

**IMPACTOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: UM
ENFOQUE SOBRE MATERIAL PARTICULADO (MP_{2,5}) E
SAÚDE HUMANA EM UM ESTADO EM TRANSIÇÃO
URBANA E AMBIENTAL**

MAÍSA CONSUELO DOS SANTOS

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais para obtenção do título de Mestre

**CÁCERES
MATO GROSSO, BRASIL
2025**

MAÍSA CONSUELO DOS SANTOS

**IMPACTOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: UM
ENFOQUE SOBRE MATERIAL PARTICULADO (MP_{2,5}) E
SAÚDE HUMANA EM UM ESTADO EM TRANSIÇÃO
URBANA E AMBIENTAL**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais para obtenção do título de Mestre

Orientador: Prof. Dr. Ernandes Sobreira Oliveira Junior

Coorientador: Prof^a. Dra. Sofia E. Caumo

**CÁCERES
MATO GROSSO, BRASIL
2025**

MAÍSA CONSUELO DOS SANTOS

**Impactos da poluição atmosférica: um enfoque sobre
Material Particulado (MP_{2,5}) e saúde humana em um
estado em transição urbana e ambiental**

Essa dissertação foi julgada e aprovada como parte dos requisitos
para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Cáceres, ____ de _____ de 2025.

Banca examinadora

Prof. Dr. Ernandes Sobreira Oliveira Junior
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT
(Orientador)

Prof^a. Dr^a. Sofia E. Caumo
Fundação Oswaldo Cruz - FIOCRUZ
(Orientadora)

Prof. Dr. Antônio Francisco Malheiros
Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT

Prof. Dr. Leone Francisco Amorim Curado
Universidade Federal de Mato Grosso –UFMT

**CÁCERES
MATO GROSSO, BRASIL
2025**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho com todo o meu amor e gratidão aos meus filhos e em especial minha afilhada, Rafaela e todos aqueles que de alguma forma terá contribuição com nossas evidências.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por habitar em meu coração e preservar a minha saúde. Agradeço meus aos meus filhos. Vocês são a razão do meu esforço e alegria. Seu amor e sorrisos são minha inspiração diária, e este trabalho é dedicado a vocês com todo o meu coração. Que vocês sigam sempre seus sonhos com coragem e determinação.

À minha mãe querida, cujo amor incondicional e apoio foram a luz em todos os momentos da minha vida. Sua sabedoria, paciência e carinho moldaram quem sou hoje. Você é meu exemplo e minha inspiração para superar desafios e alcançar meus objetivos.

Às minhas irmãs e irmão, pelo apoio mútuo e por compartilharem comigo os altos e baixos desta jornada. A presença de vocês em minha vida é uma fonte constante de força e encorajamento.

Às minhas sobrinhas, afilhadas e afilhados, em especial, nesse momento a Rafaela, que enchem meus dias de alegria e esperança. Que vocês cresçam cercados de amor e alcancem seus próprios sonhos.

À memória de meu pai que continua a viver em meu coração e a guiar meus passos. Suas lembranças são uma luz constante em minha vida, e este trabalho é uma homenagem ao amor e ensinamentos que compartilhamos.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado com amor incondicional, suporte e compreensão.

Minhas amigas que me acompanham minha vida toda, Cicianni e Giselly. Aos meus queridos amigos, que iluminaram meus dias com risos, momentos de descontração e, acima de tudo, amizade verdadeira. Aos colegas de trabalho, pela paciência e colaboração durante os períodos intensos de estudo.

Aos meus queridos amigos de estudo, pelas discussões enriquecedoras e momentos de descontração que tornaram esta jornada acadêmica ainda mais memorável, em especial ao Eduardo e Vitória que representam muito bem esse grupo de amigos, suas contribuições e amizades foram fundamentais para meu crescimento pessoal e acadêmico.

Aos meus queridos professores e coordenador, que não apenas me ensinaram, mas também me inspiraram e encorajaram ao longo desta jornada. Em especial, ao meu orientador, Dr. Ernandes (Rafa), pela orientação cuidadosa, paciência infinita e confiança em meu potencial. À minha corientadora Dra. Sofia pelo fundamento suporte e sabedoria compartilhada.

Grata a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio financeiro ao meu projeto de pesquisa através da bolsa n. 88887.726514/2022-00.

Agradeço profundamente as parcerias realizadas e mantidas entre a Fundação Oswaldo Cruz – FIOCRUZ, Ponteira Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC RJ, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT e ao Ministério Público do Estado de Mato Grosso – MP/MT.

Por fim, agradeço em especial, ao Centro de Pesquisa de Limnologia, Biodiversidade, Etnobiologia do Pantanal (CELBE), ao Laboratório de Ictiologia do Pantanal Norte – LIPAN, em especial ao coordenador Dr. Claumir Muniz, ao Laboratório de Ecofisiologia Ambiental – LEFA, gratidão Dr. Wilkinson Lázaro. Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA).

ÍNDICE

Lista de Tabelas.....	7
Lista de Figuras.....	8
Resumo.....	10
Abstract.....	11
Introdução geral.....	12
Referências.....	17
i) Artigo 1.....	21
Análise da Qualidade do Ar em 15 Municípios de Mato Grosso: Impactos Potenciais na Saúde Humana.....	21
ii) Artigo 2.....	42
Qualidade do ar em Cáceres MT: Análise de Material Particulado (PM 2,5) e Metais Tóxicos.....	43
iii) Artigo 3.....	70
A Batalha Silenciosa Contra os Microplásticos no Ar em um ambiente em transição.....	70
Considerações finais.....	85
Apêndices.....	86
Artigo 4: Pantanal sob pressão do desmatamento: pecuária e riscos de incêndio florestal.....	86
Boletim informativo: Boletim informativo Reflexões Hidro-lógicas!! Agosto de 2023 Edição 013 - Não consigo dizer se é bom ou mau.....	93
Nota Técnica - Ocorrências das queimadas em Cáceres –MT em 2024: uma preocupação anunciada.....	97

LISTA DE TABELAS

Artigo

Tabela 1. Bibliografia sobre artigos publicados com dados quantificados de microplástico no ar.....	78
--	----

LISTA DE FIGURAS

Introdução

Figura 01.– Comparação do tamanho do material particulado com fio de cabelo e grão de areia.....14

Figura 02. Artigos elaborados de acordo com o período de estudo 17

Artigo 1

Figura 01. Municípios utilizados no estudo com base da divulgação disponível pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente entre os anos de 2018 e 2022.....25

Figura 2. Distribuição mensal (Sem Outliers) de $MP_{2,5}$ para todos os quinze municípios entre os anos de 2018 e 2022.....28

Figura 3. Relação entre o $MP_{2,5}$ e o número de óbitos por Doença Respiratória, Doença Cardíaca e Neoplasias. Símbolos com coloração mais acentuada indicam relações mais fortes e positivas. A curva plotada indica a distância entre os valores, em que, quanto mais próximo o número de dados, menor é a curva gerada. Neste caso, poucos dados representam valores mais altos de $MP_{2,5}$, entretanto, que elevam a valores mais altos de óbitos.....30

Artigo 2

Figura 1. Diferença de massa de $MP_{2,5}$ durante os meses de agosto a dezembro de 2023 em relação aos valores estabelecidos pelo OMS e CONAMA.....48

Figura 2. Relação entre concentração de $MP_{2,5}$, velocidade do vento e distância das queimadas durante os meses de agosto a dezembro de 2023.....49

Figura 3. A. Concentração dos metais analisados; B. Proporção da concentração nos filtros amostrados entre os meses de agosto a dezembro de 2023.....50

Figura 4. Comparação do limite de Chumbo estabelecido pela CONAMA e USEPA em relação ao valor encontrado neste estudo.....52

Figura 5. A) Número de internações por doenças respiratória, cardiovascular e neoplasias, entre os meses de janeiro a maio e junho a dezembro; e B) diferenciando o período analisado para cada ano (2019 a 2023).....55

Artigo 3.

Figura 01. Fragmentos de microplástico presentes no ar analisados por lupa estereoscópica. A superfície metálica nas imagens refere-se a régua utilizada para identificação de tamanho das partículas de microplásticos encontrados.....	74
Figura 2. Variação do número de microplásticos por m ³ por dia amostrados entre 10/08/2023 e 19/11/2023 no Pantanal.....	75

Apêndices

Artigo 4.

Figura 01. Desmatamento acumulado entre os anos de 2009 e 2021.....	89
Figura 02. Regressão entre Rebanho e Desmatamento Acumulado entre os anos de 2009 a 2021.....	90

Boletim informativo

Figura 01. Queimada urbana em Cáceres.....	85
Figura02. Solo queimado nos incêndios em 2020.....	86
Figura 04. Risco de cinzas a saúde humana.....	86
Figura 03. Área queimada no Pantanal de 2020	87

Nota técnica

Figura 01. Número de Ocorrências de FRP por Mês ao Longo dos Anos (a partir de 2018).....	98
Figura 02. Média de Queimadas por Mês com Desvio Padrão e 2024 até junho (2018-2024) em Cáceres.....	99
Figura 03. Comparação mensal de Ocorrências de FRP dividida em dois períodos do ano.....	100
Figura 04. Linha de Tendência Logística com Intervalo de Confiança - Dias Sem Chuva e Risco de Fogo (Médias Mensais).....	101

Figura 05. Localização dos Focos de Queimadas no Município de Cáceres no
ano de 2024, entre janeiro e
junho.....102

RESUMO

DOS SANTOS, Maísa Consuelo. Impactos da poluição atmosférica: um enfoque sobre material particulado (MP_{2,5}) e saúde humana em um estado em transição urbana e ambiental. UNEMAT, 2024. 103 p. (Dissertação – Mestrado em Ciências Ambientais). A exposição à poluição do ar causa milhões de mortes e perda de anos de vida saudável a cada ano, sendo considerada a principal ameaça ambiental à saúde humana. Entre os poluentes atmosféricos, o material particulado (MP), especialmente o MP_{2,5}, que devido seu tamanho oferece prejuízos a saúde. Produzido por processos de combustão, o MP_{2,5} é uma mistura de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar, variando em composição e origem. Este poluente pode causar uma ampla gama de problemas de saúde, desde irritações respiratórias até danos severos em casos de exposição prolongada, incluindo fibrose pulmonar, doenças cardiovasculares e distúrbios neurológicos. Estudos globais vêm destacando a importância de identificação e monitoramento da poluição atmosférica. A metodologia desta pesquisa foi realizada em duas etapas: A primeira teve intuito de analisar a mudança da paisagem nos municípios do Pantanal Norte atrelado ao aumento do desmatamento e uso do solo pela pecuária (artigo apêndice) e diagnosticar a qualidade do ar do Estado de Mato Grosso a partir dos dados de monitoramento fornecidos pela Secretaria do Meio Ambiente – SEMA MT, gerando o artigo 1 que destaca a qualidade do ar conceituada em “boa e/ou inadequada”, apresentando a qualidade por dia, meses mais críticos e comparação anuais entre os anos de 2018 a 2023 ainda apresenta a relação da qualidade do ar com número de óbitos por doenças respiratórias cardiovasculares e neoplasias de quinze municípios de MT. A segunda metodologia foi empregada para as análises laboratoriais das amostras dos filtros de quartzo coletados diariamente em Cáceres MT em período crítico de estiagem. A coleta foi realizada por amostrador de alto volume (*Hi-vol*) e monitoramento dos dados meteorológicos. Foram 94 amostras coletadas, todas pesadas para identificação dos valores de massa de MP_{2,5}, a análise laboratorial iniciou com 20 amostras para descrição dos metais químicos presentes, os resultados foram compilados no artigo 2. O artigo 3 foi realizado a partir da avaliação das 94 amostras em Lupa com aumento de 40x para identificação e contagem de microplásticos presentes. De acordo com os resultados gerais, todos os municípios excederam os limites de MP_{2,5} estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS - 5 µg/m³), Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA - 12 µg/m³) e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA - 20 µg/m³). Os valores de concentração de massa de MP_{2,5} também apresentaram média acima inclusive e grandes metrópoles e os metais mais com maior concentração foram P, Mn, Cr, Cu e Pb todos denotam riscos à saúde e, apesar dos valores Cd e Ar estarem relativamente baixo em relação aos demais, também exigem atenção. Portanto os resultados deste estudo destacam necessidade de mitigação de ações de políticas públicas necessárias para garantir o monitoramento, vigilância e pesquisa voltados a ações de prevenção e garantia a qualidade do ar.

Palavras-chave: Poluição atmosférica; Material particulado; Saúde humana.

ABSTRACT

DOS SANTOS, Maísa Consuelo. Impacts of air pollution: a focus on particulate matter (PM_{2.5}) and human health in a state undergoing urban and environmental transition. UNEMAT, 2024. 103 p. (Dissertation – Master's in Environmental Sciences). Exposure to air pollution causes millions of deaths and the loss of healthy life years every year, being considered the leading environmental threat to human health. Among air pollutants, particulate matter (PM), especially PM_{2.5}, poses significant health risks due to its size. Produced by combustion processes, PM_{2.5} is a mixture of solid and liquid particles suspended in the air, varying in composition and origin. This pollutant can cause a wide range of health issues, from respiratory irritations to severe damage in cases of prolonged exposure, including pulmonary fibrosis, cardiovascular diseases, and neurological disorders. Global studies have highlighted the importance of identifying and monitoring air pollution. The methodology of this research was conducted in two stages. The first stage aimed to analyze landscape changes in the municipalities of the Northern Pantanal associated with increased deforestation and land use for livestock (appendix article) and to diagnose air quality in the state of Mato Grosso based on monitoring data provided by the State Secretariat for the Environment – SEMA MT. This produced Article 1, which highlights air quality categorized as "good and/or inadequate," presenting daily air quality, the most critical months, and annual comparisons from 2018 to 2023. It also relates air quality to the number of deaths from respiratory diseases, cardiovascular conditions, and neoplasms in fifteen municipalities in Mato Grosso. The second stage involved laboratory analysis of quartz filter samples collected daily in Cáceres, MT, during the critical dry season. Samples were collected using a high-volume sampler (Hi-vol) alongside meteorological data monitoring. A total of 94 samples were collected and weighed to determine PM_{2.5} mass concentration. Laboratory analysis began with 20 samples to describe the chemical metals present. The results were compiled into Article 2. Article 3 focused on the evaluation of the 94 samples under a 40x magnifying lens to identify and count microplastics. According to the overall results, all municipalities exceeded the PM_{2.5} limits established by the World Health Organization (WHO - 5 µg/m³), the United States Environmental Protection Agency (USEPA - 12 µg/m³), and the Brazilian National Environment Council (CONAMA - 20 µg/m³). The average PM_{2.5} mass concentration also exceeded those in major metropolitan areas, with the metals P, Mn, Cr, Cu, and Pb showing the highest concentrations, all posing health risks. Although Cd and As levels were relatively low compared to the others, they also require attention. Therefore, the results of this study underscore the urgent need for public policy actions aimed at mitigation, monitoring, surveillance, and research to ensure preventive measures and improved air quality.

Keywords: Air pollution; Particulate matter; Human health.

Introdução geral

A Revolução Industrial, ocorrida a partir do século XVIII, propiciou a transição demográfica caracterizada pelo “êxodo rural” e urbanização desordenada. Assim como o surgimento de processos industriais com elevado consumo de energia por meio de combustíveis fósseis com efeitos na emissão de poluentes atmosféricos (Pereira, 2019).

No Brasil, a primeira fase da Revolução Industrial, baseava-se na economia agrária; entre os séculos XIX e XX, surgiram indústrias têxteis e de alimentos, em 1945; e desde os anos 2000, as importações e exportações elevaram o crescimento econômico, sem necessariamente acompanhado pelo “desenvolvimento econômico” (Azevedo, 2010; Lopes 2008; Kreuzi e Viana, 2019).

Entre as atividades industriais, destaca-se a acelerada produção de veículos, tanto para fins industriais como para transporte coletivo ou individual. Nesse contexto, as áreas urbanas são as que mais demonstraram e permanecem com os impactos socioambientais, devido a maior concentração de veículos, reflexo do modelo urbano-industrial (Gemelli et al., 2024).

A poluição emitida pela frota veicular é a principal fonte de poluição atmosférica no Brasil (CETESB, 2009), devido as políticas econômicas incentivarem a aquisição de transporte individual no Brasil. Entre os anos de 2011 à 2021, elevou-se em 58% a frota de veículos, sendo aproximadamente 75% devido a automóveis e motocicletas, ou seja, transportes individuais (75,4%) (Rossi e Rocon, 2024). No último levantamento estatístico (2023) nacional, a taxa de veículo a cada dois habitantes é de pelo menos um, estimando 119 milhões de unidades veiculares em sua frota (DETRAN MT, 2024).

Em termos de Unidades Federativas, o estado de Mato Grosso apresentou 446% no crescimento na frota veicular no período de 2000 a 2018. Estima-se em 2024 aproximadamente 2.700.000 veículos, com elevação de 6,1% em comparação a 2023 (Pereira et al., 2018; DETRAN, 2024).

Evidencias de mudanças são definidas como processo de transição, seja urbana que é caracterizada com o crescimento da população e ambiental

caracterizada devido alterações de cobertura, habitat, conservação e saúde humana (Davidson et al., 2022). Em relação as atividades econômicas com emissão de poluentes atmosféricos, em Mato Grosso a economia predominante é baseada na agroindústria em atendimento ao mercado estrangeiro, baseada em cadeias produtivas com monoculturas, pecuária intensiva e processos industriais que utilizam tecnologias avançadas. Estas atividades econômicas geram empregos temporários/sazonais, poucas oportunidades de crescimento profissional e/ou salarial e dificuldades de acesso a maior escolaridade (Neves et al., 2024).

Entre as atividades agroindustriais, o rebanho está em ascensão desde 2009, e as pastagens naturais e biomassa mostraram decréscimo de 4,5% e 12,1% respectivamente, devido a ocupação dos rebanhos em as áreas de campos e vegetações nativas e/ou pastagens cultivadas (Dos Santos et al., 2023; Andrade et al, 2020). As aberturas dessas áreas podem relacionar-se às queimadas no estado de Mato Grosso, causadas para atender as necessidades dos proprietários das monoculturas e pecuária intensiva. Ademais, as propriedades rurais dedicadas ao turismo também queimam o lixo em lugares escondidos pelo dossel da mata (Alho et al, 2019).

Por outro lado, outra possibilidade é que as queimadas se iniciem naturalmente em condições de calor prolongado, com altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar e ventos intensos (Teodoro et al 2021). Independentemente da fonte de ignição, os incêndios florestais podem rapidamente se tornar incontrolláveis, intensos, generalizados e persistentes, ocasionando danos a flora e fauna (Brasil, 2020).

Com 89.681 habitantes, Cáceres tem o Índice de desenvolvimento humano municipal – IDHM de 0,708 e ocupa na nona posição lista de frota veicular de MT com 59.407 veículos, o total de veículos equivale a 12,11% da frota veicular de Cuiabá (490.560 veículos) (IBGE 2010; IBGE 2022; IBGE 2023). O município de Cáceres destaca-se no estado do Mato Grosso, por apresentar o maior rebanho bovino do Estado (INDEA, 2023), possivelmente influenciando nas estimativas dos focos de calor/queimadas nos últimos anos (Abdo et al., 2024; Nascimento et al., 2023). Portanto, as atividades agroindustriais no

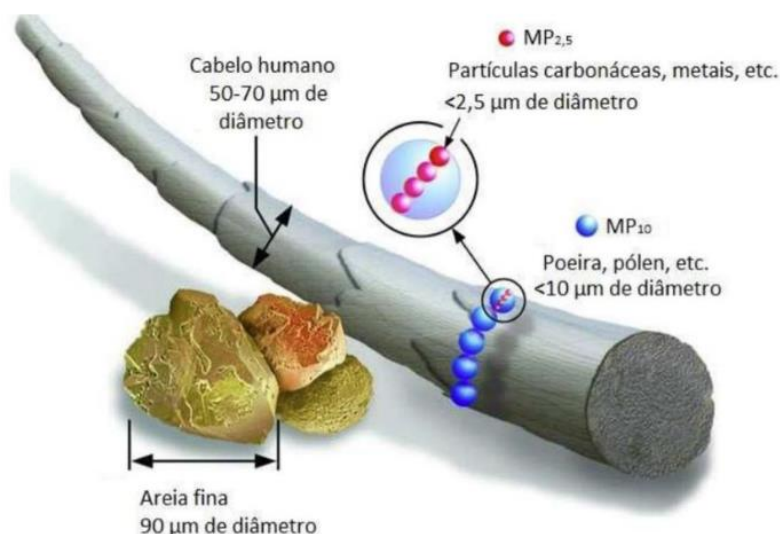
município, como a pecuária e desmatamento são forças motrizes que impulsionam o aumento na frequência de incêndios florestais, com potenciais riscos à saúde humana bem como a biodiversidade (Santos et al., 2024).

É um município que não apresenta indústrias, mas no atual momento a implantação da Zona de Processamento e Exportação - ZPE, está em fase de projeto com relação direta com o agronegócio de carne e de grãos, que viriam de regiões próximas e produtoras no Estado, ou mesmo de locais do município (pecuária) e entorno que fizessem conversão de terra para a agricultura (Garcia et al., 2023).

Considerando os potenciais efeitos negativos à saúde humana decorrentes da exposição as queimadas (de origem antropogênica e/ou natural), a inalação de material particulado de diferentes tamanhos está entre os mais importantes (Mateus et al., 2013; Magalhaes et al., 2010).

O material particulado (MP), é produzido durante o processo de combustão, seja de ações naturais ou antrópicas, é classificado de acordo com seu diâmetro aerodinâmico em partículas totais em suspensão (PTS - até 100 μm), partículas inaláveis grossas (MP₁₀ - até 10 μm) e partículas respiráveis finas (MP_{2,5} - até 2.5 μm) e em comparação ao seu tamanho real, o MP_{2,5} é vinte vezes menor que um fio de cabelo humano, conforme figura 1 (Gioda et al, 2018; Tao et al., 2018)

Figura 1. Comparação do tamanho do material particulado com fio de cabelo e grão de areia.



Fonte: USEPA, 2019

A exposição à poluentes atmosféricos, dependerá da biomassa queimada assim como a fonte de ignição utilizada, destacando no estado de Mato Grosso também os metais pesados presentes nos agrotóxicos utilizados nas monoculturas e exploração de minérios (Mateus et al., 2013; Magalhães et al., 2010). Conforme a OMS, as partículas em suspensão, especialmente $MP_{2,5}$, possuem altas concentrações de metais com efeitos tóxicos, como Cu, As, Ni, Mn, Zn, Pb e Cd, entre outros, que podem apresentar riscos à saúde pública (OMS, 2003).

Considerando as diretrizes internacionais dos níveis de exposição as partículas atmosféricas, a Organização Mundial da Saúde (OMS), estabelece atualmente o limite máximo de exposição anual de $5\mu g/m^3$ e diários menores que $15\mu g/m^3$; e a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) recomenda o limite máximo anual de $12\mu g/m^3$ e média diária inferior a $35\mu g/m^3$. Os padrões nacionais estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018, tem como a qual o limite máximo anual $20\mu g/m^3$ e média diária menor que $60\mu g/m^3$ (IQAir, 2024; OPAS, 2021).

Diante da composição e a exposição ao $MP_{2,5}$, os danos à saúde podem variar significativamente. Tendo o sistema respiratório como a principal via de acesso, sintomas como tosse seca, ardor nos olhos, irritação do nariz e garganta, além do cansaço podem ser demonstrados inicialmente (CONAMA, 1999). Os sintomas podem progredir de acordo com o tempo de exposição, dificuldade respiratória, inflamação e redução da capacidade pulmonar podem surgir (Sousa et al., 2024). Danos mais severos à saúde são evidenciados na literatura. Por ser muito fino o $PM_{2,5}$ pode infiltrar nos alvéolos pulmonares e consequentemente alcançar a corrente sanguínea trazendo, além de impactos severos aos pulmões como fibrose pulmonar devido a agressividade no epitélio pulmonar, macrófagos e fibroblastos, danos cardiovasculares e distúrbios neurológicos (Xu et al., 2019; Honda et al., 2018; Kang et al., 2021).

Os danos à saúde geram o aumento das internações hospitalares. Estudos trazem relação estatisticamente significativa entre hospitalizações devidas a doenças respiratórias e a concentração de material particulado no ar

(Sant'Anna e Rocha, 2020) As internações são especialmente em pacientes já com problemas cardiovasculares e/ou pulmonares preexistentes e em público vulnerável, como crianças e idosos (Coelho et al., 2023)

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a poluição do ar mata cerca de sete milhões de pessoas por ano, de forma silenciosa, 99% da população mundial, vivem em locais onde a poluição do ar excede os níveis recomendados pela OMS, destes, cerca de dois bilhões são crianças (OPAS, 2021). Portanto, em termos de exposição humana, é necessário investigar as fontes de poluição, a composição do MP e os efeitos à saúde (Caumo et al., 2022).

O objetivo dessa pesquisa é analisar a qualidade do ar do estado de Mato Grosso, com enfoque ao município de Cáceres MT, considerando a os parâmetros de poluição atmosférica, especialmente ao material particulado (MP_{2,5}) e os efeitos à saúde humana.

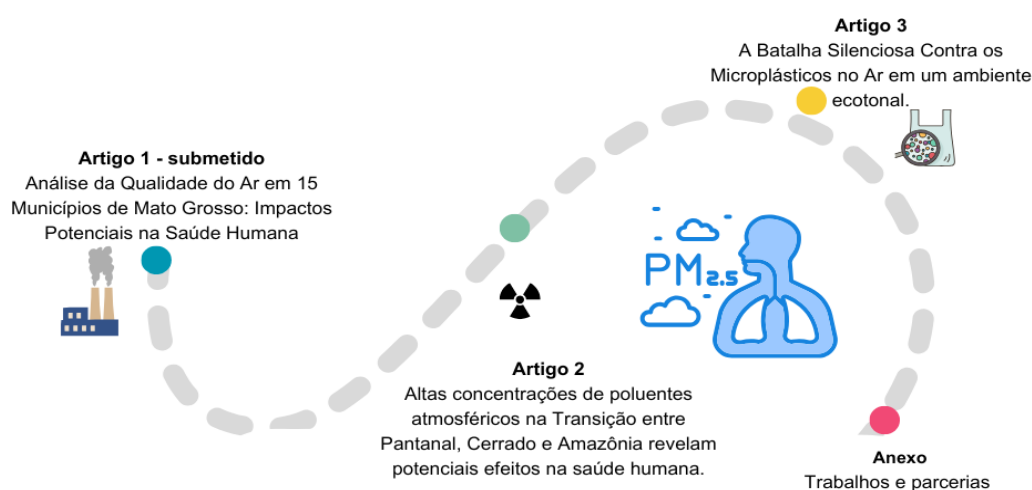
Apresentada em forma de artigos, essa dissertação inicia-se com artigo 1 que apresenta diagnóstico situacional da qualidade do ar de quinze municípios do estado de Mato Grosso a partir dos dados disponibilizados de forma pública pela Secretaria de Meio Ambiente do estado de Mato Grosso (SEMA/MT) , destacando que todos os municípios analisados ultrapassaram os limites estabelecidos pelas limites das instituições avaliadoras, refletindo o impacto direto do crescimento populacional e das atividades industriais com a poluição atmosférica. E ainda apresenta a relação entre altas concentrações de MP_{2,5} e o aumento de óbitos por doenças respiratórias e cardiovasculares.

O segundo artigo descreve a qualidade do ar do município de Cáceres MT, a partir da coleta diária de MP_{2,5} por amostrado de grande volume (*Hi-vol*). as amostras coletadas durante o período de estiagem revelaram níveis alarmantes de metais tóxicos, como chumbo e arsênio, em concentrações superiores aos padrões estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde. Estes metais, presentes ao MP_{2,5}, apresentam alto potencial de toxicidade, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo e de políticas de controle de emissões.

O terceiro artigo traz evidências de presença de microplástico a partir da avaliação das 94 amostras das coletas realizadas nos filtros de quartzo em

amostrador de grande volume (*Hi-Vol*). Este estudo originou-se a partir das evidências recentes que têm detectado microplásticos em diferentes ambientes, incluindo áreas urbanas e rurais. Os microplásticos são partículas pequenas de plástico, geralmente menores que cinco milímetros de diâmetro, que podem ser transportadas pelo vento e inaladas pelo ser humano e outros organismos. Este achado representa um novo desafio à saúde humana e ambiental, exigindo medidas para mitigar, controle e prevenção.

Figura 2. Artigos elaborados de acordo com o período de estudo.



Fonte: da autora, 2024.

Esta dissertação traz também outros trabalhos que foram produzidos e apresentados durante a trajetória de estudo, que se encontram em anexo: o primeiro é o artigo já publicado pela Cadernos de Agroecologia – ISSN 2236-7934 - Anais do XII Congresso Brasileiro de Agroecologia, que traz diagnóstico da mudança na paisagem (uso do solo) em municípios do Pantanal Norte entre os anos de 2009 e 2021, manuscrito apresentado na 12a edição do Congresso

Brasileiro de Agroecologia (CBA), em novembro de 2023 no Rio de Janeiro (RJ). O segundo apêndice trata-se do Boletim informativo Reflexões Hidro-lógicas, publicado no site oficial (<https://lipan.com.br>), onde é discutido a cultura do fogo e os impactos das queimadas no Pantanal. O terceiro apêndice está em destaque a nota técnica, publicada no site oficial (<https://unemat.br>) que analisa as ocorrências mensais de *Fire Radiative Power* - FRP na região de Cáceres, Mato Grosso, Brasil, proporcionando uma visão detalhada dos padrões de queimada ao longo dos anos de 2018 a 2024, destacando as necessidades de ação para o ano de 2024.

Referências Bibliográficas

ALHO, C. J.R. O significado socioeconômico do turismo na natureza: o Pantanal diante das normas reguladoras do Estado. *Sociedade e Estado*, v. 34, p. 769-786, 2019. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/se/a/sYSgSD3JxZcL3hP8CJHkjMN/>> Acessado em: 06 de Jun. 2023.

