



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESASTRES NATURAIS

Amanda Rodrigues da Silva

**Incêndios, queimadas, qualidade do ar e doenças respiratórias: o caso do
Pantanal brasileiro**

Florianópolis

2023

Amanda Rodrigues da Silva

**Incêndios, queimadas, qualidade do ar e doenças respiratórias: o caso do
Pantanal brasileiro**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Desastres Naturais da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Desastres Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Renato Fileto
Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Liana O. Anderson

Florianópolis

2023

da Silva, Amanda Rodrigues
Incêndios, queimadas, qualidade do ar e doenças
respiratórias: o caso do Pantanal brasileiro / Amanda
Rodrigues da Silva ; orientador, Renato Fileto,
coorientadora, Liana Oighenstein Anderson, 2023.
97 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal
de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas,
Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais,
Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Desastres Naturais. 2. Pantanal. 3. Incêndios
florestais. 4. Doenças respiratórias. 5. Qualidade do ar.
I. Fileto, Renato . II. Anderson, Liana Oighenstein . III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Desastres Naturais. IV. Título.

Amanda Rodrigues da Silva

**Incêndios, queimadas, qualidade do ar e doenças respiratórias: o caso do
Pantanal brasileiro**

**O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 03 de
maio de 2023, pela banca examinadora composta pelas seguintes membras:**

**Prof.(a) Dr.(a) Janete Josina De Abreu
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)**

**Prof.(a) Dr.(a) Valesca Rodriguez Fernandes
Centro de Monitoramento do Tempo e do Clima do Estado do Mato Grosso do Sul
(CEMTEC/SEMADESC/MS)**

**Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de Mestra em Desastres Naturais pelo
Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais.**

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

**Prof. Dr. Renato Fileto
Orientador**

**Prof.(a) Dr.(a) Liana Oighenstein Anderson
Coorientadora**

Florianópolis, 2023

Esta dissertação é dedicada à minha mãe, Elizete, exemplo de amor, força, coragem e resiliência. Sem o seu apoio incondicional, este trabalho não teria sido realizado. À ela, minha eterna gratidão e admiração.

AGRADECIMENTOS

Nesses anos de mestrado profissional, de muito esforço e dedicação, gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais e familiares pela educação, apoio e amor.

Agradeço a minha irmã, que mesmo longe, se faz presente em todos os dias de minha vida, trazendo palavras de incentivo, força e afeto.

Ao meu orientador, professor Renato Fileto e a minha coorientadora, professora Liana O. Anderson, por terem aceito esse desafio, pela paciência e incentivo durante todo o período e, por todo o conhecimento transmitido.

Aos membros da Banca examinadora que avaliaram esta dissertação, contribuindo para a melhoria do estudo.

Aos meus amigos e amigas, em especial ao Carlos Eduardo da Silva, pela amizade incondicional e pela experiência acadêmica compartilhada e, ao Felipe Henrico e à Aline Pereira Cruz, pelo incentivo e pelo apoio na tabulação e análise dos dados.

Aos meus colegas de mestrado, pelas trocas durante nossos encontros, mesmo que virtuais.

A todos os professores e professoras do PPGDN, por todo o aprendizado obtido.

Ao Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais, por ter possibilitado a minha formação em nível de mestrado profissional.

À UFSC, por ser uma instituição pública e de excelente qualidade.

E a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, me apoiaram durante esta jornada e contribuíram para a finalização deste trabalho.

RESUMO

Nos últimos anos as queimadas e os incêndios florestais têm acontecido com mais frequência no Brasil, e no ano de 2020 alcançaram números recordes. O bioma Amazônia concentrou a maior parte dos focos de incêndio, no entanto, mais de 30% do território do bioma Pantanal foi queimado. A poluição atmosférica, principalmente relacionada às queimadas e incêndios florestais, gera material particulado que impacta negativamente a qualidade do ar. Portanto, afeta a saúde humana, levando a problemas principalmente no aparelho respiratório. De acordo com diretrizes recentes da Organização Mundial da Saúde (OMS), o limite aceitável da concentração média diária em 24 horas de material particulado fino (PM_{2.5}) não pode ultrapassar os níveis de exposição de 15 µg/m³, e a média anual não pode ultrapassar 5 µg/m³. Esta pesquisa busca analisar a relação entre a concentração de PM_{2.5} emitido pelas queimadas e incêndios florestais e as internações hospitalares por doenças respiratórias (DRs) na população do Pantanal brasileiro. O método de trabalho é um estudo de séries temporais realizado com os dados dos municípios abrangidos pelo bioma Pantanal nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, entre os anos de 2016 e 2019. Os dados de internações hospitalares foram obtidos do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). Os níveis diários de PM_{2.5} e focos de queimadas foram estimados e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A análise espaço-temporal dessas variáveis e outras delas derivadas foi realizada usando o modelo dimensional, para facilitar análises em vários níveis de agregação dos dados. Também foram realizadas análises de correlação e regressão linear simples. Os maiores níveis médios de PM_{2.5} e a maior quantidade de focos de queimadas foram detectados durante os meses de julho a outubro no Pantanal brasileiro. Os resultados dos experimentos, analisando os dados mês a mês, não mostraram impacto imediato de altas concentrações de PM_{2.5} no número de internações por DRs. Por outro lado, observou-se maior número de internações por problemas respiratórios em anos e municípios com maior número de dias em que as concentrações médias de PM_{2.5} ficaram acima de 15 µg/m³, nível máximo aceitável segundo diretrizes da OMS, e que foi ultrapassado em todos os municípios da área de estudo e anos da série histórica. O estado do Mato Grosso apresentou maior número de dias de exposição ao PM_{2.5} e, também, o maior número de internações por DRs, em comparação ao estado do Mato Grosso do Sul, considerando os quatro anos da série histórica analisada. Assim, conclui-se que os incêndios florestais e as consequentes altas concentrações de material particulado fino oferecem risco à saúde das populações a médio e longo prazo.

Palavras-chave: Incêndios florestais. Queimadas. Pantanal. Concentração de material particulado na atmosfera. Doenças respiratórias. Análise de correlação.

ABSTRACT

In recent years forest fires have occurred more frequently in Brazil, and in 2020 they reached record numbers. The Amazon biome concentrated most of the fires, however, more than 30% of the territory of the Pantanal biome was burned. Atmospheric pollution, mainly related to forest fires and fires, generates the production of particulate matter that negatively impacts air quality and, therefore, affects human health, leading to problems mainly in the respiratory system. According to recent World Health Organization (WHO) guidelines, the acceptable limit of the 24-hour average daily concentration of fine particulate matter (PM_{2.5}) cannot exceed exposure levels of 15 µg/m³, and the annual average cannot exceed 5 µg/m³. This research seeks to analyze the relationship between the concentration of PM_{2.5} emitted by forest fires and hospital admissions for respiratory diseases (RDs) in the population of the Pantanal. The work method is a time series study carried out with data from the municipalities covered by the Pantanal biome in the states of Mato Grosso and Mato Grosso do Sul, between the years 2016 and 2019. Data on hospital admissions were obtained from the Department of Informatics of the Unified Health System (DATASUS). The daily levels of PM_{2.5} and fire outbreaks were estimated and made available by the National Institute for Space Research (INPE). The spatial-temporal analysis of these variables and others derived from them was performed using the dimensional model, to facilitate analyzes at various levels of data aggregation. Correlation and linear regression analyzes were also performed. The highest average levels of PM_{2.5} and the highest number of fires were detected from July to October. The results of the experiments, analyzing the data month by month, did not show an immediate impact of high concentrations of PM_{2.5} on the number of hospitalizations for RDs. On the other hand, a greater number of hospitalizations for respiratory problems was observed in years and municipalities with a greater number of days in which the average concentrations of PM_{2.5} were above 15 µg/m³, the maximum acceptable level according to WHO guidelines, and that was surpassed in all municipalities in the study area and years of the historical series. The state of Mato Grosso had the highest number of days of exposure to PM_{2.5} and also the highest number of hospitalizations for RDs, compared to the state of Mato Grosso do Sul, considering the four years of the historical series analyzed. Thus, it is concluded that forest fires and the consequent high concentrations of fine particulate material pose a risk to the health of populations in the medium and long term.

Keywords: Forest fires. Bushfires. Pantanal. Concentration of particulate matter in the atmosphere. Respiratory diseases. Correlation analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação de incêndios florestais na taxonomia de desastres do COBRADE.....	20
Figura 2 – Porcentagem de ocorrências relacionadas aos incêndios florestais no Brasil entre 1991 e 2020.	22
Figura 3 – Dados de ocorrências, afetados e perdas (em R\$) causados pelos incêndios florestais no Brasil entre 1991 e 2020.	23
Figura 4 – Dados de afetados, danos e prejuízos causados pelos incêndios florestais no Brasil entre 1991 e 2020.	23
Figura 5 – Triângulo do fogo.	24
Figura 6 – Série histórica de focos de incêndio no Brasil, entre 2012 e 2022.	25
Figura 7 - Comparativo mensal de focos de incêndio no Brasil, no período de 1998 a 2022.	26
Figura 8 – Série histórica de focos de incêndio no Pantanal, entre 2012 e meados de 2022.	27
Figura 9 - Dados mensais de área queimada (km ²) em todos os biomas brasileiros no ano de 2020.	28
Figura 10 - Mapa de área queimada (km ²) em todos os biomas durante o mês de setembro de 2020.	29
Figura 11 - Mapa de distribuição espacial da área total queimada (2002–2010) nos biomas brasileiros, em relação às principais classes de cobertura e uso da terra. ...	30
Figura 12 - Incêndios (globo superior) e Profundidade Óptica do Aerossol - AOD (globo inferior) no mundo no mês de setembro de 2020.	32
Figura 13 - Principais compostos da queima de biomassa.	33
Figura 14 – Delimitação da área de estudo.....	46
Figura 15 – Participação dos municípios na área (km ²) fisiográfica do Pantanal.	49
Figura 16 – Distribuição dos municípios mato-grossenses e sul-mato-grossenses no bioma Pantanal.	50
Figura 17 – Delimitação geográfica do bioma Pantanal no Brasil.	51
Figura 18 – Mapa dos municípios do Pantanal mato-grossense que compõem a área de estudo.....	52
Figura 19 – Exemplo de filtros de busca no website do BDQueimadas.	56

Figura 20 – Interpretação do coeficiente de correlação de Pearson.	61
Figura 21 – Médias mensais no bioma Pantanal entre 2016 e 2019 de: (a) Número de focos de incêndio; (b) Concentração de PM _{2.5} (µg/m ³); e (c) Internações por DRs...	63
Figura 22 – Série histórica (2016-2019): (a) Número de focos de incêndio (b) Concentração média de PM _{2.5} µg/m ³); (c) Número de internações por DRs (referente aos meses de julho a outubro, no Pantanal).	65
Figura 23 – Série histórica (2016 a 2019): Somatório do número de dias com PM _{2.5} > 15 µg/m ³ , referente aos meses de julho a outubro, no Pantanal.	68
Figura 24 – Médias mensais no bioma Pantanal entre 2016 e 2019 de: (a) Número de dias com PM _{2.5} > 15 µg/m ³ ; (b) Número de internações por DRs (referente aos meses de julho a outubro).	69
Figura 25 – Número de focos de incêndio em Cáceres e Corumbá, entre 2016 e 2019.	75
Figura 26 – Concentração média de PM _{2.5} (µg/m ³) em Cáceres e Corumbá, entre 2016 e 2019.	77
Figura 27 – Número de internações por doenças respiratórias (DRs) em Cáceres e Corumbá, entre 2016 e 2019.....	78
Figura 28 – Relação entre dados médios de concentração de PM _{2.5} , focos de incêndio e internações por DRs em Cáceres (MT) e Corumbá (MS), durante a série histórica.	79
Figura 29 – Umidade relativa média do ar (%) em Cáceres e Corumbá, entre 2016 e 2019.	80
Figura 30 – Precipitação média (mm) em Cáceres e Corumbá, entre 2016 e 2019..	82
Figura 31 – Relação entre dados médios de umidade relativa (%), precipitação (mm) e internações por DRs em Cáceres (MT) e Corumbá (MS), durante a série histórica.	83
Figura 32 – Número de dias com PM _{2.5} > 15 µg/m ³ em Cáceres e Corumbá, entre 2016 e 2019.	84
Figura 33 – Diagrama de dispersão entre o número de internações por DRs e o número de dias com PM _{2.5} > 15µg/m ³ para Cáceres (MT) e Corumbá (MS), entre 2016 e 2019 (referente aos meses de julho a outubro).	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Padrões de qualidade do ar para Material Particulado Fino (PM _{2.5}), recomendados pela Organização Mundial de Saúde (2021) e pela Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018. Adaptado de WHO, 2021 e CONAMA (2018).....	35
Quadro 2 – Estudos que investigaram a associação entre poluentes emitidos pelas queimadas e problemas cardiorrespiratórios no Brasil.....	38
Quadro 3 – Estudos que investigaram a associação entre poluentes emitidos pelas queimadas e problemas cardiorrespiratórios na Califórnia.....	40
Quadro 4 – Estudos que investigaram a associação entre poluentes emitidos pelas queimadas e problemas cardiorrespiratórios na Ásia.....	40
Quadro 5 – Estudos que investigaram a associação entre poluentes emitidos pelas queimadas e problemas cardiorrespiratórios na Austrália.....	42
Quadro 6 – Dados geo-demográficos dos municípios da área de estudo.....	53
Quadro 7 – Resumo dos dados de exposição.....	58
Quadro 8 – Resumo dos dados da população exposta.....	59
Quadro 9 – Matriz de correlação entre variáveis ambientais e de saúde no Pantanal brasileiro.....	73
Quadro 10 – Matriz de correlação entre variáveis ambientais e de saúde no estado do Mato Grosso.....	73
Quadro 11 – Matriz de Correlação entre variáveis ambientais e de saúde no estado do Mato Grosso do Sul.....	74
Quadro 12 – Matriz de correlação entre variáveis ambientais e de saúde em Cáceres (MT) e Corumbá (MS), entre 2016 e 2019 (referente aos meses de julho a outubro).	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados consolidados dos municípios e estados do Pantanal, referentes aos meses de julho a outubro de toda a série histórica.	66
Tabela 2 – Série histórica (2016 a 2019): Número de dias com concentração de PM _{2.5} > 15 µg/m ³ para cada município e estado do Pantanal, referente aos meses de julho a outubro.	70
Tabela 3 – Série histórica (2016 a 2019): Média anual da concentração de PM _{2.5} (µg/m ³) para cada município e estado do Pantanal, referente aos meses de julho a outubro.	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIH Autorizações de Internações Hospitalares
AOD Aerosol Optical Depth
APP Área de Preservação Permanente
CAMS Copernicus Atmosphere Monitoring Service
CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGVAM Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental
COBRADE Classificação e Codificação Brasileira de Desastres
CONAMA Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPC Climate Prediction Center
DATASUS Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde
DR Doença Respiratória
ECMWF European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
FIOCRUZ Fundação Oswaldo Cruz
IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change
MDR Ministério de Desenvolvimento Regional
MS Ministério da Saúde
MS Mato Grosso do Sul
MT Mato Grosso
NASA National Aeronautics and Space Administration
NOAA National Ocean and Atmospheric Administration
OPAS Organização Pan-Americana da Saúde
OMS Organização Mundial da Saúde
PISA Painel de Informações em Saúde Ambiental
PM Material particulado
PM_{2.5} Material particulado fino
PM₁₀ Material particulado inalável
PNGRD Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres
RRD Redução do Risco de Desastres
SIGMA Sistema de Informações Geográficas Aplicadas ao Meio Ambiente

SISAM Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde

SUS Sistema Único de Saúde

UFAC Universidade Federal do Acre

UNISDR United Nations Office For Disaster Risk Reduction

UTC Universal Time Coordinated

WHO World Health Organization

WWF World Wildlife Fund

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.3	OBJETIVOS	17
1.3.1	Objetivos gerais.....	17
1.3.2	Objetivos Específicos	17
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	INCÊNDIOS FLORESTAIS NO CONTEXTO DE DESASTRES NATURAIS 19	
2.2	RISCOS E IMPACTOS DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS	30
3.	TRABALHOS RELACIONADOS	37
4.	METODOLOGIA	45
4.1	DELINEAMENTO DO ESTUDO	45
4.2	ÁREA DE ESTUDO	45
4.3	DADOS AMBIENTAIS E DE SAÚDE	54
4.3.1	Focos de queimada	54
4.3.2	Material Particulado fino (PM_{2.5}).....	57
4.3.3	Doenças respiratórias.....	58
4.4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	60
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
5.1	FOCOS DE INCÊNDIO, PM _{2.5} E INTERNAÇÕES NO TEMPO E ESPAÇO 62	
5.2	PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DE QUALIDADE DO AR.....	67
5.3	ANÁLISE DOS DADOS DE CÁCERES (MT) E CORUMBÁ (MS).....	74
5.3.1	Focos de incêndio, PM_{2.5} e internações por DRs em Cáceres (MT) e Corumbá (MS).....	74

5.3.2	Umidade relativa do ar (UR) e precipitação em Cáceres (MT) e Corumbá (MS)	79
5.3.3	Padrões de qualidade do ar em Cáceres (MT) e Corumbá (MS).....	83
5.3.4	Matriz de correlação para Cáceres (MT) e Corumbá (MS).....	85
6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	88
	REFERÊNCIAS.....	90

1. INTRODUÇÃO

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), os incêndios florestais no Brasil alcançaram números recordes no ano de 2020. Aproximadamente 312.140 km² da área do território brasileiro foram atingidos por incêndios florestais, e mais de 222 mil focos foram identificados por meio de imagens de satélite desde o início do ano até o mês de dezembro de 2020. Dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) também revelam que o Brasil apresentou o maior número de focos de queimadas no ano de 2020, em comparação com outros países do mundo, observando-se um aumento de 194% de ocorrência de focos em relação a 2019 e de 545% em relação à média entre 2014 e 2018 (CEMADEN, 2020). Conforme Lucas, Kovalsyki e Tetto (2020), considerando o ano de 2020, o bioma Amazônia concentrou a maior parte dos focos de incêndio (47,4%), seguido dos biomas Cerrado (28,7%), Pantanal (11,4%), Mata Atlântica (8,7%), Caatinga (2,9%) e Pampa (0,96%). Diferentemente da Amazônia, no entanto, o Cerrado e o Pantanal apresentam tipos de vegetação mais dependentes e resilientes à passagem das chamas quando estas ocorrem com uma frequência que não ultrapasse suas adaptações evolutivas. No que diz respeito especificamente ao bioma Pantanal, em 2020 o percentual de focos de incêndio é o menor se comparado aos percentuais da Amazônia e do Cerrado. No entanto, a situação evidenciada nesse bioma em 2020 é alarmante, pois, entre os meses de janeiro e dezembro, foi detectado um total de 22.000 focos de incêndio, que resultaram em 40.606 km² de sua área queimada (INPE), ou seja, o equivalente a quase 30% do território pantaneiro, cuja área total no Brasil é de cerca de 150.000 km² (IBGE, 2019).

Diante do exposto, o tema dos incêndios florestais é extremamente atual e relevante tanto no âmbito nacional como no âmbito internacional. Além dos impactos ambientais já levantados na literatura, como a perda de biodiversidade, alteração na composição, estrutura e funcionamento da floresta e emissão de gases de efeito estufa, as queimadas também causam impactos socioeconômicos diretos, que podem

afetar a todas as populações. Todavia, há grupos mais sensíveis a esse tipo de desastre, seja pela genética, considerando, por exemplo, o grupo dos povos originários, ou pela vulnerabilidade, como o acesso à saúde e, a idade da população, em que os idosos e as crianças geralmente são os mais afetados. Os impactos sociais incluem os riscos à saúde relacionados à baixa qualidade do ar que, além de ocasionar diversos problemas cardiorrespiratórios, podem ocasionar a saturação dos leitos hospitalares, já que muitos municípios onde geralmente ocorrem os incêndios são em geral carentes de infraestrutura hospitalar de alta complexidade e de serviços de atenção básica de saúde (Fiocruz, 2020).

De acordo com o relatório *The Limits of Livability do Global Climate and Health Alliance* (2021) os incêndios florestais podem afetar populações muito grandes através de episódios de qualidade do ar extremamente baixa, causando cerca de 339.000 mortes prematuras por ano em todo o mundo.

Entretanto, um ponto importante que interfere na avaliação dos riscos e impactos das queimadas e incêndios florestais à saúde da população é que, muitas vezes, apenas uma parte da população afetada por esse tipo de desastre procura de fato assistência em postos de saúde e hospitais, somente em casos mais graves, o que pode trazer limitações de dados de saúde.

De acordo com imagens de satélite processadas pelo Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (LAPIS) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) a poluição do ar está excedendo o limite aceitável para garantir a mínima qualidade do ar à população exposta (Letras Ambientais, 2020). Com exceção dos grandes centros urbanos, em que a qualidade do ar é mais fortemente influenciada pela poluição gerada localmente pela queima de combustíveis fósseis, na maior parte do território brasileiro, as queimadas e incêndios florestais são os fatores que mais contribuem para a poluição do ar com impactos à saúde da população (Anderson; Marchezini, 2020). Municípios das regiões Sul e Sudeste foram impactados pelas queimadas através do transporte da fumaça e fuligem geradas pelos incêndios florestais no Pantanal. No Mato Grosso do Sul, as queimadas têm sido o novo fator de risco à saúde da população, uma vez que têm agravado a crise e fragilizado ainda mais a população de Corumbá (MS), Ladário (MS) e região, pese o enfrentamento às infecções pelo novo coronavírus. Na capital, Campo Grande, a

ocupação dos leitos hospitalares ficou próxima da saturação, e em julho de 2020, o governo do Mato Grosso do Sul decretou situação de emergência, em razão do aumento na procura pelo sistema de saúde, por conta de doenças relacionadas à qualidade do ar (Letras Ambientais, 2020).

De acordo com Saito *et al.* (2019), é fundamental o conhecimento da população exposta ao risco de desastres para o planejamento de ações de prevenção e resposta. Segundo a autora, têm sido observados progressos no desenvolvimento de indicadores de risco de desastres e de vulnerabilidade da população a ameaças naturais.

De acordo com Anderson *et al.* (2019),

Apesar dos marcos internacionais para redução de risco de desastres (UNISDR, 2005; 2015) não mencionarem a problemática dos desastres associados a incêndios, estudos demonstram que este é um risco crescente em países como o Brasil (Aragão *et al.*, 2018, Costa *et al.*, 2018). Entretanto, ainda não existe uma estratégia nacional de gestão de risco para este tipo de desastre no país.

No Brasil, de fato, poucos estudos atuais têm investigado diretamente os efeitos dos poluentes emitidos durante as queimadas na saúde da população, e a grande parte deles se concentra principalmente no bioma Amazônia.

Desta maneira, conhecer os riscos e identificar a magnitude dos impactos causados pelos incêndios florestais na saúde da população são cruciais para o planejamento e o fortalecimento de ações de prevenção, tais como a elaboração de políticas públicas que visem a sua mitigação, agindo diretamente nas ameaças e vulnerabilidades das populações, incorporando a sensibilização da população e a divulgação de informação através de sistemas de alerta eficazes. Atualmente, estes sistemas são quase inexistentes quando se trata de desastres ambientais associados a incêndios florestais.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Considerando o cenário atual, que mostra o aumento de fontes de ignição no Pantanal devido à expansão agropecuária, a perspectiva de agravamento desse cenário, com a previsão de extremos de secas e temperaturas acentuados e,

consequentemente, a baixa qualidade do ar, este trabalho pretende contribuir na resposta à seguinte pergunta de pesquisa:

A exposição a poluentes gerados por incêndios florestais no Pantanal brasileiro pode ocasionar riscos imediatos, de médio e/ou de longo prazo à saúde respiratória da população?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivos gerais

Objetivou-se nesta pesquisa analisar as relações de queimadas e incêndios florestais no Pantanal brasileiro e estimativas da decorrente concentração de material particulado fino (PM_{2.5}) na atmosfera, com dados sobre internações hospitalares por problemas respiratórios, a fim de determinar as correlações espaço-temporais entre estas variáveis. O período analisado compreendeu os anos de 2016 a 2019, incluindo os municípios situados no bioma Pantanal nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. Este estudo tem potencial de contribuir para a definição de limiares de exposição a altas concentrações de PM_{2.5} que podem ser utilizados para a concepção de modelos de análise de risco à saúde, e, na implementação de políticas públicas que promovam a prevenção e redução de riscos e danos à saúde humana, através do desenvolvimento de sistemas de alerta específicos para limiares de baixa qualidade do ar, bem como contribuir para o estabelecimento de estratégias de Redução do Risco de Desastres (RRD) associados à ocorrência de queimadas e incêndios florestais no país.

1.3.2 Objetivos Específicos

- i) Descrever a distribuição espaço-temporal dos focos de queimadas, das concentrações de material particulado fino emitido em queimadas e incêndios florestais e das internações hospitalares por doenças respiratórias na área de estudo.

- ii) Identificar o potencial dos incêndios florestais na região para a geração de riscos à saúde da população.
- iii) Estabelecer um modelo de análise sistemática dos riscos dos incêndios florestais à saúde das populações, com potencial para ser utilizado no planejamento de ações preparatórias de saúde pública.

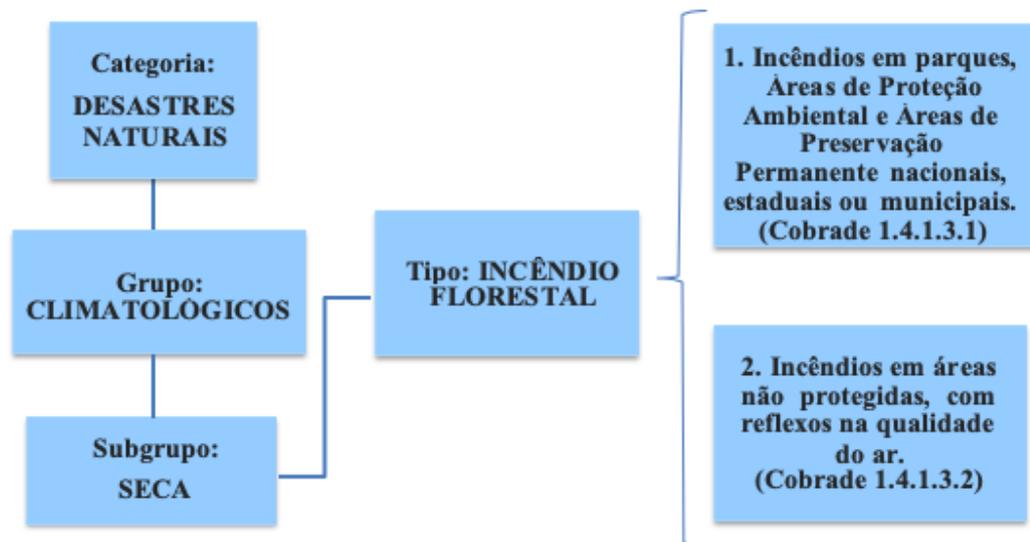
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 INCÊNDIOS FLORESTAIS NO CONTEXTO DE DESASTRES NATURAIS

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, em inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC* (2019), os eventos climáticos extremos, tais como ondas de calor, chuvas intensas, secas e incêndios florestais associados e inundações costeiras, constituem riscos/impactos à saúde humana, meios de subsistência, bens e ecossistemas. A previsão atual dos cientistas é um aumento considerável da intensidade e frequência desses eventos e, uma das consequências de secas extremas e déficits de chuvas, pode ser a ocorrência de incêndios florestais (Barros, 2016).

