-de-acao-manejo-fogo-pantanal/manejo-integrado-do-fogo>. Acesso em: 30/04/2025.

BRASIL. Lei Nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Brasília – DF, 2009.

BRASIL. Lei nº 14.944, de 4 de abril de 2024. **Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 5 abr. 2024.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Radam Brasil. Folha SE. 21. Corumbá e Folha SE. 20. **Geologia, Pedologia, Geomorfologia, Vegetação e Uso e Ocupação da Terra**. Rio de Janeiro, 1982. 448 p.

BUSICO, Gianluigi *et al.* A hybrid GIS and AHP approach for modelling actual and future forest fire risk under climate change accounting water resources attenuation role. **Sustainability**, v. 11, n. 24, p. 7166, 2019. doi: 10.3390/su11247166

CALHEIROS, Débora Fernandes; FONSECA JÚNIOR, Wilson Correa da. **Perspectivas de estudos ecológicos sobre o Pantanal**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1996.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S. Análise de eventos pontuais. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília, EMBRAPA, 2004.

CÂMARA, José. Pantanal: **Incêndio de 2024 supera o registrado no mesmo período de 2020, ano recorde de queimadas**. G1 – Mato Grosso do Sul. 20 de junho de 2024. Campo Grande – MS. 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.ghml. Acesso em: 06/05/2025.

CÂMARA, José. **Rio Paraguai: principal bacia do Pantanal registra níveis negativos e projeções indicam pior seca da história**. G1 – MS. 2024. Disponível em: [Rio Paraguai: principal bacia do Pantanal registra níveis negativos e projeções indicam pior seca da história | Mato Grosso do Sul | G1](#). Acesso em: 18/09/2024.

CATAPANI, Mariana Labão et al. Manejo do fogo na pecuária pantaneira: percepções e oportunidades para sua gestão sustentável no bioma. **Biodiversidade Brasileira**, v. 14, n. 4, 2024.

CALLAGHAN, M. *et al.* 2021. *Machine learning-based evidence and attribution mapping of 100,000 climate impact studies*. **Nature Climate Change**, v. 11, p. 966–972, 2021.

CAUMO, Sofia et al. Impactos na saúde humana causados pela exposição a incêndios florestais: as evidências obtidas nas últimas duas décadas. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, p. 182-218, 2022.

CEMTEC. Centro de Monitoramento do Tempo e Clima de Mato Grosso do Sul. Banco de dados meteorológicos. Disponível: [BANCO DE DADOS – CEMTEC MS](#). Acesso em: 02/09/2025.

CHOMSKY, Noam; POLLIN, Robert; POLYCHRONIOU, C. J. Crise climática e o Green New Deal global: a economia política para salvar o planeta. Editora Roça Nova, 2020.

CORINGA, E. A. O.; COUTO, E. G.; PEREZ, X. L. O.; TORRADO, P. V. Geoquímica de solos do Pantanal Norte Mato Grosso. **Acta Amazônica**, v.42, p.19-28, 2012.

CORUMBÁ. Prefeitura Municipal de Corumbá. **História**. Disponível em: [História - Município de Corumbá](#). Acesso em: 10/06/2025.

COUTO, FT do; FOSTER, P. R. P. Utilização de sensoriamento remoto como auxílio em análise meteorológica de um sistema convectivo. Anais. **2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá-MT. Embrapa Informática Agropecuária/INPE**, p. 131-139, 2009.

CUNHA, Tony Jarbas Ferreira *et al.* **Vertissolos**. In: EMBRAPA. Solos tropicais. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Publicado em: 08 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.gov.br/ageitec/solos-tropicais/vertissolos>. Acesso em: 12 ago. 2025.

DALLA NORA, Giseli Gomes; ROSSETTO, Onelia Carmem; ZAMPARONI, Cleusa Aparecida Gonçalves Pereira. INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PANTANAL BRASILEIRO: UMA LEITURA GEOGRÁFICA. **ARACÊ**, v. 6, n. 4, p. 12467-12483, 2024.

DYE, Thomas. R. **Understanding Public Policy**. 12ª edição. *Upper Saddle River, New Jersey: PearsonPrentice Hall*, 2008. 354 p.

ENGELMANN, Iris Pereira. Direitos humanos e mudanças climáticas: Análise do novo relatório do IPCC (AR6 *Climate Change* 2021). **Anais do Seminário Internacional em Direitos Humanos e Sociedade**, v. 3, 2021.

ESPÍNDOLA, Isabela Battistello; RIBEIRO, Wagner Costa. Cidades e mudanças climáticas: desafios para os planos diretores municipais brasileiros. **Cadernos Metrópole**, v. 22, n. 48, p. 365-396, 2020.

FARIA, Carlos Aurélio Pimenta de. A multidisciplinaridade no estudo das políticas públicas. *In*: MARQUES, E.; FARIA, C. A. P. (Orgs.). **A política pública como campo multidisciplinar**. São Paulo: Editora Unesp; Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2013. p. 11-21.

FARIA, Daniela Resende De; RAMOS, Maria Carolina; COLTRI, Priscila Pereira. Sequência Didática como estratégia para ensino sobre desafios socioambientais relacionados às Mudanças Climáticas. **Terræ Didática**, v. 17, p. e021052-e021052, 2021.

FERREIRA, Leila da Costa. The multi-level governance challenge of climate change in Brazil. **The Cambridge handbook of environmental sociology, 1st edn. Cambridge University Press, Cambridge**, Cap.17, p. 285-300, 2020.

FERREIRA, Marcos César; SILVA, Caroline Da. Análise espaço-temporal das áreas de ocorrência de fogo no Parque Nacional do Pantanal Mato-Grossense entre 1990 e 2020 e suas relações com as zonas de manejo. **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 21, n. 3, p. 268-288, 2023.

FIEDLER, N. C. *et al.* Avaliação das condições de trabalho, treinamento, saúde e segurança de brigadistas de combate a incêndios florestais em unidades de conservação do Distrito Federal: estudo de caso. Viçosa: Revista Árvore, v.30, n.1, p.55-63, 2006.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Oficina de textos, 2007.

FRANÇA, Loraine. **Fogo no Pantanal: chamas consumiram área de 90 mil campos de futebol nos últimos 40 anos**. G1 – MS. 2025. Disponível em: [Pantanal em chama: 90 mil campos de futebol destruídos em 40 anos](#). Acesso em: 18/09/2025.

G1. **Focos de incêndios no Pantanal crescem 931% no 1º semestre de 2024**. G1 – MS. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/ms/mato-grosso-do-sul/noticia/2024/06/04/focos-de-incendio-no-pantanal-crescem-931percent-no-1o-semester-de-2024.ghtml> . Acesso em: 18/09/2025.

GAO, B.C. 1996. *NDWI-A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space*. **Remote sensing of environment**, 58(3): 257-266.

GARCIA, E. A. C., O clima no Pantanal Mato-Grossense. **Circular Técnica**. n. 14. p. 36 Corumbá-MS. Jan, 1984.

GARCIA, Giovana Dias; SILVA, Charlei Aparecido da; AMORIM, Amanda Trindade. AS INCIDÊNCIAS DE INCÊNDIOS FLORESTAIS NO PANTANAL SUL-MATOGROSSENSE NO PERÍMETRO DOS MUNICÍPIOS DE CORUMBÁ E LADÁRIO (MS): ANÁLISE DO INVERNO E PRIMAVERA DE 2023 E DO VERÃO E OUTONO DE 2024. **Anais do VII GEOFRONTEIRAS** – Avanços e retrocessos na circulação transfronteiriça. Novembro de 2024, UNIOESTE, Marechal Cândido Rondon (PR). Disponível em <https://server2.midas.unioeste.br/sgev/eventos/viigeofronteiras%20/anais>. Acesso em: 01/09/2025.

GIDDENS, Anthony. **A política da mudança climática**. Tradução de Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Zahar, 2010. 314p. Título Original: The Politics of Climate Change.

GIULIO, Gabriela Marques Di *et al.* Eventos extremos, mudanças climáticas e adaptação no estado de São Paulo. **Ambiente & Sociedade**, v. 22, p. e02771, 2019.

GOOGLE. *Google Earth Engine*. Disponível em: [New Script - Earth Engine Code Editor](#). Acesso em: 02/09/2025.

GT AGENDA 2030. Grupo de Trabalho da Sociedade Civil Para a Agenda. Relatório Luz da Sociedade Civil sobre a Agenda 2030: Brasil 2024. Brasília: **GT Agenda 2030**, 2024. Disponível em: <<https://gtagenda2030.org.br/wp-content/uploads/2025/09/relatorio-luz-2024-1.pdf>>. Acesso em: 15/01/2026.

GUIMARÃES, D. P. *et al.* Caracterização das chuvas no Pantanal Mato-grossense. em: **Anais do VII Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. EMBRAPA/INPE, Jardim, Brasil, p. 555-562, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências. Malha Municipal. Disponível em: [Malha Municipal | IBGE](#). Acesso em: 02/09/2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências. Informações Ambientais. Pedologia. Disponível em: [Pedologia | IBGE](#). Acesso em: 02/09/2025.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais. TerraBrasilis. BDQueimadas. Disponível em: [BDQueimadas - Programa Queimadas - INPE](#). Acesso em: 02/09/2025.

IPCC. **Intergovernmental Panel on Climate Change Scientific**. Assessment of Climate Change. Contribution of Working Group I to the First. Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 1990.

_____. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 1995.

_____. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 2001.

_____. Intergovernmental Panel on Climate Change. The Physical Science Basis, Summary for Policy Makers. Geneva, 2007.

_____. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. *Summary for Policymakers*. In: STOCKER, T.F.; QIN, D.; PLATTNER, G.K.; TIGNOR, M.; ALLEN, S.K.; BOSCHUNG, J.; NAUELS, A.; XIA, Y.; BEX, V.; MIDGLEY, P.M. (Eds). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, U.K. and New York, USA: Cambridge University Press, 2013, 27 pp.

_____. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Summary for Policymakers. In: MASSON-DELMOTTE, V., P. ZHAI, A. PIRANI, S. L. CONNORS, C. PÉAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M. I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J.B.R. MATTHEWS, T. K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKÇI, R. YU AND B. ZHOU (Eds). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth*.

_____. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. *Climate Change. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC, 2022.

JENSEN, John R.; EPIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2009.

JÚNIOR, Jose Francisco De Oliveira *et al.* *Fire foci in South America: Impact and causes, fire hazard and future scenarios*. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 112, p. 103623, 2021. doi: 10.1016/j.jsames.2021.103623

JUNIOR, Sergio Costa Pinto; SILVA, Charlei Aparecido Da. A DINÂMICA CLIMÁTICA DO MATO GROSSO DO SUL E AS QUEIMADAS DO ANO DE 2009: UMA ANÁLISE TÊMPORO-ESPACIAL A PARTIR DAS IMAGENS DO NOAA-15. **Acta Geográfica**, v. 6, 2012.

JURAS, Ilidia da Ascensão Garrido Martins. Aquecimento global e mudanças climáticas: uma introdução. **Plenarium**, v. 5, n. 5, p. 34-46, 2008.

KAWAMOTO, M. T. **Análise de técnicas de distribuição espacial com padrões pontuais e aplicação a dados de acidentes de trânsito e a dados de dengue de Rio Claro–SP**. 69 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu: Botucatu, SP, 2012.

- KER, João Carlos. Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos**, 1997.
- LADÁRIO. Prefeitura Municipal de Ladário. **História**. Disponível em: [Prefeitura Municipal de Ladário - História](#). Acesso em: 10/06/2025.
- LIBONATI, Renata *et al.* *Rescue Brazil's burning Pantanal wetlands*. **Nature**, v. 588, p. 217–219, 2020. doi: 10.1016/j.flora.2020.151613
- MAPBIOMAS. Coleções MapBiomas. **Cobertura e Uso da Terra do Brasil** – coleção 9. Disponível em: [MapBiomas Brasil](#). Acesso em: 02/09/2025.
- MAPBIOMAS. **MapBiomasFogo**. Coleção de mapas de cicatrizes de fogo no Brasil. 2025. Disponível em: [MapBiomas Brasil](#). Acesso em: 18/09/2025.
- MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha *et al.* Chuvas no Pantanal brasileiro: análise histórica e tendência futura. **Proc. 3º Simp. Geotecnologias no Pantanal**, p. 170-180, 2010.
- MARENGO, J. A.; Água e Mudanças Climáticas. **Estudos. Avançados**, v.22 n. 63, p. 86-92 São Paulo. 2008.
- MARENGO, Jose A. *et al.* *Extreme Drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, Causes, and Impacts*. **Frontiers in Water**, V.3. 2021.
- MARENGO, José A.; SOUZA JUNIOR, Carlos. Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia. **São Paulo: ALANA**, 2018.
- MARENGO, Jose A.; VALVERDE, Maria C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista Multiciência**, v. 8, n. 1, p. 5-28, 2007.
- MARENGO, Jose Antonio. On the hydrological cycle of the Amazon Basin: A historical review and current state-of-the-art. **Revista brasileira de meteorologia**, v. 21, n. 3, p. 1-19, 2006.
- MARENGO, JOSE ANTONIO; SOARES, WAGNER RODRIGUES. Impacto das mudanças climáticas no Brasil e possíveis futuros cenários climáticos: síntese do terceiro relatório do IPCC 2001. **Clima e Recursos Hídricos**, p. 209-233, 2003.
- MARQUES, Juliana Fazolo *et al.* *Fires dynamics in the Pantanal: Impacts of anthropogenic activities and climate change*. **Journal of Environmental Management**, v. 299, p. 113586, 2021. doi:10.1016/j.jenvman.2021.113586
- MARQUES, Luiz. O decênio decisivo: propostas para uma política de sobrevivência. São Paulo: **Elefante**, 2023. 634 p.
- MARTINS, Patrícia Cristina Statella. **As paisagens da faixa de fronteira Brasil/Bolívia: complexidades do Pantanal sul-matogrossense e suas potencialidades para o Turismo de Natureza**. 2018.

