

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

FELIPE DAWSON AURICHI LIMA

Dinâmica temporal das queimadas no Pantanal de Poconé: uma relação
com os atributos do clima e o uso e cobertura do solo

Temporal dynamics of fires in the Poconé Pantanal: a relationship with climate attributes and land
use and cover

São Paulo

2025

FELIPE DAWSON AURICHI LIMA

**Dinâmica temporal das queimadas no Pantanal de Poconé: uma relação
com os atributos do clima e o uso e cobertura do solo**

Trabalho de Graduação Integrado (TGI) apresentado
ao Departamento de Geografia da Faculdade de
Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da
Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Área de Concentração: Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Emerson Galvani

São Paulo

2025

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo na Publicação
 Serviço de Biblioteca e Documentação
 Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

Lima, Felipe
 L Dinâmica temporal das queimadas no Pantanal de Poconé: uma relação com os atributos do clima e o uso e cobertura do solo / Felipe Lima; orientador Emerson Galvani - São Paulo, 2025.
 109 f.

TGI (Trabalho de Graduação Individual)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia.

1. Focos de queimadas. 2. Mudanças Climáticas. 3. Desmatamento. 4. Pantanal. I. Galvani, Emerson, orient. II. Título.

LIMA, Felipe Dawson Aurichi. **Dinâmica temporal das queimadas no Pantanal de Poconé:** uma relação com os atributos do clima e o uso e cobertura do solo. Trabalho de Graduação Integrado (TGI) apresentado à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Aprovado em: 17 de junho de 2025

Banca Examinadora

Prof. Dr. Emerson Galvani Instituição Universidade de São Paulo

Julgamento _____ Assinatura _____

Dra. Jakeline Barato Instituição Universidade de São Paulo

Julgamento _____ Assinatura _____

MSc. Raquel de Cássia Ramos Instituição Universidade de São Paulo

Julgamento _____ Assinatura _____

Dedico este trabalho à minha avó Jacira (*in memoriam*), que, durante muitos pesadelos, me deu um lugar de paz.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Emilia e Walles, que sempre acreditaram em mim e me ajudaram a correr atrás dos meus sonhos, sempre me levantando quando eu mais precisava e vibrando por cada pequena vitória. Obrigado pelo carinho, afeto, dedicação e cuidado de vocês ao longo desses anos. Vocês me possibilitaram existir nesse mundo que vale muito a pena.

Agradeço aos meus irmãos Giovanna, Gabriela, Jayra e Lucas, por cada conversa, brigas e, sobretudo, pelo carinho, afeto e amor de cada um. Vocês sempre foram meu apoio e meu ombro amigo desde muito tempo. Obrigado por me deixarem fazer parte da vida de vocês e por estarem nos momentos mais difíceis da minha vida.

Agradeço ao Prof. Dr. Emerson Galvani pela atenção e ajuda durante o TGI. Sou extremamente grato pela paciência nas incontáveis vezes que te mandei mensagem no WhatsApp, que te parei no corredor, na sua sala e na pós-aula de clima I para pedir ajuda com algo ou alguma explicação. Também agradeço à Prof.^a Dra. Nádia Gilma Beserra de Lima, pela ajuda e pelos múltiplos ensinamentos ao longo da jornada na escrita TCC. Sem vocês dois, esse trabalho não seria possível.

Agradeço à Dra. Jakeline Baratto e Dr. Paulo Miguel de Bodas Terassi pelo curso de dados orbitais. Além disso, também agradeço a paciência que vocês dois tiveram em explicar todas as vezes que tive dúvidas sobre o uso dos programas e da validação dos dados. Sem esse curso e a ajuda de vocês, eu não teria as ferramentas e os conhecimentos necessários e mais importantes para a elaboração deste trabalho.

Agradeço aos amigos da graduação Matheus Fernandes, Cawan, Gia, Marcus, Thalita, Geovanny, Gabriel Domingo, Jihad, Helena Antunes, Bruna Santos, Maryanna Lima, Vitória Simão, Guilherme Alves, Raul Biazin, Henricão, Helena Serizawa, Fabão, Aline Titon, Rapha, Kaique, Day, Arizla, Késsia e Thainã. Um agradecimento especial ao Winicius, AnaLu, Yone e ao Luca, que me ouviram e me acolheram constantemente durante os momentos mais difíceis da escrita de TCC. Sem todos, a graduação não teria sido a mesma. Vocês me possibilitaram sonhar e me propiciaram os momentos mais lindos e incríveis que tive na Geografia.

Ao Raul, Letícia, Navas e Alice, amigos do ensino médio que me acompanham e torcem por mim há quase dez anos, vocês fazem parte disso. Agradeço também aos meus ex-professores do ensino médio, Juninho e Vitty, pelos múltiplos ensinamento. Chegar até aqui só foi possível graças a vocês, porque os encontros que tivemos foi um respiro durante esses anos de graduação.

Aos técnicos de laboratório Wal e Rogério, pelas múltiplas conversas e apoio ao longo desses anos. Vocês são essenciais para a Geografia e temos muita sorte de tê-los por aqui.

Aos amigos que fiz durante o intercâmbio para a Espanha: Marina, Pedro, Vitória, Maca, Dídac e Ricard, vocês são incríveis. Um agradecimento especial L'Anna, que ficou comigo, cuidou de mim e me abraçou quando eu só sabia chorar no hospital durante todos os dias de internação. Eu me lembrarei e sempre serei grato a você.

Ao meu gestor Marcello Pimentel, pela paciência ao me ensinar coisas novas e por todas as dicas que me deu neste finzinho da graduação, sou muito grato. Agradeço também a Laura Lorenzi, amiga que fiz em um dos meus estágios, pelo companheirismo, conversas e risadas que trocamos todas as vezes que nos encontramos.

À minha madrinha Leninha, que me ensinou que quando eu me movimento, o mundo se movimenta também. Obrigado pela companhia e pela presença nesses anos, estando sempre ali para uma conversa, um abraço, colinho, para aventuras e até poesias, me inspirando cotidianamente a ser melhor. Agradeço ao meu padrinho, Jorge Carlos pela ajuda durante a graduação e por comemorar comigo minhas conquistas. Também agradeço ao meu avô, João Lima, que mesmo não sendo geógrafo, vive e transmite a geografia no seu mais puro saber, aprendo muito com o senhor. Agradeço às minhas primas, Vera, Teh e Bia, bem como a minha tia Márcia e tio Sérgio, pelo carinho e amor que tiveram por mim ao longo desses anos.

Ao meu babalorixá, André Ôdé, por todo suporte espiritual que me deu ao longo desses anos. Cada banho e conversas sobre o Ori foi essencial para mim.

À minha terapeuta, Katia Campos por todo o suporte emocional durante esses anos.

Aos professores do Departamento de Geografia, vocês ajudam a pensar um outro mundo possível.

Ao Pantanal, bioma rico em biodiversidade e paisagem, que reflete a cultura e história de toda uma região e segue resistindo diante de inúmeras tentativas da sua degradação.

Por fim, a todos que cruzaram meu caminho ao longo desses 23 anos de existência, vocês ajudaram a construir quem eu sou hoje.

Eu sou porque nós somos.

*“Temos de ter coragem de ser radicalmente
vivos. E não negociar sobrevivência.”*

Ailton Krenak

RESUMO

LIMA, Felipe Dawson Aurichi. **Dinâmica temporal das queimadas no Pantanal de Poconé: uma relação com os atributos do clima e o uso e cobertura do solo.** 2025. 105 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

O Pantanal é reconhecido como a maior planície alagável do mundo, sendo considerado Patrimônio Natural da Humanidade e Reserva da Biosfera pela Unesco, abrigando uma das áreas mais biodiversas do planeta. No entanto, esse ecossistema vem enfrentando o aumento da estação da seca, com baixos valores pluviométricos e o aumento da temperatura, que cria condições favoráveis para a ocorrência de queimadas, além da ação antrópica, que aparece como agente iniciador da queimada. O presente trabalho buscou analisar a dinâmica temporal dos focos de queimadas na sub-região pantaneira do Poconé, de 1999 a 2024, relacionando-os com os atributos do clima e as classes de uso e cobertura do solo. Para isso, foram obtidos dados de temperatura média do ar e precipitação na plataforma Climate Engine. Após a validação, foram escolhidos os produtos orbitais CHIRPS para a precipitação e ERA5 Ag para temperatura média do ar. Os dados de uso e cobertura foram exportados por meio de asset do Mapbiomas no Google Earth Engine e os dados de queimadas pelo BDqueimadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Após isso, foram calculadas as médias mensais e anuais de precipitação, da temperatura média e dos focos de queimadas, bem como a evolução das classes de uso e cobertura do solo. Também foram calculadas a quantidade de focos de queimadas por classe, além da correlação entre os focos de queimadas e precipitação, temperatura e classes de uso e ocupação do solo. O estudo demonstrou que os picos de focos de queimadas ocorrem no final do período da seca, entre agosto e outubro, coincidindo com precipitação baixa e altas temperaturas. O ano de 2020 apresentou os menores totais pluviométricos, com 780,57 mm, justificados por ondas de calor que levou a um pico de queimadas. A classe de formação campestre foi a que apresentou mais ocorrência de focos, com 7.189. A correlação entre os focos de queimadas e a precipitação média mensal é considerada fraca e negativa(-0,37), enquanto com a temperatura a correlação é moderada e positiva (0,49). Sugere-se a criação de mais unidades de conservação para proteção da biodiversidade e o fortalecimento da Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, com adoção do Plano de Ação com Prevenção, Preparação e Combate.

Palavras-chave: Focos de queimadas; Mudanças Climáticas; Precipitação; Temperatura do Ar; Desmatamento, Pantanal.

ABSTRACT

LIMA, Felipe Dawson Aurichi. **Temporal dynamics of fires in the Poconé Pantanal: a relationship with climate attributes and land use and cover.** 2025. 105 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

The Pantanal, recognized as the world's largest floodplain, is considered a World Natural Heritage Site and Biosphere Reserve by UNESCO. It is home to one of the most biodiverse areas on the planet. However, this ecosystem has been experiencing an increase in dry spells, with low rainfall and rising temperatures creating favorable conditions for fires. Human activity appears to be the initial trigger for these fires. This study analyzed the temporal dynamics of fire outbreaks in the Poconé sub-region of the Pantanal from 1999 to 2024, relating them to climate factors and land use and land cover. To achieve this, average air temperature and precipitation data were obtained from the Climate Engine platform. Following validation, CHIRPS orbital products were selected for precipitation and ERA5 Ag for average air temperature. Land use and land cover data were exported using the MapBiomass asset on Google Earth Engine, and fire data were obtained from BDQueimadas at the National Institute for Space Research (INPE). The monthly and annual averages of rainfall, temperature and fire outbreaks were then calculated, as well as the evolution of land use and land cover classes. The number of fire outbreaks per class was also calculated, as was the correlation between fire outbreaks and precipitation, temperature, and land use and land cover classes. The study showed that wildfires peak at the end of the dry season, between August and October, when there is low rainfall and high temperatures. The year 2020 had the lowest rainfall totals, with 780.57 mm, due to heat waves that led to a spike in fires. The grassland class had the highest number of outbreaks, with 7,189. The correlation between fire outbreaks and average monthly rainfall is weak and negative (-0.37), while with temperature the correlation is moderate and positive (0.53). It is suggested that more conservation units be created to protect biodiversity and that the National Integrated Fire Management Policy be strengthened, with the adoption of the Prevention, Preparedness and Combat Action Plan.

Keywords: Fires, climate change, precipitation, air temperature, deforestation, Pantanal.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. MAPA DA LOCALIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DAS SUB-REGIÕES DO PANTANAL.	21
FIGURA 2. TRÍADE DO FOGO.	24
FIGURA 3. ESQUEMA DE AUSÊNCIA DE ELEMENTOS PARA A TRÍADE DO FOGO.	25
FIGURA 4. NÚMERO DE ESPÉCIES ENCONTRADAS EM ÁREA DE CERRADO ANTES E DEPOIS DAS QUEIMADAS PRESCRITAS.	31
FIGURA 5. MAPA DA ANOMALIA DO DSR DE JUNHO DE 2024 SOBRE A REGIÃO DE ESTUDO EM RELAÇÃO À CLIMATOLOGIA DE JUNHO DE 1990-2020 (ERA5), MOSTRANDO PIXELS DE FOGO ATIVOS COMO PONTOS VERMELHOS.	33
FIGURA 6. CONDIÇÃO DE SECA PERSISTENTE DE JUNHO/2023 A JUNHO/2024.	34
FIGURA 7. MÉDIA ANUAL PARA JUNHO E JULHO DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DIÁRIAS E PRECIPITAÇÃO ACUMULADA SOBRE O PANTANAL BRASILEIRO DESDE O INÍCIO DA ERA DOS SATÉLITES.	35
FIGURA 8. FLUXOGRAMA METODOLÓGICO.	37
FIGURA 9. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.	38
FIGURA 10. CLIMOGRAMA DA ÁREA DE ESTUDO.	41
FIGURA 11. MAPA DE PRESSÕES DA BACIA DO ALTO PARAGUAI.	42
FIGURA 12. RIO PARAGUAI NA REGIÃO DA SERRA DO AMOLAR.	44
FIGURA 13. GRÁFICO DA MÉDIA MENSAL DE FOCOS DE QUEIMADAS.	52
FIGURA 14. GRÁFICO DA MÉDIA MENSAL DOS FOCOS DE QUEIMADAS E DA PRECIPITAÇÃO.	53
FIGURA 15. GRÁFICO DO BALANÇO HÍDRICO MENSAL DA SUB-REGIÃO DO POCONÉ/PANTANAL.	54
FIGURA 16. GRÁFICO DO PERÍODO DE DÉFICIT, EXCEDENTE, RETIRADA E REPOSIÇÃO HÍDRICA DA SUB-REGIÃO DO POCONÉ/PANTANAL.	55
FIGURA 17. GRÁFICO DA MÉDIA MENSAL DE FOCOS DE QUEIMADAS E DA TEMPERATURA MÉDIA.	57
FIGURA 18. GRÁFICO DA QUANTIDADE DE FOCOS DE QUEIMADAS POR ANO MAPEADOS DENTRO DA SUB-REGIÃO DO POCONÉ.	61
FIGURA 19. DESLOCAMENTO DE NUVENS DE FUMAÇA EM DIREÇÃO AO SUL DO BRASIL.	62
FIGURA 20. GRÁFICO DO TOTAL DE FOCOS DE QUEIMADAS E PRECIPITAÇÃO ACUMULADA DE 1999 A 2024.	63
FIGURA 21. GRÁFICO DO TOTAL DE FOCOS DE QUEIMADAS E DA MÉDIA ANUAL DA TEMPERATURA MÉDIA DE 1999 A 2024.	65
FIGURA 22. GRÁFICO DA EVOLUÇÃO DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DO SOLO QUE OCUPAM MAIOR ÁREA NA SUB-REGIÃO DO POCONÉ.	70
FIGURA 23. GRÁFICO DA EVOLUÇÃO DAS CLASSES DE USO E COBERTURA DO SOLO QUE OCUPAM MENOR ÁREA NA SUB-REGIÃO DO POCONÉ.	73
FIGURA 24. MAPA DA DE USO E COBERTURA DO SOLO DA SUB-REGIÃO DO POCONÉ PARA OS ANOS DE 2014, 2020 E 2021.	74
FIGURA 25. GRÁFICO DO TOTAL DE FOCOS DE QUEIMADAS ANUAL POR CLASSE DE USO E COBERTURA DO SOLO DE 1999 A 2024.	75
FIGURA 26. CORRELAÇÃO ANUAL ENTRE O NÚMERO DE FOCOS DE CALOR E A TEMPERATURA MÉDIA COM DESTAQUE EM VERMELHO (2020) PARA O OUTLIER.	78
FIGURA 27. CORRELAÇÃO ANUAL ENTRE O NÚMERO DE FOCOS DE CALOR E A PRECIPITAÇÃO ACUMULADO COM DESTAQUE PARA O OUTLIER (2020) EM VERMELHO.	79
FIGURA 28. CORRELAÇÃO ANUAL ENTRE O NÚMERO DE FOCOS DE CALOR E AS CLASSES DE USO E COBERTURA DO SOLO. ...	81

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DO VENTO SOBRE A VELOCIDADE RELATIVA DE AVANÇO DO FOGO.	29
TABELA 2. PORCENTAGEM DE FALHAS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA.	48
TABELA 3. CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON (R) E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2) ENTRE O NÚMERO DE FOCOS DE CALOR (MENSAL E ANUAL) E OS ATRIBUTOS DO CLIMA (MENSAL E ANUAL).	77
TABELA 4. CORRELAÇÃO LINEAR DE PEARSON (R) E COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2) ENTRE O NÚMERO DE FOCOS DE CALOR ANUAL E OS ATRIBUTOS DO CLIMA ANUAL SEM O ANO DE 2020.	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BAP	Bacia do Alto Paraguai
BCH	Balanço Hídrico Climatológico
BDQueimadas	Banco de Dados de Queimadas
CHIRPS	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MIF	Manejo Integrado do Fogo
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SRAG	Síndrome Respiratória Aguda Grave
MEC	Ministério da Educação e Cultura
USGS	United States Geological Survey
UCSB	Universidade da Califórnia, Santa Bárbara
USP	Universidade de São Paulo
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
2.	REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1	Pantanal: herança cultural.....	20
2.2	Focos de calor, queimadas e incêndios florestais: uma breve diferença	23
2.2.1	Tipos de propagação do fogo.....	27
2.3	Queimadas, relevo e os atributos do clima	27
2.4	A biodiversidade pantaneira e o fogo no contexto das mudanças climáticas	29
3.	METODOLOGIA.....	37
3.1	Área de Estudo	38
3.2	Dados de focos de queimadas e incêndios florestais	46
3.3	Coleta e validação dos dados de Precipitação e Temperatura do Ar.....	47
3.4	Processamento dos dados de Precipitação e Temperatura Média do Ar	49
3.5	Dados de Uso do Solo.....	50
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	51
4.1	Análise Mensal dos Focos de Queimadas da sub-região do Poconé.....	51
4.2	Análise histórica das Queimadas na sub-região do Poconé.....	59
4.3	Uso e cobertura do Solo	68
4.4	Correlações estatísticas - Precipitação, Temperatura e Uso e Cobertura do Solo.....	77
5.	CONCLUSÃO	83
	REFERÊNCIAS.....	85
	ANEXO A - Script utilizado para validar dados de produtos orbitais	98
	ANEXO B – Resultado das métricas estatísticas utilizadas para a validação dos dados mensais de precipitação dos satélites com dados da Estação Meteorológica Convencional de Cárceres.....	101
	ANEXO C - Resultado das métricas estatísticas utilizadas para a validação dos dados mensais de temperatura média do ar dos satélites com dados da Estação Meteorológica Convencional de Cárceres	102

ANEXO D – Balanço Hídrico Climatológico da sub-região do Poconé - Pantanal.....	103
ANEXO E – Script utilizado para exportar os dados de uso e cobertura do solo do Mapbioma no Google Earth Engine	103
ANEXO F - Script utilizado para agregar os focos de queimadas por uso e cobertura do solo	104
ANEXO G – Script utilizado para fazer a correlação entre focos de queimadas e uso e cobertura do solo	106
ANEXO H - Área por Classe de Uso e Cobertura do Solo de 1999 a 2023 da sub-região do Poconé-Pantanal	108

1. INTRODUÇÃO

O fogo é considerado como a primeira fonte de energia natural utilizada pelo homem para diferentes finalidades como religiosa, em que a chama representa a conexão entre o mundo material e espiritual; para comunicação, sendo adotado por diferentes povos para fazer sinais de fumaça e levar adiante mensagens; para caça e preparo de alimentos; E, por fim, para o preparo de terrenos para plantações (Oliveira, 2019).

O fogo no ambiente natural pode se manifestar de três formas: como foco de calor, queimada ou incêndio florestal. Focos de calor são detecções por satélite de pontos da superfície terrestre com altas temperaturas, geralmente acima de 47°C, indicando o início de queimadas ou incêndios florestais. As queimadas, por sua vez, são ações humanas intencionais, elas podem ser classificadas como controladas, prescritas e ilegais, essa última sendo utilizada para a conversão do uso e ocupação do solo, o que pode causar diversos impactos ambientais. Já os incêndios florestais, de origem natural ou antrópica, caracterizam-se pela propagação descontrolada do fogo, sendo agravados por condições climáticas adversas e resultando em severa degradação ambiental (Homobono e Palhares, 2024).

A ocorrência e a propagação de fogo no Brasil e no mundo não pode ser atribuído a um único fator, mas resulta de uma interação complexa entre diversos fatores que incluem condições climáticas favoráveis, disponibilidade de material combustível (vegetação) e fontes humanas de ignição. As queimadas aparecem neste contexto, onde as mudanças climáticas, além de intensificarem e tornarem as condições mais favoráveis para a ocorrência de fogo, também estão contribuindo para o aumento do período de estação da seca em muitos biomas tropicais, como é o caso do Pantanal (Libonati, 2024).

No Brasil, os focos de queimadas de 2024 registrados durante os meses de julho a setembro, por exemplo, resultaram em uma cobertura de fumaça que atingiu cerca de 60% do território brasileiro, estendendo-se de norte a sul do país. Para um país de dimensões continentais, isso representa uma extensão de quase 5 milhões de quilômetros quadrados encobertos por fuligem, segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Esse cenário provocou, mesmo na ausência de nuvens em diversas localidades, a diminuição da claridade do céu e a coloração avermelhada do sol.

Esse fenômeno não apenas impactou nas diferentes paisagens do Brasil com a impossibilidade de visualizá-las e contemplá-las na sua complexidade, como também trouxe sérios efeitos à saúde humana. Apenas na cidade de São Paulo, 76 mortes foram registradas decorrentes da Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG) durante agosto até a primeira semana de setembro, além da notificação de 1.200 casos, segundo o Conselho Federal de Farmácia (2024)¹. Além dos efeitos sobre a saúde e a paisagem, as queimadas também tiveram um grande impacto nos diferentes ecossistemas. Em 2024, 98% da área queimada foi em áreas naturais, atingindo principalmente as formações campestres, com destaque para as formações savânicas, que representaram 25% do total (Mapbiomas, 2024).

Embora os efeitos das queimadas tenham sido sentidos em diversas regiões do país, determinados biomas apresentam vulnerabilidades específicas à dinâmica do fogo que podem potencializar seus impactos em um contexto de mudanças climáticas. Dentro deste contexto, destaca-se o Pantanal como um das áreas mais atingidas pelo regime do fogo intenso, devido suas características ecológicas e hidrológicas singulares, também potencializado pelas ações humanas, que nos últimos anos vêm enfrentando um aumento no período de seca (Libonati, 2024).

Situado na planície do Alto Paraguai, o Pantanal é reconhecido como a maior área alagável do mundo, sendo considerado Patrimônio Natural da Humanidade e Reserva da Biosfera pela Unesco. O bioma abriga um dos ecossistemas mais ricos em biodiversidade do planeta, com registros de cerca de 3.500 espécies de plantas, 325 peixes, 53 anfíbios, 98 répteis, 656 aves e 159 mamíferos².

Caracterizado por um mosaico complexo de paisagens, o bioma apresenta áreas permanentemente, periodicamente ou raramente inundadas, assim como áreas que permanecem livres de inundação, dependendo do regime hidrológico, da variação topográfica e do solo. Possui fitofisionomias que incluem florestas semidecíduais, decíduais, savanas, campos e pastagens (Fernandes, Signor e Penha, 2010).

¹ CONSELHO FEDERAL DE FARMÁCIA (CFF). Risco para a saúde: período seco pode levar à síndrome respiratória aguda grave. Disponível em: <https://site.cff.org.br/noticia/Noticias-gerais/10/09/2024/risco-para-a-saude-periodo-seco-pode-levar-a-sindrome-respiratoria-aguda-grave>. Acesso em: 03 ago. 2024.

² PROGRAMA REM MATO GROSSO. Dia do Pantanal: conheça 5 curiosidades sobre o maior berço da biodiversidade brasileira. Disponível em: <https://rem.sema.mt.gov.br/imprensa/dia-do-pantanal-conheca-5-curiosidades-sobre-o-maior-berco-da-biodiversidade-brasileira/>. Acesso em: 23 jan. 2025.

Seu ecossistema é profundamente influenciado pelo pulso de inundação, responsável por determinar os principais processos bióticos e abióticos da planície. O ciclo de cheia e da seca molda a paisagem e a biodiversidade, influenciando nas dinâmicas da flora e da fauna. Esses processos provocam, por exemplo, movimentações de animais na planície e a adaptação da vegetação aos regimes de fogo, cheia e seca (Fernandes, Signor e Penha, 2010).

Nas últimas décadas, contudo, observou-se um aumento expressivo na incidência de incêndios e queimadas no Pantanal. Em 2020, o fogo consumiu 27% do bioma. Já em 2024, 468.547 ha foram queimados no Pantanal (Mapbiomas, 2024). Além disso, o bioma vem enfrentando um regime de seca persistente, de intensidade moderada a extrema, o que favorece tanto a ocorrência quanto a propagação dos incêndios, configurando-se como uma das maiores ameaças à biodiversidade do Pantanal.

Diante deste contexto, a identificação dos focos de queimadas no Pantanal, utilizando séries temporais, torna-se imprescindível. O uso do sensoriamento remoto e do geoprocessamento permite dimensionar as áreas atingidas por esses focos, criar índices de vulnerabilidade e fomentar novos trabalhos científicos que consideram todos os aspectos que influenciam o crescente número de incêndios. Esse esforço visa não apenas reduzir sua ocorrência, mas mitigar os impactos socioambientais decorrentes, como a perda da biomassa, alterações nos ciclos biogeoquímicos e hidrológicos e risco à saúde humana.

A escolha da Sub-região do Poconé, no norte do Pantanal, baseou-se no trabalho de Silva (2021), que realizou uma análise espaço-temporal das queimadas para todo o Bioma entre 2010 e 2020. A pesquisa concluiu que essa região foi uma das mais afetadas pelas queimadas. Diante deste contexto, o presente estudo propõe responder à seguinte problemática:

Qual é a correlação dos focos de queimadas no pantanal de Poconé com os atributos do clima e com os tipos de uso e cobertura do solo?

Assim, este trabalho tem como objetivo central analisar a dinâmica temporal dos focos de queimadas na sub-região pantaneira do Poconé, relacionando-os com os atributos do clima e as classes de uso e cobertura do solo. Especificamente, buscou-se mensurar a quantidade de focos de queimadas de 1999 a 2024, destacando o ano de maior concentração de focos e investigando os fenômenos que contribuíram para esse aumento. Além disso, o estudo envolveu

levantar e processar dados climáticos de temperatura e precipitação da sub-região, examinar o papel das mudanças climáticas na intensificação do fogo; elaborar o Balanço Hídrico Climatológico da região, entender a implicação do período de seca para a “*fire season*”, levantar os dados de área de casa uso e cobertura do solo, analisar a distribuição temporal das classes com ocorrência de fogo dentro da sub-região do Poconé, identificando as mais suscetíveis ao fogo e, por fim, realizar Correlação de Pearson entre as variáveis.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Pantanal: herança cultural

A paisagem, segundo Ab'Saber (1977), pode ser compreendida como uma herança de processos fisiográficos e biológicos, e um patrimônio coletivo dos povos que historicamente a herdaram como território de atuação de suas comunidades. As sociedades, por esse motivo, possuem responsabilidades permanentes de proteção desses espaços territoriais compostos por paisagens e ecologias.

É uma tarefa extremamente difícil falar de paisagem sem colocar em questão a proteção do que ela significa para essas comunidades, em termos culturais, e do funcionamento de ecossistemas naturais, em termos fisiográficos, uma vez que as populações humanas herdaram esses espaços territoriais e por eles são responsáveis (Ab'Saber, 1977).

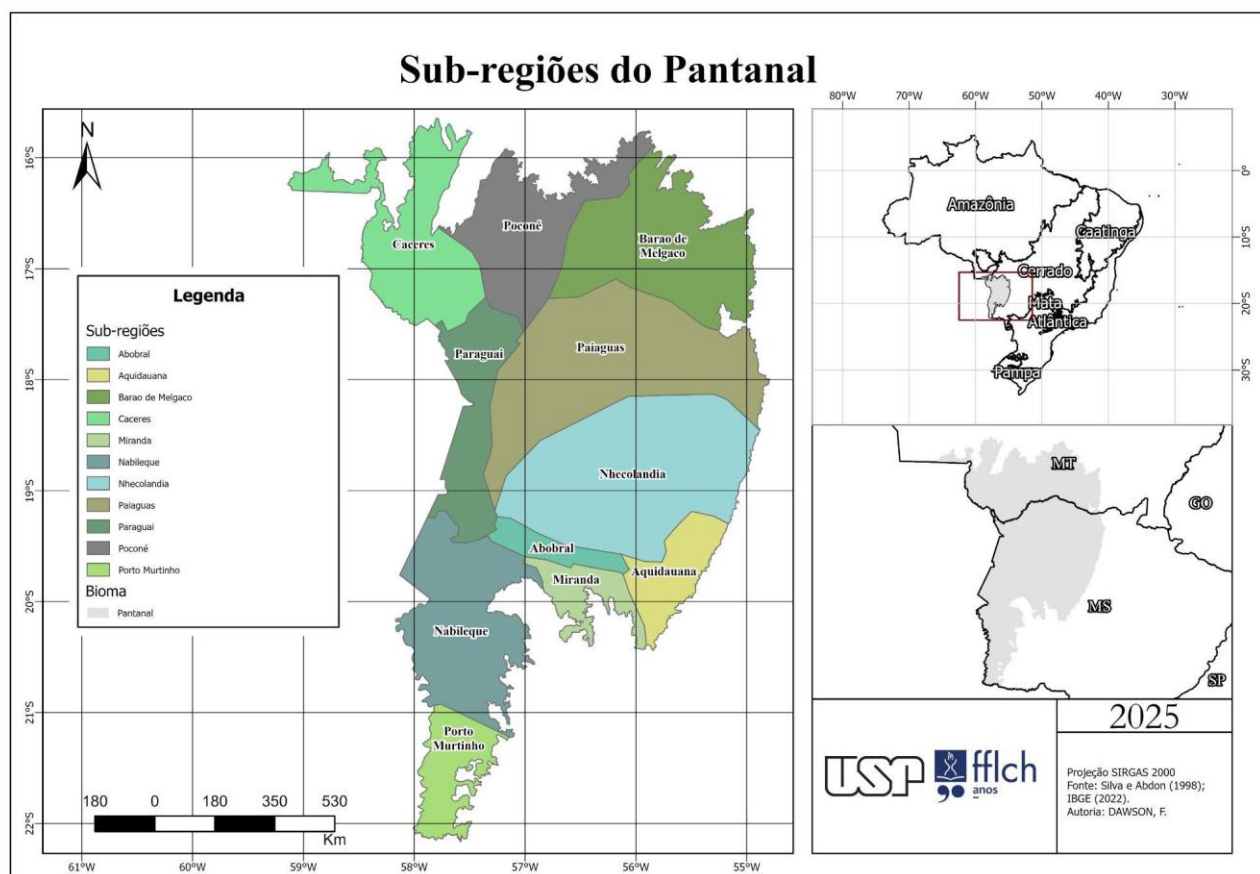
O Pantanal, sendo um ecossistema complexo composto por um mosaico de paisagens, pode ser compreendido, em poucas palavras, como a maior planície alagável contínua e a maior área úmida de água doce do mundo, com, aproximadamente, 150.355 km² (IBGE, 2019) localizados somente no Brasil. No contexto de outros países latino-americanos, o Pantanal também ocorre em territórios da Bolívia e do Paraguai, sendo denominado como “Chaco Boliviano”. Já no contexto regional do Brasil, o Pantanal se localiza no centro-oeste, tendo sua área compartilhada entre dois estados: Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

O bioma está inserido no contexto hidrográfico da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai, entre as coordenadas geográficas 15° 30' e 22° 30' Sul e 54° 45' e 58° 30' Oeste (Silva e Abdon, 1998). O Pantanal é um dos biomas brasileiros que refletem essas heranças naturais paisagísticas do espaço brasileiro, como comentado por Ab'Saber (1977), mostrando certa importância ecológica e cultural que traduzem os múltiplos brasis encontrados no território nacional.

