



**Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA
Instituto de Engenharia e Geociências – IEG
Bacharelado em Ciências Atmosféricas**

EDSON AGNALDO IMBELLONI MARTINS

**ESTUDO SOBRE A POLUIÇÃO DO AR COMO FATOR DE RISCO PARA
DOENÇAS DO APARELHO CIRCULATORIO (DAC), EM SANTARÉM-PA,
AMAZÔNIA BRASILEIRA.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Santarém, PA

2025

EDSON AGNALDO IMBELLNI MARTINS

ESTUDO SOBRE A POLUIÇÃO DO AR COMO FATOR DE RISCO PARA DOENÇAS DO APARELHO CIRCULATORIO (DAC), EM SANTARÉM-PA, AMAZÔNIA BRASILEIRA.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Engenharia e Geociências da Universidade Federal do Oeste do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharela em Ciências Atmosféricas.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Ana Carla dos Santos Gomes

Coorientador: Prof.^a Dr.^a. Sarah Suely Alves Batalha

Santarém, PA 2025

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/UFOPA

-
- M386e Martins, Edson Agnaldo Imbelloni
Estudo sobre a poluição do ar como fator de risco para doenças do aparelho circulatório (DAC), Santarém-PA, Amazônia Brasileira. / Edson Agnaldo Imbelloni Martins. - Santarém, 2025.
46 p. : il.
Inclui bibliografias.
- Orientadora: Ana Carla dos Santos Gomes.
Coorientadora: Sarah Suely Alves Batalha.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências, Bacharelado em Ciências Atmosféricas.
1. Biometeorologia. 2. Material Particulado. 3. Qualidade do ar. I. Gomes, Ana Carla dos Santos, *orient.* II. Batalha, Sarah Suely Alves, *coorient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 551.5098115

EDSON AGNALDO IMBELLONI MARTINS

ESTUDO SOBRE A POLUIÇÃO DO AR COMO FATOR DE RISCO PARA DOENÇAS DO APARELHO CIRCULATORIO (DAC), EM SANTARÉM-PA, AMAZÔNIA BRASILEIRA.

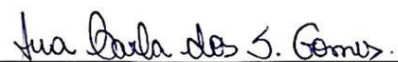
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto de Engenharia e Geociências da Universidade Federal do Oeste do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Bacharela em Ciências Atmosféricas.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Ana Carla dos Santos Gomes
Coorientador: Prof.^a Dr.^a. Sarah Suely Alves Batalha

Conceito: 9.5

Data de Aprovação: 28/02/2025

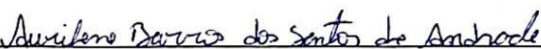
BANCA EXAMINADORA.



Prof.^a Dra. Ana Carla Gomes dos Santos - (ORIENTADORA)



Prof.^a Dra. Sarah Suely Alves Batalha - (COORIENTADORA)



Prof. Dra. Aurilene Barros dos Santos de Andrade - (EXAMINADORA)



Prof. Dr. Raoni Aquino Silva de Santana - (EXAMINADOR)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por sempre estar do meu lado me guiando e dando forças para continuar nesse caminho acadêmico e na vida.

Quero agradecer a todas as pessoas que contribuíram para a realização desse estudo.

Quero agradecer à minha orientadora, a Prof(a) Ana Carla dos Santos Gomes, por toda motivação e incentivo não apenas nesse trabalho, mas ao longo do curso e na vida.

À professora Sarah Batalha pelas conversas e orientações na construção desse trabalho.

À minha família por sempre me apoiar nas minhas decisões tanto da vida acadêmica quanto da vida pessoal.

Um agradecimento especial às minhas amigas, Adriane e Domingas, pelas conversas e conselhos que me deram nesse período de construção desse trabalho.

Aos amigos que fizeram parte da minha vida nessa jornada acadêmica.

À Universidade Federal do Oeste do Pará por todas as oportunidades científicas.

A todos os professores que contribuíram para minha formação.

Ao projeto cuidadores do ar, que contribuiu para meu crescimento científico.

RESUMO

A poluição do ar é a alteração do ambiente interno ou externo por qualquer agente físico, químico ou biológico que modifique as características naturais da atmosfera. Nos últimos anos foi notado um aumento significativo na poluição do ar. Sendo assim, o objetivo desse estudo foi analisar a relação entre as variáveis meteorológicas e material particulado 2,5 (MP_{2,5}) na ocorrência de internações por doenças do aparelho circulatório (DAC). Foi selecionado um ponto de coleta da rede piloto de monitoramento da qualidade do ar - Cuidadores do Ar, no bairro Maracanã, com dados de 2023. Aplicaram-se técnicas estatísticas para avaliar a relação entre as variáveis e DAC. Utilizou-se a correlação de Pearson e o modelo de Equações de Estimação Generalizada (GEE sigla em inglês). Os resultados obtidos mostraram que o MP_{2,5} teve seu pico em novembro. Levanta-se a hipótese que esses altos níveis de MP_{2,5} são devido às queimadas na região. A temperatura apresentou seu máximo no mês de setembro com valores acima de 38°C, já a umidade teve sua máxima no mês de janeiro com 82,5%. Os resultados mostraram que existe correlação significativa entre DAC, umidade e MP_{2,5}. O GEE apresentou o P-valor (<0,05) para ambas as variáveis e o Risco Relativo com 1,04% e 1,01% respectivos. Sendo assim, os resultados contribuem para uma melhor compreensão de como os fatores ambientais estão relacionados a internações por doenças do aparelho circulatório em Santarém. Além disso, estas informações podem auxiliar na criação de estratégia de prevenção e criação de políticas públicas e ambientais, e demonstra o quanto é necessária uma rede de monitoramento da qualidade do ar na região.

Palavras Chaves: Biometeorologia, Material Particulado, Qualidade do ar.

ABSTRAT

Air pollution is the alteration of the indoor or outdoor environment by any physical, chemical or biological agent that modifies the natural characteristics of the atmosphere. In recent years, a significant increase in air pollution has been noted. Therefore, the objective of this study was to analyze the relationship between meteorological variables and particulate matter 2.5 (PM_{2.5}) in the occurrence of hospitalizations due to diseases of the circulatory system (DSC). A collection point from the pilot air quality monitoring network – Guardians of the Air, in the Maracanã neighborhood with data from 2023 was selected. Statistical techniques were applied to assess the relationship between the variables and DSC. Pearson's correlation and the Generalized Estimating Equations (GEE) model were used. The results obtained showed that PM_{2.5} peaked in November. The hypothesis is that these high levels of PM_{2.5} are due to the fires in the region. The temperature reached its maximum in September, with values above 38°C, while humidity reached its maximum in January, with 82.5%. The results showed that there is a significant correlation between DSC, humidity, and PM_{2.5}. The GEE presented a P-value (<0.05) for both variables, and the Relative Risk was 1.04% and 1.01%, respectively. Therefore, the results contribute to a better understanding of how environmental factors are related to hospitalizations due to circulatory system diseases in Santarém. In addition, this information can help in the creation of prevention strategies and the creation of public and environmental policies, and demonstrates the need for an air quality monitoring network in the region.

Keywords: Air quality, Biometeorology, Particulate Matter.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.

Figura 1. Localização da área de estudo.....	23
Figura 2. Kit de monitoramento da qualidade do ar.....	24
Figura 3. sensor AM2302.....	25
Figura 4. sensor SDS011.....	26
Figura 5. Pontos de coleta do projeto.....	26
Figura 6. Boxplot mensal da umidade relativa do ar no ano de 2023.....	28
Figura 7. Boxplot mensal da temperatura do ar no ano de 2023.....	29
Figura 8. Série temporal do MP _{2,5} no ano de 2023.....	30
Figura 9. Boxplot mensal do MP _{2,5} no ano de 2023.....	30
Figura 10. Correlpgrama da Correlação de Pearson.....	31

Lista de Tabelas.

Tabela 1- Número de estações de monitoramento da qualidade do ar para os estados...20	
Tabela 2- Modelo de Equações de Estimação Generalizada entre as variáveis meteorológicas material particulado 2,5 e doenças do aparelho circulatório..... 32	

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

CETESB	Companhia Ambiental do estado de São Paulo
CO2	Dióxido de carbono
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAC	Doenças do aparelho circulatório
DATASUS	Banco de dados do Sistema Único de Saúde
FAPESPA	Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa
GEE	<i>Generalized Estimating Equations</i>
Hg	Mercúrio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Nasa	<i>National Aeronautics Space Administration</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
Pb	Chumbo
PM2,5	Partículas com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 micrômetros
PNMA	Política Nacional ao Meio Ambiente
SISAM	Sistema de Informações Ambientais Integrado a Saúde
SO2	Dióxido de enxofre
UFOPA	Universidade Federal do Oeste do Pará

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos.....	14
1.2.1 Geral.....	14
1.2.2 Específicos.....	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Poluição Atmosférica.....	14
2.2 Poluição Atmosférica e saúde humana	15
2.3 Queimadas na Amazônia e a qualidade do ar	17
2.4 Monitoramento da qualidade do ar	19
3. METODOLOGIA	23
3.1 Area de estudo.....	23
3.2 Coleta de dados	24
3.2.1 Kit de monitoramento da qualidade do ar.....	24
3.2.2. Sensores AM2302 e SDS011	24
3.2.3 Projeto cuidadores do Ar	26
3.3 Técnicas utilizadas	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.	28
5. CONCLUSÃO	33
6. REFERÊNCIAS	34

1. INTRODUÇÃO

A poluição do ar é a alteração do ambiente interno ou externo por qualquer agente físico, químico ou biológico que modifique as características naturais da atmosfera (OMS 2021). Desde a Revolução Industrial, o homem tem modificado o mundo não apenas visando a sobrevivência, mas de acordo com seus interesses econômicos em detrimento dos danos consequentes. Os processos industriais, a vida nas grandes cidades com tráfego intenso de veículos, o cotidiano cercado de equipamentos tecnológicos, todas essas ações humanas modernas geram resíduos que, sem a destinação ou tratamento adequados causam danos ao meio ambiente, mas especialmente a saúde de populações humanas e animais. (LOPES, 2010; DRUMM et al., 2014).

A poluição atmosférica pode causar impactos de ordem local, regional e global. Os impactos locais são aqueles localizados próximos às fontes de poluição, e incluem danos à saúde humana até alterações na quantidade de precipitação na área urbana. O impacto regional ou continental é aquele visto a maiores distâncias das fontes, um exemplo são as chuvas ácidas, presença do dióxido de enxofre na atmosfera, do óxido de nitrogênio, do ácido clorídrico e do ácido fluorídrico (DA LUZ LIMA, 2012). Mota (2003) ressalta ainda que a poluição do ar se origina de fontes naturais e antrópicas que podem ser estacionárias ou móveis, sendo essas últimas constituídas principalmente pelos veículos, aviões, motocicletas, barcos e locomotivas.

A região Amazônica é caracterizada pela sua extensão territorial e por sua riqueza na fauna e flora, tem enfrentado nos últimos anos secas severas que afetaram grandes áreas, aumentando o risco de incêndios florestais e emissões de gases e material particulado para a atmosfera (JOLLY et al., 2015; PANISSET et al., 2018; ARAGÃO et al., 2018). O crescimento do desmatamento na região Amazônica é uma das consequências do aumento das queimadas e este cenário está cada vez mais frequente e severo, principalmente durante o período de ocorrência de eventos climáticos extremos, que são responsáveis por emissões significativas de gases traço e material particulado (aerossóis) para a atmosfera, os quais desempenham um importante papel na química atmosférica, impactando a qualidade do ar e a saúde humana. (ANDREAE et al., 2012; DE SOUSA, 2020).