MATO GROSSO DO SUL. Lei nº 6.160, de 27 de julho de 2023. **Dispõe sobre a conservação, proteção, restauração e exploração ecologicamente sustentável da Área de Uso Restrito da Planície Pantaneira – AUR-Pantanal.** Diário Oficial do Estado de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 28 jul. 2023.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos/Instituto de Meio Ambiente Pantanal. Gerencia de Recursos Hídricos. Projeto GEF Pantanal/Alto Paraguai – Implementação de Práticas de Gerenciamento Integrado de Bacia Hidrográfica para o Pantanal e Alto Paraguai (ANA/GEF/PNUMA/OEA). Subprojeto 1.6MS. **Relatório de qualidade das águas superficiais da Bacia do Alto Paraguai, MS, 2003.** S.n. Campo Grande, MS, 2005.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia; IBAMA. Resolução Conjunta SEMAC-IBAMA/MS nº 01, de 15 de julho de 2013. **Dispõe sobre a proibição da queima controlada no Estado de Mato Grosso do Sul, em determinados períodos do ano.** Diário Oficial do Estado de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 16 jul. 2013.

MCFEETERS, S.K. 1996. *The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features.* **International Journal of Remote Sensing**, 17: 1425-1432.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati De. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília, Brasília, 2012.**

MILANEZ, Bruno; FONSECA, Igor Ferraz. Justiça climática e eventos climáticos extremos: uma análise da percepção social no Brasil. **Revista Terceiro Incluído**, v. 1, n. 2, p. 82-100, 2011.

MONIER, Erwan et al. Toward a consistent modeling framework to assess multi-sectoral climate impacts. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 660, 2018.

NASCIMENTO, A. F.; FURQUIM, S.A.C.; COUTO, E. G.; BEIRIGO, R. M.; JUNIOR, J. C. O.; CAMARGO, P. B.; TORRADO, P. V. *Genesis of Textural Contrasts in Subsurface soilHorizons in the Northern Pantanal-Brazil.* **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p.1113-1127, 2013.

NASCIMENTO, Eduardo Soares et al. Detecção de Queimadas e Análise do Impacto do Fogo na Vegetação Natural do Parque Estadual Encontro das Águas, Pantanal Mato Grossense. **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.** 2023.

NUNES, J. R. S. et al. Estimativa da umidade relativa das 13:00 h, com base nos dados das 9:00 h e das 15:00 h, para o Estado do Paraná. **Floresta**, v.35, n.2, p.247-258, 2005

OLIVEIRA, MJ de; VECCHIA, Francisco. A controvérsia das mudanças climáticas e do aquecimento global antropogênico: consenso científico ou interesse político. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 5, p. 946-962, 2009.

OLIVEIRA, Thiago Pires; SIMÕES, André Felipe; CARVALHO, Marcos Bernardino De. O negacionismo climático e suas deletérias consequências: O filme-documentário europeu “A Campanha contra o Clima” como estudo de caso. **Liinc em Revista**, v. 18, n. 1, p. e5938, 2022.

ONU. Nações Unidas. **A agenda 2030**. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 28/01/2025.

ORNELLAS, Joaquim Lemos; LOPES, ER do N. NDVI aplicado nas alterações da reserva extrativista marinha Baía do Iguape. In: **XI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. 2020.

PARDAL, André; CHRISTOFOLETTI, Ronaldo Adriano; MARTINEZ, Aline Sbizzera. Urbanisation on the coastline of the most populous and developed state of Brazil: the extent of coastal hardening and occupations in low-elevation zones. **Anthropocene Coasts**, v. 7, n. 1, p. 15, 2024.

PEREIRA, Luciana Escalante *et al.* Análise Comparativa entre Métodos de Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) em Área Úmida Continental. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 2, 2018.

PINTO, Guilherme Edson Merege de Mello Cruz; PADILHA, Norma Sueli. A RELAÇÃO ENTRE O IPCC E O ACORDO DE PARIS: UM BREVE PANORAMA A PARTIR DO QUINTO RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO E DO GLOBAL WARMING OF 1.5 C. In: **ÁGUA, CLIMA E RESTAURAÇÃO DOS ECOSISTEMAS: RECONHECIMENTO DOS DIREITOS DA NATUREZA E DAS GARANTIAS DO FUTURO INTERGERACIONAL**. Vol. II. p. 267. Editora Fundação Fênix. Porto – Alegre, 2021.

POURTAGHI, Zohre Sadat *et al.* Investigation of general indicators influencing on forest fire and its susceptibility modeling using different data mining techniques. **Ecological indicators**, v. 64, p. 72-84, 2016.

PRADHAN, Biswajeet; DINI HAIRI BIN SULIMAN, Mohd; ARSHAD BIN AWANG, Mohamad. Forest fire susceptibility and risk mapping using remote sensing and geographical information systems (GIS). **Disaster Prevention and Management: An International Journal**, v. 16, n. 3, p. 344-352, 2007. doi: 10.1108/09653560710758297

PROETTI, Sidney. As pesquisas qualitativa e quantitativa como métodos de investigação científica: Um estudo comparativo e objetivo. **Revista Lumen- ISSN: 2447-8717**, v. 2, n. 4, 2017.

RESENDE, Emiko Kawakami De. **Os controles geológicos e os pulsos de inundação no Pantanal**. Embrapa Pantanal, 2004.

ROCHA, Vinícius Machado. **Um breve comentário a respeito do IPCC AR6.** ENTRE-LUGAR, v. 12, n. 24, p. 396-403, 2021.

ROMERO, Marta Adriana Bustos *et al.* Mudanças climáticas e ilhas de calor urbanas. 2019.

ROSSETTO, Onélia Carmem. Produção do espaço agrário no Estado de Mato Grosso e o processo de concentração de terras no Pantanal Norte Mato-grossense. **Ambiente Agrário do Pantanal Brasileiro: Socioeconomia e conservação da biodiversidade.** Org.: ROSSETTO, OC, 2015.

ROSSI, Marina; PRAZERES, Leandro; LEMOS, Vinícius. **Incêndios batem recorde no Pantanal: dava para prever seca que alastra fogo pela região?** BBC News Brasil. 20 de junho, 2024. Brasília – DF. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/c6ppqq9454qo>. Acesso em: 06/05/2025.

ROUSE, John Wilson *et al.* *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.* **NASA Spec**, v. 351, n. 1, p. 309, 1974.

ROUSSO, Henry. **Le syndrome de Vichy**: de 1994 à nos jours. Paris: S Seuil, 1987.

SANT'ANNA NETO, João Lima. Escalas geográficas do clima: mudanças, variabilidade e ritmo. *In*: AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade; NETO, João Lima Sant'Anna; MONTEIRO, Ana (Ed.). **Climatologia urbana e regional**: questões teóricas e estudos de caso. Outras Expressões, 2013 b.

SANT'ANNA NETO, João Lima. Escalas geográficas do clima: mudanças, variabilidade e ritmo. *In*: AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade; NETO, João Lima Sant'Anna; MONTEIRO, Ana (Ed.). **Climatologia urbana e regional**: questões teóricas e estudos de caso. Outras Expressões, 2013 a.

SANTOS, Michelle de Carvalho. **Entre ciência, crenças e likes: o negacionismo climático sob a perspectiva da semiótica.** Dissertação de mestrado. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo. 2025.

SCHMIDT, Isabel Belloni; ELOY, Ludivine. *Fire regime in the Brazilian Savanna: Recent changes, policy and management.* **Flora**, v. 268, p. 151613, 2020. doi: 10.1016/j.flora.2020.151613

SCHULZ, Christopher *et al.* *Physical, ecological and human dimensions of environmental change in Brazil's Pantanal wetland: Synthesis and research agenda.* **Science of the Total Environment**, v. 687, p. 1011-1027, 2019.

SGB. Serviço Geológico do Brasil. Rio Paraguai registra o maior nível após quatro anos de seca. 2023. Disponível em: <https://ecoa.org.br/rio-paraguai-com-niveis-maiores-do-que-em-2023-esperanca-de-mais-agua-para-o-pantanal/>. Acesso em: 19/03/2026.

SGB. Serviço Geológico do Brasil. **Rio Paraguai registra o maior nível após quatro anos de seca**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/w/rio-paraguai-registra-o-maior-nivel-apos-quatro-anos-de-seca>. Acesso em: 19/03/2026.

SILVA, A. P. P. *et al.* Análise de densidade dos focos de incêndios e queimadas no município de Sorocaba. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. 2019.

SILVA, João dos Santos Vila Da *et al.* *Evolution of deforestation in the Brazilian Pantanal and surroundings in the timeframe 1976 - 2008*. **Geografia**, Rio Claro. Jun, 2011. V. 36, p. 35-55.

SOARES, Ronaldo Viana. Novas tendências no controle de incêndios florestais. **Floresta**, v. 30, n. 1, p. 11-21, 1992.

SOARES, Ronaldo Viana; BATISTA, Antônio Carlos. **Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: UFPR, 2007. 264 p.

SOARES, Terezinha de Jesus; HIGUCHI, Niro. A convenção do clima e a legislação brasileira pertinente, com ênfase para a legislação ambiental no Amazonas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 36, n. 4, p. 573-580, 2006.

SORIANO, Balbina Maria Araújo *et al.* **Caracterização climática de Corumbá-MS**. 1997.

SORIANO, Balbina Maria Araújo; DANIEL, Omar; SANTOS, Sandra Aparecida. Eficiência de índices de risco de incêndios para o pantanal Sul-Mato-Grossense. **Ciência Florestal**, v. 25, p. 809-816, 2015.

SORIANO, Balbina Maria Araújo; NARCISO, Marcelo Gonçalves. Sistema de alerta de risco de incêndio para o Pantanal. **O Meio Ambiente ea Interface dos Sistemas Social e Natural; Silva, MED, Ed**, p. 95-103, 2020.

SOUZA, A. de; PAVÃO, H. G.; LASTORIA, G.; GABAS, S. G.; PARANHOS FILHO, A. C.; CAVAZZANA, G. H. DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA RELAÇÃO PRECIPITAÇÃO/NÚMERO DE DIAS DE CHUVA EM CAMPO GRANDE – MS. **II SEMINÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARAÍBA SUL, ANAIS**. Taubaté, Brasil. p. 221 – 226. 2009.

SOUZA, Celina. Políticas públicas: uma revisão da literatura. **Sociologias**, n. 16, p. 20-45, 2006.

SOUZA, Celso de Arruda *et al.* Estudos sobre os solos do pantanal: contribuições ao entendimento dos aspectos morfopedológicos da planície pantaneira. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 2, p. 580-590, 2021.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira *et al.* Correlações entre os elementos meteorológicos e as ocorrências de incêndios florestais na área urbana de Juiz de Fora, MG. **Revista Árvore**, v. 35, p. 143-150, 2011.

TORRES, Pedro Henrique Campello et al. Is the Brazilian national climate change adaptation plan addressing inequality? Climate and environmental justice in a global south perspective. **Environmental Justice**, v. 13, n. 2, p. 42-46, 2020.

TRAVASSOS, Luciana et al. Why do extreme events still kill in the São Paulo Macro Metropolis Region? Chronicle of a death foretold in the global south. **International Journal of Urban Sustainable Development**, v. 13, n. 1, p. 1-16, 2021.

UNFCCC. **Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima**. UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. 1992.

WARREN, R. et al. *The projected effect on insects, vertebrates, and plants of limiting global warming to 1.5 °C rather than 2 °C*. **Science**, v. 360, n. 6390, p. 791–795, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aar3646>.

WARNAVA, Fabíula Paula et al. Mudança climática—reflexões sobre a inclusão da temática no currículo escolar e na formação de professores. **Revista Perspectiva**, v. 48, n. 182, p. 37-50, 2024.

WHITE, Benjamin Leonardo Alves et al. Development of a fire danger index for eucalypt plantations in the northern coast of Bahia, Brazil. **Floresta**, v. 43, n. 4, p. 601-610, 2013.

WHITE, Benjamin Leonardo Alves; WHITE, Larissa Alves Secundo. Queimadas controladas e incêndios florestais no Estado de Sergipe, Brasil, entre 1999 e 2015. **Floresta**, v. 46, n. 4, p. 561-570, 2016.

WMO. **Atlas of mortality and economic losses from Weather, climate and water extremes (1970-2019)**. World Meteorological Organization. Geneva, 2021. Disponível em: Atlas de Mortalidade e Perdas Econômicas por Extremos Climáticos, Hídricos e Climáticos da OMM (1970–2019) (wmo.int).