ANDRADE, B.S., SILVA, M.H.S., OLIVEIRA, A.K.M., ALHO, C.J.R. Análise Espaço-Temporal das Mudanças na Cobertura Vegetal e o Uso da Terra de 1995 a 2005 no Pantanal do Abobral, Mato Grosso do Sul. *Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente*, n 43, v 3, p.101-121, 2020. Disponível em: <<https://sustenere.inf.br/index.php/rbadm/article/view/8420/4801>> Acessado em: 07 de Jun. 2024.

AZEVEDO, E.B. Patrimônio Industrial no Brasil. *USJT – Arqu.Urb* n. 3, p. 11-22, 11 dez. 2010. Disponível em: <<https://revistaarquurb.com.br/arqurb/article/view/114/100>> Acessado em: 07 de Jun. 2024.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 3, de 28 de junho de 1990 Publicada no DOU, de 22 de agosto de 1990, Seção 1, p 15937-15939. Disponível em: <https://www.ibram.df.gov.br/images/resol_03.pdf>. Acessado em: Mar, 2023.

BRASIL, Ministério da Saúde. Incêndios Florestais no Pantanal 2020. Fio Cruz, Nota Técnica 01, 2020. Disponível em: <https://agencia.fiocruz.br/sites/agencia.fiocruz.br/files/u34/nt_01_pantanal_final1.pdf>. Acessado em: 07 de Jun. 2024.

CALDERON-GARCIDUENAS, L., HEYDASPOUR, E.L., TORRES-JARDON, R., REIS, J. Air pollution, a rising environmental risk factor for cognition, neuroinflammation and neurodegeneration: The clinical impact on children and beyond. *Revue Neurologique*, v 172, p 69-80, 2016. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0035378715009236?via%3Dihub>> Acessado em: Dez, 2023

CAUMO, S., YERA, A. B., VICENTE, A., ALVES, C., ROUBICEK, D. A., & de CASTRO VASCONCELLOS, P. Particulate matter-bound organic compounds: levels, mutagenicity, and health risks. *Environmental Science and Pollution Research International*, V. 29, n 21, p. 31293–31310, 2022

COELHO, T.F., SOUSA, A.R., SOUSA, J.A.P.L.L., PEDROZA, M.M. IMPACTOS DOS POLUENTES RESULTANTES DAS QUEIMADAS NA SAÚDE HUMANA. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v 15, n 1, 2023. Disponível em: <<https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/21752/209209217791>> Acessado em: Acessado em: Dez, 2023

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2008 [internet]. São Paulo: CETESB; 2009. p 340. [citado 24 set 2009]. Disponível em:<<https://repositorio.cetesb.sp.gov.br/items/f30ff1db-1f54-4e15-a544-3e4d2a1b97ff>>. Acessado em: 05 de Jun. 2024.

DAVIDSON EA, DE ARAÚJO AC, ARTAXO P, BALCH JK, BROWN IF, C BUSTAMANTE MM, COE MT, DEFRIES RS, KELLER M, LONGO M, MUNGER JW, SCHROEDER W, SOARES-FILHO BS, SOUZA CM JR, Wofsy SC. The Amazon basin in transition. *Nature*. 2012 Jan 18;481(7381):321-8. doi: 10.1038/nature10717. Erratum in: *Nature*. 2012 Mar 8;483(7388):232. PMID: 22258611. Acessado em: 05 de Jun. 2024.

DETRAN – Departamento Estadual de Trânsito do Maranhão – Frota de Veículos, 2024. Disponível em: <<https://www.detran.mt.gov.br/documents/9895421/64130267/5-Frota+por+tipo+-+2024-Maio.pdf/63c9c7a3-d2ba-0261-e604-206c7fc4ca0e?t=1717613051147>>. Acessado em: Mai. 2024

GARCIA, Y. F., BAMPI, A. C., FRANCO DA SILVA, C. A., KOHLER, M. R., & ARANTES, A. Zona de processamento de exportação de cárcees, mato grosso: vozes e interesses dissonantes. *Pegada - A Revista Da Geografia Do Trabalho*, 24(1), 170–194. 2023. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/pegada/article/view/9304>. Acessado em: Jul. 2024.

GEMELLI, V., ARDELIS, L.G., MARTINS, A.N. Poluição atmosférica: algumas considerações sobre o município de brusque -sc. *Geografia em Questão*. v 17, n 2, 2024. Disponível em: <<https://e-revista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/27244/23102>> Acessado em: 05 de Jun. 2024.

GIODA, A. Comparação dos níveis de substâncias poluentes emitidas pelos diferentes combustíveis utilizados para cocção e sua influência no aquecimento

global. Química Nova, v. 41, pág. 839-848, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/8Hf9h6QTt7MtHMMBfWNVxpj/>> Acessado em: Jan 2024.

HONDA, T., PUN, V.C., MANJOURIDES, J., SUH, H., Associations of long-term fine particulate matter exposure with prevalent hypertension and increased blood pressure in older Americans. Environmental Research, v 164, p 1-8. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935118300732?via%3Dihub>>. Acessado em: Acessado em: Jan 2024.

IBGE – instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Áreas Territoriais, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estruturra-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?t=acesso-ao-produto&c=5107800>. Acessado em: 30 de Mai. 2024.

IBTP – Intituto Brasileiro de Planejamento e Tributação – Disponível em: <<https://ibpt.com.br/segundo-estudo-realizado-pelo-ibpt-a-arrecadacao-proveniente-do-ipva-aumentou-de-r-6556-bilhoes-para-r-8102-bilhoes-em-2023>>. Acessado em: Jun. 2024

INDEA – Instituto de Defesa Agropecuária de Mato Grosso – Rebanho Bovino. Disponível em: <<https://www.indea.mt.gov.br/-/rebanho-bovino-de-mato-grosso-chega-a-34-4-milh%C3%B5es-de-animais>>. Acessado em: Jun, 2023

IQAir – Qualidade de ar no Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.iqair.com/brazil>, 2024. Acessado em: Jun, 2024

LOPES, JRB. Desenvolvimento e mudança social: formação da sociedade urbano-industrial no Brasil. Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, Rio de Janeiro, 2008. 233 p. Disponível em: <https://static.scielo.org/scielobooks/df6bv/pdf/lopes-9788599662823.pdf> acessado em: 06 de Jun. 2024.

KANG, Y. J. TAN, H.Y. LEE, C.Y. CHO, H., An Air Particulate Pollutant Induces Neuroinflammation and Neurodegeneration in Human Brain Models. Advances Science, 2021. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adv.202101251>>. Acessado em: 06 de Jun. 2024.

KREUZI, L.R.C., VIANA, A.C.A. 4ª Revolução Industrial e governo digital: exame de experiências implementadas no Brasil. Rev Eurolatin Direito Adm, Santa Fe, vol. 5, n. 2, p. 267-286, 2018. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/6559/655969804006/655969804006.pdf>. Acessado em: 06 de Jun. 2024.

MAGALHÃES, L.C., NALINI JUNIOR, H.A., LIMA, A.C., COUTRIM, M.X. Determinação de metais traço no material particulado em suspensão em Ouro

Preto, Minas Gerais. Química Nova. v 33, n3, 2010. Disponível: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/cbL4V7trHL5PGzrvqRYXQpQ/#>> Acessado em: 02 jun, 2024

MATEUS, V.L., MONTEIRO, I.L.G., ROCHA, L.C.C., SAINT'PIERRE, T.D., GIODA, A. Estudo da composição química do material particulado da região metropolitana do Rio de Janeiro, Brasil, Spectrochimica Acta Parte B: Espectroscopia Atômica. v 86, p 131-136. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0584854713000700?casa_token=TLWmfpVyZXkAAAAA:FGvay4S7RDOyE14LDvjylwxwUDfzrzoaFmfPsM19E-CdEW_DfnO3bERnLL6OdfewKLA5tFg8-MuT> Acessado em: 02 jun, 2024

NASCIMENTO, E. S., FERREIRA, A. A. L., MARRA, A. B., ESTEVAM, M. R., PINTO, D. V., da SILVA, E. A., & GALO, M. D. L. B. T. Detecção de queimadas e análise do impacto do fogo na vegetação natural do Parque Estadual Encontro das Águas, pantanal mato-grossense. 2023. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/ibi/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.17.15.03.08?ibiurl.requiredsite=marte2.sid.inpe.br&forcehistorybackflag=0>. Acessado em: 05 de Jun. 2023.

NEVES, A.G.F. CARNEIRO JUNIOR, J.B.A., REZENDE, L.M. Previsão do produto interno bruto do estado de Mato Grosso em função da produção de soja, milho, caroço de algodão, e arroba do boi com o uso de redes neurais artificiais. Revista de Engenharia e Tecnologia. V16, n 1. 2024. Disponível em: <<https://sustenere.inf.br/index.php/rbadm/article/view/8420/4801>> Acessado em: 05 de Jun. 2024.

OMS. Organização Mundial da Saúde. Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Germany, 2003. Disponível em:<http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf>. Acesso em: abr. 2023.

OPAS–Organização Pan Americana de Saúde. Diretrizes globais de qualidade do ar da OMS: partículas inaláveis (MP2,5e MP10), ozônio, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e monóxido de carbono. 2021. Resumo executivo. Washington, D.C.: Organização Pan-Americana da Saúde; 2021. Licença: CCBY-NC. Disponível em: <<https://iris.paho.org/handle/10665.2/54963>>. Acessado em: Jan 2024

PACHECO, M. T., PARMIGIANI, M. M. M., DE FATIMA ANDRADE, M., MORAWSKA, L., & KUMAR, P. (2017). A review of emissions and concentrations of particulate matter in the three major metropolitan areas of Brazil. Journal of Transport & Health, v 4, p 53–72. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/312495987_A_review_of_emissions_and_concentrations_of_particulate_matter_in_the_three_major_metropolitan_areas_of_Brazil>. Acessado em: Jan, 2024

PEREIRA, T. F., MUNIZ, C. C., OLIVEIRA JUNIOR, E. S. Emissões de CO₂ em Mato Grosso por veículos automotores. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(3), 229–241. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/341314769_Emissoes_de_CO2_em_Mato_Grosso_por_veiculos_automotores Acessado em: 20/06/2024

ROSSI, B.C., ROCON, J.P., Mobilidade ou caos urbano no Brasil? *Revista Pet Economia. Ufes.* V 4, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.ufes.br/peteconomia/article/view/44697/30119>> Acessado em: 05 de Jun. 2024.

SANTOS FILHO, F. M. dos., LINO, A. S., MALM, O., IGNÁCIO, A. R. A., Mercúrio, cromo, cádmio e chumbo em *Pygocentrus Nattereri* Kner, 1858 e *Prochilodus Lineatus* (Valenciennes, 1836) de Dois Rios do Pantanal (MT), Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, V. 42, n. 67–81. 2016. Disponível em: https://www.rbciamb.com.br/Publicacoes_RBciAMB/article/view/129/97 Acessado em: 05 de Jun. 2024. <https://doi.org/10.5327/z2176-9478201600116>

SOUSA, H.F.M., SILVA, L.S.V., COSTA, F.N., EFEITOS DAS QUEIMADAS NA SAÚDE DA POPULAÇÃO COM FOCO PARA AS DOENÇAS PULMONARES. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação-REASE*, São Paulo, v10, n 5. 2024. Disponível em: <<https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/14016/7017>> Acessado em: Jan, 2024

TAO, J., HO, K.F., CHEN, L., ZHU, L., HAN, J., XU, Z., Effect of chemical composition of PM_{2.5} on visibility in Guangzhou, China, 2007 spring. *Particuology.* v 7. p 68-75. Disponível: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1674200108001788>> Acessado em: fev 2024.

TEODORO, P.E., MARIA, L.S., RODRIGUES, J.M.A., SILVA, A.A., SILVA, M.C.M., SOUZA, S.S., ROSSI, F.S., TEODORO, L.P.R., DELLA-SILVA, J.L., DELGADO, R.C., LIMA, M., PERES, C.S., SILVA JUNIOR, C.A. Wildfire Incidence throughout the Brazilian Pantanal Is Driven by Local Climate Rather Than Bovine Stocking Density. *Sustentabilidade.* v14, 2022. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cflo/a/PcqQz5zm9FdnS5DxbCFbXbr/?format=pdf&lang=en>> Acessado em: 30 de Mai. 2024.

XU, Z., LI, L., GAO, S., HUA, L., YE, X., WANG, Y., JIANG, S., WANG, N., ZHOU, D., DENG, X., MP_{2,5} induced pulmonary fibrosis in vivo and in vitro. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v 171, p 112-121. 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651318313575?via%3Dihub>> Acessado em: Jan 2024.

Artigo 1

Análise da Qualidade do Ar em 15 Municípios de Mato Grosso: Impactos Potenciais na Saúde Humana

Analysis of Air Quality in 15 Municipalities of Mato Grosso: Potential Impacts on Human Health

Revista Brasileira de Climatologia – Qualis A3

Maísa Consuelo dos Santos¹, Eduardo Fagundes de Mendes², Sofia E Caumo³, Ernandes Sobreira Oliveira Junior⁴

¹Universidade do Estado de Mato Grosso/Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais/maisa.shimokawa@unemat.br;

²Universidade do Estado de Mato Grosso/Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais/ eduardo.fagundes@unemat

³Fundação Oswaldo Cruz/sofiacaumo@gmail.com;

⁴ Universidade do Estado de Mato Grosso/Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais /ernandes@unemat.br

Resumo: O crescimento econômico de Mato Grosso gerou impactos ambientais, incluindo possíveis efeitos adversos na qualidade do ar. Este estudo examinou dados de 2018 a 2022 sobre a emissão diária de Material Particulado 2,5 (MP_{2,5}) de quinze municípios, usando informações do portal público da Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA-MT). Neste período, todos os municípios excederam os limites diários de MP_{2,5} estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS - 5 µg/m³), Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA - 12 µg/m³) e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA - 60 µg/m³). Várzea Grande e Cuiabá, apresentaram as maiores concentrações médias de MP_{2,5} (79,97 ± 44,17 e 68,61 ± 40,05 µg/m³, respectivamente), enquanto Vila Rica, teve os resultados mais baixos (6,97 ± 3,57 µg/m³). As análises mensais e anuais revelaram que setembro é o mês com a maior média de MP_{2,5} (38,55 ± 28,56 µg/m³) e dezembro registra os menores valores (12,33 ± 21,33 µg/m³). Os anos de 2019 e 2018 foram os mais críticos em termos de concentração de MP_{2,5}. O estudo sugere que a má qualidade do ar nos municípios pode estar associada ao aumento do consumo de combustíveis fósseis, frota de veículos e atividades agropecuárias relacionadas ao desmatamento e às queimadas. Observou-se também correlação entre as concentrações de MP_{2,5} e o número de óbitos por doenças respiratórias, cardiovasculares e neoplasias. Destaca-se com isso a importância de monitorar continuamente a qualidade do ar e implementar medidas eficazes para reduzir a poluição em MT, visando proteger a saúde da população.

Palavras-chave: Material particulado. Qualidade do ar. Doenças respiratórias.

Summary: The economic growth of Mato Grosso has generated environmental impacts, including potential adverse effects on air quality. This study examined data from 2018 to 2022 on the daily emissions of Particulate Matter 2.5 (PM_{2.5}) from municipalities, using information from the public portal of the State Environment Secretary (SEMA-MT). During this period, all municipalities exceeded the daily PM_{2.5} limits set by the World Health Organization (WHO - 5 µg/m³), the United States Environmental Protection Agency (USEPA - 12 µg/m³), and the National Environment Council (CONAMA - 20

$\mu\text{g}/\text{m}^3$). Várzea Grande and Cuiabá had the highest average $\text{PM}_{2.5}$ concentrations (79.97 ± 44.17 and $68.61 \pm 40.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively), while Vila Rica had the lowest results ($6.97 \pm 3.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Monthly and annual analyses revealed that September had the highest average $\text{PM}_{2.5}$ ($38.55 \pm 28.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$), while December recorded the lowest values ($12.33 \pm 21.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$). The years 2019 and 2018 were the most critical in terms of air quality. The study suggests that poor air quality in municipalities may be associated with increased fossil fuel consumption, vehicle fleets, and agricultural activities related to deforestation and burning. A correlation was also observed between $\text{PM}_{2.5}$ concentrations and the number of deaths from respiratory diseases, cardiovascular diseases, and neoplasms. This underscores the importance of continuously monitoring air quality and implementing effective measures to reduce pollution in MT, aiming to protect public health.

Keywords: Particulate matter. Air quality. Respiratory diseases.

Resumen: El crecimiento económico de Mato Grosso ha generado impactos ambientales, incluidos efectos adversos potenciales sobre la calidad del aire. Este estudio examinó datos de 2018 a 2022 sobre las emisiones diarias de Material Particulado 2.5 ($\text{PM}_{2.5}$) de los municipios, utilizando información del portal público de la Secretaría de Medio Ambiente del Estado (SEMA-MT). Durante este período, todos los municipios superaron los límites diarios de $\text{PM}_{2.5}$ establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS - $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA - $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y el Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA - $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Várzea Grande y Cuiabá presentaron las concentraciones promedio más altas de $\text{PM}_{2.5}$ (79.97 ± 44.17 y $68.61 \pm 40.05 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente), mientras que Vila Rica tuvo los resultados más bajos ($6.97 \pm 3.57 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Los análisis mensuales y anuales revelaron que septiembre tuvo el promedio más alto de $\text{PM}_{2.5}$ ($38.55 \pm 28.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que diciembre registró los valores más bajos ($12.33 \pm 21.33 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Los años 2019 y 2018 fueron los más críticos en términos de calidad del aire. El estudio sugiere que la mala calidad del aire en los municipios puede estar asociada con el aumento del consumo de combustibles fósiles, el parque vehicular y las actividades agrícolas relacionadas con la deforestación y la quema. También se observó una correlación entre las concentraciones de $\text{PM}_{2.5}$ y el número de muertes por enfermedades respiratorias, enfermedades cardiovasculares y neoplasias. Esto subraya la importancia de monitorear continuamente la calidad del aire e implementar medidas efectivas para reducir la contaminación en MT, con el objetivo de proteger la salud pública.

Palabras clave: Material particulado. Calidad del aire. Enfermedades respiratorias.

1. INTRODUÇÃO

O mundo está em uma fase de transição demográfica, econômica e ambiental polarizada e acelerada, devido ao crescimento populacional exponencial, produção tecnológica e industrial e ambiental (Alves 2014). Estes avanços são observados em diversas escalas, loco-regional-global (Arruda et al., 2024; Tanure et al., 2024; Ikeda-Castrillon et al., 2022).

Devido a essa transição rápida e exponencial, em muitas ocasiões, a qualidade ambiental pode também ser impactada. Os ambientes com alta cobertura de florestas, como a Amazônia podem ser impactadas pelas atividades humanas em maior escala do que fenômenos climáticos como o El Niño (Arruda et al., 2024). O Pantanal é outro exemplo de rápidas mudanças ambientais provocadas pelo homem, configurando uma perda de até 16% de massa d'água em 10 anos (Lazaro et al., 2022). O Cerrado é hoje reconhecido como um hotspot da biodiversidade, pois abriga uma rica fauna e flora, mas possui menos de 25% da cobertura vegetal (Myers et al 2000).

A mudança ambiental constatada principalmente através do desmatamento é algo que chama atenção, e é um efeito em cascata. Inicialmente observa-se a escassez hídrica (seca em uma determinada região), a qual propicia o desmatamento seguido pela queima da vegetação em novas áreas (Dos Santos et al., 2023).

Dentre estas ações humanas, as queimadas podem ainda impactar a saúde humana de formas diretas e indiretas (Caumo et al., 2022; Ignotti et al., 2010) a partir da geração de resíduos, dentre eles, material particulado que fica em suspensão na atmosfera. Essas partículas são divididas em material particulado fino ($MP_{2,5}$) e material particulado grosso (MP_{10}). Em contato com o sistema respiratório, inicialmente pelas vias aéreas superiores (faringe, laringe e traqueia), podem atingir vias inferiores, pulmão e alvéolos pulmonares, causando uma série de doenças, entre elas, infecções respiratórias agudas, levando a crises de asma ou inflamação exacerbada; ou então, a longo prazo, podem causar câncer, principalmente no sistema cardiorrespiratório (Caumo et al., 2016; Cetesp, 2021; Teixeira et al., 2023).

Estudos identificaram que as crianças e idosos podem apresentar maiores riscos de infecções respiratórias, com sintomas respiratórios imediatos, resultando em internações no mesmo dia de exposição desses poluentes em alta concentração, e alcançando os alvéolos pulmonares, há malefícios para sistema circulatório, favorecendo maior intensidade de sintomas de doenças crônicas como diabetes mellitus e infarto agudo do miocárdio (Ignotti et al., 2010, Fernandes et al., 2022; Naserinjad et al., 2023).

Sabendo-se dos efeitos nocivos causados pela emissão de $MP_{2,5}$ proveniente de áreas com intensa atividade industrial, o estado de Mato Grosso, Centro-Oeste brasileiro está em um momento de transição e ampla atividade pecuária, agrícola e industrial (Silva Junior et al., 2023). Por exemplo, o estado saiu de 3.033.991 pessoas no censo de 2010 para 3.658.813 pessoas no censo de 2022 (IBGE, 2010; IBGE, 2022). Além disso, o estado passou da comercialização de 18.787.783 toneladas de soja em 2021, para 38.025.387 toneladas em 2022, aumentou o consumo de diesel de 2.001.637,199 m³ para 3.690.384,053 m³ entre 2021 e 2022 acompanhando o aumento da frota veicular, a qual entre os anos de 2018 e 2022 teve um acréscimo de 462 mil veículos (Pereira et al., 2020; IBGE, 2022).

O estado de Mato Grosso é o décimo quarto estado de maior arrecadação por exportações industriais com desenvolvimento importante nos últimos anos (INPE, 2022; IBGE, 2022). Estes avanços também são demonstrados pelas altas taxas de desmatamento na região amazônica (Arruda et al., 2024), concomitante a grandes vendas de agrotóxicos (PIMT, 2023; SEDEC, 2023), e o terceiro no ranking do desmatamento, bem como é o quinto com maior número de queimadas (Luiz Ferreira et al., 2023, Almeida et al., 2021).

Este trabalho que como objetivo diagnosticar a qualidade do ar em quinze municípios do estado de Mato Grosso com base nos boletins informativos da Secretaria de Meio Ambiente (SEMA/MT) entre 2018 e 2022, podendo também subsidiar políticas públicas e ações preventivas voltadas à saúde humana e aos impactos das transformações ambientais.

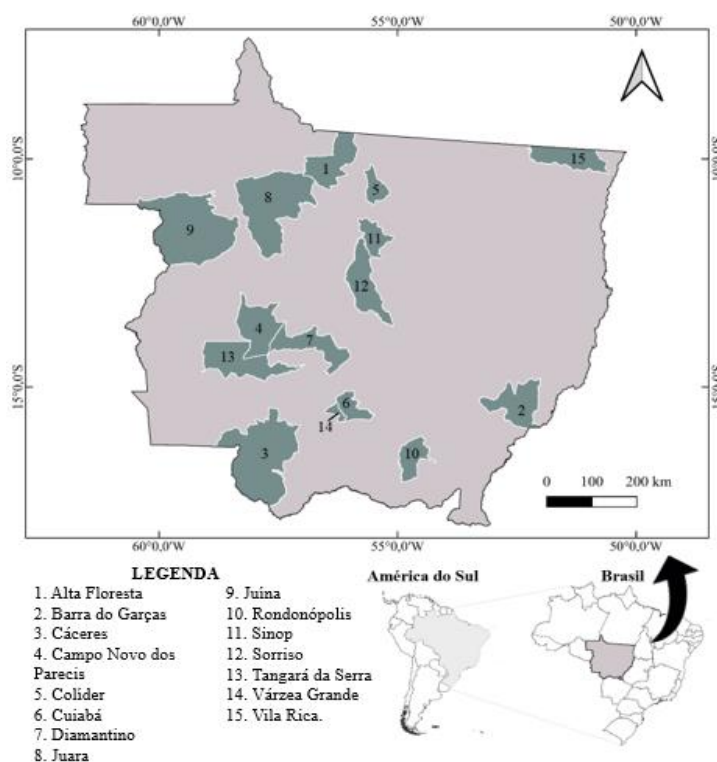
1. METODOLOGIA

1.1. Localização

O estado de Mato Grosso está localizado na porção centro-sul do Brasil, na região Centro-oeste. Possui 142 municípios, com uma área de aproximadamente 903 bilhões de km², limitado em sua porção norte com os estados do Pará e Amazonas, ao sul com Mato Grosso do Sul, a Leste com Goiás e Tocantins e, a

oeste com Rondônia e a República da Bolívia. Possui extensões de três biomas brasileiros - Amazônia, Cerrado e Pantanal. Esse estudo analisa os dados de qualidade do ar dos municípios de: Alta Floresta, Barra do Garças, Cáceres, Campo Novo do Parecis, Colíder, Cuiabá, Diamantino, Juara, Juína, Rondonópolis, Sinop, Sorriso, Tangará da Serra, Várzea Grande e Vila Rica (Figura 01). A escolha desses municípios foi realizado pela SEMA-MT por serem unidades de planejamento regional de Mato Grosso.

Figura 01 – Municípios utilizados no estudo com base da divulgação disponível pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente entre os anos de 2018 e 2022.



Fonte: dos autores, 2024.

2.2. Aquisição de dados

Para todos os municípios do estudo foram levantadas todas as informações disponíveis referentes a concentração de Material Particulado ($MP_{2,5}$) diariamente entre janeiro e dezembro de 2018 e 2019. Para o ano de 2020, os dados publicados foram de janeiro a março (65 dias), interrompidos devido a pandemia da COVID-19. Em 2021 foram divulgados dados de julho a

dezembro (157 dias). No ano de 2022 foram divulgados 155 dias, de janeiro a abril, e de agosto a dezembro. Não foram registrados dados em 2022 para o município de Várzea Grande. Os dados foram disponibilizados pela SEMA-MT e podem ser acessados via <http://www.sema.mt.gov.br/transparencia/index.php/gestao-ambiental/monitoramento-ambiental/qualidade-do-ar>. E, segundo a SEMA esses dados foram extraídos do site do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC (<http://meioambiente.cptec.inpe.br>), vinculado ao Instituto de Pesquisa Nacional Espacial – INPE.

A SEMA-MT apresentou os boletins com as variáveis de qualidade do ar com valores de $MP_{2,5}$ medidas em $\mu g/m^3$ (mínimas – MIN; e máximas – MAX). Classificando o status de qualidade do ar, como: “Boa” (00 a $25 \mu g/m^3$) e “Inadequada” ($>25 \mu g/m^3$). Esses dados foram confrontados com as vendas de combustíveis, obtidos através da Agência Nacional de Combustíveis (ANP) (<https://www.gov.br/anp/pt-br>), e com dados de saúde utilizando como filtro: Internações; óbito por município diagnóstico principal: doenças respiratória, entre os anos de 2018 a 2022, extraídos no banco de dados do Ministério da Saúde - DATASUS (Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde do Brasil) e DwWeb (Repositório de dados dos Sistemas de Informações da Secretaria de Estado de Saúde de Mato Grosso, os dados podem ser acessados em <http://appweb3.saude.mt.gov.br/dw/>).

2.3. Análise estatística

As análises foram realizadas através de Regressão Linear Simples. Todos os valores de $p < 0.05$ foram considerados significativos. Para identificar

os status de qualidade dos municípios foram calculados os valores máximos de $MP_{2,5}$ de todo período. A descrição da série temporal foi realizada a partir da média dos valores mínimos de $MP_{2,5}$ e média por mês dos valores máximos de todos os municípios durante todo o período (2018 a 2022).

Para realização do diagnóstico de qualidade do ar, os valores de $MP_{2,5}$ foram comparados com o que é preconizado pela Organização Mundial de Saúde – OMS, Agência de Proteção do Meio Ambiente dos Estados Unidos - USEPA e Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA Resolução nº 491/2028.

3. RESULTADOS

3.1. Situação da qualidade do ar no Mato Grosso

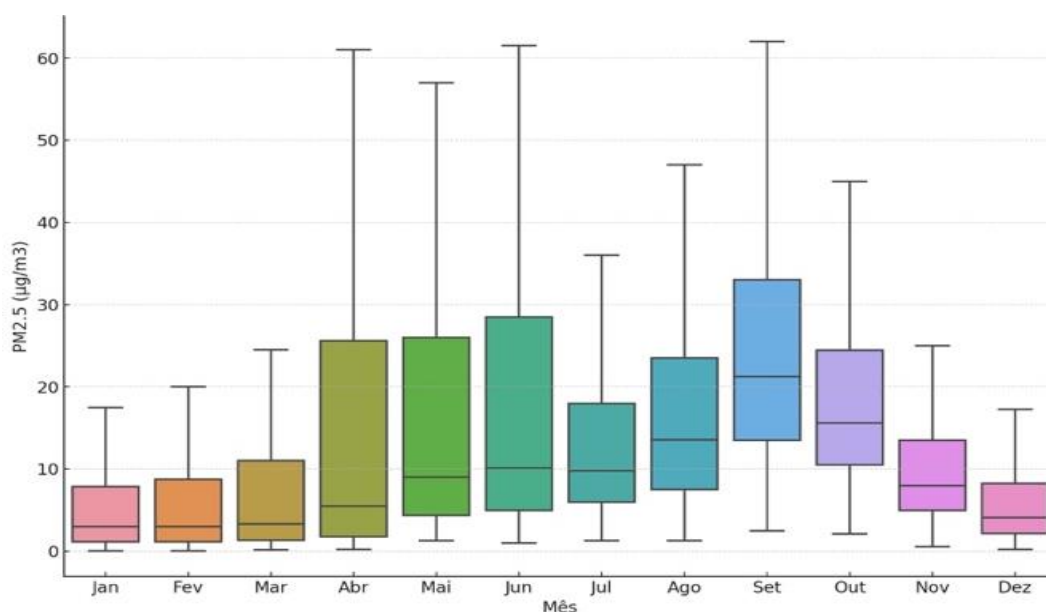
Durante o período analisado (12.789 dias) para os 15 municípios, 23,6% dos dias foram considerados com a qualidade do ar inadequada. De modo geral a média anual foi de $22,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $MP_{2,5}$ e apresentação de concentração de $MP_{2,5}$ mínima variou de $0,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $1000 \mu\text{g}/\text{m}^3$; e os valores máximos foram de $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $1250 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

O ano de 2019 apresentou maior média para todos os municípios ($33,6 \pm 30,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido de 2018 ($26,6 \pm 37 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Em 2020, com apenas 65 dias divulgados (janeiro, fevereiro e março), a média registrada foi de $20,1 \pm 31,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Diferente do ano de 2022 que registrou menor média $8,7 \pm 10,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Comparados todos os municípios em relação aos meses (Figura 2), observa-se que o mês de setembro é aquele com maior média de $MP_{2,5}$ ($38,5 \pm 15,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido por junho e maio ($31,8 \pm 37,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $30,7 \pm 38,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$

respectivamente). Dezembro foi o mês com menor média ($12,3 \pm 15,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido de janeiro ($12,5 \pm 19,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e fevereiro ($14,7 \pm 24,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Figura 2 - Distribuição mensal (Sem Outliers) de $\text{MP}_{2,5}$ para todos os quinze municípios entre os anos de 2018 e 2022.