O aumento das taxas das queimadas na região amazônica possui estreita relação com o processo de desmatamento e manejo de áreas agrícolas e pecuárias (FUCHS, 2020).

A expansão agrícola tem gerado impactos socioambientais que envolvem: queimadas nas áreas da floresta Amazônica para expansão da área plantada, o que responde a grandes percentuais de gases de efeito estufa emitidos para a atmosfera; mudanças no uso da terra e concentração latifundiária, entre outros (DOMINGUES, 2012.). De acordo com Carvalho, (2021), a pecuária em regime extensivo de criação de gado é uma das atividades primárias responsáveis pelas altas taxas de desmatamento florestal.

A prática do uso fogo na região Amazônica é responsável por emissão de partículas de aerossóis, que sob efeitos diretos podem ser associados a fatores exógenos e abióticos, e de forma indireta estão relacionados a modificações macro e microclimáticas que por consequência alteram o equilíbrio ambiental (FERNANDES et al., 2021). A fumaça acumulada pelas sucessivas queimadas, possui propriedades organolépticas que são facilmente perceptíveis, como a limitação da visão do ambiente e o forte cheiro característico, que apresentam impactos na vida cotidiana do brasileiro (SOUSA, 2024).

Segundo Tortora et al., (2016) o aparelho circulatório pode ser visto como um exemplo de sensibilidade humana; composto de um sistema vascular complexo, ele exerce basicamente a função de garantir a correta circulação sanguínea a diversos órgãos e tecidos do corpo humano, trabalhando de forma eficiente a uma temperatura média de 37°C.

Estudos como de Pestana et al., (2017) e Metzger et al., (2004) discorrem que o material particulado pode provocar efeito demonstrável pela observação da diminuição da variabilidade da frequência cardíaca em relação à concentração de poluição, que pode estimular doenças como infarto agudo do miocárdio e morte súbita.

A fumaça das queimadas é formada, dentre outros compostos, de material particulado fino, com diâmetro menor de 2,5 micrômetros (MP_{2,5}). As partículas de material particulado fino são facilmente inaláveis e penetram profundamente no trato respiratório, atingindo alvéolos pulmonares, bronquíolos, até atingir a corrente sanguínea. (SISAM, 2020). Conforme a Organização Mundial da Saúde (OMS), o MP_{2,5} provoca amplos efeitos nocivos à saúde da população, que pode alcançar o sistema cardiovascular. Embora haja poucas evidências de que exista um limite seguro abaixo do qual não há efeitos adversos da exposição à MP_{2,5} na saúde da população, a OMS estabeleceu uma média anual de 10µg/m³ como um nível seguro para a saúde humana. (OMS, 2005).

Na região Amazônica, estudos sobre a qualidade do ar são recentes, devido aos acontecimentos nos anos de 2023 e 2024 no período de setembro a novembro que correspondem à época menos chuvosa na região. O município de Santarém registrou números alarmantes de concentração de poluição proveniente de queimadas próximas ao

município deixando a paisagem completamente cinzenta devido à camada espessa de fumaça que encobriu a cidade por diversos dias seguidos, sendo decretado no 25 de novembro 2024 emergência ambiental pela prefeitura de Santarém (DECRETO N° 698/2024 – GAP/PMS). O que reforça cada vez mais a necessidade de monitoramento da qualidade do ar na região Amazônica.

1.1. OBJETIVO:

1.2.1 Geral.

Analisar a relação entre as variáveis meteorológicas e $MP_{2,5}$ na ocorrência de doenças do aparelho circulatório (DAC).

1.2.2 Específicos.

- Verificar a variabilidade mensal das variáveis atmosféricas e $MP_{2,5}$ pela rede de monitoramento da qualidade do ar: Cuidadores do Ar;
- Verificar a presença do Risco Relativo entre as variáveis e DAC.

2. REFERENCIAL TEÓRICO.

2.1 Poluição Atmosférica.

Barbosa et al., (2015) destacam que, nas últimas décadas, o mundo tem demonstrado estar preocupado e atento com a poluição atmosférica, os níveis de poluição têm aumentado e isso vem causando grandes danos à saúde e ao meio ambiente. Isso ocorre principalmente nas populações mais suscetíveis como crianças, idosos e pessoas com histórico de doença cardiopulmonar (faixas etárias de maior vulnerabilidade à exposição), mesmo que as regulamentações ambientais considerem o nível de exposição seguro (ROSA et al., 2008; ANDRADE-FILHO et al., 2013; CORRÊA et al., 2020). O caminho que levou a poluição a ganhar uma maior notoriedade para o risco da saúde humana começou na era da Revolução Industrial, na idade contemporânea, onde a qualidade do ar passou a desequilibrar devido à industrialização, e ao deslocamento das pessoas do meio rural para o meio urbano, buscando assim qualidade de vida através do trabalho (DAPPER et al., 2016).

O número crescente da circulação de veículos no mundo e as atividades industriais são fatores que contribuem fortemente para a poluição da atmosfera (CESAR et al., 2013). Essas ações antrópicas que emitem na atmosfera agentes que podem modificar a qualidade do ar, ações individuais ou de pequenos grupos causam danos de difícil percepção da população, mas em grandes aglomerações, os efeitos somados tornaram-se

mais claros (DA SILVA, 2017). E pode ser originada também por fontes naturais, como queima acidental de biomassa (material derivado de plantas ou animais) e erupções vulcânicas (CANÇADO et al., 2006; GONÇALVES et al., 2010; DA SILVA, 2017). Em paralelo às questões ambientais mais amplas e preocupações com impactos de longo prazo, há uma corrente de preocupação imediatista, pois o lançamento de poluentes no ambiente promove implicações sociais e econômicas a curto prazo (DA SILVA, 2017).

A dispersão dos poluentes na atmosfera tem influência da velocidade e a turbulência dos ventos. Em escala regional ou local, diversos fatores atuam na circulação atmosférica, o uso e ocupação do solo, presença de continentes ou oceanos e a topografia. Destaca-se a chuva como outro fator importante para dispersar os particulados e ajudar na dissolução de gases como o Dióxido de Enxofre (SO₂) (SANTIAGO, 2013).

Moreira et al, (2015) ressaltam que os gases como Dióxido de Carbono (CO₂) e Metano, provenientes de fatores antropogênicos, são extremamente prejudiciais à saúde humana e influenciam diretamente as alterações na temperatura. A poluição atmosférica interfere na qualidade de vida e saúde da população mesmo em cidades onde os níveis dos poluentes estão dentro do aceitável pela lei vigente, havendo significativa interferência no processo saúde/doença de indivíduos, sendo os pulmões, e o sistema circulatório a sofrerem maiores danos pelos poluentes contidos no ar (SOUSA, 2014).

Os principais poluentes do ar são a fumaça, partículas inaláveis, dióxido de enxofre, ozônio, dióxido de nitrogênio e monóxido de carbono. As emissões deste poluente têm origens variadas, desde a queima de combustíveis fósseis em veículos a chaminés industriais, queimadas e até vias sem pavimentação (MACHADO, 2019).

2.2. Poluição atmosférica e saúde humana.

Condições atmosféricas como ondas de calor, períodos de estiagem, variações súbitas das temperaturas e umidade são entendidas como um fator ambiental que influencia o organismo humano, não com um caráter determinista, mas como um elemento que pode contribuir de maneira benéfica ou maléfica para a saúde humana (MURARA et al., 2010, p. 55).

Estudos epidemiológicos de Anselme et al., (2007), expõem que altas concentrações de material particulado estão associadas positivamente com o maior número de casos de mortes diárias e crescente número de internações hospitalares devido a problemas cardiovasculares. Routledge et al., (2005) ressaltam que existe uma relação entre o aumento das partículas de poluição do ar com a ocorrência de mortes por falência cardíaca, infarto do miocárdio e aumento de arritmias.

Alman et al., (2016); Santos et al., (2021), destacam que a exposição prolongada a esses poluentes afeta diretamente populações vulneráveis, como crianças, idosos e indivíduos com comorbidades preexistentes, agravando desfechos clínicos respiratórios e cardiovasculares.

Queimadas e incêndios florestais na Amazônia produzem grandes quantidades de fumaça e fuligem, chamadas de material particulado, que têm impactos negativos na saúde humana. A queimada e os incêndios também são a maior fonte de produção de material particulado e gases tóxicos, como o monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre, aldeídos, ácidos carbônicos, incluindo carcinogênicos e radicais livres (RIBEIRO, 2002; NEPSTAD, 2008). A proximidade de áreas habitadas influencia no efeito da fumaça à saúde, quanto mais próximo da queimada, maiores são os danos (ROSA, 2008).

A exposição crônica à poluição do ar, oriunda dos incêndios florestais está associada à mortalidade por doenças cardiovasculares (FOROUZANFAR et al., 2015) e respiratórias (REID; MAESTAS, 2019) o $MP_{2,5}$, preocupa grandemente em termos de impactos sobre a saúde humana, por permanecer no ar durante semanas, ser transportado por centenas ou milhares de quilômetros e por entrar no corpo humano pelo nariz e invadir o sistema respiratório e posteriormente o sistema sanguíneo (DA SILVA, 2021).

Para estudar os impactos do $MP_{2,5}$ sobre a saúde dos 25 milhões de habitantes da Amazônia Legal (IBGE, 2021), precisa-se de medições contínuas da poluição do ar, 24 horas por dia, ano após ano. Frequentemente, os valores extremos de concentração de poluentes, e seus impactos na saúde, ocorrem durante a noite. Também, podem acontecer níveis elevados de concentração fora do período de queimadas, que também resultam em impactos significativos sobre a saúde pública (MATTER, 2020).

Conforme a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2016), 92% da população mundial vive em locais onde os níveis de qualidade do ar excedem as diretrizes para a média anual de partículas com diâmetro inferior a 2,5 micrômetros ($MP_{2,5}$), cujo valor máximo é de $10 \mu\text{g.m}^3$. Para a média de 24 horas, a OMS define o valor de $25 \mu\text{g.m}^3$. O $MP_{2,5}$ inclui poluentes como sulfato e nitrato, que penetram profundamente nos pulmões e no sistema cardiovascular, colocando a saúde humana em risco. Vale ressaltar que, no Brasil, os padrões de qualidade do ar são estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/1990 (Brasil, 1990) e divididos em padrões primários e secundários. Os padrões primários se referem às concentrações de poluentes que, se ultrapassadas, podem afetar a

saúde da população. Já os padrões secundários são as concentrações de poluentes atmosféricos abaixo das quais se prevê mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, assim como mínimo dano à fauna e à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. O padrão secundário se refere aos níveis desejados de concentração de poluentes, constituindo-se em meta de longo prazo.

2.2. Queimadas na Amazônia e a qualidade do ar.

A partir da década de 1960, com incentivo da ocupação da região Norte do Brasil, promoveu o incremento nas taxas de desmatamento e de mudanças no uso da terra e alterou drasticamente o regime de fogo na Amazônia (CORTES, 2021). O desmatamento crescente causou fragmentação das florestas e as queimadas usadas para preparo de área agrícola, que eram naturalmente bloqueadas pela umidade floresta, agora encontram fragmentos florestais e, assim, avançam sobre essas matas e empurram os seus limites ano após ano. Com as mudanças climáticas, nota-se o aumento da vulnerabilidade das florestas às queimadas diretamente, por meio do aumento da temperatura e redução da precipitação; e, indiretamente, pelas mudanças induzidas na estrutura da vegetação. As consequências são florestas menos densas, menos úmidas, mais inflamáveis e com menor capacidade de tamponar o fogo (COPERTINO, 2019). A queima da biomassa florestal popularmente conhecida como queimadas é uma prática recorrente e antiga no país e se caracteriza como um dos principais contribuintes mundiais para emissão de gases de efeito estufa (GONÇALVES et al., 2012).