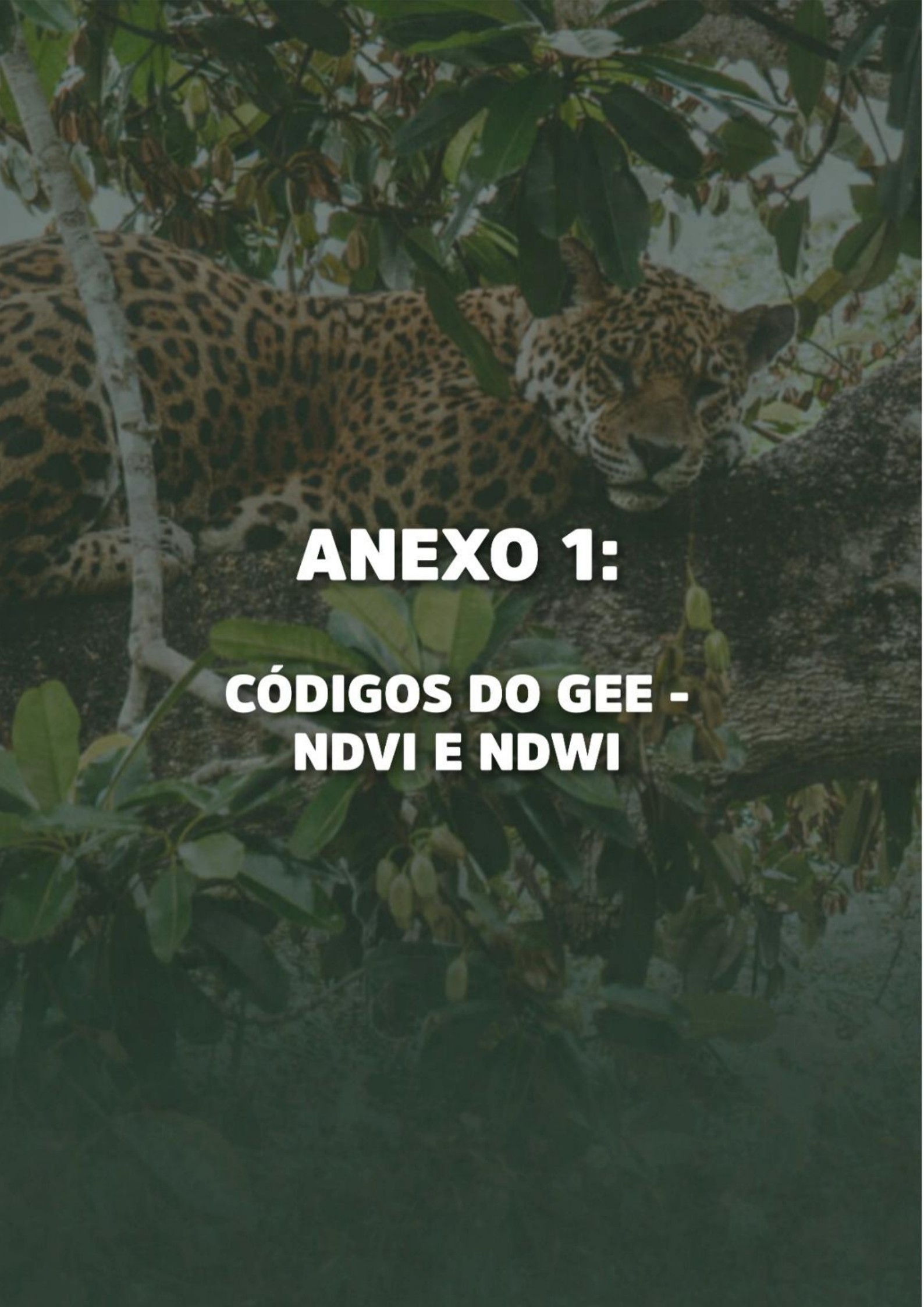
WU, Zhiwei et al. *Defining fire environment zones in the boreal forests of northeastern China*. **Science of the total environment**, v. 518, p. 106-116, 2014. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.02.063

WWF. Incêndios acumulados em 2024 batem recordes nos biomas brasileiros. 2024. Disponível em: [Incêndios acumulados em 2024 batem recordes nos biomas brasileiros | WWF Brasil](#). Acesso em: 17/09/2025.

XYSTRAKIS, Fotios; KOUTSIAS, Nikos. *Differences of fire activity and their underlying factors among vegetation formations in Greece*. **Forest-Biogeosciences and Forestry**, v. 6, n. 3, p. 132, 2013. doi: 10.3832/for0837-006

ZARONI, Maria José. **Chernossolos**. In: EMBRAPA. Solos tropicais. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Publicado em: 09 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.gov.br/ageitec/solos-tropicais/chernossolos>. Acesso em: 12 ago. 2025.

ZAVATTINI, J. A. **A Dinâmica Atmosférica e a Distribuição das Chuvas no Mato Grosso do Sul**. São Paulo: USP/FFLCH, Tese (Doutorado), 2009.

A leopard with a distinctive spotted coat is resting on a thick tree branch. The leopard's head is turned slightly to the right, and its eyes are partially closed. The surrounding environment is filled with lush green leaves and branches, creating a dense, naturalistic background. The overall image has a slightly muted, dark green tint, which serves as a backdrop for the white text.

ANEXO 1:

CÓDIGOS DO GEE - NDVI E NDWI

Os códigos utilizados para a geração do mapa do NDVI e NDWI:

Ano 2023:

```
// =====
// NDWI + NDVI - Ano completo 2023 (Landsat 8)
// =====
// Área de estudo
var areaEstudo = ee.FeatureCollection("projects/ee-gihdiasgarcia/assets/CL");
// Coleção Landsat 8
var colecao = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_L2")
  .filterBounds(areaEstudo)
  .filterDate('2023-01-01', '2023-12-31')
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUD_COVER', 20));
// =====
// Verificação
// =====
print('Quantidade de imagens:', colecao.size());
// =====
// NDWI + NDVI
// =====
var calcularIndices = function(image) {
  var opticalBands = image.select('SR_B.*')
    .multiply(0.0000275)
    .add(-0.2);
  // NDWI (Green - NIR)
  var ndwi = opticalBands
    .normalizedDifference(['SR_B3', 'SR_B5'])
    .rename('NDWI');
  // NDVI (NIR - Red)
  var ndvi = opticalBands
    .normalizedDifference(['SR_B5', 'SR_B4'])
    .rename('NDVI');
  return image.addBands([ndwi, ndvi]);
};
// Aplicar índices
var colecaoIndices = colecao.map(calcularIndices);
// Medianas anuais
var ndwiMediana = colecaoIndices
  .select('NDWI')
  .median()
  .clip(areaEstudo);
var ndviMediana = colecaoIndices
  .select('NDVI')
  .median()
  .clip(areaEstudo);
// =====
// Visualização
// =====
// NDWI
var visNDWI = {
  min: -1,
  max: 1,
  palette: ['brown', 'beige', 'blue']
};

// NDVI
var visNDVI = {
  min: -1,
  max: 1,
  palette: ['white', 'yellow', 'green']
};
Map.centerObject(areaEstudo, 10);
Map.addLayer(ndwiMediana, visNDWI, 'NDWI (Ano 2023)');
Map.addLayer(ndviMediana, visNDVI, 'NDVI (Ano 2023)');
```

```
// =====
// Exportação
// =====
// Exportar NDWI
Export.image.toDrive({
  image: ndwiMediana,
  description: 'NDWI_L8_Anual_2023',
  folder: 'GEE_Export',
  fileNamePrefix: 'NDWI_L8_Anual_2023',
  region: areaEstudo,
  scale: 30,
  crs: 'EPSG:31981',
  maxPixels: 1e13
});
// Exportar NDVI
Export.image.toDrive({
  image: ndviMediana,
  description: 'NDVI_L8_Anual_2023',
  folder: 'GEE_Export',
  fileNamePrefix: 'NDVI_L8_Anual_2023',
  region: areaEstudo,
  scale: 30,
  crs: 'EPSG:31981',
  maxPixels: 1e13
});
```

Ano 2024

```
// =====
// NDWI + NDVI - Ano completo 2024 (Landsat 8)
// =====
// Área de estudo
var areaEstudo = ee.FeatureCollection("projects/ee-gihndiasgarcia/assets/CL");
// Coleção Landsat 8
var colecao = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_L2")
  .filterBounds(areaEstudo)
  .filterDate('2024-01-01', '2024-12-31')
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUD_COVER', 20));
// =====
// Verificação
// =====
print('Quantidade de imagens:', colecao.size());
// =====
// NDWI + NDVI
// =====
var calcularIndices = function(image) {
  var opticalBands = image.select('SR_B.*')
    .multiply(0.0000275)
    .add(-0.2);
  // NDWI (Green - NIR)
  var ndwi = opticalBands
    .normalizedDifference(['SR_B3', 'SR_B5'])
    .rename('NDWI');
  // NDVI (NIR - Red)
  var ndvi = opticalBands
    .normalizedDifference(['SR_B5', 'SR_B4'])
    .rename('NDVI');
  return image.addBands([ndwi, ndvi]);
};
// Aplicar índices
var colecaoIndices = colecao.map(calcularIndices);
// Medianas anuais
var ndwiMediana = colecaoIndices
  .select('NDWI')
```

```

        .median()
        .clip(areaEstudo);
var ndwiMediana = colecaoIndices
    .select('NDWI')
    .median()
    .clip(areaEstudo);
// =====
// Visualização
// =====
// NDWI
var visNDWI = {
    min: -1,
    max: 1,
    palette: ['brown', 'beige', 'blue']
};
// NDVI
var visNDVI = {
    min: -1,
    max: 1,
    palette: ['white', 'yellow', 'green']
};
Map.centerObject(areaEstudo, 10);
Map.addLayer(ndwiMediana, visNDWI, 'NDWI (Ano 2024)');
Map.addLayer(ndviMediana, visNDVI, 'NDVI (Ano 2024)');
// =====
// Exportação
// =====
// Exportar NDWI
Export.image.toDrive({
    image: ndwiMediana,
    description: 'NDWI_L8_Anual_2024',
    folder: 'GEE_Export',
    fileNamePrefix: 'NDWI_L8_Anual_2024',
    region: areaEstudo,
    scale: 30,
    crs: 'EPSG:31981',
    maxPixels: 1e13
});
// Exportar NDVI
Export.image.toDrive({
    image: ndviMediana,
    description: 'NDVI_L8_Anual_2024',
    folder: 'GEE_Export',
    fileNamePrefix: 'NDVI_L8_Anual_2024',
    region: areaEstudo,
    scale: 30,
    crs: 'EPSG:31981',
    maxPixels: 1e13
});

Inverno de 2023
// =====
// NDWI + NDVI - Inverno 2023 (Corumbá/MS)
// OTIMIZADO: + imagens + sem chuva + menos falhas
// =====
// Área de estudo
var areaEstudo = ee.FeatureCollection("projects/ee-gihdiasgarcia/assets/CL");
// =====
// COLEÇÃO LANDSAT 8 (PERÍODO AMPLIADO)
// =====
var colecao = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C02/T1_L2")
    .filterBounds(areaEstudo)
    .filterDate('2023-06-15', '2023-10-15');

```

```

// =====
// MÁSCARA DE NUVEM
// =====
function maskClouds(image) {
  var qa = image.select('QA_PIXEL');

  var mask = qa.bitwiseAnd(1 << 3).eq(0) // cloud
    .and(qa.bitwiseAnd(1 << 4).eq(0)) // shadow
    .and(qa.bitwiseAnd(1 << 2).eq(0)); // cirrus

  return image.updateMask(mask);
}
var colecaoSemNuvem = colecao.map(maskClouds);

// =====
// CHUVA (CHIRPS)
// =====

var chuva = ee.ImageCollection("UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY");
var filtrarSemChuva = function(image) {
  var data = ee.Date(image.get('system:time_start'));
  var chuvaDia = chuva
    .filterDate(data, data.advance(1, 'day'))
    .sum();
  var mediaChuva = chuvaDia.reduceRegion({
    reducer: ee.Reducer.mean(),
    geometry: areaEstudo,
    scale: 5000,
    maxPixels: 1e13
  }).get('precipitation');
  return image.set('chuva', mediaChuva);
};

var colecaoComChuva = colecaoSemNuvem.map(filtrarSemChuva);
// Dias secos
var colecaoFiltrada = colecaoComChuva.filter(
  ee.Filter.lte('chuva', 0.1)
);

// =====
// VERIFICAÇÃO
// =====

print('Quantidade de imagens:', colecaoFiltrada.size());
var datas = colecaoFiltrada.aggregate_array('system:time_start')
  .map(function(d) {
    return ee.Date(d).format('YYYY-MM-dd');
  });
print('Datas utilizadas:', datas);

// =====
// NDWI + NDVI
// =====

function calcularIndices(image) {
  var opticalBands = image.select('SR_B.*')
    .multiply(0.0000275)
    .add(-0.2);
  // NDWI
  var ndwi = opticalBands
    .normalizedDifference(['SR_B3', 'SR_B5'])
    .rename('NDWI');
  // NDVI