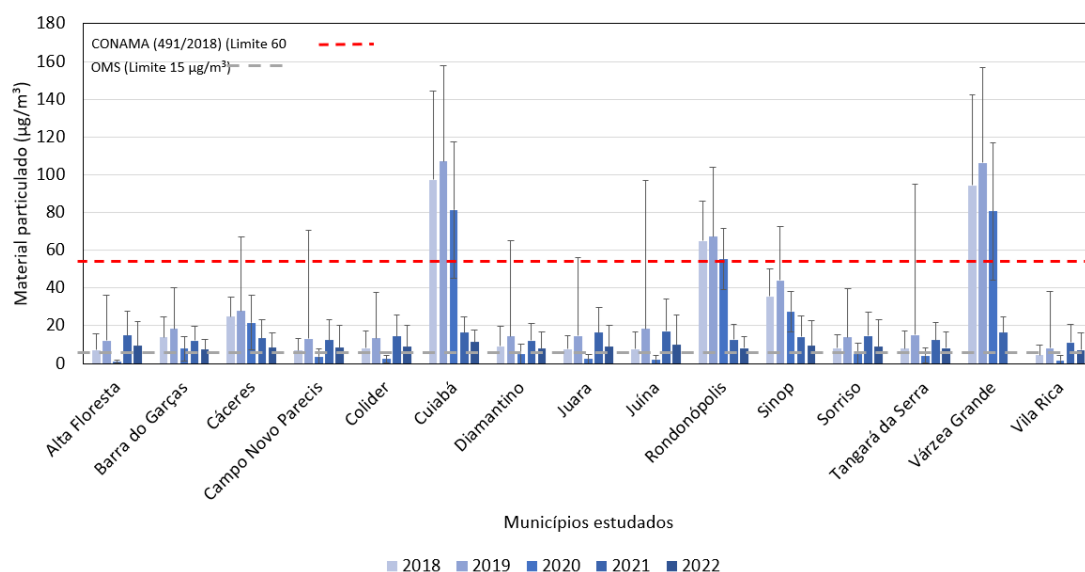
Fonte: dos autores, 2024.

Cada município apresentou uma dinâmica diferente em relação ao $\text{MP}_{2,5}$ (figura 3). Tangará da Serra apresentou o maior valor ($1.250 \mu\text{g}/\text{m}^3$), no dia 19/09/2019, e os demais dias com valores abaixo de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Fato demonstrado também por Juína que apresentou uma máxima de $1.180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no dia 19/09/2019. Em contrapartida, municípios como Barra do Garças (2019), Campo Novo do Parecis e Vila Rica (2018) tiveram dias com máximas de apenas $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Várzea Grande ($80 \pm 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e Cuiabá ($68,6 \pm 45,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) lideraram a primeira e a segunda posição, com maiores emissões de $\text{MP}_{2,5}$ em todo período. A média máxima apresentada por Rondonópolis e Sinop foram de $45,0$

$\pm 28,9\mu\text{g}/\text{m}^3$ e $28,7 \pm 14,5\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, ocupando com isso a terceira e quarta maior concentração de $\text{MP}_{2,5}$. O município de Cáceres é classificado como o quinto município com média mais elevada $20,4 \pm 8,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Cuiabá e Várzea Grande compartilharam elevada concentração diária de poluentes, atingindo $530 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por outro lado, Cáceres apresentou uma porcentagem menor de dias inadequados, totalizando 29%, embora tenha registrado a concentração diária de poluentes maior que registrada por Cuiabá e Várzea Grande, alcançando $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Enquanto isso, Juína destacou-se com uma taxa de apenas 10% de dias inadequados e Vila Rica apresentou a menor porcentagem, com apenas 3,5%. Ambas as cidades registraram a mesma concentração máxima diária de poluentes, atingindo $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ainda em relação aos valores diários, todos os municípios excederam os valores estabelecidos pela OMS, figura 03. Várzea Grande, Cuiabá e Rondonópolis ultrapassaram também o limite do CONAMA. Os municípios de Várzea Grande e Cuiabá também registraram percentuais elevados de dias com qualidade do ar inadequada, com 79 % e 66%, respectivamente, figura 03.

Figura 03 - Dados de média diária de $\text{MP}_{2,5}$ para todos os quinze municípios entre os anos de 2018 e 2022 com comparação das médias diárias do Conselho Nacional de Médio Ambiente – CONAMA e Organização Mundial de Saúde – OMS.

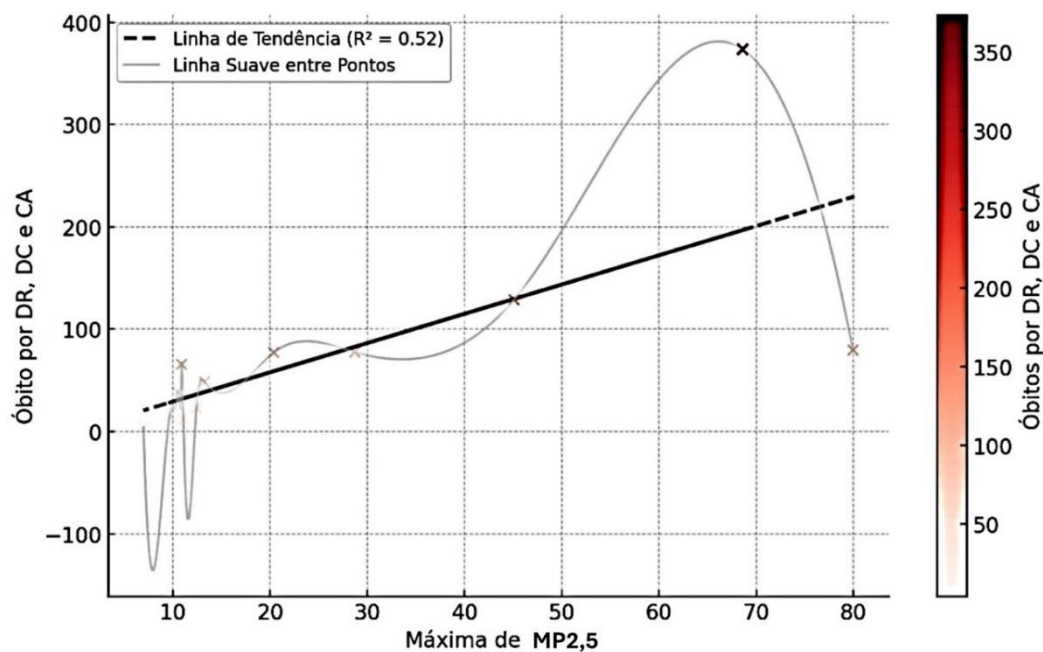


Fonte: dos autores, 2024.

3.2. Relação da qualidade do ar com a saúde humana

De 2018 a 2022 os 15 municípios estudados registraram 151.791 internações para tratamento de doenças respiratórias e cardiovasculares (considerando local de residência). Nesse mesmo período foram 6.076 óbitos. Ao relacionar o número de internações com os valores máximos de $MP_{2,5}$ com os municípios do estudo não foi possível encontrar uma relação forte e significativa. Entretanto, ao relacionar o número de óbitos com os valores máximos de $MP_{2,5}$ obteve-se uma relação positiva significativa (regressão linear simples; $R^2 = 0,52$; $p < 0,05$).

Figura 4 - Relação entre o $MP_{2,5}$ e o número de óbitos por Doença Respiratória, Doença Cardíaca e Neoplasias. Símbolos com coloração mais acentuada indicam relações mais fortes e positivas. A curva plotada indica a distância entre os valores, em que, quanto mais próximo o número de dados, menor é a curva gerada. Neste caso, poucos dados representam valores mais altos de $MP_{2,5}$, entretanto, que elevam a valores mais altos de óbitos.



Fonte: dos autores, 2024.

4. DISCUSSÕES

Nossos resultados indicam claramente que os municípios mato-grossenses ultrapassaram o limite máximo de exposição anual estabelecido pela Organização Mundial da Saúde – OMS, Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) e extrapolando inclusive os padrões nacionais de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 491 de 19 de novembro de 2018 (MAPBIOMAS, 2023).

Dentre todos os municípios, Várzea Grande e Cuiabá foram os municípios que apresentaram maiores concentrações de MP_{2,5} em todo período, extrapolando os valores esperados inclusive pela legislação brasileira (60 µg/m³). Esses municípios apresentaram valores semelhantes ao da média anual de 2022 de algumas estações urbanas da grande São Paulo, como Congonhas, Osasco, Guarulhos – Pimentas, Marginal Tiete Ponte dos Remédios (> 50 a 75 µg/m³) (CETESP, 2021). O município de Várzea Grande ultrapassou inclusive o

município de Muzaffarnagar na Índia, considerada a décima quinta cidade mais poluída do mundo com valores de $73,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (média do ano de 2022), essa cidade indiana tem como umas das causas de poluição do ar o uso de carvão de lenha para atividades domésticas, enquanto o município de Várzea Grande é um polo industrial, apresenta mais de 197 mil veículos em sua frota e conta com o principal aeroporto do Estado (Domingo et al., 2022, IBGE, 2022).

No ano de 2019, todos os municípios registraram uma média mais alta de $\text{MP}_{2,5}$ em relação aos demais anos. Tanto Cuiabá quanto Várzea Grande excederam os valores, com média de $106,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $106,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente (Figura 3). Em 2019, Bangladesh ocupou a 1ª posição no ranking de qualidade do ar da IQAir, com uma média de $83,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ (IQAir, 2024). Cuiabá e Várzea Grande registraram níveis de poluição do ar superiores a essa média. Em 2019 o Brasil teve uma média anual de $15,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Por outro lado, na mesma classificação de qualidade do ar da IQAir em 2024, as Ilhas Virgens dos Estados Unidos destacaram-se pelo ar de melhor qualidade do mundo, com uma média anual de apenas $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (IQAir, 2024). Essa média é maior do que a registrada no município de Vila Rica, que foi de $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, demonstrando com isso que alguns municípios do estado de Mato Grosso no Brasil ainda se encontram com uma boa qualidade do ar considerando a média anual. Este fato deve ser destacado, pois o crescimento econômico associado a expansão agrícola e inúmeras atividades poluidoras ainda não chegaram em alguns municípios do Estado. O município de Vila Rica é pequeno, com 19.888 habitantes e sua atividade industrial ainda incipiente, tem como a

pecuária a principal renda econômica e atualmente conta com pouco mais de 13 mil veículos e 713 mil cabeças de gado (SENATRAN, 2023; IBEG, 2023).

O ano de 2019 também foi marcado com média elevada para Rondonópolis, $67,2 \pm 29 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esse município passou por expansão urbana com aumento de quase 50 mil habitantes entre os censos de 2010 a 2022, seguindo em constante desenvolvimento pelas suas áreas periféricas, enfrentando impactos importantes para o território municipal e para a qualidade de vida da sociedade rondonopolitana (IBGE, 2022; Negri et al., 2023)

Juína também se destacou com elevados valores médios de $\text{MP}_{2,5}$ em 2019 ($18,4 \pm 6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), permaneceu ali entre os municípios intermediários. No entanto em 2021, apresentou a maior média ($17 \mu\text{g}/\text{m}^3$), excedendo todos os municípios. Já em 2022 ficou atrás apenas de Cuiabá ($11,3 \pm 45,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) apresentando média de $9,9 \pm 6,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Um estudo realizado em Campinas – SP, também demonstrou a elevação de $\text{MP}_{2,5}$ em 2019 com a média de $15,04 \mu\text{g}/\text{m}^3$, registrando queda em 2020 com a média de $12,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

A variação dos níveis de concentração de $\text{MP}_{2,5}$ pode estar relacionada a fatores climáticos e outras fontes de poluição, pois no caso, não identificaram diminuição no tráfego veicular (IQAIR, 2024). Em 2020, devido à pandemia de COVID-19, houve uma redução significativa em relação a 2019 na emissão de poluentes atmosféricos, especialmente nos primeiros meses do ano, devido à diminuição das atividades industriais e à implementação de políticas de distanciamento social. Todavia, as maiores concentrações de poluição atmosférica foram causadas pelo aumento de incêndios atrelado a falta de chuva

em grande parte dos Estados brasileiros, principalmente das regiões Centro Oeste, Sul e Sudeste (Macorin et al., 2021).

Para todo o período analisado, município de Vila Rica se destaca com o município com menor concentração de $MP_{2,5}$, apresentou 7% dos dias acima das recomendações da OMS e USEPA e Alta Floresta teve 7,5% dos dias de qualidade do ar inadequados.

Em geral, as maiores concentrações de $MP_{2,5}$ ocorreram no mês de setembro. Este período é caracterizado por ser o período mais seco na maior parte do Estado (De Oliveira et al, 2024), além de ser o período com maior número de queimadas em virtude da estiagem que normalmente perdura do período de inverno (Abdo et al., 2024). Assim, municípios como Alta Floresta, Vila Rica, Colíder, Juara e Juína podem estar correlacionados com o número de queimadas locais (dados não analisados). Entretanto, para alguns municípios como Várzea Grande, Cuiabá, Rondonópolis e Sinop as maiores concentrações foram observadas no mês de abril a junho. Este período é caracterizado por ventos fortes e dias frios e podem contribuir com maiores chances de dispersão de poluentes, ressuspensão de partículas, por exemplo.

4.1. Relação com a saúde humana

O $MP_{2,5}$ tem facilidade de deslocamento e capacidade de penetração no organismo, por conter altas concentrações de oxidantes e pró-oxidantes, desencadeando a formação de radicais livres de oxigênio e nitrogênio, levando ao estresse oxidativo nas vias respiratórias, iniciando uma resposta inflamatória e a partir dessa inflamação há liberação de células e mediadores inflamatórios (Fernandes et al., 2023; Kunzli et al., 2010; Arbex et al., 2012). Considerando a

faixa etária da população, cada grupo está suscetível a diferentes impactos na saúde, sendo crianças, que podem estar mais expostas ao ar livre e apresentam frequência respiratória elevada e idosos devido a fragilidade do sistema respiratório e imunológico, resultando com isso em grupos mais vulneráveis.

Devido ao crescimento e desenvolvimento, as crianças apresentam maior volume corrente em proporção ao peso corporal, filtragem nasal menos eficiente, o que facilita a penetração mais profunda das partículas nos pulmões, e maior exposição ao ar livre (Urrutia-Pereira et al., 2021). O tratamento para essas doenças é prolongado, gerando tempo de internação estendido, levando a maior causa de óbito em internações pediátricas (Cardoso et al., 2024).

Os idosos também são suscetíveis aos efeitos adversos da exposição aos poluentes atmosféricos por apresentarem um sistema imunológico menos eficiente (imunosenescência), e um progressivo declínio na função pulmonar, o que pode levar a obstrução das vias aéreas e limitação aos exercícios (Arbex et al., 2012). No estado de Mato Grosso, no ano de 2019 para cada 100 mil habitantes 23,5 morreram por doenças crônicas não transmissíveis – DCNT, grupo de doenças que envolvem agravos respiratórios e cardiovasculares, taxas maiores que em São Paulo e Rio de Janeiro, 14,6 e 22,2 respectivamente (Domingos et al., 2022). As taxas de óbito considerando as três condições aqui apresentadas além de serem maiores do que em São Paulo e Rio de Janeiro no Brasil, são maiores do que países como Angola e Portugal, 14,2 e 10,3 respectivamente (Garcia et al., 2023).

Essa relação é superficial, mas considera-se um indicativo de que esta variável (MP_{2,5}) contribui muito para desfechos mais graves (internações e/ou

óbitos) de problemas respiratórios e cardiovasculares no estado de Mato Grosso. Outras análises mais específicas, considerando cada município devem ser realizadas para que possam descrever minuciosamente as relações da saúde humana e o $MP_{2,5}$. Entretanto, nossos resultados indicam uma tendência ascendente na ocorrência da associação de óbitos de doenças respiratórias, cardiovasculares, neoplasias e o aumento do $MP_{2,5}$. Importante ressaltar que o maior número de casos desses óbitos associados ocorre em municípios em que o número de habitantes é mais elevado no Estado, Cuiabá, Várzea Grande, Rondonópolis e Sinop, por exemplo, e também, conseqüentemente, onde houve maiores concentrações de $MP_{2,5}$. Estes municípios devem se atentar para a periculosidade do $MP_{2,5}$ devido ao aumento de veículos automotores e aumento de queimadas urbanas e rurais, para que então possam ser melhoradas a qualidade do ar na região. Ora, se a própria Organização Mundial de Saúde ressalta que a qualidade do ar é um aspecto fundamental para garantir a boa qualidade de saúde humana (Garcia et al., 2023), para que o progresso – tão vislumbrado pelo estado de Mato Grosso – seja alcançado, as pessoas devem estar em boas condições de saúde.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o período analisado, os municípios de Cuiabá, Rondonópolis, Sinop e Várzea Grande registraram concentrações de $MP_{2,5}$ que ultrapassaram os valores adequados estabelecidos por órgãos reguladores como OMS, Agência de Proteção Ambiental dos EUA e o CONAMA. Esses níveis superaram até mesmo os observados em grandes centros urbanos como São Paulo. A alta

concentração de $MP_{2,5}$ na atmosfera está diretamente relacionada a riscos à saúde.

A falta de consistência e lacunas nos dados disponibilizados pela SEMA-MT ressalta a necessidade de apoio, capacitação e organização dos órgãos ambientais para realizar monitoramentos eficazes. É importante que as regulamentações estaduais se concentrem na análise da qualidade do ar e em como isso afeta a saúde humana, garantindo que o desenvolvimento de Mato Grosso não resulte em problemas de saúde, particularmente relacionados a doenças respiratórias.

AGRADECIMENTOS

Gratos ao suporte via bolsa nº 88887.726514/2022-00 da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, ao Laboratório de Ictiologia do Pantanal Norte (LIPAN), ao Laboratório de Ecofisiologia Ambiental (LEFA) e ao Ministério Público de Mato Grosso.

REFERÊNCIAS

ABDO, JP, DE SOUZA BARBOSA, ICP, PINA, JC, DE OLIVEIRA, AKM. A ameaça das queimadas no Pantanal: a supressão progressiva do bioma e a amnésia coletiva. *Contribuciones a las ciencias sociales*, v 17, n 3, 2024.

ALMEIDA, JTF, LANDER VARK, MARTINS JM de S, CARVALHO KA, BARBOSA AB, GONÇALVES IKC, MOREIRA DR. Análise do perfil do uso de agrotóxicos no estado do Mato Grosso Do Sul, políticas públicas relacionadas e impactos na saúde da população. *Revista Master-Ensino, Pesquisa e Extensão*, v. 8, n. 15, 2021.

ALVES, J. E. D. Sustentabilidade, Aquecimento Global e o Decrescimento Demo-econômico. *Revista Espinhaço*, v. 3, n. 1, 2014.

ARBEX, M. B., SANTOS, U.P., MARTINS, L.C., SALDIVA, P.H.N., PEREIRA, L.A.A., BRAGA, A.L.F. A poluição do ar e o Sistema respiratório. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. V. 38, n. 5, 2012.

ARRUDA DM, SCHAEFER CE, FONSECA RS, FERNANDES-FILHO EI, VELOSO GV, GOME, LC, SOLAR RR. Vegetações amazônicas e terras indígenas ameaçadas pelas próximas mudanças climáticas: Previsão de impacto nos biomas brasileiros. *Ecologia Austral*, v. 49, n. 1, e13394, 2024.

BAINY, B. K., PASCHOAL, I. A., AVILA, A. M. H. D., SANTOS, H. O. D. Avaliação da qualidade do ar no Sudeste do Brasil durante a pandemia da COVID-19 e do confinamento: relato de aumento da poluição atmosférica. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 37, 2021.

CARDOSO, R. S., DE PAULA, A. B., SPIGUEL, L. C., DE CARVALHO, O. C., SANTANA, S. A. A., AZEREDO, T. G. K., DE LIMA SOARES, S. C. Análise da qualidade da assistência fisioterapêutica por meio de indicadores assistenciais em saúde em uma unidade de terapia intensiva pediátrica da região norte. *Revista Sociedade Científica*, v 7, n.1, p 62-71, 2024.

CAUMO SL, GIODA A, CARREIRA R, JACOBSON, LSV, HACON S. Impactos na Saúde Humana Causados pela Exposição a Incêndios Florestais: As Evidências Obtidas nas Últimas Duas Décadas. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 30, n. 18, p. 182–218, 2016.

CAUMO SL, LAZARO WL, OLIVEIRA-JUNIOR ES, BRERINGUI K, GIODA A, MASSONE CG, ARREIRA R, FREITAS DS, IGNACIO ARA, HACON S. Human risk assessment of ash soil after 2020 wildfires in Pantanal biome (Brazil). *Air Qual Atmos Health*, v. 15, p. 2239-2254, 2022.

CETESB, 2021. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Qualidade do ar. Estado de São Paulo. São Paulo, 2021.

DE OLIVEIRA, B. L. A., DE SOUZA, R. A. F., ANDREOLI, R. V. Qualidade do ar na cidade de Manaus: material particulado e suas relações com as queimadas. *Geoconexões online*, v. 4, n. 2, p. 108-118, 2024.

DOMINGO L, COMAS M, JANSANA A, LOURO J, TIZÓN-MARCOS H, COS ML, et al., Impact of COVID-19 on Hospital Admissions and Healthcare Quality Indicators in Non-COVID Patients: A Retrospective Study of the First COVID-19 Year in a University Hospital in Spain. *Journal Clin Med*. V. 11, n. 7, 2022.

DOS SANTOS, M.C., MENDES, E.F., OLIVEIRA-JUNIOR, E.S. Pantanal sob pressão do desmatamento: pecuária e riscos de incêndios florestais. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 2024.

FERNANDES ASS, TERCEIRO IB. Queimadas e doenças respiratórias em crianças na cidade de Marabá, Pará. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 5, n. 1, p. 154–168, 2022.

FERNANDES, M.M.C.E, NASCIMENTO, J.A., VIANNA, R.P.T., SILVA, D.G., CRUZ, D.F. Fatores que influenciam a mortalidade infantil. *Unipar. Universidade Paraense*. V. 27, n. 6, p. 2353-2364, 2023.

FERREIRA CCM, OLIVEIRA DE. Estimativa da poluição veicular e qualidade do ar nas principais vias do sistema viário da região central da cidade de Juiz de Fora–MG. *Revista do Departamento de Geografia*, n. spe, p. 98-114, 2016.

FRANÇA, EB, LANSKY, S., REGO, MAS, MALTA, DC, FRANÇA, JS, TEIXEIRA, R., VASCONCELOS, AMN. Principais causas da mortalidade na infância no Brasil, em 1990 e 2015: estimativas do estudo de Carga Global de Doença. *Revista brasileira de epidemiologia*. v. 20, p. 46-60, 2017.

GARCIA, A., HELENA, E.S., FALCO, A., RIBEIRO, J.P., GIODA, A. GIODA, C.R. Efeitos toxicológicos do material particulado fino (PM 2.5): riscos à saúde e lesões sistêmicas associadas - revisão sistemática. *Poluição da água, do ar e do solo*, 2023.

IGNOTTI E, HACON SS, JUNGER WL, MOURÃO B, LONGO K, FREITAS S, ARTAX P, LEON ACMP. Poluição do ar e admissões hospitalares por doenças respiratórias na Amazônia subequatorial: abordagem de séries temporais. *Cad. Saúde Pública*, v. 26, n. 4, p. 747-761, 2010.

IKEDA-CASTRILLON SK, OLIVEIRA-JUNIOR ES, ROSSETTO OC, SAITO CH, WANTZAEN KM. The Pantanal: A Seasonal Neotropical Wetland Under Threat. In: *The Palgrave Handbook of Global Sustainability*. Palgrave Macmillan, p. 1-27, 2022.

INPE. Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios Florestais. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Sistemas de monitoramentos, 2022. Disponível em: <https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/queimadas/portal/> Acesso em: 10 de março de 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Cidades e Estados do Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html>. Acesso em: 20 de abril de 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio de Janeiro: 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/> Acesso em: 20 de abril de 2023. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas, Frota de veículo 2022. Brasil, 2022.

IQAir – Qualidade de ar no Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.iqair.com/brazil>, 2024. Acesso em: 4 de fevereiro de 2024.

KÜNZLI N, PEREZ L, RAPP R. Air quality and health. Lausanne. European Respiratory Society. v66, 2010

LAZARO WL, OLIVEIRA-JUNIOR ES, SILVA CJ, IKEDA-CASTRILLON SK, MUNIZ CC. Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: an overview of the Northern Pantanal water regime. *Acta Limnologica Brasiliensia* v.32, 2022.

LUIZA FERREIRA, A., SILVA, V.P. NASCIMENTO, A.D.C., ARRUDA, J.C., CATELAN, L.L.M., Sander, N.L., Silva, A.J. Registros de espécies arbóreas em herbário virtual com ênfase no município de Cáceres-MT, Brasil. *Peer Review*. V. 5, n. 16, 2023

MACORIN, R. P., NOGAROTTO, D. C., & POZZA, S. A. O isolamento social efetivamente impacta a qualidade do ar? o caso de Campinas–SP. *Holos Environment*, V. 21, n. 3, p. 350-373, 2021.

MALTA, D. C., GOMES, C. S., VELOSO, G. A., SOUZA, J. B. D., OLIVEIRA, P. P. V. D., FERREIRA, A. V. L., RIBEIRO, A. L. P. Carga das Doenças Crônicas Não Transmissíveis nos Países de Língua Portuguesa. *Ciência & Saúde Coletiva*. v 28, p 1549-1562, 2023

MapBiomass. Projeto MapBiomass – Mapeamento das áreas queimadas no Brasil coleção (2), 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/> Acesso: 24 de março de 2024

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* V. 403, p. 853-858, 2000.

NASERINEJAD N, COSTANIAN C, BIROT O, BARBONI T, ROUDIER E. Wildland fire, air pollution and cardiovascular health: is it time to focus on the microvasculature as a risk assessment tool?. *Frontiers in physiology*. V. 14, n. 1, 2023.

NEGRI, S. M. O plano diretor e a expansão territorial da cidade de Rondonópolis-MT. *Scientific Electronic Archives*. V. 16, n. 1, 2023.

PEREIRA TF, MUNIZ CC, OLIVEIRA-JUNIOR ES. Emissores de CO₂ em Mato Grosso por veículos automotores. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientas*. V.11, n. 3, p. 229-41, 2022.

Portal da Indústria de Mato Grosso, Indicadores industriais, 2023. Disponível em: <https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/mt>. Acesso: 02 de fevereiro de 2024.

Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico - SEDEC. Governo do Estado de Mato Grosso, 2023. Disponível em: <https://www.sedec.mt.gov.br/>. Acesso: 5 de Janeiro de 2024.

SILVA JUNIOR CA, SANTOS DH, TEODORO PE, DELGADO RC, TEODORO LPR, LIMA M. Fire in Brazilian Biomes in the face of emissions and international agreement. In: Anais / Proceedings XX SBSR, vol. 20, 2023.

TANURE T, CAMPOS RFA, REIS JC, BENZZEV R, NEWTON P, RODRIGUES RAR, OLIVEIRA AMO. As percepções dos agricultores sobre as mudanças climáticas afetam a adoção de tecnologias agrícolas sustentáveis nos biomas Amazonia brasileira e Mata Atlântica. Climatic Change: Bras. v. 177, n. 1, p. 8, 2024.

TEIXEIRA LM, BARROS IS, SICCO SG, DE AQUINO MENDES BV, PINATTI MS, TEFE-SILVA C, ZOCCAL KF. Interação do inflamassoma com as doenças respiratórias. Recima 21 – Revista Científica Multidisciplinas. V. 4, n 1, 2023.

URRUTIA-PEREIRA M, RIZZO LV, CHONG-NETO, HJ, SOLÉ D. Impacto da exposição à fumaça da queima de biomassa na Floresta Amazônica na saúde humana. Jornal Brasileiro de Pneumologia. V. 47, 2021.

Artigo 2

Altas concentrações de poluentes atmosféricos na Transição entre Pantanal, Cerrado e Amazônia revelam potenciais efeitos na saúde humana.