As queimadas ocorrem em quase todo o Brasil, porém as que recebem maior destaque são as realizadas na Amazônia (MIRANDA et al., 2018). Vista que, a região amazônica possui um dos ecossistemas naturais mais importantes do mundo, e o uso da terra nesta região, está geralmente atrelado ao emprego do fogo para atingir as mais variadas finalidades, sendo intensificado devido às políticas econômicas que buscam um uso amplo dos recursos naturais, levando à expansão geográfica e intensificação das atividades agrícolas para a produção de alimentos (VASCONCELOS et al., 2017).

Estudos como Aragão et al. 2014, ressalta que na Amazônia, o uso do fogo por populações locais é uma prática de manejo comum para eliminação da biomassa em áreas recentemente desmatadas e para manutenção de pastagens, fatores como a baixa oferta de mão de obra, a baixa rentabilidade agrícola, a inexistência de alternativas economicamente viáveis e a baixa qualidade do solo. Desse modo, o fogo é considerado um método barato usado na preparação do terreno para a plantação de culturas e a

manutenção de pastagens, sobretudo em pequenas e médias propriedades. Entretanto, em anos de secas extremas, o risco de o fogo se alastrar aumenta, transformando essas queimadas em incêndios descontrolados (HOMMA et al., 1993; NEPSTAD et al., 2001; ARAGÃO et al., 2007; DE OLIVEIRA, 2015).

O efeito climático sobre a ocorrência de incêndios na Amazônia depende da ação antrópica que atua como fonte de ignição. Esta ação está associada à expansão e manutenção da fronteira agrícola, que além de utilizar o fogo como ferramenta de manejo, causa também a degradação das florestas primárias e secundárias (LATORRE, et al., 2017).

O fogo na Amazônia pode ser classificado em três tipos principais: desmatamento, manutenção de pastagens ou terras agrícolas e incêndios florestais (COCHRANE, 2009). O fogo de desmatamento, que inclui o corte raso da floresta deixada para secar e a subsequente queima das árvores cortadas são empilhadas e queimam por vários dias. O segundo tipo de fogo está associado à manutenção das áreas previamente desmatadas com objetivo de eliminar as árvores cortadas, ervas daninhas e o avanço de arbustos para as atividades agrícolas e pecuárias. Esse tipo de fogo pode secar a floresta circundante e aumentar a vulnerabilidade ao fogo nos anos subsequentes. Nem todo fogo em áreas previamente desmatadas é intencional, e algumas queimadas se expandem além dos limites pretendidos. O terceiro tipo de fogo é chamado de incêndios florestais, que consomem a floresta em pé, seja pela primeira vez, com as chamas limitando-se principalmente ao sub-bosque, ou como eventos repetidos, resultando em fogo mais intenso (MALHI et al., 2008; CANO-CRESPO et al., 2015; VAN MARLE et al., 2017; BARLOW et al., 2020).

O desmatamento, as queimadas e os incêndios florestais têm se intensificado devido à interação sinérgica entre os sistemas sociais e climáticos, afetando de forma drástica os estoques de carbono e biodiversidade na Amazônia, ameaçando o bem-estar dos seus aproximadamente 25 milhões de habitantes. Além disso, eventos de secas extremas têm se tornado mais frequentes e intensos, contribuindo para o aumento das áreas impactadas pelo fogo (DA SILVA et al., 2019).

As queimadas causam danos ao meio ambiente e à biodiversidade; resultam no aumento das áreas degradadas, afetam o estoque de carbono, danificando as espécies utilizadas no extrativismo, o que acarreta a extinção de várias espécies da fauna, flora e de micro-organismos (CARMO, 2019; VIEIRA et al., 2019; SILVA et al., 2021). Por fim, geram sérios problemas ecológicos globais. Além disso, os desmatamentos e as

queimadas afetam fatores abióticos que influenciam o solo, causando estresse à microbiota. Áreas descampadas aumentam a exposição do solo à radiação solar, elevam a temperatura e reduzem a umidade do solo. Por sua vez, isso diminui a biodiversidade dos micro-organismos que habitam o solo, o que minimiza a sua qualidade (ETSAMI, 2020; LOPES et al., 2021; DOS SANTOS LOPES, 2023).

De acordo com estudos de Cormier, (2006), a fumaça de incêndios florestais consiste principalmente em material particulado (MP), especialmente o MP_{0,1}. O MP é, geralmente, classificado pelo seu tamanho, uma vez que esse parâmetro determina a deposição dentro do sistema respiratório, partículas menores penetram mais profundamente nos pulmões. Durante os períodos de fogo ativo, o MP_{2,5} ao ultrapassar 2000 µgm³, é associado a efeitos respiratórios em virtude da deposição direta de partículas inaladas nos pulmões, consequentemente causando estresse oxidativo local e inflamação e, potencialmente, sua migração para a circulação sistêmica. O MP_{2,5} tende a causar efeitos mais graves à saúde, porque pode atingir tecidos mais profundos do sistema respiratório e cardiovascular (SEINFELD; PANDIS, 2016; ALMAN et al., 2016; OLIVEIRA, 2018; HOLM, 2021).

De acordo com dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), na última década, o desmatamento teve efeito exponencial. Em 2024, a Amazônia foi o bioma que mais teve focos de incêndio, destacando-se o Pará com a maior taxa de áreas desmatadas e focos de incêndio em todo o país, causando danos significativos nas áreas incendiadas e aos arredores (INPE, 2024). As queimadas emitem grandes quantidades de material particulado para a atmosfera, prejudicando a qualidade do ar e causando problemas à saúde humana (COSTA et al., 2012).

As características físicas e químicas dos poluentes atmosféricos, sejam de áreas urbanas ou emissões de incêndios florestais, são dinâmicas, variando no tempo e no espaço; portanto, a avaliação de seus impactos permanece um desafio (FIOCRUZ, 2021).

2.4. Monitoramento da qualidade do ar.

O monitoramento de qualidade do ar torna-se relevante, pois mensura as concentrações dos poluentes atmosféricos, gera dados sobre as condições atuais da qualidade do ar, constrói uma base histórica de dados e habilita os tomadores de decisão a planejar ações e políticas públicas no sentido de assegurar a boa qualidade do ar, do ponto de vista da saúde, os dados do monitoramento indicam se um local está conforme os níveis de qualidade do ar considerados seguros em termos de exposição (VORMITTAG, 2021). Portanto, a Organização Mundial da Saúde (OMS) propôs que os

países estabelecessem uma rede de monitoramento de qualidade do ar e a utilizassem para o planejamento urbano na prevenção de ocorrências em saúde pública (OMS, 2006).

A Política Nacional ao Meio Ambiente (PNMA) (Lei n.6.938/81) é um marco regulatório ambiental no Brasil, pois estabeleceu as diretrizes gerais de suporte que compõe as principais medidas de gestão da qualidade do ar vigentes (Brasil, 1981, 2009a). Ademais, criou o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) e o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), atribuindo-lhe competências consultivas, deliberativas e normativas.

Tradicionalmente, o monitoramento da qualidade do ar em ambientes urbanos é feito por algumas estações meteorológicas colocadas em pontos estratégicos de uma cidade. Estas estações permitem obter informações valiosas sobre a situação climática e ambiental em macroescala, mas não na microescala, ou seja, as variações locais em um centro urbano são desconhecidas (MEADE, 2013; HEIMANN, 2015).

Segundo Vormittag et al., (2021), as redes de monitoramento do ar existentes no Brasil não abrangem todo o território nacional, são apenas 371 estações ativas no país, e 80% dessas estações de monitoramento se concentram na região Sudeste. Na região Norte, apenas 2 estados possuem rede de monitoramento e essa região é a mais atingida pelas queimadas associadas ao desmatamento para o desenvolvimento de fronteiras agrícolas.

Tabela 1- Número de estações de monitoramento da qualidade do ar para os estados.

UFs Estações	Totais	Ativas	Região			
			Metropolitana	Interior	Públicas	Privadas
Acre (AC)	31	31	2	29	29	2
Distrito Federal (DF)	4	4	2	2	4	0
Espírito Santo (ES)	17	15	9	6	9	6
Goiás (GO)	2	2	2	0	2	0
Minas Gerais (MG)	32	32	13	19	0	32
Mato Grosso do Sul (MS)	4	3	0	3	0	3
Pernambuco (PE)	4	4	0	0	1	3
Paraná (PR)	18	16	9	7	16	0
Rio de Janeiro (RJ)	203	161	105	56	65	96
Rio Grande do Sul (RS)	22	13	8	5	2	11
São Paulo (SP)	93	90	41	49	90	0
TOTAL	430	371	191	176	218	153

Fonte: Adaptado de Vormittag *et al.* (2021).

Flohr (2023), destaca em seu trabalho que o Brasil não possui equipamentos eficientes para o monitoramento do ar poluição do ar, e ressalta que o monitoramento da qualidade do ar é predominantemente realizado por estações governamentais e que, na maioria dos estados, estão amplamente dispersas e seu alto custo faz com que seja economicamente inviável a implantação de uma rede maior de cobertura, especialmente em países em desenvolvimento.

Estudos recentes mostram que 20 dos 27 estados brasileiros medem a qualidade do ar ou a fazem de forma inadequada (VORMITTAG et al., 2021; FELIN, 2023). No Brasil, observa-se um descaso em relação à questão de levantamentos de dados estatísticos, com grandes áreas do território sem informações básicas sobre os níveis de poluentes na atmosfera. Tais áreas incluem a Amazonia, essa realidade consiste em um grave problema para a saúde pública e qualidade de vida da população (VIEIRA, 2017).

O monitoramento da qualidade do ar, com foco na concentração de material particulado, traz desafios e exigiu a instalação de estações de medição de complexas tecnologias e de alto custo. Como exemplo desse tipo de estações é possível citar a rede de monitoramento da qualidade do ar do Estado do São Paulo (CETESB/SP, 2021), que usa diferentes meios e métodos de medição, tais como radiação beta, fluorescência de pulso, quimiluminescência, infravermelho não dispersivo, oxidação térmica fluorescente de pulso, cromatografia gasosa (CETESB, 2021) e a rede mundial de robôs fotométricos de monitoramento de material particulado atmosférico (AERONET, NASA) presente na Amazônia, em particular no Acre (NASA, 2021). Esses tipos de estações são essenciais para estudos detalhados e como referências, mas têm a limitação de se restringirem a campanhas científicas ou a poucas unidades em grandes extensões territoriais.

Devido aos impactos negativos tanto para a saúde quanto para o meio ambiente, é necessário que o monitoramento da qualidade do ar seja realizado de forma mais ampla, contemplando diversas áreas, a fim de obter dados para auxiliar na criação de medidas que visam reduzir riscos associados à saúde e aos impactos na natureza. A utilização de sensores de baixo custo, como aqueles que usam a tecnologia Arduino, vem sendo usada de diversas formas com o objetivo de obter dados da qualidade do ar que respiramos (CALETTI et al., 2020).