```

```

var ndvi = opticalBands
  .normalizedDifference(['SR_B5', 'SR_B4'])
  .rename('NDVI');
return image.addBands([ndwi, ndvi]);
}

var colecaoIndices = colecaoFiltrada.map(calcularIndices);
// Percentil 25 (robusto contra outliers)
var ndwiFinal = colecaoIndices
  .select('NDWI')
  .reduce(ee.Reducer.percentile([25]))
  .rename('NDWI')
  .clip(areaEstudo);
var ndviFinal = colecaoIndices
  .select('NDVI')
  .reduce(ee.Reducer.percentile([25]))
  .rename('NDVI')
  .clip(areaEstudo);

// =====
// VISUALIZAÇÃO
// =====
var visNDWI = {
  min: -1,
  max: 1,
  palette: ['brown', 'beige', 'blue']
};
var visNDVI = {
  min: -1,
  max: 1,
  palette: ['white', 'yellow', 'green']
};
Map.centerObject(areaEstudo, 9);
Map.addLayer(ndwiFinal, visNDWI, 'NDWI - Otimizado (Inverno 2023)');
Map.addLayer(ndviFinal, visNDVI, 'NDVI - Otimizado (Inverno 2023)');

// =====
// EXPORTAÇÃO
// =====
// NDWI
Export.image.toDrive({
  image: ndwiFinal,
  description: 'NDWI_L8_SemChuva_Corumba_OTIMIZADO_2023',
  folder: 'GEE_Export',
  fileNamePrefix: 'NDWI_L8_SemChuva_Corumba_OTIMIZADO_2023',
  region: areaEstudo,
  scale: 30,
  crs: 'EPSG:31981',
  maxPixels: 1e13
});
// NDVI
Export.image.toDrive({
  image: ndviFinal,
  description: 'NDVI_L8_SemChuva_Corumba_OTIMIZADO_2023',
  folder: 'GEE_Export',
  fileNamePrefix: 'NDVI_L8_SemChuva_Corumba_OTIMIZADO_2023',
  region: areaEstudo,
  scale: 30,
  crs: 'EPSG:31981',
  maxPixels: 1e13
});

```

Inverno de 2024

```
// =====
```

```

// NDVI + NDWI - INVERNO 2024
// Corumbá e Ladário - MS
// Landsat 8
// DATAS SEM CHUVA
// COM DATA + ÓRBITA + PONTO + NUVENS
// =====

// =====
// 1. ÁREA DE ESTUDO
// =====

var areaEstudo = ee.FeatureCollection(
  "projects/ee-gihdiasgarcia/assets/CL"
);

Map.centerObject(areaEstudo, 9);

// =====
// 2. DATAS SEM CHUVA
// =====

// -----
// JULHO
// -----

var julho = ee.List.sequence(1, 31).map(function(d) {

  return ee.Date
    .fromYMD(2024, 7, d)
    .format("YYYY-MM-dd");

});

// -----
// AGOSTO
// -----

var agosto = ee.List([

  '2024-08-01',
  '2024-08-02',
  '2024-08-03',
  '2024-08-04',
  '2024-08-05',
  '2024-08-06',
  '2024-08-07',

  '2024-08-10',
  '2024-08-11',
  '2024-08-12',
  '2024-08-13',
  '2024-08-14',
  '2024-08-15',
  '2024-08-16',
  '2024-08-17',
  '2024-08-18',
  '2024-08-19',
  '2024-08-20',
  '2024-08-21',
  '2024-08-22',
  '2024-08-23'
]);

```

```

'2024-08-25',
'2024-08-26',
'2024-08-27',
'2024-08-28',
'2024-08-29',
'2024-08-30',
'2024-08-31'

]);

// -----
// SETEMBRO
// -----

var setembro = ee.List([

'2024-09-01',
'2024-09-02',
'2024-09-03',
'2024-09-04',
'2024-09-05',
'2024-09-06',
'2024-09-07',
'2024-09-08',
'2024-09-09',
'2024-09-10',
'2024-09-11',
'2024-09-12',
'2024-09-13',

'2024-09-17',
'2024-09-18',
'2024-09-19',
'2024-09-20',
'2024-09-21',
'2024-09-22',
'2024-09-23',
'2024-09-24',
'2024-09-25',
'2024-09-26',
'2024-09-27',
'2024-09-28',
'2024-09-29',
'2024-09-30'

]);

// =====
// 3. UNIR TODAS AS DATAS
// =====

var datasSemChuva =
julho
.cat(agosto)
.cat(setembro);

// =====
// 4. COLEÇÃO LANDSAT 8
// =====
// A data final é exclusiva.
// 2024-10-01 garante que todo setembro seja incluído.

```

```

var colecao = ee.ImageCollection(
  "LANDSAT/LC08/C02/T1_L2"
)
.filterBounds(areaEstudo)
.filterDate(
  '2024-07-01',
  '2024-10-01'
);

// =====
// 5. MÁSCARA DE NUVENS
// =====

function maskClouds(image) {

  var qa =
    image.select('QA_PIXEL');

  var mask =
    qa.bitwiseAnd(1 << 3).eq(0) // nuvem
    .and(
      qa.bitwiseAnd(1 << 4).eq(0) // sombra
    )
    .and(
      qa.bitwiseAnd(1 << 2).eq(0) // cirrus
    );

  return image.updateMask(mask);
}

var colecaoSemNuvem =
  colecao.map(maskClouds);

// =====
// 6. ADICIONAR INFORMAÇÕES DAS CENAS
// =====

var colecaoComInformacoes =
  colecaoSemNuvem.map(function(image) {

    var data =
      ee.Date(
        image.get('system:time_start')
      ).format('YYYY-MM-dd');

    return image.set({

      'data_str':
        data,

      'satelite':
        image.get('SPACECRAFT_ID'),

      'orbita':
        image.get('WRS_PATH'),

      'ponto':
        image.get('WRS_ROW'),

      'nuvens':
        image.get('CLOUD_COVER'),
    });
  });

```

```

        'produto':
            image.get('LANDSAT_PRODUCT_ID')

    });

});

// =====
// 7. FILTRAR DATAS SEM CHUVA
// =====

var colecaoFiltrada =
    colecaoComInformacoes.filter(
        ee.Filter.inList(
            'data_str',
            datasSemChuva
        )
    );

// =====
// 8. VERIFICAÇÃO GERAL
// =====

print(
    '=====
');

print(
    'QUANTIDADE DE CENAS UTILIZADAS:',
    colecaoFiltrada.size()
);

print(
    '=====
');

// =====
// 9. DATAS REALMENTE UTILIZADAS
// =====

var datasUtilizadas =
    colecaoFiltrada
        .aggregate_array('data_str')
        .distinct()
        .sort();

print(
    'DATAS REALMENTE UTILIZADAS:',
    datasUtilizadas
);

// =====
// 10. SATÉLITE
// =====

print(
    'SATÉLITE:',
    colecaoFiltrada
        .aggregate_array('satellite')
        .distinct()

```

```

);

// =====
// 11. ÓRBITAS
// =====

print(
  'ÓRBITAS (WRS_PATH):',
  colecaoFiltrada
    .aggregate_array('orbita')
    .distinct()
    .sort()
);

// =====
// 12. PONTOS
// =====

print(
  'PONTOS (WRS_ROW):',
  colecaoFiltrada
    .aggregate_array('ponto')
    .distinct()
    .sort()
);

// =====
// 13. TABELA COMPLETA DAS CENAS
// =====

var tabelaCenas =
  colecaoFiltrada.map(
    function(image) {

      return ee.Feature(
        null,
        {

          'Data':
            image.get('data_str'),

          'Satelite':
            image.get('satelite'),

          'Orbita_WRS_PATH':
            image.get('orbita'),

          'Ponto_WRS_ROW':
            image.get('ponto'),

          'Cobertura_nuvens_%':
            image.get('nuvens'),

          'Produto':
            image.get('produto')

        }
      );

    }
  );

```

```

print(
  '=====
');

print(
  'TABELA DAS CENAS REALMENTE UTILIZADAS:',
  tabelaCenas
);

print(
  '=====
');

// =====
// 14. EXPORTAR TABELA PARA CSV
// =====

Export.table.toDrive({

  collection:
    tabelaCenas,

  description:
    'Cenas_Landsat_Inverno_2024',

  folder:
    'GEE_Export',

  fileNamePrefix:
    'Cenas_Landsat_Inverno_2024',

  fileFormat:
    'CSV'

});

// =====
// 15. CÁLCULO DO NDVI + NDWI
// =====

function calcularIndices(image) {

  var opticalBands =
    image
      .select('SR_B.*')
      .multiply(0.0000275)
      .add(-0.2);

  // -----
  // NDVI
  // -----

  var ndvi =
    opticalBands
      .normalizedDifference([
        'SR_B5',
        'SR_B4'
      ])
      .rename('NDVI');

```

```

// -----
// NDWI
// -----

var ndwi =
  opticalBands
    .normalizedDifference([
      'SR_B3',
      'SR_B5'
    ])
    .rename('NDWI');

return image.addBands([
  ndvi,
  ndwi
]);
}

var colecaoIndices =
  colecaoFiltrada.map(
    calcularIndices
  );

// =====
// 16. PERCENTIL 25
// =====
// Mantido igual ao seu script original.

var ndviFinal =
  colecaoIndices
    .select('NDVI')
    .reduce(
      ee.Reducer.percentile([25])
    )
    .rename('NDVI')
    .clip(areaEstudo);

var ndwiFinal =
  colecaoIndices
    .select('NDWI')
    .reduce(
      ee.Reducer.percentile([25])
    )
    .rename('NDWI')
    .clip(areaEstudo);

// =====
// 17. VISUALIZAÇÃO
// =====

var visNDVI = {
  min: -1,

  max: 1,

  palette: [
    'white',

```

```

    'yellow',
    'green'
  ]
};

var visNDWI = {
  min: -1,
  max: 1,
  palette: [
    'brown',
    'beige',
    'blue'
  ]
};

Map.addLayer(
  ndviFinal,
  visNDVI,
  'NDVI - Inverno 2024'
);

Map.addLayer(
  ndwiFinal,
  visNDWI,
  'NDWI - Inverno 2024'
);

// =====
// 18. EXPORTAÇÃO NDVI
// =====

Export.image.toDrive({
  image:
    ndviFinal,

  description:
    'NDVI_Inverno_2024',

  folder:
    'GEE_Export',

  fileNamePrefix:
    'NDVI_Inverno_2024',

  region:
    areaEstudo.geometry(),

  scale:
    30,

  crs:
    'EPSG:31981',

  maxPixels:

```

```

1e13

});

// =====
// 19. EXPORTAÇÃO NDWI
// =====

Export.image.toDrive({

  image:
    ndwiFinal,

  description:
    'NDWI_Inverno_2024',

  folder:
    'GEE_Export',

  fileNamePrefix:
    'NDWI_Inverno_2024',

  region:
    areaEstudo.geometry(),

  scale:
    30,

  crs:
    'EPSG:31981',

  maxPixels:
    1e13

});

Primavera de 2023

// =====
// NDWI + NDVI - PRIMAVERA 2023
// Landsat 8
// Dias SEM CHUVA - Outubro a Dezembro
// COM VERIFICAÇÃO DE DATAS, ÓRBITA E PONTO
// =====

// =====
// 1. ÁREA DE ESTUDO
// =====

var areaEstudo = ee.FeatureCollection(
  "projects/ee-gihdiasgarcia/assets/CL"
);

Map.centerObject(areaEstudo, 10);

// =====
// 2. DATAS SEM CHUVA
// =====

var datasSemChuva = ee.List([

```

```
// =====  
// OUTUBRO  
// =====
```

```
'2023-10-01',  
'2023-10-02',  
'2023-10-03',  
'2023-10-04',  
'2023-10-05',  
'2023-10-06',  
'2023-10-07',  
'2023-10-10',  
'2023-10-11',  
'2023-10-12',  
'2023-10-13',  
'2023-10-14',  
'2023-10-15',  
'2023-10-16',  
'2023-10-17',  
'2023-10-18',  
'2023-10-19',  
'2023-10-20',  
'2023-10-21',  
'2023-10-22',  
'2023-10-23',  
'2023-10-25',  
'2023-10-26',  
'2023-10-27',  
'2023-10-28',  
'2023-10-29',  
'2023-10-30',
```

```
// =====  
// NOVEMBRO  
// =====
```

```
'2023-11-02',  
'2023-11-03',  
'2023-11-04',  
'2023-11-05',  
'2023-11-06',  
'2023-11-07',  
'2023-11-08',  
'2023-11-09',  
'2023-11-10',  
'2023-11-11',  
'2023-11-12',  
'2023-11-13',  
'2023-11-14',  
'2023-11-15',  
'2023-11-16',  
'2023-11-17',  
'2023-11-18',  
'2023-11-19',  
'2023-11-21',  
'2023-11-22',  
'2023-11-23',  
'2023-11-28',  
'2023-11-29',
```

```
// =====  
// DEZEMBRO  
// =====
```

```

'2023-12-01',
'2023-12-02',
'2023-12-06',
'2023-12-07',
'2023-12-08',
'2023-12-09',
'2023-12-11',
'2023-12-12',
'2023-12-13',
'2023-12-15',
'2023-12-16',
'2023-12-17',
'2023-12-18',
'2023-12-22',
'2023-12-23',
'2023-12-24',
'2023-12-25',
'2023-12-27',
'2023-12-28',
'2023-12-29',
'2023-12-31'

]);

// =====
// 3. COLEÇÃO LANDSAT 8
// =====
// ATENÇÃO:
// A data final é exclusiva.
// Por isso usamos 2024-01-01 para incluir 31/12/2023.

var colecao = ee.ImageCollection(
  "LANDSAT/LC08/C02/T1_L2"
)
  .filterBounds(areaEstudo)
  .filterDate(
    '2023-10-01',
    '2024-01-01'
  )
  .filter(
    ee.Filter.lt(
      'CLOUD_COVER',
      20
    )
  );

// =====
// 4. ADICIONAR INFORMAÇÕES DAS CENAS
// =====

var colecaoComInformacoes = colecao.map(
  function(image) {

    var data = ee.Date(
      image.get('system:time_start')
    ).format('YYYY-MM-dd');

    return image.set({

      'data_str': data,

      'satellite':