Maísa Consuelo dos Santos, Lucas Cardoso Ramos, João Basso Marques, Adriana Gioda, Sofia E. Caumo, Ernandes Sobreira Oliveira Junior

Revista: Ciências & Saúde Coletiva – Qualis A1

Resumo

As queimadas estão cada vez mais presentes no Brasil em períodos de estiagem, e áreas como o Pantanal, com muita matéria orgânica em seu solo, se tornam cada vez mais vulneráveis aos incêndios florestais. O Cerrado e a Amazônia também têm sofrido significativamente com as queimadas. Destaca-se que devido as queimadas, a concentração de Material Particulado ($MP_{2,5}$) na atmosfera aumenta consideravelmente o que pode ocasionar vários problemas de saúde, principalmente ligados aos sistemas cardiorrespiratórios. O município de Cáceres é estratégico nesse quesito, pois está em uma área onde se encontram esses três biomas. O objetivo desse estudo foi identificar a presença de metais tóxicos a partir de com coletas diárias de $MP_{2,5}$ utilizando um amostrador de alto volume (Hi-Vol) e análises laboratoriais. Dados meteorológicos, como temperatura, umidade e velocidade do vento, e informações sobre internações hospitalares também foram avaliadas aos impactos na qualidade do ar e na saúde pública. A concentração média diária de $MP_{2,5}$ foi de $32 \mu g/m^3$, com máxima diária de até $126 \mu g/m^3$, valores muito superiores aos limites recomendados pela OMS e CONAMA. As maiores concentrações ocorreram durante os meses de queimadas intensas, outubro e novembro, pois as chuvas chegaram mais tarde naquele ano em comparação aos anos anteriores. A análise identificou predominância de metais como $Mn > Cr > Pb > Cd$, além de concentrações preocupantes de Arsênio (As) e Cromo (Cr), ambos classificados como cancerígenos. Comparados a regiões urbanas e industrializadas da Europa e América do Norte, os níveis registrados foram significativamente mais elevados. O estudo constatou um aumento expressivo nas internações hospitalares no segundo semestre, com crescimento de até 38 % em comparação ao primeiro semestre do ano, período de seca e registros de intensas queimadas. Com isso, torna-se evidente que a poluição atmosférica não é exclusiva em grandes metrópoles, destacando a necessidade de monitoramento contínuo da qualidade do ar, bem como de ações preventivas e estratégias de vigilância em saúde, especialmente durante os períodos críticos de queimadas.

1. INTRODUÇÃO

Os desmatamentos e as queimadas são duas das maiores questões ambientais enfrentadas pelo Brasil atualmente e a evolução da combustão da matéria orgânica perpassa por quatro estágios: ignição, chamas, brasas e extinção. (Gonçalves et al., 2012). As queimadas são mais intensas em anos de seca extrema (Anderson et al., 2020) contribuindo com a degradação da biodiversidade, poluição do ar e dos recursos hídricos, e emissão de gases de efeito estufa (Cabral Junior et al., 2024).

O impacto do fogo varia significativamente entre os biomas e suas abrangências. No Cerrado a composição do solo sofre grandes alterações na população microbiana, valor de pH e oxidação da matéria orgânica provocadas pelo acúmulo de cinzas (Redin et al., 2011; Brandão et al., 2024). A Amazônia é um grande regulador do clima do planeta, evapotranspiração da floresta alimenta os extensos "rios voadores" e a severidade das secas altera o regime de fogo, amplificando as queimadas de forma brutal, alterando este complexo regime hidrológico mundial (Copertino et al., 2019; Lemos et al., 2021). No Pantanal houve um aumento significativo no número de dias sem precipitação e uma redução de 16 % na massa de água durante a estação seca, em comparação com os anos 1960 e 17 milhões de animais vertebrados morreram devido aos incêndios (Lazaro et al., 2022; Tomas et al., 2020) fora as perdas imensuráveis.

A poluição atmosférica produzida pelas queimadas também representa um grave risco para a saúde da população, especialmente em crianças, idosos e pessoas vulneráveis às doenças pulmonares e cardíacas preexistentes (Coelho et al., 2023) Essa agressão à saúde humana está relacionada com a presença especialmente do material particulado ($MP_{2,5}$) que por ser tão fino tem grande facilidade de invasão tendo como porta de entrada as vias aérea e posteriormente através da corrente sanguínea afetar todo organismo (Silva et al., 2023; Jacobson, et al., 2024).

A lesão exacerbada a exposição, especialmente do $MP_{2,5}$, é tão danosa que de acordo com a Organização Mundial da Saúde – OMS, 7 milhões pessoas morrem prematuramente por ano em todo mundo, impactando também nos

custos na assistência à saúde com internações e tratamento médico (OPAS, 2021; Bochini et al., 2022). O limite anual estabelecido pela OMS é $5 \mu\text{g m}^{-3}$, pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) é $12 \mu\text{g m}^{-3}$ e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), pela Resolução CONAMA nº 506 de 2024 é de $50 \mu\text{g m}^{-3}$, a diferença dos limites de exposição pode caracterizar a vulnerabilidade da legislação em nosso país, e não há diferença nos limites para exposição urbana em relação as queimadas em áreas remotas e/ou rurais (Silva, et al., 2010).

E sendo o $\text{MP}_{2.5}$ um conjunto de vários elementos, a sua composição é determinada de acordo com fonte de emissão, muitos metais podem estar presentes bem como a interação com outros poluentes já encontrados no ar (Wu, et al., 2018; Tagliani et al., 2018; Soleimani et al., 2018). Alguns elementos tóxicos presentes no MP são, Pb – Chumbo; Cd – Cádmio; Cr – Cromo; As – Arsênio; Mn – Manganês; Hg – Mercúrio; Fe – Ferro; Al – Alumínio e Zn – Zinco (De Souza, 2021). Entre os poluentes, o As é o elemento mais tóxico prejudicial aos organismos vivos, bem como o Cd, ambos oferecem grandes riscos cancerígenos (Hambaz et al., 2022; Hill et al., 2021).

O estado de Mato Grosso destaca-se nacionalmente na produção agropecuária, na produção de grãos e grandes áreas cultivadas, cerca de $903.208,362 \text{ km}^2$ e com população de 3.658.649 de pessoas (IBGE, 2023; IBGE 2022). Associadas às atividades antropogênicas e às características climáticas, as queimadas têm se intensificado nos últimos anos (Santana et al., 2016; Pereira e Silva, 2016; Santos et al., 2024). O município de Cáceres, MT, está localizado em uma região onde convergem três bioma e também é afetado por essas queimadas. Este trabalho teve como objetivo monitorar as concentrações de $\text{MP}_{2.5}$ e a composição elementar, correlacionando com dados meteorológicos e registros de internações hospitalares.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado no município de Cáceres, MT, que possui 89.681 habitantes e uma densidade demográfica de 3,66 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2022). Esse município ocupa a vigésima posição em relação ao Produto Interno Bruto (PIB) de Mato Grosso (IBGE, 2021) e não apresenta um polo industrial. No entanto, enfrenta recorrentes queimadas, resultando em cenários críticos de incêndios no Pantanal, como ocorreu em 2020 (Garcia et al., 2021). Esses eventos adversos decorrem da interação entre atividades antrópicas, como as práticas e manejo da pecuária, e mudanças nos padrões de precipitação e temperatura (Dos Santos et al., 2023; Lazaro et al., 2020; Marengo et al., 2021).

2.2 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos foram obtidos pela estação meteorológica Equipamento HOBO RX2100 station - cell-4G da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT localizada no mesmo local de coleta do amostrado. Dados meteorológicos: temperatura (°C), vento (km/h), umidade (%), precipitação (mm), pressão atmosférica (hPa) e ainda valores do manômetro (rotação do motor do aparelho de alto volume). Para todos os dias de coleta os dados meteorológicos foram registrados antes e após da troca dos filtros coletados em 24h.

2.3 Coleta de Material Particulado

As amostras de MP_{2,5} foram coletadas em Cáceres, MT, entre os meses de agosto de dezembro de 2023. O local de amostragem foi na estação meteorológica da Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, aproximadamente 5km do centro da cidade (16°04'37"S 57°38'59"W), próximo a BR MT 343 e zona rural. Foram 94 amostras de MP_{2,5} coletadas por um amostrador de alto volume, também conhecido pela sigla inglês *Hi-Vol*, a uma vazão de 1,09 m³ por minuto durante 24 horas, utilizando filtros de quartzo (com área de exposição de 515 cm²), filtros comumente utilizados em aplicações de alto volume, conforme descrito por (Kgabi, 2010).

Os filtros foram aquecidos a 120°C por duas horas, pesados em balança analítica e armazenados em folhas de alumínio até sua utilização. Após a filtragem, os filtros foram retirados do amostrador, novamente pesado para obtenção e análise de massa de MP_{2,5} e armazenados em folhas de alumínio e em seguida acondicionados na geladeira até as análises laboratoriais. Um filtro branco foi armazenado como controle.

No Brasil, a medição de material particulado segue as diretrizes da Norma Técnica 9547/1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, no uso das competências que lhe são conferidas pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, regulamentada pelo Decreto nº 99.274, de 6 de julho de 1990. Este padrão estabelece um método de ensaio para determinar a concentração máxima de partículas em suspensão no ar ambiente, utilizando o amostrador de grande volume. Este processo de medição é não-destrutivo e a quantidade de amostra coletada geralmente é adequada para análises químicas subsequentes (ABNT, 1997).

2.3 Análise da composição elementar

Das 94 amostras, 20 foram selecionadas para determinação de metais, bem como os filtros branco. Uma área determinada de cada amostra (± 90 cm²), assim como de cada filtro em branco (± 45 cm²) foi utilizada para extração em solvente ácido (Mateus et al. 2013). 5 mL de ácido nítrico concentrado bidestilado (HNO₃) foi utilizado em cada amostra e submetidos a aquecimento (100 °C por 2 h). Posteriormente, o extrato resfriado foi diluído com 45 mL de água ultrapura e centrifugado por 4 min a 2000 rpm. Após a extração, as composições elementares foram determinadas por espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS, PerkinElmer®, Massachusetts, EUA). Dos 67 elementos analisados apenas quinze elementos (Li, Be, Ti, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, As, Rb, Cd, Au, Pb e Hg) foram detectados acima do limite de quantificação nas amostras. A curva analítica foi preparada a partir de soluções de calibração (PerkinElmer 29, PerkinElmer 17 e PerkinElmer 12 de 1000 µg L⁻¹) em água ultrapura (5% v/v) e acidificada com HNO₃, com concentração variando de 1 a 1000 µg L⁻¹ de acordo com Justo et al (2022).

2.4 Dados de internação hospitalar

Os dados de internação hospitalar foram extraídos a partir da base de dados da Secretaria Estadual de Saúde do Estado de Mato Grosso – SES/MT. Foram considerados todos os pacientes hospitalizados e residentes em Cáceres MT. Os dados estão disponíveis no Repositório de dados dos Sistemas de Informação da Secretaria de Estado de Saúde de Mato Grosso (<http://appweb3.saude.mt.gov.br/dw/>). Os filtros utilizados foram: número de óbito, ano de internação, diagnóstico principal, idade, mês de internação, município de residência entre os anos de 2018 a 2023.

2.5 Análises de dados

Os dados foram analisados de forma descritiva de acordo com as Resoluções vigentes (Resolução CONAMA nº 506 de 2024, OMS - Diretrizes globais de qualidade do ar). Além disso, foram utilizados dados de concentração de $MP_{2,5}$, velocidade do vento e distância de queimadas, plotados em gráficos 3D com Python (matplotlib). Os dados foram previamente limpos e processados para remover valores nulos e garantir a consistência. A correlação de Pearson foi calculada para verificar a relação linear entre $MP_{2,5}$ e as variáveis selecionadas (vento e distância de queimadas), com coeficientes r indicando a força e direção das correlações.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As concentrações de massa de $MP_{2,5}$ ultrapassaram os valores recomendados pela Organização Mundial da Saúde - OMS ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA ($60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pela resolução nº 506 de 2024. Observou-se variação na concentração diária de $MP_{2,5}$, com valores oscilando entre $1 \mu\text{g}.\text{m}^{-3}$ e $126 \mu\text{g}.\text{m}^{-3}$ (Figura 1) e média de $31,5 \pm 24,3 \mu\text{g}.\text{m}^{-3}$. Em Guangzhou, na China, uma das maiores cidades chinesas, com população superior a 10 milhões de habitantes, a média registrada foi superior à deste estudo, atingindo $79,2 \pm 34,2 \mu\text{g}.\text{m}^{-3}$ (Tao et al., 2018). No Brasil, em Alta Floresta (MT), durante o período de queimadas, verificou-se uma concentração

média diária de $22,8 \pm 33,8 \mu\text{g.m}^{-3}$ (Carmo et al., 2010). Neste estudo, o mês de outubro apresentou a média mais alta de concentração de $\text{MP}_{2,5}$ ($30,6 \pm 21,8 \mu\text{g.m}^{-3}$), enquanto a amostra com maior concentração foi registrada em novembro, alcançando $126 \mu\text{g.m}^{-3}$.

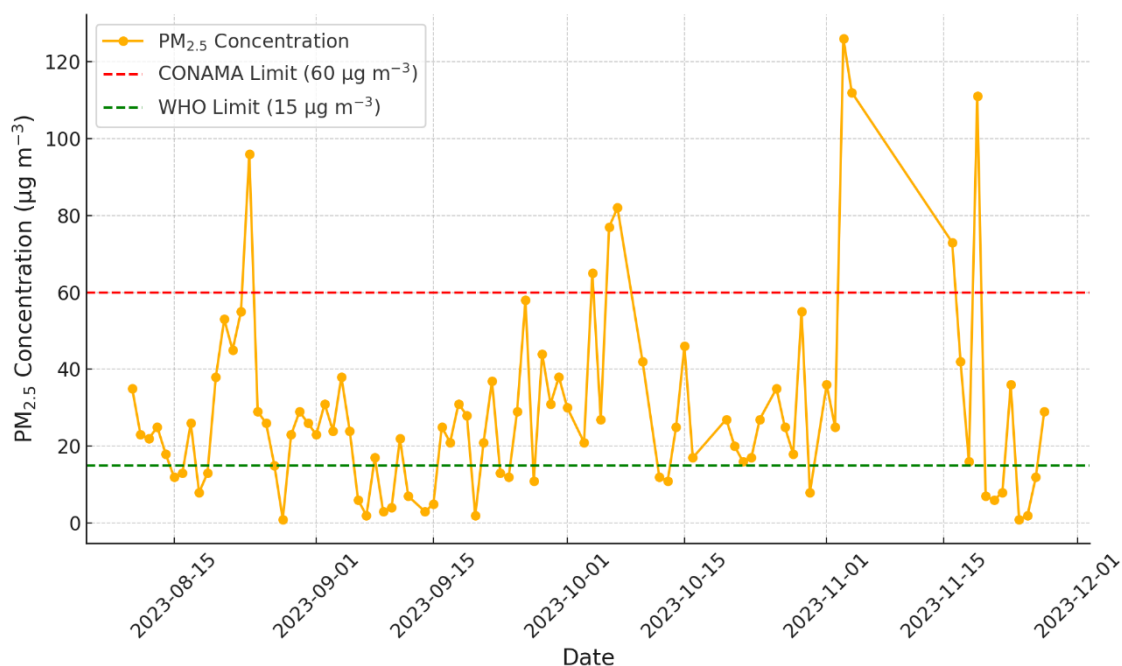


Figura 01. Diferença de concentração de $\text{MP}_{2,5}$ durante os meses de agosto a dezembro de 2023 em relação aos valores estabelecidos pelo OMS e CONAMA.

As últimas Diretrizes de Qualidade do Ar da OMS (2021) recomendam o limite de concentração para esses poluentes $15 \mu\text{g.m}^{-3}$ em 24 horas. Dos 94 dias de coletas analisadas, 70% dos dias apresentaram valores acima do recomendado pela OMS e 9,7% tiveram acima dos valores estabelecidos pela CONAMA. Um estudo conduzido em Manaus, com amostras coletados de 2003 a 2021, as concentrações de $\text{MP}_{2,5}$ atingiram média acima de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ em 24 horas, o que foi atribuído ao intenso período de queimada (Oliveira et al., 2024).

A média de temperatura do período estudado foi de 34°C e umidade de 49%. O dia que apresentou maior concentração ($126 \mu\text{g.m}^{-3}$) observou-se temperatura de 32°C e umidade de 40%, em um dia com umidade de 90% a concentração foi de $0,007 \mu\text{g.m}^{-3}$ (Figura 02). Dias mais secos facilitam a não deposição das partículas, as baixas umidades relativas estão associadas a maior concentração de poluentes, interagindo também com o volume de poeira

suspensa (Santos et al., 2019). Através da relação entre a concentração de $MP_{2,5}$ a velocidade do vento e a distância das queimadas, observou-se que conforme a distância da queimada aumenta, a concentração de $MP_{2,5}$ tende a diminuir, embora a correlação entre essas variáveis seja fraca ($r = -0,04$). Da mesma forma, a velocidade do vento tem um leve efeito inverso sobre os níveis de $MP_{2,5}$, com correlação negativa ($r = -0,14$), indicando que ventos mais fortes ajudam a dispersar os poluentes. A ausência de dados significativos pode ser justificada pela complexidade dos fatores que influenciam a concentração de $MP_{2,5}$. Embora variáveis como distância das queimadas e velocidade do vento possam ter um impacto, a dispersão de partículas no ar é influenciada por uma série de fatores adicionais, como topografia, umidade, pressão atmosférica, e fontes múltiplas de poluição (Júnior et al., 2020).

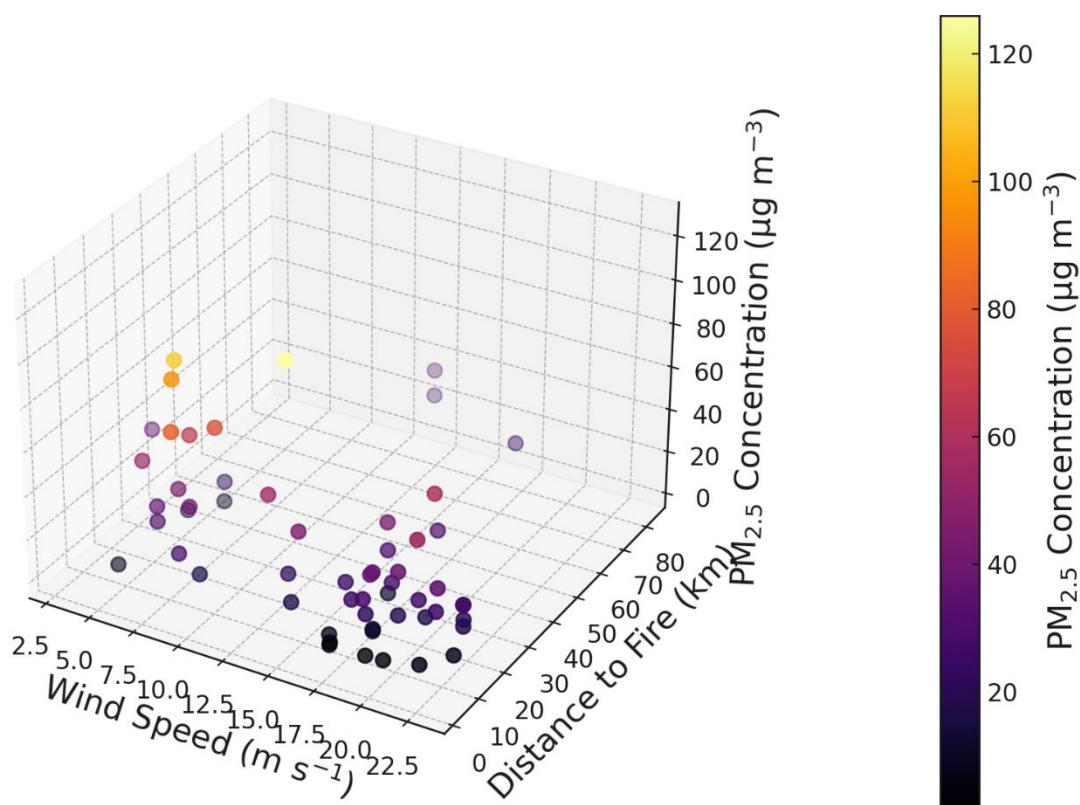


Figura 02. Relação entre concentração de $MP_{2,5}$, velocidade do vento e distância das queimadas durante os meses de agosto a dezembro de 2023.

Entre o método de análise empregado, obtivemos resultados de catorze elementos (Li, Be, Ti, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, As, Rb, Cd, Au, Pb e Hg). Os resultados indicam a presença de metais potencialmente tóxicos como Mn, Cr, Cu Pb nas

amostras coletadas. O Mn e o Cr seguem com proporções de 21,6% e 18,5%, respectivamente (Figura 3A e 2B). Já outros metais como o Cu, Rb e Pb, apresentaram respectivamente 17,1, 6,3 e 6,1%. As observações meteorológicas para o dia 17/08/2023 indicaram ocorrência de chuvas isoladas, enquanto para o dia 06/09/2023 foi registrada uma umidade relativa elevada em comparação aos últimos quinze dias. Este acréscimo no peso pode levar a uma diluição da concentração de metais por unidade de volume de ar, o que pode justificar a redução percentual de metais no material particulado em dias de maior umidade, assim como a alteração na composição das partículas (Zhao et al., 2021; Oliveira et al., 2024).

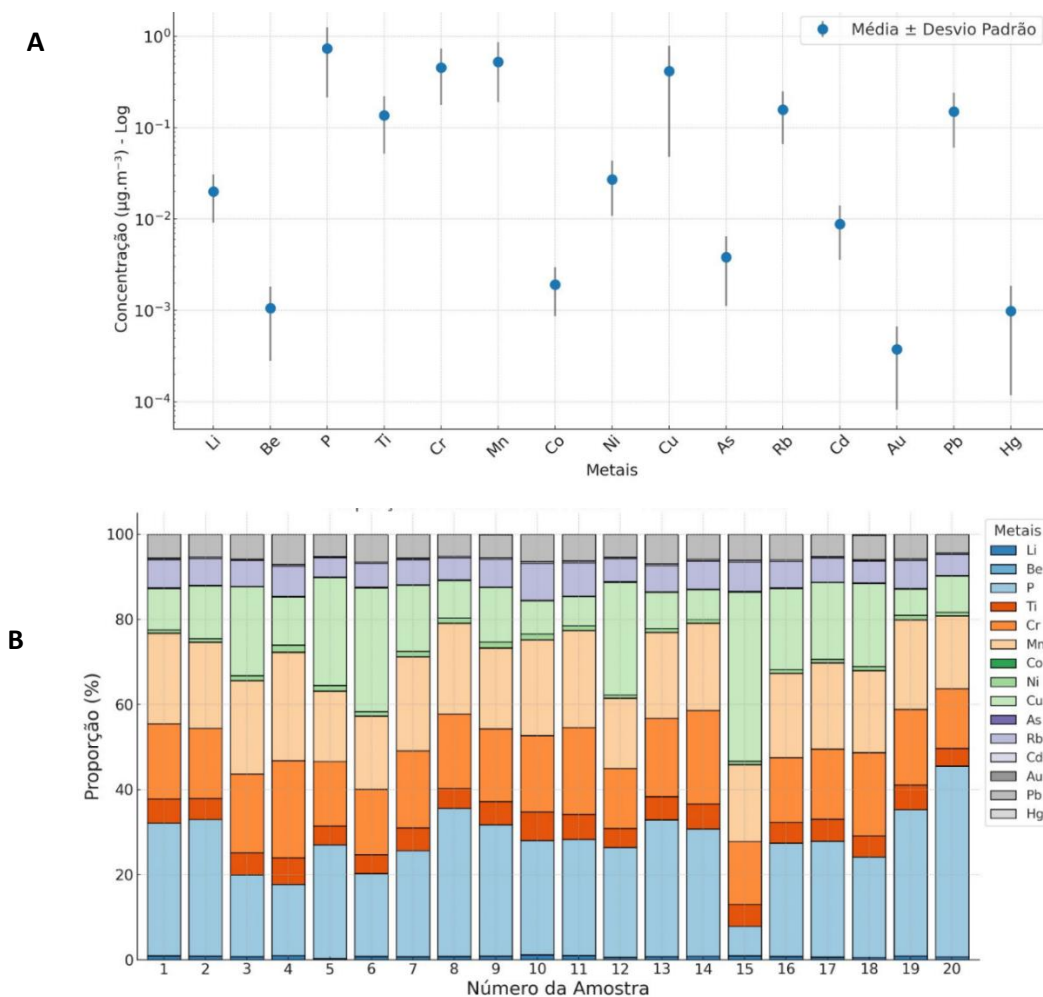


Figura 3. A. Concentração dos metais analisados; B. Proporção da concentração nos filtros amostrados entre os meses de agosto a dezembro de 2023.

A concentração média de Mn foi de $0,52 \mu\text{g.m}^{-3}$, está acima dos níveis observados em outras áreas urbanas do Brasil e outros países. Em comparação, pesquisadores identificaram concentrações máximas $0,43 \mu\text{g.m}^{-3}$ em regiões próximas a indústrias de ferroliga e áreas com tráfego intenso na Espanha, ressaltando o impacto potencial de fontes industriais nas concentrações de Mn no ar (Moreno et al 2011). Ainda na Espanha, pesquisadores amostraram em regiões rurais e urbanas, e encontraram um máximo de $2 \mu\text{g.m}^{-3}$ e até $10 \mu\text{g.m}^{-3}$, respectivamente, fato relacionado principalmente pela produção de aço (Querol et al 2007). Já no Brasil, em Manaus, a concentração de Mn encontrada foi menor, $0,02 \mu\text{g.m}^{-3}$ (Silva, 2020). Veículos automotores e queima de biomassa podem ser fontes de emissão de manganês (Elhadi et al., 2018), o que pode ter ocorrido em Cáceres, pois o período de amostragem corresponde àquele com maior intensidade de queimadas (Dos Santos, et al., 2024).

A média concentração de Cr foi de $0,45 \mu\text{g.m}^{-3} \pm 0,27 \mu\text{g.m}^{-3}$ e estão acima de vários trabalhos de outros pesquisadores (Gao et al 2002). Por exemplo, um estudo em Nova Jersey mediu concentrações de cromo hexavalente (Cr(VI)) no ar urbano, com níveis totais de Cr(VI) médios de $0,002 \mu\text{g.m}^{-3}$ (Gao et al 2002), mais baixo do que as concentrações observadas neste estudo. Da mesma forma, os níveis de cromo em regiões industriais foram relatados um valor máximo de $0,00156 \mu\text{g.m}^{-3}$ em Nova Jersey nos Estados Unidos (Huang et al 2014). Enquanto a média de Cd foi de $0,04 \mu\text{g.m}^{-3} \pm 0,02 \mu\text{g.m}^{-3}$, comparações mostram que as concentrações atmosféricas urbanas típicas são muito menores, geralmente abaixo de $0,0001 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $0,005 \mu\text{g.m}^{-3}$ (ATSDR (*Agency for Toxic Substances and Disease Registry*)).

As amostras de Cáceres tiveram média de $0,15 \mu\text{g.m}^{-3} \pm 0,08$ variando de $0,06$ a $0,43 \mu\text{g.m}^{-3}$ (figura 3). Além disso, o valor máximo de Pb foi 3 vezes maior que o limite estabelecido pela USEPA (2019). Um estudo realizado em Pequim (China) relatou concentrações médias de Pb de $0,26 \mu\text{g.m}^{-3}$ entre 2010 e 2013 (Guo, 2013), mas reduziu para $0,02 \mu\text{g.m}^{-3}$ entre 2017 e 2019 (Liu et al. 2019), o que indica que a poluição por Pb nas amostras coletas nesta pesquisa é comparável a áreas fortemente industrializadas. O Pb entra no corpo principalmente por inalação e por ser um metal altamente tóxico, além de afetar

o sistema nervoso e cardiovascular, a toxicidade do Pb prejudica também o sistema renal (Moreira e Moreira, 2004).

Entre os elementos tóxicos menos abundantes nas amostras analisadas destacam-se o Mercúrio (Hg), Arsênio (As) e Cádmio (Cd) todos inferiores a 1% do total de metais detectados, com médias de $0,001 \mu\text{g.m}^{-3}$, $0,004 \mu\text{g.m}^{-3}$ e $0,009 \mu\text{g.m}^{-3}$ respectivamente. Apesar de estarem presentes em quantidades reduzidas, esses elementos possuem significativa relevância ambiental e implicações para a saúde pública. O mercúrio (Hg) é amplamente reconhecido pelo seu alto potencial tóxico, especialmente na forma metilada, que se bioacumula na cadeia alimentar e ameaça organismos em níveis tróficos superiores (Lazaro et al., 2013). Sua presença, mesmo em pequenas quantidades, pode estar relacionada à combustão de combustíveis fósseis e à mineração, embora o município de Cáceres apresente um contexto diferente. A exposição ao Hg pode causar efeitos neurotóxicos, infecções respiratórias e danos cognitivos (Zhou e Christiani, 2002; Zajar et al., 2009). Já o cádmio (Cd) está associado a danos cardiovasculares, afetando especialmente crianças (Hill et al., 2020), enquanto em adultos a hipertensão pode ser um dos primeiros sintomas (Richter et al., 2019). A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2006) estima que a poluição atmosférica seja responsável por cerca de 3 milhões de mortes anuais.

Os dados de internação hospitalar analisados no município de Cáceres (MT) evidenciam o impacto significativo da poluição atmosférica, especialmente durante o período crítico de queimadas. De junho a dezembro (2023), período marcado por seca severa e aumento de incêndios, houve um crescimento expressivo nas internações hospitalares por doenças respiratórias, cardiovasculares e neoplasias. Comparando os semestres, o segundo apresentou um aumento médio de 38% nas hospitalizações em relação ao primeiro. Esse padrão se alinha aos achados de Novais et al. (2024), que destacaram o aumento das internações durante os meses mais secos.

Em 2022, o impacto foi ainda mais evidente, com as internações hospitalares em Cáceres crescendo 83%, reforçando a conexão entre condições

ambientais adversas e o agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares. Esse aumento em Cáceres foi significativamente superior à média nacional. Durante o mesmo período, o Brasil registrou um crescimento de 58% nas internações por pneumonia em 2022, em comparação com 2021 (Dutra et al., 2024), Cáceres registrou aproximadamente 1,43 vezes maior do que a média nacional.