Em junho 2019, baseado em um trabalho iniciado em 2017 (Brown et al., 2017), se tornou operacional a rede de monitoramento da qualidade do ar dos municípios do Acre, baseada em sensores *PurpleAir* PA-IISD de baixo custo e conceito inovador da

Internet das Coisas, que se conecta a uma rede internacional, com disponibilização de dados em tempo real e de forma gratuita e pública.

Almeida et al., (2025) utilizou em seu estudo dados do projeto Rede piloto de monitoramento da qualidade do ar: Cuidadores do Ar, no município de Santarém/PA e destaca que mesmo em cidades pequenas e médias da região Amazônica os níveis de poluição atmosférica mesmo dentro dos limites estabelecidos pela OMS contribuem para deterioração da qualidade do ar. Raiol et al., (2024) também utilizaram dados do projeto para análises de concentrações de material particulado no município de Mujuí dos Campos/Pa.

O monitoramento da qualidade do ar é obrigação do Estado para gerar informações decorrentes desse processo e comprometer-se a divulgá-las (GOULDSON, 2004). Essa obrigação tem respaldo legal para a sociedade ter acesso a dados e informações dos órgãos e entidades ambientais públicos, conforme prevê a Lei n.10.650/2003 (BRASIL, 2003).

O acesso aos resultados de monitoramento em tempo real ou a boletins diários é limitado a cinco estados e é fundamental para a população se proteger, pois é o que possibilitará a tomada de ações preventivas imediatas, caso necessário ou recomendável. Se os órgãos ambientais estaduais não divulgam os dados coletados de forma correta e atual, não estão cumprindo sua missão e seu papel protetivo à população, além de prejudicarem um dos principais propósitos do monitoramento da poluição do ar (VORMITTAG, 2021).

É fundamental expandir a rede de monitoramento da qualidade do ar nos estados da Amazônia Legal. Sem esse monitoramento, o tamanho do problema ambiental relacionado à exposição aos poluentes emitidos pelos incêndios não pode ser determinado. As agências ambientais estaduais são responsáveis por monitorar a qualidade do ar, divulgar informações precisas e claras sobre ela e proporcionar a melhor comunicação por meio de campanhas públicas de conscientização destinadas a capacitar as pessoas a modificar seu comportamento a fim de melhorar sua saúde e a qualidade do ar que respiram (KELLY, 2020).

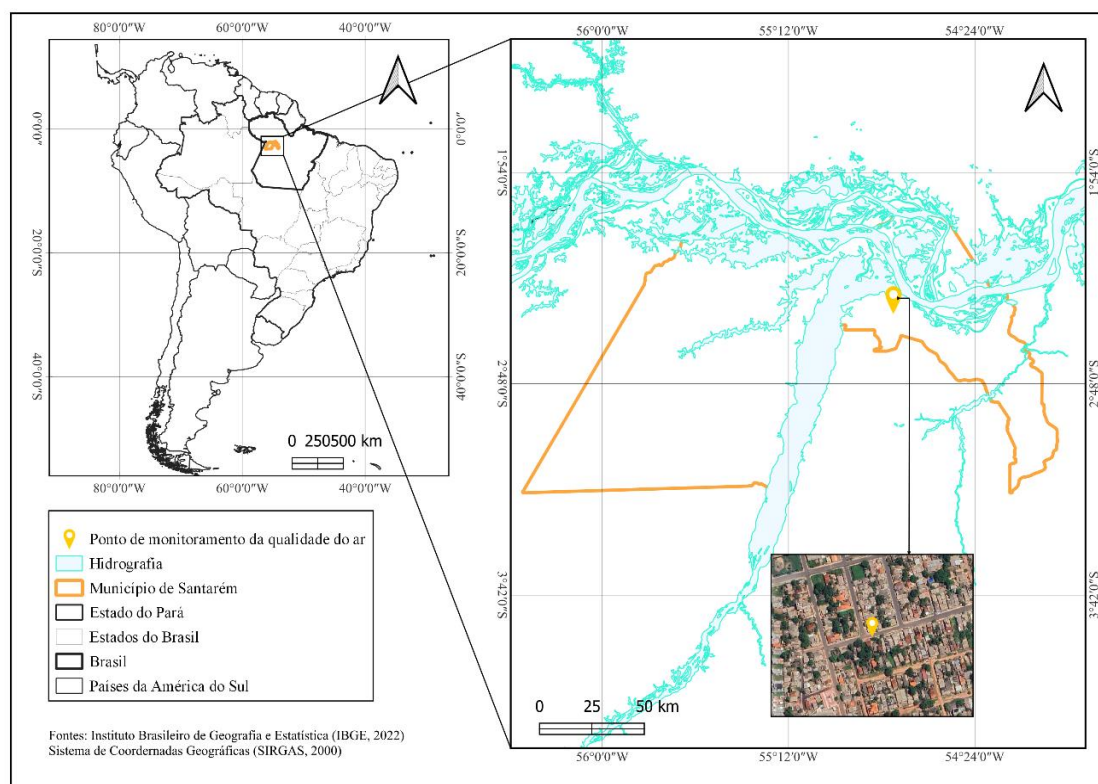
A implementação de políticas para a mitigação desse problema ambiental e a necessidade de utilização de modernas tecnologias para auxiliar no monitoramento da qualidade do ar no Brasil se torna mais necessária a cada momento. Sem o uso de equipamentos modernos e uma rede tecnológica de última geração, é impossível diagnosticar a real situação da qualidade do ar atmosférico no país (SOUZA et al., 2024).

3. METODOLOGIA.

3.1 Área de estudo.

A área de estudo é a cidade de Santarém, localizada no oeste do Pará. A cidade faz parte da Amazônia Central nas coordenadas geográficas 2°26' 34" S e 54° 42' 28" O, possuindo uma extensão territorial de 17, 898, 389 km². A estimativa da população é de 331.942 pessoas, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -IBGE (2021). O município em questão é o terceiro mais populoso da região paraense (Santarém, 2022; IBGE, 2022). O clima da região é quente e úmido, com temperatura média anual variando de 25 a 28 °C, com regime pluviométrico de aproximadamente 1.920 mm por ano (KOPPEN, 1930. As temperaturas mais elevadas ocorrem nos meses de junho a novembro, enquanto o período de maior precipitação pluviométrica é de dezembro a maio. (JACINTO et al., 2006).

Figura 1. Localização da área de estudo.



Fonte: Autores (2025).

3.2. Coleta de dados.

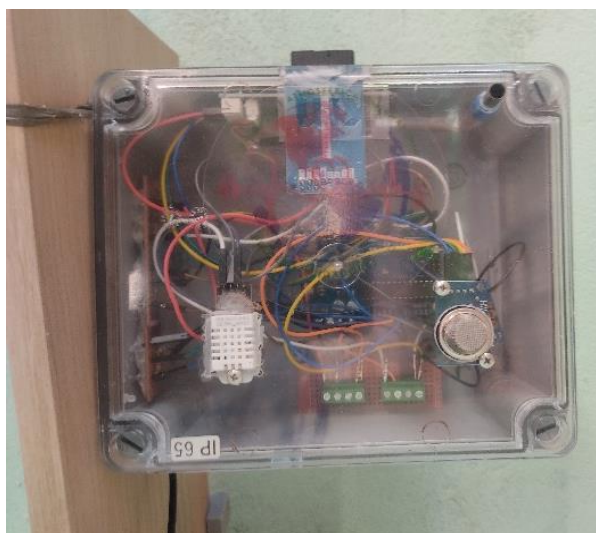
Para a realização do estudo, os dados de material particulado (MP_{2,5}), temperatura do ar (°C) e umidade relativa (%) foram obtidos através de um ponto de coleta, por meio do kit de sensores de baixo custo do Projeto Rede Piloto de Inovação no Monitoramento da Qualidade do Ar: Cuidadores do Ar (figura 2).

O Kit foi instalado no bairro do Maracanã que possui um grande tráfego de veículos, pouco arborizada, e ruas asfaltadas, cujas coordenadas geográficas são: 2°27'02.3"s 54°42'03.3"w (PEREIRA et al., 2021). Nos últimos anos, o bairro vem sofrendo transformação na sua paisagem, perdendo cada vez mais suas áreas verdes por construção de prédios residenciais.

3.2.1. Kit de Monitoramento da Qualidade do Ar.

O kit de monitoramento inclui um medidor de temperatura e umidade AM2302 (figura 3), um sensor MQ135 de gases tóxicos e um sensor SDS011 (figura 4) para material particulado. Os dados são captados com intervalos de medições a cada quatro segundos.

Figura 2. Kit de monitoramento da qualidade do ar.



Fonte: Martins et al., (2024).

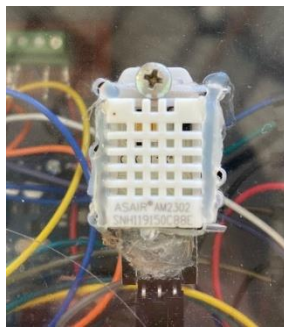
Os dados de internações por doenças do aparelho circulatório foram obtidos por meio do Banco de Dados do Sistema Único de Saúde (DATASUS), para o período de janeiro a dezembro de 2023.

3.2.2. Sensores AM2302 e SDS011.

De acordo com Aosong, (2015) o AM2302 é um sensor de temperatura e umidade relativa do ar, preciso e compatível com microcontroladores de 8 bits de excelente desempenho. Com este sensor, é possível realizar leituras de temperatura no intervalo de -40°C a 80°C e de umidade relativa do ar de 0 a 99%, utilizando uma fonte de energia de 3,3 a 5,5 V.A. Sua compatibilidade com microcontroladores como o Arduino, que é uma plataforma de código aberto na área eletrônica, faz com que o AM2302 seja um componente amplamente empregado em sistemas de monitoramento de condições

climáticas básicas (ARDUINO, 2015). Estudos como de Martins et al., (2024) utilizaram o sensor AM2302.

Figura 3. sensor AM2302.



Fonte: Martins et.al (2024).

O sensor SDS011 é um sensor de partículas finas ($MP_{2.5}$ e MP_{10}) que mede a concentração de partículas suspensas no ar. Seu funcionamento é baseado na teoria de difração de luz laser, onde a distribuição da densidade das partículas é determinada analisando os padrões de intensidade luminosa (GENIKOMSAKIS et al., 2018).

É amplamente utilizado em projetos de monitoramento da qualidade do ar em ambientes internos e externos. Esse sensor utiliza um princípio de dispersão a laser para contar e medir o tamanho das partículas presentes no ar. O sensor emite um sinal digital e possui um ventilador interno, possibilitando a medição da densidade de partículas no intervalo de 0,3 a $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (LIU et al., 2018).

Estudos como de Mendes, (2023) ressalta que o sensor calcula a concentração de partículas em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para partículas com diâmetro de 2,5 micrômetros ($MP_{2.5}$) e 10 micrômetros (MP_{10}) com base na quantidade de luz dispersada, e é relativamente preciso e possui uma ampla faixa de medição, podendo ser conectado a um microcontrolador, como Arduíno, através de suas portas de comunicação UART ou usando um conversor de nível lógico se necessário, o sensor SDS011 requer uma fonte de alimentação de 5V e deve ser protegido da exposição direta à luz solar e à umidade para garantir medições precisas.

Figura 4. sensor SDS011.



Fonte: aqicn.org.

Estudos realizados por Prestes, et al., (2019), Budde, (2018); De Oliveira (2015); e Raiol et al., (2024) utilizaram o sensor SDS011.