Se afirmam que existem brasis dentro do Brasil, seria errado considerar que exista somente um Pantanal, homogêneo quanto aos seus aspectos ecológicos, fitogeográficos, paisagísticos e culturais. De acordo com estudos produzidos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Pantanal, foram identificados 11 pantanais (Figura 1), cada um com características próprias de solo, vegetação e clima: Cáceres, Poconé, Barão de Melgaço, Paraguai, Paiaguás, Nhecolândia, Abobral, Aquidauana, Miranda, Nabileque e Porto Murtinho (Silva; Abdon, 1998). Os critérios empregados por Silva e Abdon (1998) para a classificação das

sub-regiões pantaneiras foram o regime de inundação, o relevo, o solo e a vegetação. Foram analisados estudos anteriores já realizados na bacia hidrográfica, e material cartográfico disponível em escala compatível ao estudo, como mapas municipais, cartas topográficas e imagens de satélite Landsat 5tm.

Figura 1. Mapa da localização e delimitação das sub-regiões do Pantanal.



Fonte: Silva e Abdon (1998). Elaboração própria.

O Pantanal é considerado, do ponto de vista fitogeográfico e geomorfológico, um complexo de ecossistemas (Ecótono) pois é uma área de encontro de outros biomas. Algumas organizações não-governamentais e governamentais como a SOS Pantanal, por exemplo, citam que dentro da área do Pantanal é possível encontrar 5 biomas: Cerrado, Chaco, Amazônia, Mata Atlântica e Bosque Seco Chiquitano³. No entanto, Ab'Saber (1988), afirma que o Pantanal é uma

³ O Bosque Seco Chiquitano é uma Floresta Tropical Seca localizada entre Paraguai, Bolívia e Brasil, com poucas áreas ainda restante neste último. Essas florestas se encontram em regiões com uma sazonalidade bem demarcada: verões úmidos e invernos secos, chegando a apresentar um déficit hídrico anual de 500 mm, contra uma precipitação anual de 400 mm (One Earth). Uma das características é a perda das folhas durante a estação da seca para conservar

faixa de transição entre os domínios do Cerrado e o domínio do Chaco Central, além de conter componentes bióticos do Nordeste Seco e da região periamazônica. Com exceção das caatingas do Nordeste Seco, em certo momento do tempo geológico, os domínios dos cerrados, do Chaco e da periferia da Amazônia disputaram competitivamente os espaços anteriormente dominados por padrões de vegetação filiados à macroexpansão dos climas secos.

O encontro desses biomas acarreta uma própria particularidade do Pantanal pois implica a existência de áreas com valores intermediários para diversos parâmetros ambientais, gerando, por um lado, o aumento de uma biodiversidade, dado o fato que apresentam fauna e flora desses biomas, mas que, por outro, representam uma área de isolamento com ecossistemas vizinhos (Lima e Faria, 2021).

No que diz respeito aos processos antigos que contribuíram para a formação da paisagem do Pantanal e seu ecossistema tal como se conhecem atualmente, destacam-se os fenômenos tectônicos de orogênese andina e os processos de esvaziamento erosivo ocorridos na região durante o soerguimento pós-cretáceo (Ab'Saber, 1988). Esses processos foram responsáveis pela gênese do compartimento topográfico, há dezenas de milhões de anos.

Inicialmente, Ruella (1952) definiu a depressão pantaneira como uma “boutonnière”, isto é, um relevo estrutural com inversão topográfica envolvendo uma estrutura de vasta abóbada de escudo, formando domos que forneceram detritos para as bacias sedimentares adjacentes, como para o Grupo Bauru (Alto Paraná) e para a bacia detrítica dos Parecís. Com a elevação da plataforma brasileira, ocorreram processos de desestabilização tectônica, acontecendo dobramentos e falhamentos, com a superfície passando por processos de esvaziamento erosivo que originou a depressão e a planície pantaneira. Portanto, as cotas altimétricas da planície variam entre 80 e 200 m, aproximadamente, com uma grande variedade de ambientes deposicionais mais recentes, lacustres e fluviais. O Pantanal possui uma declividade de 2,5 a 5,0 cm.km-1 no sentido Norte-Sul (Cadavid Garcia, 1984).

Quanto aos aspectos climáticos do Pantanal, é correto dizer que eles são influenciados pela localização geográfica tropical, do relevo (fatores orográficos) e de eventuais massas de ar frio do sul do país (Cadavid Garcia, 1984). O Pantanal, na sua totalidade, se localiza em uma zona climática de intensa sazonalidade, com uma estação de seca entre julho e outubro e uma

água, deixando que a radiação solar emitida ajude na formação de um sub-bosque (FCBC; TNC, 2021).

estação chuvosa, que vai de novembro a março. A média anual pluviométrica é de, aproximadamente, 1000 mm. Além disso, durante as estações do ano, o bioma está sujeito ao Pulso monomodal de Inundação que causa o transbordamento dos seus principais rios no final da fase chuvosa, isto é, o alagamento da planície pantaneira e, durante a fase de seca, que corresponde a fase terrestre do pulso, a biomassa vegetal acumulada no período de chuvas, após a vazão, pode ficar disponível para queima, caso haja ignição. Entretanto, há diferenças regionais apresentadas por Cadavid Garcia (1984). Por exemplo, no norte do Pantanal, na sub-região de Cáceres, as séries pluviométricas estimaram que 82,4% da chuva média anual de 1.262 ± 46 mm se concentra no período de outubro a março, enquanto no Sul, na sub-região de Porto Murtinho, se estimou que 68% da precipitação média 1.102 ± 89 mm se concentra no mesmo período.

Porém, nos últimos anos, em decorrência das mudanças climáticas, percebe-se que o Pantanal vem sendo impactado de forma significativa, principalmente no que se refere ao pulso de inundação, uma vez que há períodos de secas mais prolongadas (como as que ocorreram de 2019 a 2021) com temperaturas extremas de até 6°C acima das médias históricas, que reduz, dessa forma, os níveis de água da maior planície alagada e deixando biodisponível uma grande quantidade biomassa seca (Silva, 2024).

2.2 Focos de calor, queimadas e incêndios florestais: uma breve diferença

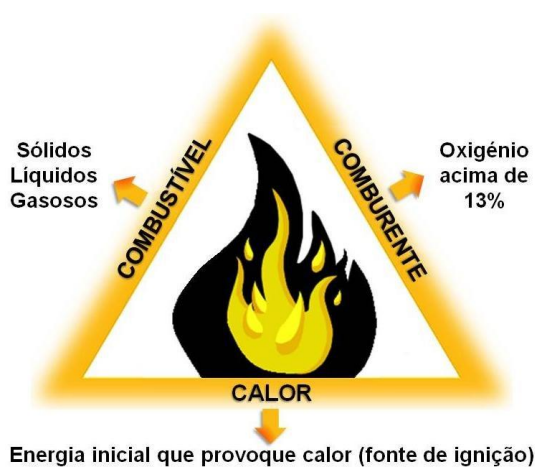
O fogo, na história, é considerado como a primeira fonte de energia natural utilizada pelo homem (Oliveira, 2019). Essa utilização se deu, inicialmente, na era paleolítica, entre um e dois milhões de anos atrás, pelo homem da denominada “pré-história”, que utilizavam do fogo produzido a partir de raios ou vulcões para proteção e alimentação, com a cocção de algumas porções de alimento. Ao longo da história, há 300 mil anos atrás, o Homo Erectus descobriu que ao realizar a fricção entre duas pedras, e adicionar uma faísca em lugar de fácil combustão, pegaria fogo normalmente, sem a necessidade da espera por fenômenos naturais.

A longo do tempo, o homem passou a adotar o fogo para diferentes fins: religiosos, em que a chama representa a conexão entre o mundo material e espiritual; comunicação, sendo adotado por diferentes povos para fazer sinais de fumaça e levar adiante mensagens; para caça e preparo de alimentos; E, por fim, para o preparo de terrenos para plantações (Oliveira, 2019). Entende-se a existência da relação do homem com o fogo, principalmente quando este sempre

esteve presente há milhares de anos, sendo utilizado por diferentes povos indígenas e comunidades tradicionais não só no Brasil como no mundo todo⁴.

O fogo seria um processo físico complexo resultante da combinação de 3 elementos essenciais: o comburente (geralmente, oxigênio), o combustível e o calor. Esses elementos estão relacionados e são dependentes um dos outros, se retroalimentando e formando o que seria a tríade do fogo, conforme **Figura 2**:

Figura 2. Tríade do fogo.

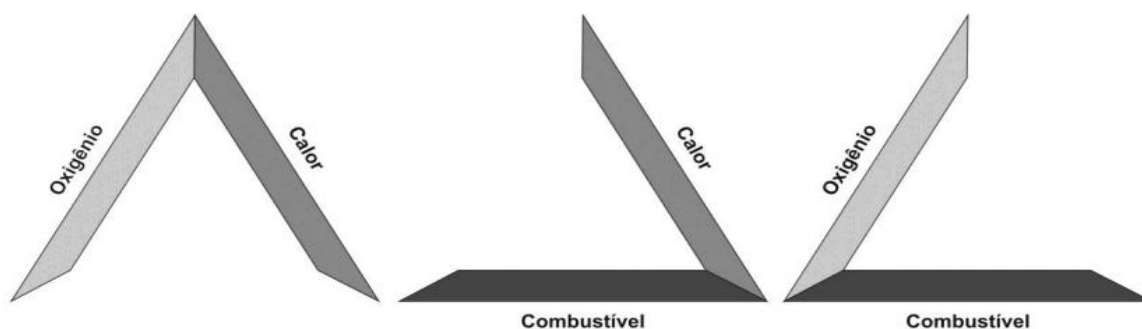


Fonte: Meneses (2013).

Após o início da reação de combustão, a energia liberada sustenta a reação, permitindo sua continuidade até que um dos elementos necessários - combustível, oxigênio ou calor - acabe. Isso significa a criação de um sistema que se retroalimenta, em que a ausência de um dos elementos leva à impossibilidade da combustão, de acordo com a **Figura 3**. Neste cenário, Schumacher (2018) diz que, no combate ao fogo, são utilizados abafadores para promover a redução do oxigênio, remoção da matéria orgânica e criação de aceiros.

⁴ FIDELIS, A. T. **O fogo pode ser um importante aliado na conservação do Cerrado**. Jornal da Unesp, 29 nov. 2022. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2022/11/29/o-fogo-pode-ser-um-importante-aliado-na-conservacao-do-cerrado/>. Acesso em: 4 jun. 2025.

Figura 3. Esquema de ausência de elementos para a tríade do fogo.

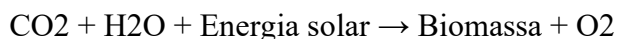


Fonte: Schumacher (2018).

O processo de combustão, ou fogo, é contrário ao da fotossíntese. Enquanto a fotossíntese é o processo de transformação, a partir da incidência da luz, das substâncias inorgânicas (água e gás carbônico) em glicose e oxigênio, a combustão é o processo de liberação de energia na forma de calor com quebra de ligações químicas de compostos orgânicos e da liberação de gás carbônico (Schumacher, 2020), conforme indicado na **Equação 1**:

Equação 1. Processos de Fotossíntese e Combustão

Fotossíntese



Combustão



A utilização do fogo, quando bem manejada, pode impedir a ocorrência de grandes incêndios florestais que provocam graves consequências aos ecossistemas e à biodiversidade. Neste sentido é que surge o Manejo Integrado do Fogo (MIF) como um

Modelo de planejamento e gestão que associa aspectos ecológicos, culturais, socioeconômicos e técnicos na execução, na integração, no monitoramento, na avaliação e na adaptação de ações relacionadas com o uso de queimas prescritas e controladas e a prevenção e o combate aos incêndios florestais, com vistas à redução de emissões de material particulado e gases de efeito estufa, à conservação da biodiversidade e à redução da severidade dos incêndios florestais, respeitado o uso tradicional e adaptativo do fogo (Brasil, 2018, p.1).

Por outro lado, o fogo pode ser compreendido como um agente de desordem no meio natural que, ocorrendo de forma natural ou antrópica, pode atuar como um destruidor de ecossistemas, tendo efeitos na perda de vegetação nativa, na degradação do solo e na emissão de grandes quantidades de gases de efeito estufa na atmosfera (Homobono; Palhares, 2024).

O fogo pode ser classificado sob 3 formas: foco de calor, queimadas ou incêndios florestais. O primeiro caso caracteriza-se como uma forma de representação da ocorrência de fogo detectada pelos sistemas de monitoramento por satélite, que captam a energia liberada e indicam áreas com temperaturas elevadas, geralmente acima de 47°C. Essas áreas são frequentemente associadas como indicadores de início ou propagação de queimadas ou incêndios florestais (Homobono; Palhares, 2024).

No segundo caso, as queimadas são originadas por ações humanas intencionais, tendo como finalidade a demarcação de uma área ou território, a limpeza da área para renovação da pastagem para a agricultura extensiva, conversão no uso do solo e/ou aceleração de processos físico-químicos em vegetação. Geralmente estão associadas com técnicas controladas. Esses eventos resultam muitos impactos, dentre os quais a perda da biomassa, alterações nos ciclos biogeoquímicos e hidrológicos e risco à saúde humana (Homobono; Palhares, 2024).

Por fim, seguindo os mesmos autores, Homobono e Palhares (2024) afirmam que os incêndios florestais podem ter origem antrópica ou naturais e estão associados à propagação descontrolada do fogo em qualquer tipo de vegetação. Podem ocorrer em áreas protegidas ou em outras regiões, sempre com a consequência de degradação da qualidade do ar, uma vez que esses incêndios podem ser intensificados por condições climáticas adversas que, após o período de seca, junto à temperatura elevada, ventos e baixa umidade relativa do ar, favorecem a propagação do fogo.

De forma geral, algumas consequências observadas pelos grandes incêndios florestais e das queimadas são: o impacto da qualidade ar, não só no entorno mas a níveis regionais e supranacionais, originada da grande quantidade de cinzas⁵; perda da biodiversidade, ameaçando espécies nativas de fauna e flora; perda da biomassa; redução da camada vegetal; alteração do clima regional; degradação do solo; e o aumento de casos de doenças que podem abranger o desde crises alérgicas respiratórias até o câncer, pois a fumaça das queimadas ou incêndios florestais é geralmente compostas por materiais particulados (MP), monóxido de carbono (CO),

⁵ Apesar das queimadas estarem concentradas, durante o mês de agosto e setembro, nos biomas da Amazônia e do Cerrado, as fumaças atingiram cerca de 60% do território nacional. [amzhttps://oglobo.globo.com/brasil/noticia/2024/09/11/sao-paulo-tem-a-pior-qualidade-do-ar-do-mundo-pelo-terceiro-dia-seguido.ghtml](https://oglobo.globo.com/brasil/noticia/2024/09/11/sao-paulo-tem-a-pior-qualidade-do-ar-do-mundo-pelo-terceiro-dia-seguido.ghtml)

óxidos de nitrogênio (NOx) e compostos orgânicos não metânicos (CONM) (Anderson; Silva; Melo, 2023).

2.2.1 Tipos de propagação do fogo

Para que a propagação de fogo ocorra de maneira contínua no espaço, seja de forma subterrânea, superficial ou pelas copas, é necessário a presença dos 3 elementos citados anteriormente: combustão, comburente e calor. Além disso, é necessário que existam dois sistemas de temperaturas diferentes até que atinjam o equilíbrio térmico, viabilizando a transferência de calor de um corpo quente para um corpo mais frio até que ambos estejam na mesma temperatura.

Esse processo de transferência ocorre por meio de três modos: condução, convecção e irradiação. A propagação de calor por condução se dá na transferência da energia térmica através do contato direto entre as partículas de um corpo sólido aquecido até partículas que recebem essa energia estejam na mesma temperatura. Na convecção, a propagação de calor ocorre através do transporte da matéria pelo movimento ascendente do ar quente, dando origem às chamadas correntes de convecção e levando as chamas do fogo até as copas das árvores. Por fim, a radiação é a transferência de calor por ondas eletromagnéticas, atravessando as moléculas de ar, mas sem movimentá-las. Segundo Schumacher (2018), esta última é a mais importante forma de propagação de calor em incêndios florestais.

2.3 Queimadas, relevo e os atributos do clima

A ocorrência e a propagação de fogo em muitas regiões do Brasil estão fortemente associadas às condições climáticas e o relevo do local, bem como o material combustível e o tipo de vegetação. Além disso, o fator humano tem se tornado central para o início das queimadas nos últimos anos, seja para conversão do uso do solo ou incêndios ocasionados de forma “acidental”, como por bituca de cigarro (Soriano *et al.*, 2020).

Os atributos do clima e o relevo ditam o comportamento do fogo, sendo responsáveis pela velocidade e a intensidade que ele se propaga (Soriano *et al.*, 2020). Por sua vez, o relevo influencia nas condições meteorológicas de uma região, afetando elementos como a direção do vento e a temperatura do ar, que tende a diminuir à medida que a altitude aumenta. Além disso, em algumas regiões, o relevo é um fator importante que condiciona o tipo de vegetação presente.

Em altitudes mais elevadas, o que predomina é uma vegetação herbácea e arbustiva que, por possuírem uma folhagem menor, tem sua capacidade de retenção de água diminuída, visto que a evapotranspiração é realizada pela folhagem. Essas características tornam a vegetação potencial combustível, contribuindo para a propagação do fogo (Torres, 2006).

O número crescente de incêndios e queimadas observados nos últimos anos está fortemente associado a temperaturas recordes, induzidas por condições de seca severa e prolongada (Libonati *et al.*, 2022). Um clima quente e com baixa umidade favorece o processo de evapotranspiração da água presente na vegetação e no solo, aumentando a inflamabilidade desses sistemas, principalmente do fogo subterrâneo, muito presente no bioma do Pantanal, pois quanto maior a temperatura do ar, mais provável uma fonte de ignição resultar em queimada (Vasconcelos *et al.*, 2015).

Exemplos marcantes como os mega incêndios ocorridos na Austrália em 2019/2020 e aqueles na Califórnia em 2020 e, agora, em 2025, apresenta temperaturas acima da média nos meses que antecederam os incêndios. Essas condições, de forma geral, resultaram em recordes diários de temperatura, reforçando o papel das temperaturas elevadas na intensificação desses fenômenos, de acordo com Libonati *et al.* (2022).

Outro elemento essencial para a propagação do fogo é a dinâmica eólica de determinada região. Indiscutível é o papel do vento para a propagação das queimadas, sendo um dos principais elementos que contribuíram para os mega incêndios citados anteriormente. Os ventos fornecem oxigênio que intensifica o processo de combustão e direcionam as queimadas para outros lugares, levando brasas da vegetação em chamas e, assim, retroalimentando o próprio sistema. Para além disso, ventos quentes e secos permitem extrair mais umidade da vegetação, tornando-a um material combustível essencial para a propagação. Outro fator da dinâmica eólica é a velocidade, que possibilita que as chamas aumentem e que os incêndios se espalhem rapidamente (Torres, 2006).

O vento promove o pré-aquecimento do material-combustível à frente do fogo, renovando o oxigênio do ambiente. De acordo com Schumacher (2018), dentre as variáveis meteorológicas, o vento é o mais instável e menos previsível em uma queimada. Através das convecções de ar, a direção do vento pode ser alterada na área queimada, o que não é incomum após a atuação dos

brigadistas. A **Tabela 1** demonstra a velocidade do avanço do fogo em relação à velocidade do vento:

Tabela 1. Influência da velocidade do vento sobre a velocidade relativa de avanço do fogo.

Velocidade do vento (km⁻¹)	Fator de velocidade de avanço
8 – 16	1
17 – 25	2
26 – 32	2,8
33 – 40	3,2
41 - 48	3,4

Fonte: Schumacher (2018)

Nota-se que, quanto maior a velocidade do vento, mais rápida é a propagação do fogo. Em síntese, se o vento está rápido, o fogo também estará. No Pantanal, os ventos quentes do Norte em direção ao sul não apenas direcionam as chamas nessa região, mas também transportam fumaça. Por esse motivo, há o espalhamento da fumaça em diversas localidades nas regiões sul e sudeste do Brasil.

2.4 A biodiversidade pantaneira e o fogo no contexto das mudanças climáticas

O fogo no bioma Pantanal pode ser compreendido sob diversas perspectivas, mas sua ocorrência não pode ser atribuída a um único elemento. Os incêndios no Pantanal não podem ser considerados isoladamente, mas sim como produto de interação complexa entre múltiplos elementos. No entanto, o fator antrópico tem se consolidado, nos últimos anos, como um dos principais agentes desencadeadores dos incêndios.

Como destaca a professora Renata Libonati:

O surto de incêndios de 2020 no Pantanal (P20F) não pode ser atribuído a um único fator, mas resulta de uma interação complexa entre diversos fatores contribuintes, incluindo condições climáticas, disponibilidade de combustível (vegetação) e fontes humanas de ignição (tanto acidentais quanto intencionais) [2]. Um estudo recente mostrou que incêndios causados por ações humanas exacerbaram os efeitos da seca nos ecossistemas naturais durante a temporada de incêndios de 2020, com uma maior área queimada (BA) principalmente em áreas naturais (Libonati *et al.*, 2022, p. 9).

Para entendermos as dinâmicas do fogo na região é imprescindível destacar que, assim como o cerrado, o Pantanal também precisa do fogo, com registros históricos que evidenciam sua ocorrência há milhares de anos. No Pantanal existem áreas que possuem um histórico de fogo, com dados de 12 mil anos atrás, muito antes dos sítios arqueológicos, que datam de 8 mil anos (Damasceno Junior *et al.*, 2020).

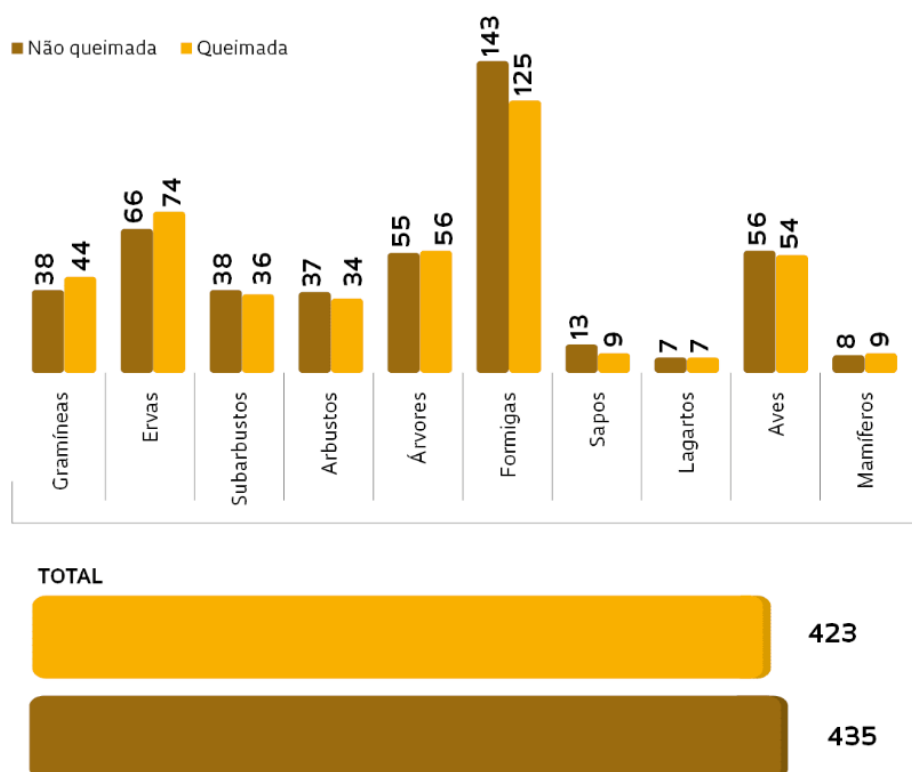
De forma geral, o bioma pode ser considerado como uma faixa de transição entre os domínios do Cerrado e o domínio do Chaco Central, além de conter componentes bióticos do Nordeste Seco e da região periamazônica. Ele apresenta, sobretudo, um mosaico complexo de vegetação resultante das características geográficas, climáticas e ecológicas da região.

O cerrado, enquanto formação vegetal, é a fitofisionomia mais presente no Pantanal, cobrindo 36% da sua superfície. Entre as fitofisionomias comumente manejadas com a queima controlada são aquelas que ocorrem nas áreas de campo limpo e de campo cerrado (Soriano *et al.*, 2020).

Assim como no bioma Cerrado, parte da vegetação do Pantanal, principalmente onde há vegetação savânica, é relativamente resistente ao fogo. O armazenamento de sementes no solo, conhecido como banco de sementes, é uma estratégia reprodutiva das plantas, e o fogo afetaria a quebra das dormências dessas sementes, favorecendo a germinação e o surgimento de outras espécies nativas. Mesmo onde o fogo é mais intenso, é esperado que a vegetação se regenere, seja por meio do banco de sementes ou, em um período mais longo, por dispersão de propágulos a partir de outras áreas circundantes (Damasceno Junior *et al.*, 2020).

De acordo com o estudo realizado por Durigan *et al.* (2020), as queimadas podem ser benéficas para as formações vegetacionais de cerrado da região. Em pesquisas conduzidas em um reserva ecológica, as queimadas prescritas para estudos científicos produziram resultados mais positivos, especialmente sobre espécies de gramíneas e ervas. O estudo demonstrou que há um aumento na diversidade de espécies vegetais após a passagem do fogo, evidenciando que a queimada abriu passagem para o aumento da biodiversidade florística da região estudada, ou seja, o fogo agiu como um instrumento de renovação das espécies de flora, conforme é possível observar na **Figura 4**:

Figura 4. Número de espécies encontradas em área de cerrado antes e depois das queimadas prescritas.



Fonte: Durigan *et al.* (2020).

Se referindo à fauna, o estudo (Durigan *et al.*, 2020) conclui que o efeito das queimadas prescritas não teve efeitos significativos sobre diferentes espécies de mamíferos, aves e formigas no período pós-incêndio. No entanto, o impacto sobre a população de anfíbios foi expressivo, resultando em uma redução na diversidade de espécies após o fogo.

Esses resultados evidenciam a fragilidade ambiental desse ecossistema no que se refere à fauna, uma vez que, além da mudança no padrão de inundação, as queimadas ocasionam a perda da biodiversidade de animais. Os incêndios contribuem diretamente para a perda de habitats e para a redução das populações de várias espécies de mamíferos, de aves, de anfíbios e de peixes.

Um exemplo é a cobra d'água endêmica do Pantanal, a *Helicops boitata*, que foi registrada por pesquisadores somente na contagem de carcaça de animais mortos em 2020, quando o bioma registrou o pior incêndio desde o início do monitoramento. Atualmente, essa serpente está ameaçada de extinção em decorrência dos megaincêndios que vêm ocorrendo no Pantanal, tornando-se um exemplo, junto com a onça-pintada, dos impactos severos das queimadas sobre a Fauna (Valencia-Zuleta *et al.*, 2024).

Portanto, os incêndios no bioma pantaneiro têm sido um dos principais causadores do declínio de espécies de fauna na região, especialmente quando analisado as populações de répteis e anfíbios. O impacto das queimadas é alarmante, visto que, em termos quantitativos, o fogo matou cerca de 17 milhões de animais vertebrados durante as queimadas de 2020⁶.

Apesar dos registros de fogo há mais de 12 mil anos e do fato do Pantanal possuir um regime de fogo natural, permitindo um certo nível de adaptação, o ecossistema não apresenta resistência suficiente para um regime de fogo e de seca tão intenso como nos últimos anos (Valencia-Zuleta *et al.*, 2024). Além disso, os atrasos na estação chuvosa afetam o funcionamento das zonas úmidas e a sobrevivência das populações de diferentes espécies de fauna que depende do ambiente aquático para sua manutenção.

Entretanto, eventos de fogo da magnitude dos que ocorrem no ano de 2020, quando 27% do bioma foi queimado, não são normais. No contexto de mudanças climáticas, há uma expectativa crescente de que as condições extremas se tornem cada vez mais frequentes, favorecendo novos eventos em um período curto.

Silva (2024) destaca as mudanças climáticas como um conjunto de alterações persistentes e significativas nos padrões climáticos da terra, sendo parte da história natural do planeta. No entanto, devido às altas taxas de emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) associadas à queima de combustíveis fósseis para a manutenção das atividades antrópicas desde a revolução industrial, essas atividades passaram a ter uma certa relevância no ciclo climático.

Segundo o mesmo autor (Silva, 2024), as mudanças climáticas se manifestam de diversas formas na atualidade, desde o aumento das temperaturas, diminuição da precipitação, aumento da intensidade de eventos climáticos extremos, derretimento das geleiras com o consequente aumento do nível do mar. Ademais, também interferem na alteração do funcionamento dos ecossistemas com risco à segurança alimentar e impacto na biodiversidade, incluindo a perda de habitats e extinção de algumas espécies.

No contexto do Pantanal, estudos vêm sendo conduzidos por pesquisadores de diversas áreas do conhecimento para entender quais são os efeitos das mudanças climáticas sobre o bioma.

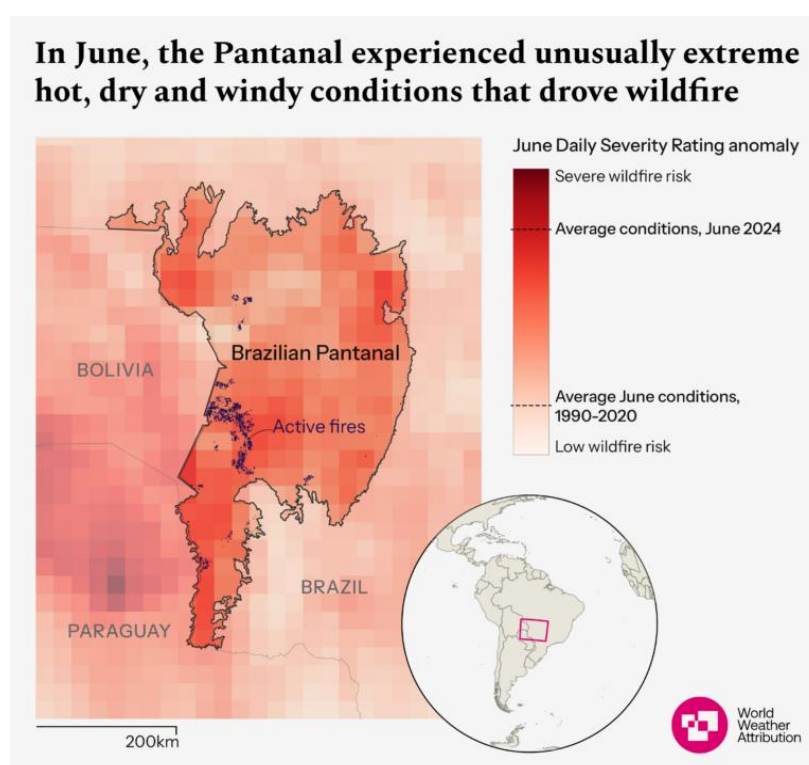
⁶ WWF-Brasil. Fogo matou 17 milhões de vertebrados no Pantanal em 2020. WWF-Brasil, 28 set. 2021. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?80028/Fogo-matou-17-milhoes-de-vertebrados-no-Pantanal-em-2020>. Acesso em: 16 jan. 2025.