De acordo com a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE), os incêndios florestais são classificados como desastres naturais climatológicos, dentro do subgrupo secas. Eles são subdivididos em dois subgrupos: I. Incêndios em parques, áreas de proteção ambiental e áreas de preservação permanente (APPs) nacionais, estaduais ou municipais que tem como definição a propagação de fogo sem controle, em qualquer tipo de vegetação situada em áreas legalmente protegidas; II. Incêndios em áreas não protegidas, com reflexos na qualidade do ar, tendo como definição a propagação de fogo sem controle, em qualquer tipo de vegetação que não se encontre em áreas sob proteção legal, acarretando queda da qualidade do ar (COBRADE, 2012). A Figura 1 ilustra esta classificação dos incêndios florestais dentro da classificação dos desastres naturais da COBRADE.

Figura 1 - Classificação de incêndios florestais na taxonomia de desastres do COBRADE.



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Anderson *et al.* (2019), o aumento no número de desastres associados a incêndios florestais em todo o planeta está relacionado ao aumento da ocorrência e de frequência de secas extremas, e estudos demonstram que este é um risco crescente em países como o Brasil. Conforme os autores, o risco pode ser definido a partir da relação entre ameaça(s), vulnerabilidade(s) e as capacidades de prevenção e resposta(s) e, conceitua vulnerabilidade, em termos gerais, como o potencial de sofrer danos.

Segundo Anderson e Marchezini (2020) os impactos dos incêndios florestais não são adequadamente quantificados, pois, existe um negligenciamento no registro oficial de situações de emergência e calamidade pública associadas à baixa qualidade do ar, oriundos de queimadas e incêndios florestais, mas por outro lado, o conhecimento dos riscos deste tipo de evento necessita ser aprofundado.

O Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD), órgão que integra a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC), do então Ministério da Integração Nacional, publicou entre os anos de 2011 e 2013 o Anuário Brasileiro de Desastres Naturais, documento que retrata os principais desastres ocorridos no Brasil, e que possibilita a comunidade em geral, bem como a comunidade técnico-científica, conhecer o perfil de desastres naturais no país. Sua primeira versão foi desenvolvida no ano de 2011, quando o Governo Federal inseriu a temática Gestão

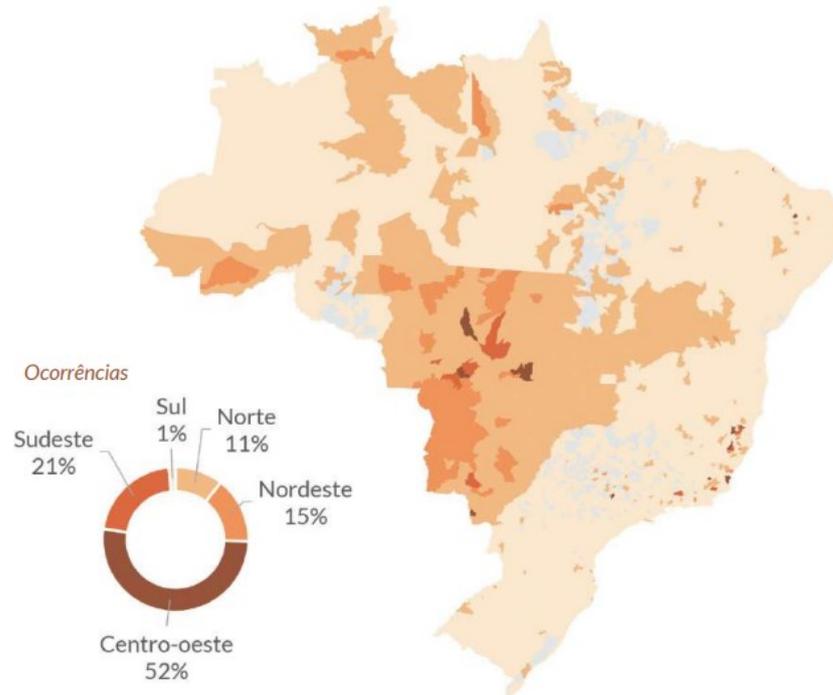
de Riscos e Desastres em sua agenda prioritária e adotou diversas iniciativas para consolidar essa agenda, como o Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres (PNGRD). Nesta primeira versão do Anuário (2011), os incêndios florestais não aparecem no perfil de desastres, embora haja uma citação de que na região centro-oeste os eventos mais recorrentes ao longo dos anos são os incêndios florestais, os quais são responsáveis por inúmeros prejuízos econômicos, sociais e ambientais, e que, esses eventos apenas ocasionalmente geram decretação de Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública, porém afetam grande parcela da população (Anuário Brasileiro de Desastres Naturais: 2011). Entretanto, na edição de 2012, foram inseridos no perfil de desastres critérios de agrupamentos para os desastres relacionados a incêndios florestais, tendo em vista o significativo número de ocorrências dos eventos relacionados a esse tipo de desastre. A última versão do Anuário se deu no ano de 2013, onde cita-se que a maioria dos desastres relacionados a incêndios florestais ocorreu na região Centro-Oeste, com 50% das ocorrências.

A partir de 2015, diversos desastres associados a incêndios florestais foram registrados pela mídia global, sugerindo uma intensificação destes eventos e de seus impactos socioambientais e econômicos. Esta intensificação pode ser observada através de dados encontrados em um estudo publicado pelo Ministério do Desenvolvimento Rural (MDR, 2022), que apresenta dados atualizados referentes a desastres no Brasil entre os anos de 1991 e 2020 (Figuras 2, 3 e 4). De acordo com a publicação, o Brasil registrou 1.298 ocorrências de desastres relacionados aos incêndios florestais entre o período de 1991 e 2020 (Figura 3), sendo que os dois últimos anos deste período acumularam mais de 74% dos registros e a região Centro-Oeste, abrangida pelos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal, é a que apresenta predominância desse evento, com 52% das ocorrências (Figura 2). Em relação à população afetada e aos prejuízos materiais relacionados aos incêndios florestais, o Brasil teve um total de 48.724 pessoas desalojadas, desabrigadas, feridas e enfermas, e mais de R\$1 bilhão em prejuízos públicos e privados, entre 1991 e 2020 (MDR, 2022).

Diversos autores como Lucas, Kovalsyki e Tetto (2020) e Jesus *et al.* (2020) demonstram em seus estudos que os focos de queimadas têm maior concentração nos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal, e conseqüentemente na região centro-

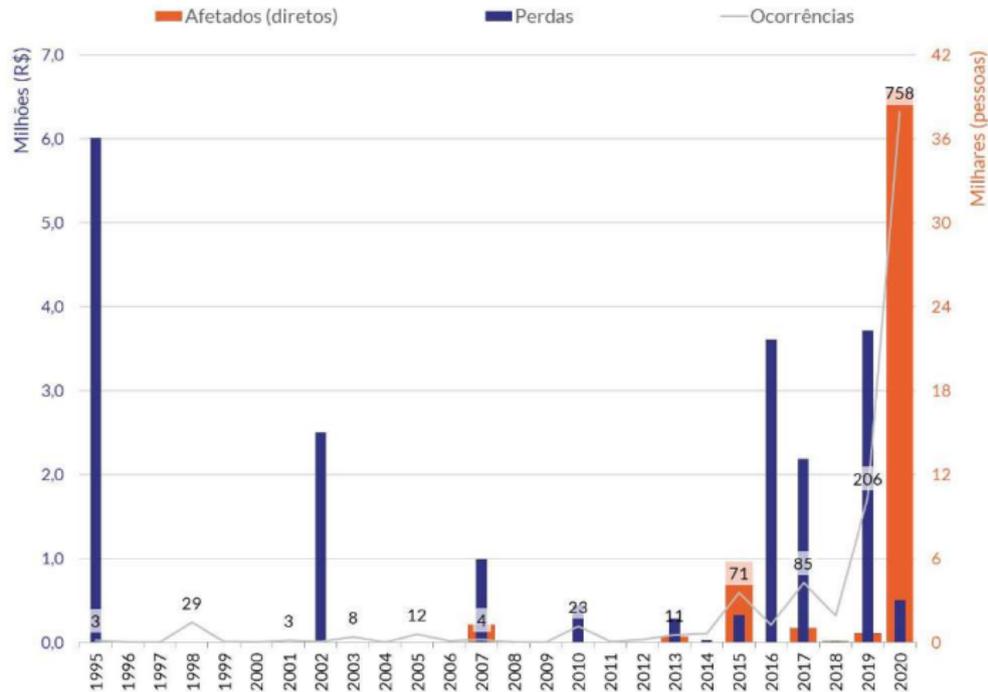
oeste, o que pode explicar o maior número de ocorrências de desastres nessas regiões.

Figura 2 – Porcentagem de ocorrências relacionadas aos incêndios florestais no Brasil entre 1991 e 2020.



Fonte: MDR, 2022.

Figura 3 – Dados de ocorrências, afetados e perdas (em R\$) causados pelos incêndios florestais no Brasil entre 1991 e 2020.



Fonte: MDR, 2022.

Figura 4 – Dados de afetados, danos e prejuízos causados pelos incêndios florestais no Brasil entre 1991 e 2020.



Fonte: MDR, 2022.

Conforme definido pela COBRADE (2012), incêndio florestal é qualquer “propagação de fogo sem controle, em qualquer tipo de vegetação”. Segundo Tetto, Batista e Soares (2011), para que um incêndio florestal ocorra e se propague há necessidade de três elementos: o oxigênio, o material combustível e o calor, representados pelo triângulo do fogo (Figura 5).

Figura 5 – Triângulo do fogo.



Fonte: Teixeira Neto, 2011 apud Tetto, Batista e Soares, 2011, p. 9.

Os incêndios mais destruidores aparecem com uma combinação explosiva de três fatores, o clima quente e seco, alguma fonte de ignição, como por exemplo, relâmpago ou faísca e, um combustível para alimentar as chamas, como os galhos e as folhagens secas (Lucas; Kovalsyki; Tetto; 2020). As condições meteorológicas, como a baixa umidade relativa do ar, que faz com que o material combustível perca mais rapidamente sua umidade para o ambiente, a alta temperatura do ar, que diminui a quantidade de energia necessária para que o material combustível chegue à temperatura de ignição e, o vento, que determina a direção da propagação, aumenta a provisão de oxigênio e facilita a queima dos combustíveis, são fatores ambientais que influenciam diretamente a ocorrência e a propagação dos incêndios florestais (Tetto, Batista e Soares, 2011).

O monitoramento oficial das queimadas e incêndios florestais no país é realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) por meio de sensoriamento remoto por satélites.

Como o monitoramento de ocorrência de incêndios florestais é intimamente baseado em dados de satélites, as ocorrências podem ser detectadas a partir de focos de calor, que são anomalias de temperatura, que indicam o fogo ativo, e são detectadas através de sensores de satélites ambientais (Anderson *et al.*, 2019).

De acordo com o INPE (2020), um foco de incêndio indica a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (pixel), que varia de 375 m x 375 m até 5 km x 4 km, dependendo do satélite. Mesmo que num pixel haja uma ou várias frentes de fogo ativo distintas, a indicação será de um único foco.

O Programa Queimadas do INPE gera diversos produtos para o monitoramento e a modelagem da ocorrência e propagação dos focos de incêndio,

seu risco e extensão, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Modelagem Numérica. Dados de focos e área queimada serão descritos nos próximos parágrafos.

No Brasil, o ano de 2020 teve números recordes de focos de incêndio. Conforme a Figura 6, é possível observar que a partir de 2015 houve um aumento considerável do número de focos no país em relação a 2013, com especial atenção para o ano de 2020, que atingiu mais de 220 mil focos, considerando o satélite de referência AQUA (Sensor MODIS, passagem no início da tarde) (INPE, 2020).

Figura 6 – Série histórica de focos de incêndio no Brasil, entre 2012 e 2022.

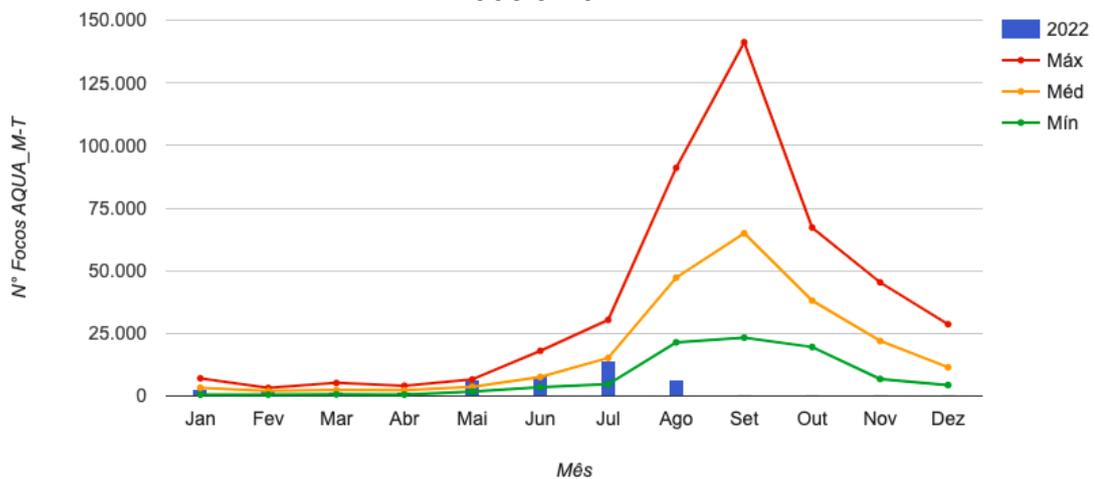


Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2020).

O gráfico da Figura 7 apresenta o comparativo mensal de focos de incêndio no Brasil, considerando os anos entre 1998 e 2022. Através deste gráfico, pode-se observar que a predominância de focos ocorre entre julho e outubro, sendo o mês de setembro com maior concentração média de focos de incêndio em todo o país. Esta alta no número de focos em setembro pode estar relacionada ao auge da seca, que ocorre entre agosto e setembro no Pantanal (Pivetta, 2021) e também na Amazônia (Souza, Oviedo e Santos, 2020), ou seja, baixa precipitação pluviométrica e elevadas

temperaturas, além da baixa umidade do solo, que são bastante expressivas neste período, gerando mais biomassa para queimar. Dados do Boletim Mensal do Programa de Monitoramento e Risco de Queimadas e Incêndios Florestais do INPE, referente ao mês de setembro de 2020, informam que nesse período foram registradas 69.329 detecções de fogo na vegetação em todo o país, indicado pelo satélite de referência, sendo que 20.312 focos se concentraram no estado do Mato Grosso (INPE, 2020).

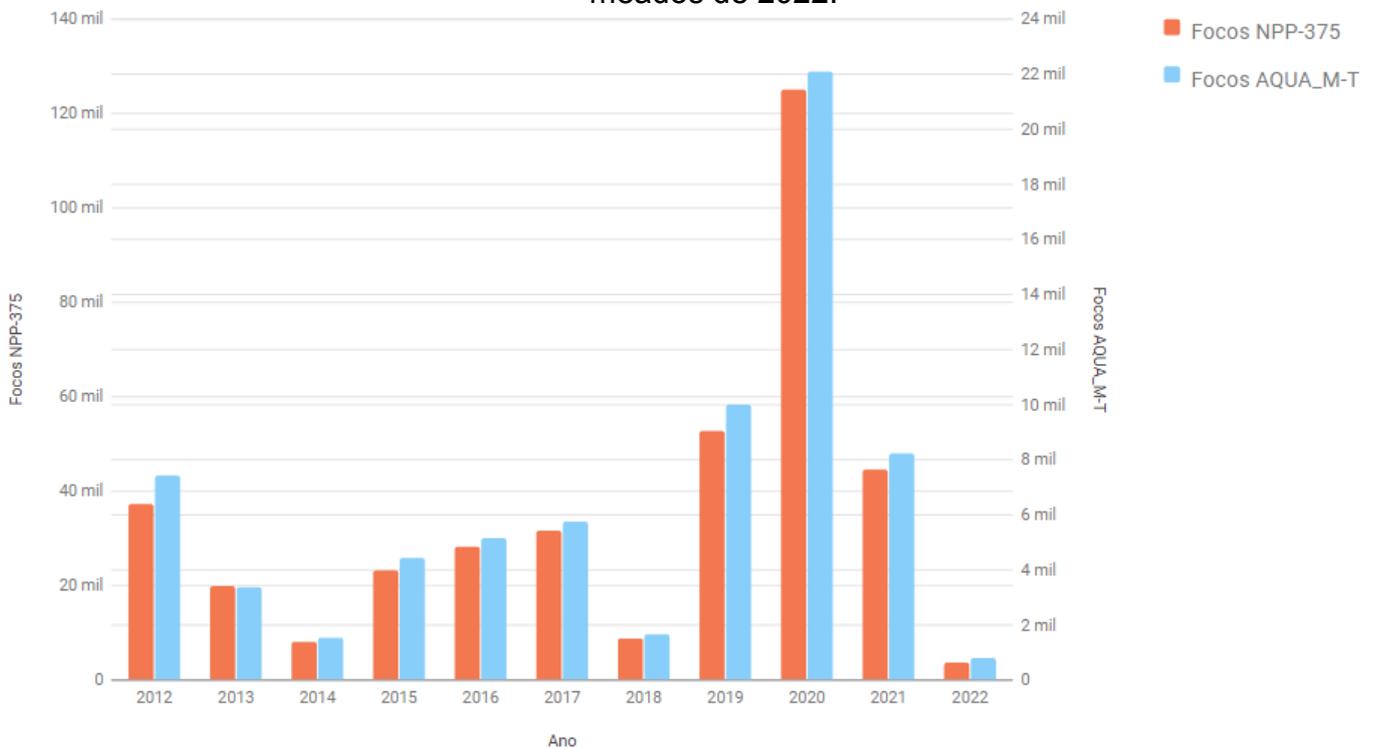
Figura 7 - Comparativo mensal de focos de incêndio no Brasil, no período de 1998 a 2022.



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2020).

A Figura 8 expõe a série história de focos de incêndio no bioma Pantanal, onde se observa que, exceto o ano de 2018, a partir de 2015 até 2020 todos os anos apresentaram número crescente de focos de incêndio no bioma, sendo o ano de 2020 com valores muito acima da média dos anos anteriores, seguido de 2019 (INPE, 2020). Este dado demonstra a forte relação entre o aumento dos incêndios florestais e do desmatamento observados entre 2019 e 2020 em todos os biomas brasileiros, visto que o fogo é o método dominante pelo qual as florestas e a vegetação são derrubadas (Reddington *et al.*, 2015). De acordo com o Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2020 (MapBiomas, 2021), em todo o país houve um crescimento de 14% da área desmatada de 2019 a 2020; no Pantanal, os dados apontam uma área desmatada de 16.521 hectares em 2019, e de 23.652 hectares em 2020, ou seja, uma variação de 43% na área desmatada entre os dois anos.

Figura 8 – Série histórica de focos de incêndio no Pantanal, entre 2012 e meados de 2022.



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2020).

Um segundo tipo de dado, também oriundo de satélites, é complementar aos focos de calor e refere-se às cicatrizes de áreas queimadas. O monitoramento dessas cicatrizes permite analisar o tamanho da área impactada pelas queimadas, dados que podem ser utilizados para fins de monitoramento e alertas (Anderson *et al.*, 2019).

Por meio da tabela da Figura 9 pode-se observar que a maior parte das áreas queimadas em km² no ano de 2020 foi observada no mês de setembro em todos os biomas, exceto na Caatinga e no Pampa, onde a maior área queimada foi observada em outubro e em abril, respectivamente.

Figura 9 - Dados mensais de área queimada (km²) em todos os biomas brasileiros no ano de 2020.

Ano	Mês	Amazônia	Caatinga	Cerrado	Mata			Total mensal
					Atlântica	Pampa	Pantanal	
2020	1	1.580	434	214	481	19	436	3.164
2020	2	2.787	45	247	160	26	156	3.421
2020	3	1.658	8	697	239	200	1.036	3.838
2020	4	1.480	61	2.383	2.979	4.424	2.058	13.385
2020	5	699	15	2.501	837	669	338	5.059
2020	6	1.984	79	7.554	1.911	344	1.076	12.948
2020	7	3.515	528	11.324	1.706	151	3.367	20.591
2020	8	20.670	1.789	22.730	3.344	200	10.179	58.912
2020	9	27.938	4.816	54.740	3.398	11	14.264	105.167
2020	10	12.028	13.119	34.188	2.360	27	5.707	67.429
2020	11	2.335	5.350	2.122	384	18	1.554	11.763
2020	12	722	4.209	944	129	24	435	6.463
Total anual		77.396	30.453	139.644	17.928	6.113	40.606	312.140

Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2020).

No mapa da Figura 10, por sua vez, vê-se a maior concentração de áreas queimadas em uma faixa que corta o território brasileiro atingindo grande parte das regiões centro-oeste, norte e nordeste, próxima aos limites entre os biomas Pantanal, Cerrado, Amazônia e Caatinga.

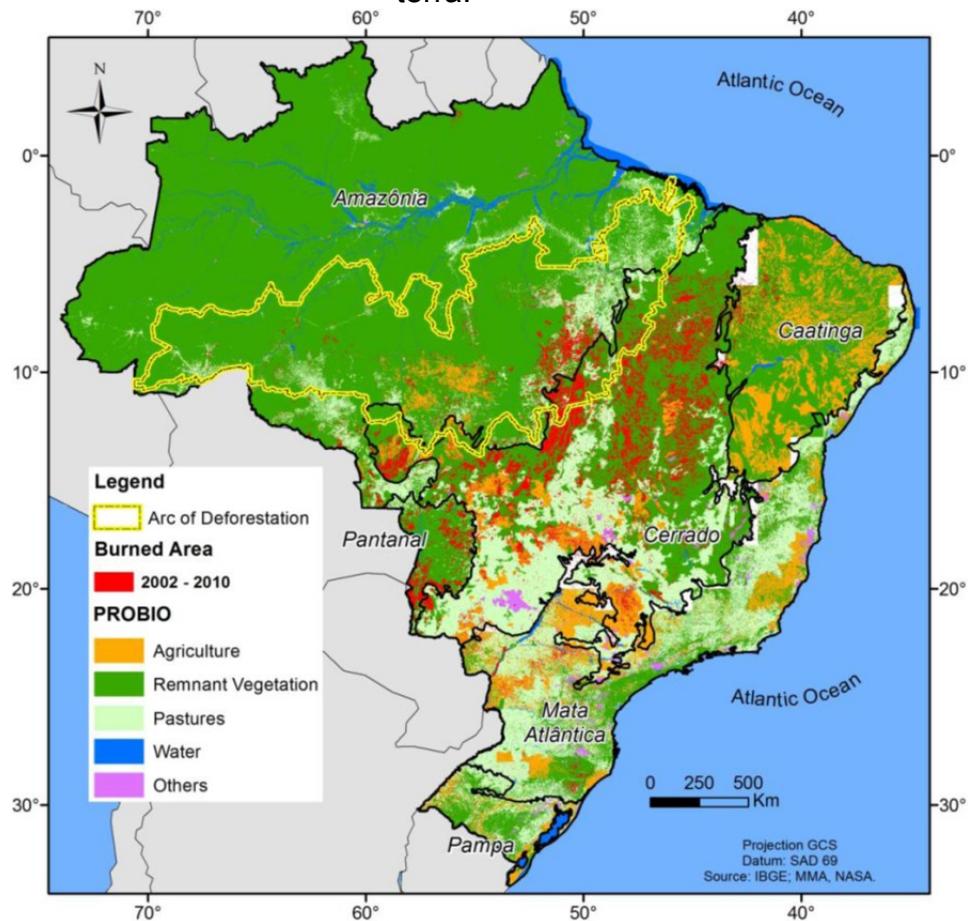
Figura 10 - Mapa de área queimada (km²) em todos os biomas durante o mês de setembro de 2020.



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2020).

Moreira de Araújo, Ferreira e Arantes (2012), ao analisarem a distribuição de áreas queimadas nos biomas brasileiros entre o período de 2002 a 2010, apresentam como resultado uma maior concentração de áreas queimadas no Cerrado, na Amazônia e no Pantanal. Também citam que não é mera coincidência essa alta concentração abranger o Arco do Desmatamento, que compõe o sudeste do Pará e norte do Mato Grosso, regiões de fronteiras agrícolas proeminentes onde as queimadas antrópicas são recorrentes (Figura 11).

Figura 11 - Mapa de distribuição espacial da área total queimada (2002–2010) nos biomas brasileiros, em relação às principais classes de cobertura e uso da terra.



Fonte: Moreira de Araújo, Ferreira e Arantes (2012).

2.2 RISCOS E IMPACTOS DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS

Os impactos diretos causados pelos incêndios são conceituados por Anderson *et al.* (2019) como a queima de vegetação nativa, perda de produção agropecuária, danos em infraestrutura, alterações nas florestas, perda de produtos florestais madeireiros e não madeireiros, dentre outros. Já dentre os impactos indiretos podem ser consideradas as internações hospitalares por problemas respiratórios ocasionadas pela baixa qualidade do ar, a interrupção de tráfego terrestre e aéreo, a emissão de gases de efeito estufa, etc.

Conforme Melo *et al.* (2020), os principais problemas à saúde humana decorrentes das queimadas podem ser:

dor e ardência na garganta, tosse seca, cansaço, falta de ar, dificuldade para respirar, dor de cabeça, rouquidão e lacrimejamento e vermelhidão nos olhos; agravamento de doenças prévias como rinite, asma, bronquite e doença pulmonar obstrutiva crônica; além do desencadeamento de enfermidades cardiovasculares, insuficiência respiratória e pneumonia.

Segundo Morello *et al.* (2020), as implicações da poluição do ar são preocupantes e podem ser notadas tanto em áreas urbanas como em áreas rurais. Os autores também assinalam que estão mais predispostas ao uso do fogo as “áreas sujeitas a desmatamento, os projetos de assentamento, propriedades particulares, terras da união ilegalmente ocupadas, e terras em que habitam extrativistas, ribeirinhos, populações tradicionais e indígenas”, impactando aqueles que utilizam a queimada ou residem nas proximidades de quem a utiliza.

Com exceção dos grandes centros urbanos, em que a qualidade do ar é mais fortemente influenciada pela poluição gerada localmente por veículos (Miranda *et al.*, 2012), na maioria do extenso território brasileiro, as queimadas e incêndios florestais são os fatores que mais contribuem para a poluição atmosférica com impactos para a saúde (Reddington *et al.*, 2015).