3.2.3 Projeto cuidadores do Ar.

A rede piloto de monitoramento do projeto compreende 25 pontos específicos (Figura 5) destinados à coleta de dados. Iniciado em 2022, o projeto foi financiado pela Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa (FAPESPA), vinculada à Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA). Para finalidade de contribuir para a elaboração de indicadores de qualidade do ar para o município de Santarém. Os pontos estão notavelmente distantes uns dos outros, alguns situados na zona urbana e outros em zona periurbana.

Figura 5. Pontos de coleta do projeto.



Fonte: Almeida, (2023).

3.3 Técnicas utilizadas.

Para a análise da correlação entre as variáveis meteorológicas e material particulado nos casos de DAC empregou-se a correlação de Pearson o cálculo dos coeficientes de

correlação de Pearson (r), utilizando a metodologia transcrita em Oliveira (2004), que apresenta como variável x (variável independente), as variáveis meteorológicas e como variável y (variável dependente), os valores dos totais mensais do número de casos de internações por DAC.

$$(1) \quad r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

Coefficiente de determinação é o quadrado do coeficiente de correlação de Pearson e pode ser chamado simplesmente r^2 . É uma medida da proporção da variabilidade em uma variável que é explicada pela variabilidade da outra. É pouco comum que ter uma correlação perfeita ($r^2 = 1$) na prática, porque existem muitos fatores que determinam as relações entre variáveis na vida real (Shimakura, 2006).

e o modelo marginal de equações de estimação generalizadas (GEE sigla em inglês) que foi empregado a fim de obter estimativas confiáveis para a variável, levando em consideração uma estrutura de correlação, de tal forma a melhorar a eficiência dos estimadores, sem perder a consistência dos mesmos. Liang e Zeger (1986) e Zeger e Liang (1986) propuseram as equações de estimação generalizadas, necessitando apenas da especificação do primeiro e do segundo momentos da função de densidade marginal, para solucionar o problema da independência dos dados, quando há necessidade de se trabalhar com dados correlacionados (PICANÇO et al., 2019). Pode-se então definir um modelo linear generalizado para cada instante de tempo, acrescentando uma função que faz a ligação entre a parte aleatória e a parte sistemática:

$$(2) \quad \eta_{it} = g(\mu_{it})$$

em que é o preditor linear, é o vetor de parâmetros desconhecidos e de interesse e é a função de ligação. Utilizaram-se o pacote *geepack* (*Generalized Estimating Equation Package*) e a função *geeglm* (*Fit Generalized Estimating Equations*) para o modelo marginal das equações de estimação generalizadas. De acordo com Agresti (1996), a definição do risco relativo é dada pela razão entre as probabilidades de sucesso de dois níveis da variável explicativa, sendo a equação do Risco Relativo dada por:

$$(3) \quad RR = \frac{\pi_1}{\pi_2}$$

onde RR é o risco relativo, π_1 e π_2 são variáveis. Utilizou-se a estrutura para a matriz de correlação do tipo simétrica ou permutável, que assume:

$$(4) \quad R = (\alpha) \begin{cases} 1 & \text{se } t = t' \\ \alpha & \text{se } t \neq t' \end{cases}$$

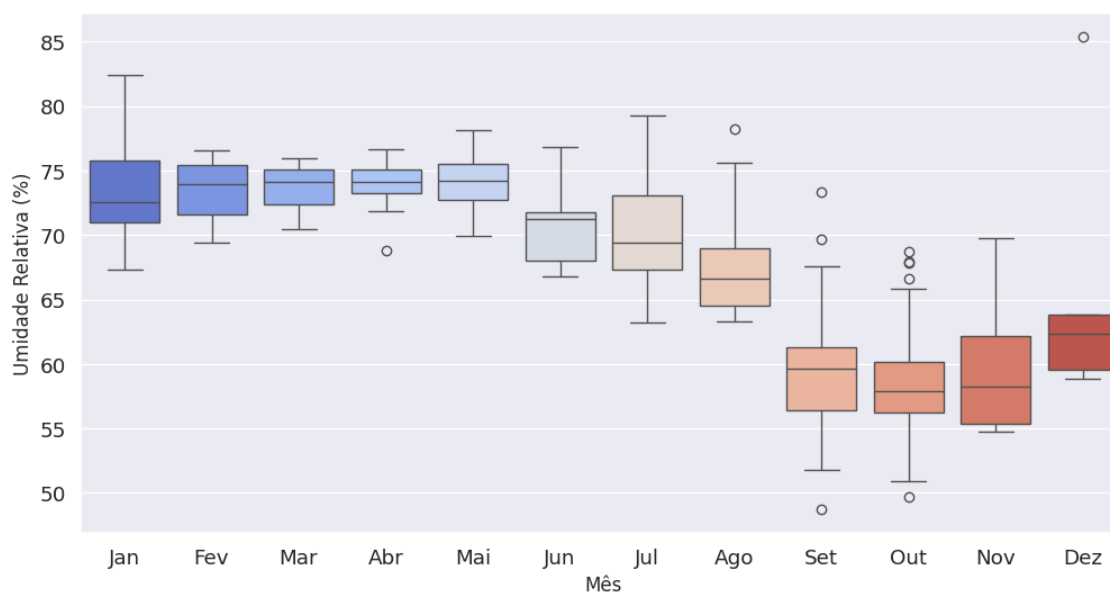
A equação 4 deve ser usada quando se assume um modelo de efeitos aleatórios com intercepto aleatório para cada variável, como exemplificado em Laird e Ware (1982).

A estatística descritiva, a elaboração de gráficos *boxplot* e as técnicas utilizadas foram elaboradas com auxílio do *software Livre R 4.1.2* e *PYTHON*.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

Na figura 6, observa-se que no primeiro semestre do ano a umidade relativa do ar é mais alta, com destaque para janeiro, que apresenta sua máxima com 83,5%. Contudo, a maior média foi registrada em abril com 74,15%, a partir de junho a umidade começa diminuir, setembro e outubro apresentam valores discrepantes registrando uma umidade abaixo de 50%, uma hipótese para essa anomalia registrada nesse período é que possa ter ocorrido uma queimada próxima ao local de coleta, outubro também apresenta a menor média da série com 57,3%. É possível observar que dezembro apresenta um valor discrepante, que registrou um valor acima de 85%. Mendes, (2021), ressalta que a distribuição da umidade relativa tem uma estreita relação com as chuvas e a temperatura do ar, onde ela apresenta os maiores valores nos meses que apresentam maior pluviosidade. Freitas et al., (2022) em seu estudo foi observado que os maiores índices de umidade também coincidem com o período chuvoso.

Figura 6. Boxplot mensal da umidade relativa do ar no ano de 2023.

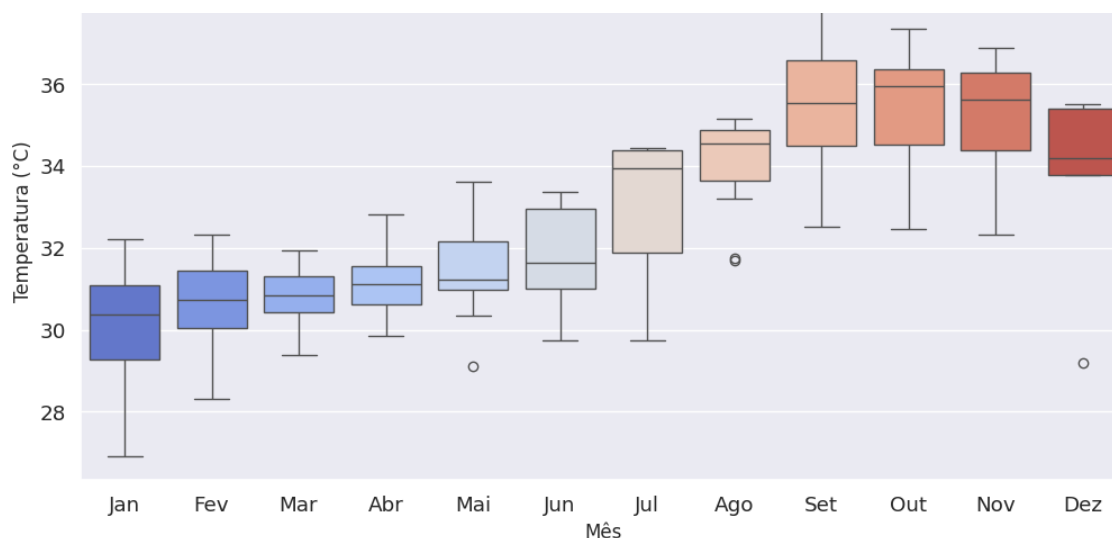


Fonte: Autores (2025).

Na figura 7 observa-se que a temperatura do ar tem uma sazonalidade bem definida, com temperaturas mais amenas que no primeiro semestre do ano correspondente

com o período chuvoso na região, janeiro se destaca nesse período por possuir a menor média mensal com 30,10 °C e a mínima com 26,5°C, a partir de julho observa-se que a média mensal fica acima de 32°C, setembro apresenta a maior máxima do período registrando valores acima de 38°C, contudo a maior média mensal foi vista em outubro com 35,77°C. em seu estudo Freitas et al., (2022) destaca outubro como o mês mais quente do ano na cidade de Santarém-PA. Ressalta-se que elevadas temperaturas podem estar associadas ao El Niño (INMET, 2023). Segundo Viana (2021), a presença desse fenômeno contribui para o aumento da temperatura do ar e a diminuição das chuvas na região. A sazonalidade da temperatura encontrada nesse estudo corrobora com estudos realizados Figueroa & Nobre (1990), que caracterizam a estação chuvosa (dezembro a maio) e a estação seca (junho a novembro).

Figura 7. Boxplot mensal da temperatura do ar no ano de 2023.

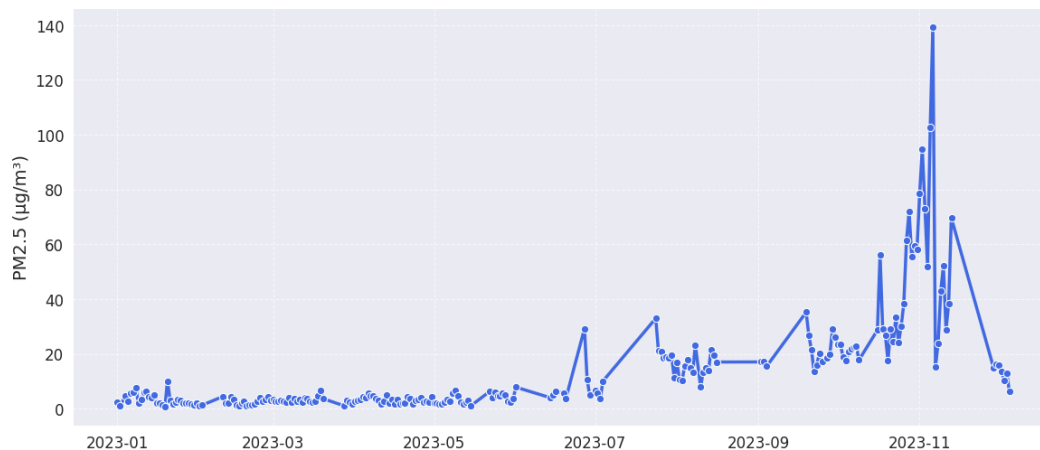


Fonte: Autores (2025).