```

```

        image.get('SPACECRAFT_ID'),

        'orbita':
            image.get('WRS_PATH'),

        'ponto':
            image.get('WRS_ROW'),

        'nuvens':
            image.get('CLOUD_COVER'),

        'produto':
            image.get('LANDSAT_PRODUCT_ID')

    });

}
);

// =====
// 5. FILTRAR SOMENTE AS DATAS SEM CHUVA
// =====

var colecaoFiltrada =
    colecaoComInformacoes.filter(
        ee.Filter.inList(
            'data_str',
            datasSemChuva
        )
    );

// =====
// 6. VERIFICAÇÃO
// =====

print(
    '=====
');

print(
    'QUANTIDADE TOTAL DE CENAS:',
    colecaoFiltrada.size()
);

print(
    '=====
');

// =====
// 7. DATAS REALMENTE UTILIZADAS
// =====

var datasUtilizadas =
    colecaoFiltrada
        .aggregate_array('data_str')
        .distinct()
        .sort();

print(
    'DATAS REALMENTE UTILIZADAS:',
    datasUtilizadas

```

```

);

// =====
// 8. SATÉLITE
// =====

print(
  'SATÉLITE:',
  colecaoFiltrada
    .aggregate_array('satelite')
    .distinct()
);

// =====
// 9. ÓRBITAS
// =====

print(
  'ÓRBITAS (WRS_PATH):',
  colecaoFiltrada
    .aggregate_array('orbita')
    .distinct()
    .sort()
);

// =====
// 10. PONTOS
// =====

print(
  'PONTOS (WRS_ROW):',
  colecaoFiltrada
    .aggregate_array('ponto')
    .distinct()
    .sort()
);

// =====
// 11. TABELA COMPLETA DAS CENAS
// =====

var tabelaCenas =
  colecaoFiltrada.map(
    function(image) {

      return ee.Feature(
        null,
        {
          'Data':
            image.get('data_str'),

          'Satelite':
            image.get('satelite'),

          'Orbita_WRS_PATH':
            image.get('orbita'),

          'Ponto_WRS_ROW':
            image.get('ponto'),

```

```

        'Cobertura_nuvens_%':
            image.get('nuvens'),

        'Produto':
            image.get('produto')
    }
    );

}
);

// Mostrar tabela no Console

print(
    '=====
');

print(
    'TABELA DAS CENAS REALMENTE UTILIZADAS:',
    tabelaCenas
);

print(
    '=====
');

// =====
// 12. EXPORTAR TABELA PARA CSV
// =====

Export.table.toDrive({

    collection:
        tabelaCenas,

    description:
        'Cenas_Landsat_Primavera_2023',

    folder:
        'GEE_Export',

    fileNamePrefix:
        'Cenas_Landsat_Primavera_2023',

    fileFormat:
        'CSV'

});

// =====
// 13. NDVI + NDWI
// =====

var calcularIndices =
function(image) {

    var opticalBands =
        image
        .select('SR_B.*')
        .multiply(0.0000275)
        .add(-0.2);

```

```

// =====
// NDWI
// =====

var ndwi =
  opticalBands
    .normalizedDifference([
      'SR_B3',
      'SR_B5'
    ])
    .rename('NDWI');

// =====
// NDVI
// =====

var ndvi =
  opticalBands
    .normalizedDifference([
      'SR_B5',
      'SR_B4'
    ])
    .rename('NDVI');

return image.addBands([
  ndwi,
  ndvi
]);

};

var colecaoIndices =
  colecaoFiltrada.map(
    calcularIndices
  );

// =====
// 14. COMPOSIÇÃO MEDIANA
// =====

var ndwiMediana =
  colecaoIndices
    .select('NDWI')
    .median()
    .clip(areaEstudo);

var ndviMediana =
  colecaoIndices
    .select('NDVI')
    .median()
    .clip(areaEstudo);

// =====
// 15. VISUALIZAÇÃO
// =====

var visNDWI = {

```

```

    min: -1,

    max: 1,

    palette: [
      'brown',
      'beige',
      'blue'
    ]
  };

var visNDVI = {

  min: -1,

  max: 1,

  palette: [
    'white',
    'yellow',
    'green'
  ]
};

Map.addLayer(
  ndwiMediana,
  visNDWI,
  'NDWI - Primavera 2023'
);

Map.addLayer(
  ndviMediana,
  visNDVI,
  'NDVI - Primavera 2023'
);

// =====
// 16. EXPORTAÇÃO NDWI
// =====

Export.image.toDrive({

  image:
    ndwiMediana,

  description:
    'NDWI_L8_SemChuva_Primavera_2023',

  folder:
    'GEE_Export',

  fileNamePrefix:
    'NDWI_L8_SemChuva_Primavera_2023',

  region:
    areaEstudo.geometry(),

```

```

scale:
  30,

crs:
  'EPSG:31981',

maxPixels:
  1e13

});

// =====
// 17. EXPORTAÇÃO NDVI
// =====

Export.image.toDrive({

  image:
    ndviMediana,

  description:
    'NDVI_L8_SemChuva_Primavera_2023',

  folder:
    'GEE_Export',

  fileNamePrefix:
    'NDVI_L8_SemChuva_Primavera_2023',

  region:
    areaEstudo.geometry(),

  scale:
    30,

  crs:
    'EPSG:31981',

  maxPixels:
    1e13

});

Primavera de 2024

// =====
// NDWI + NDVI - PRIMAVERA 2024
// Landsat 8 + Landsat 9
// CORUMBÁ E LADÁRIO - MS
// COM VERIFICAÇÃO DE DATAS, ÓRBITA E PONTO
// =====

// =====
// 1. ÁREA DE ESTUDO
// =====

var areaEstudo = ee.FeatureCollection(
  "projects/ee-gihdiasgarcia/assets/CL"
);

Map.centerObject(areaEstudo, 8);

```

```

// =====
// 2. MÁSCARA DE NUVENS E BORDAS
// =====

function maskL8L9(image) {

  var qa = image.select('QA_PIXEL');

  // Bits:
  // 2 = cirrus
  // 3 = nuvem
  // 4 = sombra de nuvem

  var mask = qa.bitwiseAnd(1 << 4).eq(0)
    .and(qa.bitwiseAnd(1 << 3).eq(0))
    .and(qa.bitwiseAnd(1 << 2).eq(0));

  // Remove pixels inválidos/bordas
  var validPixels = image.select('SR_B5').gt(0);

  return image
    .updateMask(mask)
    .updateMask(validPixels);
}

// =====
// 3. COLEÇÃO LANDSAT 8 + LANDSAT 9
// =====

var landsat8 = ee.ImageCollection(
  'LANDSAT/LC08/C02/T1_L2'
);

var landsat9 = ee.ImageCollection(
  'LANDSAT/LC09/C02/T1_L2'
);

// =====
// 4. PERÍODO DA PRIMAVERA DE 2024
// =====
// Aqui está sendo considerado:
// 15/09/2024 até 14/01/2025
//
// ATENÇÃO:
// O segundo limite do filterDate é exclusivo.
// Portanto:
// filterDate('2024-09-15', '2025-01-15')
// inclui imagens até 14/01/2025.

var colecao = landsat8
  .merge(landsat9)
  .filterBounds(areaEstudo)
  .filterDate('2024-09-15', '2025-01-15')
  .filter(ee.Filter.lt('CLOUD_COVER', 70))
  .map(maskL8L9);

// =====
// 5. IDENTIFICAÇÃO DAS CENAS
// =====

var colecaoInfo = colecao.map(function(image) {

```

```

var data = ee.Date(
  image.get('system:time_start')
).format('YYYY-MM-dd');

var hora = ee.Date(
  image.get('system:time_start')
).format('HH:mm:ss');

var satellite = ee.String(
  image.get('SPACECRAFT_ID')
);

var path = image.get('WRS_PATH');

var row = image.get('WRS_ROW');

var nuvens = image.get('CLOUD_COVER');

var id = image.get('LANDSAT_PRODUCT_ID');

return image.set({
  'data_aquisicao': data,
  'hora_aquisicao': hora,
  'satelite': satellite,
  'orbita': path,
  'ponto': row,
  'nuvens': nuvens,
  'produto': id
});
});

// =====
// 6. VERIFICAÇÃO GERAL
// =====

print(
  '=====
');

print(
  'QUANTIDADE TOTAL DE CENAS:',
  colecaoInfo.size()
);

print(
  '=====
');

// =====
// 7. DATAS REALMENTE DISPONÍVEIS
// =====

var datasUtilizadas = colecaoInfo
  .aggregate_array('data_aquisicao')
  .distinct()
  .sort();

print(
  'DATAS DAS CENAS UTILIZADAS:',
  datasUtilizadas
);

```

```

// =====
// 8. SATÉLITE UTILIZADO
// =====

print(
  'SATÉLITES:',
  coletaInfo
    .aggregate_array('satelite')
    .distinct()
);

// =====
// 9. ÓRBITAS UTILIZADAS
// =====

print(
  'ÓRBITAS (WRS_PATH):',
  coletaInfo
    .aggregate_array('orbita')
    .distinct()
    .sort()
);

// =====
// 10. PONTOS UTILIZADOS
// =====

print(
  'PONTOS (WRS_ROW):',
  coletaInfo
    .aggregate_array('ponto')
    .distinct()
    .sort()
);

// =====
// 11. TABELA COMPLETA DAS CENAS
// =====

var tabelaCenas = coletaInfo.map(function(image) {

  return ee.Feature(null, {
    'Data': image.get('data_aquisicao'),
    'Satélite': image.get('satelite'),
    'Órbita': image.get('orbita'),
    'Ponto': image.get('ponto'),
    'Nuvens_%': image.get('nuvens'),
    'Produto': image.get('produto')
  });

});

print(
  'TABELA - CENAS UTILIZADAS:',
  tabelaCenas
);

// =====
// 12. EXPORTAR TABELA PARA O GOOGLE DRIVE
// =====

```

```

Export.table.toDrive({

  collection: tabelaCenas,

  description:
    'Cenas_Landsat_Primavera_2024',

  folder:
    'GEE',

  fileNamePrefix:
    'Cenas_Landsat_Primavera_2024',

  fileFormat:
    'CSV'
});

// =====
// 13. NDVI + NDWI
// =====

function calcularIndices(image) {

  var bandas = image
    .select([
      'SR_B3',
      'SR_B4',
      'SR_B5'
    ])
    .multiply(0.0000275)
    .add(-0.2);

  // NDVI
  var ndvi = bandas
    .normalizedDifference([
      'SR_B5',
      'SR_B4'
    ])
    .rename('NDVI');

  // NDWI
  var ndwi = bandas
    .normalizedDifference([
      'SR_B3',
      'SR_B5'
    ])
    .rename('NDWI');

  return image.addBands([
    ndvi,
    ndwi
  ]);
}

var colecaoIndices = colecaoInfo.map(
  calcularIndices
);

```

```

// =====
// 14. COMPOSIÇÃO MEDIANA
// =====

var ndviFinal = colecaoIndices
  .select('NDVI')
  .median()
  .clip(areaEstudo);

var ndwiFinal = colecaoIndices
  .select('NDWI')
  .median()
  .clip(areaEstudo);

// =====
// 15. VISUALIZAÇÃO
// =====

var visNDVI = {
  min: -1,
  max: 1,
  palette: [
    'blue',
    'white',
    'green'
  ]
};

var visNDWI = {
  min: -1,
  max: 1,
  palette: [
    'brown',
    'white',
    'blue'
  ]
};

Map.addLayer(
  ndviFinal,
  visNDVI,
  'NDVI - Primavera 2024'
);

Map.addLayer(
  ndwiFinal,
  visNDWI,
  'NDWI - Primavera 2024'
);

// =====
// 16. EXPORTAÇÃO DO NDVI
// =====

Export.image.toDrive({

  image: ndviFinal,

  description:

```

```

        'NDVI_Primavera_2024_L8_L9',

        folder:
        'GEE',

        fileNamePrefix:
        'NDVI_Primavera_2024_L8_L9',

        region:
        areaEstudo.geometry(),

        scale:
        30,

        crs:
        'EPSG:31981',

        maxPixels:
        1e13
    });

// =====
// 17. EXPORTAÇÃO DO NDWI
// =====

Export.image.toDrive({

    image: ndwiFinal,

    description:
    'NDWI_Primavera_2024_L8_L9',

    folder:
    'GEE',

    fileNamePrefix:
    'NDWI_Primavera_2024_L8_L9',

    region:
    areaEstudo.geometry(),

    scale:
    30,

    crs:
    'EPSG:31981',

    maxPixels:
    1e13
});

Verão 2023
// =====
// NDWI + NDVI - VERÃO 2023
// Landsat 8 - Corumbá e Ladário/MS
// Dias SEM CHUVA + expansão ±2 dias
// =====

// =====
// 1. ÁREA DE ESTUDO
// =====

```

```

var areaEstudo = ee.FeatureCollection(
  "projects/ee-gihdiasgarcia/assets/CL"
);

// =====
// 2. DATAS ORIGINAIS SEM CHUVA
// =====

var datasSemChuva = ee.List([

  // =====
  // JANEIRO
  // =====

  '2023-01-01','2023-01-04','2023-01-05','2023-01-06',
  '2023-01-07','2023-01-08','2023-01-09','2023-01-10',
  '2023-01-15','2023-01-18','2023-01-19','2023-01-21',
  '2023-01-22','2023-01-23','2023-01-24','2023-01-25',
  '2023-01-27','2023-01-28',

  // =====
  // FEVEREIRO
  // =====

  '2023-02-07','2023-02-08','2023-02-09','2023-02-10',
  '2023-02-14','2023-02-18','2023-02-19','2023-02-20',
  '2023-02-23','2023-02-26','2023-02-28',

  // =====
  // MARÇO
  // =====

  '2023-03-01','2023-03-02','2023-03-04','2023-03-08',
  '2023-03-10','2023-03-22','2023-03-23','2023-03-25',
  '2023-03-27','2023-03-28','2023-03-29','2023-03-30',
  '2023-03-31'
]);

// =====
// 3. EXPANSÃO DAS DATAS ±2 DIAS
// =====

var datasExpandida = datasSemChuva.map(function(d) {

  var data = ee.Date(d);

  return ee.List.sequence(-2, 2).map(function(offset) {

    return data
      .advance(offset, 'day')
      .format("YYYY-MM-dd");

  });

}).flatten().distinct();

// Verificar quantidade de dias após expansão
print(
  'Quantidade de datas após expansão ±2 dias:',
  datasExpandida.size()
)

```

```

);

// =====
// 4. COLEÇÃO LANDSAT 8
// =====

var colecao = ee.ImageCollection(
  "LANDSAT/LC08/C02/T1_L2"
)

.filterBounds(areaEstudo)

// IMPORTANTE:
// 01/04/2023 é usado para incluir 31/03/2023
.filterDate(
  '2023-01-01',
  '2023-04-01'
)

// Cobertura de nuvens
.filter(
  ee.Filter.lt('CLOUD_COVER', 30)
);

// =====
// 5. ADICIONAR INFORMAÇÕES DAS CENAS
// =====

var colecaoComInformacoes = colecao.map(function(image) {

  var data = ee.Date(
    image.get('system:time_start')
  ).format('YYYY-MM-dd');

  return image.set({

    // Data da passagem
    'data_str': data,

    // Órbita
    'PATH': image.get('WRS_PATH'),

    // Ponto
    'ROW': image.get('WRS_ROW'),

    // Cobertura de nuvens
    'NUVENS': image.get('CLOUD_COVER'),

    // Identificação da cena
    'ID_CENA': image.get('LANDSAT_PRODUCT_ID')

  });

});

// =====
// 6. FILTRAR PELAS DATAS EXPANDIDAS
// =====

var colecaoFiltrada =
  colecaoComInformacoes.filter(

```

```

    ee.Filter.inList(
      'data_str',
      datasExpandida
    )

  );

// =====
// 7. VERIFICAÇÃO DAS CENAS
// =====

print(
  '=====
');

print(
  'VERÃO 2023 - LANDSAT 8'
);

print(
  'Quantidade de cenas realmente utilizadas:',
  colecaoFiltrada.size()
);

print(
  'Datas das cenas realmente utilizadas:',
  colecaoFiltrada
    .aggregate_array('data_str')
);

// =====
// 8. TABELA COMPLETA DAS CENAS
// =====

var tabelaCenas = colecaoFiltrada.map(
  function(image) {

    return ee.Feature(null, {

      'Data':
        image.get('data_str'),

      'Órbita_Path':
        image.get('PATH'),

      'Ponto_Row':
        image.get('ROW'),

      'Cobertura_nuvens_%':
        image.get('NUVENS'),

      'ID_da_cena':
        image.get('ID_CENA')

    });

  }
);

print(
  '=====

```

```

);

print(
  'TABELA DAS CENAS REALMENTE UTILIZADAS:',
  tabelaCenas
);

// =====
// 9. ÓRBITAS UTILIZADAS
// =====

print(
  'Órbitas (PATH) utilizadas:',
  colecaoFiltrada
    .aggregate_array('WRS_PATH')
    .distinct()
);

// =====
// 10. PONTOS UTILIZADOS
// =====

print(
  'Pontos (ROW) utilizados:',
  colecaoFiltrada
    .aggregate_array('WRS_ROW')
    .distinct()
);

// =====
// 11. COMBINAÇÃO ÓRBITA/PONTO POR DATA
// =====

var pathRow = colecaoFiltrada.map(
  function(image) {

    return ee.Feature(null, {

      'Data':
        image.get('data_str'),

      'PATH':
        image.get('WRS_PATH'),

      'ROW':
        image.get('WRS_ROW'),

      'ID_CENA':
        image.get('LANDSAT_PRODUCT_ID')

    });

  }
);

print(
  '=====
);

print(

```

```

'ÓRBITA/PONTO POR DATA:',
pathRow
);

// =====
// 12. NDWI + NDVI
// =====

var calcularIndices = function(image) {

  // Conversão dos valores de reflectância
  var opticalBands = image
    .select('SR_B.*')
    .multiply(0.0000275)
    .add(-0.2);

  // -----
  // NDWI
  // Green = SR_B3
  // NIR = SR_B5
  // -----

  var ndwi = opticalBands
    .normalizedDifference([
      'SR_B3',
      'SR_B5'
    ])
    .rename('NDWI');

  // -----
  // NDVI
  // NIR = SR_B5
  // RED = SR_B4
  // -----

  var ndvi = opticalBands
    .normalizedDifference([
      'SR_B5',
      'SR_B4'
    ])
    .rename('NDVI');

  return image.addBands([
    ndwi,
    ndvi
  ]);

};

var colecaoIndices =
  colecaoFiltrada.map(
    calcularIndices
  );

// =====
// 13. COMPOSIÇÃO POR MEDIANA
// =====

```

```

var ndwiMediana = colecaoIndices
  .select('NDWI')
  .median()
  .clip(areaEstudo);

```

```

var ndviMediana = colecaoIndices
  .select('NDVI')
  .median()
  .clip(areaEstudo);

```

```

// =====
// 14. VISUALIZAÇÃO
// =====

```

```

var visNDWI = {

```

```

  min: -1,

```

```

  max: 1,

```

```

  palette: [
    'brown',
    'beige',
    'blue'
  ]

```

```

};

```

```

var visNDVI = {

```

```

  min: -1,

```

```

  max: 1,

```

```

  palette: [
    'white',
    'yellow',
    'green'
  ]

```

```

};

```

```

Map.centerObject(
  areaEstudo,
  10
);

```

```

Map.addLayer(
  ndwiMediana,
  visNDWI,
  'NDWI - Verão 2023'
);

```

```

Map.addLayer(
  ndviMediana,
  visNDVI,
  'NDVI - Verão 2023'
);

```

```

// =====
// 15. EXPORTAR TABELA DAS CENAS
// =====

Export.table.toDrive({

  collection:
    tabelaCenas,

  description:
    'Cenas_Landsat8_Verao_2023',

  folder:
    'GEE_Export',

  fileNamePrefix:
    'Cenas_Landsat8_Verao_2023',

  fileFormat:
    'CSV'

});

// =====
// 16. EXPORTAR NDWI
// =====

Export.image.toDrive({

  image:
    ndwiMediana,

  description:
    'NDWI_L8_SemChuva_Verao_2023',

  folder:
    'GEE_Export',

  fileNamePrefix:
    'NDWI_L8_SemChuva_Verao_2023',

  region:
    areaEstudo,

  scale:
    30,

  crs:
    'EPSG:31981',

  maxPixels:
    1e13

});

// =====
// 17. EXPORTAR NDVI
// =====

Export.image.toDrive({

  image:

```

```

    ndviMediana,

    description:
      'NDVI_L8_SemChuva_Verao_2023',

    folder:
      'GEE_Export',

    fileNamePrefix:
      'NDVI_L8_SemChuva_Verao_2023',

    region:
      areaEstudo,

    scale:
      30,

    crs:
      'EPSG:31981',

    maxPixels:
      1e13

  });

```

Verão 2024

```

// =====
// NDWI + NDVI - VERÃO 2024
// Landsat 8 - Corumbá e Ladário/MS
// Dias SEM CHUVA (Jan-Mar)
// =====

// =====
// 1. ÁREA DE ESTUDO
// =====

var areaEstudo = ee.FeatureCollection(
  "projects/ee-gihdiasgarcia/assets/CL"
);

// =====
// 2. DATAS SEM CHUVA
// =====

var datasSemChuva = ee.List([

  // =====
  // JANEIRO
  // =====

  '2024-01-03','2024-01-06','2024-01-07','2024-01-08',
  '2024-01-09','2024-01-10','2024-01-11','2024-01-13',
  '2024-01-14','2024-01-15','2024-01-16','2024-01-17',
  '2024-01-18','2024-01-19','2024-01-20','2024-01-21',
  '2024-01-24','2024-01-25','2024-01-26','2024-01-27',
  '2024-01-28','2024-01-30','2024-01-31',

  // =====
  // FEVEREIRO
  // =====

  '2024-02-01','2024-02-02','2024-02-03','2024-02-04',

```

```

'2024-02-05','2024-02-06','2024-02-11','2024-02-12',
'2024-02-15','2024-02-16','2024-02-22','2024-02-26',
'2024-02-28','2024-02-29',

// =====
// MARÇO
// =====

'2024-03-01','2024-03-02','2024-03-03','2024-03-05',
'2024-03-06','2024-03-08','2024-03-09','2024-03-10',
'2024-03-11','2024-03-12','2024-03-16','2024-03-17',
'2024-03-18','2024-03-19','2024-03-20','2024-03-24',

// =====
// DIAS ADICIONAIS
// =====

'2024-01-04','2024-01-05','2024-01-12',
'2024-01-22','2024-01-23','2024-01-29',

'2024-02-07','2024-02-08','2024-02-09','2024-02-10',
'2024-02-13','2024-02-14','2024-02-17','2024-02-18',
'2024-02-19','2024-02-20','2024-02-21','2024-02-23',
'2024-02-24','2024-02-25','2024-02-27',

'2024-03-04','2024-03-07','2024-03-13','2024-03-14',
'2024-03-15','2024-03-21','2024-03-22','2024-03-23',
'2024-03-25','2024-03-26','2024-03-27','2024-03-28',
'2024-03-29','2024-03-30','2024-03-31'
]);

// =====
// 3. COLEÇÃO LANDSAT 8
// =====

var colecao = ee.ImageCollection(
  "LANDSAT/LC08/C02/T1_L2"
)
.filterBounds(areaEstudo)

// IMPORTANTE:
// 01/04/2024 é usado para incluir todo o dia 31/03/2024
.filterDate('2024-01-01', '2024-04-01')

// Cobertura de nuvens da cena
.filter(ee.Filter.lt('CLOUD_COVER', 20));

// =====
// 4. ADICIONAR INFORMAÇÕES DA CENA
// =====

var colecaoComInformacoes = colecao.map(function(image) {

  var data = ee.Date(
    image.get('system:time_start')
  ).format('YYYY-MM-dd');

  return image.set({

    'data_str': data,

    // Órbita

```

```

    'PATH': image.get('WRS_PATH'),

    // Ponto
    'ROW': image.get('WRS_ROW'),

    // Cobertura de nuvens
    'NUVENS': image.get('CLOUD_COVER'),

    // Identificação da cena
    'ID_CENA': image.get('LANDSAT_PRODUCT_ID')

  });

});

// =====
// 5. FILTRAR SOMENTE OS DIAS SEM CHUVA
// =====

var colecaoFiltrada = colecaoComInformacoes.filter(
  ee.Filter.inList(
    'data_str',
    datasSemChuva
  )
);

// =====
// 6. VERIFICAÇÃO
// =====

print(
  '=====
');

print(
  'VERÃO 2024 - LANDSAT 8'
);

print(
  'Quantidade total de cenas:',
  colecaoFiltrada.size()
);

print(
  'Datas das cenas utilizadas:',
  colecaoFiltrada.aggregate_array('data_str')
);

// =====
// 7. TABELA COMPLETA DAS CENAS
// =====

var tabelaCenas = colecaoFiltrada.map(function(image) {

  return ee.Feature(null, {

    'Data': image.get('data_str'),

    'Órbita_Path': image.get('PATH'),

    'Ponto_Row': image.get('ROW'),