O ano de 2019 concentrou 59% das internações hospitalares no segundo semestre, coincidindo com o aumento das queimadas e condições climáticas desfavoráveis, como alta temperatura e baixa umidade relativa do ar. Esses fatores contribuem diretamente para a maior concentração de material particulado fino, elemento amplamente associado a doenças respiratórias, como asma, pneumonia e bronquite, além de condições cardiovasculares, como hipertensão e insuficiência cardíaca (Lan et al., 2016; Marques Torres et al., 2020).

Por outro lado, em 2020, apesar de registrar o maior índice de área queimada do Pantanal nos últimos anos – com 30% da região devastada pelo fogo (Pivelo et al., 2021) – o número de internações foi atipicamente mais baixo. Tal discrepância pode ser explicada pelo contexto da pandemia de COVID-19, que afetou tanto a busca por serviços de saúde quanto o registro adequado dos dados hospitalares (Dos Reis et al., 2023). A dificuldade de acesso ao sistema de saúde durante a pandemia, aliada a possíveis falhas no preenchimento e codificação de registros, contribuiu para a subnotificação de casos relacionados à poluição atmosférica.

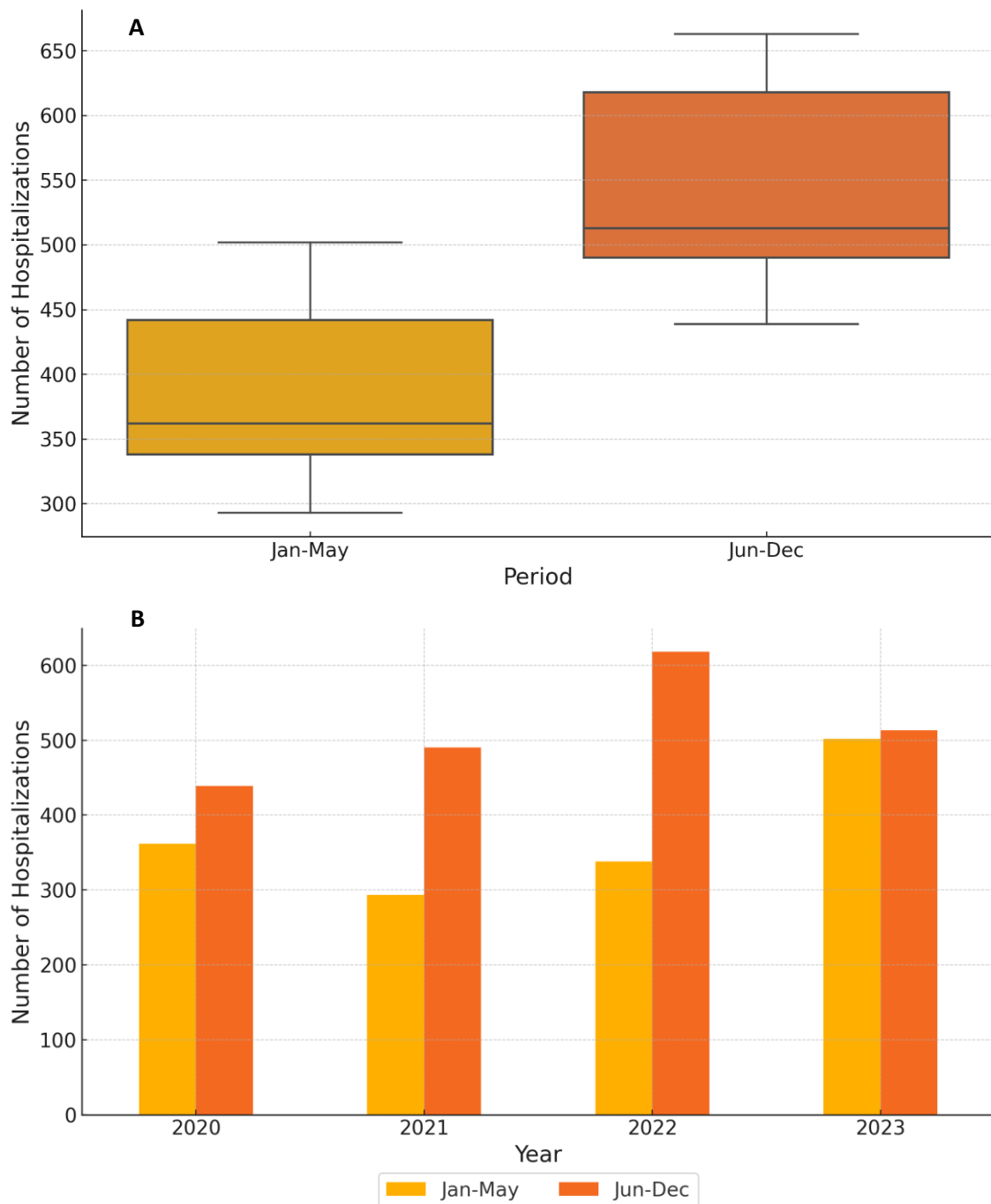


Figura 5. **A)** Número de internações por doenças respiratória, cardiovascular e neoplasias, entre os meses de janeiro a maio e junho a dezembro; e **B)** diferenciando o período analisado para cada ano (2019 a 2023).

A presença de poluentes atmosféricos, como chumbo (Pb), arsênio (As), cádmio (Cd) e manganês (Mn), identificados no estudo, pode agravar quadros respiratórios e sistêmicos, afetando principalmente crianças, idosos e indivíduos

com comorbidades preexistentes (Honda et al., 2018; Garcia et al., 2023). Além disso, as condições climáticas, como baixa umidade e altas temperaturas, favorecem a suspensão prolongada de partículas finas no ar, intensificando os efeitos deletérios à saúde (Souza et al., 2018).

4. CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo evidenciaram que as concentrações de MP_{2,5} e a presença de metais manganês (Mn), cromo (Cr), chumbo (Pb) e cádmio (Cd), em regiões sujeitas a queimadas, ultrapassaram os limites estabelecidos pelas diretrizes nacionais e internacionais de qualidade do ar, como as da OMS e do CONAMA. Durante o segundo semestre, período de maior ocorrência de queimadas, houve um aumento expressivo no número de internações hospitalares por doenças respiratórias e cardiovasculares, confirmando a relação direta entre a exposição ao MP_{2,5} e o agravamento de condições de saúde, particularmente em populações vulneráveis.

O estudo reforça a necessidade de monitoramento contínuo da qualidade do ar, com foco na análise detalhada dos poluentes presentes, como os metais tóxicos identificados neste trabalho. A presença de chumbo (Pb) em concentrações acima dos limites recomendados, bem como de outros metais como cromo (Cr) e cádmio (Cd), eleva os riscos de impactos neurotóxicos, respiratórios, cardiovasculares e cancerígenos, especialmente em crianças e indivíduos com comorbidades, destacando a urgência de ações preventivas e políticas públicas eficazes.

Agradecimentos

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio financeiro ao meu projeto de pesquisa através da bolsa n. 88887.726514/2022-00, a Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT, ao Centro de Pesquisa de Limnologia, Biodiversidade, Etnobiologia do Pantanal (CELBE) pelo apoio estrutural e técnico, ao Laboratório de Ictiologia do Pantanal Norte – LIPAN e Laboratório de Ecofisiologia Ambiental – LEFA por oferecerem estrutura laboratorial, possibilidades de integração com muitos pesquisadores e instituições, a Fundação Oswaldo Cruz – FIOCRUZ, Ponteira Universidade

Católica do Rio de Janeiro – PUC RJ pelo apoio financeiro, disponibilidade das análises laboratoriais e empréstimo do *Hi-Vol*, Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT pela parceria nas coletas e manutenção dos equipamentos e ao Ministério Público do Estado de Mato Grosso – MP/MT pelo incentivo financeiro.

5. Referência Bibliográfica

ANDERSON, L.; 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* [Internet], v. 44, spe2, p. 284–302, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-11042020e220>. Acesso em: 03 dez. 2024.

ATSDR – AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. ToxGuide for cadmium. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, 2012. Disponível em: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxguides/toxguide-5.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2024.

BALALI-MOOD, M.; NASERI, K.; TAHERGORABI, Z.; KHAZDAIR, M. R.; SADEGHI, M. Toxic mechanisms of five heavy metals: mercury, lead, chromium, cadmium, and arsenic. *Frontiers in Pharmacology*, v. 12, p. 643972, 2021. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2021.643972/full>. Acesso em: 28 dez. 2024.

BARKLEY, M. P. et al. Substantial nitrogen oxides emission from boreal fires in the Northern Hemisphere. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 116, n. 52, p. 26467–72, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1906091116>. Acesso em: 28 dez. 2024.

BEZERRA, A. P. X. G.; DE SOUZA, W. M.; DE HOLANDA, R. M. Poluição atmosférica: as fontes do setor portuário. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, v. 21, n. 8, p. 9584–99, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv21n8-095>. Acesso em: 28 dez. 2024.

BOCHINI, R. V.; FREITAS, A. C. V. Estimativa dos custos à saúde associados às emissões de material particulado inalável para o município de Itabira, MG. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* [Internet], v. 13, n. 10, p. 177–191, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.010.0015>. Acesso em: 22 dez. 2024.

BRANDÃO, C. L. et al. A relação entre solo e fogo nos ecossistemas do cerrado maranhense. *Caderno Pedagógico* [Internet], v. 21, n. 10, p. e9406, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n10-236>. Acesso em: 10 dez. 2024.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SECRETARIA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE. Investigação de surto de intoxicação pelo bário, Goiás - junho de 2003. *Boletim Epidemiológico* [Internet]. Disponível em:

https://bvsms.saude.gov.br/bvs/periodicos/boletim_eletronico_epi_ano03_n03.pdf. Acesso em: 12 dez. 2024.

BROOKE, J. S. A. et al. Deposição de fumaça meteórica nas regiões polares: uma comparação de medições com modelos atmosféricos globais. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, v. 122, p. 11112–30, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2017jd027143>. Acesso em: 28 dez. 2024.

CABRAL JUNIOR, F. O.; CYRNE, C. C. da S.; TURATTI, L. As queimadas no estado do Pará, Brasil: impactos ambientais, sociais e econômicos. *Cuadernos de Educación y Desarrollo [Internet]*, v. 16, n. 9, p. e5416, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/cuadv16n9-002>. Acesso em: 05 dez. 2024.

CALDERÓN-GARCIDUEÑAS, L. et al. Air pollution, a rising environmental risk factor for cognition, neuroinflammation and neurodegeneration: the clinical impact on children and beyond. *Revue Neurologique*, v. 172, n. 1, p. 69–80, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2015.10.008>. Acesso em: 28 out. 2024.

CARMO, C. N. et al. Associação entre material particulado de queimadas e doenças respiratórias na região sul da Amazônia brasileira. *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 27, n. 1, p. 10–6, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.org/pdf/rpsp/2010.v27n1/10-16/pt>. Acesso em: 28 out. 2024.

CHATAUT, G. et al. Greenhouse gases emission from agricultural soil: a review. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 11, p. 100533, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100533>. Acesso em: 28 out. 2024.

CHEN, H. W. Exposure and health risk of gallium, indium, and arsenic from semiconductor manufacturing industry workers. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 78, n. 1, p. 5–9, 2007. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00128-007-9079-9>. Acesso em: 28 out. 2024.

CHOWDHURY, R. et al. Environmental toxic metal contaminants and risk of cardiovascular disease: systematic review and meta-analysis. *BMJ*, v. 362, p. k3310, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmj.k3310>. Acesso em: 28 set. 2024.

COELHO T.F., DE SOUZA A.R., DE LIMA E SOUZA J.A.P.L. Chronic exposure to lead, cadmium, and arsenic increases risk of cardiovascular disease. *Journal of the American Heart Association*, 2023. Acesso em: 28 set. 2024.

COPERTINO, M.; PIEDADE, M. T. F.; VIEIRA, I. C. G.; BUSTAMANTE, M. Desmatamento, fogo e clima estão intimamente conectados na Amazônia. *Ciência e Cultura [Internet]*, v. 71, n. 4, p. 04–05, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.21800/2317-66602019000400002>. Acesso em: 12 dez. 2024.

CORÍPIO, I. C. et al. Poluição atmosférica e doenças cardiovasculares: impacto sobre as internações hospitalares. *ASSOBRAFIR Ciência*, v. 14, 2023.

Disponível em: <https://doi.org/10.47066/2177-9333.ac.2022.0061>. Acesso em: 28 set. 2024.

CUNHA, L. T.; ABREU, M. C.; BARIN-CRUZ, L. Visão comparativa das estratégias climáticas adotadas por multinacionais do setor de alumínio no Canadá e no Brasil. *Gestão & Produção*, v. 22, n. 3, p. 495–507, 2015.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/gp/a/MhVrpHHcyhz5FPhMMw6DSrw/abstract/?lang=pt>.

Acesso em: 28 set. 2024.

DE ARAÚJO, G. C. A atuação do profissional de saúde no atendimento às crianças e aos adolescentes vítimas de violência doméstica. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 9, n. 2, p. 239–47, 2023.

Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/368915896>. Acesso em: 28 set. 2024.

DE ARRUDA SOUZA, C.; OLIVEIRA JUNIOR, E. S.; HACON, S. S. Serviços ecossistêmicos da Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 17, p. 178–98, 2024. Disponível em:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/256805>. Acesso em: 28 nov. 2024.

DE LA CRUZ, A. R. H. Air quality monitoring and assessment: a multidisciplinary study. 2018. Tese (Doutorado) — PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/36185/36185.PDF>. Acesso em: 28 nov. 2024.

DE SOUSA, T. C. M. et al. Doenças sensíveis ao clima no Brasil e no mundo: revisão sistemática. *Revista Panamericana de Salud Pública*, v. 42, p. 85, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.26633/rpsp.2018.85>. Acesso em: 28 dez. 2024.

DE SOUZA PELLEGRINI, I. Desenvolvimento de métodos para determinação de metais e metalóides em amostras de sangue animal por DMA e TXRF [Internet]. 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/45147>. Acesso em: 28 dez. 2024.

DIAO, Y. et al. Phosphorus dynamics in atmospheric aerosols and implications for biogeochemical cycles. *Earth-Science Reviews*, v. 240, p. 104345, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104345>. Acesso em: 28 nov. 2024.

DOMINGO, K. N. et al. Impact of climate change on paediatric respiratory health: pollutants and aeroallergens. *European Respiratory Review*, v. 33, n. 172, 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39009406/>. Acesso em: 28 nov. 2024.

DOS REIS, J. B. C. et al. Diagnóstico das áreas queimadas no Pantanal entre 2001 e 2020. 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/diagnostico-das-areas-queimadas-no-pantanal-entre-2001-e-2020?lang=pt-br>. Acesso em: 28 set. 2024.

DOS SANTOS, M. C. et al. Ocorrências das queimadas em Cáceres – MT em 2024: uma preocupação anunciada. Nota técnica. UNEMAT, 2024. Disponível em: <https://unemat.br/noticias/12-9-2024-pesquisadores-da-unemat-emitem-nota-tecnica-sobre-impactos-das-queimadas-na-saude-da-populacao-do-pantanal>. Acesso em: 28 dez. 2024.

DUARTE, I. N. et al. Biotita: fonte de potássio para agricultura. *Análise*, v. 650, n. 230, 2012. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13241>. Acesso em: 28 nov. 2024.

DUTRA, A. S. de S. et al. Pneumonia no Brasil: uma comparação da incidência hospitalar pré e pós-pandemia de COVID-19. *Revista Caderno Pedagógico [Internet]*, v. 21, n. 5, p. e4267, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.54033/cadpedv21n5-217>. Acesso em: 30 dez. 2024.

ELHADI, R. E. et al. Seasonal variations of atmospheric particulate matter and its content of heavy metals in Klang Valley, Malaysia. *Aerosol and Air Quality Research*, v. 18, p. 1148–61, 2018. Disponível em: <https://aaqr.org/articles/aaqr-17-03-0a-0113>. Acesso em: 28 nov. 2024.

FESTA, L. et al. Underreporting of unfavorable outcomes of congenital syphilis on the Notifiable Health Conditions Information System in the state of São Paulo, Brazil, 2007-2018. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 32, n. 2, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ress/a/ztk6JFzXyBsg7cJCdSyCcDJ/>. Acesso em: 28 nov. 2024.

GAO, Y. et al. Characterization of atmospheric trace elements on PM_{2.5} particulate matter over the New York-New Jersey harbor estuary. *Atmospheric Environment*, v. 36, p. 1077–86, 2002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231001003818>. Acesso em: 28 nov. 2024.

GARCIA, A. et al. Toxicological effects of fine particulate matter PM_{2.5}: Health risks and associated systemic injuries—systematic review. *Water, Air, & Soil Pollution*, v. 234, n. 6, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06278-9>. Acesso em: 28 dez. 2024.

GARCIA, L. C. et al. Record-breaking wildfires in the world's largest continuous tropical wetland: Integrative fire management is urgently needed for both biodiversity and humans. *Journal of Environmental Management*, v. 293, p. 112870, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112870>. Acesso em: 28 nov. 2024.

GIODA, A. et al. A review on atmospheric analysis focusing on public health, environmental legislation and chemical characterization. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, v. 52, n. 8, p. 1772–94, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10408347.2021.1919985>. Acesso em: 28 nov. 2024.

GUO, X. S. Digestion method and pollution characteristics of heavy metals of the PM_{2.5} in typical northeast Beijing Nanchang. Jiangxi Agricultural University,

2014. Disponível em: <https://www.pjoes.com/pdf-104360-44460?filename=Pollution>. Acesso em: 28 nov. 2024.

HAMZA, M. et al. Health risks associated with arsenic contamination and its biotransformation mechanisms in environment: A review. In: *Emerging Contaminants and Associated Treatment Technologies*. Springer International Publishing, 2022. p. 241–288. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/361605307_Health_Risks_Associated_with_Arsenic_Contamination_and_Its_Biotransformation_Mechanisms_in_Environment_A_Review. Acesso em: 30 dez. 2024.

HILL, D. T. et al. Linking metal (Pb, Hg, Cd) industrial air pollution risk to blood metal levels and cardiovascular functioning and structure among children in Syracuse, NY. *Environmental Research* [Internet], v. 193, p. 110557, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110557>. Acesso em: 30 dez. 2024.

HONDA, T.; PUN, V. C.; MANJOURIDES, J.; SUH, H. Associations of long-term fine particulate matter exposure with prevalent hypertension and increased blood pressure in older Americans. *Environmental Research*, v. 164, p. 1–8, 2018 [acesso em 2024 out 16]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.02.008>.

HUANG, L. et al. Measurement of soluble and total hexavalent chromium in ambient airborne particles in New Jersey. *Aerosol and Air Quality Research*, 2014. <https://doi.org/10.1007/s12199-008-0032-2>. Acesso em: 18 set. 2024.

JACOBSON L.S.V., HACON S.S., SCHUMACHER V., SANTOS C.P.C., VIANNA N.A. Desempenho dos dados de material particulado fino sobre a qualidade do ar em estudo epidemiológico em Salvador, Brasil. *Revista Brasileira de Epidemiologia* [Internet]. 2024 [acesso em 2024 dez 20]; 27:e240068. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-549720240068.2>

JACOMINO, V. M. F.; BARRETO, A. A.; TAVARES, F. V. F.; PEIXOTO, C. M.; RODRIGUES, P. C. H. Avaliação da qualidade do ar em um polo produtor de ferro-gusa. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 14, n. 4, p. 511–20, 2009 [acesso em 2024 out 16]. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/ysZNksFyPPkNML56nSxf8Nr/abstract/?lang=pt>

JÚNIOR, R. S. S.; MARTILLI, A.; DE LIMA SILVA, E. H. Efeito da urbanização sobre a dispersão de poluentes e formação de ilha de calor. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 27, p. 34–56, 2020 [acesso em 2024 out 16]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/342923246_EFEITO_DA_URBANIZACAO_SOBRE_A_DISPERSAO_DE_POLUENTES_E_FORMACAO_DE_ILHA_DE_CALOR

JUSTO, E. P. S.; QUIJANO, M. F. C.; BERINGUI, K.; VENTURA, L. B.; PEREIRA, G. M.; VASCONCELLOS, P. C.; GIODA, A. Assessment of the impact of the bus fleet and transportation infrastructure works on the air quality in Rio de Janeiro (Olympic Games 2016). *Air Quality, Atmosphere & Health*, v.

1, n. 2, p. 289–309, 2023 [acesso em 2024 out 16]. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11869-022-01275-z>.

KANG, Y. J.; TAN, H. Y.; LEE, C. Y.; CHO, H. An air particulate pollutant induces neuroinflammation and neurodegeneration in human brain models. *Advanced Science (Weinheim)*, v. 8, n. 21, 2021 [acesso em 2024 out 16]. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34561961/>

KAUL, S.; SAXENA, R. C.; KUMAR, A.; NEGI, M. S.; BHATNAGAR, A. K. Corrosion behavior of biodiesel from seed oils of Indian origin on diesel engine parts. *Fuel Processing Technology*, v. 88, p. 303–7, 2007 [acesso em 2024 ago 9]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378382006001639>

LAM, H. C. Y.; LI, A. M.; CHAN, E. Y. Y.; GOGGINS, W. B. III. The short-term association between asthma hospitalisations, ambient temperature, other meteorological factors and air pollutants in Hong Kong: a time-series study. *Thorax*, v. 71, n. 12, p. 1097–109, 2016 [acesso em 2024 ago 9]. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27343213/>

LAMAS, G. A.; BHATNAGAR, A.; JONES, M. R.; MANN, K. K.; NASIR, K.; TELLEZ-PLAZA, M. et al. Contaminant metals as cardiovascular risk factors: a scientific statement from the American Heart Association. *Journal of the American Heart Association*, v. 12, n. 13, p. e029852, 2023 [acesso em 2024 dez 28]. Disponível em: <https://doi.org/10.1161/JAHA.123.029852>.

LÁZARO, W.L., DÍEZ, S. et al. Cyanobacteria as regulators of methylmercury production in periphyton. *Science of the Total Environment*, v. 668, p. 723–729, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.034>. Acesso em: 18 set. 2024.

LEÃO, L. P.; MIRANDA, G. M.; RIEGEL, J. M. R.; KEMERICH, P. D. C. Ocorrência de alumínio e ferro no material particulado atmosférico em cidade de Caçapava do Sul - RS. *Anais do 9º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão – SIEPE*. Universidade Federal do Pampa, 2017 [acesso em 2024 ago 9]. Disponível em: https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/14428/seer_14428.pdf

LEMOES N.S.A., CUNHA J.M. Analysis of fire risk in the Amazon: a systematic review. *Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science* [Internet]. 2021 [acesso em 2024 dez 15]; 16(3):1. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2706>

LI, Y.; YU, H.; LI, P.; BIAN, Y. Assessment of the exposure level of rare earth elements in workers producing cerium, lanthanum oxide ultrafine and nanoparticles. *Biological Trace Element Research*, v. 175, n. 2, p. 298–305, 2017 [acesso em 2024 jul 8]. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27394918/>

LIAO, Y. H.; YU, H. S.; HO, C. K.; WU, M. T.; YANG, C. Y.; CHEN, J. R.; CHANG, C. C. Biological monitoring of exposures to aluminium, gallium, indium, arsenic, and antimony in optoelectronic industry workers. *Journal of*

Occupational and Environmental Medicine, v. 46, n. 9, p. 931–6, 2004 [acesso em 2024 jul 8]. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15354058/>

LIU, X. T.; NIE, L. G.; ZHEN, G. X.; ZHU, C. X.; ZHANG, R.; SHI, Q.; WANG, R. X. Mass concentration and source analysis of metal elements in atmospheric PM_{2.5} in a district of Beijing. Occupational Health, v. 35, p. 1389–92, 2019 [acesso em 2024 jul 8]. Disponível em: <https://acp.copernicus.org/articles/23/9455/2023/>

MAGALHÃES, L. C.; NALINI JUNIOR, H. A.; LIMA, A. C.; COUTRIM, M. X. Determinação de metais traço no material particulado em suspensão em Ouro Preto, Minas Gerais. Química Nova, v. 33, n. 3, p. 519–23, 2010 [acesso em 2024 dez 28]. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/cbL4V7trHL5PGzrvvRYXQpQ/>

MARQUES TORRES, L.; DI PAULA DA SILVA PINHEIRO, C.; DIAS AZEVEDO, S.; RICK SOARES RODRIGUES, P.; PRISSILA REIS SANDIM, D. Poluição atmosférica em cidades brasileiras: uma breve revisão dos impactos na saúde pública e meio ambiente. Naturae, v. 2, n. 1, p. 23–33, 2020 [acesso em 2024 jul 8]. Disponível em: <https://www.sapientiae.com.br/index.php/naturae/article/view/CBPC2674-6441.2020.001.0003>

MATOS, C. A.; FREITAS, A. C. V.; SILVA, A. M. L. Avaliação do nível de incômodo da população de Itabira/MG à poluição atmosférica. Research, Society and Development, v. 12, n. 2, 2023 [acesso em 2024 jul 8]. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/367330605_Avaliacao_do_nivel_de_incmodo_da_populacao_de_ItabiraMG_a_poluicao_atmosferica

MATTHEWS, J. C.; NAVASUMRIT, P.; WRIGHT, M. D.; CHAISATRA, K.; CHOMPOOBUT, C.; ARBON, R. et al. Aerosol mass and size-resolved metal content in urban Bangkok, Thailand. Environmental Science and Pollution Research International, v. 29, n. 52, 2022 [acesso em 2024 jul 8]. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9587116/>

MILL, J. G.; MALTA, D. C.; NILSON, E. A. F.; MACHADO, I. E.; JAIME, P. C.; BERNAL, R. T. I.; CARDOSO, L. S. M.; SZWARCOWALD, C. L. Fatores associados ao consumo de sal na população adulta brasileira: Pesquisa Nacional de Saúde. Ciência & Saúde Coletiva, v. 26, n. 2, p. 555–67, 2021 [acesso em 2024 dez 28]. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-81232021262.37492020>.

MOREIRA, F. R.; MOREIRA, J. C. Os efeitos do chumbo sobre o organismo humano e seu significado para a saúde. Revista Panamericana de Salud Pública, v. 15, n. 2, p. 119–129, 2004. Disponível em: <https://scielosp.org/pdf/rpsp/2004.v15n2/119-129/pt>. Acesso em: 8 jul. 2024.

MORENO, T.; PANDOLFI, M.; QUEROL, X. et al. Manganese in the urban atmosphere: identifying anomalous concentrations and sources. Environmental Science and Pollution Research, v. 18, p. 173–183, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-010-0353-8>. Acesso em: 3 jun. 2024.

NASCIMENTO, C. M.; OLIVEIRA, S. A.; CARVALHO, H. Dinâmica de doenças relacionadas à poluição atmosférica nas dez capitais mais populosas do Brasil e potenciais reflexos da pandemia da COVID-19 na evolução desses dados. *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, v. 16, n. 7, 2024. Disponível em: <https://ojs.cuadernoseducacion.com/ojs/index.php/ced/article/view/4730>. Acesso em: 28 dez. 2024.

NILSON, E. A. F.; ANDRADE, G. C.; CLARO, R. M. et al. Sodium intake according to NOVA food classification in Brazil: trends from 2002 to 2018. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 40, n. 2, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-311xen073823>. Acesso em: 3 nov. 2024.

NOVAIS, T. M. F.; CRUZ, M. C. C.; FONSECA, A. R. et al. Análise dos efeitos da poluição atmosférica sobre internações em Divinópolis, Brasil. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, v. 22, n. 5, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/oelv22n5-039>. Acesso em: 30 dez. 2024.

OLIVEIRA, B. L. A.; SOUZA, R. A. F.; ANDREOLI, R. V. Qualidade do ar na cidade de Manaus: material particulado e suas relações com as queimadas. *Geoconexões Online*, v. 4, n. 2, p. 108–118, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.53528/geoconexes.v4i2.155>. Acesso em: 3 nov. 2024.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. *Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide*. Alemanha: WHO, 2003. Disponível em: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/112199/E79097.pdf. Acesso em: abr. 2023.

PACHECO, M. T.; PARMIGIANI, M. M. M.; ANDRADE, M. F. et al. A review of emissions and concentrations of particulate matter in the three major metropolitan areas of Brazil. *Journal of Transport & Health*, v. 4, p. 53–72, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jth.2017.01.008>. Acesso em: abr. 2023.

PEDROZA, M. M. Impactos dos poluentes resultantes das queimadas na saúde humana. *Revista de Engenharia e Tecnologia [Internet]*, v. 15, n. 1, 2023. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/21752>. Acesso em: 18 dez. 2024.

PIVELLO, V. R.; VIEIRA, I.; CHRISTIANINI, A. V. et al. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. *Perspectives in Ecology and Conservation*, v. 19, n. 3, p. 233–255, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2530064421000560>. Acesso em: abr. 2023.

PLANE, J. M. C.; FENG, W.; DOUGLAS, K. M. Phosphorus chemistry in the earth's upper atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, v. 126, n. 10, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2021ja029881>. Acesso em: abr. 2023.

QUEIROZ, M. T. A.; SILVA, R. R. Formação em ciências: estudos sobre absorção química para mitigação da chuva ácida antrópica. *Ciência e Natura*, v. 45, n. 29, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2179460x70840>. Acesso em: abr. 2023.

QUEIROZ, P. G. M.; JACOMINO, V. M. F.; MENEZES, M. Â. B. C. Composição elementar do material particulado presente no aerossol atmosférico do município de Sete Lagoas, Minas Gerais. *Química Nova*, v. 30, n. 5, p. 1233–1239, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/NkWDdqrL44kQDbyHjrxFd8p/>. Acesso em: abr. 2023.