Na figura 8 apresenta a evolução da concentração de $MP_{2,5}$, ao longo de 2023, é possível observar que as menores concentrações de $MP_{2,5}$ ocorrem no período chuvoso, fevereiro a maio os valores se encontram abaixo de $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ para material particulado fino conforme as Diretrizes Globais de Qualidade do Ar (AQG, na sigla em inglês) da Organização Mundial da Saúde (OMS) (Nações Unidas, 2021). Monte, (2016) ressalta que a presença de precipitação pluviométrica e aumento na velocidade do vento ajudam na dispersão, portanto, para a diminuição da concentração dos poluentes.

Nota-se que no período seco (menos chuvoso) os níveis de $MP_{2,5}$ têm um aumento gradual. De setembro a novembro é possível observar um crescimento significativo, com um pico em novembro, onde os valores atingem mais de $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

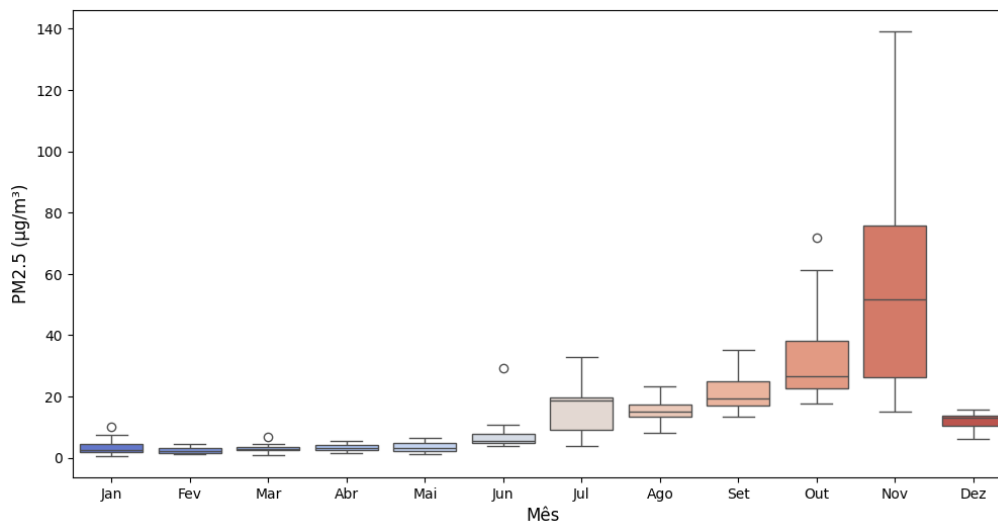
Figura 8. Série temporal do $MP_{2,5}$ no ano de 2023.



Fonte: Autores (2025).

Na figura 9 é possível observar a variabilidade do $MP_{2,5}$ durante o período de estudo, nota-se que os meses de outubro e novembro apresentam as maiores variabilidades dentro da série, com destaque para novembro que teve sua variabilidade entre 20 e $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De acordo com Almeida et al., (2025). O aumento das concentrações de $PM_{2,5}$ durante o período menos chuvoso destaca a influência das condições meteorológicas na qualidade do ar e nas variabilidades locais de poluição.

Figura 9. Boxplot mensal do $MP_{2,5}$ no ano de 2023.

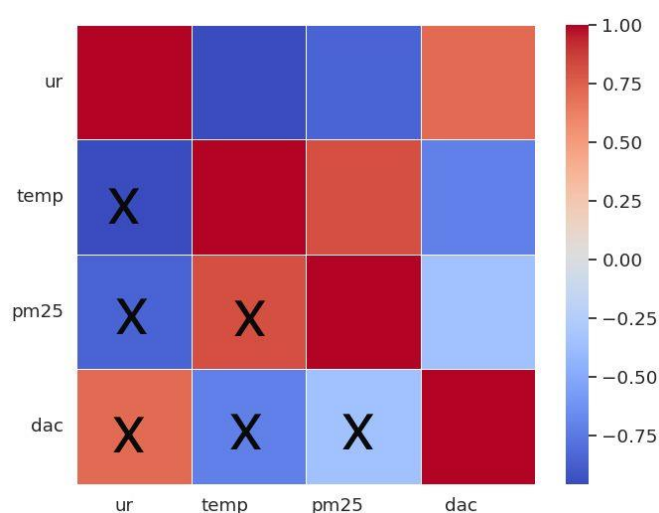


Fonte: Autores (2025).

De acordo com De Oliveira, (2024), os meses de agosto a novembro (período seco) apresentam os níveis de concentração de $MP_{2,5}$ mais elevados, podendo ser originárias de queimadas e/ou fontes antropogênicas e conseqüentemente causar danos à saúde humana. Na Amazônia brasileira, a concentração de poluentes está principalmente relacionada a incêndios de desmatamento. É por isso que podemos observar concentração atmosférica de poluentes, como $PM_{2,5}$ (REDDINGTON et al., 2019; SANT'ANNA et al., 2023). Os altos níveis de concentração de material particulado no mês de novembro podem estar associados a fumaça proveniente de queimadas. Alencar, (2024), em seu estudo, destaca um aumento nas queimadas nos últimos três meses de 2023, possivelmente devido às condições climáticas e à seca extrema associada ao El Niño.

É evidenciado na correlação de Pearson que as doenças do aparelho circulatório mostram associação estatisticamente significativa com todas as variáveis representadas por “X”. Essa significância não é somente vista entre o $MP_{2,5}$, mas também com a temperatura do ar e umidade relativa do ar. Portanto, levando em consideração a associação presente na figura (10), considerou-se a aplicação do modelo de Equação de Estimção Generalizada (GEE sigla em inglês), para uma melhor interpretação da relação das variáveis.

Figura 10. Correlograma da correlação de Pearson.



A modelagem via GEE sinaliza uma associação significativa entre DAC e as variáveis umidade relativa do ar e $MP_{2,5}$ no município de Santarém. A partir do modelo GEE é possível supor que à medida que aumenta a umidade relativa do ar e a concentração de $MP_{2,5}$ aumenta o risco 1,04 e 1,01% de haver internações por doenças do aparelho circulatório.

De acordo com Franchini, (2012) o MP_{2,5} apresenta uma maior toxicidade devido à sua multielementariedade e, porque pode atingir tanto as porções mais inferiores do trato respiratório quanto entrar em contato diretamente com a corrente sanguínea. Estudos como de Nunes, (2005); e Rodrigues, (2015) apontam que na Amazônia a exposição a longo prazo ao MP_{2,5} está associada ao aumento das internações e morbimortalidade por doenças do aparelho circulatório, principalmente em idosos. Mantovani, (2016) em seu estudo, ressalta que a exposição ao MP_{2,5} é extremamente prejudicial ao sistema circulatório, e seu modo de ação parece estar ligado ao agrupamento das plaquetas, o que pode provocar o aumento da formação de trombose aguda após a exposição às partículas. Braga et al. (2007) destacam que existem vários estudos que demonstram ser a poluição atmosférica um fator de aumento de risco para doenças do aparelho circulatório.

Tabela 2- Modelo de Equações de Estimação Generalizada entre as variáveis meteorológicas material particulado 2,5 e doenças do aparelho circulatório.

Variáveis	Estimativa	Erro	P-Valor	RR*(%)
Umidade	0,04391	0,02119	<0,05	1,04
Temperatura	-0,4880	0,04785	---	---
MP_{2,5}	0,01544	0,00282	<0,05	1,01

RR*= Risco relativo.

Fonte: Autores (2025).

A análise da correlação de Pearson apresentou limitações, visto que a base de dados disponível abrange somente o ano de 2023. Foi observado em ambas as técnicas significância estatística. Contrariamente ao resultado da correlação, o modelo GEE apresentou uma associação positiva entre a umidade, o MP_{2,5} e as internações por DAC. Severino (2016) destaca que eventos climáticos extremos, como calor intenso, umidade e temperatura do ar baixas, podem estar relacionados ao agravamento de sintomas de doenças do aparelho circulatório. A umidade relativa do ar alta também influencia na homeostase, aumentando a chance de complicações em indivíduos com patologias cardiovasculares (Zeng et al., 2017). Emmerechts, (2012) ressalta que a exposição de longo prazo (crônica) ao MP_{2,5} aumenta a formação da placa aterosclerótica, podendo reduzir a expectativa de vida em alguns anos.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a temperatura e umidade apresentaram padrões descritos na literatura, já o material particulado pode apresentar comportamentos distintos. A correlação apresentou associação significativa entre as variáveis e os casos de DAC. O modelo GEE apresentou resultados relevantes, com destaque novamente para umidade relativa do ar, contudo o $MP_{2,5}$ também se mostrou relevante, apresentando um risco relativo em 1,01%. Esses resultados contribuem para uma melhor compreensão de como os fatores ambientais estão relacionados a interações por doenças do aparelho circulatório em Santarém. Além disso, estas informações que podem auxiliar na criação de estratégias de prevenção e criação de políticas públicas e ambientais, demonstram o quanto é necessária uma rede de monitoramento da qualidade do ar na região.

6. REFERENCIAS

ALENCAR, Ane et al. Amazônia em chamas: Entendendo a relação entre o fogo e desmatamento em 2023. **Nota Técnica**, n. 12, 2024.

ALMAN, B. L. et al. The association of wildfire smoke with respiratory and cardiovascular emergency department visits in Colorado in 2012: a case crossover study. *Environmental Health*, v. 15, n. 62, 2016.

ALMEIDA, D. O. et al. Variabilidade na Qualidade do Ar: Uma Abordagem Comparativa entre Zonas Urbana e Periurbana em Santarém, Pará . **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 863–879, 2025. DOI: 10.26848/rbgf.v18.2.p863-879.

ANDRADE FILHO, V. S.; et al. Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil. *Revista de Saúde Pública*, São Paulo-SP, v. 47, n. 2, p. 239-247, 2013. doi: 10.1590/s0034-8910.2013047004011.

ANDREAE, M. O. et al. Carbon monoxide and related trace gases and aerosols over the Amazon Basin during the wet and dry seasons. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v. 12, n. 13, p. 6041-6065, 2012. <https://doi.org/10.5194/acp-12-6041-2012>

AOSONG. AM2302. Disponível em: <
<http://www.aosong.com/en/products/details.asp?id=117>>. Acesso em: 10 set. 2015.

ARAGÃO, L. E. O. C.; MALHI, Y.; ROMANCUESTA, R. M.; SAATCHI, S.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E. Spatial patterns and fire response of recent Amazonian droughts. *Geophysical Research Letters*, 34. L07701, 2007.

ARAGÃO, L.E.O.C.; POULTER, B.; BARLOW, J.B.; ANDERSON, L.; MALHI, Y.; SAATCHI, S.; PHILLIPS, O.L.; GLOOR, E. Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. *Biological Reviews*, 89, 913–931, 2014.

ARAGÃO, Luiz EOC et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. *Nature Communications*, v. 9, n. 1, p. 536, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>

ARDUINO. Introduction. Disponível em: < <http://arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acessado em: 10 set. 2015.

ANSELME, Frédéric et al. Inhalation of diluted diesel engine emission impacts heart rate variability and arrhythmia occurrence in a rat model of chronic ischemic heart failure. **Archives of toxicology**, v. 81, p. 299-307, 2007.

BARBOSA, S. M. M. et al. Poluição do ar e a saúde das crianças: a doença falciforme. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.31, n.2, p.265-75. 2015.

BARLOW, Jos et al. Clarifying Amazonia's burning crisis. **Global Change Biology**, v. 26, n. 2, p. 319-321, 2020.