```

```

    'Cobertura_nuvens_%': image.get('NUVENS'),

    'ID_da_cena': image.get('ID_CENA')

  });

});

print(
  '=====
');

print(
  'TABELA DAS CENAS REALMENTE UTILIZADAS:',
  tabelaCenas
);

// =====
// 8. LISTAR ÓRBITAS E PONTOS
// =====

print(
  'Órbitas (PATH) utilizadas:',
  colecaoFiltrada
    .aggregate_array('WRS_PATH')
    .distinct()
);

print(
  'Pontos (ROW) utilizados:',
  colecaoFiltrada
    .aggregate_array('WRS_ROW')
    .distinct()
);

// =====
// 9. COMBINAÇÃO PATH/ROW
// =====

var pathRow = colecaoFiltrada.map(function(image) {

  return ee.Feature(null, {

    'Data': image.get('data_str'),

    'PATH': image.get('WRS_PATH'),

    'ROW': image.get('WRS_ROW'),

    'ID': image.get('LANDSAT_PRODUCT_ID')

  });

});

print(
  '=====
');

print(
  'COMBINAÇÃO ÓRBITA/PONTO POR DATA:',
  pathRow

```

```

);

// =====
// 10. NDWI + NDVI
// =====

var calcularIndices = function(image) {

  // Conversão dos valores Landsat
  var opticalBands = image
    .select('SR_B.*')
    .multiply(0.0000275)
    .add(-0.2);

  // -----
  // NDWI
  // Green = SR_B3
  // NIR = SR_B5
  // -----

  var ndwi = opticalBands
    .normalizedDifference([
      'SR_B3',
      'SR_B5'
    ])
    .rename('NDWI');

  // -----
  // NDVI
  // NIR = SR_B5
  // RED = SR_B4
  // -----

  var ndvi = opticalBands
    .normalizedDifference([
      'SR_B5',
      'SR_B4'
    ])
    .rename('NDVI');

  return image.addBands([
    ndwi,
    ndvi
  ]);

};

var colecaoIndices =
  colecaoFiltrada.map(calcularIndices);

// =====
// 11. COMPOSIÇÃO POR MEDIANA
// =====

var ndwiMediana = colecaoIndices
  .select('NDWI')
  .median()
  .clip(areaEstudo);

```

```

var ndviMediana = colecaoIndices
  .select('NDVI')
  .median()
  .clip(areaEstudo);

// =====
// 12. VISUALIZAÇÃO
// =====

var visNDWI = {

  min: -1,

  max: 1,

  palette: [
    'brown',
    'beige',
    'blue'
  ]
};

var visNDVI = {

  min: -1,

  max: 1,

  palette: [
    'white',
    'yellow',
    'green'
  ]
};

Map.centerObject(
  areaEstudo,
  10
);

Map.addLayer(
  ndwiMediana,
  visNDWI,
  'NDWI - Verão 2024'
);

Map.addLayer(
  ndviMediana,
  visNDVI,
  'NDVI - Verão 2024'
);

// =====
// 13. EXPORTAR TABELA DAS CENAS
// =====

```

```

Export.table.toDrive({
  collection: tabelaCenas,

  description:
    'Cenas_Landsat8_Verao_2024',

  folder:
    'GEE_Export',

  fileNamePrefix:
    'Cenas_Landsat8_Verao_2024',

  fileFormat:
    'CSV'
});

// =====
// 14. EXPORTAR NDWI
// =====

Export.image.toDrive({
  image: ndwiMediana,

  description:
    'NDWI_L8_SemChuva_Verao_2024',

  folder:
    'GEE_Export',

  fileNamePrefix:
    'NDWI_L8_SemChuva_Verao_2024',

  region:
    areaEstudo,

  scale:
    30,

  crs:
    'EPSG:31981',

  maxPixels:
    1e13
});

// =====
// 15. EXPORTAR NDVI
// =====

Export.image.toDrive({
  image: ndviMediana,

  description:
    'NDVI_L8_SemChuva_Verao_2024',

  folder:
    'GEE_Export',

```

```
fileNamePrefix:  
  'NDVI_L8_SemChuva_Verao_2024',
```

```
region:  
  areaEstudo,
```

```
scale:  
  30,
```

```
crs:  
  'EPSG:31981',
```

```
maxPixels:  
  1e13
```

```
});
```

Outono de 2023

```
// =====  
// NDWI + NDVI - OUTONO 2023 (LANDSAT 8)  
// DIAS SEM CHUVA (ABR-JUN)  
//  
// VERIFICAÇÃO DAS CENAS:  
// - Datas realmente utilizadas  
// - Órbita (PATH)  
// - Ponto (ROW)  
// - Cobertura de nuvens  
// - ID da cena  
// - Combinações PATH/ROW  
// - Limites das cenas no mapa  
// =====
```

```
// =====  
// 1. ÁREA DE ESTUDO  
// =====
```

```
var areaEstudo = ee.FeatureCollection(  
  "projects/ee-gihdiasgarcia/assets/CL"  
);
```

```
// =====  
// 2. DATAS SEM CHUVA  
// =====
```

```
var datasSemChuva = ee.List([
```

```
  // =====  
  // ABRIL  
  // =====
```

```
'2023-04-01',  
'2023-04-02',  
'2023-04-03',  
'2023-04-04',  
'2023-04-09',  
'2023-04-12',  
'2023-04-14',  
'2023-04-16',  
'2023-04-19',  
'2023-04-20',  
'2023-04-21',  
'2023-04-22',
```

'2023-04-23',
'2023-04-24',
'2023-04-25',
'2023-04-26',
'2023-04-28',
'2023-04-29',

// =====
// MAIO
// =====

'2023-05-01',
'2023-05-02',
'2023-05-03',
'2023-05-04',
'2023-05-05',
'2023-05-06',
'2023-05-07',
'2023-05-09',
'2023-05-10',
'2023-05-11',
'2023-05-12',
'2023-05-13',
'2023-05-14',
'2023-05-15',
'2023-05-16',
'2023-05-17',
'2023-05-18',
'2023-05-19',
'2023-05-20',
'2023-05-21',
'2023-05-22',
'2023-05-23',
'2023-05-24',
'2023-05-25',
'2023-05-26',
'2023-05-27',
'2023-05-31',

// =====
// JUNHO
// =====

'2023-06-01',
'2023-06-02',
'2023-06-03',
'2023-06-04',
'2023-06-05',
'2023-06-06',
'2023-06-07',
'2023-06-08',
'2023-06-09',
'2023-06-10',
'2023-06-17',
'2023-06-18',
'2023-06-19',
'2023-06-20',
'2023-06-21',
'2023-06-22',
'2023-06-23',
'2023-06-24',
'2023-06-25',
'2023-06-26',
'2023-06-27',

```

'2023-06-28',
'2023-06-29',
'2023-06-30'

]);

// =====
// 3. QUANTIDADE DE DIAS INFORMADOS
// =====

print(
'=====
');

print(
'QUANTIDADE DE DIAS SEM CHUVA INFORMADOS:',
datasSemChuva.distinct().size()
);

print(
'=====
');

// =====
// 4. COLEÇÃO LANDSAT 8
// =====

var colecao =
ee.ImageCollection(
  "LANDSAT/LC08/C02/T1_L2"
)
.filterBounds(
  areaEstudo
)
.filterDate(
  '2023-04-01',
  '2023-07-01'
)
.filter(
  ee.Filter.lt(
    'CLOUD_COVER',
    20
  )
);

// =====
// 5. ADICIONAR DATA ÀS IMAGENS
// =====

var colecaoComData =
colecao.map(
  function(image) {

    var data =
    ee.Date(
      image.get(
        'system:time_start'
      )
    ).format(
      'YYYY-MM-dd'
    );

```

```

        return image.set(
            'data_str',
            data
        );
    }
);

// =====
// 6. FILTRAR DIAS SEM CHUVA
// =====

var colecaoFiltrada =
    colecaoComData.filter(
        ee.Filter.inList(
            'data_str',
            datasSemChuva
        )
    );

// =====
// 7. VERIFICAÇÃO DA QUANTIDADE
// =====

print(
    '=====
');

print(
    'QUANTIDADE DE CENAS LANDSAT 8 UTILIZADAS:',
    colecaoFiltrada.size()
);

print(
    '=====
');

// =====
// 8. DATAS REALMENTE UTILIZADAS
// =====

var datasUtilizadas =
    colecaoFiltrada
        .aggregate_array(
            'data_str'
        )
        .distinct()
        .sort();

print(
    'DATAS DAS CENAS REALMENTE UTILIZADAS:',
    datasUtilizadas
);

// =====
// 9. TABELA COMPLETA DAS CENAS
// =====

var cenasUtilizadas =
    colecaoFiltrada.map(

```

```

function(image) {

  return ee.Feature(
    null,
    {

      // -----
      // DATA
      // -----

      'Data':
        ee.Date(
          image.get(
            'system:time_start'
          )
        ).format(
          'YYYY-MM-dd'
        ),

      // -----
      // ÓRBITA / PATH
      // -----

      'Orbita_Path':
        image.get(
          'WRS_PATH'
        ),

      // -----
      // PONTO / ROW
      // -----

      'Ponto_Row':
        image.get(
          'WRS_ROW'
        ),

      // -----
      // COBERTURA DE NUVENS
      // -----

      'Nuvens_%':
        image.get(
          'CLOUD_COVER'
        ),

      // -----
      // ID DA CENA
      // -----

      'ID_Cena':
        image.get(
          'LANDSAT_PRODUCT_ID'
        )

    }
  );

}

// =====
// 10. MOSTRAR TABELA NO CONSOLE

```

```

// =====

print(
  '=====
');

print(
  'TABELA DAS CENAS REALMENTE UTILIZADAS:',
  cenasUtilizadas
);

print(
  '=====
');

// =====
// 11. ÓRBITAS (PATH)
// =====

var paths =
  colecaoFiltrada
    .aggregate_array(
      'WRS_PATH'
    )
    .distinct()
    .sort();

print(
  'ÓRBITAS (PATH) UTILIZADAS:',
  paths
);

// =====
// 12. PONTOS (ROW)
// =====

var rows =
  colecaoFiltrada
    .aggregate_array(
      'WRS_ROW'
    )
    .distinct()
    .sort();

print(
  'PONTOS (ROW) UTILIZADOS:',
  rows
);

// =====
// 13. COMBINAÇÕES PATH / ROW
// =====

var combinacoesPathRow =
  colecaoFiltrada.map(
    function(image) {

      var path =
        ee.Number(
          image.get(
            'WRS_PATH'

```

```

    )
    ).format();

    var row =
    ee.Number(
      image.get(
        'WRS_ROW'
      )
    ).format();

    return ee.Feature(
      null,
      {

        'PATH_ROW':
        path
        .cat('_')
        .cat(row)

      }
    );

  }
)
).aggregate_array(
  'PATH_ROW'
)
).distinct()
).sort();

print(
  'COMBINAÇÕES ÚNICAS PATH/ROW:',
  combinacoesPathRow
);

// =====
// 14. CÁLCULO DO NDWI + NDVI
// =====

var calcularIndices =
function(image) {

  var opticalBands =
  image
  .select(
    'SR_B.*'
  )
  .multiply(
    0.0000275
  )
  .add(
    -0.2
  );

  // =====
  // NDWI
  // =====

  var ndwi =
  opticalBands
  .normalizedDifference([
    'SR_B3',

```

```

        'SR_B5'
    ])
    .rename(
        'NDWI'
    );

// =====
// NDVI
// =====

var ndvi =
    opticalBands
        .normalizedDifference([
            'SR_B5',
            'SR_B4'
        ])
    .rename(
        'NDVI'
    );

return image.addBands([
    ndwi,
    ndvi
]);

};

var colecaoIndices =
    colecaoFiltrada.map(
        calcularIndices
    );

// =====
// 15. MEDIANA NDWI
// =====

var ndwiMediana =
    colecaoIndices
        .select(
            'NDWI'
        )
    .median()
    .clip(
        areaEstudo
    );

// =====
// 16. MEDIANA NDVI
// =====

var ndviMediana =
    colecaoIndices
        .select(
            'NDVI'
        )
    .median()
    .clip(
        areaEstudo
    );

```

```

// =====
// 17. VISUALIZAÇÃO NDWI
// =====

var visNDWI = {

  min:
    -1,

  max:
    1,

  palette: [
    'brown',
    'beige',
    'blue'
  ]
};

// =====
// 18. VISUALIZAÇÃO NDVI
// =====

var visNDVI = {

  min:
    -1,

  max:
    1,

  palette: [
    'white',
    'yellow',
    'green'
  ]
};

// =====
// 19. CENTRALIZAR MAPA
// =====

Map.centerObject(
  areaEstudo,
  10
);

// =====
// 20. ÁREA DE ESTUDO
// =====

Map.addLayer(
  areaEstudo,
  {
    color:
      'red'
  },
  'Área de estudo'
);