Dentre esses estudos, destaca-se o “Hot, dry and windy conditions that drove devastating Pantanal wildfires 40% more intense due to climate change”, publicado pela World Weather Attribution (Barnes *et al.*, 2024).

Para ilustrar a extensão e intensidade do extremo climática para o período de junho/2024, os pesquisadores usaram a Daily Severity Rating (DSR) cumulativo para o Pantanal. A DSR pode ser compreendida como:

Derivada do Índice de Clima de Incêndio [em inglês Fire Weather Index], que usa informações meteorológicas (temperatura, umidade, velocidade do vento e precipitação nas semanas e dias anteriores) para prever a liberação de energia esperada por comprimento da frente de incêndio (Barnes *et al.*, 2024, p.7).

Figura 5. Mapa da anomalia do DSR de junho de 2024 sobre a região de estudo em relação à climatologia de junho de 1990-2020 (ERA5), mostrando pixels de fogo ativos como pontos vermelhos.



Fonte: Barnes *et al.* (2024).

Portanto, a DRS indica o grau de dificuldade para controlar e apagar um incêndio depois do início da sua significação, e é usada para determinar e avaliar as condições meteorológicas favoráveis para a propagação do fogo em escalas mensais ou mais longas. As condições climáticas da atualidade, segundo o estudo de Barnes *et al.* (2024), tornou o DSR de junho de 2024 cerca de 40% mais impactante e 4-5 vezes mais provável, indicando que o Pantanal

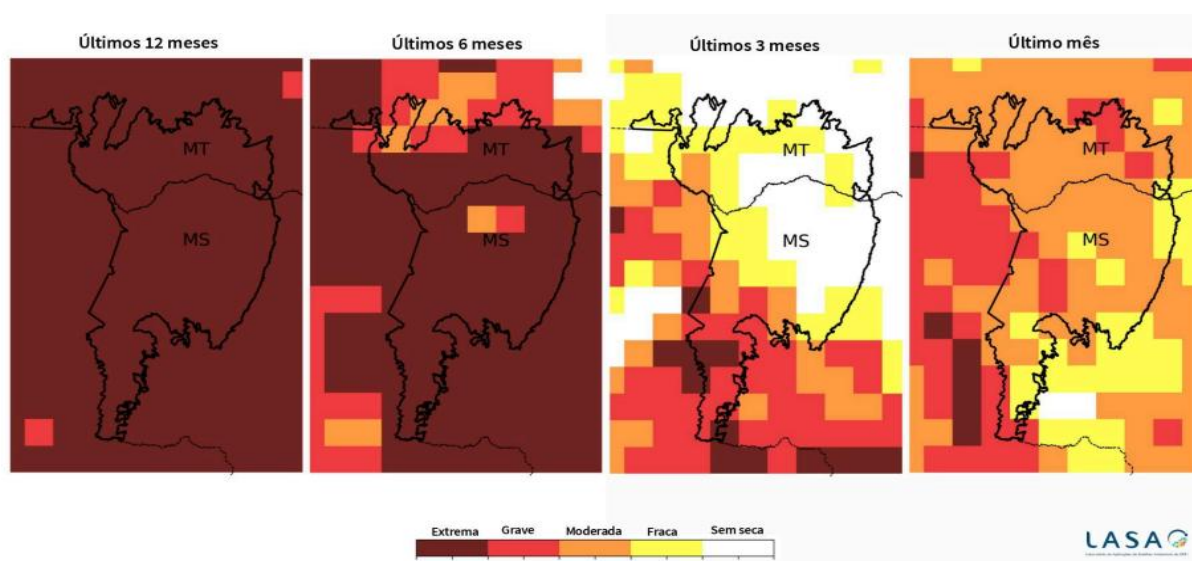
enfrentou condições climáticas atípicas que provocaram a propagação e a intensidade dos incêndios florestais para o mês de junho.

As mudanças climáticas globais já são uma realidade no Pantanal, tendo em vista o aumento progressivo das temperaturas no bioma. Desde 1980, a temperatura média da região tem aumentado em um ritmo de 1°C a cada década, sendo uma taxa quatro vezes maior que a média global (Damasceno Junior *et al.*, 2020).

De acordo com a nota técnica publicada pelo Mapbiomas (2024), o mês de junho de 2024 registrou a maior área queimada já registrada durante o período de monitoramento do Monitor do Fogo, com aproximadamente 79% (370 mil ha) da área total de queimadas concentrando-se nesse mês. Além disso, as queimadas do primeiro semestre de 2024 aumentaram 529% em relação à média dos anos anteriores, sendo que 98% da área queimada ocorreu em áreas naturais (Mapbiomas, 2024).

Em relação ao regime pluviométrico, o ano de 2024 foi um dos mais secos da história do Pantanal, conforme destacado Boletim de Monitoramento Hidrológico divulgado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) em 20 de junho de 2024, o bioma vem enfrentando um regime de seca persistente de intensidade moderada a extrema desde o segundo semestre de 2023 ao primeiro semestre de 2024, conforme imagem abaixo:

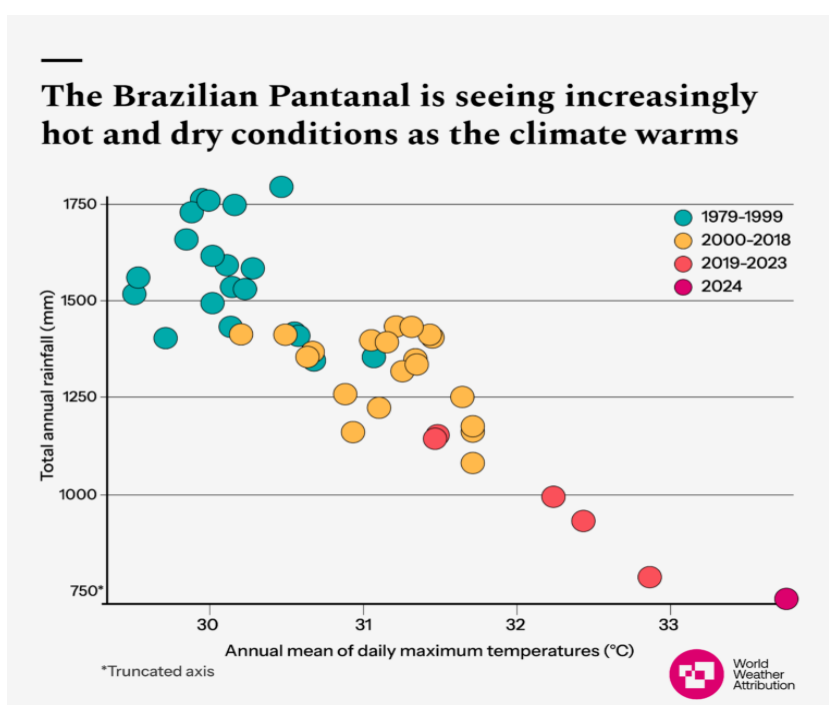
Figura 6. Condição de seca persistente de junho/2023 a junho/2024.



Fonte: Laboratório de Aplicações de Satélites Ambientais (2024).

A coleção de mapas acima evidencia a condição da seca persistente ao longo de um ano em todo o Pantanal. Observa-se que, além do aumento da temperatura média na região, a precipitação anual no Pantanal vem diminuindo ao longo das últimas 4 décadas, como mostra a **Figura 7**. Embora a variabilidade de fenômenos atmosféricos e oceânicos, bem como o desmatamento em grandes ecossistemas, sejam conhecidos por influenciar no regime pluviométrico da América do Sul, as mudanças climáticas também podem estar influenciando a condição da seca, como mostra a distribuição espacial dos níveis de seca para o Pantanal.

Figura 7. Média anual para junho e julho das temperaturas máximas diárias e precipitação acumulada sobre o Pantanal brasileiro desde o início da era dos satélites.



Fonte: Barnes *et al.* (2024).

As mudanças climáticas, além de intensificarem e tornarem as condições mais favoráveis para a ocorrência de mega incêndio, também estão contribuindo para o aumento do período de seca no Pantanal. Antes restrita ao intervalo de julho a outubro, a estação de seca agora passa a ocorrer de junho a novembro (Libonati, 2024).

Esse cenário reforça a projeção feita pelo estudo de Barnes *et al.* (2024), que alerta para um possível agravamento das condições climáticas na região. De acordo com a pesquisa, caso a temperatura aumente em 2°C em relação aos níveis pré-industriais, episódios de altas temperaturas, seca persistente e ventos fortes se tornarão duas vezes mais frequentes do que na

atualidade. Essas mudanças no padrão climático global anteciparam a ocorrência desses incêndios que ocorriam a cada 160 anos em 35, devido ao aumento de 1,2°C na média da temperatura global em relação aos níveis pré-industriais.

Outro fator agravante é o fluxo de baixa umidade vindo da região amazônica, que, segundo Pereira *et al.* (2024), reduziu consideravelmente e favoreceu os megaincêndios que devastaram centenas de milhares de hectares. O impacto desses eventos climáticos vai além da queima da vegetação e redução da biodiversidade, ele afeta também as atividades humanas, como a navegação do Rio Paraguai, que ficou comprometida, e o transporte de soja e minerais.

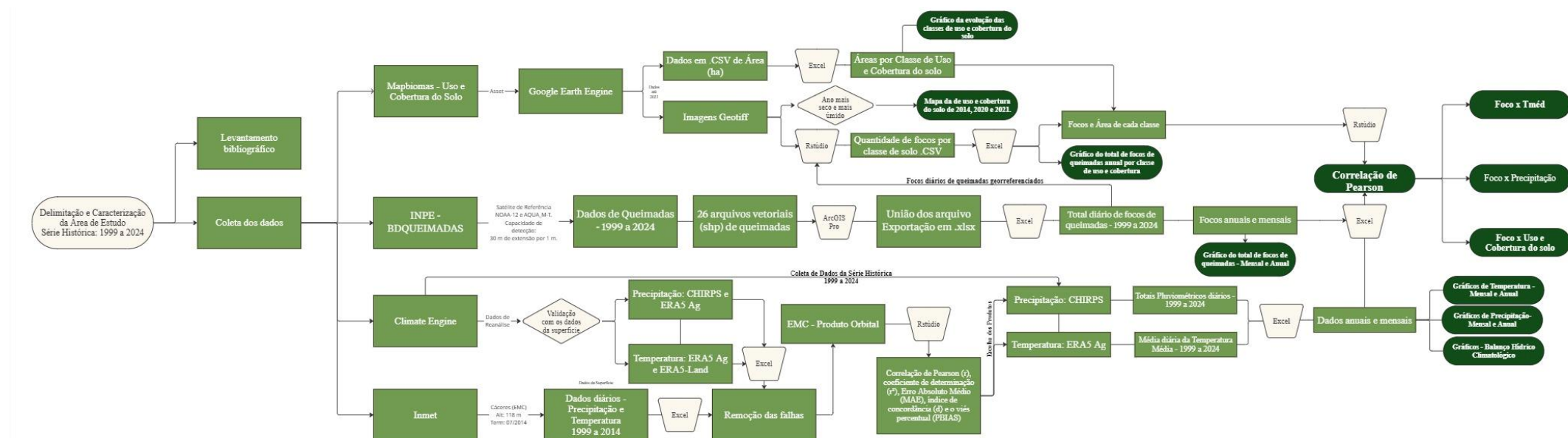
É evidente que o Pantanal vem sofrendo com incêndios que, anualmente, vêm atingindo níveis sem precedentes, causando destruição deste bioma que ultrapassa as fronteiras nacionais. O bioma, sua biodiversidade, a saúde e a economia foram e estão sendo seriamente impactados. A combinação de seca extrema às altas temperaturas aumentam o déficit hídrico, especialmente durante a primavera e o verão, tornando a região cada vez mais vulnerável.

Diante do atual cenário, torna-se essencial a criação de indicadores de impactos e cenários de adaptação para as novas condições regionais que vêm se tornando parte da vida cotidiana para diferentes povos e seu próprio ecossistema, tendo em vista os sinais de elevação de riscos e os esforços necessários para a mitigação. O Pantanal, maior área alagável do mundo, Patrimônio Natural da Humanidade e Reserva da Biosfera pela Unesco, está ficando mais quente, seca e com ventos intensos, se transformando, a cada dia que passa, em um barril de pólvora que pode ser incendiado de qualquer forma, independentemente de como tenha começado. Esses incêndios estão deixando de ser excepcionais e se transformando no novo normal do Pantanal.

3. METODOLOGIA

A **Figura 8** compreende o fluxograma metodológico das etapas e procedimentos utilizados para a presente pesquisa, organizando de forma visual tudo o que foi feito ao longo da produção do trabalho.

Figura 8. Fluxograma metodológico

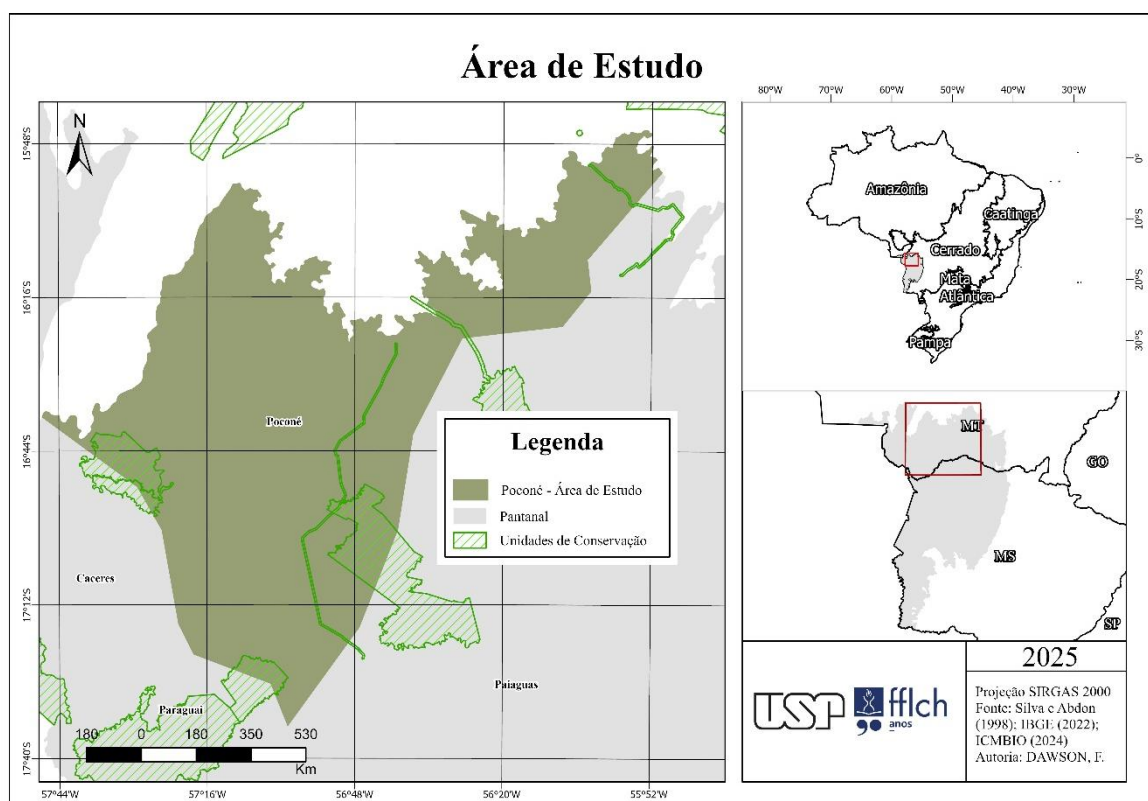


Fonte: Autor (2025).

3.1 Área de Estudo

A sub-região de Poconé (**Figura 9**), localizada ao norte do Pantanal Mato-Grossense, é uma das 11 sub-regiões do complexo pantaneiro. Tem como limites a região do Paiaguás ao sul, separados pelo rio São Lourenço, o pantanal de Barão de Melgaço a leste e a depressão do Rio Paraguai a oeste. A Sub-região abarca parte de 5 municípios, dentre eles o município de Santo Antônio de Leverger, Barão de Melgaço, Nossa Senhora do Livramento, Poconé e Cáceres, com seus limites localizados 100% no estado do Mato Grosso, estando entre as coordenadas 16° 00' - 17° 38' S e 55° 59' 46" - 57° 38' 38" W (Silva, 2023)

Figura 9. Mapa de localização da Área de Estudo.



Fonte: Silva e Abdon (1998). Elaboração própria.

A área da sub-região é de, aproximadamente, 17.945 mil km², com uma cobertura de 11% da planície pantaneira dentro dos seus limites. O município de Poconé é conhecido como ser porta de entrada para o Pantanal de Poconé, uma vez que é nele que inicia a estrada Transpantaneira, ligando as cidades de Poconé à localidade de Porto Jofre (Silva, 2023). Esse

porto é procurado não somente por pescadores, mas por muitos turistas para navegação no rio Cuiabá, dando acesso a muitas outras regiões do Pantanal (Silva, 2023).

A Transpantaneira possui 145 Km e 125 pontes que atravessam as áreas alagadas, sendo a estrada com maior número de pontes do mundo. Durante o período de inundação, a ponte torna-se um mirante, onde a água acumulada nas laterais da Transpantaneira transforma-se em um refúgio de jacarés, capivaras, tuiuiús, sucuris e outros animais (Mato Grosso, 2025).

A vegetação do Pantanal de Poconé é muito semelhante às formações que ocorrem nas outras sub-regiões. Existe uma ampla variedade de habitats que podem, dentro de uma distância curta, transformar-se em uma paisagem diferente. Fernandes, Signor e Penha (2010) afirmam que a vegetação pantaneira desta sub-região é influenciada por a diferentes fatores tais como o tipo de solo, o stress pelo fogo, a intensidade da atividade econômica de criação de gado, a limpeza manual e/ou mecanizada e a intensidade e duração do período de inundação.

As áreas de cerrado são predominantes na região, com ocorrências de outros habitats florestais e campos limpos e sujos, além de habitats aquáticos. As principais formações vegetais dessa região são:

As formações savânicas, notadamente a savana florestada, conhecida popularmente como Cerradão, a savana arborizada, também denominada como Cerrado senso estrito, a Savana gramíneo-lenhosa, que representa os campos úmidos, a Savana-parque, representada pelos campos de murundus, e a Floresta Estacional Semidecidual, representada pelas florestas ciliares (Silva, 2023, p. 1).

Entre as formações pioneiras mais recorrentes na literatura, destacam-se 2 tipos de formações: os Landis, dominados pelo Landi ou Guanandi (*Calophyllum brasiliense* – *Calophyllaceae*) e Cambarazal dominados pelo Cambará (*Vochysia divergens* – *Vochysiaceae*).

Ambas as formações são florestas sempre verdes, sazonalmente inundadas, que permanecem secas durante o período de estiagem do Pantanal. Entretanto, os Landis podem aparecer como manchas isoladas ou interconectadas entre si, encontrando-se nos locais mais baixos do terreno e funcionando como um canal de escoamento durante a fase de inundação. Além disso, nos morros isolados dentro das planícies inundáveis, podem ser observadas manchas de Floresta Estacional Decidual, conhecidas na região com Matas Secas (Silva, 2023).

Outra fitofisionomia presente na região são os campos limpos, que apresentam baixa densidade de árvores, com ocorrência de formações herbáceas-arbustivas. Outro aspecto

importante refere-se à transformação da vegetação nativa em pastagem com vegetação exótica, destinada à pecuária extensiva de gado, fator que contribui para alteração da paisagem natural (Fernandes, Signor, Penha, 2010).

De forma geral, o relevo é plano, associado principalmente às planícies de inundação. Quantos às feições geomorfológicas da região, destacam-se as cordilheiras e os murundus. As cordilheiras são antigos diques fluviais, formadas pelo depósito de sedimentos na borda de leitos fósseis. Apresentam-se como faixas contínuas, alongadas e sinuosas, que podem estar conectadas a outros tipos de habitats, como os campos de Murundus. Podem ser consideradas, também, como pequenas elevações de formato alongado, entre 1 e 3 metros sobre o nível de base do terreno, onde as inundações são esporádicas (Silva, 2023).

As cordilheiras são consideradas uma importante unidade da paisagem pantaneira, uma vez que podem ser caracterizadas como um cordão de vegetação que circunda o campo de inundação e serve de abrigo e refúgio para muitas espécies durante o período de inundação, caracterizadas por florestas não inundáveis. Além disso, também desempenham um papel de refúgio para o gado, durante a mesma época. Os solos predominantes nesta unidade são Neossolos Quartzarênico e Espodossolos (Boni *et al.*, 2022).

Os murundus, por sua vez, podem ser compreendidos como pequenas elevações côncavas de formato circular, com alturas que variam de 80 cm até 1,5 metro em relação às áreas de vazantes. Esse microrrelevo está associado às áreas sazonalmente alagadas, abrigando formações de Cerrado, notadamente de Savana Arborizada (Silva, 2023).

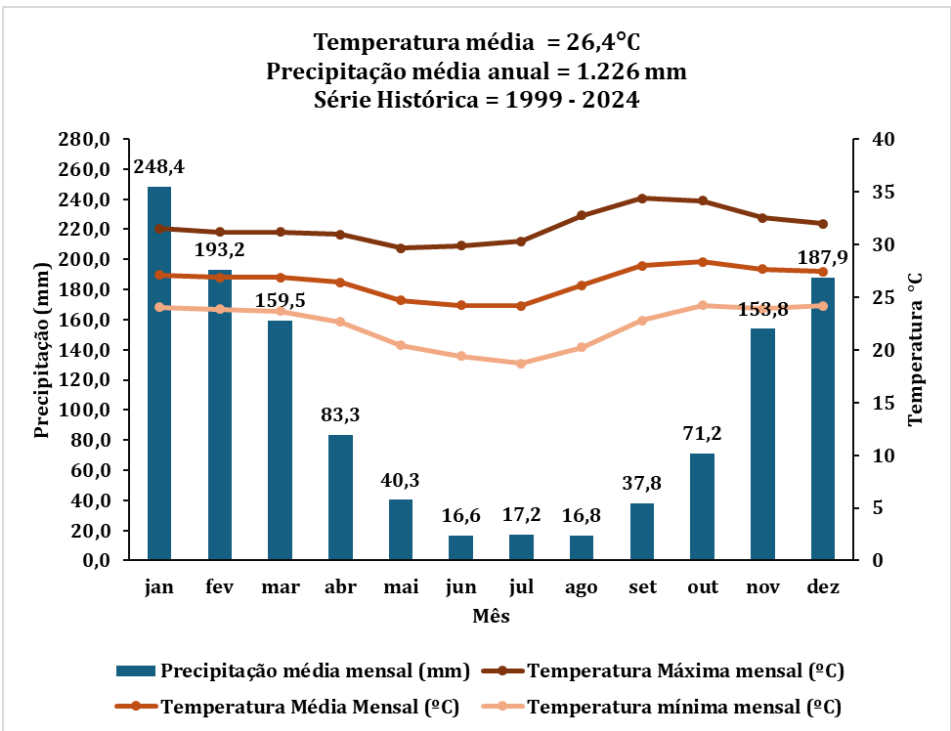
Essa unidade da paisagem é composta por pequenas ilhas não inundáveis, com sua formação frequentemente associada a processos biológicos, erosivos ou à ocorrência simultânea de tais processos (Silva *et al.*, 2014a). Como são pequenas elevações no terreno, os solos dos murundus ficam protegidos do encharcamento durante o período de inundação, o que favorece a ocorrência dos Plintossolos Háplicos distróficos típicos, Cambissolos Háplicos Tb distróficos plintossolos e Neossolos Quartzarênicos hidromórficos típicos (Silva *et al.*, 2014a).

De forma geral, o solo presente nessa região, de acordo com Silva (2023), os Latossolos Vermelho-Escuro, os Latossolos Vermelho-Amarelo, os Plintossolos, os solos Hidromórficos,

os solos Glei Pouco Húmico e os solos Litólicos. Esses solos possuem grandes quantidades de alumínio, com textura variando de média a argilosa e pobres em nutrientes.

O clima da sub-região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, isto é, quente e úmido (Amaral Filho, 1986). A média das temperaturas mínimas é de 22,3°C, enquanto das temperaturas máximas é de 31,6°C e a temperatura média anual é de 26,4 °C, conforme indicado na **Figura 10**:

Figura 10. Climograma da área de estudo.



Fonte: CHIRPS (2025); ERA5 Ag (2025). Elaboração própria

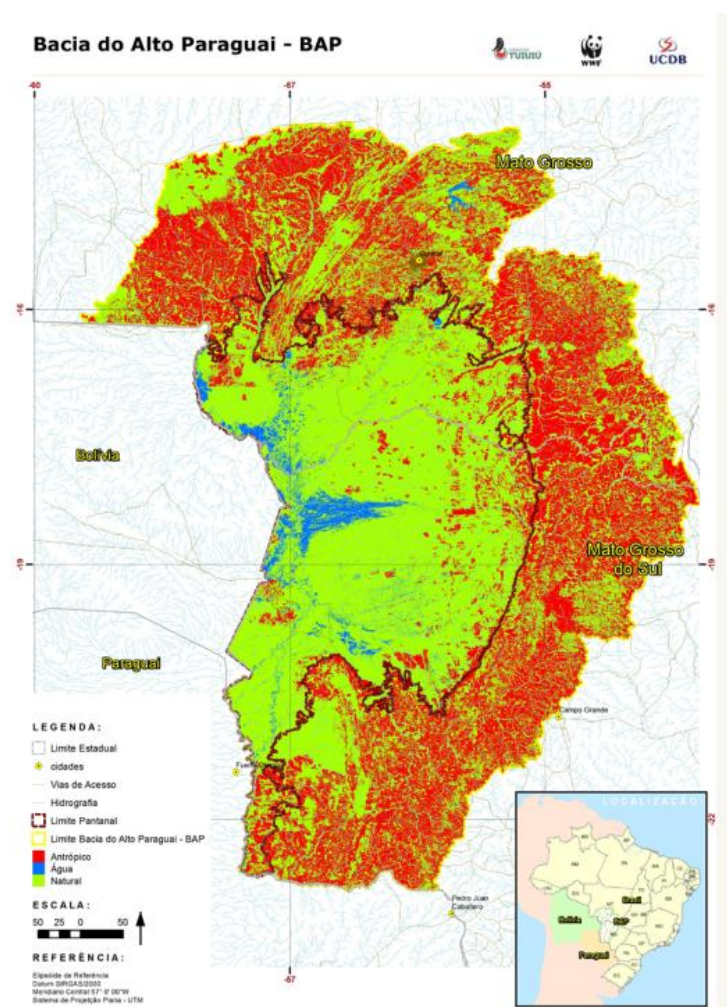
O regime pluviométrico é tropical, com duas estações bem definidas. O período seco tem início em abril e se estende até novembro. Durante esses meses, a precipitação mensal é inferior a 40 mm. Por outro lado, os maiores volumes de chuva se concentram nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro, com totais pluviométricos que superam 150 mm mensais. A precipitação mínima mensal foi 17mm e a média anual é de 1.226.

Quanto à hidrografia, a sub-região se encontra no contexto da Bacia do Alto Paraguai (BAP), sendo drenada pelos rios Paraguai, à oeste; rio Cuiabá, que atravessa a sub-região na porção nordeste, além de margear a parte leste e sudeste; e o rio Bento Gomes, que percorre a

região inteira até desaguar no rio Cuiabá. A sazonalidade climática é um dos aspectos que mais importantes, influenciando o ciclo hidrológico e a dinâmica hídrica da região, sendo representada pelas alternâncias entre os períodos de seca e úmido e que garantem o funcionamento ecológico e a alta biodiversidade do bioma

A Bacia do Alto Paraguai possui uma dimensão de 361.666 km² na porção brasileira, sendo dividida por duas unidades: o Planalto (64%) e a Planície Pantaneira (36%), esta última caracterizada por áreas mais baixas e alagáveis. As chuvas sazonais, junto às características do solo predominantemente sedimentar e da baixa declividade do relevo, contribuem para que os rios, especialmente o Rio Paraguai, transbordem e formem uma grande planície alagada por um período de cinco a seis meses do ano (Rabelo; Souza, 2021) .

Figura 11. Mapa de pressões da Bacia do Alto Paraguai.



Fonte: WWF-Brasil *et al.* (2016).

Entretanto, a BAP (**Figura 11**) tem enfrentado diversos desafios, particularmente na região do planalto, onde a intensificação do desmatamento da vegetação nativa impulsionados pela expansão da pecuária extensiva e da alta produção de grãos com o objetivo de conversão do uso e ocupação, têm provocado produção de sedimentos nas bacias dos rios que correm para o Pantanal (Rabelo; Souza, 2021). Atualmente, o planalto da BAP apresenta 38% da sua área com vegetação natural preservada (Mapbiomas, 2024).

Além disso, a implementação do projeto da hidrovía Paraguai-Paraná vem sendo destacado como uma das principais ameaças à dinâmica hidrológica do Pantanal. O projeto visa liberar a navegação de embarcações no Tramo Norte, de Cáceres (MT) até o Rio da Prata, no Uruguai. A proposta prevê a dragagem do leito do rio com o objetivo de garantir a navegabilidade durante quase todo ano, inclusive na estação seca (Wantzen *et al.*, 2023).

Segundo Wantzen *et al.* (2023), as inundações típicas das planícies do rio Paraguai ocorrem devido a um atraso na drenagem do rio, ocasionada, em grande parte, a sua declividade muito baixa, a presença de sedimentos e afloramentos rochosos no canal do rio. Esses aspectos são considerados, do ponto de vista econômico, como obstáculos para a navegabilidade no rio, sendo necessária sua remoção a partir de obras que incluem desde a retificação de alguns trechos meandrosos até o processo de aprofundamento do canal via dragagem. No entanto, tais obras acarretariam impactos hidrossedimentológicos, como o aumento da capacidade de transporte de água, intensificação dos processos erosivos, principalmente nas margens, o rebaixamento do lençol freático e maior incisão do canal.

O aumento da capacidade do rio drenar pode resultar na redução das áreas alagadas por durante as estações de cheia. A dragagem do setor norte ocorreria em uma das áreas mais preservadas e sensíveis do Pantanal, onde fica a Estação Ecológica de Taimã, colocando em risco o funcionamento do ecossistema e impactando as estruturas ecológicas que possuem estratégias adaptativas aos pulsos sazonais de inundação. A redução da área inundada reduzirá a quantidade de habitat aquático que serve como berçários, de alimentação e abrigo para peixes, aves aquáticas e muitas espécies dependentes de áreas úmidas, impactando na redução de algumas dessas espécies a longo prazo (Wantzen *et al.*, 2023)

Para além do impacto ecológico, Wantzen *et al.* (2023) citam que o rebaixamento do nível da água e a consequente redução das áreas alagadas aumentaria a disponibilidade de biomassa

seca, o que, em cenários de mudanças climáticas, com ondas de calor, altas temperaturas e redução dos totais pluviométricos, favorece o aumento dos focos de queimadas em decorrência da menor área alagada.

Portanto, a BAP vem enfrentando diversos desafios que ameaçam a integridade do seu ecossistema como um todo. Sua existência permite um regime de fluxo natural, que fornece um padrão natural de inundação e seca em uma vasta área, permitindo a possibilidade do funcionamento das estruturas ecológicas (Wantzen *et al.*, 2023).

Figura 12. Rio Paraguai na região da Serra do Amolar.



Fonte: Globo (2022). Foto tirado por: Gustavo Figueirôa (2020)⁷.