BRASIL. (1990) *Resolução CONAMA n° 3, de 28 de junho de 1990* Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Brasília: CONAMA.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei n.6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm>

BROWN, F.; Duarte, A.; Torres, M.; Ascorra, C.; Reyes, J.F.; Rioja-Ballivián, G.; Reis, V.; Melo, A.W.F. de; Silva, S.S.; Acho, C. Monitoramento de Fumaça Em Tempo Real Mediante Sensores de Baixo Custo Instalados Na Amazônia Sul-Occidental. In Proceedings of the Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto; INPE: São José dos Campos, 2019; pp. 2658– 2661.

BUDDE, Matthias et al. Potencial e limitações do sensor de partículas SDS011 de baixo custo para monitoramento da qualidade do ar urbano. **ProScience** , v. 6, pág. 12, 2018.

CANÇADO, J. E. D. et al. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v.32, n.Supl 1, p.S5-S11, 2006.

CANO-CRESPO, A., Oliveira, PJC, Boit, A., Cardoso, M. & Thonicke, K. Queima de bordas florestais na Amazônia brasileira promovida por incêndios fugitivos de pastagens manejadas. *J. Geophys. Res. Biogeosci.* **120**, 2095–2107 (2015).

CARMO, W.; CARMO, M. DAS G. Desmatamento, queimadas e ameaça de extinção da flora e fauna na Amazônia brasileira. *Revista Científica do Instituto Ideia*, v. 8,n.2,p.55-59, 2019.

CARVALHO, André Cutrim et al. O papel da fronteira pecuária como principal driver do desmatamento no Estado do Pará. **Gestão Ambiental nos Trópicos Úmidos: Impactos das Ações Humanas nos Recursos Naturais das Fronteiras Amazônicas. Guarujá: Científica Digital**, p. 15-28, 2021.

CESAR, G. C. A.; NASCIMENTO, C. F. L.; CARVALHO, A.J. Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças. *Revista de Saúde Pública*, v.47, n.6, p.1209-12, 2013

CETESB. Qualidade Do Ar No Estado Do São Paulo 2021.
<https://servicos.cetesb.sp.gov.br/qa/>

COCHRANE, MA & Barber, CP Mudanças climáticas, uso humano da terra e futuros incêndios na Amazônia. **15**, 601–612 (2009).

COPERTINO, Margareth et al. Desmatamento, fogo e clima estão intimamente conectados na Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 71, n. 4, p. 04-05, 2019

CORMIER AS, Lomnicki S, Backes W, Dellinger B. Origin and health impacts of emissions of toxic byproducts and fine particles from combustion and thermal treatment of hazardous wastes and materials. *Environ health perspect* 2006; 114(6):810-817.

CORRÊA, A. V. S.; et al. Relação entre queimadas e casos de doenças respiratórias em crianças e idosos na época da seca no Tocantins. *Revista de Patologia do Tocantins*, v. 7, n. 3, p. 75-79, 2020.

CÔRTEZ, Julia Corrêa; SILVA JÚNIOR, Roberto Donato da. A Interface entre Desmatamento e Urbanização na Amazônia Brasileira. **Ambiente & Sociedade**, v. 24, p. e01821, 2021.

DA LUZ LIMA, Yara; FARIAS, Fabiano Fontenele; DA LUZ LIMA, Antônia de Maria. Poluição atmosférica e clima: refletindo sobre os padrões de qualidade do ar no Brasil. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 9, p. 555–564-555–564, 2012.

DA SILVA, Alexandre Fernando; VIEIRA, Carlos Alexandre. Aspectos da poluição atmosférica: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras. **Ciência e Sustentabilidade**, v. 3, n. 1, p. 166-189, 2017.

DA SILVA, Sonaira Souza et al. Incêndios florestais e queimadas na Amazônia sul ocidental. **Realización**, p. 27, 2019.

DE OLIVEIRA JÚNIOR, Arilson José et al. AVALIAÇÃO DA PRECISÃO DE MEDIÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR AM2302. In: **IV JORNACITEC** . 2015.

DE OLIVEIRA, Beatriz Fátima Alves. Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde infantil: Um estudo sobre biomarcadores de estresse oxidativo em crianças e adolescentes da Amazônia Brasileira. 2015.

DE OLIVEIRA, Bruna Larissa Aires; DE SOUZA, Rodrigo Augusto Ferreira; ANDREOLI, Rita Valéria. 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.

DE SOUZA, Alana Almeida; OVIEDO, Antonio; DOS SANTOS, Tiago Moreira. Impactos na qualidade do ar e saúde humana relacionados ao desmatamento e queimadas na Amazônia Legal brasileira. **Instituto Socioambiental: São Paulo, SP, Brazil**, v. 21, 2020.

DOMINGUES, Mariana Soares; BERMANN, Célio. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & sociedade**, v. 15, p. 1-22, 2012.

DOS SANTOS LOPES, Monyck Jeane et al. Impacto do desmatamento e queimas na biodiversidade invisível da Amazônia. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 16, n. 1, p. 1-14, 2023.

DRUMM, F. C.; GERHARDT, A. E.; FERNANDES, G. D.; CHAGAS, P.; SUCOLOTTI, M. S.; KEMERICH, P. D. C.. Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores. **REGET**, v.18, n.1, p.66-78, 2014. DOI:<https://doi.org/10.5902/2236117010537>.

EMMERECHTS, J.; HOYLAERTS, MF O efeito da poluição do ar na homeostasia. **Hämostaseologie** , v. 32, n. 01, p. 5-13, 2012.

ETESAMI, H. Plant-microbe interactions in plants and stress tolerance. *Plant Life Under Changing Environment*, p. 355-396,2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818204-8.00018-7>.

FELIN, B. Veja onde É feito o monitoramento da qualidade do ar no Brasil. 2023. Disponível em: . C

FERNANDES, T.; HACON, S. S; NOVAIS, J. W. Z. Dinâmica temporal de focos de calor e seus condutores de pressão no território do Sudeste Paraense. 2021. Disponível em https://queimadas.dgi.inpe.br/~rqueimadas/material3os/2019_Fernandes_etal_FocosCalorPressaoSudesteParaens_e_RevistaNativa_DE3os.pdf.

FLOHR, Letícia et al. MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR NO IFC-CAMPUS CAMBORIÚ. Anais da Feira de Iniciação Científica e Extensão (FICE) Campus Camboriú, 2022.

FOROUZANFAR, M. H. et al. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990-2013: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet*, v. 386, n. 10010, p. 2287–2323, 2015.

FRANCHINI, Massimo; MANNUCCI, Pier Mannuccio. Poluição do ar e doenças cardiovasculares. **Pesquisa sobre trombose**, v. 129, n. 3, pág. 230-234, 2012.

FREITAS, Beatriz De Souza et al. Análise de associações entre internações de diabetes mellitus e condições atmosféricas no período de 2010 a 2020 no município de Santarém, Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 30, p. 647-667, 2022.

FUCHS, V. B. Expansão de fronteira impulsionada pela China na Amazônia: quatro eixos de pressão causados pela crescente demanda pelo comércio de soja. *Civitas-Revista de Ciências Sociais*, v. 20, n. 1, p. 16-31, 20 20

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde (ICICT). Instituto de Energia e Meio Ambiente [homepage on the Internet]. Rio de Janeiro: ICICT/IEMA; c2014 [cited 2021 Apr 01]. 1o Diagnóstico da rede de monitoramento da qualidade do ar no Brasil. [Adobe Acrobat document, 277p.]. Available from: https://www.icict.fiocruz.br/sites/www.icict.fiocruz.br/files/Diagnostico_Rede_de_Monitoramento_da_Qualidade_do_Ar.pdf»
https://www.icict.fiocruz.br/sites/www.icict.fiocruz.br/files/Diagnostico_Rede_de_Monitoramento_da_Qualidade_do_Ar.pdf

GALETTI, Giovana Deponte et al. Desenvolvimento e aplicação de uma estação de qualidade do ar de baixo custo para monitorar a concentração de material particulado. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, 2020.

GONÇALVES, T. L. F. et al. Modelagem dos processos de remoção sulfato e dióxido de enxofre presente no particulado em diferentes localidades da região metropolitana de São Paulo. *Revista brasileira de Geofísica*, v.28, p.109-19, 2010.

GOULDSON, A. Risk, regulation and the right to know: exploring the impacts of access to information on the governance of environmental risk. *Sustainable Development*, v.12, p.136-49, 2004. <https://doi.org/10.1002/sd.237>.

HEIMANN et al, Source attribution of air pollution by spatial scale separation using high spatial density networks of low cost air quality sensors, *Atmospheric Environment*, vol. 113, pp. 10 e 19, 20.

HOLM, Stephanie M.; MILLER, Mark D.; BALMES, John R. Health effects of wildfire smoke in children and public health tools: a narrative review. **Journal of exposure science & environmental epidemiology**, v. 31, n. 1, p. 1-20, 2021.

IBGE -Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.Dados do Estado do Pará-PA. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/>. Acesso em: 10 jan. 2025.

IBGE. Estimativa Da População Brasileira 2021.

INPE, 2024. Disponível em: http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/homologation/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates/2020_11_infoqueima.pdf (inpe.br)/Focos de Queimada versus / Desmatamentos (Bioma Amazônia) (inpe.br)/ TerraBrasilis (inpe.br).

JACINTO, A. I.; SIMAS, M. T. M.; BIANCHI, R.; OLIVEIRA, K. N.; RECH, C. M. C. B. Aspectos fisicoterritoriais e atrações turísticas do município de Santarém, Pará, 2006.Disponível em:<http://www2.ifes.com.br/webifef/revista/REVISTA%20DE%20TURISMO/EDI%C7%C30/ARTIGOS%20%AA20EDI%C7%C30/ASPECTOS>.

JOLLY, W. Matt et al. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, v. 6, n. 1, p. 7537, 2015. <https://doi.org/10.1038/ncomms8537>

KELLY FJ, Fussell JC. Global nature of airborne particle toxicity and health effects: a focus on megacities, wildfires, dust storms and residential biomass burning. *Toxicol Res (Camb)*. 2020;9(4):331-345. <https://doi.org/10.1093/toxres/tfaa044>
» <https://doi.org/10.1093/toxres/tfaa044>.

KOPPEN, Wladimir.Das geographische system der klimat. *Handbuch der klimatologie*, p. 46, 1936.

LAIRD, N. M.; WARE, J. H. Random-effects models for longitudinal data. *Biometrics*, v. 38, n. 4, p. 963- 974, 1982.

LATORRE, Natalia Salazar et al. Impactos de queimadas sobre diferentes tipos de cobertura da terra no leste da Amazônia legal brasileira. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 1, p. 179-192, 2017.

LIANG, K. Y.; ZEGER, S. L. Longitudinal data analysis generalized linear models. *Biometrika*, v. 73, n. 1, p. 13-22, 1986.

LOPES, A.R.S.; História Ambiental: uma demanda Contemporânea. *Cad. Pesq. Cdhis, Uberlândia*, v.23, n.2, jul./dez. 2010

LOPES, M. J. S.; DIAS-FILHO, M. B.; GURGEL, E. S. C. Successful plantgrowth-promoting microbes:inoculation Methods and AbioticFactors.*Frontiers in Sustainable Food Systems*,v. 5, n. 606454, p.1-13, 2021.DOI:<https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606454>.

MACHADO, Cristiano Paulo. Poluição atmosférica e seus efeitos na saúde humana e no meio ambiente: uma revisão de literatura. **Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas)-Instituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro**, 2019.

MALHI, Y. *et al.* Mudanças climáticas, desmatamento e o destino da Amazônia. *Science* **319** , 169–172 (2008).

MANTOVANI, Kátia Cristina Cota et al. Poluentes do ar e internações devido a doenças cardiovasculares em São José do Rio Preto, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, p. 509-516, 2016.