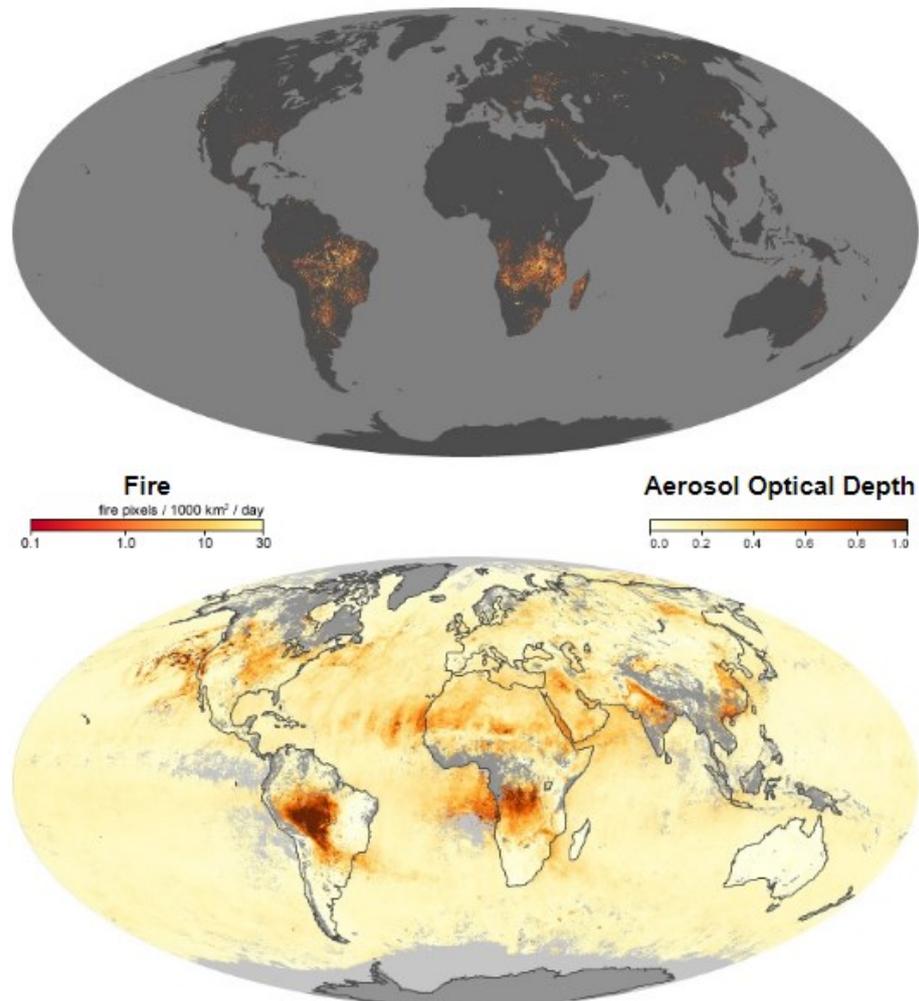
De acordo com o Global Climate and Health Alliance (2021) os incêndios florestais podem afetar populações muito grandes através de episódios de qualidade do ar extremamente baixa, causando cerca de 339.000 mortes prematuras por ano em todo o mundo, entretanto a fumaça desses incêndios recebe relativamente pouca atenção. As partículas presentes na fumaça das queimadas podem ser mais prejudiciais à saúde do que as partículas urbanas do ar.

Além de gases e nuvens, a atmosfera da Terra contém pequenas partículas sólidas e líquidas chamadas aerossóis. Os aerossóis incluem sal marinho, poeira e cinzas vulcânicas, poluição de fábricas, bem como fuligem, sulfatos e outras partículas produzidas pela queima de combustíveis fósseis. Os aerossóis influenciam a qualidade do ar e a saúde da população, e podem influenciar o clima refletindo ou absorvendo a luz solar e mudando o local e a formação de nuvens. Os incêndios florestais e as queimadas também são fontes significativas de aerossóis (NASA, 2022).

Através de imagens de satélite da National Aeronautics and Space Administration (NASA), também se observa uma alta concentração de incêndios

ativos e de Profundidade Óptica de Aerossol, do termo em inglês *Aerosol Optical Depth* (AOD), no Brasil no mês de setembro de 2020 (Figura 12). A comparação entre as duas imagens abaixo mostra os locais e épocas do ano em que os incêndios desempenham um papel importante nos aerossóis, como a exemplo da Figura 12, em que a quantidade de incêndios e de aerossóis aumenta em conjunto na América do Sul de julho a setembro. Esse padrão se deve ao desmatamento e aos incêndios agrícolas (NASA, 2022).

Figura 12 - Incêndios (globo superior) e Profundidade Óptica do Aerossol - AOD (globo inferior) no mundo no mês de setembro de 2020.



Fonte: National Aeronautics and Space Administration - NASA, 2022.

Diversos estudos demonstram que o aumento dos atendimentos de urgência e internações hospitalares por doenças respiratórias (DRs) tem sido associado à exposição à fumaça resultante das queimadas (Mascarenhas *et al.*, 2008).

De acordo com Arbex *et al.* (2004), a exposição aos particulados, emitidos pela queima de biomassa, afeta a saúde das pessoas, sendo o poluente que apresenta maior toxicidade e o que tem sido mais estudado. A Figura 13 lista os principais compostos liberados durante a queima de biomassa, juntamente com exemplos desses compostos, suas fontes e notas sobre suas características, comportamento e forma de dispersão.

Figura 13 - Principais compostos da queima de biomassa.

Compostos	Exemplos	Fonte	Notas
Partículas	Partículas inaláveis (PM ₁₀)	Condensação após combustão de gases; combustão incompleta de material inorgânico; fragmentos de vegetação e cinzas	Partículas finas e grossas. Partículas grossas não são transportadas e contêm principalmente cinzas e material do solo
	Partículas respiráveis	Condensação após combustão de gases; combustão incompleta de material orgânico.	No caso de fumaça proveniente da queima de biomassa comporta-se como partículas finas
	Partículas finas (PM _{2,5})	Condensação por combustão de gases; combustão incompleta de material orgânico	Transportadas através de longas distâncias. Produção primária e secundária
aldeídos	acroleína formaldeído	Combustão incompleta de material orgânico Combustão incompleta de material orgânico	
Ácidos inorgânicos	Monóxido de carbono (CO) ozônio	Combustão incompleta de material orgânico Produto secundário do óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos	Transportado através de longas distâncias Presente somente adiante do fogo, transportado através de longas distâncias
	Dióxido de nitrogênio(NO ₂)	Oxidação em altas temperaturas do nitrogênio do ar	Espécies reativas; a concentração diminui com a distância do fogo
Hidrocarbonetos	benzeno	Combustão incompleta de material orgânico	Transporte local; também reage com outras formas de aerossol orgânico
Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos(PAHs)	Benzopireno (BaP)	Condensação após combustão de gases; combustão incompleta de material orgânico	Compostos específicos que variam de acordo com a composição da biomassa

Fonte: ARBEX *et al.*, 2004.

O grande número e a alta intensidade das queimadas, ocorridas em números recordes no ano de 2020, aliada à baixa umidade na região Amazônica e no Pantanal, podem também ter agravado o impacto da epidemia de Covid-19 no país. Num cenário de queimadas associado à epidemia causada pelo novo coronavírus, três regiões brasileiras apresentam os maiores riscos à saúde da população, o Bioma Pantanal; o

Arco do Desmatamento no sudeste do Pará e norte do Mato Grosso; e a Porção Ocidental da Amazônia Legal. Estas três regiões são consideradas vulneráveis aos impactos da epidemia de COVID-19 e da intensificação das queimadas, pois, apresentam elevada incidência de casos e óbitos por Covid-19 aliada à escassez de serviços de saúde e estradas e, também, grande número de queimadas e elevada concentração de material particulado fino (PM_{2.5}) (Fiocruz, 2020).

Segundo a Fiocruz (2020), os incêndios florestais podem emitir diversos poluentes e gases de efeito estufa, como o CO₂ (dióxido de carbono), o CH₄ (metano) e o N₂O (óxido nitroso). No entanto, são comumente relacionados à alta emissão e concentração de material particulado fino (PM_{2.5}).

De acordo com o Sistema de Informações Ambientais Integrado a Saúde (SISAM), em se tratando de poluentes atmosféricos associados à saúde, o material particulado, especialmente o particulado fino (PM_{2.5}) é a variável que está mais associada aos processos de queima de biomassa, queimas de combustíveis fósseis em combustão de origem veicular e industrial, ressuspensão de poeira, entre outros.

Conforme Carmo e Hacon (2013), o material particulado, geralmente, é classificado pelo seu diâmetro, que define sua toxicidade, uma vez que esse parâmetro determina a deposição dentro do sistema respiratório. PM₁₀ são partículas com diâmetro inferior a 10 µm e podem penetrar nas vias respiratórias superiores. O PM_{2.5} é o material particulado fino que possui diâmetro inferior a 0,1 µm ou se situa entre 0,1 µm e 2,5 µm, sendo o material particulado mais emitido durante a queima de biomassa e o que penetra mais profundamente nos pulmões. Por isso, as análises deste trabalho focam no PM_{2.5}.

As partículas finas se estabelecem por mais tempo na atmosfera do que as partículas grossas e têm uma maior capacidade de dispersão, pois, podem ser transportadas por grandes distâncias. Elas agravam os problemas respiratórios, podendo causar mortes prematuras, uma vez que se depositam nos brônquios terminais e nos alvéolos pulmonares (Carmo *et al.*, 2010).

A legislação brasileira que dispõe sobre os padrões de qualidade do ar é a Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018. Esta resolução estabelece que a concentração média anual de PM_{2.5} não pode ultrapassar níveis de exposição de 10 µg/m³ (micrograma por metro cúbico) e, a média diária (24 horas) não pode

ultrapassar os níveis de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, de outro modo, poderão afetar a saúde, a segurança e o bem-estar da população, pois sua variação interfere principalmente no sistema respiratório, influenciando no desenvolvimento de alergias em geral e diversas reações, bem como ocasionar danos à flora e à fauna e ao meio ambiente em geral (SISAM). Para o $\text{PM}_{2.5}$ ficaram estabelecidos os seguintes níveis:

- a) Nível de atenção: quando forem atingidas concentrações de partículas inaláveis, média de 24 horas, de $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- b) Nível de alerta: quando forem atingidas concentrações de partículas inaláveis, média de 24 horas, de $210 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- c) Nível de emergência: quando forem atingidas concentrações de partículas inaláveis, média de 24 horas, de $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$;

Em contrapartida, a Organização Mundial da Saúde (OMS), do inglês *World Health Organization* (WHO), estabelece recomendações de qualidade do ar a nível global, e em 2021 publicou o “WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate matter ($\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10}), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide”, uma diretriz de qualidade do ar global (AQG level) que tem por objetivo oferecer recomendações quantitativas baseadas em saúde para o gerenciamento da qualidade do ar, expressas como concentrações de longo ou curto prazo para vários poluentes atmosféricos importantes, como o $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono. A recomendação da OMS para a concentração média de $\text{PM}_{2.5}$ a nível anual é de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e a nível diário (24 horas) é de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO, 2021). No Quadro 1, estão sintetizadas recomendações da OMS e do CONAMA quanto à concentração média diária e anual de $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Quadro 1 – Padrões de qualidade do ar para Material Particulado Fino ($\text{PM}_{2.5}$), recomendados pela Organização Mundial de Saúde (2021) e pela Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018. Adaptado de WHO, 2021 e CONAMA (2018).

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE (OMS) - 2021	
Média diária (24h)	$15 \mu\text{g}/\text{m}^3$
Média anual	$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
RESOLUÇÃO DO CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA) - 2018	

Média diária (24h)	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Média anual	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Fonte: Elaborado pela autora.

Existem diferenças significativas entre os padrões de qualidade do ar recomendados pela legislação brasileira e pela OMS, entretanto, deve-se considerar a recomendação da OMS, visto que é a mais adequada para estudos de saúde ambiental.

De acordo com o Global Climate and Health Alliance (2021), os níveis de material particulado costumam ultrapassar as diretrizes da OMS durante a temporada das queimadas. Em estudo referente aos impactos da fumaça na saúde devido a incêndios florestais e mudanças climáticas realizado em 816 municípios do Brasil, a concentração de $\text{PM}_{2.5}$ excedeu os padrões de segurança da OMS em 81% dos municípios onde foram coletados dados de qualidade do ar. Os níveis de $\text{PM}_{2.5}$ foram mais elevados em Rondônia, centro-norte de Mato Grosso, sudoeste do Pará, sudeste do Amazonas e na região de Manaus e Roraima. Em Novo Progresso (PA), o $\text{PM}_{2.5}$ foi registrado em $570 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cerca de 23 vezes mais do que o padrão de segurança da OMS.

Grande parte do significativo progresso obtido atualmente em relação à capacidade de avaliar riscos, realizar previsões e comunicar melhor os alertas, é proveniente principalmente dos resultados científicos em relação à compreensão das informações e o uso das modernas tecnologias de informação e comunicação (UNISDR, 2006).

Desta maneira, se faz necessário aprofundar o conhecimento sobre os riscos e impactos dos incêndios florestais à saúde da população, para que o planejamento de ações de prevenção seja mais bem desenvolvido e se possa diminuir a ocorrência de desastres, uma vez que a população esteja mais preparada para reagir a qualquer evento que venha a ocorrer.

3. TRABALHOS RELACIONADOS

No Brasil poucos estudos têm investigado diretamente os efeitos do $PM_{2.5}$ emitido durante as queimadas na saúde da população, e a grande parte deles se concentra principalmente no bioma Amazônia.

Nas últimas décadas a abordagem mais utilizada para estimar os efeitos de curto prazo da poluição atmosférica na saúde humana tem sido um estudo epidemiológico de séries temporais, metodologia fundamental nos estudos atuais e na configuração de padrões aceitáveis de qualidade do ar para a saúde humana, sendo os modelos de regressão os mais utilizados para avaliar se o aumento da morbidade ou mortalidade por doenças respiratórias está associado ao aumento nos níveis de determinado poluente (Carmo e Hacon, 2013).

Gonçalves, Castro e Hacon (2012) consideram que o uso do fogo na região amazônica, aliado a um processo histórico de ocupação do território, expõe parcelas maiores da população tornando-as vulneráveis aos seus efeitos a cada ano. Desta maneira, resumem os estudos desenvolvidos na Amazônia Brasileira no período de 2007 a 2011 relacionados aos incêndios florestais e os efeitos à saúde humana. Em contrapartida, o estudo de Carmo e Hacon (2013) resume a literatura existente sobre os efeitos da poluição atmosférica por queimadas na saúde humana nas regiões que concentram o maior número de queimadas no planeta, Amazônia, Estados Unidos, Austrália e Ásia, entre os anos de 1992 e 2012. Estes e demais estudos que investigam a associação entre os poluentes emitidos pelas queimadas e as doenças respiratórias e/ou cardiorrespiratórias foram sintetizados e reunidos nos quadros seguintes, em ordem decrescente da data de publicação.

Quadro 2 – Estudos que investigaram a associação entre poluentes emitidos pelas queimadas e problemas cardiorrespiratórios no Brasil.

BRASIL							
Estudo	Referência/Ano	Período de estudo	Área de Estudo	Variável de Exposição	Desfecho de saúde e população de estudo	Metodologia analítica	Resultados significativos
Impactos na qualidade do ar e saúde humana relacionados ao desmatamento e queimadas na Amazônia Legal brasileira	Souza <i>et al.</i> , 2020	2010 a 2019	Amazônia Legal Brasileira	PM _{2.5}	Internações por doenças respiratórias na população indígena	Correlação de Pearson	Forte correlação entre o número de focos de calor e a concentração média de PM _{2.5} referentes aos meses de agosto a outubro.
Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias	Silva <i>et al.</i> , 2013	Janeiro a dezembro de 2005	Cuiabá, MT	PM _{2.5}	Internações por doenças respiratórias em crianças e idosos	Correlação de Pearson e Regressão de Poisson (GAM)	Foi evidenciada a influência de PM _{2.5} sobre a ocorrência de internações por doenças respiratórias em crianças < 5 anos.
Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil	Andrad <i>e et al.</i> , 2013	2002 a 2009	Manaus, AM	PM _{2.5}	Internações por doenças respiratórias em crianças	Correlação de Pearson e Regressão Linear múltipla (GLM)	As maiores taxas de internações ocorreram durante a estação chuvosa, e o mês de abril teve a maior taxa, com 2,51 / 1.000 crianças. Foi observada associação positiva significativa entre as internações e a umidade relativa (R = 0,126; p = 0,005), enquanto a associação entre internações com PM _{2.5} mostrou-se negativa e estatisticamente

BRASIL							
Estudo	Referência/ Ano	Período de estudo	Área de Estudo	Variável de Exposição	Desfecho de saúde e população de estudo	Metodologia analítica	Resultados significativos
							significativa (R = -0,168; p = 0,003).
Associação entre Material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira	Carmo <i>et al.</i> , 2010	Janeiro de 2004 a dezembro de 2005	Alta Floresta, MT	PM _{2.5}	Atendimento Ambulatorial por doenças respiratórias de crianças e de idosos	Correlação linear de Pearson e Regressão de Poisson (GAM)	Aumentos de 5% e 10% nos níveis de PM _{2.5} associados a aumentos de 2,9 e 2,6% nos atendimentos por doenças respiratórias de crianças no 6º e 7º dias subsequentes à exposição.
Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in the subequatorial Amazon: a time series approach	Ignotti <i>et al.</i> , 2010	Janeiro a dezembro de 2005	Alta Floresta e Tangará da Serra, MT	PM _{2.5}	Internações por doenças respiratórias de crianças e de idosos	Regressão de Poisson (GAM)	Aumentos de 7% nos níveis de PM _{2.5} associados a aumentos de até 6% nas internações de crianças e de 6,8% dos idosos, em Alta Floresta. Nenhuma associação foi encontrada em Tangará da Serra.
Poluição atmosférica devido à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil	Mascarenhas <i>et al.</i> , 2008	Setembro de 2005	Rio Branco, AC	PM _{2.5}	Atendimento ambulatorial por doenças respiratórias em todas as faixas etárias	Análise de regressão simples das 2 séries temporais	Observou-se maior incidência de DRs em crianças < 10 anos e correlação positiva entre a concentração de PM _{2.5} e atendimentos por asma.

Fonte: Adaptado de Carmo e Hacon (2013) e Gonçalves, Castro e Hacon (2012).

Quadro 3 – Estudos que investigaram a associação entre poluentes emitidos pelas queimadas e problemas cardiorrespiratórios na Califórnia.

CALIFÓRNIA							
Estudo	Referência/Ano	Período de estudo	Área de Estudo	Variável de Exposição	Desfecho de saúde e população de estudo	Metodologia analítica	Resultados significativos
An analysis of effects of San Diego wildfire on ambient air quality	Viswanathan <i>et al.</i> , 2006	Setembro de 2003 a novembro de 2003	San Diego, CA	PM ₁₀ , PM _{2,5} , CO, O ₃ , NO ₂ e SO ₂	Atendimento ambulatorial por doenças respiratórias em todas as faixas etárias	Análise descritiva de series temporais, análise de correlação	Associação significativa entre PM e os atendimentos ambulatoriais, mas sem dados sobre riscos relativos.
Rice burning and asthma hospitalizations, Butte County, California, 1983-1992	Jacobs <i>et al.</i> , 1997	Janeiro de 1983 a dezembro de 1992	Butte County, Califórnia	PM ₁₀ , O ₃ , CO, COH e Total de área queimada	Internações hospitalares por asma em todas as faixas etárias	Regressão de Poisson (GLM)	Aumentos de 1 acre no total de área queimada associados a aumentos de 23% nas internações por asma.

Fonte: Adaptado de Carmo e Hacon (2013).

Quadro 4 – Estudos que investigaram a associação entre poluentes emitidos pelas queimadas e problemas cardiorrespiratórios na Ásia.

ÁSIA							
Estudo	Referência/Ano	Período de estudo	Área de Estudo	Variável de Exposição	Desfecho de saúde e população de estudo	Metodologia analítica	Resultados significativos
Cardiorespiratory hospitalizations associated with smoke exposure during the 1997, Southeast	Mott <i>et al.</i> , 2005	Janeiro de 1995 a dezembro de 1998	Malásia	Air pollution Index (API)	Internações por asma, causas respiratórias, cardiovasculares	Modelos Holt-Winters	Aumento das internações por asma e COPD durante as queimadas; maior probabilidade de rehospitalização de idosos durante as queimadas.

ÁSIA							
Estudo	Referência/Ano	Período de estudo	Área de Estudo	Variável de Exposição	Desfecho de saúde e população de estudo	Metodologia analítica	Resultados significativos
Asian forest fires							
Forest Fires, air pollution, and mortality in Southeast Asia	Sastry, 2002	Janeiro de 1996 a dezembro de 1997	Malásia	PM ₁₀	Mortalidade por todas as causas e por doenças respiratórias, cardiovasculares	Regressão de Poisson (GLM)	Aumento de PM associado com aumento de mortalidade por todas as causas para idosos, mas sem evidências para mortalidade por causas respiratórias.
Impact to lung health of haze from forest fires: the Singapore experience	Emmanuel, 2000	Agosto a novembro de 1997	Singapura	PM ₁₀	Atendimento Ambulatorial, internações e mortalidade em todas as faixas etárias	Análise descritiva de séries temporais	Aumentos de PM de 50 µg/m ³ a 150 µg/m ³ associados com aumentos de 12% nos atendimentos por doenças do trato respiratório superior, 37% por asma, 26% por rinite. Não foram encontradas associações para internações e para mortalidade.
Association of ambient air-pollution levels with acute asthma exacerbation among children in Singapore	Chew <i>et al.</i> , 1999	Janeiro de 1990 a dezembro de 1994	Singapura	PM ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , O ₃	Internações hospitalares e Atendimento ambulatorial por asma em crianças e adolescentes	Regressão Linear múltipla (GLM)	Aumentos de SO ₂ e PM ₁₀ associados com aumentos de 2.9% e 5.8% nos atendimentos por doenças respiratórias.

Fonte: Adaptado de Carmo e Hacon (2013).

Quadro 5 – Estudos que investigaram a associação entre poluentes emitidos pelas queimadas e problemas cardiorrespiratórios na Austrália.

AUSTRÁLIA							
Estudo	Referência/ Ano	Período de estudo	Área de Estudo	Variável de Exposição	Desfecho de saúde e população de estudo	Metodologia analítica	Resultados significativos
Vegetation fire smoke, indigenous status and cardio-respiratory Hospital admissions in Darwin, Australia, 1996–2005: a time-series study	Hanigan <i>et al.</i> , 2008	Abril a novembro, de 1996 a 2005	Darwin	PM ₁₀	Internações hospitalares por doenças cardiorrespiratórias, todas as faixas etárias	Regressão de Poisson (GLM)	Aumentos de PM de 10µg/m ³ associado com aumentos de 4.8% nas internações por causas respiratórias. Não houve associação para doenças cardiovasculares.
Air particulate pollution due to bushfires and respiratory hospital admissions in Brisbane, Australia	Chen <i>et al.</i> , 2006	Julho de 1997 a dezembro de 2000	Brisbane	PM ₁₀	Internações hospitalares por doenças respiratórias, todas as faixas etárias	Regressão Binomial Negativa (GLM)	Foram encontradas associações para períodos de incêndios (RR = 1.19) e para períodos sem incêndios (RR=1.13)
Exposure to bushfire smoke and asthma: an ecological study	Johnston <i>et al.</i> , 2002	Abril a dezembro de 2000	Darwin	PM ₁₀	Internações hospitalares por asma, todas as faixas etárias	Regressão Binomial Negativa (GLM)	Aumentos de PM de 10µg/m ³ associado com aumentos de 20% e 39% nas internações por asma.
Acute effects of bushfires on peak expiratory flow rates in children with	Jalaludin <i>et al.</i> , 2000	Janeiro de 1994	Sydney	PM ₁₀	Crianças com histórico de sibilância nos últimos 12 meses de	Modelos de Equação de Estimativa Generalizadas (GEE)	Nenhuma redução significativa de função pulmonar das crianças durante as queimadas.

AUSTRÁLIA							
Estudo	Referência/ Ano	Período de estudo	Área de Estudo	Variável de Exposição	Desfecho de saúde e população de estudo	Metodologia analítica	Resultados significativos
wheeze: a time series analysis					6 escolas primárias.		
Asthma Presentations to Emergency Departments in Western Sydney during the January 1994 Bushfires	Smith <i>et al.</i> , 1996	Dezembro de 1992 a janeiro de 1993 e dezembro de 1993 a janeiro de 1994	Western Sydney	PM ₁₀	Atendimentos de emergência por asma, todas as faixas etárias.	Regressão de Poisson (GLM)	Nenhum aumento significativo dos atendimentos por asma durante os episódios de incêndios florestais.

Fonte: Adaptado de Carmo e Hacon (2013).

A seguir serão abordados alguns estudos recentes que investigaram a relação entre a exposição a poluentes atmosféricos e a incidência de COVID-19, doença que foi identificada primariamente na cidade de Wuhan, China, em dezembro do ano de 2019.

O estudo de Andrée (2020) investiga a relação entre a exposição ao PM_{2.5} e PM₁₀ e a incidência de COVID-19 em 355 municípios da Holanda utilizando dados de casos confirmados e internações hospitalares, juntamente com PM_{2.5}, PM₁₀, densidade populacional, dados demográficos e pré-condições relacionadas à saúde. Os resultados apontam que o PM_{2.5} é um preditor altamente significativo do número de casos confirmados de COVID-19 e admissões hospitalares relacionadas, uma vez que as estimativas sugerem que os casos esperados de COVID-19 aumentam em quase 100% quando as concentrações de poluição aumentam em 20%.

Ali e Islam (2020) discutiram os possíveis efeitos da poluição do ar nas infecções e mortalidade por COVID-19 com base em algumas evidências recentes. A maioria dos estudos analisados demonstram que a exposição de curto e longo prazo à poluição do ar, especialmente a PM_{2.5} e a dióxido de nitrogênio (NO₂), pode contribuir significativamente para taxas mais elevadas de infecções e mortalidade por

COVID-19, aumento das internações hospitalares e aumento das visitas ambulatoriais, com menor grau também para o PM₁₀. Os dados disponíveis também indicam que a exposição à poluição do ar pode influenciar a transmissão do COVID-19.

Travaglio *et al.* (2021) estudam a relação entre a exposição à poluição do ar e a mortalidade e infectividade do COVID-19 na Inglaterra. Usaram-se dados detalhados do Biobanco do Reino Unido, mostrando que o PM_{2.5} foi um dos principais contribuintes para os casos de COVID-19 na Inglaterra, pois, encontraram-se evidências estatisticamente significativas de que um aumento na média de longo prazo do PM_{2.5} está associado com o maior aumento da infectividade de COVID-19. Conclui-se que um pequeno aumento na poluição do ar leva a um grande aumento na infecção do COVID-19 e na taxa de mortalidade na Inglaterra.

4. METODOLOGIA

4.1 DELINEAMENTO DO ESTUDO

Para investigar a relação entre a exposição ao material particulado fino ($PM_{2.5}$) emitido pelos incêndios florestais e as internações por doenças respiratórias (DRs) na população dos municípios que abrangem o Pantanal foi proposto um estudo de séries temporais. Uma série temporal, também denominada de série histórica, é uma sequência de dados obtidos em intervalos regulares de tempo durante um determinado período. Este conjunto pode ser obtido através de observações periódicas ou processos de contagem do evento em estudo (Latorre e Cardoso, 2001).