QUEROL, X. et al. Source origin of trace elements in PM from regional background, urban and industrial sites of Spain. *Atmospheric Environment*, v. 41, p. 7219–7231, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231007004700>. Acesso em: 28 dez. 2024.

QUIRINO, A. L. S.; COSTA, K. T. da S.; FERREIRA, A. G. L. et al. Interações na infância por doenças do aparelho respiratório no Brasil de 2013 a 2022. *Revista Ciência Plural*, v. 10, n. 1, p. 1–15, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.21680/2446-7286.2024v10n1id31414>. Acesso em: 30 dez. 2024.

RAHMAN, Z.; SINGH, V. P. The relative impact of toxic heavy metals (THMs) (arsenic, cadmium, chromium, mercury, and lead) on the total environment: an overview. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 191, n. 7, p. 419, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7528-7>. Acesso em: 24 ago. 2024.

REDIN, M. et al. Impactos da queima sobre atributos químicos, físicos e biológicos do solo. *Ciência Florestal*, v. 21, n. 2, p. 381–392, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1415-790x2011000200015>. Acesso em: 7 dez. 2024.

RELATÓRIO ANUAL DO DIRETOR 2019 – OPAS/OMS. Paho.org. 2019. Disponível em: <https://iris.paho.org>. Acesso em: 13 jul. 2024.

SCHWAB, F. C. C. Células combustíveis a alumínio: uma reavaliação oportuna para o planejamento energético brasileiro. *Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, v. 7, 2014. Disponível em: https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos07/1296_CelulasCombustiveisaAluminio-umareavaliacaooportunaparaoplanejamentoenergeticobrasileiro_final.pdf. Acesso em: abr. 2023.

SEIBERT, R.; NIKOLOVA, I.; VOLNÁ, V. et al. Source apportionment of PM_{2.5}, PAH and arsenic air pollution in Central Bohemia. *Environments*, v. 8, n. 10, p. 107, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/environments8100107>. Acesso em: 24 ago. 2024.

SILVA, A. M. C.; MATTOS, I. E.; FREITAS, S. R. et al. Material particulado (PM_{2.5}) de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia

brasileira. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 13, n. 2, p. 337–351, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1415-790x2010000200015>. Acesso em: 23 dez. 2024.

SOLEIMANI, M.; AMINI, N.; SADEGHIAN, B. et al. Heavy metals and their source identification in particulate matter (PM_{2.5}) in Isfahan City, Iran. *Journal of Environmental Sciences*, v. 72, p. 166–175, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2018.06.008>. Acesso em: 27 dez. 2024.

SOTIROPOULOS, D.; GEORGAKOPOULOS, A.; KOLOVOS, N. Impact of free calcium oxide content of fly ash on dust and sulfur dioxide emissions in a lignite-fired power plant. *Journal of the Air & Waste Management Association*, v. 55, n. 7, p. 1042–1049, 2005. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10473289.2005.10464694>. Acesso em: 24 ago. 2024.

TAGLIANI, S. M.; CARNEVALE, M.; ARMIENTO, G. et al. Content, mineral allocation and leaching behavior of heavy metals in urban PM_{2.5}. *Atmospheric Environment*, v. 153, p. 47–60, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.01.039>. Acesso em: 26 dez. 2024.

TAJ, T.; CHEN, J.; RODOPOULOU, S. et al. Long-term exposure to ambient air pollution and risk of leukemia and lymphoma in a pooled European cohort. *Environmental Pollution*, v. 343, 2024. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38065336/>. Acesso em: dez. 2024.

TANG, D.; LI, T. Y.; LIU, J. J. et al. Effects of prenatal exposure to coal-burning pollutants on children's development in China. *Environmental Health Perspectives*, v. 116, n. 5, p. 674–679, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1289/ehp.10471>. Acesso em: 24 ago. 2024.

TAO, J.; HO, K. F.; CHEN, L. et al. Effect of chemical composition of MP_{2.5} on visibility in Guangzhou, China, 2007 spring. *Particuology*, v. 7, n. 1, p. 68–75, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.partic.2008.11.002>. Acesso em: 24 ago. 2024.

USEPA. Níveis de triagem regional (RSLs) - tabelas genéricas. Environmental Protection Agency (EPA), 2019. Disponível em: <https://www.epa.gov/risk/regional-screening-levels-rsls-users-guide>. Acesso em: 24 ago. 2024. VENTURA, L. M. B.; DE OLIVEIRA PINTO, F.; SOARES, L. M.; LUNA, A. S.; GIODA, A. Forecast of daily MP_{2.5} concentrations applying artificial neural networks and Holt–Winters models. *Air Quality, Atmosphere & Health*, v. 12, n. 3, p. 317–25, 2019 [acesso em 2024 set 18]. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11869-018-00660-x>.

WHO. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Organização Mundial da Saúde, 2021. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>. Acesso em: 28 dez. 2024.

WU, J. Z. et al. Effects of particulate matter on allergic respiratory diseases. *Chronic Diseases and Translational Medicine*, v. 4, p. 95–102, 2018. Acesso em: 25 dez. 2024.

XU, Z.; LI, Z.; LIAO, Z. et al. PM2.5 induced pulmonary fibrosis in vivo and in vitro. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 171, p. 112–121, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.061>. Acesso em: 28 dez. 2024.

YOSHIKAWA, M.; AOKI, K.; EBINE, N. et al. Correlation between the arsenic concentrations in the air and the SMR of lung cancer. *Environmental Health and Preventive Medicine*, v. 13, p. 207–218, 2008. Disponível em:

ZHANG, Y.; XU, Y.; PENG, B. et al. Quantifying metallic components in aerosol filter samples using micro-synchrotron radiation X-ray fluorescence: with quartz filter as an example. *Atmospheric Environment*, v. 318, 2024. Acesso em: 28 dez. 2024.

ZHAO, Y.; WANG, Y.; LI, X.; ZHANG, Y. Atmospheric heavy metal pollution and its relationship with particulate matter. *Environmental Pollution*, v. 271, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116283>. Acesso em: 28 nov. 2024.

Artigo 3

Revista de pretensão de publicação: **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)**

Data de submissão:

Primeira decisão rápida: Na fase de pré-análise, os manuscritos são revisados por dois editores, e uma primeira decisão é fornecida aos autores em aproximadamente **60 dias** após a submissão.

A Batalha Silenciosa Contra os Microplásticos no Ar em um ambiente ecotonal.

Autores: Maísa Consuelo dos Santos; Eduardo Fagundes Mendes; Vitória Hellen Pereira Fernandes; Wilkinson Lopes Lázaro; Áurea Regina Alves Ignácio; Adriana Gioda; Sofia Caumo; Ernandes Sobreira Oliveira Junior

Resumo

Nas últimas décadas, a qualidade do ar tem sido gravemente comprometida pelas atividades humanas, lançando contaminantes na atmosfera e afetando os ciclos naturais. Entre os contaminantes mais preocupantes estão os microplásticos, pequenas partículas derivadas da degradação de materiais plásticos, que agora podem ser encontrados em ambientes terrestres e marinhos, e até mesmo no ar que inalamos. Este estudo visa investigar a presença de microplásticos suspensos na atmosfera em uma área de grande importância ambiental: a região do Pantanal. A pesquisa foi realizada a partir da investigação da presença de microplásticos nas amostras de Material Particulado Fino (MP_{2,5}) coletados para avaliar a qualidade do ar entre os meses de agosto e dezembro de 2023. Os resultados revelaram uma grande concentração de microplásticos, com uma média de $265,5 \pm 231,8$ microplásticos por m³ de ar por dia. Estes valores são superiores aos de outros estudos como aos encontrados na Indonésia, onde as coletas ocorreram em estradas com fluxo de mais de 98 mil veículos diariamente, ($111,8 \pm 189,2$ microplásticos.m³) e próximos aos encontrados em áreas densamente povoadas da Inglaterra (384 ± 588 microplásticos.m³), por exemplo. A descoberta reforça, além da confirmação da presença de microplástico em um bioma que exige ações de prevenção, a necessidade de investigações mais aprofundadas e ações emergentes de controle a essa degradação, incluindo políticas mais rigorosas de gestão de resíduos e maiores esforços de conscientização sobre os impactos do plástico na saúde humana e ambiental.

INTRODUÇÃO

Inspira. Expira. Inspira. Expira. Movimentos respiratórios inerentes a vida, pois é a partir da ventilação pulmonar que se garante a oxigenação do sangue e a remoção de resíduos gasosos (Forster et al., 2022; González-Alonso et al. 2023). Do ar retiramos o oxigênio e nele deixamos o gás carbônico e outros

resíduos, que vão ser utilizados pelos organismos fotossintetizantes e outros, cumprindo assim, os ciclos naturais ou ciclos biogeoquímicos (Vormittag et al., 2021; Almeida e Stein, 2023). O ar, elemento essencial para a vida, é reverenciado em diversas culturas e registros históricos, como os hinos védicos da antiga Índia, que exaltam o ar (Vayu) como um dos cinco elementos fundamentais, e os escritos filosóficos gregos, nos quais Anaxímenes descreve o ar como o princípio básico da vida (Embree, 1972; Kirg, 1983).

O material particulado (MP) é um componente natural da atmosfera, emitido por fontes tanto naturais quanto antropogênicas. Contudo, nas últimas décadas, a atividade humana tem provocado um aumento exacerbado desse poluente, impactando negativamente a saúde humana e os ciclos naturais (Brasil, 2016). Apesar de sua importância, a qualidade do ar vem sofrendo diversos comprometimentos ao longo do tempo: aumento de material particulado, elementos tóxicos na atmosfera, aquecimento, entre outros (Gioda et al, 2022; Garcia et al., 2023).

O plástico é um produto derivado do petróleo e responde por cerca de 80% deste mercado mundial (Cetinkaya et al 2018), um mercado bastante competitivo e ascendente. De acordo com o relatório Global Plastics Outlook: Policy Scenarios to 2060, estima-se que mais de mil e duzentos milhões de toneladas de plástico serão usados para consumo global em 2060 com grande percentual para produção de novos plásticos, especialmente descartáveis e embalagens, e menos da metade disso será reciclado e do plástico surgem os microplástico (Yang et al 2020).

Os microplásticos consistem em partículas de plásticos que podem estar em suspensão na atmosfera, e assim tornar o “ar fresco”, ou até mesmo o “ar puro” do interior e do campo, em algo não tão saudável quanto se pode pensar (Castaneta et al., 2022; Bugatti et al., 2023). Plásticos são materiais poliméricos sintéticos leves, impermeáveis e duráveis, que podem ser formulados para serem rígidos ou flexíveis, transparentes ou coloridos, e apresentam baixo custo (Montangner et al., 2021). Os microplásticos são contaminantes amplamente distribuídos que se originam da decomposição de plásticos maiores

(secundários) ou são fabricados diretamente em tamanhos milimétricos ou submilimétricos (primários) (Cole et al., 2011). Presentes em toda parte, desde o topo das montanhas mais altas até o fundo dos oceanos (Akdogan e Guven, 2019; Vethaak e Legler, 2021), os microplásticos ameaçam a saúde ambiental e humana (Garcia et al., 2023).

Os microplásticos impactam não apenas a saúde humana, mas também a vida e a sobrevivência de diversas espécies (Lima et al., 2024). Embora os efeitos da inalação de microplásticos ainda estejam em fase de investigação, dados existentes indicam seu potencial de causar inflamação em vários órgãos e tecidos, como o trato gastrointestinal, pulmões, sistema circulatório, cérebro e sistema imunológico (Amato-Lourenço et al., 2021; Amato-Lourenço et al., 2024). Assim, é urgente aprofundar o entendimento sobre a dinâmica de dispersão dos microplásticos em relação ao estado da saúde ambiental.

Em um planeta repleto de ciclos naturais, e principalmente, marcado pelas alterações humanas e seus “ciclos artificiais”, a era do Capitaloceno ou Antropoceno (Moore, 2022; Altvater, 2014), reflete no atual cenário multifacetário dos microplásticos no ar. Somos um planeta só, e ele está conectado por água, terra e ar se comportando, portanto, como um grande organismo autorregulador (Pinto et al., 2023; Brito, 2024; Lovelock, 1979). O que essa “invasão plástica” significa para a nossa saúde e para o planeta ainda é algo que está sendo estudado, mas o fato é: precisamos reavaliar a relação do ser humano com o plástico. Com isso, este estudo tem por objetivo investigar pela primeira vez, a ocorrência de micropartículas plásticas em Material Particulado fino (MP_{2,5}) suspenso no ar em uma região de transição Pantanal, Cerrado e Amazônia.

METODOLOGIA

Neste estudo, os microplásticos foram analisados nas amostras de MP_{2,5} coletadas em Cáceres - MT, entre agosto e dezembro de 2023. A amostragem foi realizada na estação meteorológica da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), situada a cerca de 5 km do centro da cidade de Cáceres (16°04'37"S 57°38'59"W), próxima à BR MT 343 e à zona rural. Foram coletadas 94 amostras de MP_{2,5} usando um amostrador de grande volume, conhecido pela

sigla em inglês Hi-Vol de marca Tsieh Environmental®, com uma vazão de 1,09 m³/ minuto. Cada amostra foi coletada durante 24 horas em filtro de quartzo previamente tratado (com área de exposição de 456 cm²). Para identificar a presença de microplásticos nas amostras, foi utilizado uma Lupa Microscópica Estereomicroscópio Binocular com amplo campo de visão com aumento de 40X da marca Olegan®.

Desta forma, foram obtidas duas unidades de medidas para os resultados, sendo: 1) número de microplásticos/m³ de ar e 2) número de microplásticos / m² de filtro (Equação 01 e 02):

1- Microplásticos por metro quadrado

$$\text{Microplásticos por m}^2 = \frac{\text{Microplásticos em área de } 456 \text{ cm}^2}{\frac{456 \text{ cm}^2}{10000}} \text{ (Equação 01)}$$

2- Microplásticos por metro cúbico

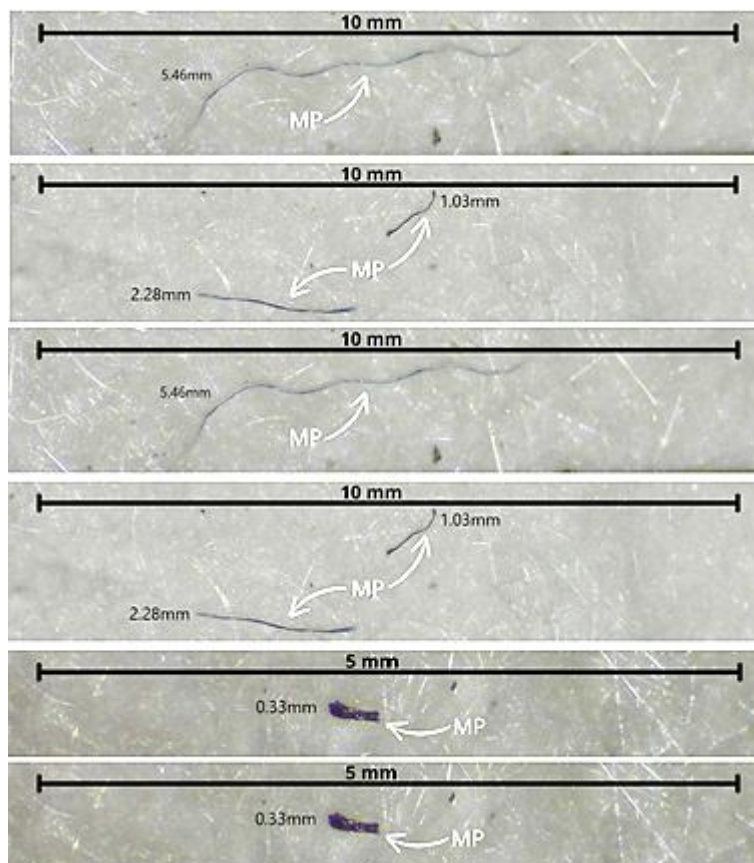
$$\text{Microplásticos por m}^3 = \frac{\text{Microplásticos por m}^2}{\text{Volume total filtrado (m}^3) \text{ por minuto}} \text{ (Equação 02)}$$

As 94 amostras foram analisadas com a contagem de microplásticos encontrados. Os dados foram analisados de forma descritiva em plataforma Excel® e os gráficos produzidos com auxílio de plataforma Python com a biblioteca Panda.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As partículas de plásticos presentes em nossa análise são principalmente em formatos de fibras e/ou fragmentos (Figura 01), com cores azuis, verdes, douradas e multicoloridas (preto com pontos brilhosos) e tamanhos variados de 0.032 mm (microplástico) a 5.46mm (mesoplástico) (Barboza e Gimenez, 2021, Caxeta et al., 2022).

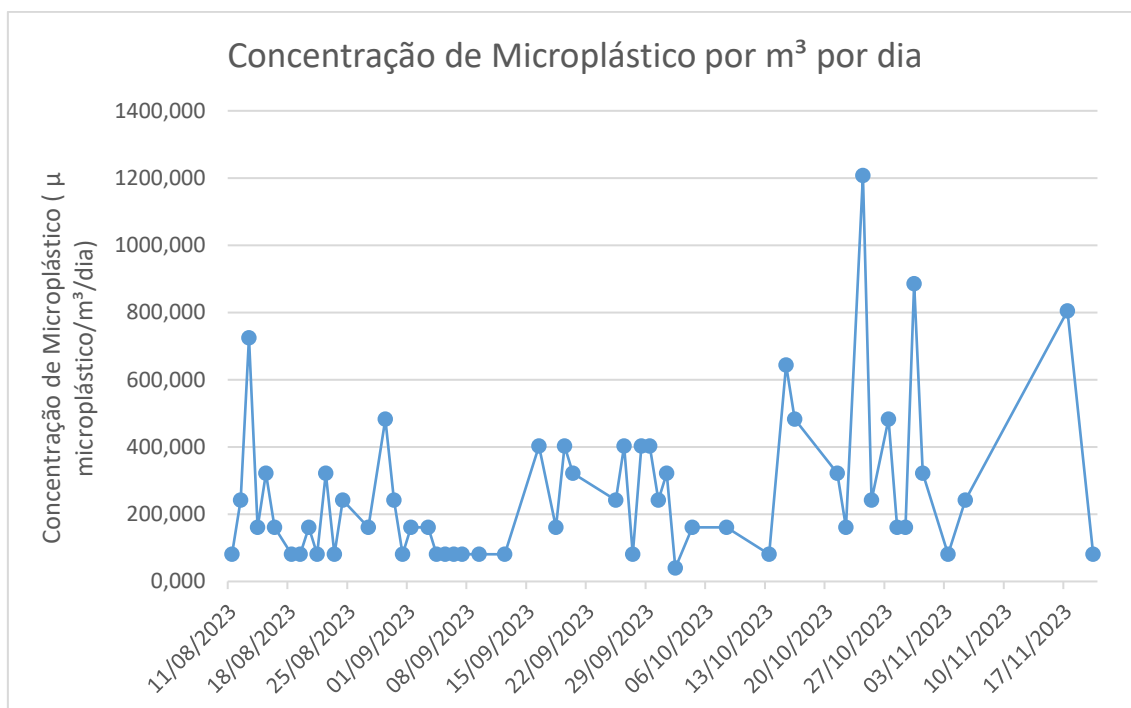
Figura 01. Fragmentos de microplástico presentes no ar analisados por lupa estereoscópica. A superfície metálica nas imagens refere-se a régua utilizada para identificação de tamanho das partículas de microplásticos encontrados.



Fonte: dos autores, 2024

Analisando os dados obtidos, observou-se uma dinâmica diária, com média de $265,5 \pm 231,8$ microplásticos/ m^3 de ar/dia, com máxima de $289,4 \pm 252,7$ microplásticos/ m^2 de filtro (Figura 02). Com valores máximos para o período estudado ressalta-se que foram encontrados até 585 microplásticos/ m^3 /dia e realizando a conversão para m^2 foram achados 1.315 microplásticos. Em um estudo chinês, as concentrações de microplásticos no ar interno eram de 11.000 microplásticos/ m^2 cerca de 97,3% maior que os obtidos neste estudo (Liao et al., 2021), em New Jersey os valores foram maiores, 19.600 ± 10.900 microplásticos/ m^2 por dia, 98,5% a mais (Yao et al., 2022).

Figura 2. Variação do número de microplásticos por m^3 por dia amostrados entre 10/08/2023 e 19/11/2023 no Pantanal.



Os dados analisados de microplástico, apresentaram diferenças importantes na concentração desses componentes em relação ao período de amostragem. Outubro foi o mês com maiores concentrações de microplásticos encontradas, $353,8 \pm 373,7$ o que pode estar relacionado com o período de estiagem na região a qual se estendeu até dezembro em 2023 na região estudada, este mês registrou média de temperatura de $36,1^{\circ}\text{C}$ e umidade de 48%, setembro apresentou menor média $160,7 \pm 103,3$ com temperatura média de $34,5^{\circ}\text{C}$ e umidade de 50,1%. Dias mais secos facilitam a dispersão e não deposição das partículas, e as baixas umidades relativas estão associadas a maior concentração de poluentes, interagindo também com o volume de poeira suspensa (Santos et al., 2019; Joseph et al., 2021).

Nossa pesquisa foi desenvolvida em uma área de intersecção entre os biomas Amazônico, Cerrado e Pantanal, uma região de intensa transição de área florestada para pastagens, urbanização e redução de recursos naturais, como a água (Ikeda-Castrillon et al., 2022; Lázaro e Oliveira Junior et al 2020), com vários casos de emissão de cinzas produzidas a partir da queima de biomassa que também são prejudiciais à saúde ambiental e humana (Caumo et al, 2022) devido aos intensos incêndios florestais (Dos Santos et al., 2023). Essa descoberta de microplásticos no ar dessa região, contribui, mais uma vez, com

a necessidade de se atentar para poluentes emergentes, principalmente aqueles que ainda não se tem tantos estudos concretos sobre os impactos na saúde humana, principalmente em uma área em que há a necessidade de uma agenda ambiental deixando evidente que a poluição atmosférica não deve ser negligenciada como uma fonte potencial de microplásticos.

Em uma análise bibliográfica que considerou artigos com dados quantitativos de microplástico no ar, utilizando as bases de dados Google Scholar, PubMed e Web of Science, identificou-se um total de 7 publicações focadas em microplásticos (Tabela 01).

Os autores ressaltaram uma variação significativa nas concentrações de microplásticos detectadas em diferentes regiões do mundo, evidenciando a influência de fatores locais, como o volume de tráfego e a proximidade de fontes de emissão. Um exemplo disso é o estudo de Syafei et al. (2019) na Indonésia, que analisou a presença de microplásticos em três estradas com diferentes níveis de tráfego, utilizando uma metodologia baseada no uso de filtros acoplados a funis de aço e uma bomba de vácuo. Os resultados mostraram que, mesmo em uma estrada com fluxo de 98.017 veículos por dia, as concentrações de microplásticos variaram de $111,8 \pm 189,2$ microplásticos.m³, valores inferiores do nosso estudo.

Na Inglaterra, coletas realizadas nas proximidades de uma compostagem industrial voltada para a agricultura também revelaram altas concentrações de microplásticos. Utilizando um amostrador Material Particulado Grosso (MP₁₀) com filtros de prata, Zapata et al. (2024) reportaram concentrações entre 384 ± 588 microplásticos/m³. Zapata et al (2024) afirmam que muitas amostras apresentaram macroplásticos e que o próprio processo de compostagem pode ter alterado os tamanhos do poluente, sugerindo que tanto o contexto ambiental quanto o tipo de fonte de poluição influenciam diretamente os níveis de contaminação atmosférica por microplásticos (Amato-Lourenço et al, 2021; Caxeta et al., 2022).

Para identificar microplásticos em coletas de MP_{2,5}, Hasibuan et al. (2024) realizaram coletas por amostrador de alto volume em uma área industrial de

Medan, Indonésia, onde foram detectadas concentrações médias de microplásticos de 492 ± 1.104 microplástico/m³. Medan é uma cidade populosa, com densidade populacional de 9.522 habitantes km², o que reflete uma maior pressão industrial e urbana sobre o ambiente, potencialmente explicando os altos níveis de microplásticos na atmosfera (City.com).

Na China, numa pesquisa realizada também no intuito de avaliar índices de qualidade do ar (MP_{2,5} e MP₁₀), a média para as megacidades do estudo foi de 358 ± 132 microplásticos m³ (Zhu et al., 2022) com média de 1.720 habitantes por km². Em contraste, o município de Cáceres, em Mato Grosso, onde o presente estudo foi realizado, tem uma densidade populacional muito menor, de apenas 3,66 habitantes km² (IBGE, 2024) e os valores e que encontramos foram 34,8% menor do que Zhu et al. (2022). Essa diferença marcante na densidade populacional sugere que áreas urbanas densamente povoadas e industrializadas, como Medan, podem estar mais sujeitas a concentrações mais elevadas de microplásticos devido à atividade humana e industrial intensificada, todavia o município de Cáceres não apresenta polo industrial e ainda assim apresentou média de $265,5 \pm 231,8$ microplástico m³ e as fontes emissores de microplásticos podem estar relacionados com o número de queimadas associadas à meses de estiagem.

Tabela 01- Bibliografia sobre artigos publicados com dados quantificados de microplástico no ar.

Local	Autores	Valores de microplásticos encontrado	Ano	Local de estudo	Referência
Este estudo	Dos Santos et al	$265,5 \pm 231,8$ microplástico.m ⁻³	2023	Cáceres, Mato Grosso – Brasil	–
Indonésia	Syafei A. et al	$111,8 \pm 349,8$ microplástico.m ⁻³	2019	Ruas de trânsito.	Syafei, A. et al. Microplastic pollution in the ambient air of Surabaya, Indonesia. Current World Environment, v. 14, n. 2, p. 290-298, 2019. ISSN: 0973-4929
China	Du, R. et al.	$0,011 \pm 0,012$ microplástico.m ⁻³	2024	Ambiente costeiro.	Du, R. et al. Unveiling the suspended atmospheric microplastic pollution in a coastal urban landscape. Journal of Cleaner Production, v. 442, p. 141145, 2024. Doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141145
Austrália	O'brien S. et al	4.176 ± 4.320 microplástico.m ⁻³	2020	Lavanderia	O'brien, Stacey et al. Airborne emissions of microplastic fibres from domestic laundry dryers. Science of the Total Environment, v. 747, p. 141175, 2020. Doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141175

Inglaterra	Zapata R. <i>et al.</i>	384 ± 588 microplástico.m ⁻³	2023	Ambiente externo expostos ao vento	Zapata, Raulin et al. Emissões de microplásticos via ar e composto de uma instalação de compostagem industrial na Inglaterra. <i>Environmental Pollutants and Bioavailability</i> , v. 36, n. 1, p. 2296046, 2024. https://doi.org/10.1080/26395940.2023.2296046
China	Zhu X. <i>et al.</i>	358 ± 132 microplástico.m ⁻³	2021	Ambiente externo de cinco cidades na China	Zhu, Xuan et al. Airborne microplastic concentrations in five megacities of northern and southeast China. <i>Environmental science & technology</i> , v. 55, n. 19, p. 12871-12881, 2021. https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03618
Medan Ind	Suryati I. <i>et al.</i>	492 ± 1.104 microplástico.m ⁻³	2024	Área industrial	Hasibuan, Novrida Harpah et al. Modelo de distribuição de microplásticos no ar ambiente PM2.5 ao redor da área industrial de Medan, Sumatra do Norte. Em: <i>E3S Web of Conferences</i> . EDP Sciences, 2024. p. 03014. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451903014

Observação: para os artigos que mencionavam em seus resultados em nomenclaturas como itens, partículas e fibras, foram padronizados para microplásticos.

Consideração finais

Este estudo revelou de forma inédita uma dinâmica preocupante na concentração de microplásticos suspensos no ar em uma região de transição ambiental entre os biomas Amazônico, Cerrado e Pantanal. Embora a concentração média de microplásticos encontrada seja menor do que em algumas regiões da França e China, as condições ambientais locais, como a seca prolongada e a queima de biomassa, contribuem significativamente para a alta concentração de poluentes.

A descoberta de microplásticos nesta área ressalta a urgência de se focar em poluentes emergentes e na necessidade de mais estudos sobre os impactos dos microplásticos para compreender sua toxicidade, interação a outros poluentes atmosféricos e riscos à saúde humana. A poluição atmosférica na região, evidenciada pela presença deste poluente, deve ser considerada uma preocupação ambiental relevante, demandando atenção tanto para os setores ambientais, pesquisa e saúde.

1. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADMINISTRAÇÃO OCEÂNICA E ATMOSFÉRICA NACIONAL - NOAA. The Ocean Foundation, 2019. Disponível em:

<https://oceanfdn.org/pt/?supporter=national-oceanic-and-atmospheric-administration>. Acesso em: 20/09/2024

AKDOĞAN, Z.; GUVEN, B. Microplastics in the Environment: A Critical Review of Current Understanding and Identification of Future Research Needs. *Environmental Pollution*, v. 113011, 2019. doi: <10.1016/j.envpol.2019.113011>.

ALMEIDA, A. E. M. D.; STEIN, R. Meio Ambiente e o Coração. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 120, n. 7, 2023. doi: <10.36660/abc.20230119>.

ALTVATER, Elmar. *El capital y el capitaloceno*. 2014.

AMATO-LOURENÇO, L. F.; CARVALHO-OLIVEIRA, R. F. M.; RIBEIRO JÚNIOR, G.; GALVÃO, L. dos S.; ANDO, R. A.; MAUAD, T. Presence of airborne microplastics in human lung tissue. *Journal of Hazardous Materials*, v. 416, 2021. doi: <10.1016/j.jhazmat.2021.126124>.

AMATO-LOURENÇO, Luís Fernando et al. Microplastics in the Olfactory Bulb of the Human Brain. *JAMA Network Open*, v. 7, n. 9, p. e2440018-e2440018, 2024. doi:10.1001/jamanetworkopen.2024.40018

ARAÚJO, A. M.; RIOS, R. S. H.; NEVES, E. G. T.; CUNHA, R. G. Equipamentos de baixo custo para monitoramento da qualidade do ar: uma revisão. *Revista Maestria*, v. 18, n. 135, p. 106-120, 2023. doi: <10.34117/bjd6n6-483>.