Na escala local, destaca-se o rio Bento Gomes, afluente do rio Paraguai que atravessa o Pantanal de Poconé. Sua nascente está localizada na região de planalto da BAP, e ele se caracteriza pela baixa declividade aparente e muitos meandros. Na região também se observam

⁷ FIGUEIRÔA, G. Por que falar sobre o Pantanal pode salvá-lo? Um olhar prático sobre a importância da comunicação na conservação do bioma. Um só Planeta, 4 mar. 2022. Disponível em: <https://umsoplaneta.globo.com/opinioao/colunas-e-blogs/documenta-pantanal/post/2022/03/por-que-falar-sobre-o-pantanal-pode-salva-lo.ghml>. Acesso em: 7 jun. 2025.

diferentes feições como as baías, que são lagoas que mantêm conexão com o rio principal na época das cheias, as salinas, que são lagoas sem conexão direta com os rios, sendo alimentadas por água da chuva e extremamente alcalinas, as vazantes, que podem ser compreendidas como depressões intermitentes entre as baías e os corixos, pequenos cursos d'água que se ligam ao rio principal (Silva; Ferreira, 2022).

Atualmente, a sub-bacia do rio Bento Gomes sofre com a contaminação de mercúrio decorrentes da exploração de ouro na região. Destaca-se que essa contaminação compromete a biota do Pantanal na região, inclusive em áreas próximas à Estrada Transpantaneira. Além disso, o rio tem apresentado seus níveis mais baixos ao longo dos anos, sendo possível caminhar sobre seu leito (Vieira; Alho, 2004). Há, inclusive, notícias que a empresa concessionária de água utilizou uma cava garimpeira para o abastecimento hídrico na cidade de Poconé⁸.

Quanto aos aspectos socioeconômicos do pantanal de Poconé, devido ao fato de ser uma sub-região delimitada para fins de pesquisas, não há dados estatísticos, tanto sociais como econômicos, que permitam sua caracterização geral. Por esse fator, para compreender o contexto socioeconômico da região, considera-se como referência a capital da sub-região, o município de Poconé, para uma caracterização socioeconômica.

Poconé está localizado na Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá, a aproximadamente 100km da capital do estado de Mato Grosso. Fundado há 228 anos, o município conta com uma população de 31.212 habitantes (IBGE, 2022). Cerca de 84% da população se autodeclara como parda e preta, e a renda per capita do município é de R\$21.252,49. Apenas 2,45% dos domicílios estão conectados à rede geral de esgoto (IBGE, 2022).

De acordo com a Prefeitura Municipal de Poconé (2018), as principais atividades econômicas são: Pecuária, Mineração, Agricultura e Turismo. A cidade é considerada “Portal de entrada do Pantanal Mato-Grossense”, principalmente por abrigar a Rodovia Transpantaneira, uma das principais formas de acesso à planície pantaneira e um destino de turismo ecológico.

No entanto, assim como a pecuária tem impactos grandes nos ecossistemas pantaneiros, destaca-se também a mineração, especificamente o garimpo de ouro na região. O garimpo é feito,

⁸ **VG NOTÍCIAS.** Seca do Rio Bento Gomes: deputado de MT diz que moradores bebem água de cava garimpeira. *VG Notícias*, Cuiabá, 29 nov. 2023. Disponível em: <https://www.vgnoticias.com.br/politica/seca-do-rio-bento-gomes-deputado-de-mt-diz-que-moradores-bebem-agua-de-cava-garimpeira/109484>. Acesso em: 7 jun. 2025.

em sua maioria, por pequenos garimpeiros da região que se dedicam à cadeia de produção e de comercialização de ouro totalmente (ou quase)⁹ legal.

Um dos principais impactos do garimpo é a utilização de mercúrio para extração do ouro, na sua forma metálica para separar o ouro do sedimento. Esses dois elementos, ao serem liberados, podem percolar por conta ação da água através dos resíduos de minério e atingir os ecossistemas pantaneiros, promovendo uma contaminação do solo e dos recursos hídricos. Devido à bioacumulação, esse processo representa uma ameaça às comunidades aquáticas e à vida humana. Cita-se, para além dos impactos ambientais, os impactos que geram danos estruturais às residências que se localizam próximas às áreas de mineração devido às vibrações e a instabilidade do solo (Silva, 2023).

3.2 Dados de focos de queimadas e incêndios florestais

Para a análise dos focos de queimadas na sub-região do Poconé, adotou-se uma abordagem dividida em quatro etapas: a primeira foi a coleta e preparação dos dados, a segunda refere-se ao processamento dos dados, a terceira foi a análise temporal e, por último, as correlações.

Portanto, os dados de focos ativos foram trabalhados em formato shapefile (formato vetorial utilizado por Sistemas de Informações Geográficas - SIG) do período de 01 de janeiro de 1999 a 31 de dezembro de 2024, da sub-região do Poconé-MT, retirados do portal Banco de Dados de Queimadas (BDQueimadas), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. O monitoramento de focos do Programa Queimadas do INPE utiliza cerca de 200 imagens por dia, recebidas de 10 satélites diferentes.

Os dados utilizados nessas pesquisas são de satélites de referências mais indicados para análise de séries históricas. Segundo o INPE (2025), os satélites utilizados para detecção de focos de queimadas e incêndios florestais variaram ao longo do tempo desde o início do monitoramento. Os dados do período de 01 de janeiro de 1999 a 03 de julho de 2002 foram obtidos a partir do satélite utilizado o NOAA-12 (sensor AVHRR, passagem no final da tarde). A partir desta data, os dados utilizados são do AQUA_M-T (sensor MODIS, passagem no início

⁹ **G1.** Operação apreende escavadeira e 21 gramas de ouro em garimpo ilegal de MT. *G1*, 11 jul. 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/mt/mato-grosso/noticia/2024/07/11/operacao-apreende-escavadeira-e-21-gramas-de-ouro-em-garimpo-ilegal-de-mt.ghtml>. Acesso em: 20 fev. 2025.

da tarde). Ambos os satélites possuem sensores ópticos operando na faixa termal-média de 4um, com detecção maior ou igual a frente de fogo com cerca de 30 m de extensão por 1 m de largura (INPE, 2025). Os resultados do "satélite de referência" permitem analisar as tendências espaciais e temporais dos focos de queimadas.

Como o BDQueimadas permite apenas a exportação anual dos arquivos, foram exportados 26 arquivos vetoriais, referentes ao período de 1999 a 2024. Esses arquivos foram processados para um único arquivo no Software ArcGIS Pro e exportados em formato xlsx para análise complementar.

Os dados foram processados no Excel. A planilha continha diferentes variáveis, tais como: Data-Hora, Satélite de Referência, País, Estado, Município, Bioma, Dias sem Chuva, Precipitação, Risco de Fogo, Latitude, Longitude e o Fire Radiative Power (FRP). Para o presente trabalho, somente foram consideradas as colunas de Data-Hora, Satélite de Referência, Município, Latitude e Longitude dos focos.

A coluna de Data-Hora foi separada em dia, mês e ano. Por meio da tabela dinâmica, quantificou-se a ocorrência mensal e anual de focos, permitindo a produção de gráficos da série temporal. Além disso, esse método permitiu, posteriormente, gerar os gráficos de correlações com precipitação, temperatura e as diferentes classes de uso do solo.

3.3 Coleta e validação dos dados de Precipitação e Temperatura do Ar

Os dados utilizados nesta pesquisa foram obtidos por meio de reanálise climática, em razão da ausência de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), tanto convencionais quanto automáticas, na área de estudo. Conforme mencionado por Santos Júnior, Blain e Xavier (2022), as estações meteorológicas no Brasil são espaçadas e distribuídas de forma irregular, o que causa incertezas em pesquisas que dependem desses dados.

A reanálise climática surge, assim, como uma alternativa à ausência de dados, além de ser uma forma de corrigir inconsistências nos registros observacionais e fornece uma representação abrangente e uniforme do estado do sistema atmosférico em diferentes períodos. A reanálise é uma técnica que combina observações históricas com modelos numéricos de previsão meteorológica, resultando em conjuntos de dados climáticos consistentes ao longo do tempo. Ela contém estimativas de parâmetros atmosféricos, como temperatura do ar, pressão e

vento em diferentes altitudes, e parâmetros de superfície, como precipitação, teor de umidade do solo, altura das ondas do oceano e temperatura da superfície do mar, de acordo com o European Centre for Medium-Range Wather Forecasts (2025).

Os dados diários de precipitação e temperatura foram obtidos na plataforma Climate Engine, uma iniciativa de parceria público-privada entre o Instituto de Pesquisa do Deserto da Universidade de Idaho e o Google. Essa ferramenta permite o processamento, visualização e exportação rápida de dados da reanálise climática e de observação terrestre por sensoriamento remoto, diretamente em um navegador web. A Plataforma foi escolhida por fornecer dados de séries históricas de diferentes produtos orbitais, incluindo o Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS) e o ERA Ag. No entanto, os dados de reanálise climática requerem validação com os dados da superfície.

Como não há estações meteorológicas dentro da área de estudo, os dados de precipitação e temperatura média do ar utilizados para a validação foram obtidos na estação meteorológica mais próxima, localizada em Cáceres, pertencente ao INMET. Essa estação operou até julho de 2014, quando foi desativada. Assim, o período utilizado para a validação foi de 1998 a 2014, resultando em uma porcentagem de de 3,99% para a precipitação e de 7,99% para a temperatura média do ar, conforme é possível observar na **Tabela 2**.

Tabela 2. Porcentagem de Falhas da Estação Meteorológica.

Cód. Estação	Nome	Altitude (m)	Lat	Long	Taxa de Erro - Precipitação	Taxa de Erro Temperatura
83405	Cáceres	118	-16,05	-57,68	3,99%	7,99%

Fonte: Autoria Própria (2025)

Para validar os dados de produtos orbitais quanto à precipitação, foram analisados os dados diários dos produtos ERA5 Ag e CHIRPS. Para temperatura, foram utilizados os produtos ERA5 Ag e ERA5-Land. As métricas estatísticas aplicadas na análise de desempenho dos produtos orbitais foram: Correlação de Pearson (r), coeficiente de determinação (r²), Erro Absoluto Médio (MAE), índice de concordância (d) e o viés percentual (PBIAS). Para aplicação das métricas estatísticas, os dados foram processados em linguagem R no Rstúdio (**ANEXO A**)

No que se refere à precipitação, os dados do CHIRPS apresentaram melhor resultado em relação à comparação Estação x ERA5 Ag. Já para os dados de temperatura, o produto ERA5 Ag

obteve melhores resultados do que Estação x ERA5-Land. Os valores obtidos nas métricas estatística podem ser consultados nos **ANEXO B** e **ANEXO C**.

3.4 Processamento dos dados de Precipitação e Temperatura Média do Ar

Os dados de precipitação utilizados no presente trabalho foram originados do produto CHIRPS. Esse conjunto de dados é amplamente difundido e avaliado na literatura para pesquisas climatológicas (Baratto *et al.*, 2024). O CHIRPS é desenvolvido pelo United States Geological Survey (USGS) em parceria com o Climate Hazards Group da Universidade da Califórnia, Santa Bárbara (UCSB) e apresenta uma resolução espacial de 4,8 km (Baratto *et al.*, 2024).

Segundo os autores, a base de dados do CHIRPS é composta por diferentes fontes, incluindo: dados climatológicos mensais de precipitação do CHPCli, satélites geoestacionários com cobertura quase global, além dos produtos do Climate prediction Center e as imagens B1 IR do National Climatic Data Center e, por fim, estimativas de precipitação do Tropical Rainfall Measuring Mission Multi-Satellit Precipitation Analysis Version 7 e os modelos atmosféricos de precipitação do NOAA Forecast System (Baratto *et al.*, 2024).

O CHIRPS possibilita análises temporais extensas, uma vez que apresenta uma série histórica desde 1981 até o presente. No âmbito desta pesquisa, os dados foram obtidos através da página Climate Engine, de 01 de janeiro de 1999 a 31 de dezembro de 2024. A partir destes dados, foram realizadas análises estatísticas no Excel com o objetivo de correlacionar o regime pluviométrico anual com os focos de incêndios no Pantanal de Poconé. Para isso, aplicou-se a correlação de Pearson, bem como a construção de gráficos.

Em relação à temperatura do ar, os dados foram obtidos a partir do projeto do ERA5 Ag, a mais recente reanálise climática produzida pelo ECMWF. Ele fornece dados sobre vários parâmetros atmosféricos, da superfície terrestre e do estado do mar, com uma resolução espacial de 9,6 km, e uma série temporal de 1979 até o presente (Oliveira *et al.*, 2021)

Foram obtidas as médias diárias da temperatura durante o período de 1999 a 2024, abrangendo toda a Região do Poconé. Assim como os dados pluviométricos, os dados de temperatura foram obtidos através da plataforma Climate Engine, em formato .CSV. Após a exportação, os dados foram organizados em mensais e anuais no software Microsoft Excel por meio da tabela dinâmica, o que permitiu que fossem calculadas as médias de temperatura média do ar para a área de estudo, bem como a produção de gráficos da série temporal. Além disso, também foram aplicadas a correlação de Pearson entre os focos de queimadas anuais e a variável de temperatura, com a finalidade de identificar padrões e tendências.

3.5 Dados de Uso e Cobertura do Solo

Os dados de uso do solo foram obtidos a partir do Mapbiomas, uma iniciativa do Observatório do Clima, cocriada e desenvolvida por uma rede multi-institucional que envolve diferentes atores como universidades, Organizações Não Governamentais (ONGs) e empresas de tecnologia. O propósito é mapear anualmente a cobertura e uso da terra do Brasil, além de monitorar as mudanças no uso e cobertura do território brasileiro.

A plataforma disponibiliza imagens processadas do satélite Landsat, com resolução de 30 metros, disponíveis gratuitamente na plataforma Google Earth Engine, oferecendo uma série temporal superior a 30 anos. Para cobrir todo o território nacional são necessárias, no total, 380 imagens Landsat, cada uma delas com dezenas de milhões de pixels: no total, são mais de 9 bilhões de pixels de 30 x 30 metros para perfazer todo o país (Mapbiomas, 2024).

Os dados da coleção 9 do Mapbiomas estão disponíveis como assets na plataforma Google Earth Engine, onde foram acessados, processados e analisados diretamente na plataforma com linguagem JavaScript. Contudo, como essa abrange o período de 1985-2023 foram considerados, para esta variável, apenas os dados de 1999 a 2023, excluindo, portanto, o ano de 2024. Foi exportada uma planilha .CSV contendo as áreas de cada classe ao longo da série histórica desta pesquisa. No Google Earth Engine, os dados foram recortados para a área de estudo. Posteriormente, foram exportadas imagens em formato GeoTiff, com o SRC SIRGAS 2000.

Foram elaborados gráficos para avaliar a mudança no uso e cobertura do solo para a sub-região do Poconé. Foi calculada a quantidade de focos por classe de solo, a fim de compreender as dinâmicas de mudança no uso do solo da sub-região. Em seguida, utilizando linguagem R no ambiente Rstúdio, foram realizadas correlações entre os focos de queimadas e as classes de uso do solo. O script utilizado está no **ANEXO G**.

3.6 Correlação de Pearson

A correlação de Pearson, segundo Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009), busca mensurar a direção e o grau de relação entre duas variáveis. Os autores dizem que duas variáveis se associam quando elas assumem semelhanças na distribuição dos seus resultados. Os valores nessa correlação sempre variam de -1 a 1, onde o sinal indica uma correlação positiva ou negativa e o valor assume a força da relação entre essas variáveis. Portanto:

$r = -1$ indica uma correlação negativa perfeita entre as variáveis

$r = 0$ indica que não há relação linear entre as variáveis

$r = 1$ indica uma correlação positiva perfeita entre as variáveis

Figueiredo Filho e Silva Júnior (2009) comenta que valores extremos, como -1, 0 e 1, são muito difíceis de ocorrerem, por isso é importante de se estabelecer uma escala de variação para interpretar. Conforme destacado por Soriano, Daniel e Santos (2015), as correlações são apenas estatísticas, não assumindo, necessariamente, uma causalidade nessa relação, visto que é difícil afirmar quem varia em função de quem, restando dizer que essas variáveis assumem semelhanças entre a distribuição desses resultados.

Portanto, para identificar a correlação entre os valores dos atributos climáticos (precipitação e temperatura média) e classes de uso e cobertura do solo entre os focos de queimadas foram realizadas análises de Correlação de Pearson (r). Foram calculadas as correlações considerando os valores médios mensais e anuais dos atributos do clima, bem como das áreas de cada classe de uso e cobertura do solo e dos totais mensais e anuais de focos de queimadas ocorridos na sub-região do Poconé. Foi adotado a classificação de Dancey e Reidy (2006) para os resultados, em que: $r = 0,10$ até $0,39$ é uma correlação fraca; $r = 0,40$ até $0,69$ é moderada; $r = 0,70$ até 1 é forte (Figueiredo Filho; Silva Júnior, 2009).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Mensal dos Focos de Queimadas da sub-região do Poconé

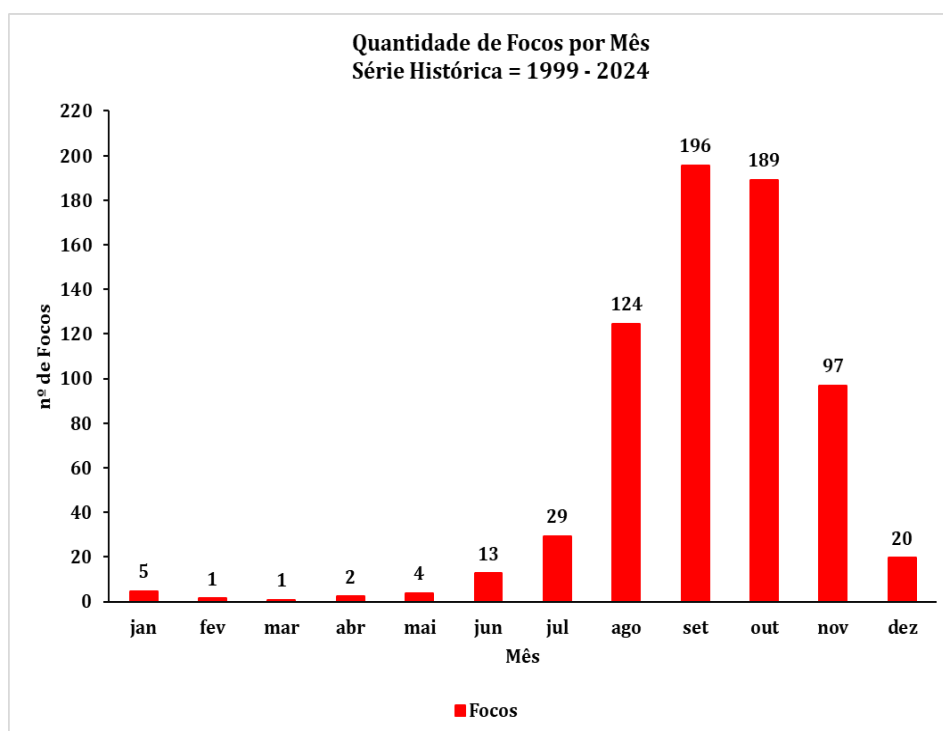
O fogo faz parte da dinâmica do Pantanal há mais de 12 mil anos, sendo um bioma resiliente a esse evento. No entanto, as queimadas e mega incêndios florestais no Pantanal vêm se tornando cada vez mais frequentes. Os dados do INPE (2025) refletem essa realidade na sub-região do Poconé, no estado do Mato Grosso. A detecção dos focos de queimadas nas imagens do INPE utiliza o mesmo modo de identificação de fogo ao longo dos anos.

Destaca-se que o presente estudo não se propôs julgar sobre a legalidade dos focos de queimadas registrados, ou seja, não foi feita a distinção de áreas queimadas com o aval do órgão ambiental competente ou não, mas sim a contabilização de todas as frente de fogo com cerca de 30 m de extensão por 1m de largura (INPE, 2025).

Analisando a distribuição das queimadas ao longo do ano (**Figura 13**), nota-se que o segundo semestre apresenta o período mais crítico para ocorrência das queimadas (Martins *et al.*,

2019). Concordando com outros diferentes estudos produzidos pela Embrapa (Soriano e Pellegrin, 2007; Soriano *et al.*, 2020), a área pesquisada mostrou que o intervalo entre agosto e novembro apresenta uma alta concentração de focos de queimada, sendo os meses de setembro e outubro onde houve maior pico ocorrência, com uma média de 196 e 189 focos respectivamente.

Figura 13. Gráfico da média mensal de focos de queimadas.



Fonte: INPE (2025). Elaboração própria

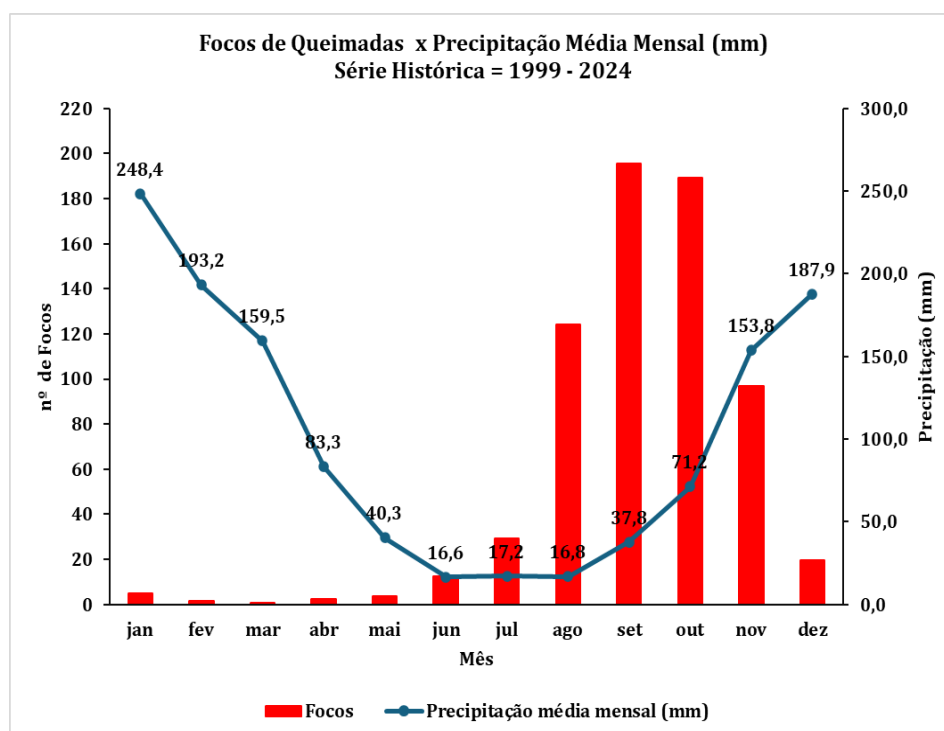
A alta concentração de queimadas nos meses de setembro e agosto pode ser explicada por 2 principais fatores. O primeiro refere-se aos elementos e dinâmica climática em geral, que contribuem fortemente com o processo de combustão da vegetação, como destacado por Silva (2021), o outro fator é o uso de queimadas para a conversão de uso do solo ou para forragem do terreno para agropecuária, justamente nesta época do ano (Schumacher, 2020).

A concentração das queimadas nestes meses do segundo semestre coincide com o período final de seca, quando há baixa umidade e maior velocidade dos ventos, geralmente acima de 2 m/s de agosto até outubro, chegando a 1,2 m/s em março e 2,2 em setembro (Soriano *et al.*, 2020).

Além disso, a **Figura 14**, que mostra a média mensal dos focos de queimadas e das precipitações, evidencia a existência de dois períodos bem-marcados na sub-região do Poconé:

os períodos seco e úmido. A concentração das chuvas se dá, principalmente, nos meses de novembro a março, que corresponde a cerca de 77% do total precipitado para o ano todo, enquanto o período de menor precipitação acontece de maio a outubro, quando a precipitação fica abaixo de 75 mm. Observa-se, portanto, que além da baixa umidade e maiores velocidades de vento, a concentração das queimadas mensais ocorre nos períodos de menor precipitação.

Figura 14. Gráfico da média mensal dos focos de queimadas e da precipitação.



Fonte: INPE (2025); CHIRPS (2025). Elaboração própria.

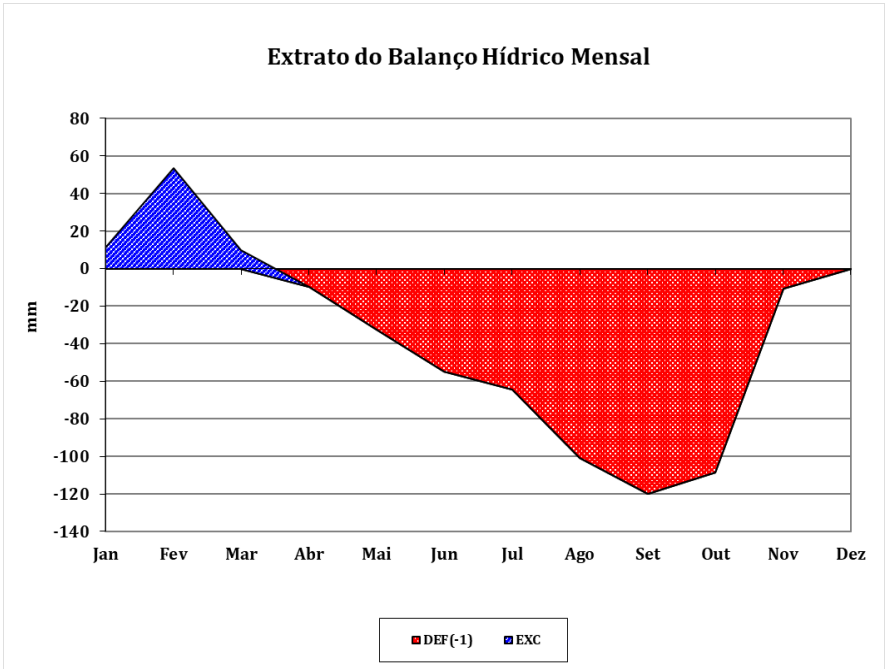
Analisando a **Figura 14**, além de identificar os meses mais e menos chuvosos, é imprescindível destacar o papel dos sistemas convectivos de mesoescala, mais especificamente a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). ZCAS é uma banda de nebulosidade orientada na direção noroeste - sudeste que se estende desde o sul da Amazônia até o Atlântico. O sistema influencia diretamente no regime de precipitações em grande parte do Brasil, atingindo com maior intensidade as regiões Centro-Oeste e Sudeste, provocando uma sequência de dias chuvosos (Escobar, 2019).

A precipitação associada à ZCAS é ocorre, geralmente, a partir de outubro até março (Martins *et al.*, 2019), sendo responsável por boa parte das chuvas registradas nesses períodos. O aumento expressivo das precipitações a partir de novembro, como mostra a **Figura 14**, indica

o início da atuação desse sistema que contribui significativamente para a diminuição da ocorrência de queimadas a partir deste mês dado o aumento da umidade do solo em decorrência da precipitação.

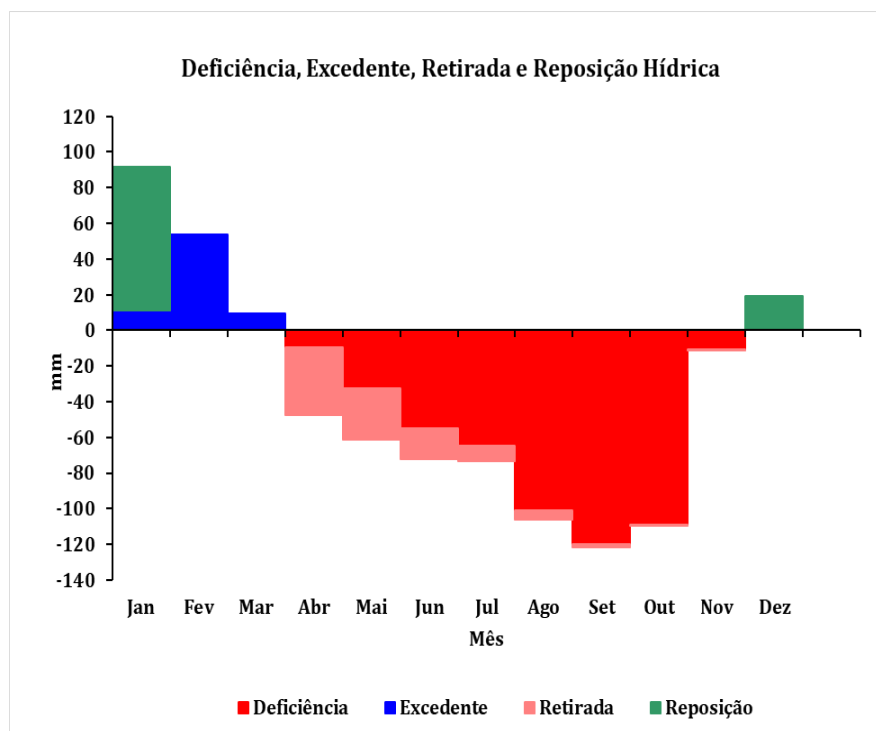
Nesta mesma linha, analisar, concomitantemente, o Balanço Hídrico Climatológico também é fundamental para a caracterização climática da sub-região quanto ao seu regime pluviométrico, identificando a disponibilidade hídrica, deficiências e excessos de chuvas (Neves *et al.*, 2011). Para o cálculo, foi exportado a planilha elaborada por Rolim *et al.* (1998), a partir da Thornthwaite e Mather (1955), disponível no site do Núcleo de Monitoramento Agroclimático, do departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - USP¹⁰. Foram inseridos os dados do período histórico relativos à temperatura e à precipitação média mensal.

Figura 15. Gráfico do Balanço Hídrico Mensal da sub-região do Poconé/Pantanal.



Fonte: CHIRPS (2025); Rolim *et al.* (1998). Elaboração própria.

Figura 16. Gráfico do período de déficit, excedente, retirada e reposição hídrica da sub-região do Poconé/Pantanal.



Fonte: CHIRPS (2025); Rolim *et al.* (1998). Elaboração própria.

Observando as **Figura 15** e **Figura 16**, é possível identificar duas estações bem definidas. No período úmido, a precipitação é superior à evapotranspiração, sendo nos meses de novembro, dezembro e janeiro correspondendo ao período de reposição hídrica. Já fevereiro e março determinam a fase de excedente. No período seco, a evapotranspiração é maior que a precipitação, com o déficit hídrico iniciando em meados de abril e se estendendo até outubro, apresentando maiores valores de deficiência a partir de maio. Nota-se, ainda, que embora o mês de menor precipitação tenha sido junho, com 16,6 mm, o período de maior deficiência hídrica ocorreu 3 meses depois, em setembro, com -119,8 mm.

De acordo com Neves *et al.* (2011), na região Centro-Oeste a evapotranspiração é intensa durante a maior parte do ano, mas o percentual de armazenamento de água no solo atinge seu nível mais baixo entre julho e setembro. Os dados indicam que o mínimo foi atingido em setembro, coincidindo com o final da estação da seca no Pantanal. De forma geral, o excedente

e o déficit hídrico médio anual são de 74 mm e 502,33 respectivamente, se aproximando dos resultados obtidos por Neves *et al.* (2011), que calcularam o BHC para a região de Cárceres.

Novais (2021) realizou um estudo de classificação climática do Pantanal, utilizando a mesma metodologia aplicada para a classificação climática na área core do Cerrado brasileiro (Novais, 2019). O estudo revelou que o Pantanal mato-grossense possui um clima mais seco do que se pensava, atingindo condições de semiaridez no leito do rio Paraguai, próximo à cidade de Corumbá. Nessa região, o autor destaca que, em nenhum um mês do ano, há excedente hídrico decorrente da precipitação. Nesta região, as águas acumuladas na planície pantaneira no período de cheia do Pantanal provêm das águas dos planaltos do entorno do bioma, devido à baixa declividade da bacia hidrográfica, o que favorece o alagamento planície (Novais, 2021).