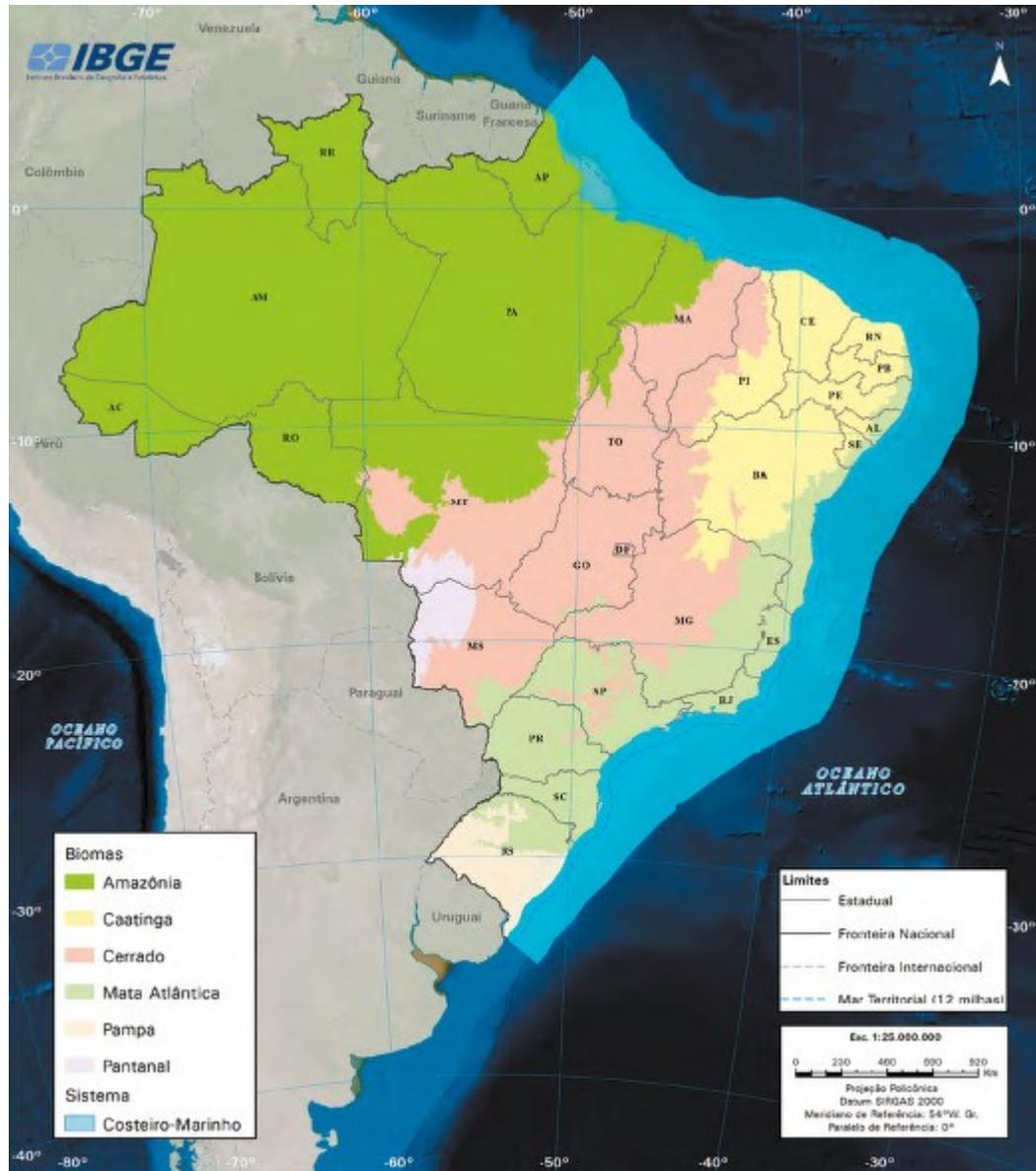
Este estudo compreende uma série temporal de quatro anos, entre 2016 e 2019, visto que são períodos onde foi possível obter dados de todas as variáveis mencionadas acima, além de ser um período em que não houve casos de COVID-19, o que poderia afetar nos resultados do estudo em questão.

4.2 ÁREA DE ESTUDO

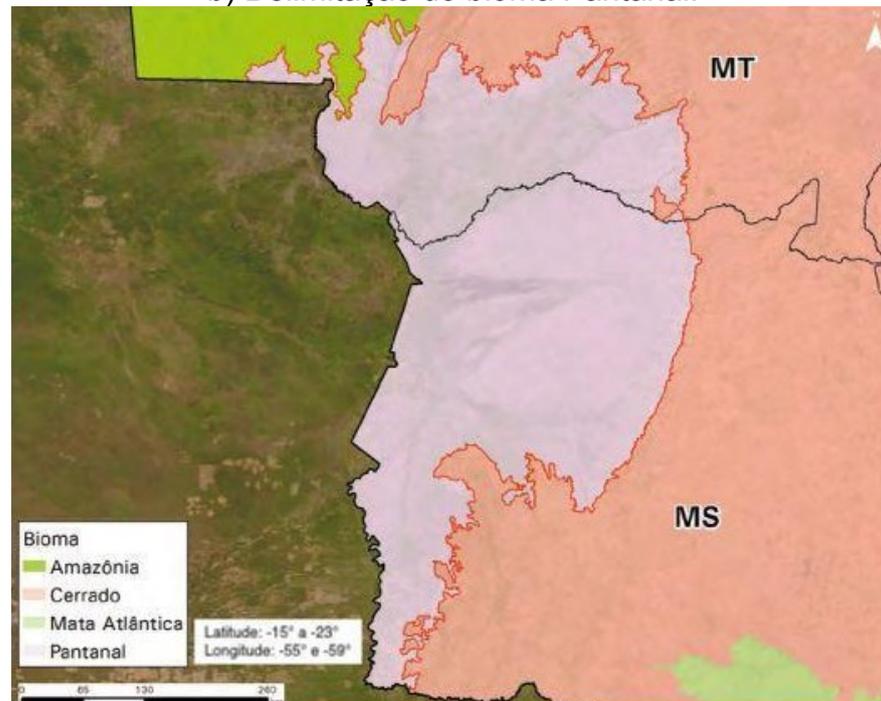
A área de estudo compõe o bioma Pantanal brasileiro, localizado na região Centro-Oeste do Brasil, entre as coordenadas geográficas de -15° a -23° (Latitude) e de -55° e -59° (Longitude), abrangendo parte dos estados do Mato Grosso (MT) e do Mato Grosso do Sul (MS), como é possível observar nas Figuras 14 a) e 14 b).

Figura 14 – Delimitação da área de estudo.

a) Delimitação dos biomas brasileiros.



b) Delimitação do bioma Pantanal.



Fonte: IBGE, Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000 (2019).

O Pantanal compreende uma região predominantemente plana e deprimida, circundada por escarpas, chapadas e serras, e em sua porção oeste adentra, por extensões menores, a Bolívia e o Paraguai. No Brasil, está inserido na Bacia do Alto Rio Paraguai, região centro-oeste do país, com altitude entre 80m a 150m (IBGE, 2004) e, apesar de ser o menor dos biomas, dados do IBGE (2019) indicam que o Pantanal ocupa uma área de 150.355 km² (1,8% do território brasileiro), sendo a maior planície alagada contínua do planeta.

O Pantanal apresenta clima tropical com duas estações definidas: chuvosa e seca. A estação seca refere-se ao período com baixos valores de precipitação, e pode ser mais ou menos intensa, pois depende da distribuição/intensidade das chuvas que tem variação entre anos e sub-regiões do bioma (Santos *et al*, 2007). Segundo Marcuzzo *et al* (2010), a frequência, a durabilidade e a intensidade dos períodos seco e chuvoso podem sofrer alternância, isto deve-se às atuais mudanças climáticas globais. Entretanto, de acordo com Pivetta (2021), entre novembro e março é considerado o período mais chuvoso na região e, nos meses de agosto e setembro o auge do período seco no Pantanal.

O Pantanal é o único dos biomas cuja delimitação não está centrada nas formações vegetais ou fitofisionomias, mas sim, nas inundações anuais que atingem grandes extensões da Planície Pantaneira, as quais são de longa duração e imprimem modificações no meio físico e silvestre e no cotidiano das populações locais (IBGE, 2019).

Este bioma desempenha papel fundamental para a conservação da biodiversidade, para o suprimento de água, para a estabilização do clima e para a conservação do solo, servindo como habitat de pelo menos 4,7 mil espécies da fauna, e, ainda 3,5 mil espécies da flora. Entretanto, toda essa biodiversidade é ameaçada constantemente pela principal atividade econômica da região, a pecuária, que se estende do planalto das bordas da bacia até a planície alagável, além da exploração de monoculturas de soja, cana-de-açúcar e eucalipto que crescem a cada ano e da produção de carvão. Sobretudo, a pecuária estabelece o padrão de ocupação do espaço geográfico e determina a cultura pantaneira, e se não praticada com responsabilidade, pode gerar impactos ambientais, como por exemplo, o desmatamento, as queimadas e o assoreamento de rios (WWF-BRASIL, 2015).

Em relação à delimitação do Pantanal brasileiro, existem diversas fontes de dados referentes à composição de municípios dentro do bioma. A seguir, são apresentados os dados fornecidos por Silva e Abdon (1998), pelo Scheuer *et al.* (2018), pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2019), pelo MapBiomas (2020) e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, que foram consultados a fim de definir a delimitação da área de estudo.

De acordo com Silva e Abdon (1998), o bioma Pantanal ocupa uma área de 138.183 km² e está composto de apenas 16 municípios, sete no Estado de Mato Grosso, ocupando 35,36% da área do Pantanal, e nove municípios no Estado de Mato Grosso do Sul ocupando o restante da área. A Figura 15 detalha os quantitativos de populações desses municípios no Pantanal e em áreas de Planalto.

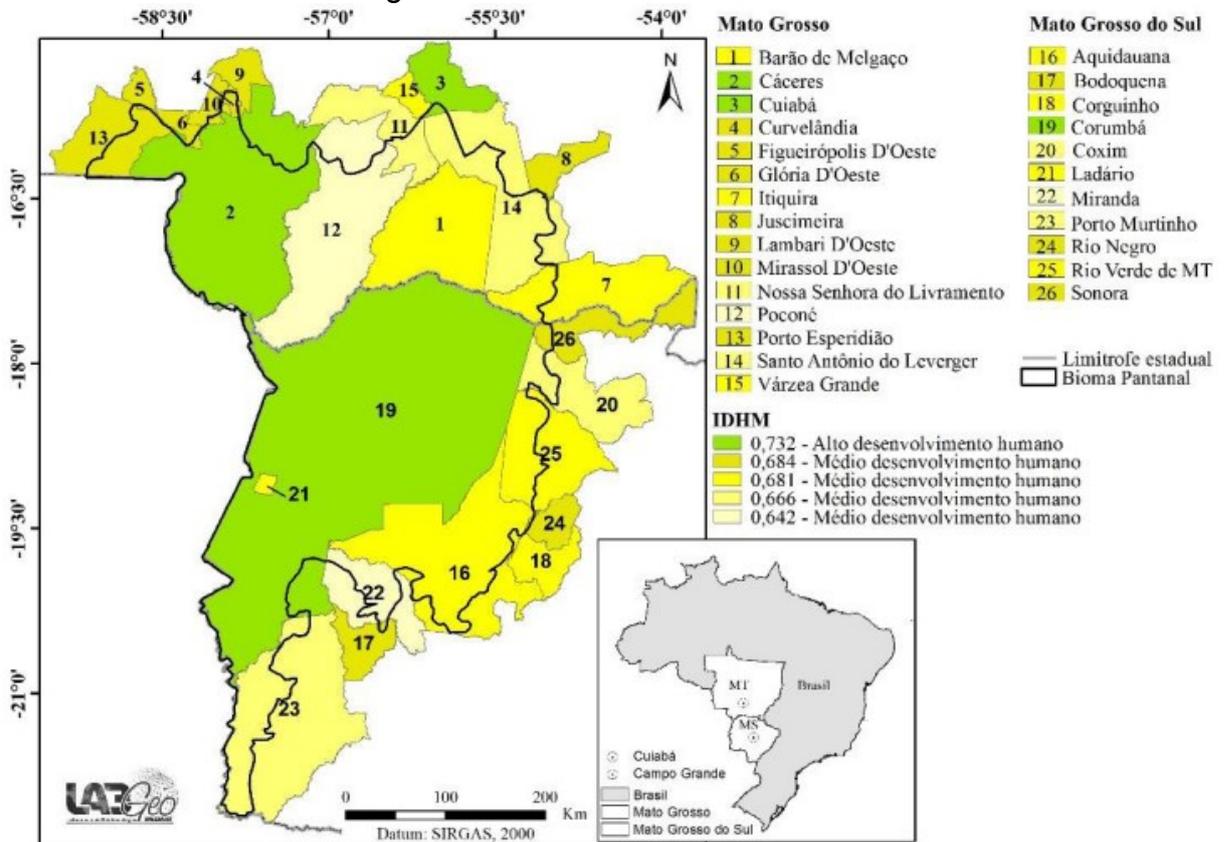
Figura 15 – Participação dos municípios na área (km²) fisiográfica do Pantanal.

Municípios	Planalto	Pantanal (A)	Total (B)	Total IBGE	A/B (%)	A/C (%)
Mato Grosso	31.170	48.865	80.035	81.955,89	61,0	35,36
Barão de Melgaço	83	10.782	10.865	11.611,78	99,2	7,80
Cáceres	11.051	14.103	25.154	25.321,14	56,1	10,21
Itiquira	6.751	1.731	8.482	8.836,98	20,4	1,25
Lambari D'Oeste	1.439	272	1.711	1.719,1	15,9	0,20
Nsa Sra. Livramento	4.019	1.115	5.134	5.331,57	21,7	0,81
Poconé	3.434	13.972	17.406	17.126,38	80,3	10,11
Sto. Ant. Leverger	4.393	6.890	11.283	12.008,94	61,1	4,99
Mato Grosso do Sul	37.193	89.318	126.511	131.417,50	70,6	64,64
Aquidauana	3.936	12.929	16.865	17.008,00	76,7	9,36
Bodoquena	2.500	46	2.546	2.514,30	1,8	0,03
Corumbá	2.858	61.819	64.677	65.165,80	95,6	44,74
Coxim	4.351	2.132	6.483	10.844,40	32,9	1,54
Ladário	311	66	377	341,40	17,5	0,05
Miranda	3.421	2.106	5.527	5.494,50	38,1	1,52
Sonora	3.598	719	4.317	4.088,90	16,7	0,52
Porto Murtinho	12.739	4.717	17.456	17.782,90	27,0	3,41
Rio Verde de MT	3.479	4.784	8.263	8.177,30	57,9	3,46
Total (C)	68.363	138.183	206.546	213.373,39	66,9	100,00

Fonte: Silva e Abdon (1998).

De acordo com o mapa produzido por Scheuer *et al* (2018), que utilizou como base o mapa do IBGE de 2004, escala 1:5.000.000, o Pantanal brasileiro é composto por 26 municípios, distribuídos entre os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, representados na Figura 16.

Figura 16 – Distribuição dos municípios mato-grossenses e sul-mato-grossenses no bioma Pantanal.



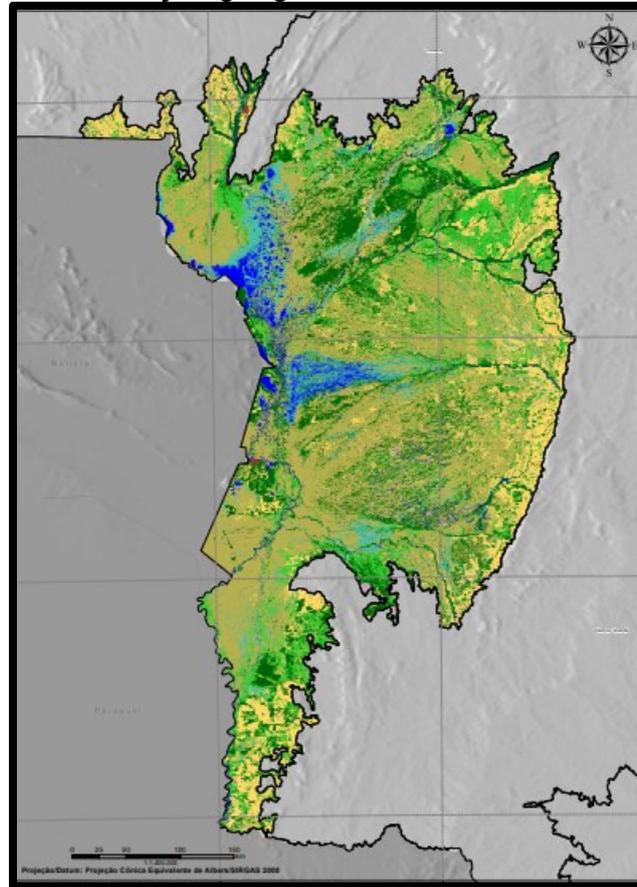
Fonte: Scheuer *et al* (2018).

Em 2019, o IBGE lançou um novo mapa de Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil, compatível com a escala 1:250.000, que contempla aperfeiçoamentos na representação dos limites e incorpora atualizações e avanços conceituais e tecnológicos em relação ao mapa da edição anterior, publicada em 2004, em escala 1:5.000.000. Com a atualização do traçado, a composição dos municípios dentro de cada bioma também sofreu alteração. Considerando o atual mapa do IBGE, escala 1:250.000, ao total são 22 municípios que compõem o bioma Pantanal, sendo 13 municípios no estado do Mato Grosso e 9 municípios no estado do Mato Grosso do Sul.

Através da análise de imagens fornecidas pelo MapBiomas (2020), uma rede colaborativa que produz mapeamento da cobertura e uso da terra, relatórios sobre desmatamento detectado no Brasil e, monitora a superfície de água e cicatrizes de fogo, foi possível identificar que o Pantanal está composto por 13 municípios no Mato

Grosso e 9 no Mato Grosso do Sul, totalizando 22 municípios no território brasileiro, o que indica a mesma delimitação geográfica estabelecida pelo IBGE (2019).

Figura 17 – Delimitação geográfica do bioma Pantanal no Brasil.



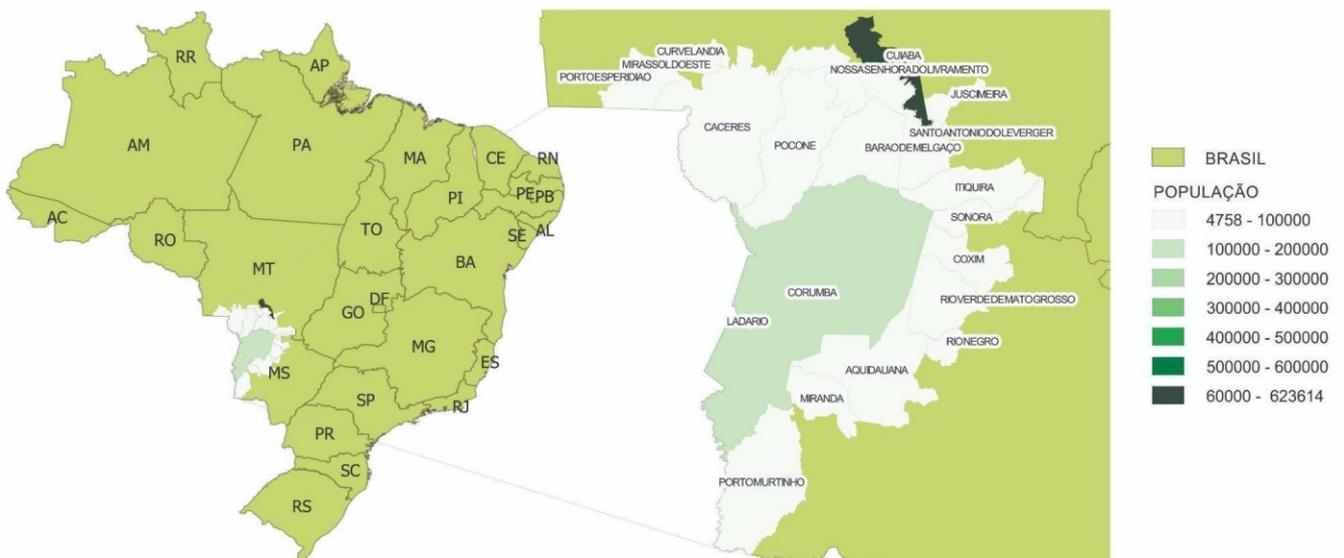
Fonte: Projeto MapBiomas (2020).

O INPE, através do Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais, fornece dados de focos de incêndio que podem ser consultados por meio de diversos filtros de busca. Com isso, através da análise dos dados de focos de incêndio obtidos pelo Banco de Dados de Queimadas - BDQueimadas, utilizando os filtros de busca para o bioma Pantanal e estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, foram identificados 11 municípios do Mato Grosso e 9 municípios do Mato Grosso do Sul dentro do bioma Pantanal, totalizando 20 municípios.

Analisando as fontes de dados apresentadas acima nota-se que a delimitação do Pantanal e, conseqüentemente, a composição total de municípios no bioma difere entre as fontes consultadas.

Considerando o IBGE como o principal provedor de dados e de informações geográficas do Brasil e fonte oficial da delimitação geográfica dos biomas brasileiros e, o INPE como o principal provedor de informações sobre queimadas e dados meteorológicos do país, foi realizado um cruzamento de ambas as bases de dados para se definir os municípios a serem analisados nesta pesquisa. Em comparação entre os dados do IBGE e do INPE, os municípios de Glória D'Oeste, Lambari D'Oeste, Rondonópolis, localizados no Mato Grosso e o município de Bodoquena, no Mato Grosso do Sul, apesar de serem municípios que compõem o Pantanal de acordo com o IBGE, não foram considerados na área de estudo, pois não apresentaram dados de focos de incêndio durante a série temporal estabelecida para esta pesquisa. Apesar de o IBGE não considerar Cuiabá (MT) e Rio Negro (MS) dentro do bioma Pantanal, dados do INPE consideram estes municípios dentro do bioma, indicando a ocorrência de focos de incêndio no período estabelecido. Desta maneira, foram definidos 20 municípios do Pantanal brasileiro para compor a área de estudo, 11 municípios do estado do Mato Grosso e 9 municípios do estado do Mato Grosso do Sul (Figura 18).

Figura 18 – Mapa dos municípios do Pantanal mato-grossense que compõem a área de estudo.



Fonte: Elaborado por Aline Pereira Cruz (2023).

No Quadro 6, são apresentados os dados de número de habitantes, extensão territorial e mesorregião de cada município da área de estudo, obtidos do Panorama do IBGE, 2021.

Quadro 6 – Dados geo-demográficos dos municípios da área de estudo.

Estado	Nº	Município	Número de Habitantes	Área Territorial (km²)	Mesorregião
Mato Grosso	1	Barão de Melgaço	8.165	11.374,872	Centro-Sul Mato-grossense
	2	Cáceres	95.339	24.538,48	Centro-Sul Mato-grossense
	3	Cuiabá	623.614	5.077,18	Centro-Sul Mato-grossense
	4	Curvelândia	5.267	357,13	Centro-Sul Mato-grossense
	5	Itiquira	13.727	8.698,81	Sudoeste Mato-grossense
	6	Juscimeira	11.124	2.291,31	Sudoeste Mato-grossense
	7	Mirassol d'Oeste	28.135	1.085,49	Sudoeste Mato-grossense
	8	Nossa Senhora do Livramento	13.093	5.537,41	Centro-Sul Mato-grossense
	9	Poconé	33.386	17.156,76	Centro-Sul Mato-grossense
	10	Porto Esperidião	12.176	5.832,08	Sudoeste Mato-grossense
	11	Santo Antônio do Leverger	17.188	9.469,13	Centro-Sul Mato-grossense
Mato Grosso do Sul	12	Aquidauana	48.184	17.087,02	Pantanais Sul Mato-grossense
	13	Corumbá	112.669	64.438,36	Pantanais Sul Mato-grossense
	14	Coxim	33.547	6.391,49	Centro Norte de Mato Grosso do Sul
	15	Ladário	24.040	354,26	Pantanais Sul Mato-grossense
	16	Miranda	28.423	5.471,44	Pantanais Sul Mato-grossense
	17	Porto Murtinho	17.460	17.505,20	Pantanais Sul Mato-grossense
	18	Rio Negro	4.758	1.828,80	Centro Norte de Mato Grosso do Sul
	19	Rio Verde de Mato Grosso	20.025	8.173,87	Centro Norte de Mato Grosso do Sul
20	Sonora	20.158	4.185,53	Centro Norte de Mato Grosso do Sul	

Fonte: Elaborado pela autora.

4.3 DADOS AMBIENTAIS E DE SAÚDE

Os dados ambientais abordados neste estudo são os focos de queimada e a concentração de material particulado fino (PM_{2.5}). A fonte de dados utilizada para ambas as variáveis é o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que apresenta dados referentes a queimadas e à concentração de PM_{2.5} no Brasil. O INPE é um centro nacional de pesquisas reconhecido internacionalmente pelas suas contribuições para o monitoramento do desmatamento, para a meteorologia e para a pesquisa aeroespacial no Brasil. Outra questão que influenciou a seleção desta fonte de dados é a disponibilização de seus dados abertamente, possibilitando avaliações independentes pela comunidade usuária.

A fonte de dados de saúde utilizada nesta pesquisa foi o Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), que está ligado ao Ministério da Saúde. O Departamento coleta, processa e divulga informações oficiais sobre saúde no país, e tem como responsabilidade prover os órgãos do SUS de sistemas de informação e suporte de informática.

A seguir será descrita detalhadamente a metodologia empregada para a obtenção dos dados utilizados neste estudo.

4.3.1 Focos de queimada

O número de focos de queimada foi obtido através do banco de dados disponível no website do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), segundo o monitoramento de focos de queimadas do Banco de Dados de Queimadas do INPE - BDQueimadas.

De acordo com o Programa Queimadas, um foco indica a existência de fogo em um elemento de resolução da imagem (pixel), que varia de 375 m x 375 m até 5 km x 4 km, dependendo do satélite. Neste pixel pode haver uma ou várias frentes de fogo ativo, porém, a indicação será de um único foco ou ponto. Para a detecção dos focos de queimada nas imagens, o INPE utiliza um mesmo modo de identificação de fogo, em todas as regiões, todos os dias e por anos seguidos, o que permite análises

temporais e espaciais da ocorrência do fogo. Ao total são utilizados dez satélites que possuem sensores ópticos operando na faixa termal-média de 4um e que o INPE consegue receber. Até setembro de 2020, eram processadas operacionalmente, na Divisão de Geração de Imagens - DGI e na Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - DSA as imagens dos satélites de órbita polar, as AVHRR/3 dos NOAA-18 e 19, METOP-B e C, as MODIS dos NASA TERRA e AQUA e as VIIRS do NPP-Suomi e NOAA-20 e, as imagens dos satélites geoestacionários, GOES-16 e MSG-3. Os satélites geoestacionários geram seis imagens por hora, ao passo que cada satélite de órbita polar produz pelo menos dois conjuntos de imagens por dia, sendo que no total o INPE processa automaticamente mais de 200 imagens por dia especificamente para detectar focos de queima da vegetação. As recepções são feitas nas estações de Cachoeira Paulista, SP (próximo à divisa com o RJ) e de Cuiabá, MT. De 01 de junho de 1998 a 03 de julho de 2002 o satélite de referência utilizado pelo INPE era o NOAA-12 (sensor AVHRR, com passagem no final da tarde), e a partir de então o satélite de referência utilizado atualmente é o AQUA_M-T (sensor MODIS, com passagem no início da tarde). Um satélite de referência é o satélite cujos dados diários de focos detectados são usados para compor a série temporal ao longo dos anos e assim permitir a análise de tendências nos números de focos para as mesmas regiões e entre regiões em períodos de interesse. A partir do ano de 2017 o Programa Queimadas adotou o mesmo algoritmo da NASA e UMD para detecção de focos MODIS, tornando as bases compatíveis e assim ampliando as possibilidades de aplicação dos dados. Desta maneira, os dados de focos do satélite de referência divulgados pelo INPE coincidem com o conjunto de focos divulgados pela NASA e pela Universidade de Maryland (UMD) dos EUA denominada "Collection 6", que os produzem desde 2016 para todo o planeta. (INPE, 2020)

O Banco de Dados de Queimadas disponibiliza o número de focos de queimadas através de gráficos e tabelas que podem ser exportados em planilha excel e, também, através de mapas com as coordenadas dos focos. Outros produtos, como risco meteorológico de fogo e mapeamento de áreas queimadas, também são disponibilizados pelo Programa Queimadas do INPE.