BARBOSA, M. C. de A. D.; SEQUEIRA, B. J. Desconforto respiratório ao nascimento e a necessidade de CPAP nas primeiras horas do recém-nascido. *Revista Eletrônica Acervo Saúde*, v. 24, n. 1, 2024. doi: <10.25248/reas.e14690.2024>.

BARBOZA, L.; GIMENEZ, B. Microplastics in the marine environment: Current trends and future perspectives. *Marine Pollution Bulletin*, v. 97, p. 5-12, 2021. doi: <10.1016/j.marpolbul.2015.06.008>.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Poluição atmosférica e saúde: o papel do SUS na saúde ambiental*. Brasília: Ministério da Saúde, 2016. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/poluicao_atmosferica_SUS_saude_ambiental.pdf. Acesso em: 14 dez. 2024

BRITO, Y.; FERREIRA, G. B. Pré-história: a origem do ser humano no planeta Terra. *Revista Tarairiú*, v. 1, n. 24, 2023. ISSN 2179-8168.

BUGATTI, C.; DE ALMEIDA, K. C.; DE ARAÚJO GUIMARÃES, M. S.; AMÂNCIO, N. D. F. G. Microplásticos e Nanoplásticos e sua relevância na saúde humana: uma revisão de literatura. *Research, Society and Development*, v. 12, n. 1, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i1.39302>.

CASTAÑETA, G.; GUTIÉRREZ, A. F.; NACARATTE, F.; MANZANO, C. A. Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la saúde pública por exposición. *Revista Boliviana de Química*, v. 37, n. 3, p. 142-157, 2020. doi: <10.34098/2078-3949.37.3.4>.

CAUMO, S. L. et al. Human risk assessment of ash soil after 2020 wildfires in Pantanal biome (Brazil). *Air Quality, Atmosphere & Health*, v. 15, 2022. doi: <10.1007/s11869-022-01248-2>.

CAXETA, D. S.; DE MORAES, E. B.; CAIXETA, F. C.; CAIXETA, I. M. S. Microplásticos como indicadores de poluição ambiental e seus efeitos nos organismos. *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer*, v. 19, n. 23, 2022. doi: <10.18677/EnciBio_2022B23>.

CETINKAYA, E., LIU, N., SIMONS, T. J., et al. "Petrochemicals 2030: Reinventing the

COLE, M. et al. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review. *Marine Pollution Bulletin*, v. 62, n. 12, p. 2588–97, 2011. doi: <10.1016/j.marpolbul.2011.09.025>.

DB-City. Indonésia - Sumatra do Norte - Medã. Disponível em: <https://pt.db-city.com/Indon%C3%A9sia--Sumatra-do-Norte--Med%C3%A3>. Acesso em: 2 out. 2024

DE SOUZA, B. S. et al. Análise ambiental integrada da qualidade do ar, variáveis meteorológicas e comunidade de aves em área urbana subtropical. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 13, n. 1, 2024. doi: <10.5585/2024.24055>.

DOS SANTOS, M. C.; MENDES, E. F.; OLIVEIRA-JÚNIOR, E. S. Pantanal sob pressão do desmatamento: pecuária e riscos de incêndios florestais. *Revista de Agroecologia*, Rio de Janeiro, 2023.

EMBREE, Ainslie T. *The Hindu Tradition: Readings in Oriental Thought*. New York: Random House, 1972

EMENIKE, E. C. et al. From oceans to dinner plates: The impact of microplastics on human health. *Heliyon*, v. 9, n. 10, 2023. doi: <10.1016/j.heliyon.2023.e20440>.

FORSTER, H. V.; HAOUZI, P.; DEMPSEY, J. A. Control of Breathing During Exercise. *Comprehensive Physiology*, 2022. doi: <10.1002/cphy.c100045>.

GARCIA, A. et al. Efeitos toxicológicos de partículas finas (PM2.5): riscos à saúde e lesões sistêmicas associadas — revisão sistemática. *Poluição da água, do ar e do solo*, v. 234, n. 6, p. 346, 2023. doi: <10.1007/s11270-023-06278-9>.

GIODA, A. et al. A review on atmospheric analysis focusing on public health, environmental legislation and chemical characterization. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, v. 52, n. 8, p. 1772–1794, 2022. doi: <10.1080/10408347.2021.1919985>.

GONZÁLEZ-ALONSO, J. et al. Pulmonary ventilation and gas exchange during prolonged exercise in humans: Influence of dehydration, hyperthermia and sympathoadrenal activity. *Experimental Physiology*, v. 108, p. 88–206, 2023. doi: <10.1113/EP090909>.

<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 09 de setembro de 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE Cidades. Estimativas da

IKEDA-CASTRILLON, S. K. et al. The Pantanal: A Seasonal Neotropical Wetland Under Threat. *The Palgrave Handbook of Global Sustainability*. Palgrave-McMillan, Basingstoke, Hampshire, England, v. 1, p. 27, 2022. doi: <10.1007/978-3-030-38948-2_36-1>.

JOSEPH, W. et al. Índices de extremos de temperatura do ar na Amazônia brasileira. *Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia*, v. 52, 2021. doi: <10.4000/confins.41520>.

KGABI, N. A. An assessment of common atmospheric particulate matter sampling and toxic metal analysis methods. *African Journal of Environmental Science and Technology*, v. 4, n. 11, p. 718–728, 2010. Disponível em: <https://www.ajol.info/index.php/ajest/article/view/71338>.

KIRK, G. S.; RAVEN, J. E.; SCHOFIELD, M. *The Presocratic Philosophers: A Critical History with a Selection of Texts*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

LÁZARO, W. L. et al. Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: an overview of the Northern Pantanal water regime. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 32, 2022. doi: <10.1590/S2179-975X7619>.

LÁZARO, W. L., Oliveira-Júnior, E. S., Silva, C. J. D., Castrillon, S. K. I., & Muniz, C. C. (2020). Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: an overview of the Northern Pantanal water regime. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32, e104.

LIAO, Z. et al. Airborne microplastics in indoor and outdoor environments of a coastal city in Eastern China. *Journal of Hazardous Materials*, v. 417, 2021. doi: <10.1016/j.jhazmat.2021.126007>.

LIMA, R. B.; PERFATTI, Y. C. Os Efeitos dos Microplásticos. *Revista Científica FESA*, v. 3, n. 15, p. 17-28, 2024. doi: <10.56069/2676-0428.2024.392>.

LOVELOCK, J. E. (1979). Gaia: A new look at life on Earth. Oxford University Press

MADDEN, A. et al. Impacts of microplastics on human health: A systematic review of the literature. *Environmental Research Letters*, v. 15, n. 12, 2020. doi: <10.1088/1748-9326/abc789>.

MARTIN, J. H.; REINHARD, E. Microplastic contamination of the marine environment: A multi-scale perspective. *Environmental Pollution*, v. 259, 2021. doi: <10.1016/j.envpol.2020.113705>.

MARTINS, L. C.; SILVA, I. C. A saúde pública e a poluição atmosférica nas cidades: um panorama das consequências. *Saúde Pública*, v. 22, n. 2, 2024. doi: <10.36590/sp.2024.v22.002>.

MONTAGNER, C. C., Dias, M. A., Paiva, E. M., & Vidal, C. Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. *Química nova*, 44(10), 1328-1352. 2021

MOORE, Jason W. Antropoceno ou capitaloceno. *Natureza, história e a crise do capitalismo*, 2022.

OECD. Global plastics outlook: plastic waste collected for recycling, edition 2022. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/data/oecd-environment-statistics/global-plastics-outlook-plastic-waste-collected-for-recycling-edition-2022_6d923b71-en. Acesso em: 2 out. 2024

OLIVEIRA, J. L.; MARTINS, G. G. Microplásticos: uma nova forma de poluição ambiental. *A ciência e a saúde*, v. 6, n. 4, 2023. doi: <10.18799/21791104/2023.v6n4.2497>.

OLIVEIRA, L. D.; CAIRES, C. F. Microplásticos na água potável: Uma preocupação emergente. *Journal of Water and Health*, v. 23, n. 4, 2023. doi: <10.2166/wh.2023.157>.

OLIVEIRA, V. C. et al. Impacts of global warming on wetlands: Implications for conservation and management of the Pantanal. *Tropical Conservation Science*, v. 14, 2021. doi: <10.1177/1940082921991861>.

PINTO, Viter Magalhães et al. “VOCÊ CONHECE O NOSSO PLANETA?”. *Expressa Extensão*, v. 28, n. 1, p. 80-90, 2023.

população residente no Brasil e unidades da Federação. 2018. Disponível em: <

ROCHA, L. A. et al. Microplásticos: principais fontes e impactos na saúde. *Medicina & Saúde*, v. 9, n. 1, p. 45-55, 2024. doi: <10.52541/medsaude.2024.194>.

RUSCHE, M. et al. The Role of Microplastics in the Environment: A Review of the Impact on Ecosystems and Human Health. *Environmental Toxicology and Chemistry*, v. 39, n. 3, 2020. doi: <10.1002/etc.4537>.

SANTANA, E. C. M. et al. Poluição do ar e seus efeitos na saúde humana: uma revisão. *Revista de Saúde Pública*, v. 23, n. 3, 2023. doi: <10.1590/s1518-8787.2023000400096>.

SANTOS, R. B. D., Menezes, J. A., Confalonieri, U., Madureira, A. P., Duval, I. D. B., Garcia, P. P., & Margonari, C. (2019). Construção e aplicação de um índice de vulnerabilidade humana à mudança do clima para o contexto brasileiro: a experiência do estado do Espírito Santo¹. *Saúde e Sociedade*, 28, 299-321.

SINGH, A.; TYAGI, A.; ALI, A. Effects of microplastics on human health: A review. *Environmental Health and Preventive Medicine*, v. 26, n. 1, 2021. doi: <10.1186/s12199-021-00928-8>.

SMITH, A. B. et al. The impact of microplastics on marine ecosystems: A global overview. *Marine Environmental Research*, v. 164, 2021. doi: <10.1016/j.marenvres.2021.105128>.

TAVARES, J. F. et al. The role of citizens in addressing microplastics: A path to sustainable solutions. *Environmental Science & Policy*, v. 118, 2021. doi: <10.1016/j.envsci.2021.06.002>.

VETHAAK, A. Dick; LEGLER, Juliette. Microplastics and human health. *Science*, v. 371, n. 6530, p. 672-674, 2021.

VIANNA, J. F. et al. Microplásticos em ambientes aquáticos: Um estudo de caso na costa do Brasil. *Ciência e Saúde Coletiva*, v. 25, n. 8, 2020. doi: <10.1590/1413-81232020258.12582019>.

Vormittag, E. da M. P. A. de A., Cirqueira, S. S. R., Wicher Neto, H., & Saldiva, P. H. N. Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. *Estudos Avançados*, 35(102), 7-30. 2021 <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.002>

WATTS, A. W. et al. The contamination of freshwater systems with microplastics: Sources, effects, and solutions. *Freshwater Biology*, v. 65, n. 5, p. 919-932, 2020. doi: <10.1111/fwb.13458>.

YANG, Y., LIU, W., ZHANG, Z., GROSSART, H. P., & Gadd, G. M., Microplastics provide new microbial niches in aquatic environments. *Applied microbiology and biotechnology*, 2020. 104: 6501-6511.

YAO, Ying et al. Characterization of microplastics in indoor and ambient air in northern New Jersey. *Environmental research*, v. 207, p. 112142, 2022.

ZHU, Xuan et al. Airborne microplastic concentrations in five megacities of northern and southeast China. *Environmental science & technology*, v. 55, n. 19, p. 12871-12881, 2021. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c03618>

ZAPATA, Raulin et al. Emissões de microplásticos via ar e composto de uma instalação de compostagem industrial na Inglaterra. *Environmental Pollutants and Bioavailability*, v. 36, n. 1, p. 2296046, 2024. Doi:<https://doi.org/10.1080/26395940.2023.2296046>

SYAFEI, A. et al. Microplastic pollution in the ambient air of Surabaya, Indonesia. *Current World Environment*, v. 14, n. 2, p. 290-298, 2019. ISSN: 0973-4929

Considerações finais

A poluição atmosférica é uma grave preocupação de saúde pública devido aos seus diversos impactos adversos, especialmente nas doenças respiratórias. O material particulado (MP), composto por minúsculas partículas sólidas ou líquidas suspensas na atmosfera, varia em tamanho e composição, influenciando seus efeitos na saúde humana e no meio ambiente.

Crianças, idosos, pessoas com doenças respiratórias pré-existent e indivíduos de baixa renda em áreas urbanas altamente poluídas são particularmente vulneráveis. Além das doenças respiratórias, a poluição do ar está associada a impactos sistêmicos como doenças cardiovasculares, danos ao sistema nervoso, efeitos adversos na gravidez e aumento da mortalidade prematura.

É crucial destacar que a atmosfera pode conter uma variedade de compostos, incluindo metais tóxicos, que podem ser absorvidos pelo corpo humano e acumulados na cadeia alimentar, aumentando os riscos para a população humana e a vida selvagem.

A presença crescente de microplásticos no ar, com partículas ultrafinas menores que 5 milímetros, é outra preocupação significativa relacionada à poluição atmosférica. Essas partículas podem ser facilmente inaladas e transportadas pelo ar, com potenciais impactos desconhecidos na saúde humana e ambiental. A qualidade do ar varia consideravelmente entre diferentes

regiões do mundo. Regiões em desenvolvimento enfrentam desafios adicionais devido a infraestruturas inadequadas, padrões de emissão menos rigorosos e rápido crescimento urbano. Mesmo em países desenvolvidos com regulamentações mais estritas, a poluição do ar continua sendo um problema significativo.

Para mitigar efetivamente a poluição do ar, é essencial uma abordagem integrada que inclua políticas ambientais robustas, investimentos em tecnologias limpas, promoção de transporte sustentável e conscientização pública. A implementação rigorosa de regulamentações e políticas, monitoramento contínuo das emissões de poluentes e pesquisa científica são fundamentais para melhorar os resultados e desenvolver práticas mais sustentáveis.

Apêndices

Artigo 4

Pantanal sob pressão do desmatamento: pecuária e riscos de incêndio florestal

Pantanal: wetland under pressure from deforestation, livestock and forest fire risks

SANTO, Maísa Consuelo dos, 1; MENDES, Eduardo Fagundes 2; OLIVEIRA-JUNIOR, Ernandes Sobreira³

1, 2 e 3 Universidade do Estado de Mato Grosso; Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais; Centro de Pesquisa em Limnologia, Biodiversidade e Etnobiologia do Pantanal; Laboratório de Ictiologia do Pantanal Norte

1 maisa.shimokawa@unemat.br 2 eduardo.fagundes@unemat.br 3 ernandes.sobreira@unemat.br

Cadernos de Agroecologia – ISSN 2236-7934 - Anais do XII Congresso Brasileiro de Agroecologia, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - v. 19, n. 1, 2024

Eixo Temático: Crise ecológica, e mudanças climáticas: resistências e impactos na agricultura, nas águas e nos bens comuns

Resumo

O Pantanal apresenta grande biodiversidade, recursos hídricos e uma riqueza de comunidades tradicionais. Entretanto, a paisagem tem se modificado nesse bioma pela pressão pecuária. Estudos evidenciam redução das massas d'água relacionada tanto a fatores naturais quanto antrópicos, afetando os diferentes atores sociais. Objetivou-se diagnosticar a mudança na paisagem (uso do solo)

em municípios do Pantanal Norte entre os anos de 2009 e 2021. O rebanho bovino se expandiu no Pantanal, atrelado ao aumento do desmatamento, que somado aos focos de incêndio ameaçam o bioma e toda sua diversidade. Entre os municípios estudados, Poconé foi aquele com maior foco de incêndio, corroborando que a relação da presença do boi com incêndio é negativa, trazendo controversas de que o gado pode exercer atividade de “bombeiro”. O crescimento pecuário e junto dele o desmatamento e as queimadas trazem riscos a biodiversidade e as comunidades pantaneiras, mas a agroecologia pode ser um caminho de salvação.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental; Desflorestamento; Queimadas.

Keywords: Environmental monitoring; Deforestation; Fires.

Introdução

O Pantanal apresenta cerca de 160.000 km² com aproximadamente 140.000 km² no Brasil. O bioma está localizado no centro da América do Sul, no oeste do Brasil, e nas fronteiras com o Paraguai e Bolívia. Sua porção pantanosa, no Brasil, é conhecida como Bacia do Alto Paraguai (ALHO, 2020).

Esse bioma realiza processo de evapotranspiração, purificação das águas, oferece teias alimentares aquáticas e terrestres, fomenta atividades lucrativas e de preservação, apresentando grande capacidade de produção primária e estoque de carbono, diversidade de flora, fauna e abundância de culturas, povos e recursos hídricos (WANTZEN et al, 2008; CARDOSO et al, 2010; DA SILVA e GUARIM NETO, 2020).

Entretanto, a paisagem tem se modificado no Pantanal. Associado a redução de massa d'água, sendo 16% a menos entre 2008 e 2018 (LÁZARO e OLIVEIRA-JÚNIOR et al., 2020), e com as ameaças econômicas impostas pelo agronegócio, por exemplo, com o início de plantações de cana-de-açúcar (MELDENSON et al., 2020).

Um efeito em cascata pode ser observado neste ambiente. Primeiramente, com a presença da seca, áreas antes não utilizadas ficam expostas e passam a ser desmatadas, ou “limpas” para o uso. A “limpeza” da paisagem, na maioria das vezes é realizada através do uso do fogo, o qual pode se expandir e tomar grandes extensões. A maior parte do Pantanal queimou pelo menos uma vez nos últimos vinte anos, e várias áreas queimaram pelo menos uma vez por ano (CORREA et al, 2022).

A perspectiva de aumento da frequência e extensão de fogo no Pantanal e em outros ecossistemas tropicais representa uma séria ameaça à conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, pois os efeitos cumulativos podem ser consideráveis em uma estimativa de longo prazo (TOMAS et al, 2021).

O avanço da pecuária e desmatamento, assim como o aumento na frequência de incêndios florestais coloca em risco não só a biodiversidade, mas também as populações humanas pantaneiras. Além do processo de degradação ambiental (BARROS et al., 2017), contribuição com o aquecimento global (PRIMAVESI, 2007; SILVA, 2018) e piora na saúde e bem viver humano (RIBEIRO e ASSUNÇÃO, 2002; ROCHA, 2015; BRASIL, 2021) o desequilíbrio de atividades antrópicas ameaça a maior área úmida do planeta.

Há uma preocupação das relações antrópicas no bioma pantaneiro sob um sistema em cascata: 1) desmatamento; 2) aumento dos focos de incêndio; 3) inclusão de atividades econômicas (e.g. pecuária). Desta forma, esse trabalho tem como objetivo diagnosticar a mudança na paisagem (uso do solo) nos municípios de Barão de Melgaço, Cáceres, Nossa Senhora do Livramento, Poconé e Santo Antônio do Leverger - Pantanal Norte, entre os anos de 2009 e 2021.

O Pantanal Norte está localizado no Mato Grosso entre os municípios de Cuiabá, Várzea Grande, Poconé, Santo Antônio do Leverger, Cáceres, Barão do Melgaço e Nossa Senhora do Livramento. Entretanto, para este estudo foram considerados somente os municípios de Barão de Melgaço, Cáceres, Nossa Senhora do Livramento, Poconé e Santo Antônio do Leverger, por apresentarem-se em maior parte na planície pantaneira.

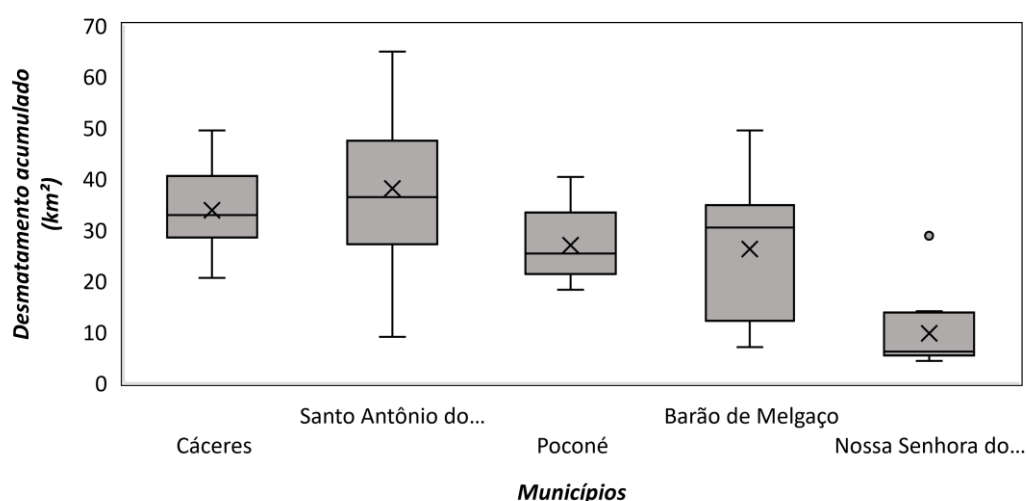
Para o levantamento dos dados de rebanho utilizou-se o sistema – SIDRA IBGE – (<https://sidra.ibge.gov.br>). As áreas degradadas pelo desmatamento foram mapeadas por desmatamento acumulado por km² a partir do sistema PRODES pela Plataforma de Dados Geográficos – TERRABRASILIS (<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>). A Frequência de Risco de Fogo foi extraída pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE Sistema de Monitoramento BDQueimadas (<https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>). Os dados utilizados para esta pesquisa consideram uma série temporal de 2009 a 2021, período em que todas as bases de dados apresentaram disponibilidades

de informações para área de estudo. Todos os dados foram tabulados e uma regressão linear foi utilizada para a análise da tendência das variáveis. Os dados foram analisados no Excel® e foram considerados como significativos quando $p < 0.05$.

Resultados e Discussão

O município de Santo Antônio do Leverger foi aquele com maior desmatamento acumulado entre os anos de 2009 e 2021, totalizando 495.05 km² conforme figura 01.

Figura 01: Desmatamento acumulado entre os anos de 2009 e 2021. Fonte: dos autores, 2023.

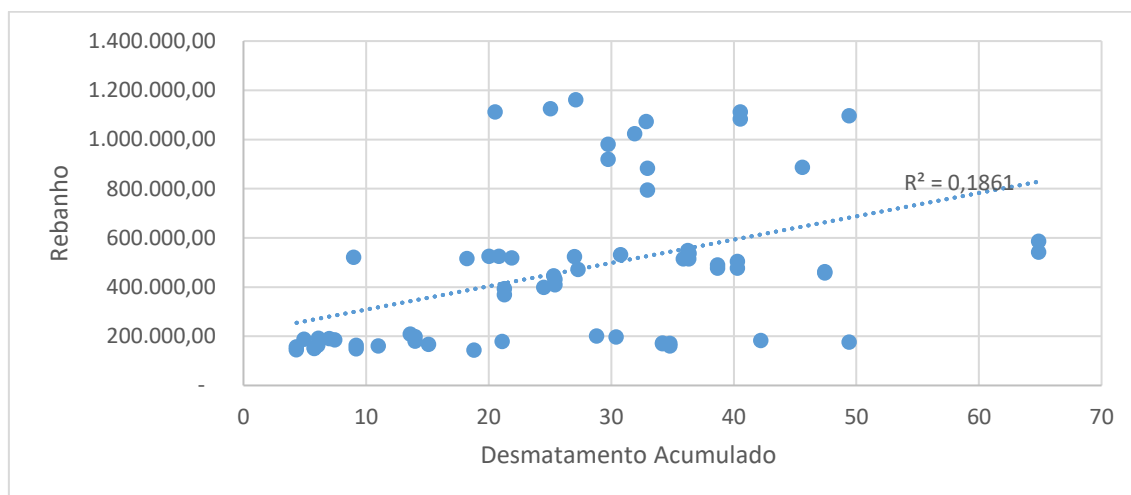


O município de Cáceres apresentou a segunda maior área desmatada acumulada, 438.92 km². Abdon et al (2007) identificou que Cáceres já contribuía com a supressão da vegetação em maiores números absolutos. Muitos são os impactos das atividades humanas sobre os recursos naturais, e dentre eles a transformação da paisagem natural pelo desmatamento e estão relacionadas também às áreas de grandes fazendas, pela formação de grandes clarões, introdução de espécies exóticas e pecuária (ALHO et al, 2019; SILVA, et al 2011).

De fato, é observado que o rebanho bovino expandiu significativamente no Pantanal entre os anos de 2009 a 2021. Ainda, quando comparado os dados de rebanho e desmatamento, tem-se como resultado uma relação positiva significativa entre o desmatamento e o rebanho (Regressão linear simples; $R^2 =$

0,186; $p < 0.05$; Figura 02). O município de Cáceres lidera com maior número de cabeças de gado, acumulando 1.161.605 de cabeças, Poconé é o segundo município com maior rebanho (464,919,05 cabeças).

Figura 02. Regressão entre Rebanho e Desmatamento Acumulado entre os anos de 2009 a 2021.



Associado ao aumento do desmatamento e da pecuária, o advento do fogo também está presente. Os fazendeiros têm o hábito de atear fogo na vegetação durante a estação de seca para “limpar” a área, as fazendas dedicadas ao turismo costumam também queimar o lixo em lugares escondidos pelo dossel da mata (ALHO et al., 2019). Este fato possibilita maiores riscos de incêndio na região, principalmente quando considerado que a área tem permanecido mais seca, os dias sem chuva tem aumentado (LÁZARO E OLIVEIRA-JUNIOR et al., 2020).

Poconé foi o município com maior média de focos de incêndio 961,92 (Potência Radiativa de Fogo – FRP) entre os anos analisados, seguindo de Cáceres e Barão do Melgaço, 829,46 e 816,54 FRP, respectivamente. Os anos que mais queimaram em Poconé foram 2015 e 2022. Em uma análise do Pantanal como um todo, pesquisadores revelaram que as queimadas na região cresceram 215% em 2020 em relação ao mesmo período de 2019 (LEAL FILHO et al., 2021).

Conclusões

Durante o período de 2009 a 2021 observa-se que o crescimento do rebanho possui uma relação significativa e positiva com o desmatamento. Associado a isso, há a preocupação do aumento de áreas secas com maior possibilidade de risco de incêndio florestal, principalmente quando se leva em consideração o uso do fogo para a “limpeza” da pastagem. Estes dados demonstram que os focos de incêndio estão cada vez mais

presentes na região, e principalmente em áreas onde o desmatamento e a pecuária são mais fortes, o que deve ser levado em consideração para a tomada de decisão quanto ao manejo do uso do solo no Pantanal.

A agroecologia e o investimento em sistemas de produção e tratamentos culturais sustentáveis podem ser uma alternativa para contornar a situação de degradação no bioma. Atividades de educação agroecológica, fomento da agricultura familiar e fortalecimento regional da economia dos povos tradicionais junto à integração e diálogo entre pequenos e grandes produtores pode vir a auxiliar na superação desses desafios apresentados que estão contemplados nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) principalmente nos números 2 (Fome zero e Agricultura Sustentável), 6 (Água potável e saneamento), 13 (Ação contra a mudança global do clima) e 15 (vida terrestre).

Agradecimentos

Gratidão à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa processos 88887.726514/2022-00 e nº 88887.702935/2022-00, e ao Ministério Público pelo apoio de infraestrutura.

Referências bibliográficas

ABDON, Miryan de Souza, et al. Desmatamento no bioma pantanal até o ano 2002: relações com a fitofisionomia e limites municipais. **Revista brasileira de cartografia**, São Paulo; 2007.

ALHO, Cleber J.R. O significado socioeconômico do turismo na natureza: o Pantanal diante das normas reguladoras do Estado. **Sociedade e Estado**, v. 34, p. 769-786, 2019. doi: 10.1590/s0102-6992-201934030006

BARROS, João P. et al. Produção animal e os impactos ao meio ambiente. **Colloquium Agrariae**, vol. 13, n. Especial, Jan–Jun, 2017, p. 381-390

BRASIL. **Queimadas e incêndios florestais**: atuação da vigilância em saúde ambiental [recurso eletrônico] – Ministério da Saúde – Brasília: Ministério da Saúde, 2021. 25 p. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/incendios_florestais_vigilancia_ambiental.pdf> Acesso em: 10/07/2023.

CARDOSO, Evaldo L. et al. Carbon and nitrogen stocks in soil in native forests and pasture in the Pantanal biome, Brazil. **Pesquisa Agropecuária do Brasil**. v 45, n 09, p.1028-1035, set. 2010.

CORREA, Danielle B. et al. Increased burned area in the Pantanal over the past two decades. **Science of The Total Environment** v. 835, Agosto, 2022.

DA SILVA, Carolina J.; GUARIM NETO, Germano (Orgs.). Comunidades tradicionais do Pantanal. Cuiabá: Entrelinhas; Cáceres: **Editora Unemat**. 2020. 160 p.

PRIMAVESI, Odo. A pecuária de corte brasileira e o aquecimento global — São Carlos: **Embrapa Pecuária Sudeste**, 2007. 43 p.

IBGE – instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Áreas Territoriais, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?t=acesso-ao-produto&c=5107800>

IKEDA-CASTRILLON, Solange K. et al. The Pantanal: a seasonal neotropical wetland under threat. In: **The Palgrave Handbook of Global Sustainability**. Palgrave Macmillan, Cham. 2022.

LÁZARO, Wilkinson L. et al. Mudanças climáticas refletidas em uma das maiores áreas úmidas do mundo: uma visão geral do regime hídrico do Pantanal Norte. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v 32, 2020.

LEAL FILHO, Walter et al, Fire in Paradise: Why the Pantanal is burning. **Elsevier**; Novembro, 2022.