A metodologia que adotada por Novais (2021) mostrou uma quantidade de meses mais secos do que outras classificações mais generalistas, que frequentemente afirmam o clima do Pantanal brasileiro como úmido. Segundo a classificação climática, a sub-região do Poconé enquadra-se no Tipo climático (5ª hierarquia) “Tórrido Tropical Seco do Chaco” (Novais, 2023).

Os dados do balanço hídrico, presentes no **ANEXO D**, corroboram com o estudo de Novais (2023), ao constatar uma evapotranspiração potencial (ETP) superior à precipitação em 8 meses do ano, o que torna seu domínio Tropical Seco. Observou-se, também, uma certa diferença com as análises de Libonati (2024), que destacou que período de seca, anteriormente delimitado entre julho e outubro, passa a ocorrer de junho a novembro. A análise dos dados observou que o período de seca tem se manifestado de forma mais precoce na sub-região, iniciando em abril e se estendo até novembro.

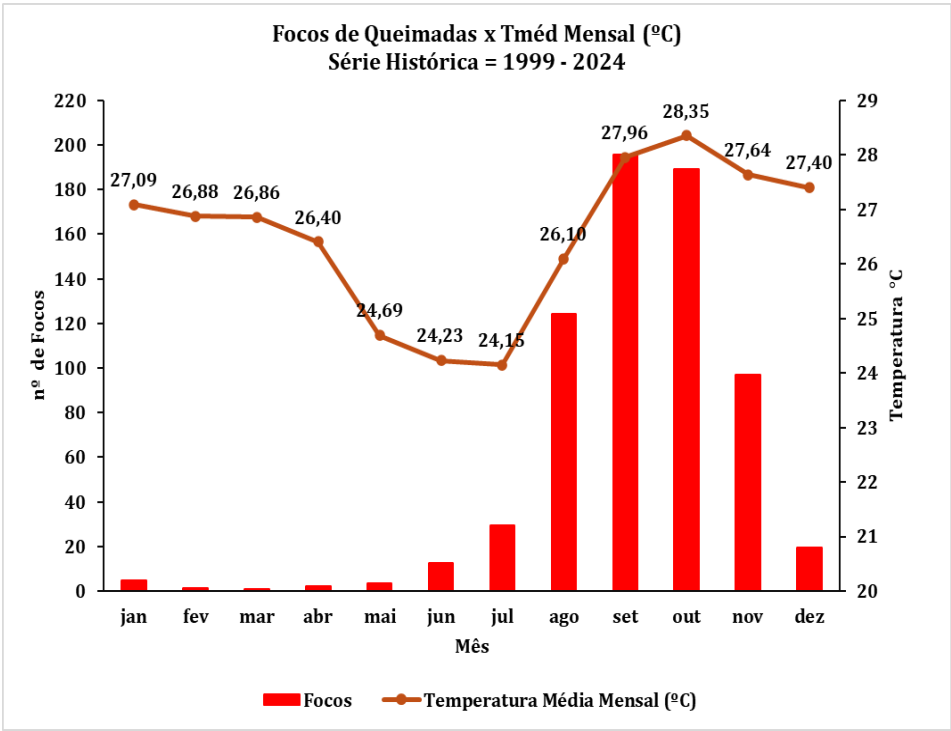
Neste contexto, considerando a ocorrência de queimadas, o BCH ajuda a compreender a concentração de focos em alguns meses. Verifica-se que, mesmo que a concentração das queimadas não tenha ocorrido no mês de menor precipitação (junho), ela coincide com o mês em que há maior deficiência hídrica, quando a umidade do solo é mais baixa e as chuvas não são suficientes para umedecer o material seco, o que, por fim, acaba favorecendo o aumento de queimadas no mês de setembro. Portanto, o atraso do pico de queimadas em relação à menor precipitação pode ser explicado a partir do Balanço Hídrico Climatológico.

Quando incluída na análise a relação mensal das médias das temperaturas com os focos de queimadas (**Figura 17**), tem-se um padrão semelhante àquele que se encontra na precipitação.

No verão, a temperatura média do ar é 27,06°C e as precipitações facilmente ultrapassam 150 mm/mês. No entanto, durante as estações de outono e inverno é perceptível a diminuição das temperaturas, que não passam dos 25°C.

Segundo Reboita *et al.* (2015), a inclinação do eixo de rotação da Terra em relação ao plano orbital é o parâmetro mais importante para explicar a variação anual da temperatura do ar. Os meses de setembro e outubro apresentaram maiores temperaturas médias. Isso é explicado pelo fim do período seco com início período úmido, quando os raios solares estão incidindo quase que perpendicularmente sobre a sub-região.

Figura 17. Gráfico da média mensal de focos de queimadas e da temperatura média.



Fonte: INPE (2025); ERA5 Ag, (2025). Elaboração própria.

Reboita *et al.* (2015) comentam que o aumento da inclinação do eixo de rotação da terra ao longo do ano, faz com que a radiação solar recebida migre latitudinalmente em direção aos polos, o que leva ao deslocamento das regiões com maior aquecimento. Além disso, há a influência de massas de ar quentes e úmidas que atuam no aumento das temperaturas na região (Curado *et al.*, 2024).

A concentração das queimadas, de agosto a outubro, foi chamada por Silva *et al.* (2022c) de “Fire Season”. Essa temporada foi denominada assim devido às condições meteorológicas extremas, principalmente as altas temperaturas e redução dos totais pluviométricos. Além desses atributos, cita-se as ações antrópicas, especialmente o uso do fogo para renovação de pastagens, que contribuem para a propagação e intensidade das queimadas durante esse período.

Segundo Silva *et al.* (2022c), o aumento da área queimada está relacionado com a porcentagem do Pantanal que esteve sob ondas de calor, ou seja, os anos que tiveram uma maior (ou menor) área queimada coincide com maiores (ou menores) ocorrência de onda de calor. Aproximadamente 79% da área queimada anualmente ocorre durante esse período, com seu ápice no mês de setembro, segundo o estudo. Para o presente estudo, cerca de 75% dos focos de queimadas ocorreram durante a Fire Season, com seu ápice também no mês de setembro.

O clima cria condições favoráveis à propagação das queimadas, sobretudo com o aumento das ondas de calor no Pantanal e, de certa forma, com a intensificação da estação da seca no Pantanal. Essa estação condiciona o tempo necessário para a queima total do material vegetal disponível, mas não, necessariamente, seu início. Portanto, a principal questão a ser compreendida é a origem desses focos durante esse período.

Dessa forma, destaca-se que, ao longo desses meses, a queima controlada na agropecuária é um dos mecanismos mais utilizados para o manejo de pastagens e para a conversão do solo. Tal prática usa o fogo visando aumentar a oferta de forragens para os animais. O fogo é usado em função da grande quantidade de material seco produzido pelas espécies nativas de gramíneas indesejadas, que são pouco consumidas pelos bovinos, possuem baixa digestibilidade e limitado valor nutritivo. Assim, essas gramíneas, pertencentes ao campo limpo e cerrado, são queimadas no período de seca para que, no verão, as forrageiras se regenerem com as primeiras chuvas (Soriano *et al.*, 2020).

A baixa precipitação ou os longos períodos de seca nessa época sugerem que a causa da origem das queimadas ou incêndios não é natural, ou seja, não é ocasionada por raios, mas está ligada às ações antrópicas, sejam elas intencionais ou não, visto que é durante esta época que ocorre queimas (in)controladas para a renovação de pastagem. Devido à quantidade de focos, nota-se que essas queimadas iniciais acabaram evoluindo para incêndios florestais por serem mal controladas.

A Lei nº14.944/2024, que institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, busca a redução da incidência e dos danos dos incêndios florestais em todo território nacional. A lei afirma que a emissão de autorizações de queima controlada ficará à critério dos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), que observarão e analisarão as condições meteorológicas para o uso do fogo (Brasil, 2024).

Dentro deste contexto, entende-se que os órgãos ambientais não emitem licença para essa época do ano, dado o conhecimento das condições climáticas na região pouco favoráveis ao uso da queima, seja prescrita ou controlada. Além disso, a mesma lei afirma a proibição do uso do fogo como método de supressão de vegetação nativa para uso alternativo do solo.

O fogo, como elemento antrópico usado para a conversão de uso do solo, é uma das práticas de desmatamento mais utilizadas no Brasil. Segundo a nota técnica da Fiocruz (2020), poucas práticas de conversão se comparam com a capacidade das queimadas em transformar totalmente um ecossistema natural, em um curto espaço de tempo, por cidades e áreas rurais voltadas à criação de animais e lavouras.

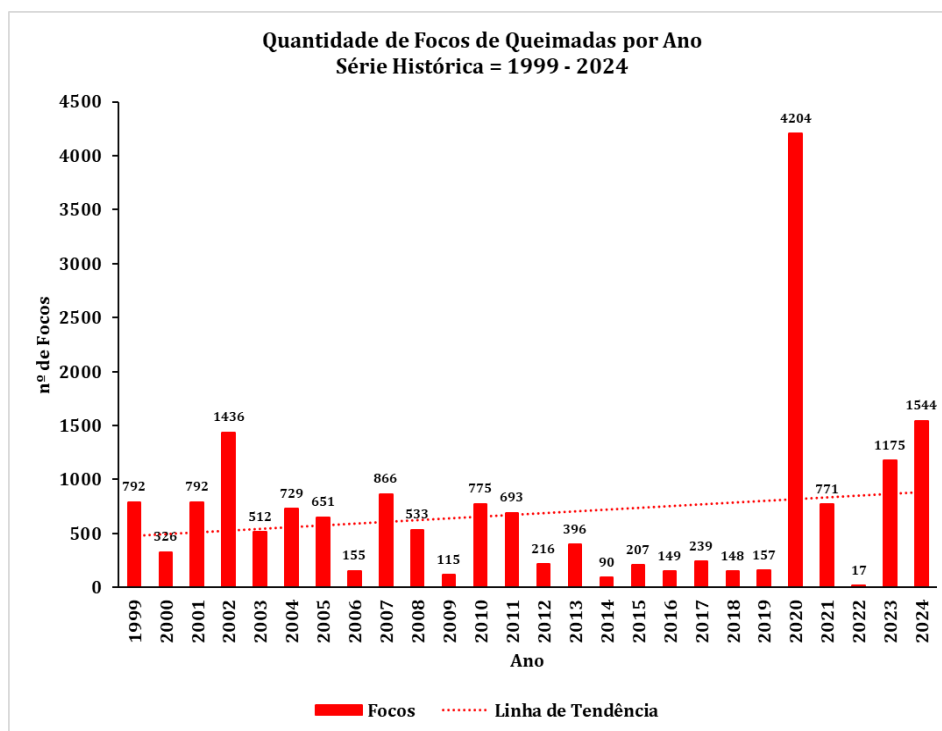
4.2 Análise histórica das Queimadas na sub-região do Poconé.

Ao longo de toda série histórica (1999-2024) adotada para o presente estudo, foram registrados um total de 17.688 focos de queimadas. Esses focos atingiram praticamente a totalidade da sub-região, sendo que, durante os 26 anos da série histórica, algumas coordenadas apresentaram mais de 2 focos de queimadas em diferentes anos.

A

Figura 18 apresenta a quantidade de focos de queimadas por ano na sub-região. Os anos com maior número de focos de queimadas foram 2002, 2020 e 2024, com um total de 1436, 4.204 e 1.544, respectivamente, sendo 2020 o ano com mais registros de focos. A quantidade de focos nesse ano foi 1548% superior à média anual observada entre 2011 e 2019.

Figura 18. Gráfico da quantidade de focos de queimadas por ano mapeados dentro da sub-região do Poconé.

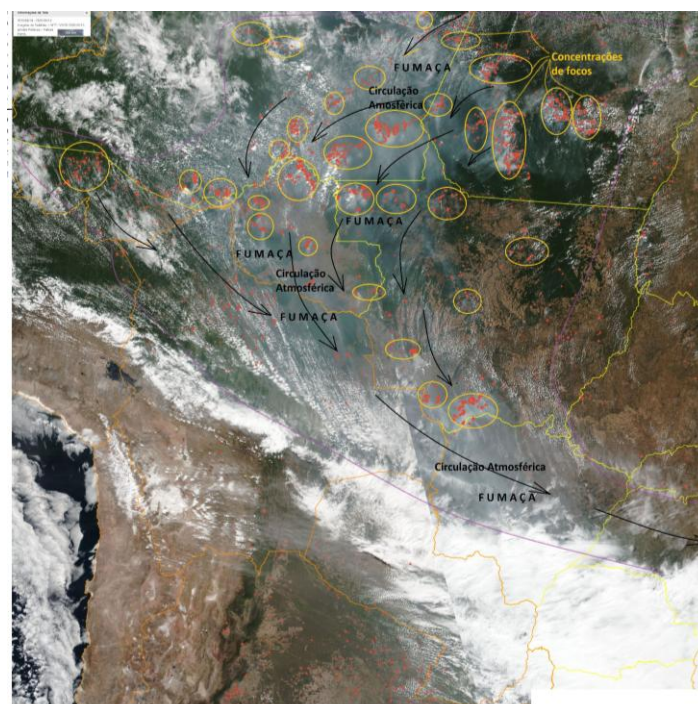


Destaca-se a redução da quantidade de focos a partir de 2011, com uma média anual de 255 focos durante esse período. A década anterior, correspondente ao período entre 2001 e 2010, apresentou uma média anual de 656 focos. Essa redução nas ocorrências de fogo durante 2011 a 2019, associada a outros fatores, favoreceu o acúmulo de biomassa, o que colaborou na propagação dos mega incêndios ocorridos em 2020. Portanto, a alta ocorrência de queimadas em alguns anos ocorreu devido, além de outros fatores envolvidos, ao acúmulo de material combustível de anos precedentes (Silva, 2021).

Segundo dados do INPE (2020), o país registrou 222.798 focos de queimadas somente em 2020. A maior concentração desses focos se deu no estado do Mato Grosso e no Pará. Quando se comenta do Pantanal, neste ano, o bioma registrou 22.116 queimadas, sendo que 4.204 foram registradas somente na sub-região do Poconé, correspondendo a 19% do total.

A **Figura 19** retrata a cobertura de nuvens de fumaça resultantes das queimadas ocorridas em 2020 sobre a América do Sul. Esse fenômeno foi intensificado pela circulação atmosférica, mais especificamente o padrão circular do sentido anti-horário dos ventos, que sopram do Atlântico em direção ao Pacífico (Leste-Oeste), levando as nuvens de fumaça em direção sul do país após o bloqueio da cordilheira dos andes (INPE, 2022).

Figura 19. Deslocamento de nuvens de fumaça em direção ao sul do Brasil.



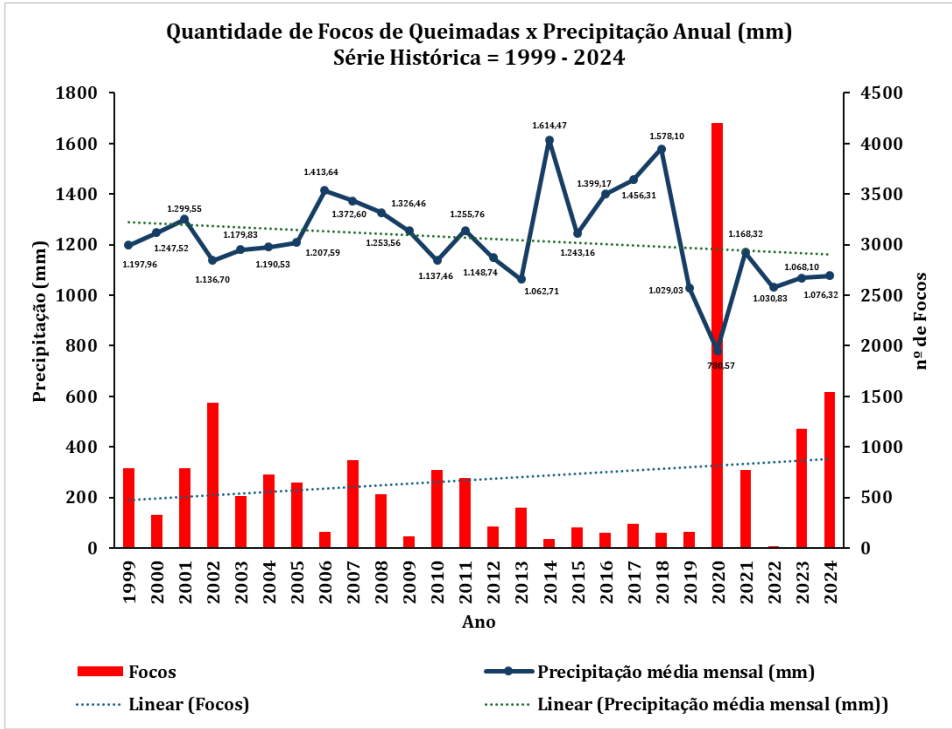
Fonte: INPE (2020)

As queimadas, conforme comentado anteriormente, não podem ser compreendidas isoladamente, mas como uma interação complexa entre diversos fatores, desde os processos de ocupação humana com o crescimento das atividades antrópicas na região (que têm alterado o bioma e o fluxo hídrico da planície pantaneira devido ao desmatamento nas áreas de planalto) até fenômenos climatológicos que geram anomalias de temperatura e precipitação.

A **Figura 20** possibilita analisar e comparar os períodos anuais extremamente chuvosos com períodos de chuva mais escassos na região, relacionando com a média anual dos focos de queimadas.

Observa-se que a precipitação anual varia entre 780 e 1600 mm, sendo a média anual de 1.226 mm. Um fator que contribui para essa média é a posição geográfica em face dos sistemas regionais atmosféricos. No contexto mato-grossense, a sub-região do Poconé, localizada na parte sul do estado, é influenciada pelas mudanças de precipitação, onde a região norte do estado concentra os maiores totais pluviométricos devido sua proximidade com a Amazônia (Santos; Zamparoni; Soares, 2012). Em contrapartida, em direção ao Pantanal, a diminuição é gradual, caindo para valores de 1.200mm, representando o gradiente anual de precipitação norte-sul (Thielen *et al.*, 2020).

Figura 20. Gráfico do total de focos de queimadas e precipitação acumulada de 1999 a 2024.



Fonte: INPE (2025); CHIRPS (2025). Elaboração própria.

Diante deste contexto, o ano de maior precipitação anual registrada foi no ano de 2014 com 1.614 mm, acompanhado de 2018, com 1578 mm. Por outro lado, os anos que apresentaram os mais baixos valores de precipitação foram 2002, com 1.136 mm, seguido por 2013, com 1.062 mm e 2020, com 780 mm. Além disso, a diminuição da precipitação desde 2018, atingiu o seu menor valor de 780 mm, em 2020, estando 36,32% abaixo da média histórica neste ano.

Esse evento marca um ano histórico de seca extrema, não somente para a sub-região do Poconé, mas para todo Pantanal e para o planalto circundantes (Thielen *et al.*, 2021), visto que a porção brasileira do bioma apresentou a menor precipitação desde a década de 1980 (Shimabukuro *et al.*, 2023).

Thielen *et al.* (2021) afirmam que essa seca generalizada vem evoluindo em toda América do Sul, sendo o Pantanal o bioma mais atingido, com 82% da sua área sendo afetada, seguido pela Mata Atlântica (55%), Cerrado (37%), Caatinga (16%) e Amazônia (9%).

Além disso, observa-se que há anos em que houve o aumento do total pluviométrico seguido por anos em que houve sua diminuição, marcando a variação interanual da precipitação, característica do bioma pantaneiro. Essa variação causa, desde inundações extremas, como a que

ocorreu em 1988, onde 95% da planície ficou alagada¹¹, até as secas severas, como as que foram acompanhadas nos últimos anos, que impedem a formação dos campos alagados e áreas pantanosas do Pantanal mato-grossense.

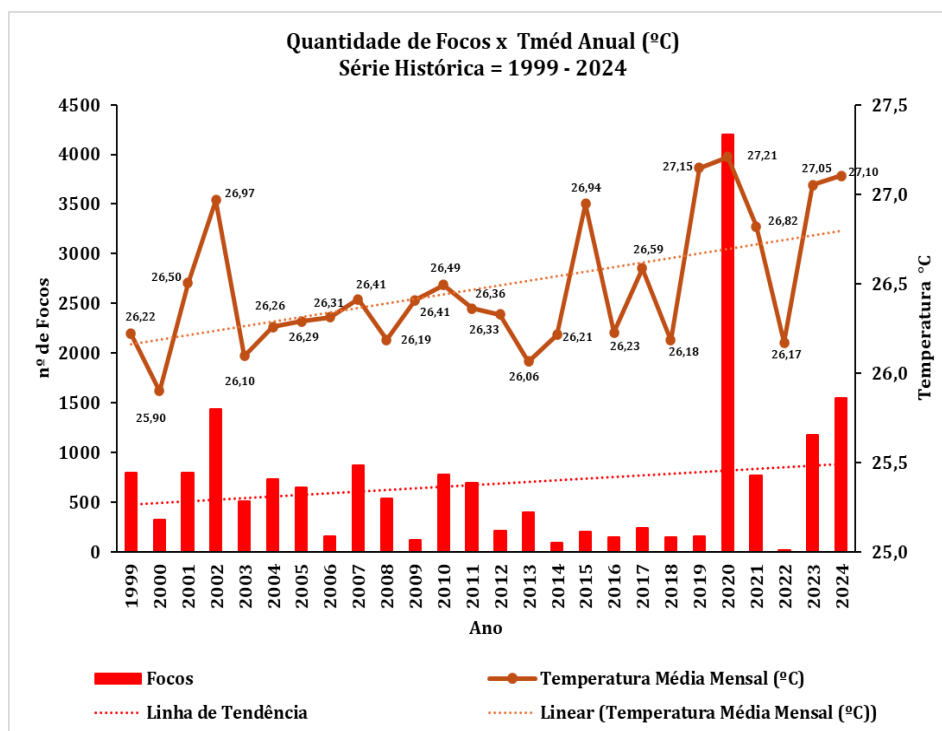
As maiores ocorrências de queimadas e incêndios no Pantanal aconteceram nos anos mais secos, devido ao aumento da inflamabilidade da biomassa em função da diminuição das precipitações (Nascimento; Senna, 2020). De acordo com Shimabukuro *et al.* (2023), a estiagem prolongada no pantanal, desde 2019, contribuiu para a criação de um ambiente mais seco com o material combustível disponível para queima. Esse material, que também é resultado do acúmulo de biomassa de outros anos, favoreceu o pico de ocorrência de incêndios no Pantanal em 2020. Além disso, a **Figura 20** demonstra uma tendência de redução da precipitação com o aumento dos focos de queimadas ao longo da série histórica.

A temperatura média do ar é, também, um dos atributos que mais influenciam na propagação das queimadas. Como é possível ver na figura abaixo, observa-se uma tendência de aumento da temperatura média com o aumento da ocorrência de queimadas na região desde o início da série histórica, com anos que tiveram recordes de temperatura para a região como 2002, 2015, 2019, 2023 e 2024, conforme indica a **Figura 21**.

A temperatura mais elevada é indicada como um dos atributos climáticos que atua para o agravamento das secas na sub-região, visto que favorecem o processo de evapotranspiração da água presente na vegetação.

¹¹ G1. **Maior enchente registrada no Pantanal, em Mato Grosso**, completa 25 anos. G1, 5 abr. 2013. Disponível em: <https://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2013/04/maior-enchente-registrada-no-pantanal-em-mato-grosso-completa-25-anos.html>. Acesso em: 14 maio 2025.

Figura 21. Gráfico do total de focos de queimadas e da média anual da Temperatura Média de 1999 a 2024.



Fonte: INPE (2025); ERA5 Ag (2025). Elaboração própria.

Temperaturas mais elevadas coincidem com precipitações abaixo da média histórica, indicando que anos secos foram, geralmente, mais associados às condições mais quentes (Geirinhas *et al.*, 2023). Como destacado por Vasconcelos *et al.* (2015), um clima quente e com baixa umidade favorece o processo de evapotranspiração da água presente na vegetação e no solo, aumentando a inflamabilidade desses sistemas, principalmente do fogo subterrâneo, muito presente no bioma do Pantanal, pois quanto maior a temperatura do ar, mais provável uma fonte de ignição resultar em queimada.

É dentro desse contexto que os picos de ocorrências de queimadas estão relacionados com temperaturas elevadas, como aconteceu em 2020, em que a temperatura média foi de 27,21°C, cerca de 0,73°C acima da média histórica. Ainda que esse aumento seja discreto, ele impactou diretamente na intensificação dos processos de evapotranspiração, o que aumentou a ocorrência de queimadas durante esse ano.

A condição de seca generalizada que afetou o Pantanal é ocasionado por 3 principais fatores que, de certa forma, se relacionam: o primeiro refere-se às mudanças climáticas, que se configura com uma das mais importantes ameaças para o Pantanal, com uma tendência de

aquecimento das águas superficiais do mar (TSM). O segundo diz respeito às ocorrências de ondas de calor marinhas mais intensas, resultantes do aquecimento anormal do Oceano Atlântico Norte e do Oceano Pacífico Nordeste. Por fim, a seca também está relacionada à redução no transporte de ar quente e úmido da Amazônia para o Pantanal, uma vez que o aquecimento do Atlântico Tropical Norte, o que impediu a formação de nuvens e reduziu a precipitação na Amazônia e no Pantanal (Thielen *et al.*, 2021).

Alguns estudos (Allasia Piccilli, 2007; Bergier, 2010; Marengo *et al.*, 2016; Thielen *et al.*, 2020 *apud* Marengo *et al.*, 2021) que discutem fenômenos meteorológicos em larga escala, como o El Niño e La Niña (ENSO), não encontraram fortes correlações entre esses fenômenos com o regime pluviométrico (Marengo *et al.*, 2021.). Os autores, que caracterizaram os fatores climáticos responsáveis pelas condições de seca sem precedentes na região do Pantanal a partir de uma combinação de informações climáticas, comentam que não há consistências entre anos de seca e a ocorrência de ENSO, embora quando associado sua ocorrência com outros fenômenos, como o aquecimento do Tropical Atlântico Norte e o Nordeste do Pacífico, a situação de seca se intensifica mais no Pantanal.

Os resultados obtidos apontam uma tendência à diminuição da precipitação e ao aumento das temperaturas médias na sub-região do Poconé, corroborando o estudo de Barnes *et al.* (2024), que indicou que a precipitação anual no Pantanal vem diminuindo ao longo das últimas 4 décadas, concomitante à elevação da temperatura.

Em certa medida, ainda que essas condições meteorológicas estejam influenciando na seca do Pantanal, não se pode esquecer que esses incêndios têm origem, muitas vezes, por ações antrópicas. O desmatamento, principalmente na região amazônica, pode ter aumentado o impacto desses fenômenos climáticos, aumentando os déficits de precipitação e influenciando na baixa umidade, visto que a Amazônia é central para a distribuição das chuvas no Brasil com os chamados “rios voadores”. Esses rios decorrem da evapotranspiração da floresta que garante o volume de chuvas e regula a umidade. Se a massa vegetal diminui, logo, há uma redução de precipitação em todo o país (Geirinhas *et al.*, 2023).

Contudo, a sub-região ter tido pico de ocorrência de queimadas em 2020 ocorreu no mesmo ano da fala do ex-ministro do Meio Ambiente, Ricardo Salles, que, se aproveitando do luto em torno das mortes ocasionadas pela pandemia do COVID-19, disse: “*Precisa ter um*

*esforço nosso aqui, enquanto estamos neste momento de tranquilidade no aspecto de cobertura de imprensa, porque só se fala de covid, e ir passando a boiada, e mudando todo o regramento (ambiental), e simplificando normas”*¹². Essa fala foi feita em uma reunião ministerial, em abril de 2020, conforme vídeo divulgado por decisão do Supremo Tribunal Federal (STF), demonstrando o momento de desmonte das estruturas de proteção socioambiental, com a desregulamentação e flexibilização das leis ambientais. No mesmo momento, ele entrega a proteção da Amazônia para o exército brasileiro. Esse fato coincide com uma diminuição dos autos de infração por crimes contra a flora nos nove estados da Amazônia Legal em um ano, sendo o nível mais baixo das últimas duas décadas (Observatório do Clima, 2021).

No mesmo ano, em setembro, Jair Bolsonaro declarou na ONU que quem provoca as queimadas é “o caboclo e o índio” (Observatório do Clima, 2021). No primeiro momento, Bolsonaro e seus ministros agiram negando o problema, destacando que os incêndios e queimadas ocorreram 90% em pastagem e, depois, culpabilizando as pessoas que são mais impactadas.

Em 2020, o estado do Mato Grosso concentrou 16% do desmatamento, o segundo maior valor depois do Acre, que concentrou 47%. O portal Terra Brasilis, que faz o cruzamento de dados de queimadas com área de desmatamento nos biomas brasileiros, mostrou que o Pantanal como um todo, dos focos registrados em 2020, cerca de 2.278 foram em área de desmatamento consolidado e 674 foram em áreas de desmatamento recente. O fogo do desmatamento, como comentado por Aragão *et al.*, (2020), quando aliado à vegetação lenhosa disponível e um clima mais seco e quente, espalha-se de forma descontrolada pela paisagem. Esse processo resulta em megaincêndios, como os de 2020, e contribui para a fragmentação da paisagem.

Portanto, as declarações emitidas pelo ex-presidente Bolsonaro e seus ministros mostram o descaso do governo em relação ao meio ambiente, principalmente em um momento crítico em que as condições climáticas apontavam para o que seria um dos piores anos para o Pantanal em relação à seca e ao nível de queimadas. Felizmente, as muitas tentativas de passar a boiada, não somente no Pantanal, mas em boa parte dos biomas brasileiros, encontraram muita resistência, impedindo que a situação fosse pior.

¹² SHALDERS, A. *Passando a boiada: 5 momentos nos quais Ricardo Salles afrouxou regras ambientais*. BBC News Brasil, Brasília, 1 out. 2020. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-54364652>. Acesso em: 28 maio 2025.

4.3 Uso e cobertura do Solo

As transformações do uso e cobertura da terra é uma das expressões espaciais das relações sociais no território, uma vez que as conversões de áreas naturais são feitas para atividades antrópicas, seja para pastagem, para mineração ou para expansão das zonas urbanas nos diferentes municípios. Ela envolve o conjunto de informações referentes à classificação de áreas, definidas a partir da caracterização e detalhamento de cada porção de terra voltados para a representação e análise da dinâmica do território em termos dos processos de ocupação e cobertura do território (IBGE, 2025).

Aqui o termo “uso” refere-se à função socioeconômica que cada sociedade atribui àquela porção do território, como pastagem, mineração, área urbana etc., já a cobertura refere-se à toda camada física que recobre o solo, isto é, cobertura vegetal, nativa ou exótica, construções humanas, rios etc.

A partir dos dados da coleção 9 do Mapbiomas, foi possível identificar e obter as áreas de 13 classes de uso e cobertura do solo que ocorrem na sub-região do Poconé. As cores para a representação na legenda seguem o mesmo padrão do Mapbiomas, com exceção da Formação Campestre e Silvicultura, cuja cores foram trocadas para dar mais destaque para a primeira. Ressalta-se que a comparação com o ano de 2024, tanto de sua transformação como a quantidade de focos por classe neste ano, não será possível, tendo em vista que a coleção 9 se estende até 2023.