As buscas pelo número de focos podem ser feitas por meio de filtros definindo a localização geográfica (país, estado e município), o período de tempo, o(s) satélite(s)

e o tipo de bioma de interesse da pesquisa. A disponibilidade temporal dos dados pode ser mensal e/ou anual. Na Figura 19 é apresentado um exemplo de como se pode realizar buscas no website do BDQueimadas.

Figura 19 – Exemplo de filtros de busca no website do BDQueimadas.

The screenshot displays the search filters for the BDQueimadas website. The filters are organized into several sections:

- CONTINENTES:** América do Sul
- MUNICÍPIOS BRASILEIROS:** CÁCERES - MATO GROSSO
- DATA INÍCIO (UTC):** 2018/01/01
- DATA FIM (UTC):** 2018/01/31
- PAÍSES:** Todos os países, Argentina, Bolívia, Brasil, Chile
- ESTADOS:** MATO GROSSO, MATO GROSSO DO SUL, MINAS GERAIS, PARA, PARAÍBA
- UCS / TIS BRASILEIRAS:** UCs / TIs Brasileiras
- SATÉLITES:** TODOS, Satélite de referência (AQUA_M-T), Terra Manhã, Terra Tarde, Aqua Manhã
- BIOMAS (BRASIL):** Caaatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa, Pantanal

Below the filters, the results are summarized in two sections:

- FOCOS POR ESTADO (3 FOCOS, DE 2018/01/01 A 2018/01/31):** This section is currently collapsed.
- FOCOS POR MUNICÍPIO (3 FOCOS, DE 2018/01/01 A 2018/01/31):** This section shows a horizontal bar chart with three bars, each representing 1 fire (33.3%) in the following municipalities: BARÃO DE MELGAÇO (MATO GROSSO), CÁCERES (MATO GROSSO), and POCONÉ (MATO GROSSO).

Fonte: BDQueimadas, INPE.

Desta maneira, foi estabelecido um método de busca para cada ano da série temporal estabelecida neste estudo (entre 2016 e 2019) e cada município do bioma Pantanal, primeiramente do estado do Mato Grosso e, posteriormente, do estado do Mato Grosso do Sul, considerando os seguintes filtros fixos:

- Continente: América do Sul
- País: Brasil
- Satélite: Satélite de Referência (AQUA_M-T)
- Bioma (Brasil): Pantanal

Os dados de cada município foram baixados e organizados em planilha eletrônica Excel, para posterior análise com as demais variáveis propostas.

4.3.2 Material Particulado fino (PM_{2.5})

As informações de material particulado fino (PM_{2.5}) foram obtidas do banco de dados do Sistema de Informações Ambientais (SISAM), que disponibiliza dados meteorológicos e de poluentes atmosféricos, entre o período de 2000 até 2019, de todos os municípios do Brasil.

O SISAM foi concebido para integrar o Painel de Informações em Saúde Ambiental (PISA) da Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental (CGVAM) e o Sistema de Informações Geográficas Aplicadas ao Meio Ambiente (SIGMA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Teve por objetivo o desenvolvimento de um banco de dados e indicadores ambientais interativos e georreferenciados, que permitisse combinar dados meteorológicos e dados de poluentes atmosféricos, entre outros, com capacidade de análise e tomada de decisões, de forma a atender necessidades regionais e locais.

O SISAM atual teve recursos recebidos da Organização Pan-Americana da Saúde/Organização Mundial da Saúde (OPAS/OMS) e a supervisão técnica do Ministério da Saúde (MS). O INPE se comprometeu em manter o referido sistema de informações em operação enquanto perdurar a vigência do acordo.

O banco de dados do SISAM é composto por variáveis obtidas de imagens de satélites e de análises numéricas.

O PM_{2.5} é todo material particulado de diâmetro menor que 2.5µm (micrômetros) próximo da superfície. O dado fornecido dessa variável é a concentração diária de PM_{2.5} em micrograma por metro cúbico (µg/m³). Como exposto na fundamentação teórica deste trabalho, material particulado são partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar na forma de poeira, aerossol, fumaça, entre outras, que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias.

O SISAM extraiu os valores de PM_{2.5} dos dados do Modelo CAMS (Copernicus Atmosphere Monitoring Service) - Reanalysis (para os anos de 2003 a 2017) e do Modelo CAMS - Nrealtime (para os anos de 2018 e 2019), do centro europeu ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), referentes aos horários de 00, 06, 12 e 18 UTC (Universal Time Coordinated), para as células de ponto de grade que contém a localização geográfica da sede de cada município do Brasil. Os dados

foram baixados com resolução espacial de 0,125 graus (aproximadamente 12,5 Km), e foram adquiridos na unidade quilograma por metro cúbico (Kg.m-3) e convertidos para a unidade micrograma por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). A variável $\text{PM}_{2.5}$ foi validada a partir da comparação com os dados observados em estações terrestres de qualidade do ar.

Quadro 7 – Resumo dos dados de exposição.

EXPOSIÇÃO				
Variável	Fonte de Dados	Dado Disponível	Disponibilidade temporal	Série temporal utilizada nesta pesquisa
Focos de queimada	INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS	Número de focos de queimada mensal	1998 a 2021	2016 a 2019
$\text{PM}_{2.5}$	<u>INPE - SISAM (Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde)</u>	<u>Concentração diária do $\text{PM}_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</u>	<u>2000 a 2019</u>	2016 a 2019

Fonte: Elaborado pela autora.

4.3.3 Doenças respiratórias

Como apresentado na Fundamentação Teórica deste trabalho, as doenças respiratórias (DRs) são um dos principais problemas ocasionados pelas queimadas. Desta maneira, este estudo foi conduzido por séries históricas de internações por doenças respiratórias, considerando a população de todas as faixas etárias, residente nos 20 municípios do Pantanal brasileiro definidos na área de estudo.

Foi utilizada a base de dados do Ministério da Saúde, em específico do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS), que tem como responsabilidade prover os órgãos do SUS de sistemas de informação e suporte de informática, necessários ao processo de planejamento, operação e controle.

O DATASUS baseia-se na Classificação Internacional de Doenças (CID 10), publicada pela Organização Mundial de Saúde, a qual estabelece um código de classificação de doenças. As doenças do aparelho respiratório estão listadas no

Capítulo X. São disponibilizados dados de internações e atendimento ambulatorial mensais e anuais por DRs. Os dados utilizados neste estudo são os registros das Autorizações de Internação Hospitalar (AIH) de hospitais públicos e privados e que atendem a parcela da população que não dispõe de planos de saúde particulares, aprovadas por municípios, segundo o local de residência, o ano e o mês de atendimento, considerando o período entre 2016 e 2019.

Delimitou-se trabalhar somente com internações hospitalares devido à ausência de dados sistematizados confiáveis em relação aos demais níveis de atendimento, como ambulatorial e de emergência.

No website do DATASUS, estão disponíveis os arquivos de dados que são publicamente acessíveis e que apresentam os serviços prestados pelo SUS.

Os dados de internação, referentes aos 20 municípios da área de estudo, foram tabulados do sistema TabNet e baixados e organizados em planilha eletrônica, seguindo o processo de contagem simples mensal do número de indivíduos relacionados ao código de doenças respiratórias.

Quadro 8 – Resumo dos dados da população exposta.

POPULAÇÃO EXPOSTA				
Variável	Fonte de Dados	Dado disponível	Disponibilidade temporal	Série temporal utilizada nesta pesquisa
Doenças Respiratórias (DRs)	DATASUS	Autorização de Internações Hospitalares - AIH (mensal)	2008 a 2021	2016 a 2019
Total da população	IBGE	Número de habitantes por município	1989 a 2021	2016 a 2019

Fonte: Elaborado pela autora.

No aspecto temporal, os dados de focos de incêndio, concentração de PM_{2.5} e internações por doenças respiratórias foram agregados em médias mensais e anuais.

4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Todas as variáveis desta pesquisa, número de focos de incêndio, concentração de $PM_{2.5}$ e internações por doenças respiratórias, foram organizadas em planilha eletrônica Excel, e os dados sistematizados através da ferramenta “Pivot Table”, conhecida também por Tabela Dinâmica, para facilitar a análise dos dados. A Pivot Table permite calcular, resumir e analisar dados e ver comparações, padrões e tendências em seus dados.

Os dados mensais de $PM_{2.5}$, focos de calor e internações por DRs foram avaliados agrupando-os em nível de bioma (Pantanal) e, também, a nível estadual (para os estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul) e a nível municipal, considerando a série histórica de 2016 a 2019.

Para descrever o comportamento das variáveis durante a série histórica estabelecida para este estudo, foram calculadas estatísticas descritivas (valores mínimo e máximo, média, cálculos de variações percentuais), sendo representadas nos resultados em tabelas e gráficos.

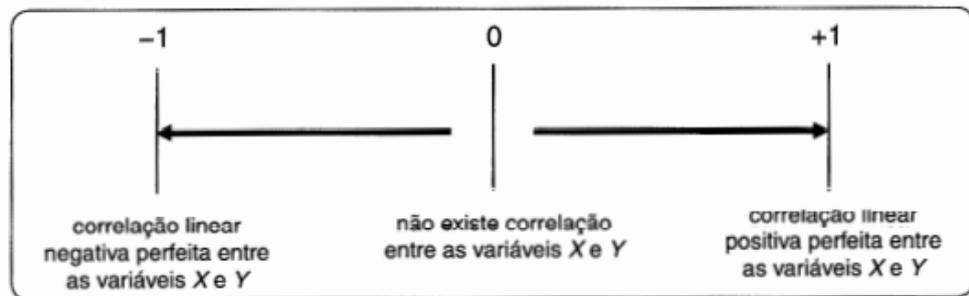
Para verificar a relação existente entre as variáveis quantitativas deste estudo, focos de incêndio, internações por doenças respiratórias e material particulado fino foram utilizados gráficos de diagrama de dispersão, além de aplicação de regressão linear simples e medidas de correlação, como o coeficiente de correlação de Pearson (ρ).

O coeficiente de correlação de Pearson (ρ) proporciona um meio de se verificar o grau de correlação entre duas variáveis ou mais. É uma medida que varia entre -1 e 1, conforme Figura 20. Por meio do sinal, é possível verificar o tipo de relação linear entre as variáveis analisadas (se as variáveis são diretamente ou inversamente proporcionais); quanto mais próximo dos valores extremos, mais forte é a correlação entre elas. Logo:

- Se ρ for positivo, existe uma relação diretamente proporcional entre as variáveis;
- Se ρ for negativo, existe uma relação inversamente proporcional entre as variáveis;
- Se ρ for nulo, não existe correlação entre as variáveis.

O diagrama de dispersão permite interpretar, através de representação gráfica, a correlação entre duas variáveis quantitativas, onde através de um gráfico os valores das variáveis X (independente) e Y (dependente ou de resposta) são representados num plano cartesiano. Logo, é possível avaliar se: existe relação entre as variáveis em estudo; o tipo de relação entre as variáveis, ou seja, se as variáveis são diretamente ou inversamente proporcionais; o grau de relação entre as variáveis, se é forte ou fraca; e a natureza da relação, se é linear ou exponencial. Por meio do diagrama de dispersão é possível obter o coeficiente de determinação (R^2), que diz quanto (em porcentagem) a variável X explica a variável Y .

Figura 20 – Interpretação do coeficiente de correlação de Pearson.



Fonte: Fávero e Belfiore (2017).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de focos de incêndio, concentração de $PM_{2.5}$, internações por doenças respiratórias dos 20 municípios avaliados da área de estudo (Pantanal brasileiro) e, demais variáveis, foram tabulados no programa “Google Sheets”, onde realizou-se o Processamento Analítico On-line (do inglês OLAP) dos dados usando tabelas dinâmicas (pivot tables). Isso permitiu análises com diversos tipos de filtragem e diferentes níveis de agregação de dados nas dimensões espacial (bioma, estado e município) e temporal (ano e mês), de forma a contribuir com um modelo de análise sistemática dos riscos das queimadas e dos incêndios florestais à saúde da população, com potencial para ser utilizado no planejamento de ações preparatórias de saúde pública, como sistemas de alerta específicos para limiares de baixa qualidade do ar¹. Os resultados dessas análises são apresentados a seguir.

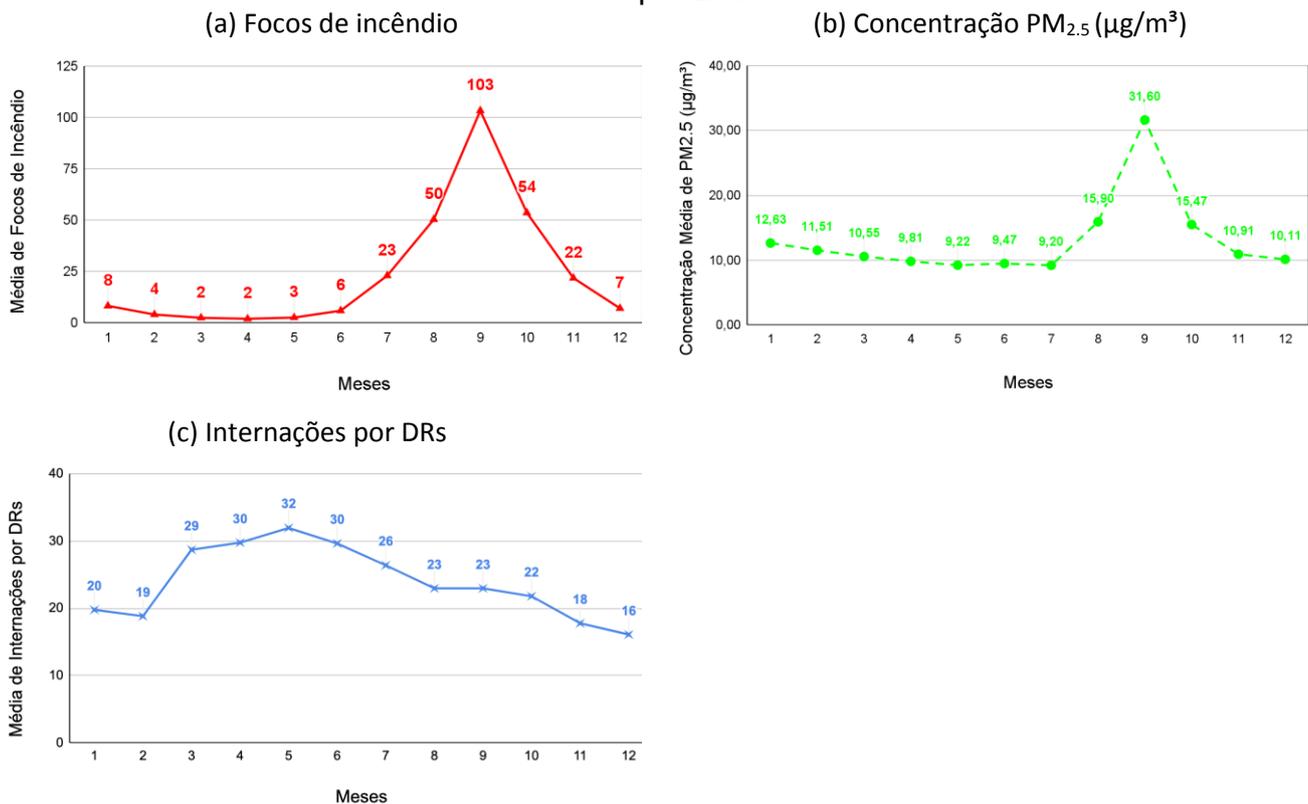
5.1 FOCOS DE INCÊNDIO, $PM_{2.5}$ E INTERNAÇÕES NO TEMPO E ESPAÇO

Esta seção apresenta gráficos sobre a distribuição e a evolução do número de focos de incêndio, da concentração de $PM_{2.5}$ e do número de internações hospitalares por DRs, considerando toda a área de estudo (Pantanal brasileiro). Primeiramente, são apresentados os gráficos da média mensal de focos de incêndio, de concentração de $PM_{2.5}$ e de internações por doenças respiratórias (DRs), considerando os dados de toda a série histórica (2016 a 2019) e dos 20 municípios da área de estudo. A Figura 21 mostra a predominância de focos e de $PM_{2.5}$ entre os meses de agosto a outubro no Pantanal, corroborando com os dados encontrados na literatura apresentada na fundamentação teórica (Figura 7), que identifica tal período como o de menor precipitação e mais baixa umidade relativa do ar no bioma. O pico de focos de incêndio e da concentração de $PM_{2.5}$ ocorre no mês de setembro (Figura 21 (a) e (b), respectivamente), alcançando uma média de 103 focos e concentração

¹ Este modelo de análise sistemática dos dados está disponível publicamente, através da ferramenta “Google Sheets”, e pode ser acessado por meio do seguinte link: https://docs.google.com/spreadsheets/d/17dpUpL7qIQXPYohRuJx8_oe3DZjalZQYBMtvOX2f43w/edit?usp=sharing

média de $PM_{2.5}$ de $31,60\mu g/m^3$, entre os anos de 2016 e 2019. No entanto, analisando o gráfico referente à média mensal de internações por DRs (Figura 21 (c)), observa-se que a predominância de internações não ocorre durante o período de pico de focos de incêndio e de concentração de $PM_{2.5}$, mas sim, entre os meses de março a julho, sendo o pico de internações no mês de maio, com uma média de 32 internações entre os anos de 2016 e 2019. O pico de internações em maio pode se dever à mudança que ocorre da estação chuvosa para a estação seca no Pantanal, pois a partir do mês de abril tanto a precipitação como a umidade do ar começam a baixar (Pivetta, 2021), tendo efeito imediato no sistema respiratório da população, enquanto que a exposição ao material particulado pode ter efeito cumulativo e a longo prazo.

Figura 21 – Médias mensais no bioma Pantanal entre 2016 e 2019 de: (a) Número de focos de incêndio; (b) Concentração de $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$); e (c) Internações por DRs.



Fonte: Elaborado pela autora.

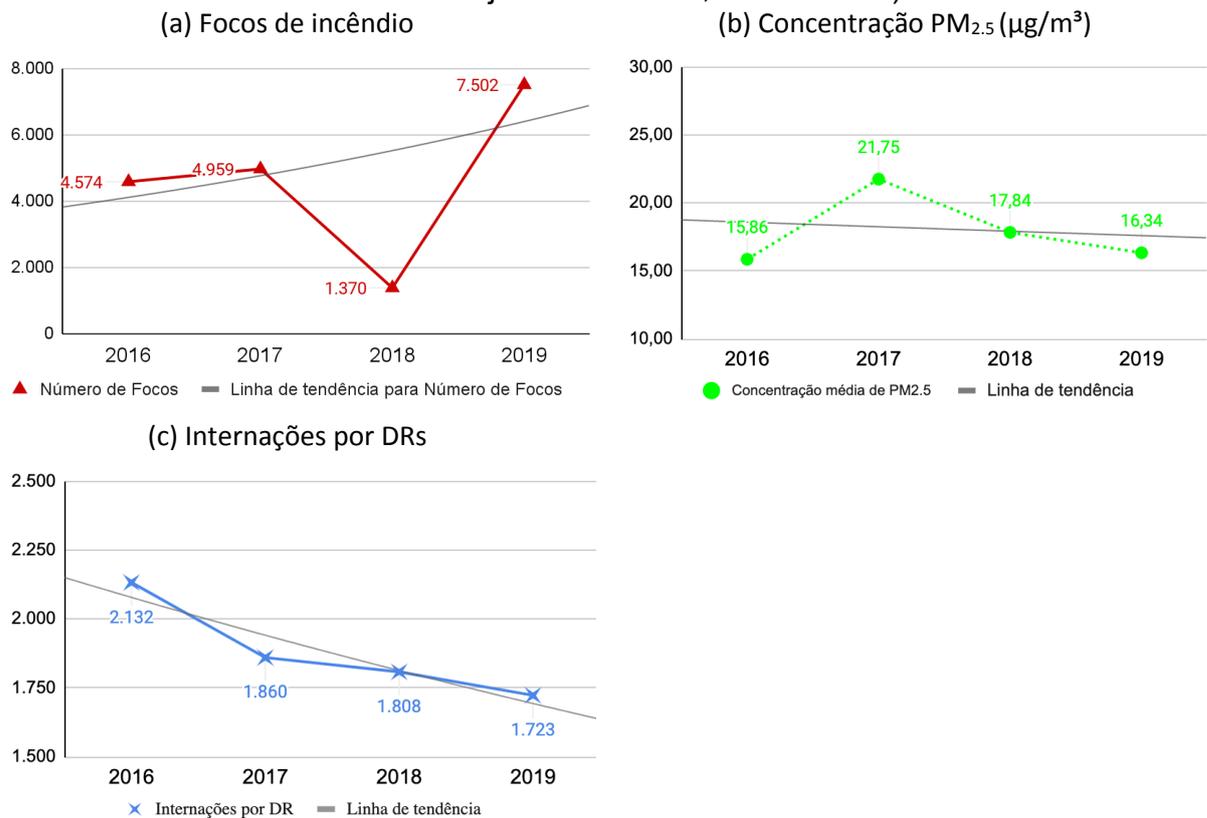
Considerando que a maior concentração de focos de incêndio e de $PM_{2.5}$ foi observada entre os meses de agosto a outubro na série histórica analisada, e sendo o mês de julho considerado o mais seco no Pantanal, segundo Marcuzzo *et al.* (2010),

considerou-se para as análises seguintes os dados referentes aos meses de julho, agosto, setembro e outubro de cada ano. A Figura 22 apresenta os gráficos do número total de focos de incêndio e de internações por DRs e da concentração média de $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) observados em cada ano da série histórica. Entre os anos de 2016 e 2018, observa-se uma relação direta entre focos de incêndio e $PM_{2.5}$, entretanto, de 2018 a 2019, houve uma queda na concentração média de $PM_{2.5}$ apesar da alta no número de focos de incêndio. O alto número de focos de incêndio, identificados no ano de 2019, deve-se ao fato de ser considerado um ano não chuvoso no bioma (Pivetta, 2021), mas também pode estar diretamente relacionado ao aumento dos desmatamentos observados em várias regiões do Brasil (MapBiomas, 2021), pois há muito material combustível (biomassa derrubada) disponível para queimar. Para compreender o contexto da aparente divergência na relação entre focos de incêndio e $PM_{2.5}$ no ano de 2019, expõe-se as considerações encontradas do estudo de Souza, Oviedo e Santos (2020), realizado no bioma Amazônia. Os autores citam que o “dia do fogo”, ocorrido entre os dias 10 e 11 de agosto de 2019, que desencadeou ações de fiscalização (Decreto 9.985 de 23 de agosto de 2019), e a proibição de queimadas no território nacional por 60 dias (Decreto 9.992, de 28 de agosto de 2019), podem ter contribuído para a diminuição do número de focos no mês de outubro. Como consequência, houve uma diminuição significativa na concentração média de $PM_{2.5}$ no período considerado entre agosto e outubro. Importante acrescentar que há diversas notícias afirmando haver ocorrido o “dia do fogo” também no Pantanal brasileiro e posteriormente uma “pausa” nas queimadas, o que poderia explicar o alto número de focos na estação seca, entretanto, com uma baixa na concentração média de $PM_{2.5}$, durante o ano de 2019.

Ao analisar o gráfico do número de internações por DRs (Figura 22 (c)), observa-se uma queda no número de internações no período de 2016 a 2019. A fraca relação encontrada entre as variáveis ambientais e de saúde, considerando a análise anual dos dados, pode estar relacionada à grande variabilidade intra-municipal e temporal dos dados, visto que esta análise considerou os 20 municípios da área de estudo e, que cada município tem suas particularidades, como densidade demográfica e área urbanizada. Este resultado também pode estar fortemente relacionado a questões políticas, a citar, menos investimentos em aquisição de novos leitos

hospitalares, em contrapartida ao crescimento das populações, que, por diversas questões, também buscam cada vez menos o sistema público de saúde, entre elas as longas distâncias que dificultam o deslocamento até as unidades de saúde e os hospitais.

Figura 22 – Série histórica (2016-2019): (a) Número de focos de incêndio (b) Concentração média de $PM_{2.5}$ $\mu g/m^3$); (c) Número de internações por DRs (referente aos meses de julho a outubro, no Pantanal).



Fonte: Elaborado pela autora.

Os dados referentes ao número de focos de incêndio, internações por DRs, concentração média e máxima de $PM_{2.5}$ e ao número médio de habitantes de cada município e estado do bioma Pantanal, considerando os meses entre julho a outubro de toda a série histórica (2016 a 2019), foram sintetizados na Tabela 1. Ao comparar os dados totais para os dois estados, o Mato Grosso (MT) apresentou maior concentração média de $PM_{2.5}$ ($19,69 \mu g/m^3$) e maior concentração máxima de $PM_{2.5}$ durante a série histórica (quando o pico diário atingiu $1.160,31 \mu g/m^3$ no município de Barão de Melgaço, no mês de setembro de 2018). O estado do MT também

apresentou maior número de internações por DRs (4.123) e a maior média de habitantes (75.506), o que pode ser justificado pelo fato de que abrange mais municípios que o Mato Grosso do Sul (MS) na análise realizada e, também, de que está composto pelo município mais populoso, Cuiabá, que apresentou uma média anual de quase seiscentos mil habitantes e, por consequência, maior número de internações por DRs (2.036), considerando os quatro anos da série analisada. Importante ressaltar que Cuiabá apresentou baixo número de focos de incêndio (54), comparado a outros municípios do MT, porém, teve altas concentrações de PM_{2.5}, o que pode ser explicado pelo fato de ser um município com grande densidade demográfica (157,66 hab/km²) e de 3,16% de sua área territorial ser urbanizada, consequentemente, gerando maior quantidade de poluentes na atmosfera, através da queima de combustíveis fósseis de origem veicular e industrial, que afeta fortemente a qualidade do ar nos grandes centros urbanos (Miranda *et al.*, 2012). No entanto, o estado do MS apresentou maior número de focos de incêndio (14.008 focos) que o MT (4.397 focos), sendo que o município de Corumbá apresentou os maiores valores, não apenas para focos de incêndio, mas também para a concentração de PM_{2.5} e internações por DRs, comparando-se aos dados de outros municípios do MS. Com esta análise, considerando um agrupamento dos dados a nível municipal e estadual e, na escala temporal, onde consideraram-se os dados dos quatro anos da série histórica, pode-se inferir que o número de internações por DRs está diretamente relacionado ao número de habitantes por município e estado do Pantanal brasileiro.

Tabela 1 – Dados consolidados dos municípios e estados do Pantanal, referentes aos meses de julho a outubro de toda a série histórica.