MELDELSON, Lima et al. Sugarcane: Brazilian public policies threaten the Amazon and. Pantanal biomes. **Associação Brasileira de Ciências Ecológicas**. Elsevier Editora, v8, p. 210-212, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.06.002>

PIVELO, Vânia R., et al. Understanding Brazil's catastrophic fires: Causes, consequences and policy needed to prevent future tragedies. Perspectives in Ecology and Conservation. **Elsevier Editora**, v9, p. 233-255, 2021.

RIBEIRO, Helena; ASSUNÇÃO, João V. de. Efeitos das queimadas na saúde humana. **Estudos Avançados**. v. 16, n. 44, p. 125–148, 2002.

ROCHA, Lilian R. L. Desmatamento/queimadas e seus efeitos danosos à saúde da população nos municípios de Alta Floresta, Guarantã do Norte, Novo Mundo e Peixoto de Azevedo, na área de influência da BR-163, no estado do Mato Grosso. 2015. 214 f, il. Tese (Doutorado em Ciências e Tecnologias em Saúde) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SILVA, Fernanda M. **Pecuária de corte bovina brasileira**: sua contribuição pelo aquecimento global nos últimos 20 anos e o desrespeito ao art. 170, VI da Constituição Federal. 72 f. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Faculdade de Direito, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

SILVA, João S.V. et al. Evolução do Desmatamento no Brasil Pantanal e Arredores, Prazo 1976 - 2008. **Geografia, Rio Claro**, v. 36, p. 35-55, jun. 2011.

TEODORO, Paulo E. et al. Wildfire Incidence throughout the Brazilian Pantanal Is Driven by Local Climate Rather Than Bovine Stocking Density. **Sustentabilidade**. v14, 2022.

TOMAS, Walfrido M. et al., Pesquisas de amostragem à distância revelam 17 milhões de vertebrados mortos diretamente pelos incêndios florestais de 2020 no Pantanal, Brasil. **Scientific Reports**. 2021.

Agosto de 2023 Edição 013	Boletim informativo Reflexões Hidro-lógicas!!	UNEMAT Universidade do Estado de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado
---	---	---

Não consigo dizer se é bom ou mau...

O ser humano tem um fascínio pelo fogo. Olhar o fogo, sentir o calor na pele, estimula as emoções. Quem nunca ficou olhando a dança de uma chama? Quem nunca brincou com fogo? Até nossas mães dizerem “quem brinca com fogo faz xixi na cama”. Acredita-se que um dos sinais que marca o início da civilização humana tenha sido a descoberta do fogo. Na idade

média, por exemplo, acreditava-se que o fogo tinha o poder de transformar um material qualquer, sem valor, em ouro. No início era bastante usado para proteção, afastando os animais nocivos, servia também para fugir dos dias frios e posteriormente cozimento dos alimentos. De uma forma sucinta, dentre várias lendas indígenas tem uma que traz a história do fogo mais ou menos assim:

Somente Minará possuía o domínio do fogo, mantido aceso por sua filha Iaravi. Um jovem chamado Fietó, ao se transformar em gralha branca e cair no rio onde Iaravi banhava, foi resgatado por ela e aquecido no fogo. Porém, Fietó espertamente roubou uma brasa, incendiando a floresta e propagando o fogo para todas as tribos. Fonte: <https://xapuri.info/a-lenda-de-minara-o-dono-do-fogo/>

O fogo é também um mecanismo bastante utilizado para "limpar" o quintal, "limpar" a pastagem. Embora o termo "limpar" neste caso possa ser traduzido como exterminar aquilo que não queremos ver, como se o quintal estivesse sujo, ou a pastagem também. Importante ressaltar que queimada urbana é crime o ano todo. Ou seja, não pode fazer queimada em nenhum período do ano. Já as queimadas em ambientes rurais podem ser feitas com a autorização prévia dos órgãos ambientais competentes (SEMA). De acordo com o decreto estadual nº 259/2023 as queimadas rurais entre 01 de julho a 31 de outubro estão proibidas, sob pena de multa e/ou prisão para quem desobedecer. No Mato Grosso, de maio a outubro é um período seco, levando as plantas a perderem suas folhas e tornando a pastagem mais vulnerável à colonização de insetos. Alguns acreditam que é "necessário" atear fogo na vegetação seca. Isso está correto? Não! Não está. Pois o fogo diminui a cobertura vegetal e causa a morte de diversos animais, especialmente insetos e animais rastejantes, como mostram as imagens abaixo:



Queimada em área urbana de Cáceres. Fonte: Wilkinson Lázaro (imagem 2) e Janaina Vetoreti (imagem 3). Fonte: Chistiano Antonucci (imagem 1).

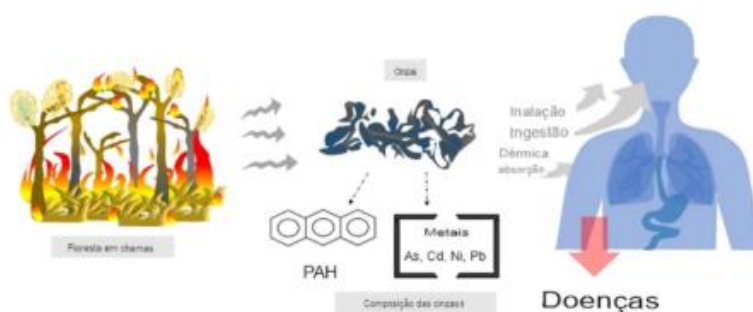
É tão certo quanto o calor do fogo... As queimadas prejudicam a saúde do solo, levando à perda de nutrientes essenciais para o crescimento das plantas, como potássio, nitrogênio e fósforo e matando microrganismos importantes. Além disso, o fogo reduz a umidade do solo, compactando-o e causando erosão. A falta de vegetação aumenta a liberação de dióxido de carbono na atmosfera, agravando o aquecimento global e comprometendo a qualidade do ar, o que, por consequência, afeta a saúde humana.



Solo do Pantanal queimado nos incêndios de 2020. Fonte: Sérgio Santorelli.

A fumaça e as cinzas produzidas com as queimadas contêm uma variedade de substâncias tóxicas, como monóxido de carbono, dióxido de enxofre, Material Particulado - MP2,5 e compostos orgânicos voláteis. A exposição a esses poluentes pode causar problemas respiratórios contribuindo com aumento nas internações hospitalares de crianças. As crianças podem apresentar sintomas clínicos de lesões respiratórias levando a uma maior demanda nos serviços de atenção primária à saúde e risco de infecções respiratórias graves. Principalmente

na faixa etária de até 2 anos e em idosos os efeitos tornam-se imediatamente aparentes, resultando em internações no mesmo dia.



Riscos das cinzas à saúde humana. Fonte: Sofia Caumo e colaboradores, 2022.

Vê-se o subir da fumaça com o partir das águas. Estudos recentes têm mostrado que o Pantanal está perdendo água devido às mudanças climáticas. Estamos vivenciando o aumento de dias sem chuvas e também da seca, onde as áreas alagadas agora vem dando lugar a vegetação de gramíneas, que diferente das árvores, não produzem tanta umidade para o ambiente, nem ajudam a diminuir a temperatura. Isso tudo, somado às queimadas acidentais e criminosas vêm tornando as áreas do Pantanal cada vez mais suscetíveis a incêndios como vimos em 2020, onde 1/4 do bioma Pantaneiro virou cinzas. O fogo é uma força dual, ora constrói, ora destrói. Temos o poder de escolher: ser a chama que nutre a vida ou a que a consome, não deixemos que a ganância e a ignorância humana queimem e faça arder.



Área queimada do Pantanal em 2020. Fonte: Clau Lizieri.

Texto produzido por: Janaina Vetoreti, Máisa Consuelo dos Santos Shimokawa, Gabriela Elidio da Silva, Ernandes Sobreira Oliveira Junior.

Julho de 2024 Edição 003	Ocorrências das queimadas em Cáceres –MT em 2024: uma preocupação anunciada Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais e Programa de Pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos da Universidade do Estado de Mato Grosso	 UNEMAT Universidade do Estado de Mato Grosso Carlos Alberto Reyes Maldonado
--	--	--

Texto produzido por: Maísa Consuelo dos Santos; Bruna Caroline Paspardelli Cortelete; Érico Fernando de Oliveira Martins; Solange Kimie Ikeda Castrillon; Derick Victor de Souza Campos; Beatriz Ferraz Bühler; Francisco Lledo dos Santos; Anderson Marques do Amaral; Claumir Cesar Muniz; Wilkinson Lopes Lázaro; Ernandes Sobreira Oliveira Junior.

Apresentação

Os incêndios florestais impactam significativamente a biodiversidade, o clima e a saúde humana. A intensificação das pressões antrópicas sobre o ambiente, associado à iminente crise hídrica decorrente das mudanças climáticas, têm produzido períodos de estiagem cada vez mais severos e longos, o que favorece a ocorrência e intensidade de incêndios. No Pantanal, especialmente no município de Cáceres, Mato Grosso, os incêndios florestais têm causado sérios prejuízos econômicos e à saúde pública. Utilizando a análise da Energia Radiativa do Fogo – FRP, esta Nota Técnica apresenta as ocorrências mensais de FRP, e os padrões de queimadas no município de Cáceres, Mato Grosso, entre os anos de 2018 e 2024.

Introdução

Os incêndios florestais são eventos significativos que afetam a biodiversidade, o clima e a saúde humana. A energia radiativa do fogo (*Fire Radiative Power* – FRP) é uma medida utilizada para quantificar a intensidade dos incêndios e suas emissões de carbono. É habitual ouvir que o fogo é um elemento

presente e essencial no Pantanal, sendo muito frequente olhar para o horizonte e perceber a fumaça tomando conta da paisagem.

No entanto, os incêndios vêm causando prejuízos ao ecossistema pantaneiro. Estima-se que cerca de 17 milhões de vertebrados foram mortos diretamente pelo fogo no ano de 2020 em um bioma que teve 27% de seu território queimado (Tomas et al 2021). A perda da biodiversidade implica diretamente no prejuízo, e até mesmo na interrupção, de serviços ecossistêmicos essenciais à manutenção da vida, como por exemplo, a qualidade do ar. Na saúde humana, crianças, idosos e portadores de comorbidades, são os mais atingidos. Além disso, é importante destacar que as consequências diretas da queima de biomassa, impactam, não só a população local, como também, a população de outras cidades e estados.

A presença do fogo associada às mudanças climáticas, vêm potencializando os danos causados. O aumento de temperatura, produzindo frequentes ondas de calor extremo, e o longo período de estiagem, criam um cenário propício à perpetuação do fogo. Neste sentido, Mato Grosso publicou o Decreto Estadual nº 827/2024 regulamentando novos períodos de proibição de uso de fogo para cada bioma, sendo: Amazônia - 1º de julho a 30 de novembro; Cerrado - 1º de julho a 30 de novembro; Pantanal - 1º de julho e 31 de dezembro.

Desta forma, considerando que as queimadas podem gerar imensos prejuízos ambientais e para os seres humanos, este estudo analisa as ocorrências mensais de FRP na região de Cáceres, Mato Grosso, Brasil, proporcionando uma visão detalhada dos padrões de queimada ao longo dos anos de 2018 a 2024, destacando as necessidades de ação para o ano de 2024.

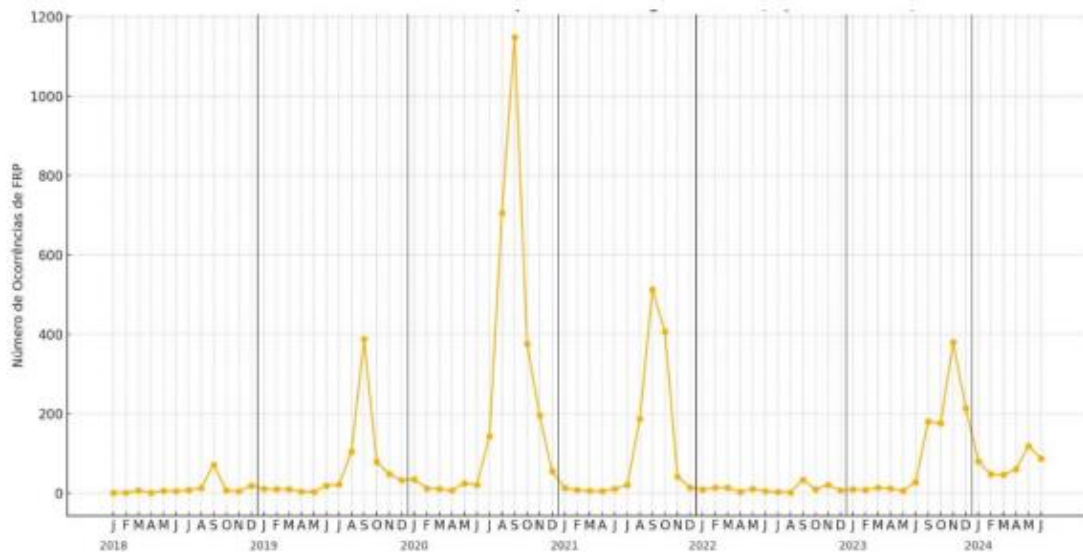
Metodologia

Os dados de FRP foram coletados a partir de registros de satélite fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Banco de Dados de queimadas (Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/bdqueimadas>) para a região de Cáceres, abrangendo o período de 2018 a 2024. Os valores de FRP foram agrupados por mês e analisados utilizando o algoritmo *K-means*. A escolha do número de clusters foi baseada no método do cotovelo, que identifica o ponto onde a redução na inércia (soma das distâncias quadráticas dos pontos ao centro do cluster) começa a se estabilizar. Os dados foram, então, classificados em dois clusters distintos, representando diferentes níveis de ocorrência de FRP, baixo período de ocorrência de queimadas e alto período. Além disso, os dados foram organizados para a melhor visualização do período.

Resultados e Discussão

Os resultados demonstram que a ocorrência de FRP não é uniforme ao longo do ano (Figura 01), apresentando picos específicos que correspondem aos períodos de seca na região, conforme relatado em estudos anteriores (Lázaro e Oliveira-Junior et al., 2020). A análise temporal revela picos significativos de ocorrências de FRP, que correspondem aos meses de agosto a outubro de cada ano. Estes meses, caracterizados por condições climáticas secas, são os mais propensos a incêndios florestais. Os dados mostram um padrão consistente de aumento nas ocorrências de FRP durante este período, seguido por uma queda nos meses subsequentes.

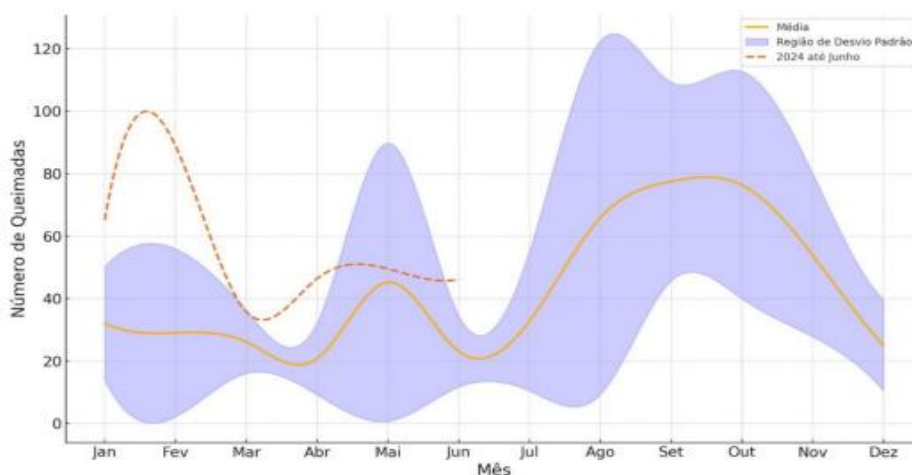
Figura 1: Número de Ocorrências de FRP por Mês ao Longo dos Anos (a partir de 2018).



Os dados parciais de 2024 até junho mostram uma tendência inicial que **NÃO** segue o padrão histórico (Figura 02), com um aumento em fevereiro e março, seguido de uma redução em abril e maio. **Estes dados sugerem que, se as condições climáticas seguirem as tendências históricas, o número de queimadas pode aumentar novamente nos meses subsequentes de 2024.**

Os resultados destacam a importância de estratégias de manejo de fogo baseadas em dados para mitigar os impactos ambientais e sociais das queimadas. Estudos futuros devem continuar a explorar a relação entre variabilidade climática e queimadas, visando aprimorar as práticas de gestão de recursos naturais na região.

Figura 2: Média de Queimadas por Mês com Desvio Padrão e 2024 até junho (2018-2024) em Cáceres.

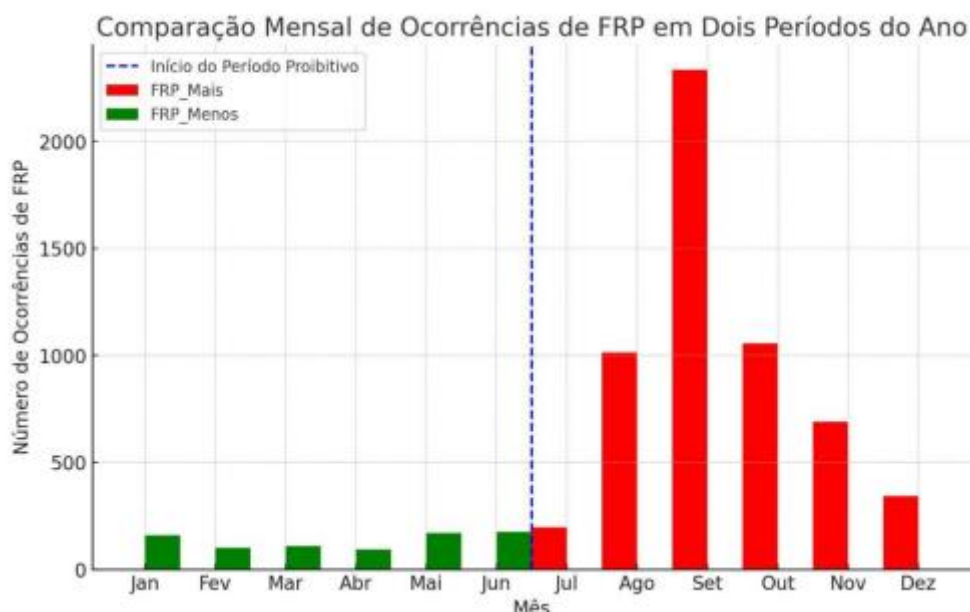


A média mensal de queimadas entre 2018 e 2024, ilustrada na Figura 2, fornece uma visão clara dos padrões sazonais de ocorrência de queimadas na região de Cáceres. O gráfico destaca a média do número de queimadas por mês (linha amarela), a região de desvio padrão (área sombreada azul) e os dados parciais de 2024 até junho (linha tracejada vermelha).

Os dados indicam que a partir de julho, há uma tendência de aumento significativo no número de queimadas, ocorrendo pico entre agosto e outubro, e, uma tendência a diminuição no número de queimadas nos meses subsequentes. Este padrão é consistente com os meses de seca na região, que são mais propícios para a ocorrência de incêndios florestais.

Corroborando com esses resultados, a figura 3 apresenta uma divisão em relação as ocorrências de FRP por ano. Em verde são os meses de menor FRP, já em vermelho os meses de maior ocorrência, sendo o mesmo período de proibição de uso do fogo estabelecido pela legislação estadual.

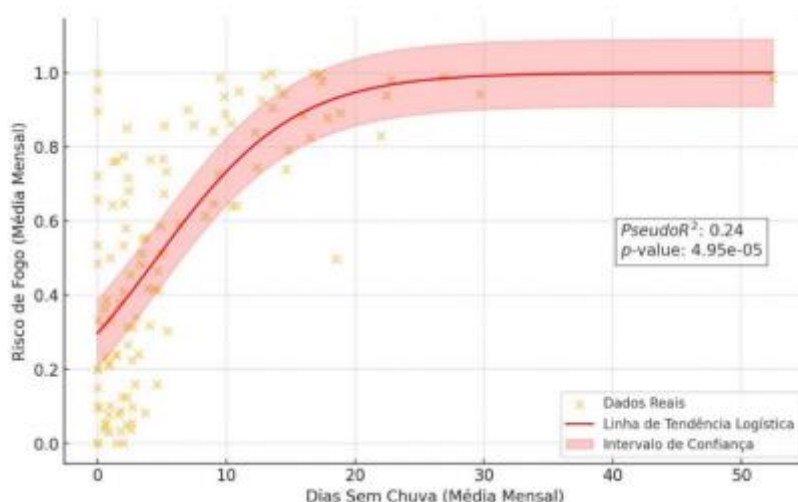
Figura 3: Comparação mensal de Ocorrências de FRP dividida em dois períodos do ano.



A análise das médias mensais e da variabilidade das queimadas ao longo dos anos fornece informações importantes sobre os padrões sazonais das queimadas na região de Cáceres. As informações destacam a importância de monitorar continuamente os dados de FRP e de queimadas para antecipar períodos críticos e implementar medidas preventivas eficazes. A correlação entre os padrões climáticos sazonais e as ocorrências de queimadas reforça a necessidade de estratégias de manejo de fogo adaptativas, baseadas em previsões climáticas. Desta forma, observa-se que anos com maior incidência de queimadas também são aqueles mais secos, obviamente (Figura 04). Destaca-se que o ano de 2024 tem apresentado níveis bastante baixos de umidade relativa do ar e de pluviosidade, o que infere em um potencial risco de queimadas na região para os próximos meses.

A análise das médias mensais e da variabilidade das queimadas ao longo dos anos fornece informações importantes sobre os padrões sazonais das queimadas na região de Cáceres. ***As informações destacam a importância de monitorar continuamente os dados de FRP e de queimadas para antecipar períodos críticos e implementar medidas preventivas eficazes.*** A correlação entre os padrões climáticos sazonais e as ocorrências de queimadas reforça a necessidade de estratégias de manejo de fogo adaptativas, baseadas em previsões climáticas. Desta forma, observa-se que anos com maior incidência de queimadas também são aqueles mais secos, obviamente (Figura 04). ***Destaca-se que o ano de 2024 tem apresentado níveis bastante baixos de umidade relativa do ar e de pluviosidade, o que infere em um potencial risco de queimadas na região para os próximos meses.***

Figura 4: Linha de Tendência Logística com Intervalo de Confiança - Dias Sem Chuva e Risco de Fogo (Médias Mensais).



A análise apresentada na Figura 4 investiga a relação entre o número de dias sem chuva (média mensal) e o risco de fogo, representado pela média mensal do FRP. A linha de tendência logística (linha vermelha) indica a relação entre essas variáveis, enquanto a região sombreada em vermelho representa o intervalo de confiança.

Os resultados mostram uma correlação positiva entre os dias sem chuva e o risco de fogo, com um aumento significativo no risco de fogo à medida que o número de dias sem chuva aumenta. Esta relação é estatisticamente significativa, conforme indicado pelo valor de pseudo R² de 0,24 e o p-valor menor do que 0.01.

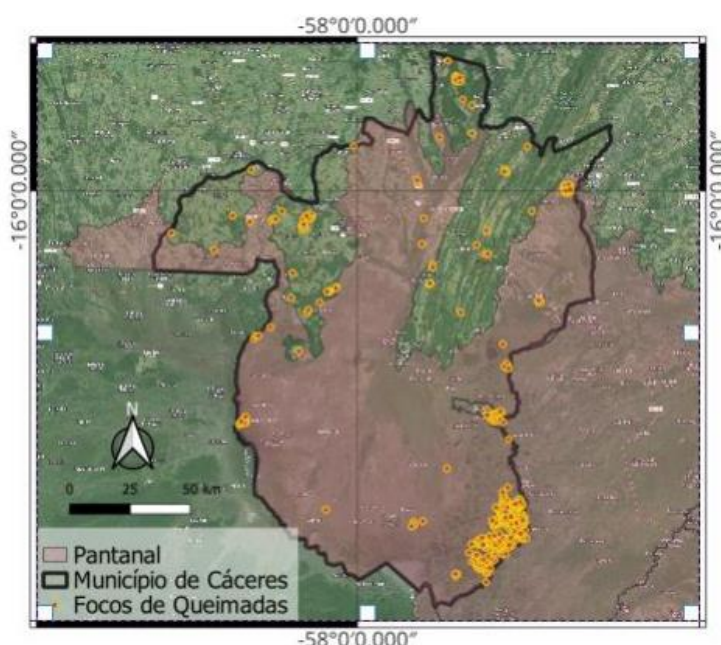
Os dados mostram que a probabilidade de ocorrência de incêndios aumenta exponencialmente com o número de dias sem precipitação. Esta tendência reflete a seca progressiva da vegetação, que se torna mais suscetível a queimadas após períodos prolongados de estiagem. A linha de tendência logística modela esta relação de forma precisa, evidenciando um ponto de inflexão em torno de 20 dias sem chuva, após o qual o risco de fogo se estabiliza em níveis elevados, com alta probabilidade de queimada. ***Ressalta-se que o Pantanal de Cáceres já se encontra a mais de 60 dias sem precipitação, potencializando o risco de fogo para este período e próximos.***

Esses resultados corroboram estudos anteriores que indicam a importância das condições meteorológicas na dinâmica dos incêndios florestais (Andela et al., 2017; Van der Werf et al., 2008). A variabilidade nas observações individuais destaca a complexidade dos fatores que influenciam os incêndios, incluindo variáveis não meteorológicas como práticas agrícolas e ações humanas.

Como ponto fundamental a ser observado, além do número de queimadas, e da redução de umidade e precipitação (Pinheiro et al 2022), é também a localização das queimadas. Os diferentes tipos de vegetação afetados revelaram que os incêndios em áreas florestais tendem a

ser mais intensos devido à alta biomassa disponível e são mais suscetíveis durante os períodos de seca severa. Em áreas de savana, onde a vegetação é mais dispersa, os incêndios são menos intensos e mais frequentes. As áreas de pastagem apresentaram um aumento significativo nas ocorrências de incêndios, impactando diretamente a economia local. A figura 5 demonstra os locais onde houve queimadas no ano de 2024 (figura 05). Percebe-se uma grande espacialidade nos focos, com uma maior incidência na região do Pantanal da Estação Ecológica de Taiaimã, a qual apresentou uma grande quantidade de focos já no mês de janeiro deste ano. Ressalta-se que com o baixo nível do rio Paraguai, esses focos de queimadas podem ser mais frequentes em áreas onde a vegetação é bastante abundante com grande quantidade de biomassa.

Figura 5: Localização dos Focos de Queimadas no Município de Cáceres no ano de 2024, entre Janeiro e Junho.



Assim, acredita-se que ações emergenciais devem ser realizadas, tais como:

- 1- Implementação de um sistema eficiente de comunicação entre a população e os órgãos de gestão para a comunicação de eventuais ocorrências durante o período proibitivo de queimadas (e.g. Número de telefone específico e ampla divulgação deste número);
- 2- Viabilização de recursos emergenciais para a realização de fiscalização de locais com potencial risco de queimadas (e.g. Solicitação de fundos estaduais e federais para ações de combate aos incêndios);
- 3- Disponibilização de equipamentos para o combate às queimadas (e.g. abafadores, bombas d'água, além de equipamentos para as condições dos brigadistas nas ações de combate e descanso);
- 4- Fomento para a participação de pessoal com guarda em alerta especializados (além

- do Prevfogo, bombeiros e brigada civil) para o combate em caráter de urgência (e.g. formação de novos brigadistas emergenciais);
- 5- Realização de curso emergencial com a comunidade disposta a atuar no combate aos incêndios para a atuação ainda em 2024 (vide exemplo acima);
 - 6- Educação ambiental nas margens do rio Paraguai para a prevenção de realização de fogueiras por acampamentos e pescadores esporádicos;
 - 7- Organização de grupos como guarda mirim, bombeiro mirim para a disponibilização de pessoal em educação ambiental para a prevenção de queimadas.

Conclusão

A análise logística confirma a forte dependência do risco de fogo em relação aos dias sem chuva. ***A tendência observada sugere que políticas de manejo de fogo devem considerar a monitorização contínua das condições meteorológicas, especialmente durante períodos prolongados de seca dos meses de julho a dezembro. Medidas preventivas podem incluir restrições temporárias de atividades agrícolas que possam desencadear incêndios e campanhas de conscientização pública durante períodos de alto risco.***

Referências

- Andela, N., Morton, D. C., Giglio, L., Chen, Y., van der Werf, G. R., Kasibhatla, P. S., & Randerson, J. T. (2017). A human-driven decline in global burned area. *Science*, 356(6345), 1356-1362.
- Justice, C. O., Giglio, L., Korontzi, S., Owens, J., Morisette, J. T., Roy, D., ... & Kaufman, Y. J. (2002). The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 244-262.
- Lázaro, W. L., Oliveira-Júnior, E. S., Silva, C. J. D., Castrillon, S. K. I., & Muniz, C. C. (2020). Climate change reflected in one of the largest wetlands in the world: an overview of the Northern Pantanal water regime. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32, e104.
- Pinheiro, S. de L. L. de A.; Souza, R. de F.; Santos, F. L. dos. Secas prolongadas e ocorrência de queimadas no Mato Grosso – Machine Learning aplicado à análise de dados ambientais. In: XXX Congresso Latinoamericano De Hidráulica, 2022, [s.l.]. Anais [...], [s.l.], 07 a 11 nov. 2022.
- Silva, J. M., Pereira, J. M., & Barbosa, P. (2017). Análise das queimadas no bioma Pantanal. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32(1), 21-30.
- Tomas, W. M., Berlinck, C. N., Chiaravalloti, R. M., Tortato, F. R., Morato, R. G., & Roque, F. O. (2021). Distance sampling surveys reveal 17 million vertebrates directly

killed by the 2020's wildfires in the Pantanal, Brazil. *Scientific Reports*, 11, 23547. DOI: 10.1038/s41598-021-02844-5. Van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Giglio, L., Gobron, N., & Dolman, A. J. (2008). Climate controls on the variability of fires in the tropics and subtropics. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(3).