Além disso, devido à discrepância no tamanho das áreas entre as classes, optou-se por dividir a informação em dois gráficos, com a intenção de facilitar a visualização das transformações de cada uso e cobertura do solo ao longo do tempo. Essa separação permitiu analisar a distribuição de focos de queimadas entre elas, destacando as classes mais suscetíveis ao fogo.

Sendo assim, a **Figura 22** reflete a área de uso e cobertura do solo daquelas classes que apresentaram dimensão superior a 20.000 ha na sub-região, sendo elas: Campos Alagados e Áreas Pantanosa, Formação Campestre, Formação Florestal, Pastagem e Rios e Lagos. Por outro lado, a **Figura 23** mostra a mesma informação de áreas, mas daquelas classes cujo tamanho não ultrapassou 200 ha, sendo elas Mineração, Mosaico de Usos, Lavouras Temporárias e Outras Áreas não Vegetadas.

Trata-se de uma forma encontrada para representar as mudanças de uso e cobertura daquelas classes que ocupam menor área, evitando que elas sejam “apagadas” dentro de um único

gráfico por aquelas que são maiores. No entanto, chama-se atenção para a escala na representação gráfica. Por exemplo, ainda que a classe de “Outras Lavouras Temporárias” tenha apresentado um pico expressivo de aumento de área em 2013, o valor numérico não se aproxima dos valores das classes exibidas no **Figura 22**, ainda que represente um crescimento.

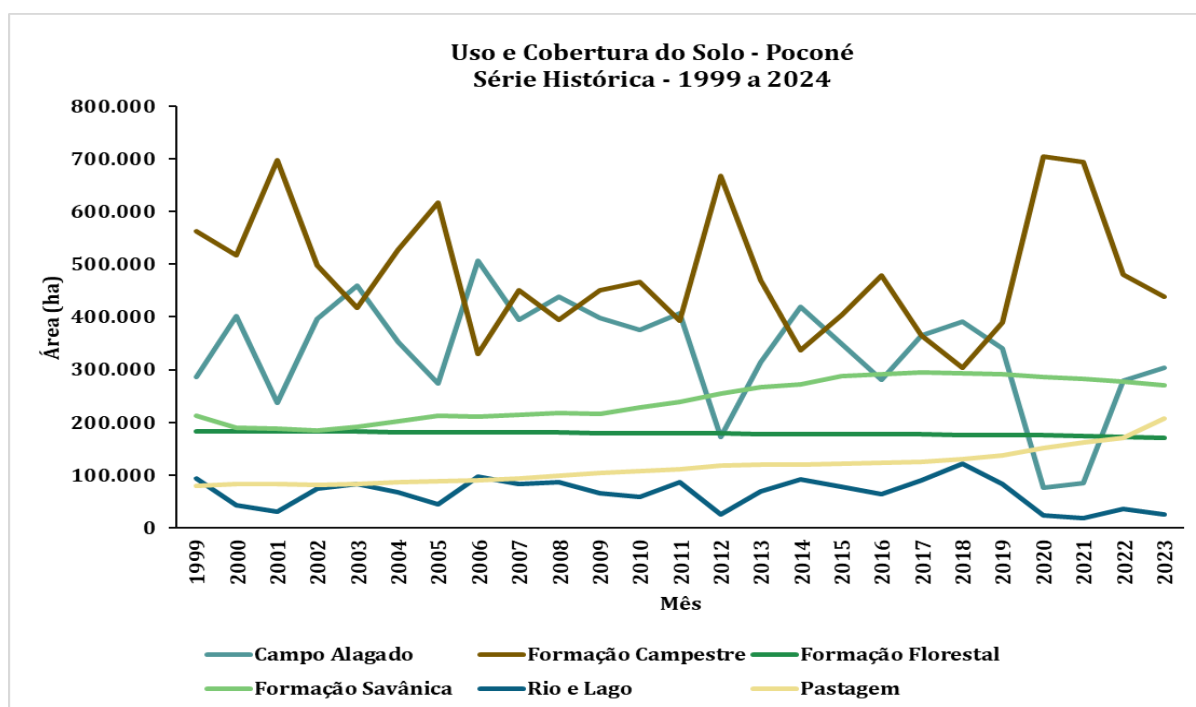
Assim, o **ANEXO H** mostra numericamente os dados brutos utilizados, evidenciando a predominância da Formação Campestre, com uma média anual de 480.000 ha, seguida pelos Campos Alagados, com área de 331.930 ha, a Formação Savânica, com 243.005 ha e a Formação Florestal, com 178.618 ha. É interessante observar que as classes de vegetação nativa correspondem a 87% da cobertura total da sub-região.

Salienta-se a presença de 6 áreas protegidas que se distribuem por toda sub-região do Poconé, sendo as principais o Parque Estadual Encontro das Águas, localizado a sudeste, a Estação Ecológica de Taimã, a oeste, Estrada Parque Poconé-Cercado a norte e a Estrada Parque Transpantaneira, que atravessa a sub-região de norte a sul, conectando a cidade de Poconé (MT) ao distrito de Porto Jofre, na divisa com o Mato Grosso do Sul, sendo as duas estradas áreas de uso sustentável. Além disso, destaca-se a presença de duas Reservas Particular do Patrimônio Natural, a primeira é a Reserva Jubran, localizada na divisa com a estação ecológica e a segunda é Fazenda Estância Dorochê, ao sul da sub-região do Poconé. Essas Unidades de Conservação servem para proteger e conservar a biodiversidade contra o avanço do desmatamento na sub-região.

Por outro lado, dentre os diferentes usos do solo, a atividade antrópica que mais se destaca é a Pastagem, com uma média anual de área de 115.001 ha, seguida por Lavouras Temporárias, com 56 ha, Mineração, com 24,11 ha e Silvicultura, com 19 ha.

Dessa forma, a **Figura 22**, mostra de forma ilustrativa o pulso monomodal de inundação, uma característica marcante do Pantanal responsável pelo transbordamento dos seus principais rios no final da fase chuvosa, resultando no alagamento da planície pantaneira e formando os chamados “campos alagados”. O fenômeno ao contrário ocorre durante os anos mais secos, quando a biomassa vegetal vigorosa, acumulada no período de chuvas, fica disponível durante a fase terrestre do pulso, sendo representada pelas formações campestres. Compreende-se que o pulso monomodal corresponde à variação inter e intranual entre as fases úmida e seca do Pantanal, o que explica esse “espelhamento” das áreas ocupadas pelas classes de Formação Campestre e Campo Alagado.

Figura 22. Gráfico da evolução das classes de uso e cobertura do solo que ocupam maior área na sub-região do Poconé.



Fonte: Mapbiomas (2025). Elaboração própria.

Desta forma, as formações campestres tornam-se extensas na medida em que os campos alagados diminuem, ocorrendo o inverso durante os anos mais úmido. A formação campestre alcançou o seu máximo de área em 2020, mesmo período em que houve os menores volumes de precipitação e, em consequência disso, menor dimensão das áreas de campos alagados. No entanto, ainda que seja o tipo de formação mais predominante na região, do início da série histórica até 2023, as formações campestres vêm sendo reduzidas para o uso antrópico, principalmente convertidas para pastagem.

No que se refere às formações savânicas, seu aumento durante a série histórica pode estar relacionado aos anos de seca. De acordo com Ribeiro *et al.* (2024) <https://shs.hal.science/halshs-04864234v1/document> - :~:text=Esse%20ecossistema%20est%C3%A1%20sob%20um%20pulso%20de,pico%20das%20chuvas%20(Ivory%20et%20al.%2C%202019), que analisaram a variabilidade espaço-temporal das dinâmicas das formações florestal e savânica no Pantanal, há um avanço da formação savânica sobre as de classes formação campestre e campo alagado, indicando que o aumento da ocorrência de espécies de plantas lenhosas está, possivelmente, associado à colonização das áreas inundadas sazonalmente do Pantanal durante os anos de mais secos (Ivory, *et al.*, 2019).

Ribeiro *et al.* (2024) destacam ainda que esse aumento pode, também, estar relacionado a erros de omissão e sobreprevisão, isto é, quando um modelo prevê uma localidade adequada para espécies de determinada formação, mas não há registro dela no seu conjunto de pontos para a sua validação, podendo contribuir para uma superestimação da área savânica (Dalapicolla, 2016).

A formação florestal, associadas aos capões e cordilheiras, são caracterizadas como “ilhas arbóreas”, onde a elevação pode atingir até três metros de altura em relação à planície de inundação (Andrade *et al.*, 2022). Essa , sugerindo uma mudança da sua área destinadas às outras classes, seja uma savanização das formações florestais devido ao aumento do período seco ou sua conversão para outros usos do solo.

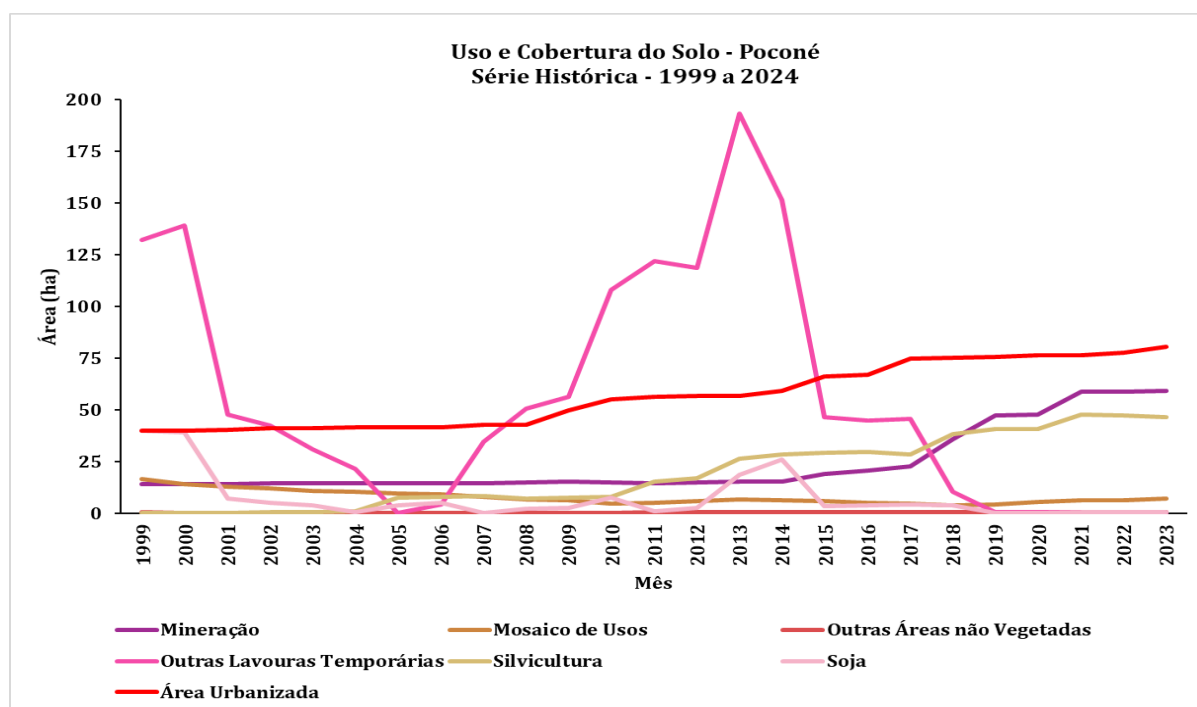
Analisando a classe de pastagem, observa-se que ela vem aumentando ao longo da série histórica. No período inicial, em 1999, sua área era de 79.042 ha, enquanto em 2023, esse valor chegou a 207.504 ha. Isso significa um aumento de 162,53% em relação ao período inicial, o que representa um incremento de 128.461 ha. Esses números evidenciam um processo de expansão das áreas destinadas às atividades de pastagem. Esse processo está relacionado à conversão de uso do solo, desde áreas destinadas à agricultura até as áreas de vegetação nativa, para áreas de pastagem com potenciais efeitos sobre a dinâmica da paisagem na sub-região.

Observando a **Figura 23**, nota-se um pico no aumento da área da classe de “outras lavouras temporárias”, em 2013, chegando a 193 ha após uma diminuição em 2005. É importante destacar que o Mapbiomas entende essa classe como toda área destinada para cultivo temporário que não encaixam nas principais categorias agrícolas, tais como: soja, cana, arroz e algodão. Pós 2013, essa classe passou por uma diminuição da sua área, atingindo menos de 1 ha a partir de 2019. Destaca-se que algumas áreas dessa classe, em anos seguintes, passaram a ser enquadradas como “Pastagem”.

No entanto, para além do pico das lavouras temporárias, as áreas destinadas à mineração foi uma das classes que mais apresentou aumento contínuo desde 1999, com 14,14 ha inicialmente e terminando a série histórica com 56,16 ha. Embora esteja ocupando uma área menor em relação às outras, a mineração apresentou um aumento de 318,4% em relação ao período inicial, com uma variação positiva de 45 ha (**ANEXO H**). Esse aumento se dá em função da exploração de minério de ouro, uma das atividades econômicas mais presentes na sub-região. Diferentemente do ouro aluvionar, a extração é realizada em minas a céu aberto e o minério de ouro ocorre em um circuito fechado, com os resíduos armazenados em barragens (Lopes; Leão,

2024).

Figura 23. Gráfico da evolução das classes de uso e cobertura do solo que ocupam menor área na sub-região do Poconé.

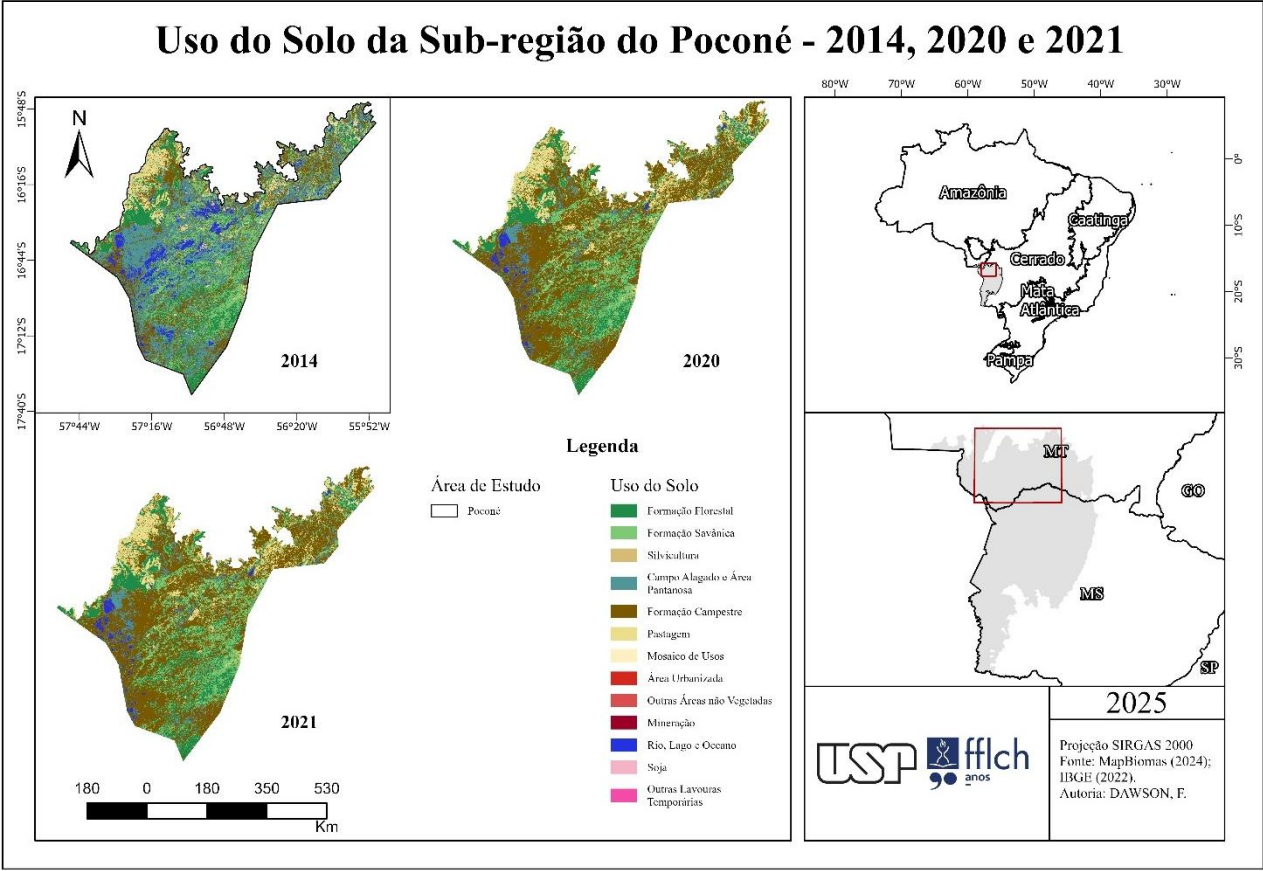


Fonte: Mapbiomas (2025). Elaboração própria.

Também é possível notar um aumento contínuo das áreas urbanas. Esse aumento pode ser explicado pela exploração de minério de ouro e pela expansão infraestruturas nas proximidades dos centros urbanos.

Para analisar a espacialização dessas classes (**Figura 24**), foram escolhidas as imagens referentes aos anos de 2014, 2020 e 2021. A escolha desses anos justifica-se pelo motivo de 2014 ter apresentado os maiores volumes de precipitação dentro da série histórica, 2020 os menores volumes e 2021 por possibilitar a verificação das mudanças e transformações ocorridas após o pico de queimadas de 2020.

Figura 24. Mapa da de uso e cobertura do solo da sub-região do Poconé para os anos de 2014, 2020 e 2021.



Fonte: Mapbiomas (2025). Elaboração própria.

É visível, espacialmente, os fenômenos do pulso de inundação, conforme comentado anteriormente. Como 2014 apresentou os maiores valores de precipitação, observa-se a expansão das áreas de campos alagados nesse ano, ultrapassando 400.000 ha. Em anos mais chuvosos, essas áreas tendem a se ampliar, ocupando regiões anteriormente classificadas, majoritariamente, como formação campestre. Já em anos mais secos, como em 2020, observa-se uma redução dos campos alagados, que passam a ser substituídos por vegetação campestre, ampliando, assim, as áreas mais propensas a queimadas.

A comparação espacial entre 2014 e 2020 revela os impactos da variação hidrológicas do Pantanal, mostrando uma redução de 343.515 ha nos campos alagados, sendo esse fenômeno fundamental para a dinâmica da ecológica e paisagística do Pantanal.

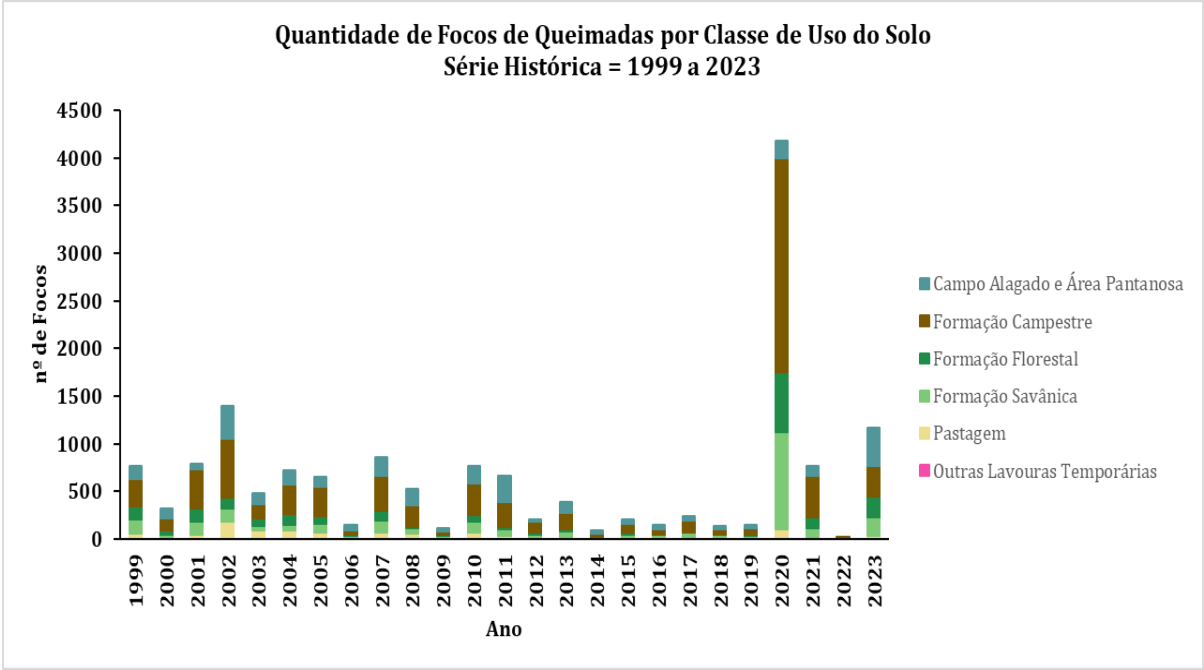
Em relação às áreas de pastagem, percebe-se que sua concentração se dá, sobretudo, na parte norte da sub-região. Analisando os períodos entre 2014 e 2020, há o aumento das áreas de pastagem na área central e, em 2021, esse aumento ocorreu na parte noroeste do bioma, bem

próximo dos centros urbanos e das áreas de planalto. Segundo o estudo do Mapbiomas, o principal uso antrópico do planalto é a pastagem, que responde por 77% do total ou mais de 11,4 milhões de hectares (Mapbiomas, 2024).

Entende-se que a analisar a mudança de uso e cobertura do solo é essencial para determinar quais classes foram mais atingidas pelo fogo durante a série histórica. Neste sentido, observando a **Figura 25** das classes presentes na sub-região do Poconé, somente 6 apresentaram a ocorrência de algum foco de queimada, sendo elas: Campos Alagados, Formação Campestre, Formação Florestal, Formação Savânica, Pastagem e Outras Lavouras Temporárias.

As áreas que mais apresentaram focos de queimadas foram as áreas naturais, principalmente as formações campestres que ao longo da série histórica, concentraram cerca de 7.189 queimadas, o que corresponde a 45% do total de focos registrados. Parte da explicação delas concentrarem boa parte dos focos queimadas é por serem o tipo de formação mais presente no território (Mapbiomas, 2024).

Figura 25. Gráfico do total de focos de queimadas anual por classe de uso e cobertura do solo de 1999 a 2024.



Fonte: Mapbiomas (2025). Elaboração própria.

Em 2020, essa formação foi responsável por concentrar mais de 50% ocorrências de queimadas, com 2.247 focos. Durante as estações de seca, a matéria orgânica das formações

campestres, oriundas do crescimento e do acúmulo durante a estação chuvosa, fica disponível para a queima, como mostrado na **Figura 22**, em que houve uma expansão das áreas campestres em 2020, sendo um dos motivos que levaram a ocorrência de fogo nessa formação. Esse número elevado, com uma média anual de 280 focos, demonstra que os campos são mais propensos a queimar, estando de acordo com Ferreira Neto *et al.* (2024).

Ainda que essa classe seja mais suscetível à queimada, ressalta-se que a capacidade de sobrevivência ao fogo de determinados organismos depende das suas características ambientais, anatômicas, fisiológicas e comportamentais em relação ao pré e pós fogo (Medeiros; Miranda, 2005). Esse número elevado demonstra que as vegetações do pantanal, principalmente as formações campestres, possuem estratégias adaptativas ao fogo e à inundação, por isso que uma área queimada em determinado ano se regenera rapidamente no outro quando refere-se ao ambiente pantaneiro, embora o aumento da frequência e a intensidade das queimadas estejam superando a sua capacidade de recuperação natural (Ferreira Neto *et al.*, 2024)

Já a segunda classe que mais apresentou focos de queimadas foram os Campos Alagados e Áreas Pantanosas, com 2.999 do total de focos registrados na série histórica, isso corresponde a 19%. O ano que mais concentrou focos de queimadas nesta classe foi o ano de 2011, com 269 registros, ultrapassando a formação savânica para o mesmo ano. Silva (2021) destaca que a queimada em zonas úmidas é um fenômeno de dois eventos extremos ocorrendo simultaneamente, o fogo e a inundação, ambos afetando fortemente a vegetação nestes locais. Ela destaca que o fogo não é fatal para todas as espécies nessas regiões, mas que a compreensão dos efeitos dele nessas áreas ainda precisa ser dimensionada pela ciência.

Outra classe que apresentou uma elevada concentração de queimadas foram as formações savânicas, com 2.581 registros, o que corresponde a 16% do total. O ano que mais ocorreu focos de queimadas nessa classe foi, também, 2020. Ao contrário de formações florestais, como mata de galerias, as cordilheiras etc., as formações savânicas caracterizada pelo predomínio de árvores com formação de dossel, também apresentam adaptações morfológicas que lhe garantem resistência aos efeitos imediatos ao fogo, como a proteção térmica contra temperaturas elevadas e maior investimento de biomassa de raízes, o que lhe permite disponibilidade de carboidratos nas raízes para rebrota (Silva, 2018). No entanto, trata-se de adaptações evolutivas da formação vegetal ao fogo, mas quando se refere à intensificação das queimadas na atualidade, os impactos incluem, tanto para as formações savânicas como as formações campestres, perda de espécies,

inclusive aquelas endêmicas, invasão de espécies exóticas e mudanças na estrutura da fitofisionomia (Silva, 2018).

As pastagens e as lavouras temporárias são a classe de uso do solo que menos apresentaram focos de queimadas, com 1.127 e 3, respectivamente. O fogo em pastagem é uma prática comum pois apresenta baixo custo e fácil aplicação (Costa, 2008) e está relacionado à limpeza da área para renovação da pastagem, ou seja, visando aumentar a oferta de forragens para os animais. No entanto, as queimadas nas áreas de pastagem impacta em maiores teores e saturação de Alumínio, e, portanto, uma maior acidez potencial do solo, impactando na contaminação dele (Jacques, 2003).

Por fim, Silva (2018) destaca que os efeitos do fogo sobre ecossistemas ainda são um desafio para a ciência e que podem se tornar mais difíceis no futuro devido ao aumento da frequência e da intensidade do fogo frente às mudanças climáticas e alterações no uso e cobertura do solo. Embora o Pantanal seja um bioma que necessite do fogo, às condições de seca e temperaturas elevadas aliadas às ações antrópicas, tem intensificado os eventos de queimadas, o que leva à incerteza da adaptabilidade de certas espécies ao atual regime de fogo (Silva, 2018)

4.4 Correlações estatísticas - Precipitação, Temperatura e Uso e Cobertura do Solo

Conforme **Tabela 3**, é possível observar que, em relação à temperatura média, a correlação foi positiva moderada para os focos mensais e anuais, apresentando valores de 0,53 e 0,56, respectivamente. Esses resultados sugerem que o aumento da temperatura está associado a maiores ocorrências de focos de queimadas na sub-região do Poconé. Além disso, os valores obtidos nesta pesquisa são maiores aos encontrados Soriano, Daniel e Santos (2015), que destacam uma correlação moderada positiva de 0,44.

Tabela 3. Correlação linear de Pearson (r) e coeficiente de determinação (R^2) entre o número de focos de calor (mensal e anual) e os atributos do clima (mensal e anual).

Atributo do Clima	Focos Mensais		Focos Anuais	
	r	r^2	r	r^2
Temperatura Média	0,53	0,28	0,56	0,32
Precipitação	-0,37	0,14	-0,61	0,37

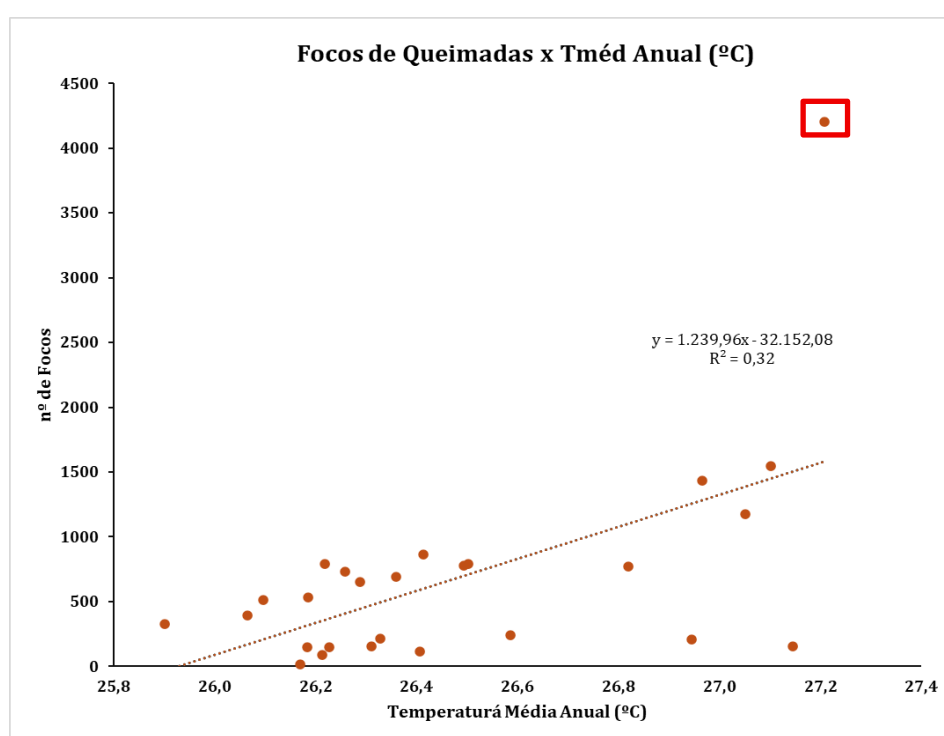
Fonte: CHIRPS (2025); ERA5 Ag (2025); INPE (2025). Elaboração própria.

O resultado dessa pesquisa confirma uma relação entre o aumento dos focos e

temperaturas mais elevadas, sejam em anos ou em estações mais quentes, visto que com o aumento da temperatura, maior é o processo de evapotranspiração da vegetação que, associada à falta de chuvas, podem levar à vegetação mais seca e propícia ao fogo.

A **Figura 26** mostra isso de forma ilustrativa, indicando que mesmo sendo uma relação moderada, o aumento dos focos de queimada está associado com o aumento da temperatura média anual.

Figura 26. Correlação anual entre o número de focos de calor e a temperatura média com destaque em vermelho (2020) para o outlier.



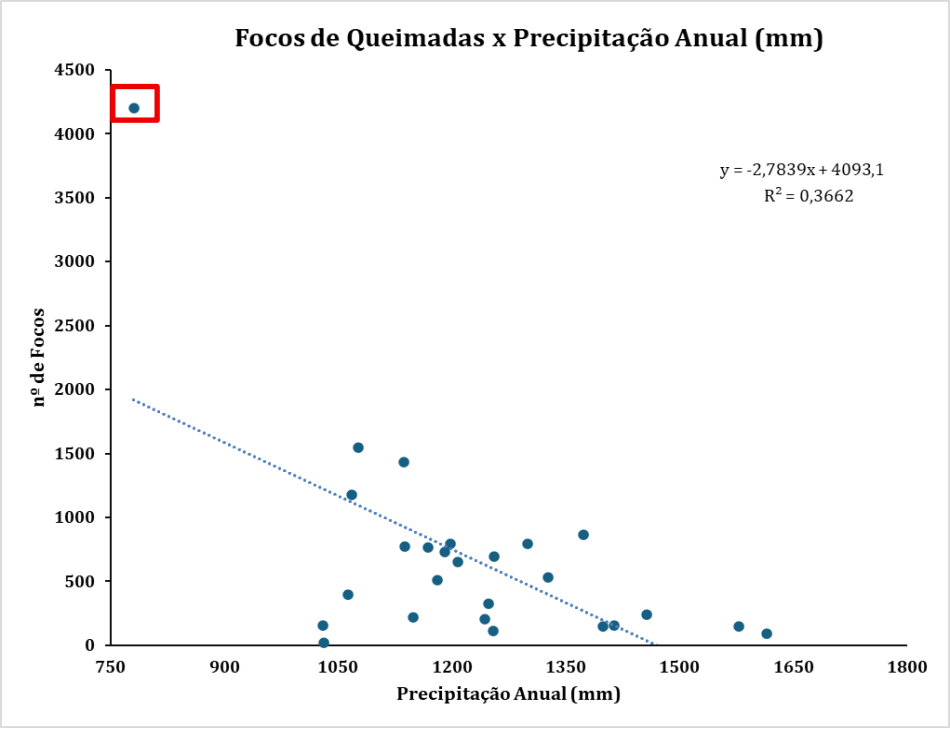
Fonte: INPE (2025); ERA5 Ag (2025). Elaboração própria.