```

```

// =====
// 21. NDWI
// =====

Map.addLayer(
  ndwiMediana,
  visNDWI,
  'NDWI - Outono 2023'
);

// =====
// 22. NDVI
// =====

Map.addLayer(
  ndviMediana,
  visNDVI,
  'NDVI - Outono 2023'
);

// =====
// 23. LIMITES DAS CENAS
// =====

var limitesCenas =
  colecaoFiltrada.map(
    function(image) {

      return ee.Feature(
        image.geometry(),
        {

          'Path':
            image.get(
              'WRS_PATH'
            ),

          'Row':
            image.get(
              'WRS_ROW'
            ),

          'Data':
            ee.Date(
              image.get(
                'system:time_start'
              )
            ).format(
              'YYYY-MM-dd'
            ),

          'Nuvens':
            image.get(
              'CLOUD_COVER'
            )

        }
      );

    }
  );

```

```
// =====
// 24. MOSTRAR LIMITES DAS CENAS
// =====

Map.addLayer(
  limitesCenas.style({

    color:
      'yellow',

    fillColor:
      '00000000',

    width:
      2

  }),
  {},
  'Limites das cenas Landsat 8 utilizadas'
);
```

```
// =====
// 25. EXPORTAÇÃO NDWI
// =====

Export.image.toDrive({

  image:
    ndwiMediana,

  description:
    'NDWI_L8_SemChuva_Outono_2023',

  folder:
    'GEE_Export',

  fileNamePrefix:
    'NDWI_L8_SemChuva_Outono_2023',

  region:
    areaEstudo,

  scale:
    30,

  crs:
    'EPSG:31981',

  maxPixels:
    1e13

});
```

```
// =====
// 26. EXPORTAÇÃO NDVI
// =====

Export.image.toDrive({

  image:
    ndviMediana,
```

```

description:
  'NDVI_L8_SemChuva_Outono_2023',

folder:
  'GEE_Export',

fileNamePrefix:
  'NDVI_L8_SemChuva_Outono_2023',

region:
  areaEstudo,

scale:
  30,

crs:
  'EPSG:31981',

maxPixels:
  1e13

});

```

Outono de 2024

```

// =====
// NDWI + NDVI - OUTONO 2024 (LANDSAT 8)
// DIAS SEM CHUVA (ABR-JUN)
//
// VERIFICAÇÃO:
// - Datas realmente utilizadas
// - Órbita (Path)
// - Ponto (Row)
// - Cobertura de nuvens
// - ID das cenas
// - Combinações Path/Row
// - Limites das cenas no mapa
// =====

// =====
// 1. ÁREA DE ESTUDO
// =====

var areaEstudo = ee.FeatureCollection(
  "projects/ee-gihdiasgarcia/assets/CL"
);

// =====
// 2. DATAS SEM CHUVA
// =====

var datasSemChuva = ee.List([

  // =====
  // ABRIL
  // =====

  '2024-04-03',
  '2024-04-05',
  '2024-04-06',
  '2024-04-08',
  '2024-04-09',

```

'2024-04-10',
'2024-04-13',
'2024-04-18',
'2024-04-19',
'2024-04-20',
'2024-04-21',
'2024-04-23',
'2024-04-24',
'2024-04-25',
'2024-04-26',
'2024-04-27',
'2024-04-28',
'2024-04-29',
'2024-04-30',

// =====
// MAIO
// =====

'2024-05-01',
'2024-05-02',
'2024-05-03',
'2024-05-04',
'2024-05-05',
'2024-05-06',
'2024-05-07',
'2024-05-08',
'2024-05-09',
'2024-05-10',
'2024-05-11',
'2024-05-12',
'2024-05-13',
'2024-05-14',
'2024-05-15',
'2024-05-16',
'2024-05-17',
'2024-05-20',
'2024-05-21',
'2024-05-22',
'2024-05-23',
'2024-05-24',
'2024-05-25',
'2024-05-26',
'2024-05-27',
'2024-05-28',
'2024-05-29',
'2024-05-30',
'2024-05-31',

// =====
// JUNHO
// =====

'2024-06-28',
'2024-06-29',
'2024-06-30'

});

// =====
// 3. QUANTIDADE DE DIAS INFORMADOS
// =====

```

print(
  '=====
');

print(
  'QUANTIDADE DE DIAS SEM CHUVA INFORMADOS:',
  datasSemChuva.distinct().size()
);

print(
  '=====
');

// =====
// 4. COLEÇÃO LANDSAT 8
// =====

var colecao =
  ee.ImageCollection(
    "LANDSAT/LC08/C02/T1_L2"
  )
  .filterBounds(
    areaEstudo
  )
  .filterDate(
    '2024-04-01',
    '2024-07-01'
  )
  .filter(
    ee.Filter.lt(
      'CLOUD_COVER',
      20
    )
  );

// =====
// 5. ADICIONAR DATA ÀS IMAGENS
// =====

var colecaoComData =
  colecao.map(
    function(image) {

      var data =
        ee.Date(
          image.get(
            'system:time_start'
          )
        ).format(
          'YYYY-MM-dd'
        );

      return image.set(
        'data_str',
        data
      );

    }
  );

// =====

```

```

// 6. FILTRAR DIAS SEM CHUVA
// =====

var colecaoFiltrada =
  colecaoComData.filter(
    ee.Filter.inList(
      'data_str',
      datasSemChuva
    )
  );

// =====
// 7. VERIFICAÇÃO
// =====

print(
  '=====
');

print(
  'QUANTIDADE DE CENAS LANDSAT 8 UTILIZADAS:',
  colecaoFiltrada.size()
);

print(
  '=====
');

// =====
// 8. DATAS REALMENTE UTILIZADAS
// =====

var datasUtilizadas =
  colecaoFiltrada
  .aggregate_array(
    'data_str'
  )
  .distinct()
  .sort();

print(
  'DATAS DAS CENAS REALMENTE UTILIZADAS:',
  datasUtilizadas
);

// =====
// 9. TABELA DAS CENAS
// =====

var cenasUtilizadas =
  colecaoFiltrada.map(
    function(image) {

      return ee.Feature(
        null,
        {

          // Data
          'Data':
            ee.Date(
              image.get(

```

```

        'system:time_start'
    )
    ).format(
        'YYYY-MM-dd'
    ),

    // Órbita
    'Órbita (Path)':
    image.get(
        'WRS_PATH'
    ),

    // Ponto
    'Ponto (Row)':
    image.get(
        'WRS_ROW'
    ),

    // Nuvens
    'Cobertura de nuvens (%)':
    image.get(
        'CLOUD_COVER'
    ),

    // ID da cena
    'ID da imagem':
    image.get(
        'LANDSAT_PRODUCT_ID'
    )
}
);

}
);

// =====
// 10. MOSTRAR TABELA NO CONSOLE
// =====

print(
    '=====
');

print(
    'CENAS LANDSAT 8 REALMENTE UTILIZADAS:',
    cenasUtilizadas
);

print(
    '=====
');

// =====
// 11. ÓRBITAS UTILIZADAS
// =====

var paths =
    colecaoFiltrada
    .aggregate_array(
        'WRS_PATH'
    )

```

```

        .distinct()
        .sort();

    print(
        'ÓRBITAS (PATH) UTILIZADAS:',
        paths
    );

    // =====
    // 12. PONTOS UTILIZADOS
    // =====

    var rows =
        colecaoFiltrada
        .aggregate_array(
            'WRS_ROW'
        )
        .distinct()
        .sort();

    print(
        'PONTOS (ROW) UTILIZADOS:',
        rows
    );

    // =====
    // 13. COMBINAÇÕES PATH/ROW
    // =====

    var combinacoesPathRow =
        colecaoFiltrada.map(
            function(image) {

                var path =
                    ee.Number(
                        image.get(
                            'WRS_PATH'
                        )
                    ).format();

                var row =
                    ee.Number(
                        image.get(
                            'WRS_ROW'
                        )
                    ).format();

                return ee.Feature(
                    null,
                    {

                        'Path_Row':
                            path
                            .cat('_')
                            .cat(row)

                    }
                );

            }
        )
        .aggregate_array(
            'Path_Row'

```

```

)
.distinct()
.sort();

print(
  'COMBINAÇÕES ÚNICAS PATH/ROW:',
  combinacoesPathRow
);

// =====
// 14. CALCULAR NDWI + NDVI
// =====

var calcularIndices =
function(image) {

  var opticalBands =
    image
    .select(
      'SR_B.*'
    )
    .multiply(
      0.0000275
    )
    .add(
      -0.2
    );

  // =====
  // NDWI
  // =====

  var ndwi =
    opticalBands
    .normalizedDifference([
      'SR_B3',
      'SR_B5'
    ])
    .rename(
      'NDWI'
    );

  // =====
  // NDVI
  // =====

  var ndvi =
    opticalBands
    .normalizedDifference([
      'SR_B5',
      'SR_B4'
    ])
    .rename(
      'NDVI'
    );

  return image.addBands([
    ndwi,
    ndvi
  ])

```

```

};

var colecaoIndices =
  colecaoFiltrada.map(
    calcularIndices
  );

// =====
// 15. MEDIANA NDWI
// =====
var ndwiMediana =
  colecaoIndices
  .select(
    'NDWI'
  )
  .median()
  .clip(
    areaEstudo
  );

// =====
// 16. MEDIANA NDVI
// =====
var ndviMediana =
  colecaoIndices
  .select(
    'NDVI'
  )
  .median()
  .clip(
    areaEstudo
  );

// =====
// 17. VISUALIZAÇÃO NDWI
// =====
var visNDWI = {
  min:
    -1,

  max:
    1,

  palette: [
    'brown',
    'beige',
    'blue'
  ]
};

// =====
// 18. VISUALIZAÇÃO NDVI
// =====
var visNDVI = {

```

```

min:
  -1,

max:
  1,

palette: [
  'white',
  'yellow',
  'green'
]
};

// =====
// 19. CENTRALIZAR MAPA
// =====

Map.centerObject(
  areaEstudo,
  10
);

// =====
// 20. ÁREA DE ESTUDO
// =====

Map.addLayer(
  areaEstudo,
  {
    color:
      'red'
  },
  'Área de estudo'
);

// =====
// 21. NDWI
// =====

Map.addLayer(
  ndwiMediana,
  visNDWI,
  'NDWI - Outono 2024'
);

// =====
// 22. NDVI
// =====

Map.addLayer(
  ndviMediana,
  visNDVI,
  'NDVI - Outono 2024'
);

// =====
// 23. LIMITES DAS CENAS
// =====

```

```

var limitesCenas =
  colecaoFiltrada.map(
    function(image) {

      return ee.Feature(
        image.geometry(),
        {

          'Path':
            image.get(
              'WRS_PATH'
            ),

          'Row':
            image.get(
              'WRS_ROW'
            ),

          'Data':
            ee.Date(
              image.get(
                'system:time_start'
              )
            ).format(
              'YYYY-MM-dd'
            ),

          'Nuvens':
            image.get(
              'CLOUD_COVER'
            )

        }
      );

    }
  );

// =====
// 24. MOSTRAR LIMITES NO MAPA
// =====

Map.addLayer(
  limitesCenas.style({

    color:
      'yellow',

    fillColor:
      '00000000',

    width:
      2

  }),
  {},
  'Limites das cenas Landsat 8 utilizadas'
);

// =====
// 25. EXPORTAÇÃO NDWI
// =====

```

```

Export.image.toDrive({

  image:
    ndwiMediana,

  description:
    'NDWI_L8_SemChuva_Outono_2024',

  folder:
    'GEE_Export',

  fileNamePrefix:
    'NDWI_L8_SemChuva_Outono_2024',

  region:
    areaEstudo,

  scale:
    30,

  crs:
    'EPSG:31981',

  maxPixels:
    1e13

});

// =====
// 26. EXPORTAÇÃO NDVI
// =====

Export.image.toDrive({

  image:
    ndviMediana,

  description:
    'NDVI_L8_SemChuva_Outono_2024',

  folder:
    'GEE_Export',

  fileNamePrefix:
    'NDVI_L8_SemChuva_Outono_2024',

  region:
    areaEstudo,

  scale:
    30,

  crs:
    'EPSG:31981',

  maxPixels:
    1e13

});

```

An aerial photograph of a dirt road winding through a dense, green forest. A small car is visible on the road in the lower center. The text "ANEXO 2: CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS" is overlaid in white, bold, sans-serif font.

ANEXO 2:

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS

Capa da dissertação – Registros: Lalo de Almeida; Ailton Lara e Giovana Dias Garcia.
Capítulo 1 – Mudanças climáticas: Silvio Andrade e Gustavo Basso.
Capítulo 2 – Incêndios florestais: Causas, efeitos e a influência das mudanças climáticas no Bioma Pantanal: Lalo de Almeida.
Capítulo 3 – Métodos, técnicas e procedimentos de estudo: Glaucea Vaccari e Naiara Camargo.
Capítulo 4 – Bruno Rezende.
Capítulo 5 – Análise Dos Resultados: A Sazonalidade Da Ocorrência De Incêndios Florestais: Daniel Marinho.
Considerações finais: Giovana Dias Garcia
Referências Bibliográficas: visitms.
Anexo 1: Nanda Hudson.
Anexo 2: Vidasemparedes.