MARTINS, Edson Agnaldo et al. Análise do conforto térmico para os meses de abril e outubro da Vila de Alter do Chão, Santarém/PA. **Engenharia e Ciência E&S** , v. 4, pág. 1-11, 2024.

MATTER, Inhalable Particulate. Health (PM2. 5 and PM10). URL: <https://ww2.arb.ca.gov/resources/inhalableparticulate-matter-and-health>, 2020.

MEADE et al., The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost, high-density networks. *Atmospheric Environment*, vol. 70, pp. 186-203, 2013.

MENDES, Ana Vitória Padilha et al. Variáveis meteorológicas e o número de internações por infarto agudo do miocárdio em Belém/PA. **Revista de Geociências do Nordeste**, p. 153-161, 2021.

MENDES, Elízio Cardoso. **Sistema inteligente de monitorização de multiparâmetros em espaços interiores**. 2023. Tese de Doutorado.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Lei n.10.650, de 16 de abril de 2003. Dispõe sobre o acesso público aos dados e informações existentes nos órgãos e entidades integrantes do Sisnama. Diário Oficial da União. Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/2003/L10.650.htm>.

MIRANDA, M. R. S; NEVES, L. F. S; KREITLOW, J. P; NEVES, S. M. A. S; NEVES, R. J. Distribuição De Queimadas E Mudanças Na Cobertura Vegetal E Uso Da Terra No Bioma Pantanal, Cáceres-Brasil. *Revista caminhos de geografia, Uberlândia - MG* v. 19, n. 65 Mar/2018.

MONTE, Edson Zambon; ALBUQUERQUE, Taciana Toledo de Almeida; REISEN, Valdério Anselmo. Impactos das variáveis meteorológicas na qualidade do ar da Região da Grande Vitória, Espírito Santo, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4 suppl 1, p. 546-554, 2016.

MOREIRA, J. K. R.; LIMA, A. C. M.; CARDOSO, B. A.; VINAGRE, M. V. A.. Avaliação da Qualidade do Ar Através de Parâmetros Biológicos e Visuais nos Bairros de São Brás, Nazaré e Cidade Velha, Belém (PA). *Educação Ambiental em Ação*, v.53, p.1-16, 2015.

MURARA, Pedro Germano; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Clima e saúde: variações atmosféricas e óbitos por doenças circulatórias. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, 2010.

NASA. AERONET (AErosol RObotic NETwork) 2021. <https://aeronet.gsfc.nasa.gov/>

NEPSTAD, D. C., STICKLER, C. M., SOARES-FILHO, B., MERRY, F. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. *Phil. Trans. Royal Society*, v.363, p.1737-1746, 2008.

NUNES, Karine Vila Real; IGNOTTI, Eliane; HACON, Sandra de Souza. Circulatory disease mortality rates in the elderly and exposure to PM_{2.5} generated by biomass burning in the Brazilian Amazon in 2005. **Cadernos de saúde publica**, v. 29, p. 589-598, 2013.

OLIVEIRA, Beatriz Fátima Alves de et al. Environmental Exposure Associated with Oxidative Stress Biomarkers in Children and Adolescents Residents in Brazilian Western Amazon. **Journal of Environmental Protection**, v. 9, p. 347-367, 2018.

OLIVEIRA, J. C. F. de. **Efeitos diretos e indiretos de variáveis meteorológicas na saúde e qualidade de vida da população urbana da cidade de Maceió, AL**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA da Universidade Federal da Paraíba-UFPB, para obtenção do grau de mestre. João Pessoa, PB, 2004

OMS. Organização Mundial da Saúde. (2006). WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: global update 2005: summary of risk assessment. Geneva.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Air pollution. Disponível em: https://www.who.int/healthtopics/air-pollution#tab=tab_1. Acesso em: 02 fevereiro 2025

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Global update 2005. Summary of risk

assessment. Disponível em: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/airquality/publications>.

PANISSET, Jéssica S. et al. Contrasting patterns of the extreme drought episodes of 2005, 2010 and 2015 in the Amazon Basin. *International Journal of Climatology*, v. 38, n. 2, p. 1096-1104, 2018. <https://doi.org/10.1002/joc.5224>.

PEREIRA JÚNIOR, A.; MARQUES, JRA; SOUZA, LHS de; CASTRO, BF de; JESUS, E. dos S.; GUTJAHR, ALN; MORALES, GP. Ações antrópicas no bairro Maracanã e avaliação de impactos ambientais em Santarém – PA. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.], v. 15, pág. e433101523172, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i15.23172.

PESTANA, Paula Roberta da Silva et al. Effects of air pollution caused by sugarcane burning in Western São Paulo on the cardiovascular system. **Revista de saúde pública**, v. 51, p. 13, 2017.

PICANÇO, Larissa Maiara Amorim et al. VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E INFECÇÕES AGUDAS DAS VIAS AÉREAS SUPERIORES EM BELÉM DO PARÁ. **Interfaces Científicas-Saúde e Ambiente**, v. 7, n. 2, 2019.

PRESTES, Matheus de Oliveira et al. Desenvolvimento e aplicação de sistema de baixo custo na avaliação de parâmetros de QAI. In: **IV Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia-Livro de Atas 2019**. Instituto Politécnico de Bragança, 2019.

PREFEITURA DE MUNICIPAL DE SANTARÉM (www.santarem.pa.gov.br/Portal da Transparência.)

RAIOL, Adriane Dos Santos et al. Análise Da Poluição Do Ar Em Mojuí Dos Campos, Município Do Oeste Do Pará. **Brazilian Journal of Agroecology and Sustainability**, v. 6, n. 1, p. 4-35, 2024.

REDDINGTON, Carly L. et al. Biomass burning aerosol over the Amazon: analysis of aircraft, surface and satellite observations using a global aerosol model. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 19, n. 14, p. 9125-9152, 2019.

REID, C. E.; MAESTAS, M. M. Wildfire smoke exposure under climate change: impact on respiratory health of affected communities. *Curr Opin Pulm Med*, v. 25, n. 2, p. 179–187, 2019.

RIBEIRO, H., ASSUNÇÃO, J. V. Efeitos das queimadas na saúde humana. *Estudos Avançados*, v.16, n.44, 2002.

RODRIGUES, Poliany CO et al. Space-time analysis to identify areas at risk of mortality from cardiovascular disease. **BioMed research international**, v. 2015, n. 1, p. 841645, 2015.

ROSA, A. M., IGNOTTI, E., HACON, S. S., CASTRO, H. A. Análise das interações por doenças respiratórias em Tangará da Serra – Amazônia Brasileira. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, v.34, n.8, p.575-582, 2008.

ROSA, A. M.; et al. Doença respiratória e sazonalidade climática em menores de 15 anos em um município da Amazônia brasileira. *Jornal de Pediatria*, v. 84, n. 6, p. 543-549, 2008.

ROUTLEDGE, HC; AYRES, Jonathan Geoffrey. Poluição do ar e o coração. **Medicina ocupacional** , v. 55, n. 6, p. 439-447, 2005.

SANT'ANNA, André Albuquerque; ROCHA, Rudi. Impactos dos incêndios relacionados ao desmatamento na Amazônia brasileira sobre saúde. **Instituto de Estudos para Políticas de Saúde**, p. 1-7, 2023.

SANTIAGO, A.. Material particulado total suspenso na baixa atmosfera em Cuiabá/MT no período de queimadas. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013. DOI:<https://doi.org/10.1590/S1517-707620150001.0027>.

SANTOS, U. de P.; ARBEX, M. A.; BRAGA, A. L. F.; MIZUTANI, R. F.; CANÇADO, J. E. D.; TERRA-FILHO, M.; CHATKIN, J. M. Environmental air pollution: respiratory effects. *Jornal brasileiro de pneumologia: publicação oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia*, [s. l.], v. 47, n. 1, p. e20200267, 2021.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. *Atmospheric chemistry and physics : from air pollution to climate change*. [s.l.] Wiley, 2016.

SEVERINO, Emmeline Aparecida Silva; COSTA, Rildo Aparecido. O ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO RITMO CLIMÁTICO NO AGRAVAMENTO DE DOENÇAS CIRCULATÓRIAS EM ITUIUTABA-MG. *Hygeia: Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, v. 12, n. 23, p. 11, 2016.

SHIMAKURA, S.E. **Coefficiente de determinação**. 2006. Disponível em: <http://leg.ufpr.br/~silvia/>

SILVA, C.A.; SANTILLI, G.; SANO, E.E.; LANEVE, G. FIRE. Occurrences and Greenhouse Gas Emissions from Deforestation in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing*, v. 13, n. 376, p. 1-18, 2021. DOI:<https://doi.org/10.3390/rs13030376>.

SISTEMA DE INFORMAÇÕES AMBIENTAIS INTEGRADO A SAÚDE – SISAM. Disponível em: < <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/sisam/v2/>

SOUSA, H. F. M. de, Silva, L. S. da, & Costa, F. N. da. (2024). EFEITOS DAS QUEIMADAS NA SAÚDE DA POPULAÇÃO COM FOCO PARA AS DOENÇAS PULMONARES. *Revista Ibero-Americana De Humanidades, Ciências E Educação*, 10(5), 3126–3150. <https://doi.org/10.51891/rease.v10i5.14016>

SOUZA JB, Reisen VA, Santos JM, Franco GC. Principal components and generalized linear modeling in the correlation between hospital admissions and air pollution. *Rev. Saúde Pública*. 2014; 48(3): 451-8.

SOUZA, Lilian Gusmão de et al. Cidades inteligentes como alternativa para solução do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. 2024.

TORTORA, Gerard J.; DERRICKSON, Bryan. **Corpo Humano-: Fundamentos de Anatomia e Fisiologia**. Artmed Editora, 2016.

VAN Marle, MJE *et al.* Dinâmica do fogo e do desmatamento na Amazônia (1973–2014). *Glob. Biogeochem. Cycl.* **31**, 24–38 (2017).

VASCONCELOS, P. G. A; ANGELO, H; ALMEIDA, A. N; MATRICARDI, E. A. T; MIGUEL, E. P; SOUZA, A. N. PAULA, M. F; GONÇALEZ, J. C; JOAQUIM, M. S. Determinants of the Brazilian Amazon deforestation. *African Journal Of Agricultural Research*, v. 12, n. 3, p.169-176, jan/2017.

VIANA, J.dos. S.; GOMES, A. M. N.; MENEZES, R. H. N. de.; PALARETTI, L. F. Efeito de temperaturas térmicas no número de gerações de cochonilhas para o ano de El Niño no Maranhão. *Boletim Informativo da Superintendência de Gestão Ambiental – UEMA*, v. 4, n. 1, p. 31-34, 2021.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; BUAINAIN, A. M.; CONTINI, E. Amazônia um mosaico em construção. *Revista de política agrícola*, v. 4, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1122347/amazonia-um-mosaico-em-construcao>.

VIEIRA, C. A.; SILVA, A. F. Aspectos da poluição atmosférica: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras. publicação em 02/06.2017. **Revista Ciência e Sustentabilidade-CeS Juazeiro do Norte**, v. 3, n. 1, p. 166-189, 2017.

VORMITTAG, Evangelina da Motta et al. Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil. *Estudos Avançados*, v. 35, p. 7-30, 2021

ZENG, Jie et al. Humidity may modify the relationship between temperature and cardiovascular mortality in Zhejiang Province, China. **International journal of environmental research and public health**, v. 14, n. 11, p. 1383, 2017.