Já os valores encontrados para a precipitação, indicam uma correlação negativa linear para ambos os casos, mas com uma correlação mais fraca para os focos mensais, com 0,37, sugerindo que o aumento da ocorrência de queimadas nos meses da estação da seca pode estar associado à diminuição da precipitação. O estudo feito por Soriano, Daniel e Santos (2015) também apresentou uma baixa correlação, com o valor atingindo -0,25.

A correlação entre a precipitação e o total anual de focos de queimadas também está representada na **Figura 27**. O valor de -0,61 mostra uma correlação negativa moderada entre as variáveis, indicando que o aumento de incidência de queimadas está associado com a diminuição

da precipitação.

Figura 27. Correlação anual entre o número de focos de calor e a precipitação acumulado com destaque para o outlier (2020) em vermelho



Fonte: INPE (2025); CHIRPS (2025). Elaboração própria.

No entanto, observa-se a presença de um outlier, tanto na temperatura quanto na precipitação anual. A presença de valores extremos pode distorcer o coeficiente de correlação de Pearson, pois essa medida é sensível a pontos que se afastam significativamente da tendência central do conjunto de dados. Isso acontece porque esses valores tendem a distorcer o valor da média dos dados.

Esse fato decorre do ano de 2020, por sua magnitude ser caracterizado como um evento extremo. Por esse motivo, caso esse dado fosse eliminado da análise, nota-se que continuaria existindo uma correlação positiva e linear para a temperatura e negativa e linear para a precipitação, sendo a diferença a sua magnitude, conforme **Tabela 4**:

Tabela 4. Correlação linear de Pearson (r) e coeficiente de determinação (R^2) entre o número de focos de calor anual e os atributos do clima anual sem o ano de 2020.

Atributo do Clima	Focos Anuais	
	r	r^2
Temperatura Média	0,49	0,24
Precipitação	-0,39	0,15

Fonte: CHIRPS (2025); ERA5 Ag (2025); INPE (2025). Elaboração própria.

De forma geral, Soriano, Daniel e Santos (2015) dizem que a baixa correlação entre a precipitação e o número de focos de queimadas não implica que a chuva não tenha um papel central na ocorrência das queimadas durante o período da seca. A chuva age como um “extintor” do fogo, sendo capaz de extinguir algumas queimadas, visto que o aumento de queimadas na estação seca está relacionado pela ausência de chuvas, condição mais propícia para a ocorrência de incêndios (Libonati *et al.*, 2015)

Embora não tenha utilizado essas variáveis no presente estudo, os resultados de Soriano, Daniel e Santos (2015) apontaram para uma correlação mais forte entre os focos de queimadas e velocidade do vento e a umidade relativa do ar, com valores de $r = 0,79$ e $-0,69$, respectivamente.

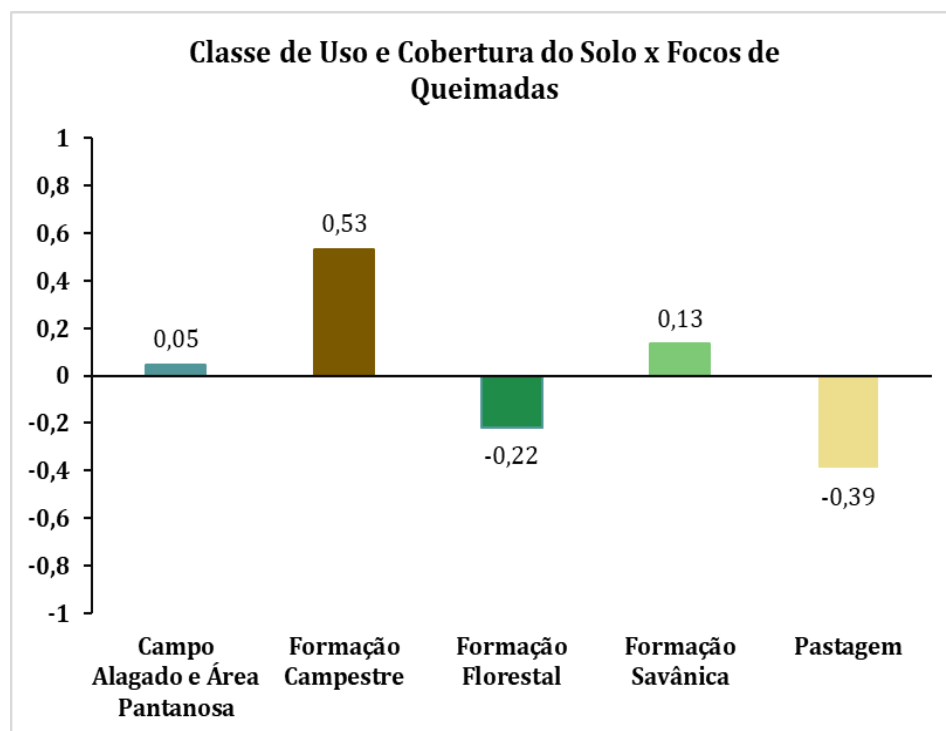
No que se refere ao uso e cobertura do solo, a Correlação de Pearson (r) foi calculada para cada utilizando o pacote “tidyverse” do R, no programa Rstúdio. Portanto, a **Figura 28** apresenta a correlação entre os focos de queimadas registrados e a área ocupada por diferentes classes de uso e cobertura do solo da sub-região do Poconé.

Nota-se que a correlação entre a Formação Campestre e a incidência de queimadas na área foi positiva e moderada, alcançado um valor de 0,53. Isso sugere que essas formações estão mais associadas às ocorrências de queimadas. A explicação está, por um lado, na maior área ocupada por essa classe, o que aumenta a ocorrência de focos e, por outro, na propensão dessa área em queimar devido à quantidade de material lenhoso seco disponível em período de estiagem (Pott *et al.*, 2011). Além disso, destaca que as formações campestres (mais abertas) apresentam uma vegetação mais esparsa, isso associado à maior velocidade do vento, maior temperatura do ar e menor umidade do ar, favorece a propagação do fogo.

As formações savânicas apresentara uma correlação positiva e fraca, com 0,13. Isso sugere que suas áreas, assim como a formação campestre, estão associadas a uma maior

ocorrência de queimadas devido sua formação mais lenhosa, consumo de combustível fino e fator de combustão (acúmulo de biomassa) (Silva, 2018).

Figura 28. Correlação anual entre o número de focos de calor e as classes de uso e cobertura do solo.



Fonte: Mapbiomas (2025); INPE (2025). Elaboração própria.

Chama-se atenção para a correlação muito fraca e negativa dos Campos Alagados e Áreas Pantanosas, ou seja, devido às características úmidas desses ambientes há pouca associação com focos de queimadas, embora tenha sido a segunda classe que mais apresentou ocorrência de queimadas. Isso sugere que a compreensão dos efeitos do fogo nessas áreas ainda precisa ser dimensionada.

Por outro lado, as Formações Florestais apresentaram uma correlação fraca e negativa (-0,22), sugerindo que esta classe está menos suscetível ao fogo, tendo em vista que sua vegetação apresenta menores valores de gramíneas altamente inflamáveis, maior teor de umidade do material e do solo, o que dificulta a propagação do fogo (Silva, 2018).

Em relação à Pastagem, sua correlação negativa e moderada (-0,39) sugere que maiores áreas de pastagem estão associadas à redução das ocorrências de queimada. No entanto, ressalta-se que isso não é algo positivo, visto que nestas áreas há maiores práticas de manejo, onde a

vegetação nativa é substituída por espécies exóticas de difícil combustão, além da presença de infraestrutura, como aceiros, que dificultam a propagação do fogo.

De modo geral, os resultados obtidos mostram que os atributos climáticos no Pantanal, em especial na sub-região Poconé, não podem ser compreendidos isoladamente ao se considerar o aumento da incidência de queimadas na região. As condições climáticas, principalmente a redução da precipitação e o aumento da temperatura, criam ambientes favoráveis ao processo de combustão da biomassa acumulada ao longo do período úmido. No entanto, a origem dessas queimadas não pode ser atribuída exclusivamente às causas naturais, sendo essencial o reconhecimento de outras variáveis que influenciam na dinâmica do fogo, como ações antrópicas na mudança do uso e cobertura do solo e manejo de pastagem.

5. CONCLUSÃO

O Pantanal, sendo um ecossistema complexo composto por um mosaico de paisagens, pode ser compreendido como a maior planície alagável contínua do mundo, abrigando uma das áreas mais ricas em biodiversidade do planeta, com registros de cerca de 3.500 espécies de plantas, 325 peixes, 53 anfíbios, 98 répteis, 656 aves e 159 mamíferos. Além disso, é uma área de importância histórico-cultural, que sustenta o modo de vida de muitos povos que vivem entre os campos e as savanas da região, entre as secas e as inundações, moldando-se às sazonalidades que estruturam a base de sua relação com aquele ambiente.

Por esse motivo, a proteção e conservação desse bioma, cuja principal característica ecológica é o pulso de inundação, são fundamentais em um contexto de mudanças climáticas. Embora seu ecossistema, historicamente, seja adaptado aos regimes de seca, inundação e do fogo, ainda não se sabe ao certo qual a sua capacidade de resiliência e resistência a um regime de fogo e de seca tão intenso como nos últimos anos.

Foi neste contexto que esse trabalho buscou analisar a dinâmica temporal dos focos de queimadas na sub-região pantaneira do Poconé, relacionando-os com os atributos do clima e as classes de uso e cobertura do solo de 1999 a 2024. Identificou-se que as queimadas e incêndios não podem ser compreendidos isoladamente, mas como uma interação complexa entre diferentes fatores (climáticos, orográficos, vegetacionais e antrópicos) que condicionam a intensidade e o comportamento do fogo no bioma.

Além disso, o estudo mostrou uma correlação moderada, tanto anual quanto mensal, entre a intensificação dos focos de queimadas com temperaturas médias e precipitação. Verificou-se que em anos mais secos e quentes, como 2020 e 2024, houve um aumento da ocorrência de queimadas devido à maior disponibilidade de biomassa seca.

A concentração de queimadas ocorreu principalmente no segundo semestre, na chamada “*Fire Season*”. O Balanço Hídrico Climatológico evidenciou que a deficiência hídrica, especialmente em setembro, se manifesta com um atraso de em relação aos menores valores de precipitação.

Em relação às classes de uso e cobertura do solo, as formações naturais não florestais, especialmente as formações campestres, foram aquelas que mais concentraram focos de

queimadas ao longo da série histórica. Esse padrão se explica tanto por possuírem maiores extensões dentro da área de estudo, quanto por sua estrutura herbácea e lenhosa. Essa concentração indica que essas classes são mais suscetíveis à ocorrência de queimadas e, por isso, precisam ser vistas com mais atenção pelo poder público.

Destaca-se, ainda, que a origem desses focos de queimadas, em sua maioria, não pode ser atribuída a causas naturais, como a incidência de raios, mas sim por ações humanas, seja para o manejo de pasto ou para conversão de solo, que frequentemente fogem do controle e resultam em incêndios iguais aos de 2020.

Diante disso, é imprescindível que sejam criadas unidades de conservação para a proteção da biodiversidade frente à expansão do agronegócio, bem como o aprimoramento da Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo, acompanhada de políticas regionais que visem uma melhor promoção da eficiência na gestão das queimadas e incêndios. Algumas das ações estão previstas no Plano de Ação de Combate aos Incêndios no Pantanal, estruturando-se em 3 fases: prevenção, preparação e combate.

As ações de prevenção são tomadas com o objetivo de evitar a ocorrência dos incêndios ou diminuir sua severidade, como a queimada prescrita para se manejar a carga de combustível. No entanto, destaca-se a necessidade uma lei que se proíba as queimadas no bioma durante a *fire season*. Além disso, há a necessidade se planejar a realização de uma oficina para a capacitação de técnicos e gestores dos órgãos ambientais para emissão de autorização de licença de queimadas. A fase de preparação seria a organização das estruturas de pessoal, equipamentos e bases operacionais, como a contratação e treinamento de brigadistas. E as ações de combate devem ser organizadas voltadas para controlar e extinguir todos os focos de incêndio de forma organizada, segura e eficiente, incluindo o uso de sistemas para o monitoramento do fogo e a instalação de bases de operação de combate às queimadas.

Por fim, esse estudo demonstrou a vulnerabilidade desse ecossistema frente às mudanças climáticas que implicam condições extremas de seca. Portanto, espera-se que este estudo sirva de base para futuras pesquisas, contribuindo para inserir, no centro da discussão sobre as mudanças climáticas, a importância mundial desse ecossistema para milhares de seres vivos que dele dependem.

REFERÊNCIAS

AB' SABER, A. N. **O Pantanal Mato-grossense e a Teoria dos Refúgios. Revista Brasileira de Geografia**. IBGE. Ano 1, Nº 1 (Janeiro/março 1988). Rio de Janeiro, 1988, p. 9-57.

_____. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. 1. ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 1977.

AMARAL FILHO, Z.P. Solo do Pantanal Mato-Grossense. In: 1º Simpósio sobre Recursos Naturais e Sócio-Econômico do Pantanal, 1984, Corumbá. Embrapa, Brasília, p.91-96. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/15437675.pdf#page=85>. Acesso em: 21 jan. 2025.

ANDERSON, L. O.; SILVA, S.; MELO, A. W. F. Onde há fumaça, há fogo! **Cadernos de Saúde Pública**, v. 39, n. 8, e00103823, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-311XPT103823>. Acesso em: 20 out. 2024.

ANDRADE, B. S.; SILVA, M. H. S.; OLIVEIRA, A. K. M.; ALHO, C. J. R. Composição e estrutura vegetacional de formações florestais não inundáveis do Pantanal do Abobral, Mato Grosso do Sul. **Geosul**, Florianópolis, v. 37, n. 83, p. 229–259, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/83899/51801>. Acesso em: 30 maio 2025.

ARAGÃO, L. E. O. C.; SILVA JUNIOR, C. H. L.; ANDERSON, L. O. **O desafio do Brasil para conter o desmatamento e as queimadas na Amazônia durante a pandemia por COVID-19 em 2020: implicações ambientais, sociais e sua governança**. São José dos Campos, 2020. 34p. SEI/INPE: 01340.004481/2020- 96/5543324. DOI: 10.13140/RG.2.2.11908.76167/1. Disponível em: https://site-antigo.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/dematamento_fogo_covid19_aragao_et_al.pdf. Acesso em: 27 maio 2025.

BAZZO, J. *et al.* Aspectos geofísicos e ambientais do Pantanal da Nhecolândia. **Revista de Geografia**, UFPE, v. 29, n. 1, p. 141-161, 2012. Disponível em: www.ufpe.br/revistageografia. Acesso em: 28 de agosto de 2024.

BARATTO, J.; de BODAS TERASSI, P.M.; de BESSERA de LIMA, N.G.; GALVANI, E. Precipitation Anomalies and Trends Estimated via Satellite Rainfall Products in the Cananea–

Iguape Coastal System, Southeast Region of Brazil. **Climate** 2024, 12, 22. <https://doi.org/10.3390/cli12020022>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2225-1154/12/2/22>. Acesso em: 21 jan. 2025.

BARNES, C.; SANTOS, F. L. M.; LIBONATI, R.; KEEPING, T.; RODRIGUES, R.; ALVES, L. M.; SIVANU, S.; VAHLBERG, M.; ALCAYNA, T.; OTTO, F.; ZACHARIAH, M.; SINGH, R.; MUGGE, M.; BIEHL, J.; PETRYNA, A.; DIAS, M.; REIS, E.; UZQUIANO, S. **Hot, dry and windy conditions that drove devastating Pantanal wildfires 40% more intense due to climate change**. National Research University Higher School of Economics, 2024. Disponível em: <https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/113726/5/Scientific%20report%20-%20Brazil%20Wildfires.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2025.

BONI, P. V.; SILVA, M. H. S.; SAKUMA, M. Z.; HALL, C. F. Análise biogeográfica de cordilheiras sob pressão da pecuária no Pantanal do Abobral. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 23, n. 85, p. 20–41, fev. 2022. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/57257>. Acesso em: 23 jan. 2025. DOI: 10.14393/RCG238557257.

BRASIL. **Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo**. Brasília: Presidência da República, 2018. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/Projetos/PL/2018/msg774-dezembro2018.htm. Acesso em: 20 out. 2024.

BRASIL. Lei nº 14.944, de 31 de julho de 2024. **Institui a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo e altera as Leis nºs 7.735, de 22 de fevereiro de 1989; 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal); e 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (Lei dos Crimes Ambientais)**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 161, n. 146, p. 1, 1 ago. 2024. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-14944-31-julho-2024-796016-publicacaooriginal-172511-pl.html>. Acesso em: 01 jun. 2025

BRASIL. **Plano de ação para o manejo integrado do fogo no bioma Pantanal**. Brasília: IBAMA, Centro Prevfogo, 20 jun. 2023; atual. 14 maio 2025. Disponível em: https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/incendios-florestais-old/arquivos/planos_operativos/20230620_Plano_acao_Pantanal.pdf. Acesso em: 7 jun. 2025

CADAVID GARCIA, E. A. **O clima no Pantanal Mato-grossense**. Circular técnica n. 14. Corumbá, MS: Embrapa UEPAE de Corumbá; Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, jan. 1984. 42 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/787712/1/CT14.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2025.

COSTA, N. L. **Uso do fogo no manejo de pastagens**. *Agrolink*, 30 ago. 2008. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/uso-do-fogo-no-manejo-de-pastagens_385477.html. Acesso em: 02 jun. 2025.

CURADO, L. F. A.; MARQUES, J. B.; BARBOSA, T. A. S.; LIMA, A. M. S.; SILVA, H. J. A. Avaliação da variação mensal da temperatura, umidade relativa do ar e de evapotranspiração no Pantanal Mato-Grossense. **Revista Caderno Pedagógico**, Curitiba, v. 21, n. 8, p. 01–23, 2024. DOI: [10.54033/cadpedv21n8-236](https://doi.org/10.54033/cadpedv21n8-236). Acesso em: 02 jun. 2025.

DALAPICOLLA, J. **Tutorial de modelos de distribuição: guia teórico**. Vitória: Laboratório de Mastozoologia e Biogeografia, Universidade Federal do Espírito Santo, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312553609_TUTORIAL_DE_MODELOS_DE_DISTRIBUICAO_-_GUIA_TEORICO. Acesso em: 30 maio 2025.

DAMASCENO JUNIOR, G. A.; GUERRA, A.; PEREIRA, A. M. M.; BERLINCK, C. N.; OLIVEIRA, F. (orgs.). **Manejo integrado do fogo no Pantanal: um roteiro para o fogo bom**. 1. ed. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2020. 120 p. Disponível em: https://www.liana-anderson.org/uploads/3/1/0/6/31065047/manejo_integrado_do_fogo_no_Pantanal_-_um_roteiro_para_o_fogo_bom.pdf. Acesso em: 15 jan. 2025.

DANCEY, C.; REIDY, J. **Estatística Sem Matemática para Psicologia: Usando SPSS para Windows**. Porto Alegre, Artmed. 2026

DURIGAN, G. *et al.* **No net loss of species diversity after prescribed fires in the Brazilian savanna**. *Frontiers in Forests and Global Change*. 19 fev. 2020.

ESCOBAR, G. C. **Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS): critério de detecção para uso em centros operacionais de previsão de tempo**. Cachoeira Paulista: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2019. Disponível em: <http://mtc->

m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/01.07.12.08/doc/publicacao.pdf. Acesso em: 01 maio. 2025

FERNANDES, I. M.; SIGNOR, C. A.; PENHA, J. (Orgs.). (2010). **Biodiversidade no Pantanal de Poconé**. Cuiabá: Centro de Pesquisas do Pantanal. Disponível em <https://cppantanal.org.br/wp-content/uploads/2015/06/4.pdf>. Acesso em: 21 de jan. de 2025.

FERREIRA NETO, J. B.; TAVARES, K. S. R.; SILVA, R. H.; PEREIRA, G.; DAMASCENO JUNIOR, G. A. Compreendendo as dinâmicas ambientais em uma área protegida de regiões alagadas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 20., 2024, João Pessoa. **Anais**. João Pessoa: Editora Realize, 2024. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/sbgfa/2024/TRABALHO_COMPLETO_EV206_M_D1_ID1193_TB297_09092024233426.pdf. Acesso em: 02 jun. 2025.

FCBC – Fundación para la Conservación del Bosque Chiquitano; TNC – The Nature Conservancy. **Planificación ecorregional del Bosque Seco Chiquitano**. Santa Cruz de la Sierra: FCBC, 2021. Disponível em: <https://www.fcbc.org.bo/wp-content/uploads/2021/07/PlanificacionEcorregional.pdf>. Acesso em: 6 jun. 2025.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, Recife, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009.

GEIRINHAS, J.L.; RUSSO, A.C.; LIBONATI, R. Combined large-scale tropical and subtropical forcing on the severe 2019–2022 drought in South America. **npj Clim Atmos Sci** 6, 185. 2023. Pantanal. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41612-023-00510-3>. Acesso em: 31 maio. 2025.

HOMOBONO, J.; PALHARES, J. M. **Dinâmica espacial e temporal dos focos de calor em Tartarugalzinho/AP no período de 2001 a 2022**. *Ciência Geográfica*, Bauru, v. XXVIII, n. 2, p. 518-526, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.18817/26755122.28.2.2024.3867>. Acesso em: 20 out. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250 000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/15842-biomass.html?edicao=22737&t=publicacoes>. Acesso em: 28 ago. 2024.

_____. **Censo Demográfico 2022: resultados preliminares**. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em: 23 jan. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Perguntas frequentes – Programa Queimadas**. Disponível em: <https://terrabilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/faq/index.html>. Acesso em: 18 jan. 2025.

IVORY, S.; McGLUE, M.; SPERA, S.; SILA, A.; BERGIER, I. Vegetation, rainfall, and pulsing hydrology in the Pantanal: the world's largest tropical wetland. **Wetlands Ecology and Management**, v. 27, p. 1–13, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336734498_Vegetation_rainfall_and_pulsing_hydrology_in_the_Pantanal_the_world%27s_largest_tropical_wetland. Acesso em: 14 maio 2025.

JACQUES, A. V. A. A queima das pastagens naturais: efeitos sobre o solo e a vegetação. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 177–181, fev. 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782003000100030>. Acesso em: 18 jul. 2024.

LABORATÓRIO DE APLICAÇÕES DE SATÉLITES AMBIENTAIS. **Avaliação da situação do fogo no Pantanal - Junho 2024**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: https://oeco.org.br/wp-content/uploads/2024/06/NotaTecnica_06102024_LASAUFRJ_Pantanal_2024.pdf. Acesso em: 17 jan. 2025.

LIBONATI, R. **Mudança do clima intensificou em 40% incêndios no Pantanal em junho, mostra estudo**. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília, 2024. Entrevistador: MMA. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/noticias/mudanca-do-clima-intensificou-em-40-incendios-no-Pantanal-em-junho-mostra-estudo>. Acesso em: 19 jan. 2025.

LIBONATI, R.; GEIRINHAS, J., L.; SILVA, Patrícia S.; RUSSO, Ana; RODRIGUES, Julia A.; BELÉM, Liz B. C.; NOGUEIRA, Joana; ROQUE, Fabio O.; DACAMARA, Carlos C.; NUNES, Ana M. B.; MARENGO, José A.; TRIGO, Ricardo M. Assessing the role of compound drought and heatwave events on unprecedented 2020 wildfires in the Pantanal. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 1, p. 015005, 2022. DOI: [10.1088/1748-9326/ac462e](https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac462e).

LIBONATI, R. *et al.* An algorithm for burned area detection in the Brazilian Cerrado using 4 μ m MODIS imagery. **Journal Remote Sensing**, n. 7, p. 15782-15803, 2015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/7/11/15782>. Acesso em: 02 jun. 2025.

LIMA, Tatiane do Nascimento; FARIA, Rogério Rodrigues. **Ecótono Cerrado Pantanal: meio ambiente e história natural**. Campina Grande: Amplla, 2021. 235 p. DOI 10.51859/amplla.ecp672.1121-0. Disponível em: <https://ampllaeditora.com.br/books/2021/09/EcotoonoCerradoPantanal.pdf>. Acesso em: 1 set. 2024.

LOPES, A. F.; LEÃO, M. Análise de uma barragem tipo pond na região de Poconé/MT – estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA (COBRAMSEG), 2024. **Anais** [...]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/382593627_Analise_de_uma_Barragem_Tipo_Pond_na_Regiao_de_PoconeMT_-_Estudo_de_Caso. Acesso em: 1 jun. 2025.

MAPBIOMAS. **Redução de superfície de água no Pantanal favorece incêndios**. 12 nov. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2024/11/12/reducao-de-superficie-de-agua-no-pantanal-favorece-incendios/>. Acesso em: 02 jun. 2024.

MAPBIOMAS BRASIL. **Brasil teve 4,48 milhões de hectares queimados entre janeiro e junho deste ano**. MapBiomas Brasil, 12 jul. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2024/07/12/brasil-teve-448-milhoes-de-hectares-queimados-entre-janeiro-e-junho-deste-ano/>. Acesso em: 05 jan. 2025.

MAPBIOMAS BRASIL. **Nota técnica: Conservação da planície e do planalto na Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai (BAP)**. Brasília, DF: MapBiomas Brasil, 25 jan. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/01/Nota-Tecnica-BAP-25.01.24.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2025

MARENGO, J. A. *et al.* Extreme drought in the Brazilian Pantanal in 2019–2020: Characterization, causes, and impacts. **Water**, v. 13, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/water/articles/10.3389/frwa.2021.639204/full>. Acesso em: 01 jun. 2025.

MARTINS, G.; SETZER, A.; SANTA ROSA, A.; MORELLI, F.; ROSA, W. Climatologia dos focos de queimadas no estado do Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2019. p. 1771–1775. Disponível em: https://dataserver-coids.inpe.br/queimadas/queimadas/Publicacoes-Impacto/documentos/2019_Martins_etal_ClimatologiaFocosPA_XIXSBSR.pdf. Acesso em: 28 maio 2025.

MEDEIROS, M. B.; MIRANDA, H. S. Mortalidade pós-fogo em espécies lenhosas de campo sujo submetido a três queimadas prescritas anuais. *Acta Botanica Brasilica*, v. 19, n. 3, p. 493–500, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000300009>. Acesso em: 02 jun. 2025.

MENESES, B. M. C. S. **Influência de um fogo florestal na qualidade da água da Ribeira de São Domingos localizada na Região Oeste de Portugal. 2013.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/279957690_Influencia_de_um_fogo_florestal_na_qualidade_da_agua_da_Ribeira_de_Sao_Domingos_localizada_na_Regiao_Oeste_de_Portugal. Acesso em: 05 jan. 2025.

NASCIMENTO, G. C.; SENNA, M. C. A. A Influência de Eventos El Niño e La Niña na Avaliação dos Riscos de Ocorrência de Incêndios no Pará. **Anuário do Instituto de Geociências**. Rio de Janeiro, BR, 43(4), p. 189_201. 2020. doi: [10.11137/2020_4_189_201](https://doi.org/10.11137/2020_4_189_201). Acesso em: 30 maio. 2025.

NEVES, S. M. A. da S.; NUNES, M. C. M.; NEVES, R. J. Caracterização das condições climáticas de Cáceres/MT-Brasil, no período de 1971 a 2009: subsídio às atividades agropecuárias e turísticas municipais. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 55–68, jul./dez. 2011. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/16845/10255>. Acesso em: 3 jun. 2025.

NOVAIS, G.T. **Classificação climática aplicada ao bioma Cerrado.** Tese de doutorado apresentada ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.te.2019.2199>. Acesso em: 8 jun. 2025.

_____. A semiaridez do Pantanal brasileiro: o clima na bacia hidrográfica do Alto Rio Paraguai. In: GOMES, M. A. F. **Planejamento e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas**. Goiânia: Kelps, 2021. p. 506–521. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358393677_A_SEMIARIDEZ_DO_PANTANAL_BRASILEIRO_O_clima_na_bacia_hidrografica_do_Alto_Rio_Paraguai. Acesso em: 8 jun. 2025.

NOVAIS, G. T.; MACHADO, L. A. Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. **Revista Brasileira De Climatologia**, 32(19), 1–39. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55761/abclima.v32i19.16163>. Acesso em: 8 jun. 2025.

OC - OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Passando a boiada: O segundo ano de desmonte ambiental sob Jair Bolsonaro**. [S.l.]: OC, 2021. Disponível em: <https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2021/01/Passando-a-boiada-1.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2025.

OLIVEIRA, T. M. de. **Monitoramento dos focos de calor e do risco de incêndios florestais no município de Ituiutaba-MG. 2019**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia do Pontal, Universidade Federal de Uberlândia, Ituiutaba, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.652>. Acesso em: 20 out. 2024.

OLIVEIRA, O. F.; RIBEIRO NETO, A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SALGADO, S. R. T. Avaliação do emprego do ERA5/ECMWF e IMERG/NASA na análise do clima na bacia do rio Capibaribe, em Pernambuco. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, 24., 2021, Belo Horizonte. Anais [...]. Porto Alegre: ABRHidro, 2021. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/142/XXIV-SBRH0347-1-0-20210709-095217.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2025.

POTT, A.; OLIVEIRA, A. K. M.; DAMASCENO-JÚNIOR, G. A.; SILVA, J. S. V. Diversidade de plantas do Pantanal. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 71, n. 1 suppl, p. 265–273, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjb/a/grzWKGGCrDybRgnghTL3X3g/>. Acesso em: 2 jun. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE POCONÉ. Dados Econômicos. Poconé: Prefeitura Municipal, 2018. Disponível em: <https://www.pocone.mt.gov.br/Prefeitura/Dados-Economicos/>. Acesso em: 23 jan. 2025.

REBOITA, M. S.; PIMENTA, A. de P.; NATIVIDADE, U. A. Influência da inclinação do eixo de rotação da Terra na temperatura do ar global. **Terraè Didatic**, v. 11, n. 1, p. 67-77, 2015. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8640680/8235>. Acesso em: 26 maio 2025.

RABELO, A. P. C.; SOUZA, M. G. de (orgs.). **Bacia do Alto Paraguai: uma viagem no tempo**. Brasília, DF: Ministério Público do Estado de Mato Grosso, 2021. Disponível em: https://mpmt.mp.br/site/storage/webdisco/arquivos/Bacia%20do%20Alto%20Paraguai_Web.pdf. Acesso em: 7 jun. 2025.

RIBEIRO, U. M.; SILVA, M. H. S.; CORGNE, S.; ARVOR, D. Dinâmicas espaço-temporais das formações florestal e savânica do Pantanal do Abobral, Mato Grosso do Sul. In: **GEOPANTANAL**, 8., 2024, Poconé. 2024. Disponível em: <https://shs.hal.science/halshs-04864234v1/document>. Acesso em: 26 maio 2025.

ROLIM, G.S., SENTELHAS, P.C., BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.1,p133-137,1998.