Estado	Município	População Média	Número de Focos	Concentração média de PM _{2.5} (µg/m ³)	Concentração máxima de PM _{2.5} (µg/m ³)	Número de Internações por DR
MATO GROSSO DO SUL	AQUIDAUANA	47.615	1.682	11,49	95,49	617
	CORUMBÁ	110.359	10.976	26,35	1.088,67	1.187
	COXIM	33.403	44	9,45	101,66	543
	LADÁRIO	22.779	12	26,35	1.088,67	147
	MIRANDA	27.662	181	15,78	270,01	317
	PORTO MURTINHO	16.944	787	18,11	170,86	173
	RIO NEGRO	4.839	1	11,24	779,09	80
	RIO VERDE DE MATO GROSSO	19.628	309	11,23	267,03	215

Estado	Município	População Média	Número de Focos	Concentração média de PM _{2.5} (µg/m ³)	Concentração máxima de PM _{2.5} (µg/m ³)	Número de Interações por DR
	SONORA	18.609	16	12,18	505,70	121
MS Total		33.538	14.008	15,81	1.088,67	3.400
MATO GROSSO	BARÃO DE MELGAÇO	8.221	2.060	29,77	1.160,31	23
	CÁCERES	92.603	613	16,26	286,53	691
	CUIABÁ	598.796	54	24,67	342,20	2.036
	CURVELÂNDIA	5.122	1	15,82	115,60	52
	ITIQUIRA	12.979	104	11,16	297,68	148
	JUSCIMEIRA	11.127	0	13,39	180,39	212
	MIRASSOL D'OESTE	27.160	0	15,28	195,57	378
	NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO	12.862	311	24,40	319,83	69
	POCONÉ	32.514	497	23,28	395,90	417
	PORTO ESPERIDIÃO	11.773	77	15,50	237,33	47
	SANTO ANTÔNIO DO LEVERGER	17.410	680	27,00	911,24	50
MT Total		75.506	4.397	19,69	1.160,31	4.123
TOTAL GERAL		56.620	18.405	17,94	1.160,31	7.523

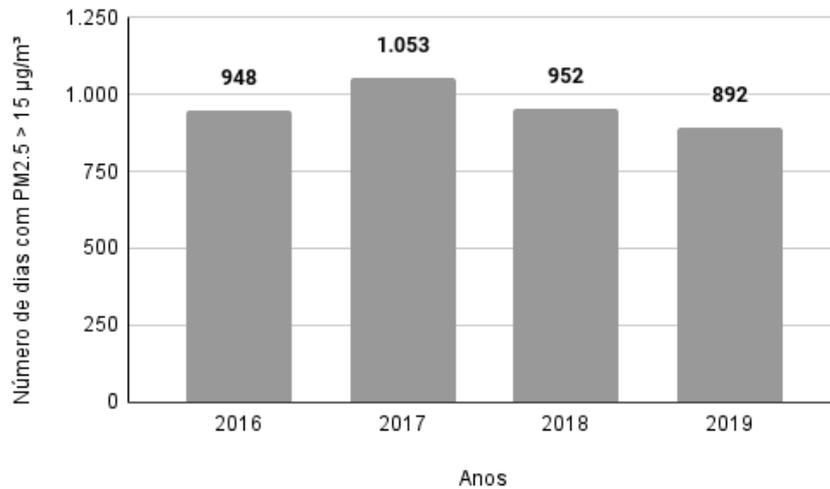
Fonte: Elaborado pela autora.

5.2 PADRÕES ESPAÇO-TEMPORAIS DE QUALIDADE DO AR

Nesta pesquisa também objetivou-se analisar se os limites de concentração de PM_{2.5}, estabelecidos pelas últimas Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS (WHO, 2021), foram ultrapassados nos municípios do Pantanal brasileiro, entre os meses de julho a outubro do período entre 2016 e 2019. Primeiramente, quantificou-se o número de dias em que a concentração diária (média de 24 horas) de PM_{2.5} ultrapassou o limite estabelecido pela OMS, de 15 µg/m³ por dia. No gráfico da Figura 23, é apresentado o número de dias em que a concentração média de PM_{2.5} ultrapassou este limite, considerando o somatório de dias por ano de todos os municípios da área de estudo. Nota-se que em todos os anos a recomendação da OMS foi ultrapassada, e o ano de 2017 foi o ano que apresentou mais dias de exposição ao PM_{2.5} acima do limite estabelecido pela OMS, sendo que de acordo com a Figura 22, 2017 foi o ano

em que também se observou a maior concentração média de $PM_{2.5}$ ($21,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e o segundo ano que apresentou maior número de focos de incêndio (4.959 focos) no Pantanal brasileiro.

Figura 23 – Série histórica (2016 a 2019): Somatório do número de dias com $PM_{2.5} > 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, referente aos meses de julho a outubro, no Pantanal.

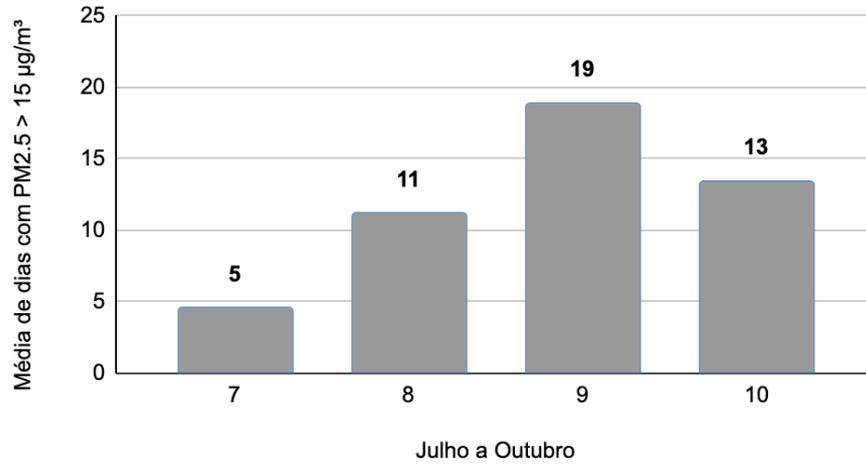


Fonte: Elaborado pela autora.

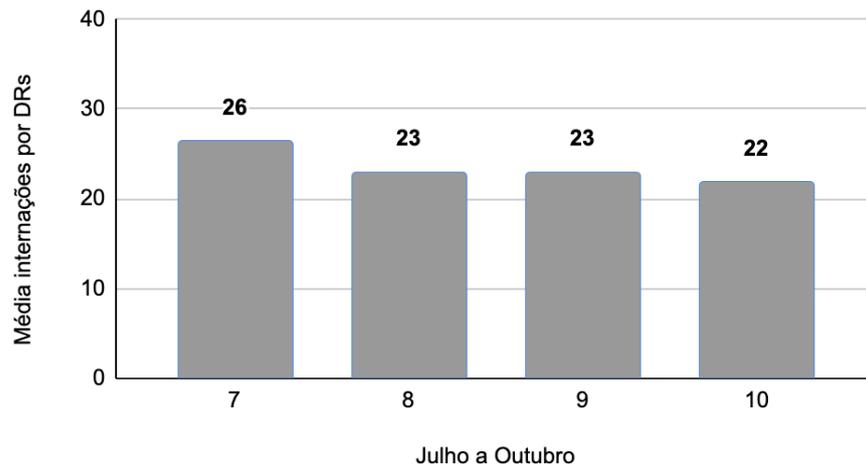
Na Figura 24, ao analisar a média mensal (entre julho e outubro) do número de dias de exposição ao $PM_{2.5}$, durante a série histórica de 2016 a 2019, considerando os dados dos 20 municípios do Pantanal brasileiro, é possível observar que o mês de setembro apresentou a maior média de dias com $PM_{2.5}$ acima do limite estabelecido pela OMS ($15 \mu\text{g}/\text{m}^3$), quando também se identifica o maior número de focos de incêndio e concentração média de $PM_{2.5}$ no Pantanal (Figura 21 (a) e (b), respectivamente), oferecendo maior potencial de riscos à saúde da população neste período. Entretanto, no gráfico (b) da Figura 24, que apresenta a média de internações por DRs entre julho e outubro da série histórica, observa-se que a maior média de internações foi identificada no mês de julho, e a partir de então, o número de internações começa a diminuir, como já apresentado na Figura 21 (c).

Figura 24 – Médias mensais no bioma Pantanal entre 2016 e 2019 de: (a) Número de dias com $PM_{2.5} > 15 \mu g/m^3$; (b) Número de internações por DRs (referente aos meses de julho a outubro).

(a)



(b)



Fonte: Elaborado pela autora.

A Tabela 2 apresenta o número de dias de exposição ao $PM_{2.5}$ acima do limite recomendado pela OMS, por ano da série histórica e, por município e estado do Pantanal brasileiro. Observa-se que tal recomendação foi ultrapassada em todos os municípios e estados analisados. Entre os anos de 2016 e 2019, a média de dias com $PM_{2.5}$ acima de $15 \mu g/m^3$ foi de 48 dias em todo o Pantanal. O estado do MT apresentou maior média de dias de exposição (55 dias) em comparação ao estado do MS (39 dias), e que, de acordo com a Tabela 1, também apresentou o maior número de internações por DRs (4.123). Dos 20 municípios que compõem a área de estudo, três apresentaram a maior média de dias de exposição (76 dias) durante a série

histórica analisada, Cuiabá, Nossa Senhora do Livramento e Santo Antônio do Leverger, todos localizados no estado do Mato Grosso, sendo que Cuiabá também apresentou o maior número de internações por DRs (2.036). No Mato Grosso do Sul, Corumbá foi o município que apresentou maior média de dias de exposição (65 dias), sendo também o município do MS com maior número de internações por DRs (1.187), de acordo com a Tabela 1.

Tabela 2 – Série histórica (2016 a 2019): Número de dias com concentração de $PM_{2.5} > 15 \mu g/m^3$ para cada município e estado do Pantanal, referente aos meses de julho a outubro.

Estado	Município	2016	2017	2018	2019	MÉDIA Geral
MATO GROSSO DO SUL	AQUIDAUANA	22	31	27	34	29
	CORUMBÁ	73	68	58	61	65
	COXIM	20	27	16	22	21
	LADÁRIO	73	68	58	61	65
	MIRANDA	30	48	50	52	45
	PORTO MURTINHO	55	55	48	46	51
	RIO NEGRO	19	21	24	30	24
	RIO VERDE DE MATO GROSSO	28	27	19	25	25
	SONORA	29	42	12	27	28
MS Média		39	43	35	40	39
MATO GROSSO	BARÃO DE MELGAÇO	56	70	62	52	60
	CÁCERES	48	55	50	49	51
	CUIABÁ	70	73	94	66	76
	CURVELÂNDIA	53	58	51	42	51
	ITIQUIRA	33	34	20	22	27
	JUSCIMEIRA	37	46	30	43	39
	MIRASSOL D'OESTE	50	54	42	41	47
	NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO	76	76	93	58	76
	POCONÉ	55	68	62	56	60
	PORTO ESPERIDIÃO	50	51	46	43	48
	SANTO ANTÔNIO DO LEVERGER	71	81	90	62	76
MT Média		54	61	58	49	55
MÉDIA Geral		47	53	48	45	48

Fonte: Elaborado pela autora.

Posteriormente, buscou-se analisar para cada ano da série histórica se a recomendação da OMS, para a concentração média de $PM_{2.5}$ a nível anual ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), foi respeitada. A Tabela 3 apresenta a média anual da concentração de $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para cada município e estado da área de estudo, onde é possível verificar que o limite estabelecido para a concentração média anual de $PM_{2.5}$, de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, foi ultrapassado em todos os municípios e estados que compõem o Pantanal brasileiro. A nível estadual, o MT apresentou maior concentração média anual de $PM_{2.5}$ na série histórica ($19,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$) comparado à média anual no MS ($15,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$). O município com maior concentração média anual de $PM_{2.5}$ foi Barão de Melgaço (MT), com $29,79 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo que no ano de 2017, o município alcançou a concentração média anual de $41,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Analisando a escala temporal, a recomendação da OMS foi ultrapassada em todos os anos analisados. Para ambos os estados do MT e MS, as maiores concentrações médias de $PM_{2.5}$ foram registradas em 2017, com $19,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no MS e $23,86 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no MT. Considerando a média geral de todos os 20 municípios analisados, a maior concentração de $PM_{2.5}$ também foi registrada no ano de 2017, com uma média de $21,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A nível de bioma, o Pantanal brasileiro registrou uma concentração média, em toda a série histórica, de $17,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ou seja, a média de $PM_{2.5}$ durante os quatro anos analisados esteve mais de três vezes acima do limite recomendado pela OMS, de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabela 3 – Série histórica (2016 a 2019): Média anual da concentração de $PM_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para cada município e estado do Pantanal, referente aos meses de julho a outubro.

Estado	Município	2016	2017	2018	2019	MÉDIA Geral
MATO GROSSO DO SUL	AQUIDAUANA	9,18	10,87	11,75	14,15	11,49
	CORUMBÁ	27,46	39,55	16,04	22,37	26,36
	COXIM	8,50	8,80	10,16	10,35	9,45
	LADÁRIO	27,46	39,55	16,04	22,37	26,36
	MIRANDA	11,70	17,83	14,11	19,47	15,78
	PORTO MURTINHO	19,49	20,16	15,19	17,61	18,11
	RIO NEGRO	8,24	8,47	15,57	12,72	11,25
	RIO VERDE DE MATO GROSSO	11,44	9,54	13,25	10,71	11,24
	SONORA	10,73	17,76	8,85	11,29	12,16
Média MS		14,91	19,17	13,44	15,67	15,80

Estado	Município	2016	2017	2018	2019	MÉDIA Geral
MATO GROSSO	BARÃO DE MELGAÇO	18,32	41,29	39,89	19,67	29,79
	CÁCERES	14,82	16,82	16,86	16,55	16,26
	CUIABÁ	19,76	28,54	29,40	20,99	24,67
	CURVELÂNDIA	16,15	17,05	14,56	15,53	15,82
	ITIQUIRA	12,01	12,79	9,54	10,24	11,15
	JUSCIMEIRA	13,52	15,06	11,12	13,81	13,38
	MIRASSOL D'OESTE	15,60	16,64	13,56	15,32	15,28
	NOSSA SENHORA DO LIVRAMENTO	20,25	29,33	28,59	19,43	24,40
	POCONÉ	17,12	35,51	21,32	19,19	23,29
	PORTO ESPERIDIÃO	15,04	16,93	14,20	15,85	15,51
	SANTO ANTÔNIO DO LEVERGER	20,38	32,46	36,06	19,09	27,00
Média MT		16,63	23,86	21,37	16,88	19,69
MÉDIA Geral		15,86	21,75	17,80	16,34	17,94

Fonte: Elaborado pela autora.

As correlações entre as variáveis ambientais (número de focos de incêndio, concentração média de PM_{2.5} e número de dias de exposição ao PM_{2.5}) e as internações por DRs foram analisadas por meio de uma matriz de correlação de Pearson, onde os coeficientes são apresentados para todo o Pantanal e para cada um dos estados (MT e MS), considerando os dados somente dos meses de julho a outubro de toda a série histórica (2016 e 2019). O Quadro 9 apresenta os coeficientes de Pearson a nível de bioma Pantanal, onde pode-se observar que todas as correlações entre as variáveis são positivas, porém fracas. Esta análise mostra, além da fraca correlação entre o número de focos de incêndio e a concentração de PM_{2.5} ($\rho = 0,37$), uma fraca correlação entre as internações por doenças respiratórias e os focos de incêndio (coeficiente de correlação de Pearson ($\rho = 0,37$), embora maior do que entre as internações e o número de dias com concentração de PM_{2.5} acima de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ($\rho = 0,28$), demonstrando que este tipo de análise, considerando uma escala espacial e temporal mais ampla, não apresentou correlações significativas.

Quadro 9 – Matriz de correlação entre variáveis ambientais e de saúde no Pantanal brasileiro.

	Número de Focos	Concentração média PM _{2.5}	Número de dias com Concentração PM _{2.5} > 15 µg/m ³ (OMS)	Número de Internações por DRs
Número de Focos	1,00			
Concentração média PM _{2.5}	0,37	1,00		
Número de dias com Concentração PM _{2.5} > 15 µg/m ³ (OMS)	0,24	0,92	1,00	
Número de Internações por DRs	0,37	0,20	0,28	1,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Ao analisar a correlação entre as variáveis, porém, a nível estadual, os resultados para o estado do Mato Grosso (Quadro 10) mostram que há uma forte correlação entre o número de focos de incêndio e a concentração média de PM_{2.5} ($\rho = 0,68$), entretanto, uma correlação positiva, porém, fraca, quando se comparam as internações e o número de dias com concentração de PM_{2.5} acima de 15 µg/m³ ($\rho = 0,33$) e, uma correlação negativa entre as internações e os focos de incêndio ($\rho = -0,22$), considerando todos os municípios do estado do Mato Grosso e todos os anos da série histórica.

Quadro 10 – Matriz de correlação entre variáveis ambientais e de saúde no estado do Mato Grosso.

	Número de Focos	Concentração média PM _{2.5}	Número de dias com Concentração PM _{2.5} > 15 µg/m ³ (OMS)	Número de Internações por DRs
Número de Focos	1,00			
Concentração média PM _{2.5}	0,68	1,00		
Número de dias com Concentração PM _{2.5} > 15 µg/m ³ (OMS)	0,28	0,86	1,00	
Número de Internações por DRs	-0,22	0,15	0,33	1,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Na matriz de correlação para o estado do Mato Grosso do Sul (Quadro 11), observam-se correlações positivas entre todas as variáveis, e uma correlação

significativa entre os focos de incêndio e as internações por DRs ($\rho = 0,89$), porém, uma fraca correlação entre a variável de saúde e a concentração de $PM_{2.5}$ ($\rho = 0,35$).

Quadro 11 – Matriz de Correlação entre variáveis ambientais e de saúde no estado do Mato Grosso do Sul.

	Número de Focos	Concentração média $PM_{2.5}$	Número de dias com Concentração $PM_{2.5} > 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS)	Número de Internações por DRs
Número de Focos	1,00			
Concentração média $PM_{2.5}$	0,58	1,00		
Número de dias com Concentração $PM_{2.5} > 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS)	0,54	0,98	1,00	
Número de Internações por DRs	0,89	0,35	0,33	1,00

Fonte: Elaborado pela autora.

5.3 ANÁLISE DOS DADOS DE CÁCERES (MT) E CORUMBÁ (MS)

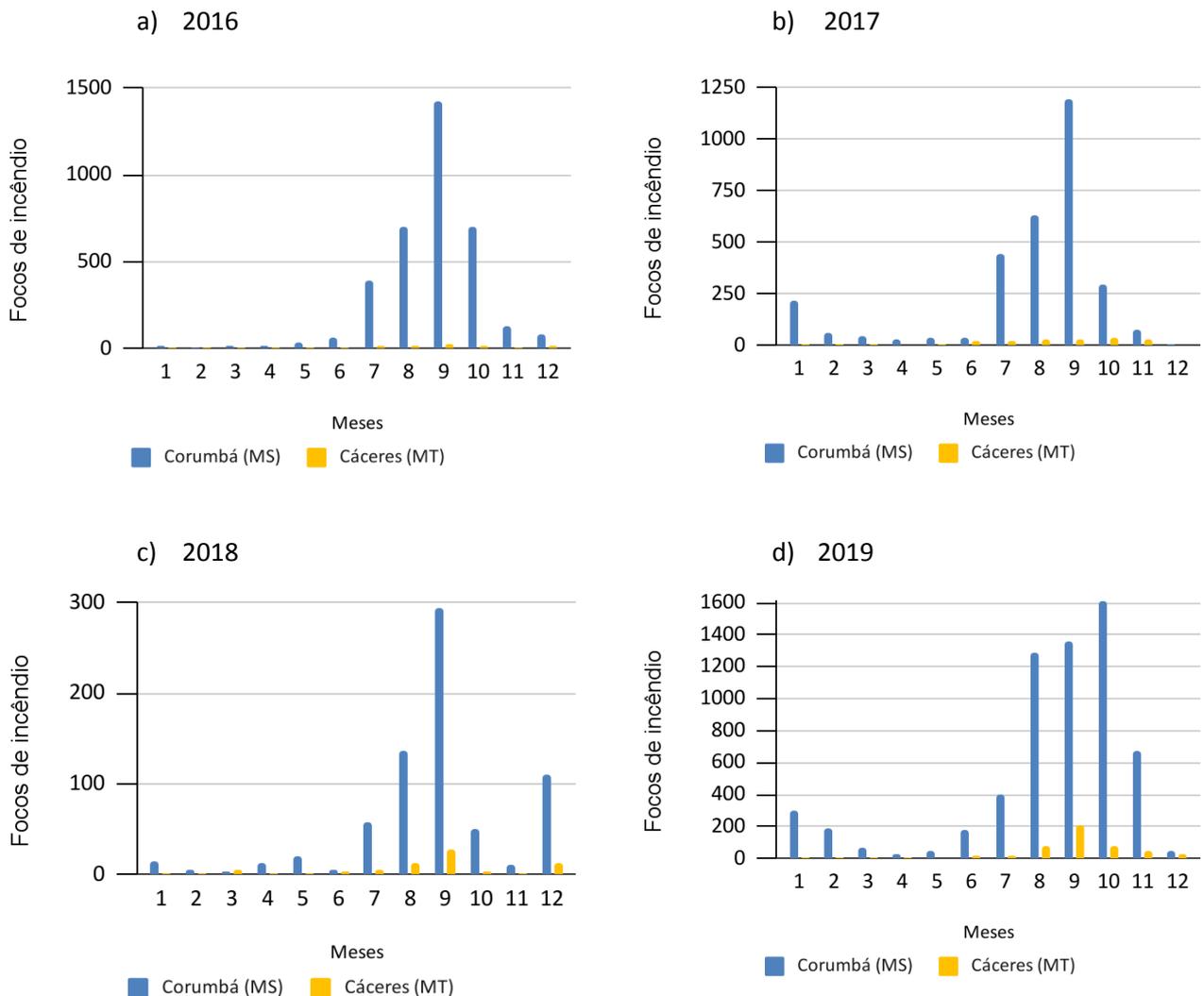
Nesta seção, buscou-se apresentar a análise dos dados das variáveis ambientais e de internações por DRs em uma granularidade espacial a nível municipal. Desta maneira, selecionaram-se dois municípios da área de estudo que compõem o bioma Pantanal brasileiro representando cada estado, Cáceres, no Mato Grosso e Corumbá, no Mato Grosso do Sul, pois ambos apresentam elevados números de focos de incêndio, concentração de $PM_{2.5}$ e internações por DRs, o que permitiu análises de tendências com quantidade suficiente de dados.

5.3.1 Focos de incêndio, $PM_{2.5}$ e internações por DRs em Cáceres (MT) e Corumbá (MS)

A seguir, são apresentados os gráficos que demonstram a evolução mensal das variáveis focos de incêndio, concentração de $PM_{2.5}$ e internações por DRs, entre o período de 2016 a 2019, para os dois municípios. Através da Figura 25 é possível observar um alto número de focos de incêndio predominantemente entre julho e outubro de cada ano, sendo o mês de setembro com predominância dos incêndios. O

ano de 2019 apresentou maior número de focos em ambos os municípios durante a série histórica analisada, alcançando quase 1.700 focos no mês de outubro, em Corumbá (MS). O município de Corumbá apresentou, predominantemente, números mais altos de focos de incêndio em relação a Cáceres durante toda a série histórica, resultado que pode ser explicado pelo fato de Corumbá ter maior área territorial e menor área urbanizada que o município de Cáceres, ou seja, considera-se que tem mais área com biomassa propensa a queimar. Outro fator importante relacionado ao alto número de focos de incêndio em Corumbá no ano de 2019, é que foi o município com maior área desmatada do estado do Mato Grosso do Sul, totalizando 6.133 hectares (Mapbiomas, 2020).

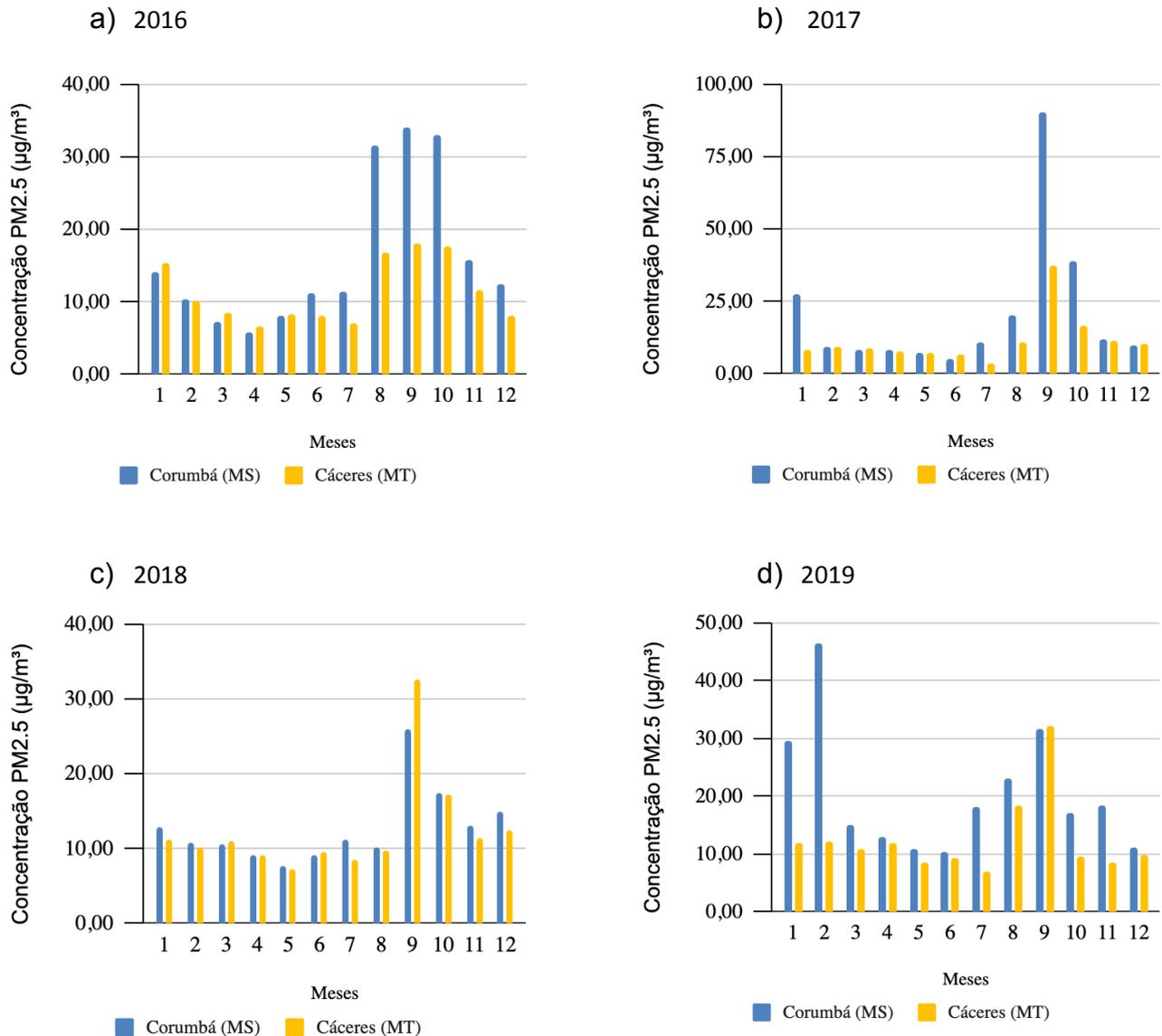
Figura 25 – Número de focos de incêndio em Cáceres e Corumbá, entre 2016 e 2019.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação à variável $PM_{2.5}$, na Figura 26 são apresentados os valores de concentração média observados em cada mês do período analisado. Em todos os anos, observaram-se concentrações mais altas de $PM_{2.5}$ nos dois municípios, predominantemente, durante o mês de setembro, auge do período de seca, equivalente ao período em que também se observaram mais focos de incêndio tanto em Cáceres como em Corumbá. Entretanto, o ano de 2019 demonstra ser um ano atípico para o município de Corumbá, que apesar de se observarem altas concentrações entre julho e outubro, o município teve a maior concentração média de $PM_{2.5}$ observada no mês de fevereiro ($46,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Este dado pode ser explicado ao observar o gráfico de focos de incêndio (Figura 25), em que no ano de 2019 observa-se que houve um número alto de focos também entre janeiro e fevereiro, situação que não aparenta ser predominante nos demais anos. Outra hipótese para tal resultado é de que podem ter ocorrido incêndios em outros municípios, que com a ação dos ventos, a fumaça contendo $PM_{2.5}$ tenha se deslocado em direção ao município de Corumbá. Em 2017, observou-se a mais alta concentração média de $PM_{2.5}$ de toda a série histórica, alcançando a média de $90,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no mês de setembro, no município de Corumbá. No geral, Corumbá apresentou maiores concentrações em relação a Cáceres, exceto no ano de 2018, em que as maiores concentrações médias de $PM_{2.5}$ foram observadas no município de Cáceres, onde alcançou-se uma média de aproximadamente $32,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no mês de setembro.

Figura 26 – Concentração média de PM_{2.5} (µg/m³) em Cáceres e Corumbá, entre 2016 e 2019.

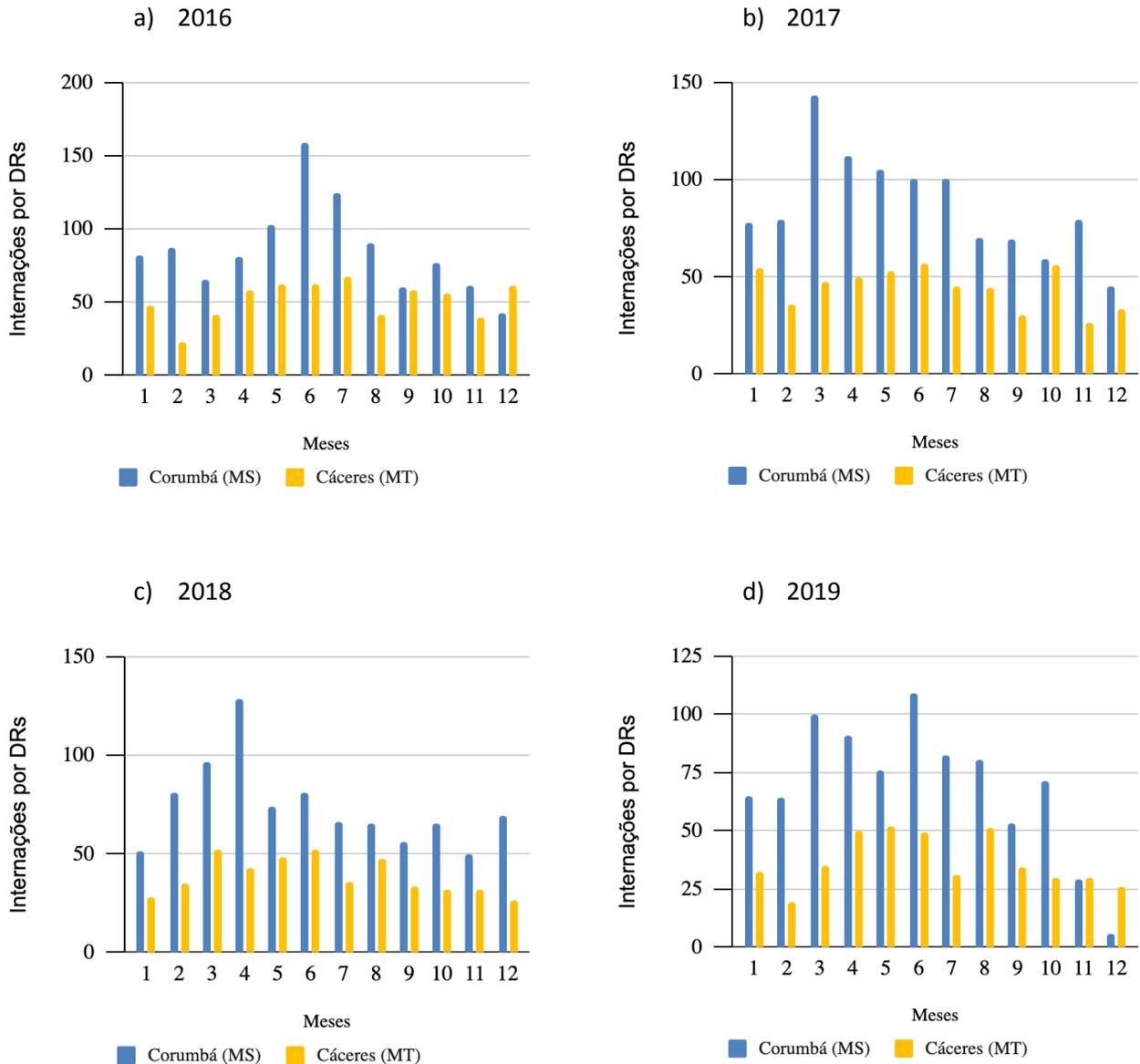


Fonte: Elaborado pela autora.

Os gráficos da Figura 27 apresentam o número mensal de internações por doenças respiratórias (DRs) nos dois municípios analisados entre o período de 2016 a 2019. Diferentemente dos gráficos de focos de incêndio e de concentração de PM_{2.5}, que demonstram uma predominância dessas variáveis durante os meses de julho a outubro em ambos os municípios, não observou-se o mesmo padrão na distribuição do número de internações no espaço e no tempo analisados. O mês onde observou-se maior média de internações por DRs, considerando os dados dos dois municípios analisados, foi o mês de junho, que apresentou uma média de 84 internações entre

2016 e 2019, em contrapartida no mês de dezembro foi observada a menor média de internações (39). Corumbá também apresentou maior número de internações por DRs que o município de Cáceres, assim como de focos de incêndio (Figura 25) e de concentração média de $PM_{2.5}$ (Figura 26).

Figura 27 – Número de internações por doenças respiratórias (DRs) em Cáceres e Corumbá, entre 2016 e 2019.

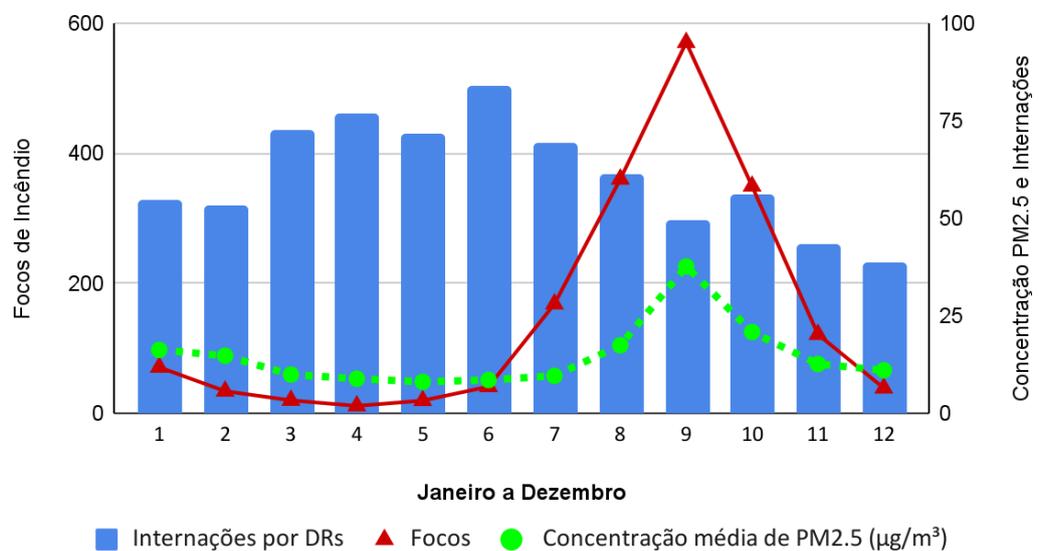


Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 28 é apresentada a relação entre os valores mensais médios de focos de incêndio, de concentração de $PM_{2.5}$ e de internações por DRs, durante o

período de 2016 e 2019, considerando os dados de Cáceres (MT) e Corumbá (MS). É possível observar que há uma relação direta entre os incêndios e o $PM_{2.5}$, pois quando a média de focos de incêndio foi mais alta, as concentrações médias de $PM_{2.5}$ também foram mais altas, (entre julho e outubro da série histórica). Entretanto, a média de internações por DRs a partir do mês de julho apresentou uma queda até o mês de dezembro, com exceção de outubro.

Figura 28 – Relação entre dados médios de concentração de $PM_{2.5}$, focos de incêndio e internações por DRs em Cáceres (MT) e Corumbá (MS), durante a série



histórica.

Fonte: Elaborado pela autora.

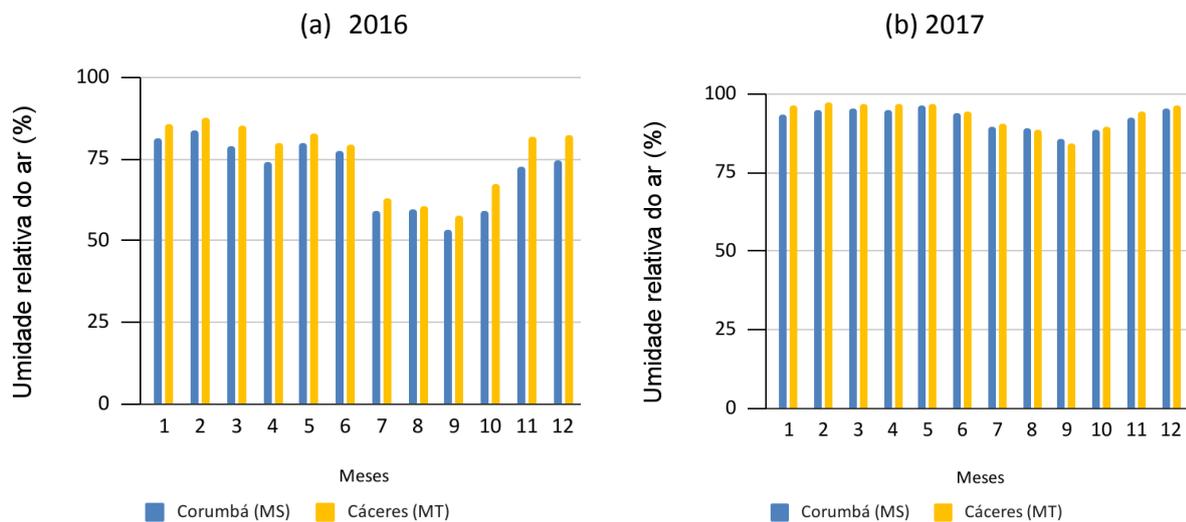
5.3.2 Umidade relativa do ar (UR) e precipitação em Cáceres (MT) e Corumbá (MS)

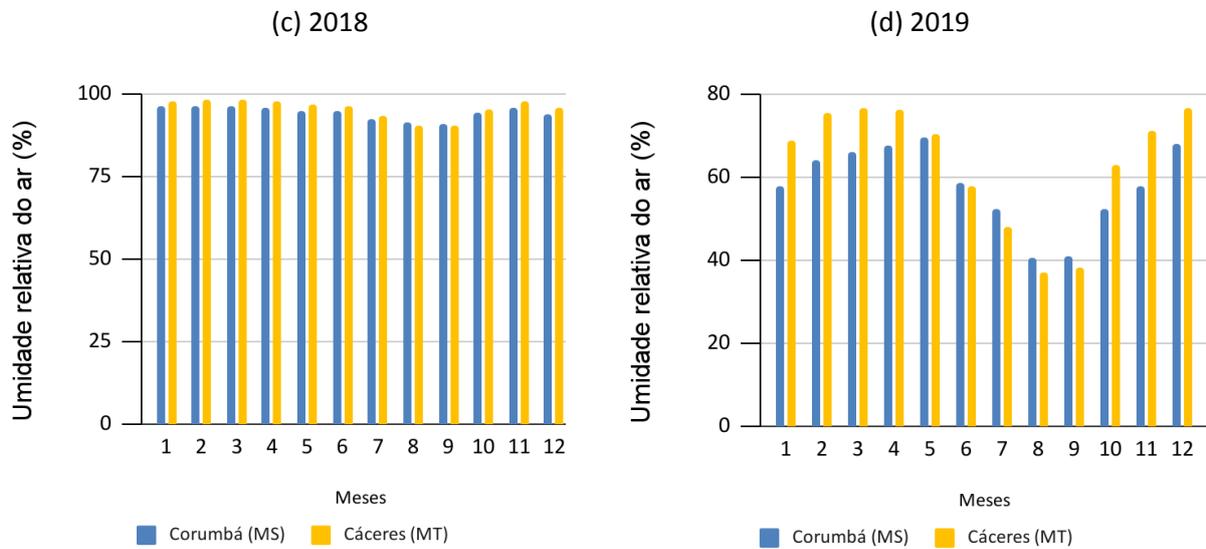
Também foram coletados dados de outras duas variáveis ambientais para os municípios de Cáceres (MT) e Corumbá (MS), umidade relativa média do ar (UR), cuja medida se dá em %, e a precipitação média, em milímetros (mm), cujo objetivo foi analisar a relação dessas variáveis com as internações por DRs e, também, com as demais variáveis ambientais, focos de incêndio e concentração de $PM_{2.5}$.

Os gráficos da Figura 29 apresentam a variação mensal da umidade relativa média do ar (UR%) entre os anos de 2016 a 2019. Durante toda a série histórica analisada, nota-se que o período de mais baixa umidade do ar está entre os meses

de julho e outubro para ambos os municípios, sendo os meses de agosto e setembro com menor umidade relativa média, 70% e 68%, respectivamente, corroborando com a citação de Pivetta (2021), de que este período é o auge da seca no Pantanal, uma das causas que também explica a alta no número de focos nesse período. Através dos gráficos abaixo, também observa-se que o ano de 2019 apresentou menor UR que os demais anos da série histórica tanto em Cáceres como em Corumbá, ano em que as queimadas também foram predominantes. Comparando os dados entre os dois municípios, durante toda a série histórica, Corumbá (MS) apresentou umidade relativa média mais baixa que Cáceres (MT), 79% e 82%, respectivamente.

Figura 29 – Umidade relativa média do ar (%) em Cáceres e Corumbá, entre 2016 e 2019.

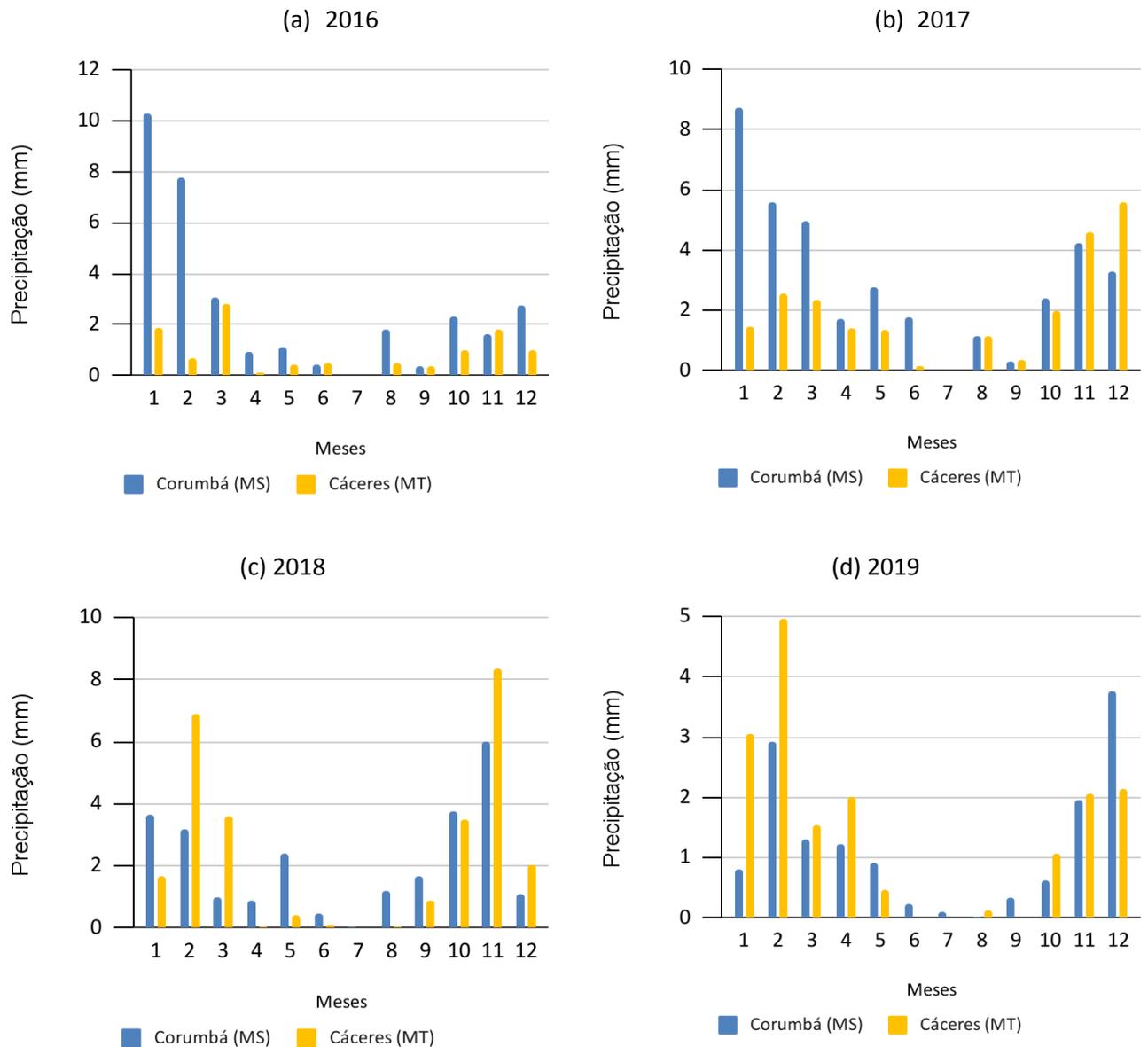




Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 30 apresenta-se a variação mensal dos dados de precipitação (mm), para os municípios de Cáceres e Corumbá, durante a série histórica. Considerando a média geral de precipitação para ambos os municípios, o período de menor precipitação ocorreu entre os meses de abril e setembro, sendo o mês de julho com a menor precipitação média (0 mm) durante o período analisado entre 2016 e 2019, corroborando com Marcuzzo *et al.* (2010), que cita o mês de julho sendo o mais seco no Pantanal. O ano que apresentou menor precipitação média, entre os dois municípios, foi 2019, com média de 1 mm, ano que também apresentou menor UR média e quando as queimadas foram predominantes durante a série histórica analisada, em ambos os municípios.

Figura 30 – Precipitação média (mm) em Cáceres e Corumbá, entre 2016 e 2019.

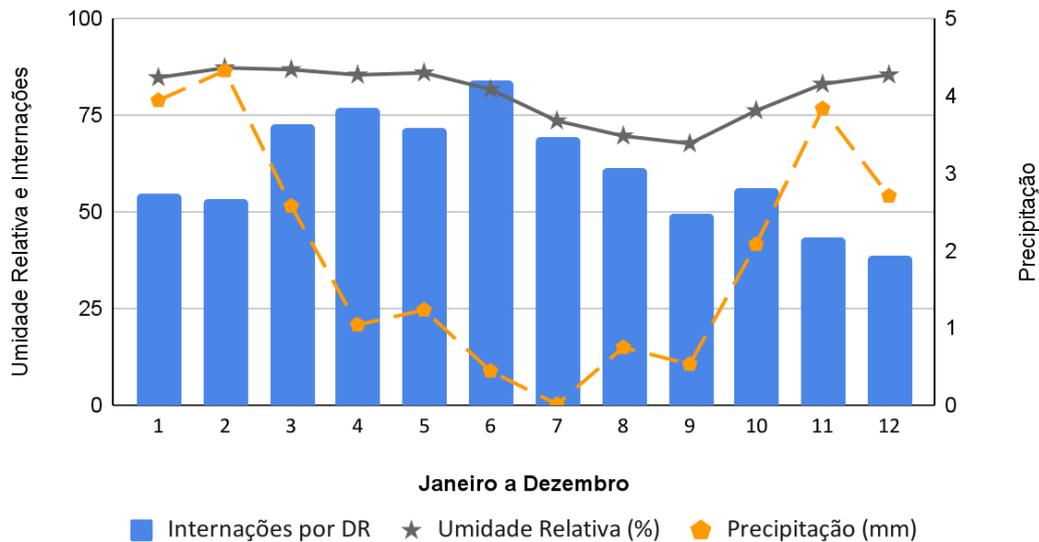


Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 31 é apresentado o gráfico com os valores mensais médios de umidade relativa do ar (%), de precipitação (mm) e de internações por DRs. Através do gráfico observa-se uma relação mais estreita entre as internações e a precipitação média, pois a partir do mês de março, quando a precipitação começa a diminuir, as internações por DRs começam a aumentar durante a série histórica. O mês de junho apresentou maior média de internações por DRs e é o segundo mês com a menor precipitação média (mm). O período com menor umidade relativa média do ar foi

identificado entre os meses de julho e outubro, o que demonstra a relação direta dessa variável com os incêndios (Figura 25) e a concentração de PM_{2.5} (Figura 26).

Figura 31 – Relação entre dados médios de umidade relativa (%), precipitação (mm) e interações por DRs em Cáceres (MT) e Corumbá (MS), durante a série histórica.



Fonte: Elaborado pela autora.

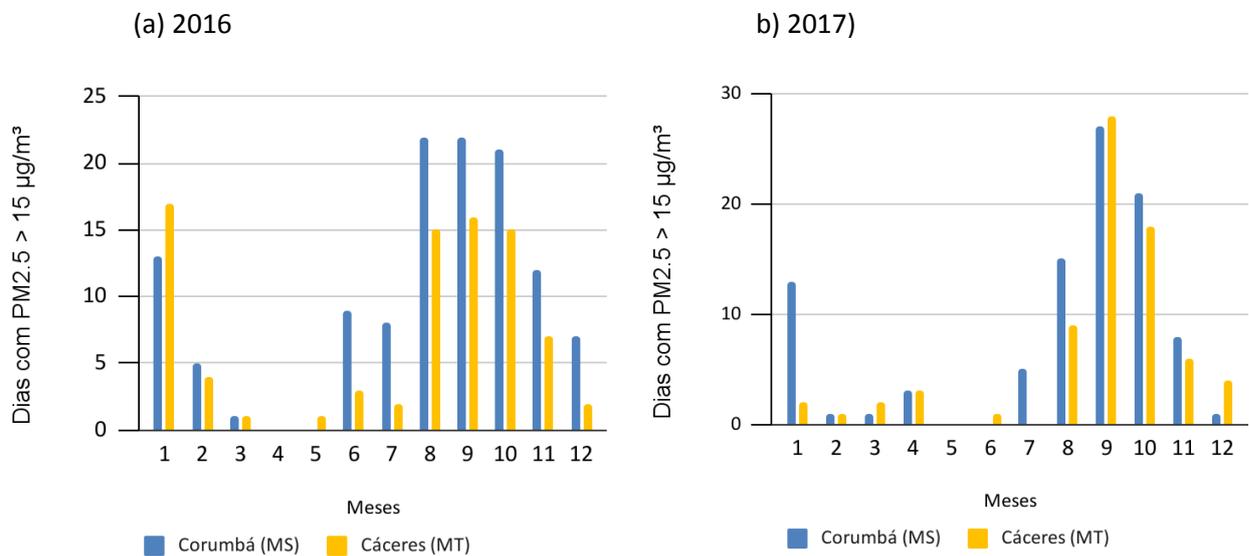
5.3.3 Padrões de qualidade do ar em Cáceres (MT) e Corumbá (MS)

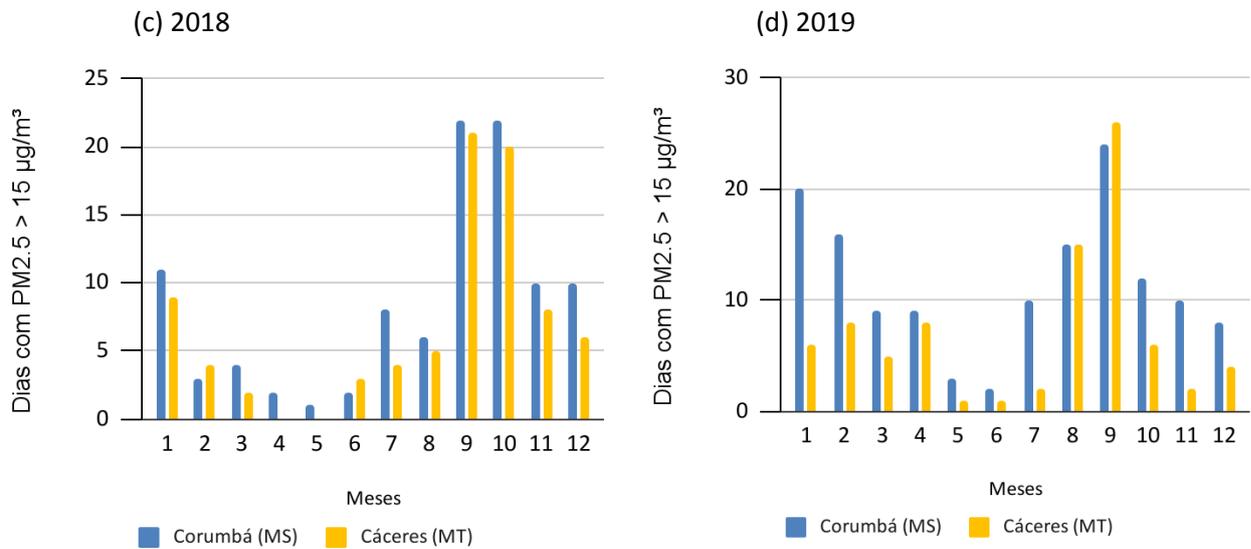
Para verificar se os níveis diários de PM_{2.5} estão de acordo com as últimas Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS (WHO, 2021), que recomendam que o limite de concentração diária de PM_{2.5} não ultrapasse 15 µg/m³ (média de 24 horas), também foi analisado, para os municípios de Cáceres (MT) e Corumbá (MS), o número de dias em que a concentração média de PM_{2.5} esteve acima de 15 µg/m³ durante a série histórica.

Os resultados referentes aos dias de exposição ao PM_{2.5}, obtidos para Cáceres e Corumbá, podem ser observados através da Figura 32, na qual observa-se que em ambos os municípios e em todos os anos do período analisado o limite diário de PM_{2.5} estabelecido pela OMS (15 µg/m³) foi ultrapassado, e nota-se um acúmulo de dias em que a concentração de PM_{2.5} está acima do recomendado durante os meses de julho a outubro. Em Corumbá, durante toda a série histórica, o mês de setembro apresentou mais dias com concentração acima dos limiares diários

recomendados pela OMS. Em Cáceres, exceto o ano de 2016, os demais anos da série histórica também apresentaram mais dias com concentração de $PM_{2.5}$ acima de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no mês de setembro. Em ambos os municípios, o ano de 2019 apresentou mais dias com concentração de $PM_{2.5}$ acima dos limiares da OMS, sendo um total de 138 dias em Corumbá e 84 dias em Cáceres. Este tipo de análise demonstra a relação direta entre a concentração de $PM_{2.5}$ e os focos de incêndio, que também foram mais altos no ano de 2019, para ambos os municípios, ano em que também ocorreram os grandes incêndios florestais e foram identificadas altas taxas de desmatamento, não somente no Pantanal, mas em outros biomas brasileiros, como a Amazônia e o Cerrado. Apesar dos padrões de qualidade do ar estarem sendo ultrapassados tanto em Cáceres (MT) como em Corumbá (MS), a análise realizada, considerando na escala temporal os dados mensais de cada município, não demonstrou haver uma relação direta entre a concentração de $PM_{2.5}$ emitido pelas queimadas e as interações por doenças respiratórias.