RUELLA, F. **O escudo brasileiro e os dobramentos de fundo**. Depto. Geografia. Faculdade de Filosofia. Rio de Janeiro. 1952.

SANTOS JUNIOR, E. P.; BLAIN, G. C.; XAVIER, A. C. F. Avaliação dos dados de reanálise do Climatic Research Unit (CRU) e do 5th Generation of European Reanalysis (ERA5) no monitoramento probabilístico padronizado da seca. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, n. 2, p. 269–282, jul./set. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/YJhDWbj9BS3XQkRPfhk9Fcx/>. Acesso em: 23 jan 2025.

SANTOS, L. dos; ZAMPARONI, C. A. G. P.; SOARES, J. C. de O. O ritmo pluviométrico na região de Cáceres-MT no período compreendido entre a série histórica de 1971 a 2010. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 1091-1102, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/download/2456/2266/>. Acesso em: 30 maio. 2025.

SCHUMACHER, M. V.; DICK, G. **Incêndios Florestais**. 3. ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2018.

SILVA, J. S. V; ABDON, M. M. **Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas subregiões**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v. 33. n. especial, p. 1703-1711, out. 1998.

SILVA, P. S.; GEIRINHAS, J. L.; LAPERE, R.; WIL, L.; CASSAIN, D.; ALEGRÍA, A.; CAMPBELL, J(c). Heatwaves and fire in Pantanal: Historical and future perspectives from CORDEX-CORE. **Journal of Environmental Management**, v. 323, p. 116193, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116193>. Acesso em: 31 maio 2025.

SILVA, S. M. **O Pantanal e suas regiões**. Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais – FCBA, 2023. Disponível em: <https://documentapantanal.com.br/wp-content/uploads/2023/05/Pantanal-regioes.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2024.

_____. **As regiões do Pantanal: Poconé**. Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais – FCBA, 2023. Disponível em: <https://documentapantanal.com.br/wp-content/uploads/2023/07/30.-regioes-Pantanal-pocone.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2025.

_____. **As regiões do Pantanal: Barão de Melgaço**. Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais – FCBA, 2023. Disponível em: <https://documentapantanal.com.br/wp-content/uploads/2023/07/29.-regioes-Pantanal-barao-de-melgaco.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2025.

_____. **Mudanças climáticas e o Pantanal**. Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados, Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais – FCBA, 2024. Disponível em: <https://documentapantanal.com.br/wp-content/uploads/2024/05/Mudancas-climaticas-Pantanal.pdf>. Acesso em: 08 set. 2024.

SILVA, S. M.; FERREIRA, I. C. **Hidrografia do Pantanal**. Cuiabá, MT: Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais (FCBA), 2022. Disponível em: <https://documentapantanal.com.br/wp-content/uploads/2022/03/Hidrografia-do-Pantanal-1.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2025.

SILVA, F. K. D. **Análise espaço-temporal do fogo no Bioma Pantanal utilizando dados de sensoriamento remoto**. 2021. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Brasília, DF, 29 out. 2021. Disponível em:

https://bdm.unb.br/bitstream/10483/29952/1/2021_FlaviaKatarineDaSilva_tcc.pdf. Acesso em: 18 jul. 2024.

SILVA, F. L.; PIERANGELI, M. A.; SANTOS, F. A. S.; SOUSA, J. B.; SERAINM, M. E.; SOUSA, C. A. Caracterização pedológica de campos de murundus da bacia hidrográfica do rio Guaporé no estado de Mato Grosso. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA**, 10., 2014a, Manaus. Anais [...]. Manaus: SINAGEO, 2014. Disponível em: <https://www.sinageo.org.br/2014/trabalhos/7/7-78-1159.html>. Acesso em: 23 jan. 2025.

SHIMABUKURU Y.E.; DE OLIVEIRA, G.; PEREIRA, G.; ARAI, E.; CARDOZ, F.; DUTRA, A.C.; MATAVELI, G. Assessment of Burned Areas during the Pantanal Fire Crisis in 2020 Using Sentinel-2 Images. **Fire** 2023, 6, 277. <https://doi.org/10.3390/fire6070277>.

SOS Pantanal. (s.d.). **Pantanal**. Disponível em: <https://www.sosPantanal.org.br/Pantanal/>. Acesso em 1 set. 2024.

SORIANO, B. M. A.; DANIEL, O.; SANTOS, S. A. Eficiência de índices de risco de incêndios para o Pantanal Sul-Mato-Grossense. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 1023–1035, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/DWLchpQCnNdPB4xDrmShPJN/>. Acesso em: 3 jun. 2025

SORIANO, B. M. A. *et al.* **Uso do fogo para o manejo da vegetação no Pantanal**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2020. 18 p. (Documentos / Embrapa Pantanal, ISSN 1981-7223; 164). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1123857/1/Uso-fogo-manejo-2020.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2025.

SORIANO, B. M. A.; PELLEGRIN, L. A. **Monitoramento do número de focos de calor e variáveis meteorológicas observados em 2007 no Pantanal**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2007. 5 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 64). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/794658/1/COT64.pdf>. Acesso em: 28 maio 2025.

THIELEN, D.; SCHUCHMANN, K.-L.; RAMONI-PERAZZI, P.; MARQUEZ, M.; ROJAS, W.; QUINTERO, J. I.; MARQUES, M. I. Quo vadis Pantanal? Expected precipitation extremes and drought dynamics from changing sea surface temperature. **PLOS ONE**, v. 15, n. 1, e0227437, 2020. Disponível em:

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0227437>. Acesso em: 30 maio. 2025.

THIELEN, D.; RAMONI-PERAZZI, P.; PUCHE, M.L.; MARQUEZ, M.; QUINTERO, J.I.; ROJAS, W.; SOTO-WERSCHITZ, A.; THIELEN, K.; NUNES, A.; LIBONATI, R. The Pantanal under Siege—On the Origin, Dynamics and Forecast of the Megadrought Severely Affecting the Largest Wetland in the World. **Water** 2021, 13, 3034. <https://doi.org/10.3390/w13213034>. Acesso em: 30 maio. 2025.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance** Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1)

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG). **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 18, p. 162-171, jun. 2006. Disponível em: <http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>. Acesso em: 11 jan. 2025.

VALENCIA-ZULETA, A.; RICHTER, A.; ALVARENGA, G. V.; BATISTA, F. R. Q.; MOREIRA, L. F. B.; ARBO-MENESES, B.; LUSTOSA, A. P. G.; STRÜSSMANN, C.; ABRAHÃO, C. R.; CÔRTEZ, L. G. O fogo e a herpetofauna no Pantanal: observações durante e após os incêndios. **Biodiversidade Brasileira**, v. 14, n. 4, p. 1-21, 2024. DOI: 10.37002/biodiversidadebrasileira.v14i4.2556. Disponível em: <https://revistaeletronica.icmbio.gov.br/index.php/BioBR/article/view/2556/1704>. Acesso em: 15 jan. 2025.

VASCONCELOS, S. S.; FEARNSSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; SILVA, P. R. T.; DIAS, D. V. Suscetibilidade da vegetação ao fogo no sul do Amazonas sob condições meteorológicas atípicas durante a seca de 2005. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 2, p. 145-155, jun. 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/yVRPYmwBbms3yYxdVxp5jsc/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 12 jan. 2025.

VIEIRA, L. M.; ALHO, C. J. R. **Contaminação por mercúrio em sedimento e moluscos da Bacia do Rio Bento Gomes, MT**. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2004. Boletim de Pesquisa

e Desenvolvimento, n. 58, 20 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/811631/1/BP58.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2025

WANTZEN, Karl M. *et al.* The end of an entire biome? World's largest wetland, the Pantanal, is menaced by the Hidrovia project which is uncertain to sustainably support large-scale navigation. **Science of The Total Environment**, v. 908, p. 167751, 2024. ISSN 0048-9697. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969723063787>. Acesso em: 7 jun. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167751>.

WWF-BRASIL; UNIVERSIDADE CATÓLICA DOM BOSCO; FUNDAÇÃO TUIUIÚ. **Monitoramento da cobertura vegetal e uso do solo da Bacia do Alto Paraguai – 2016**. Brasília, DF: WWF-Brasil, 2016. 39 p. Disponível em: https://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/relatorio_tecnico_bap_2016.pdf. Acesso em: 7 jun. 2025.

ANEXO A - Script utilizado para validar dados de produtos orbitais

```

## Script desenvolvido para validar dados de produtos orbitais a partir
## Dos pontos amostrais em superfície.
## Script desenvolvido para o Curso de verão 2025 da Faculdade de Filosofia
## Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo
## Ministrantes Doutores Jakeline Baratto* e Paulo Miguel de Bodas Terassi
## Coordenado pelo Professor Doutor Emerson Galvani.
## * Bolsista de Pós-doutorado da FAPERJ (Processo: 2022/02383-3)
### Instalar e carregar os pacotes que serão utilizados

## Para instalar
if(!require(pacman)) install.packages("pacman")

# Para carregar
library(pacman)
pacman::p_load(hydroGOF, terra, dplyr, cowplot, ggplot2, ggpubr, grDevices)

# Para carregar

#### Para mais informações sobre o Rstudio
##
<https://www.youtube.com/watch?v=WVogdSlk7gY&list=PLOw62cBQ5j9VE9X4cCCfFMjW\_hhE AJUhU>

# Direcione um diretório - pasta em que estão os arquivos que serão trabalhos
## Alterar \ para /

setwd("C:/Users/felip/Documents/Dados_TGI/Validacao/09 - dados para a validação")

##### Buscar o banco de dados mensal salvo em csv
dados <- read.csv2(file.choose())

### Agora vamos filtrar os dados para que a validação seja aplicada para os dados referente
#### ao mesmos meses

#### Filtrar conforme o mes
Jan <- dados %>% filter(mes %in% c("jan"))
Fev <- dados %>% filter(mes %in% c("fev"))
Mar <- dados %>% filter(mes %in% c("mar"))
Abr <- dados %>% filter(mes %in% c("abr"))
Mai <- dados %>% filter(mes %in% c("mai"))
Jun <- dados %>% filter(mes %in% c("jun"))
Jul <- dados %>% filter(mes %in% c("jul"))
Ago <- dados %>% filter(mes %in% c("ago"))
Set <- dados %>% filter(mes %in% c("set"))
Out <- dados %>% filter(mes %in% c("out"))

```

```
Nov<- dados %>% filter(mes %in% c("nov"))
Dez <- dados %>% filter(mes%in% c("dez"))
```

```
#### Aqui começa as métricas que vamos aplicar nos nosso dados
#### primeiro, vamos separar dentro do mês de janeiro apenas os dado de RJ, para os dados de EMA
#### bem como para os dados dos produtos orbitais.
```

```
#### Escolha um produto orbital para começar e uma ponto (neste caso cidade). Após rodar o
#### script para o primeiro ponto, segure Crlt+F para abri a caixa de localização e
#### substituição o ponto (ex. RJ por RJ), aplique em todo o script (All), rode o script e depois
#### substiua para o próximo ponto. Após rodar para um satélite, substitua para o outro utilizando
#### o mesmo processo.
```

```
### separar meses e os dados da EMA e dos produtos.
```

```
X_Ja_ID <- Jan$precipitacao_ema #### dados observados da estação meteorológica
Y_Ja_ID <- Jan$precipitacao_era ## dados estimados dos produtos orbitais
```

```
## Formula de correlação linear
```

```
corID <- cor(X_Ja_ID, Y_Ja_ID) #### modelo de regressão linear
corID      ## plotar o valor de correlação
```

```
## Fórmula de regressão
```

```
regID <- lm(Y_Ja_ID ~ X_Ja_ID) #### modelo de regressão linear
```

```
R=c(summary(regID)) #### resumo dos resultados da regressão
```

```
R2ID <- R$r.squared ## extração do R2
```

```
#ERRO MEDIO ABSOLUTO
```

```
MAEID <- mae(Y_Ja_ID, X_Ja_ID)
```

```
#RAIZ QUADRADA DO ERRO QUADRADO MEDIO
```

```
RMSEID <- rmse(Y_Ja_ID, X_Ja_ID)
```

```
# índice de concordância
```

```
dID <- d(Y_Ja_ID, X_Ja_ID)
```

```
# PBIAS
```

```
pbiasID <- pbias(Y_Ja_ID, X_Ja_ID)
```

```
### Criando tabela com os valores das métricas
```

```
resul_J_ID <- data.frame(
  Correlacao = corID,
  Regressao = R2ID,
  MAE = MAEID,
```

```
RMSE = RMSEID,  
Concordancia = dID,  
PBIAS = pbiasID  
)  
resul_J_ID
```

```
## Filtrar os dados por mês (substituir Jan pelos outros meses) para que em cada mês seja calculado  
as métricas
```

ANEXO B – Resultado das métricas estatísticas utilizadas para a validação dos dados mensais de precipitação dos satélites com dados da Estação Meteorológica Convencional de Cáceres

Mês	EMC	Parâmetro	r	r²	MAE	RMSE	d	Pbias
		EMC-ERA						
Jan	Cáceres	AG	0,35	0,12	80,63	102,34	0,52	-15,3
		EMC-ERA						
Fev	Cáceres	AG	0,35	0,12	72,07	85,58	0,54	-8,9
		EMC-ERA						
Mar	Cáceres	AG	0,47	0,22	50,44	59,16	0,67	-11,5
		EMC-ERA						
Abr	Cáceres	AG	0,42	0,17	35,55	43,15	0,59	7,5
		EMC-ERA						
Mai	Cáceres	AG	0,40	0,16	23,68	29,70	0,55	-14,9
		EMC-ERA						
Jun	Cáceres	AG	0,47	0,22	6,89	12,79	0,51	-37,6
		EMC-ERA						
Jul	Cáceres	AG	0,83	0,69	7,20	13,34	0,81	-41,1
		EMC-ERA						
Ago	Cáceres	AG	0,33	0,11	12,93	21,32	0,56	-35,6
		EMC-ERA						
Set	Cáceres	AG	0,77	0,59	23,80	32,63	0,68	-37,7
		EMC-ERA						
Out	Cáceres	AG	0,32	0,10	42,06	52,25	0,53	10,1
		EMC-ERA						
Nov	Cáceres	AG	0,38	0,14	52,37	60,01	0,61	2,2
		EMC-ERA						
Dez	Cáceres	AG	0,32	0,10	61,40	95,79	0,53	-15
Jan	Cáceres	EMC-CHIRPS	0,89	0,79	43,35	49,39	0,91	-0,7
Fev	Cáceres	EMC-CHIRPS	0,73	0,53	49,92	65,23	0,72	-6
Mar	Cáceres	EMC-CHIRPS	0,80	0,63	28,62	36,54	0,88	-4,2
Abr	Cáceres	EMC-CHIRPS	0,80	0,64	23,38	27,95	0,85	0,3
Mai	Cáceres	EMC-CHIRPS	0,86	0,75	15,87	18,71	0,90	29,5
Jun	Cáceres	EMC-CHIRPS	0,89	0,79	8,67	9,70	0,88	84,9
Jul	Cáceres	EMC-CHIRPS	0,87	0,75	7,94	10,35	0,90	15,3
Ago	Cáceres	EMC-CHIRPS	0,74	0,55	8,65	14,41	0,80	-2,7
Set	Cáceres	EMC-CHIRPS	0,88	0,77	16,77	23,78	0,82	-11
Out	Cáceres	EMC-CHIRPS	0,90	0,81	28,09	33,35	0,82	-11,1
Nov	Cáceres	EMC-CHIRPS	0,64	0,40	34,69	44,64	0,75	5,8
Dez	Cáceres	EMC-CHIRPS	0,80	0,63	51,95	62,79	0,80	2

ANEXO C - Resultado das métricas estatísticas utilizadas para a validação dos dados mensais de temperatura média do ar dos satélites com dados da Estação Meteorológica Convencional de Cáceres

Mês	EMC	Parâmetro	r	r²	MAE	RMSE	d	Pbias
Jan	Cáceres	EMC-ERA AG	0,8778	0,7705	0,1617	0,2226	0,9274	-0,3
Fev	Cáceres	EMC-ERA AG	0,8291	0,6875	0,2151	0,2641	0,899	-0,3
Mar	Cáceres	EMC-ERA AG	0,8945	0,8	0,2408	0,2685	0,9307	-0,4
Abr	Cáceres	EMC-ERA AG	0,8215	0,6749	0,317	0,3864	0,8974	-0,4
Mai	Cáceres	EMC-ERA AG	0,9723	0,9453	0,3536	0,4688	0,9539	1,3
Jun	Cáceres	EMC-ERA AG	0,8712	0,759	0,6458	0,7963	0,8039	2,6
Jul	Cáceres	EMC-ERA AG	0,8058	0,6493	1,1916	1,3235	0,6847	5,1
Ago	Cáceres	EMC-ERA AG	0,8954	0,8017	0,9594	1,0309	0,722	3,9
Set	Cáceres	EMC-ERA AG	0,9075	0,8236	0,9463	1,0625	0,8087	3,6
Out	Cáceres	EMC-ERA AG	0,8816	0,7772	0,2612	0,3354	0,8915	0,8
Nov	Cáceres	EMC-ERA AG	0,9187	0,844	0,2106	0,251	0,9533	-0,2
Dez	Cáceres	EMC-ERA AG	0,6363	0,4049	0,2781	0,3394	0,775	-0,5
Jan	Cáceres	EMC-ERA LAND	0,8182	0,6695	0,2989	0,3516	0,8533	-0,7
Fev	Cáceres	EMC-ERA LAND	0,6646	0,4418	0,3837	0,4807	0,7665	-1
Mar	Cáceres	EMC-ERA LAND	0,8766	0,7685	0,3175	0,3879	0,8757	-0,9
Abr	Cáceres	EMC-ERA LAND	0,7901	0,6243	0,3955	0,4795	0,8581	-0,8
Mai	Cáceres	EMC-ERA LAND	0,9608	0,9232	0,338	0,4016	0,9713	0,9
Jun	Cáceres	EMC-ERA LAND	0,7959	0,6335	0,7548	0,9169	0,7738	2,9
Jul	Cáceres	EMC-ERA LAND	0,7723	0,5965	1,2801	1,431	0,6782	5,3
Ago	Cáceres	EMC-ERA LAND	0,8911	0,794	1,3961	1,4555	0,6123	5,6
Set	Cáceres	EMC-ERA LAND	0,8862	0,7853	1,6862	1,7849	0,6663	6,4
Out	Cáceres	EMC-ERA LAND	0,8816	0,7772	0,6955	0,8332	0,6821	2,5
Nov	Cáceres	EMC-ERA LAND	0,8024	0,6438	0,4013	0,4707	0,8766	-0,5
Dez	Cáceres	EMC-ERA LAND	0,6377	0,4067	0,4563	0,5389	0,7105	-0,8

ANEXO D – Balanço Hídrico Climatológico da sub-região do Poconé - Pantanal

Meses	T (°C)	P(mm)	ETP Thornthwaite1948	P-ETP (mm)	DEF (mm)	EXC (mm)	RET (mm)	REP (mm)	CAD (mm)
Jan	27,09	248,44	156,92	91,52	0,00	10,97	0,00	80,55	100,00
Fev	26,88	193,23	139,75	53,46	0,00	53,47	0,00	0,00	100,00
Mar	26,86	159,46	149,88	9,58	0,00	9,58	0,00	0,00	100,00
Abr	26,40	83,26	130,77	-47,51	-9,69	0,00	-37,82	0,00	100,00
Mai	24,69	40,29	101,35	-61,06	-32,65	0,00	-28,42	0,00	100,00
Jun	24,23	16,55	88,96	-72,40	-55,01	0,00	-17,40	0,00	100,00
Jul	24,15	17,18	90,28	-73,10	-64,62	0,00	-8,49	0,00	100,00
Ago	26,10	16,83	122,99	-106,16	-101,01	0,00	-5,15	0,00	100,00
Set	27,96	37,80	159,46	-121,66	-119,75	0,00	-1,92	0,00	100,00
Out	28,35	71,19	180,46	-109,28	-108,75	0,00	-0,54	0,00	100,00
Nov	27,64	153,84	164,60	-10,76	-10,74	0,00	-0,03	0,00	100,00
Dez	27,40	187,88	168,66	19,21	0,00	0,00	0,00	19,21	100,00

ANEXO E – Script utilizado para exportar os dados de uso e cobertura do solo do Mapbioma no Google Earth Engine

```
// Carregue sua área de estudo
```

```
var pocone = ee.FeatureCollection("projects/ee-felipetgi/assets/Area_de_estudo");
```

```
// Mapbiomas asset
```

```
var mapbiomas = ee.Image("projects/mapbiomas-public/assets/brazil/lulc/collection9/mapbiomas_collection90_integration_v1");
```

```
// Lista de anos da série histórica
```

```
var anos = ee.List.sequence(1999, 2023);
```

```
// Processamento anual
```

```
anos.getInfo().forEach(function(ano) {  
  var bandaAno = 'classification_' + ano;
```

```
// Selecionar e mascarar a banda do ano
```

```
var imagemAno = mapbiomas.select(bandaAno).clip(pocone).selfMask();
```

```
// Exibir no painel
```

```
Map.addLayer(imagemAno,
```

```
{
```

```
  min: 0,
```

```
  max: 49,
```

```
  palette: [
```

```
    // Paleta oficial do Mapbiomas
```

```
    '006400', // 3 - Formação Florestal
```

```
    '32CD32', // 4 - Formação Savânica
```

```
    '228B22', // 5 - Mangue
```

```
    '9370DB', // 49 - Restinga Florestal
```

```

'7FFFD4', // 11 - Área Úmida Natural não Florestal
'00FF7F', // 12 - Formação Campestre
'EEE8AA', // 32 - Apicum
'A0522D', // 29 - Afloramento Rochoso
'ADFF2F', // 13 - Outra Formação não Florestal
'FFFF00', // 18 - Agricultura
'FFD700', // 39 - Soja
'FFA500', // 20 - Cana
'FF8C00', // 40 - Arroz
'FF6347', // 41 - Outras Lavouras Temporárias
'8B4513', // 46 - Café
'A0522D', // 47 - Citrus
'D2691E', // 48 - Outras Lavouras Perenes
'008080', // 9 - Silvicultura
'808000', // 15 - Pastagem
'F0E68C', // 21 - Mosaico de Agricultura ou Pastagem
'D3D3D3', // 22 - Área não Vegetada
'F5DEB3', // 23 - Praia e Duna
'A9A9A9', // 24 - Infraestrutura Urbana
'B0C4DE', // 30 - Mineração
'F5F5DC', // 25 - Outra Área não Vegetada
'0000FF', // 33 - Rio, Lago e Oceano
'87CEEB' // 31 - Aquicultura
]
},
'Uso do Solo ' + ano
);

// Exportar para o Google Drive
Export.image.toDrive({
  image: imagemAno,
  description: 'uso_solo_' + ano,
  folder: 'geotiff_mapbiomas',
  fileNamePrefix: 'uso_solo_' + ano,
  region: pocone.geometry(),
  scale: 30,
  crs: 'EPSG:4326',
  maxPixels: 1e13
});

```

ANEXO F - Script utilizado para agregar os focos de queimadas por uso e cobertura do solo

#Pacotes

```

library(terra)
library(dplyr)
library(readr)

```



```

# Caminhos dos focos georreferenciados e dos arquivos rasters de uso e cobertura do solo
setwd("")
caminho_rasters <- "/"

# leitura dos dados:
focos <- read.csv("queimadas_uso_solo.csv", sep = ";", stringsAsFactors = FALSE)

# Correção dos separadores decimais nas colunas numéricas:
focos$Latitude <- as.numeric(gsub(",", ".", focos$Latitude))
focos$Longitude <- as.numeric(gsub(",", ".", focos$Longitude))

# Verifique as primeiras linhas
head(focos)

# Verifique se as colunas importantes existem
names(focos)

# Lista de anos
anos <- 1999:2023

# Atribuir os focos para cada classe
resultados <- list()

for (ano in anos) {
  message("Processando ano: ", ano)

  focos_ano <- focos_sf %>% filter(ano == !!ano)
  if (nrow(focos_ano) == 0) next

  # Caminho completo do raster
  raster_path <- paste0(caminho_rasters, "uso_solo_", ano, ".tif")

  if (!file.exists(raster_path)) {
    warning("Arquivo não encontrado: ", raster_path)
    next
  }

  uso_raster <- rast(raster_path)

  # Extrair a classe de uso
  classes_extraidas <- terra::extract(uso_raster, focos_ano)
  focos_ano$classe_id <- classes_extraidas[, 2]

  resultados[[as.character(ano)]] <- focos_ano
}

# Unificação

```

```
focos_com_classe <- do.call(rbind, resultados)

# Tabela síntese
resumo <- focos_com_classe %>%
  st_drop_geometry() %>%
  group_by(ano, classe_id) %>%
  summarise(focos = n(), .groups = "drop")

# Atribuir nomes às classes
classes_mapbiomas <- tibble::tibble(
  classe_id = c(3, 4, 5, 49, 11, 12, 32, 29, 13, 18, 39, 20, 40, 41, 46, 47, 48,
    9, 15, 21, 22, 23, 24, 30, 25, 33, 31),
  nome_classe = c("Formação Florestal", "Formação Savânica", "Mangue", "Restinga Florestal",
    "Campo Alagado e Área Pantanosa ", "Formação Campestre", "Apicum", "Afloramento
    Rochoso",
    "Outra Formação não Florestal", "Agricultura", "Soja", "Cana", "Arroz",
    "Outras Lavouras Temporárias", "Café", "Citrus", "Outras Lavouras Perenes",
    "Silvicultura", "Pastagem", "Mosaico Agro/Pastagem", "Área não Vegetada",
    "Praia e Duna", "Infraestrutura Urbana", "Mineração", "Outra Área não Vegetada",
    "Rio/Lago/Oceano", "Aquicultura")
)

resumo <- resumo %>%
  left_join(classes_mapbiomas, by = "classe_id")

write.csv(resumo, "caminho a ser salvo")

ANEXO G – Script utilizado para fazer a correlação entre focos de queimadas e uso e
cobertura do solo

# Pacotes

library(tidyverse)

library(ggplot2)

# Caminho

setwd("")

# Ler as planilhas com separador correto

dados <- read.csv("focos_queimadas_por_ano_classe_join.csv", sep = ";", stringsAsFactors = FALSE)

# Verificar nomes das colunas

names(dados)
```

```
# Cálculo da correlação de Pearson
```

```
correlacoes <- dados %>%
```

```
  group_by(classe) %>%
```

```
  summarise(
```

```
    correlacao = if (n() > 1 && sum(!is.na(area_ha) & !is.na(focos)) > 1) {
```

```
      cor(area_ha, focos, method = "pearson", use = "complete.obs")
```

```
    } else {
```

```
      NA_real_
```

```
    },
```

```
    .groups = "drop"
```

```
  ) %>%
```

```
  filter(!is.na(correlacao)) # remover classes que não puderam ser correlacionadas
```

```
# Verificar tabela de correlações
```

```
print(correlacoes)
```

```
# Salvar tabela de correlações
```

```
write.csv(correlacoes, "correlacoes_area_focos.csv", row.names = FALSE)
```

ANEXO H - Área por Classe de Uso e Cobertura do Solo de 1999 a 2023 da sub-região do Poconé-Pantanal

Ano	Área (ha)												
	Área Urbanizada	Campo Alagado	Formação Campestre	Formação Florestal	Formação Savânica	Mineração	Mosaico de Usos	Outras áreas não vegetadas	Outras Lavouras Temporárias	Pastagem	Rio e Lago	Silvicultura	Soja
1999	39,65	286.680,21	562.102,92	182.381,87	212.636,12	14,14	16,35	0,31	132,07	79.042,79	93.118,39	0,00	39,70
2000	39,65	401.052,04	517.297,78	182.663,40	189.148,62	14,14	14,10	0,07	138,90	82.464,31	43.333,36	0,00	39,21
2001	40,17	236.110,57	696.805,92	182.456,31	187.838,39	14,23	12,96	0,07	47,77	82.742,82	30.130,78	0,00	7,12
2002	40,91	395.720,13	497.774,22	182.397,30	184.873,69	14,40	12,11	0,07	42,15	81.189,44	74.136,31	0,60	5,19
2003	41,00	459.420,93	417.269,63	182.052,87	191.482,36	14,40	10,83	0,12	30,65	83.264,73	82.615,12	0,60	3,88
2004	41,43	351.831,05	526.865,41	180.969,15	202.349,68	14,40	10,30	0,19	21,25	86.356,83	67.745,37	1,12	0,60
2005	41,43	272.975,89	617.614,82	180.622,16	212.086,53	14,36	9,56	0,24	0,00	88.181,45	44.649,83	7,66	3,78
2006	41,69	506.222,62	330.643,58	180.656,66	211.284,85	14,53	9,31	0,18	4,30	90.184,58	97.132,59	8,00	4,82
2007	42,72	394.473,37	450.615,90	180.666,69	213.752,69	14,53	7,92	0,22	34,62	93.314,47	83.275,55	8,35	0,09
2008	42,89	438.687,57	393.996,57	180.219,51	218.082,51	14,98	6,53	0,17	50,36	98.684,81	86.412,51	7,14	2,15
2009	49,77	398.898,01	451.000,55	179.971,92	216.772,30	15,07	6,16	0,16	56,08	103.451,57	65.975,16	7,31	2,46
2010	55,01	375.183,97	466.650,81	179.692,84	228.866,71	14,75	4,79	0,28	107,97	106.763,36	58.851,87	7,73	7,62
2011	56,22	407.386,66	393.469,32	179.132,59	238.708,68	14,61	5,06	0,36	121,73	111.503,16	85.792,75	15,45	1,12
2012	56,73	172.929,85	666.861,17	178.423,52	254.206,50	14,70	6,02	0,36	118,67	117.733,69	25.836,19	17,00	2,71
2013	56,82	314.134,62	469.574,84	178.280,04	266.345,14	15,11	6,82	0,35	193,13	119.504,10	68.051,69	26,35	18,70
2014	59,14	418.856,89	336.019,42	178.097,97	271.770,05	15,11	6,08	0,35	151,48	119.632,69	91.542,86	28,33	26,05
2015	66,03	348.603,56	402.871,87	177.646,93	287.664,11	18,75	5,80	0,36	46,25	122.192,88	77.058,86	29,02	3,30
2016	66,97	280.846,23	477.970,76	177.132,23	292.070,18	20,76	5,20	0,52	44,82	123.999,13	64.017,46	29,50	3,95
2017	74,63	364.359,93	364.552,78	176.866,19	295.104,49	22,65	4,53	0,44	45,51	125.309,17	89.834,54	28,55	4,29
2018	75,06	390.340,50	303.389,48	176.524,74	292.613,05	35,75	3,75	0,42	10,51	130.964,78	122.207,33	38,39	3,95
2019	75,32	339.623,90	389.699,27	176.195,54	291.772,07	47,04	4,23	0,41	0,50	136.604,38	82.144,28	40,76	0,00
2020	76,44	75.643,97	704.214,85	175.740,22	285.237,32	47,71	5,46	0,45	0,50	151.386,49	23.813,11	40,50	0,00
2021	76,36	84.350,63	694.059,11	173.511,61	283.064,72	58,55	6,35	0,52	0,50	162.286,14	18.744,18	47,51	0,34
2022	77,65	279.796,73	480.842,49	172.596,38	276.825,11	58,82	6,18	0,49	0,52	170.764,25	35.190,73	47,34	0,34
2023	80,49	304.137,81	438.065,45	170.573,38	270.571,59	59,17	7,02	0,62	0,26	207.504,17	25.160,84	46,48	0,43
Média	56,57	331.930,71	482.009,16	178.618,88	243.005,10	24,11	7,74	0,31	56,02	115.001,05	65.470,87	19,35	7,27