Figura 32 – Número de dias com $PM_{2.5} > 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em Cáceres e Corumbá, entre 2016 e 2019.





Fonte: Elaborado pela autora.

5.3.4 Matriz de correlação para Cáceres (MT) e Corumbá (MS)

Para investigar a correlação entre as variáveis estudadas em Cáceres (MT) e Corumbá (MS), foi aplicada a matriz de correlação de Pearson (Quadro 12), considerando na escala temporal os dados anuais de cada município, referentes aos meses de julho a outubro. Observa-se que a variável interações por DRs apresentou fraca correlação com as variáveis umidade relativa do ar e precipitação, para as quais o coeficiente de correlação encontrado foi de $\rho = -0,18$ e $\rho = 0,21$, respectivamente. Entretanto, a variável interações por DRs apresentou correlação forte e positiva com o número de dias em que a concentração média de $PM_{2.5}$ esteve acima de $15 \mu g/m^3$ ($\rho = 0,90$) e, também, com os focos de incêndio ($\rho = 0,79$), quando analisados os dados dos dois municípios por ano da série histórica, demonstrando que ambas as variáveis tendem a aumentar ou a diminuir em conjunto anualmente.

Quadro 12 – Matriz de correlação entre variáveis ambientais e de saúde em Cáceres (MT) e Corumbá (MS), entre 2016 e 2019 (referente aos meses de julho a outubro).

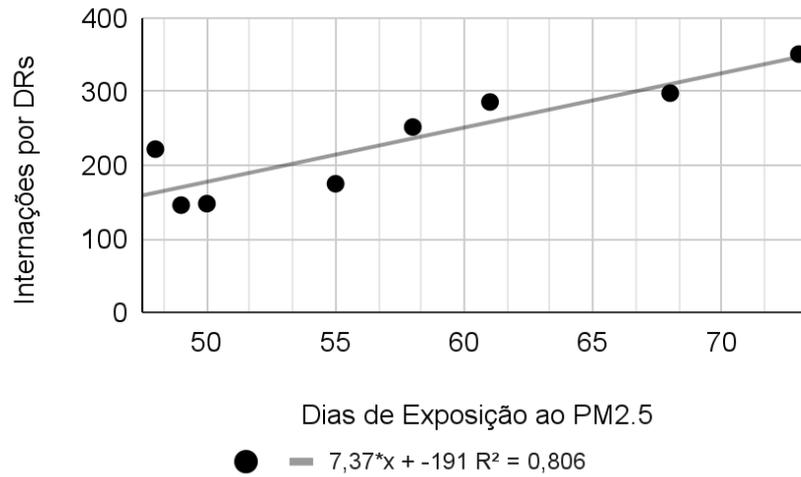
	Número de Focos	Concentração média PM _{2.5}	Número de dias com Concentração PM _{2.5} > 15 µg/m ³ (OMS)	Umidade relativa média do ar	Precipitação média	Número de Internações por DRs
Número de Focos	1,00					
Concentração média PM _{2.5}	0,62	1,00				
Número de dias com Concentração PM _{2.5} > 15 µg/m ³ (OMS)	0,75	0,80	1,00			
Umidade relativa média do ar	-0,45	0,08	-0,01	1,00		
Precipitação média	-0,21	0,10	0,33	0,76	1,00	
Número de Internações por DRs	0,79	0,67	0,90	-0,18	0,21	1,00

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 33 é apresentado o diagrama de dispersão, considerando os dados da variável independente número de dias em que o PM_{2.5} esteve acima do limite diário estabelecido pela OMS (15 µg/m³) e da variável dependente número de internações por DRs, de cada ano da série histórica (2016 e 2019) para os dois municípios (referente aos meses de julho a outubro). Observou-se que as variáveis são diretamente proporcionais e que o número de dias com PM_{2.5} acima de 15µg/m³ explicou em 80,6% ($R^2 = 0,806$) o número de internações por ano nos municípios de Cáceres (MT) e Corumbá (MS).

Com os resultados do diagrama de dispersão (Figura 33) e da matriz de correlação de Pearson (Quadro 12), em que todas as variáveis ambientais e de saúde foram analisadas considerando os dados anuais de Cáceres (MT) e Corumbá (MS), pode-se afirmar que quanto mais registros de dias com PM_{2.5} acima de 15µg/m³ mais ocorrências de internações por DRs são observadas em ambos os municípios, por ano.

Figura 33 – Diagrama de dispersão entre o número de internações por DRs e o número de dias com $PM_{2.5} > 15\mu g/m^3$ para Cáceres (MT) e Corumbá (MS), entre 2016 e 2019 (referente aos meses de julho a outubro).



Fonte: Elaborado pela autora.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento desta pesquisa revelou que há correlação direta entre os focos de incêndio e a concentração de material particulado fino para a região estudada, no período entre 2016 a 2019, sendo o pico de ambas as variáveis entre os meses de julho a outubro no Pantanal brasileiro. Entretanto, não foi identificada correlação direta entre as variáveis ambientais e de saúde, quando os dados foram agrupados a nível de bioma e de estado, na escala mensal e anual. Verificou-se que no período em que se finaliza a época chuvosa (a partir de abril) se observaram os maiores números de internações por DRs. Várias podem ser as elucidações para tais implicações, é relevante considerar a complexidade na determinação de internações por DRs, devido a uma série de fatores de importância clínica, epidemiológica, ambiental e características da gestão de saúde que se inter-relacionam. O impacto das queimadas sobre as internações talvez não seja sempre imediato, e a grande variabilidade intra-municipal e temporal dos dados também pode influenciar nos resultados.

Na análise mais complexa a nível municipal, onde analisaram-se os dados de Cáceres (MT) e Corumbá (MS), apenas observando os dados mensais de concentração de $PM_{2.5}$ e do número de internações por DRs, não é possível assegurar que existe correlação entre estas variáveis, pois os resultados obtidos para os dois municípios durante a série histórica analisada não demonstram dependência de uma variável em relação à outra. Ao agregar dados mensais de umidade relativa do ar e de precipitação, observou-se uma associação mais direta destas variáveis com as internações por DRs, que tiveram um incremento logo após o período chuvoso nos dois municípios. Entretanto, ao analisar os dados em uma escala temporal anual, observaram-se correlações significativas entre os focos de incêndio, a concentração de $PM_{2.5}$ e as internações em ambos os municípios, permitindo inferir que os incêndios florestais e a consequente emissão de material particulado fino influenciam na saúde das populações dos dois municípios do Pantanal brasileiro no médio e longo prazo.

Na análise do potencial dos incêndios florestais no bioma Pantanal brasileiro na geração de riscos à saúde da população, verificou-se que em todos os municípios da área de estudo a concentração média diária e anual de $PM_{2.5}$ excedeu os padrões

de segurança estabelecidos pela OMS, resultando na baixa qualidade do ar em diversas regiões e podendo aumentar o número de casos de internações por problemas respiratórios. O estado do MT apresentou maior número de dias de exposição ao $PM_{2.5}$ e, também, o maior número de internações por DRs, em comparação ao estado do MS, considerando os quatro anos da série histórica analisada. Este conhecimento é fundamental para a definição de políticas de saúde pública de prevenção e de planejamento urbano e ambiental dos municípios brasileiros, bem como reforça a necessidade da atualização das políticas de monitoramento contínuo e das legislações nacionais que estabelecem os padrões de qualidade do ar, visando à qualidade de vida da população, com embasamento científico.

A série histórica analisada compreendeu um período de quatro anos, entre 2016 e 2019, que igualmente a outros fatores podem interferir nos resultados da pesquisa. É necessária a realização de estudos mais amplos, com diferentes escalas espaciais e temporais, envolvendo também profissionais de diferentes áreas. Trabalhos futuros, para além do escopo desta dissertação, incluem análises estatísticas mais aprofundadas visando predição, usando métodos como regressão logística e regressão de Poisson, que têm sido usados em trabalhos relacionados da literatura, incluindo trabalhos recentes sobre a influência da concentração de material particulado, principalmente PM_{10} , oriundo de veículos automotores, na incidência de casos severos de COVID-19, por exemplo. Outra sugestão a longo prazo, após a devida avaliação e calibragem dos modelos de análise de correlação e predição, é a construção de sistemas de alerta para populações com potencial exposição a níveis de $PM_{2.5}$ acima do recomendado por períodos que podem levar ao aparecimento ou agravamento de problemas respiratórios.

REFERÊNCIAS

ARBEX, M. A.; CANÇADO, J. E. D.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F.; SALDIVA, P. H. N. Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. *Jornal Brasileiro de Pneumologia* 30 (2) - Mar/Abr de 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/VNXXmdyPSjxJDCStkYrZSZz/?lang=pt&format=pdf>. Último acesso em: 11 de agosto de 2022.

BARROS, H. H. D. Influência das secas severas na ocorrência de incêndios florestais e perdas de carbono no Sul da Amazônia, estudo de caso em terras indígenas / Heberton Henrique Dimas de Barros. --- Manaus: [s.n.], 2016. Disponível em: https://repositorio.inpa.gov.br/bitstream/1/5166/1/Heberton_Barros.pdf. Último acesso em: 09 de agosto de 2022.

Brasil. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Anuário brasileiro de desastres naturais: 2011 / Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. - Brasília: CENAD, 2012. 80 p.: il. color.; 30 cm. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/Anuario-de-Desastres-Naturais-2011.pdf>. Último acesso em: 02 de fevereiro de 2023.

ALI, N.; ISLAM, F. The Effects of Air Pollution on COVID-19 Infection and Mortality — A Review on Recent Evidence. *Front. Public Health*, 26 November 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.580057>. Último acesso em: 21 de setembro de 2022.

ANDERSON, L. O.; MARCHEZINI, V.; MORELLO, T. F.; CUNNINGHAM, C. A. Modelo conceitual de sistema de alerta e de gestão de riscos associados a incêndios florestais e desafios para políticas públicas no Brasil. *Revista Territorium*, nº 26 (I), p. 45-63. 2019. Disponível em: https://impactum-journals.uc.pt/territorium/article/view/1647-7723_26-1_4/5166. Em 10/nov/2020. Último acesso em: 08 de agosto de 2022.

ANDERSON, L. O.; MARCHEZINI, V.; Mudanças na exposição da população à fumaça gerada por incêndios florestais na Amazônia: o que dizem os dados sobre desastres e qualidade do ar?. *Saúde em Debate*, 44(2):284. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/345686923_Mudancas_na_exposicao_da_populacao_a_fumaca_gerada_por_incendios_florestais_na_Amazonia_o_que_dizem_os_dados_sobre_desastres_e_qualidade_do_ar. Último acesso em: 08 de agosto de 2022.

ANDRADE, F. V. S.; ARTAXO, P.; HACON, S. S.; CARMO, C. N.; CIRINO, G.; Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil. *Rev. Saúde Pública*, 2013, 47. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004011>. Último acesso em: 08 de fevereiro de 2023.

ANDRÉE, B. P. J. Incidence of COVID-19 and Connections with Air Pollution Exposure: Evidence from the Netherlands. *MedRxiv* 2020.04.27.20081562. 2020.

Disponível em: <https://doi.org/10.1101/2020.04.27.20081562>. Último acesso em: 21 de setembro de 2022.

Brasil. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Anuário brasileiro de desastres naturais: 2012 / Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. - Brasília: CENAD, 2012. 84 p.: il. color.; 30 cm. Disponível em: https://www.icict.fiocruz.br/sites/www.icict.fiocruz.br/files/AnuariodeDesastresNaturais_2012.pdf. Último acesso em: 02 de fevereiro de 2023.

Brasil. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. Anuário brasileiro de desastres naturais: 2013 / Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres. - Brasília: CENAD, 2014. 106p.: il. color; 29,7cm. Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/Anurio-Brasileiro-de-Desastres-Naturais-2013.pdf>. Último acesso em: 02 de fevereiro de 2023.

CARMO, C. N.; HACON, S. S.; LONGO, K. M.; FREITAS, S.; IGNOTTI, E.; PONCE de Leon A.; ARTAXO, P. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. Rev Panam Salud Publica. 2010; 27(1):10–6.

CARMO, C.N.; HACON, S S. Estudos de séries temporais de poluição atmosférica por queimadas e saúde humana. Ciência & Saúde Coletiva, 18(11): 3245-3258, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/nv6vyLLXsq3H7jCz6gyRnfx/?lang=pt>. Último acesso em: 20 de setembro de 2022.

CEMADEN, CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. Impactos de Extremos de Secas e Fogo no Bioma Pantanal: Outubro/2020. 2020. Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/impactos-de-extremos-de-secas-e-fogo-no-bioma-pantanal-setembro2020/>. Último acesso em: 11 de agosto de 2022.

CHEN, L.; VERRAL, K.; TONG, S. Air particulate pollution due to bushfires and respiratory hospital admissions in Brisbane, Australia. Int j environ health res 2006; 16(3):181-191.

CHEW, F. T.; GOH, D. Y. T.; OOI, B. C.; SAHAROM, R.; HUI, J. K. S.; LEE, B. W. Association of ambient air pollution levels with acute asthma exacerbation among children in Singapore. Allergy 1999; 54(4):320-329.

COBRADE. Classificação e Codificação Brasileira de Desastres. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.defesacivil.rj.gov.br/images/formularios/COBRADE.pdf>. Último acesso em: 09 de agosto de 2020.

CONAMA, Resolução nº 491 de 19 de Novembro de 2018, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA; “Dispõe sobre os Padrões de Qualidade do Ar”; publicada no Diário Oficial da União em 21 de Novembro de 2018; Brasília, DF.

EMMANUEL, S. C. Impact to lung health of haze from forest fires: the Singapore experience. *Respirology* 2000; 5(2):175-182.

FÁVERO, L. P.; BELFIORE, P. Manual de análise de dados. - 1. ed. - Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. ISBN 978-85-352-7087-7.

FIOCRUZ, Fundação Oswaldo Cruz. Covid-19 e queimadas na Amazônia Legal e no Pantanal: aspectos cumulativos e vulnerabilidades. Nota Técnica, nov. 2020. Disponível em: [nota_queimadascovid_nov2020.pdf \(fiocruz.br\)](https://www.fiocruz.br/pt-br/publicacoes/queimadas-covid-19). Último acesso em: 11 de agosto de 2022.

Global Climate and Health Alliance. The Limits of Livability - The emerging threat of smoke impacts on health from forest fires and climate change. Country brief: Brazil. 2021. Disponível em: https://climateandhealthalliance.org/wp-content/uploads/2021/06/limits_liability_country-report_bushfires-brazil_EN_final.pdf. Último acesso em: 11 de agosto de 2022.

GONÇALVES, K. S.; CASTRO, H. A; HACON, S. S. As queimadas na região amazônica e o adoecimento respiratório. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17(06): 1523 - 1532, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csc/2012.v17n6/1523-1532/https://www.scielo.br/j/csc/a/nv6vyLLXsq3H7jCz6gyRnfx/?lang=pt>. Último acesso em: 20 de setembro de 2022.

HANIGAN, I. C.; JOHNSTON, F. H.; MORGAN, G. G. Vegetation fire smoke, indigenous status and cardiorespiratory hospital admissions in Darwin, Australia, 1996–2005: a time-series study. *Environ health* 2008; 7:42.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Biomas e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000 / IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - Rio de Janeiro, 2019. 168 p. - (Relatórios metodológicos, ISSN 0101-2843; v. 45).

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Panorama, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=17283&t=downloads>. Último acesso em: 06 de fevereiro de 2023.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapas de biomas do Brasil – primeira aproximação. 2004. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomas/mapa_s/biomas_5000mil.pdf. Último acesso em: 09 de fevereiro de 2023.

IGNOTTI, E.; HACON, S. S.; JUNGER, W. L.; MOURÃO, D.; LONGO, K.; FREITAS, S.; ARTAXO, P.; LEON, A. C. M. P. Air pollution and hospital admissions for respiratory diseases in the subequatorial Amazon: a time series approach. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 26(4):747-761, abr, 2010. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/csp/a/KSZQ8NPcWXrqTVvPwTZDyng/?lang=en&format=pdf>.
Último acesso em: 08 de fevereiro de 2023.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Relatório Especial Aquecimento Global de 1,5°C. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. Brasil, 2019. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/07/SPM-Portuguese-version.pdf>. Acesso em: 09 de agosto de 2022.

INPE, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas>. Último acesso em: 04 de março de 2022.

INPE, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Programa Queimadas INPE, Perguntas frequentes. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/informacoes/perguntas-frequentes>. Último acesso em: 04 de março de 2022.

INPE, INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Boletim Mensal do Programa de Monitoramento e Risco de Queimadas e Incêndios Florestais. São José dos Campos, SP, Brasil, INPE/CPTEC, 2020. Publicação Mensal. Disponível em: https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal/outros-produtos/infoqueima/boletins/2020_09_infoqueima.pdf. Último acesso em: 11 de agosto de 2022.

JACOBS, J.; KREUTZER, R.; SMITH, D. Rice burning and asthma hospitalizations, Butte County, California, 1983-1992. *Environ health perspect* 1997; 105(9):980- 985.

JALALUDIN, B.; SMITH, M.; O'TOOLE, B.; LEEDER, S. Acute effects of bushfires on peak expiratory flow rates in children with wheeze: a time series analysis. *Aust N Z j public health* 2000; 24(2):174-177.

JESUS, J. B.; ROSA, C. N.; BARRETO, Í. D. C.; FERNANDES, M. M. Análise da incidência temporal, espacial e de tendência de fogo nos biomas e unidades de conservação do Brasil. *Ci. Fl.*, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 176-191, jan./mar. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/jnVZfCH6xj5QY3x49kQvtjx/?lang=pt&format=pdf>. Último acesso em: 01 de outubro de 2022.

JOHNSTON, F. H.; KAVANAGH, A. M.; BOWMAN, D. M. J. S.; SCOTT, R. K. Exposure to bushfire smoke and asthma: an ecological study. *Medical Journal of Australia* 2002; 176(11):535-538.

LATORRE, M.; CARDOSO, M. Análise de séries temporais em epidemiologia: uma introdução sobre aspectos metodológicos. 2001. *Rev. Bras. Epidemiol.*; 4(3): 145-52. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepid/a/KM9MndgpCGSnjSNDddSydCG/?format=pdf&lang=pt>. Último acesso em: 09 de julho de 2022.

LETRAS AMBIENTAIS. Queimadas no Pantanal são novo fator de risco à saúde da população. *Letras Ambientais*, 2020. Disponível em: <https://letrasambientais.org.br/posts/queimadas-no-pantanal-sao-novo-fator-de-risco-a-saude-da-populacao>. Último acesso em: 08 de agosto de 2022.

LUCAS, F. M. F.; KOVALSYKI, B.; TETTO, A. F. Incêndios florestais: a realidade sobre o fogo que consome o Brasil. *Campo e Negócios*, ano 8, n. 51, – nov./dez. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/345255087_INCENDIOS_FLORESTAIS_A_REALIDADE SOBRE O FOGO QUE CONSOME O BRASIL. Último acesso em: 10 novembro de 2020.

MARCUZZO, F. F. N.; FARIA, T.G.; CARDOSO, M.R.D.; MELO, D. C. R. Chuvas no Pantanal brasileiro: análise histórica e tradição futura. *Anais do 3o Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*. Cáceres, MT, pág. 170–180. 2010. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/1059/1/Evento_tendencia_Marcuzzo.pdf. Último acesso em: 09 de março de 2023.

MASCARENHAS, M. D. M.; VIEIRA, L. C.; LANZIERI, T. M.; LEAL, A. P. P. R.; DUARTE, A. F.; HATCH, D. L. Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil - Setembro, 2005. Brasília, 2008.

MDR, Ministério do Desenvolvimento Regional. A P&DC e os 30 anos de desastres no Brasil (1991 – 2020). Ministério do Desenvolvimento Regional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. Florianópolis: Fepese, 2022.

MELO, A. W. F.; SILVA, S. S.; ANDERSON, L. O.; NASCIMENTO, V. M. L.; FREITAS, M. F.; DUARTE, A. F.; BROWN, I. FOSTER. Monitoramento da qualidade do ar em 2019 no Estado do Acre. *Cruzeiro do Sul, Acre*. Abril de 2020. 28 páginas.

MIRANDA, R.M.; FATIMA, M. A.; FORNARO, A.; ASTOLFO, R.; ANDRÉ, P. A.; SALDIVA, P. Poluição do ar urbano: um levantamento representativo das concentrações de massa do PM_{2,5} em seis cidades brasileiras. *Air Qual Atmos Health* [internet]. 2012. (5):63. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11869-010-0124-1>. Último acesso em: 11 de agosto de 2022.

MOREIRA DE ARAÚJO, F.; FERREIRA, L. G.; ARANTES, A. E. Distribution Patterns of Burned Areas in the Brazilian Biomes: An Analysis Based on Satellite Data for the 2002–2010 Period. *Remote Sensing*. 2012; 4(7):1929-1946. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs4071929>. Último acesso em: 01 de outubro de 2022.

MORELLO, T.F.; SILVA, S.S.; MELO, A.W.F.; ANDERSON, L.O. COVID-19 e queimadas: um duplo desafio ao sistema único de saúde. *Nota Técnica-Científica Conjunta 001*, 8 de maio de 2020.

MOTT, J. A.; MANNINO, D. M.; ALVERSON, C. J.; KIYU, A.; HASHIM, J.; LEE, T.; FALTER, K.; REDD, S. C. Cardiorespiratory hospitalizations associated with smoke exposure during the 1997, Southeast Asian forest fires. *Int j hyg environ health* 2005; 208(1-2):75-85.

NASA, National Aeronautics and Space Administration. Earth observatory. Global maps. 2022. Disponível em: https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MOD14A1_M_FIRE. Último acesso em: 11 de agosto de 2022.

PIVETTA, M. O Pantanal pede água. *Pesquisa Fapesp*, ano 21, n. 297, p. 30-35, nov. 2021. Disponível em: https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2020_Pivetta_IncendiosAmeacamPlanicie_RevFapesp_DE3os.pdf. Último acesso em: 09 de março de 2023.

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção v.6.0 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil, 2020. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Último acesso em: 29 de julho de 2022.

REDDINGTON, C. L.; BUTT, E. W.; RIDLEY, D.A.; ARTAXO, P.; MORGAN, W. T.; COE, H.; SPRACKLEN, D. V. (2015). Air quality and human health improvements from reductions in deforestation-related fire in Brazil. *Nature Geoscience*. 8. 16-2015. 10.1038/NNGEO2535. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282662372_Air_quality_and_human_health_improvements_from_reductions_in_deforestation-related_fire_in_Brazil. Último acesso em: 14 de março de 2023.

Relatório Anual de Desmatamento 2019 – São Paulo, SP – MapBiomias, 2020 – 49 páginas. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>. Último acesso em: 19 de março de 2023.

Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2020 - São Paulo, Brasil - MapBiomias, 2021 - 93 páginas. Disponível em: <http://alerta.mapbiomas.org>. Último acesso em: 19 de março de 2023.

SAITO, S. M.; DIAS, M. C. A.; ALVALÁ, R. C. S.; STENNER, C.; FRANCO, C. O.; RIBEIRO, J. V. M.; SOUZA, P. A.; SANTANA, R. A. S. M. População urbana exposta aos riscos de deslizamentos, inundações e enxurradas no Brasil. *Sociedade e Natureza*. Uberlândia, MG. v.31 p.1-25. 2019. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadenatureza/article/view/46320/27460>. Último acesso em: 11 de agosto de 2022.

SANTOS, S. A.; SORIANO, B. M. A.; COMASTRI FILHO, J. A.; ABREU, U. G. P. Cheia e seca no Pantanal: importância do manejo adaptativo das fazendas. Corumbá, MS: Embrapa Pantanal, 2007. 3p. ADM – Artigo de Divulgação na Mídia, n.120. Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/ADM120>. Último acesso em: 09 de março de 2023.

SASTRY, N. Forest Fires, air pollution, and mortality in Southeast Asia. *Demography* 2002; 39(1):1-23.

SCHEUER, J. M.; NEVES, S. M. A. da S.; GALVANIN, E. A. dos S.; NEVES, R. J. (2018). Desenvolvimento Humano dos Municípios de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul Contidos no Bioma Pantanal. *Desenvolvimento em Questão*, 16(45), 82–96. Disponível em: <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2018.45.82-96>. Último acesso em: 13 de março de 2023.

SILVA, J. S. V.; ABDON, M. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.33, Número Especial, p.1703-1711, out. 1998.

SILVA, A. M. C.; MATTOS, I.; E. IGNOTTI, E.; HACON, S. S. Material particulado originário de queimadas e doenças respiratórias. *Rev. Saúde Pública*, 2013, 47. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004410>. Último acesso em: 08 de fevereiro de 2023.

SISAM, Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/sisam/v2/>. Último acesso em: 07 de fevereiro de 2023.

SMITH, M. A.; JALALUDIN, B.; BYLES, J. E.; LIM, L.; LEEDER, S. R. Asthma Presentations to Emergency Departments in Western Sydney during the January 1994 Bushfi- res. *Int j epidemiol* 1996; 25(6):1227-1236.

SOUZA, A. A.; OVIEDO, A.; SANTOS, T. M. Impactos na qualidade do ar e saúde humana relacionados ao desmatamento e queimadas na Amazônia Legal brasileira. Instituto de Pesquisas Espaciais / Instituto Socioambiental. SP, 2020. Disponível em: https://site-antigo.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/incendios_e_internacoes_indigenas_isa.pdf#overlay-context=pt-br/noticias-socioambientais/fumaca-de-incendios-impulsiona-internacoes-de-indigenas-mostra-estudo. Último acesso em: 14 de fevereiro de 2023.

TETTO, A. F.; BATISTA, A. C.; SOARES, R. V. Prevenção e combate aos incêndios florestais. – Curitiba: SENAR - Pr., 2011. 76 p. – (Coleção SENAR-Paraná; 258). Disponível em: https://www.sistemafaep.org.br/wp-content/uploads/2021/11/PR.0258-Combate-Incendios-Florestais_web.pdf. Último acesso em: 03 de abril de 2023.

TRAVAGLIO, M.; YU, Y.; POPOVIC, R.; SELLEY, L.; LEAL, N. S.; MARTINS, L.M. Links between air pollution and COVID-19 in England. *Environmental Pollution*. Volume 268, Part A, 1 January 2021, 115859. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115859>. Último acesso em: 22 de setembro de 2022.

UNISDR, United Nations Office For Disaster Risk Reduction. Early Warning – From Concept to Action: the Conclusions of the Third International Conference on Early Warning (EWC III). Bonn. Alemanha. 2006.

VISWANATHAN, S.; ERIS, L.; DIUNUGALA, N.; JOHNSON, J.; MCCLEAN, C. An analysis of effects of San Diego wildfire on ambient air quality. Journal of Air Waste Management Association 2006; 56(1):56-67.

WHO, World Health Organization. WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva. 2021.

WWF-BRASIL. Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade no Cerrado e Pantanal. Brasília - DF, 2015. 128 p.: il. Color.: 21x29,7 cm.