



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ – UNIFAP

DEPARTAMENTO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO – DMAD

CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

RODRIGO BARBOSA LIMA

**ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR DO MATERIAL PARTICULADO EM
SUSPENSÃO NO MUNICÍPIO DE MACAPÁ - AP**

MACAPÁ

2023

RODRIGO BARBOSA LIMA

**ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR DO MATERIAL PARTICULADO EM
SUSPENSÃO NO MUNICÍPIO DE MACAPÁ - AP**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Bacharelado em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Amapá – UNIFAP, como requisito para obter o título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Moacir Medeiros Veras

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo José de Oliveira

MACAPÁ

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central/UNIFAP-Macapá-AP
Elaborado por Mário das Graças Carvalho Lima Júnior – CRB-2 / 1451

L732 Lima, Rodrigo Barbosa.
Índice de qualidade do ar do material particulado em suspensão no município de Macapá AP / Rodrigo Barbosa Lima. - Macapá, 2023. 1 recurso eletrônico. 44 folhas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Ciências Ambientais, Macapá, 2023.

Orientador: Moacir Medeiros Veras.

Coorientador: Marcelo José de Oliveira.

Modo de acesso: World Wide Web.

Formato de arquivo: Portable Document Format (PDF).

1. Partículas. 2. Suspensão. 3. Atmosfera. I. Veras, Moacir Medeiros, orientador. II. Oliveira, Marcelo José de, coorientador. III. Universidade Federal do Amapá. IV. Título.

CDD 23. ed. – 363.7098116

LIMA, Rodrigo Barbosa. **Índice de qualidade do ar do material particulado em suspensão no município de Macapá - AP**. Orientador: Moacir Medeiros Veras. Coorientador: Marcelo José de Oliveira. 2023. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Coordenação do Curso de Ciências Ambientais. Universidade Federal do Amapá, Macapá, 2023.

RESUMO

O ar é um elemento fundamental para a sobrevivência humana e para a manutenção do planeta, sua composição apresenta diversas características e pode ser associado a diversos poluentes como o caso do material particulado em suspensão no ar, que são um conjunto de contaminantes constituídos por diversas fontes e composições que podem ser prejudiciais à saúde humana. Macapá é a capital do estado do Amapá e não apresenta estudos sobre qualidade do ar em geral; dessa forma, o trabalho teve como objetivo investigar a qualidade do ar na cidade de Macapá analisando a média de material particulado em suspensão e seu índice de qualidade do ar. O desenvolvimento do estudo contou com a coleta de dados secundários do sistema *Purple Air*. Este programa global apresenta dados em tempo real sobre diversos parâmetros de qualidade do ar, incluindo o parâmetro principal para a realização da pesquisa que são o material particulado. Após obter e analisar os dados do sistema *Purple Air* foi utilizada como embasamento principal a resolução CONAMA nº 491/2018 que estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar. A resolução oferece o cálculo de IQAr (índice de qualidade do ar) para demonstrar se o ar analisado se encontra nos padrões apropriados para a população. Após a realização de todos os cálculos e análises, obtivemos os seguintes resultados médios para o período de um ano (11/2021 a 11/2022): 5,28 de IQAr para MP de 1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 7,68 de IQAr para MP de 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 4,32 de IQAr para MP de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Os resultados de IQAr mostram que a qualidade do ar em Macapá é classificada como boa, e se mantém com os mesmos padrões em condições e estações climáticas adversas e levando em consideração fatores de temperatura e umidade. Entretanto, o monitoramento dos indicadores de qualidade do ar deve ser realizado de maneira contínua afim de preservar o controle dos índices. É extremamente importante o monitoramento do material particulado, levando em consideração o monitoramento de diversos outros poluentes para o bem estar da saúde humana.

Palavras – chave: Partículas. Suspensão. Atmosfera. Macapá.

ABSTRACT

The air is a fundamental element for human survival and for the maintenance of the planet, its composition has several characteristics and can be associated with various pollutants such as particulate matter in suspension in the air, which are a set of contaminants consisting of various sources and compositions that can be harmful to human health. Macapá is the capital of the state of Amapá and does not present studies on air quality in general; thus, the study aimed to investigate the air quality in the city of Macapá by analyzing the average suspended particulate matter and its air quality index. The development of the study relied on the collection of secondary data from the Purple Air system. This global program presents real-time data on several air quality parameters, including the main parameter for the research, which is particulate matter. After obtaining and analyzing the data from the Purple Air system, the CONAMA Resolution 491/2018, which establishes the national air quality standards, was used as the main basis. The resolution offers the IQAr (air quality index) calculation to demonstrate whether the analyzed air is within the appropriate standards for the population. After performing all the calculations and analyses, we obtained the following average results for the one-year period (11/2021 to 11/2022): 5.28 IQAr for PM of 1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 7.68 IQAr for PM of 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and 4.32 IQAr for PM of 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The IQAr results show that the air quality in Macapá is classified as good, and remains with the same standards in adverse weather conditions and seasons and taking into account temperature and humidity factors. However, the monitoring of air quality indicators should be carried out continuously in order to preserve control of the indexes. The monitoring of particulate matter is extremely important, taking into consideration the monitoring of several other pollutants for the well-being of human health.

Keywords: Particles. Suspension. Atmosphere. Macapá.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Comparação do tamanho das partículas (MP ₁₀ e MP _{2,5}) (FORNARO, 2019)	17
Figura 2: Tamanhos das partículas e suas composições (MUHLFELD, et al, 2008, apud BRITO; SODRÉ; ALMEIDA, 2018)	18
Figura 3: Áreas de alcance do MP no corpo humano (GUARIEIRO; SOLCI; VASCONCELOS, 2011)	21
Figura 4: Interface do sistema <i>Purple Air</i>	31
Figura 5: Sensor PA-II-SD utilizado na pesquisa.....	32

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Equação de índice de qualidade do ar (IQAR).....	24
--	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Variação de temperatura medida em Macapá no período de novembro de 2021 a novembro de 2022.....	33
Gráfico 2: Variação da umidade medida em Macapá no período de novembro de 2021 a novembro de 2022.....	34
Gráfico 3: Média da coleta das partículas de 1.0 µg/m ³ durante o período de análise.....	35
Gráfico 4: Média da coleta das partículas de 2.5 µg/m ³ durante o período de análise.....	36
Gráfico 5: Média da coleta das partículas de 10 µg/m ³ durante o período de análise.....	37
Gráfico 6: Índice de qualidade do ar para o MP 2.5 no inverno e verão.....	39
Gráfico 7: Índice de qualidade do ar para o MP 10 no inverno e verão.....	40

LISTA DE MAPAS

Mapa 1: Área de estudo e localização do sensor de monitoramento (ponto VERDE)	29
Mapa 2: Área de estudo / localização do sensor (Ministério público de Macapá, complexo da zona norte, quadrado amarelo)	29

LISTA DE SIGLAS

CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CONAMA: Conselho Nacional de Meio Ambiente

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IQAr: Índice de qualidade do ar

MP: Material Particulado

OMS: Organização mundial da saúde

ONU: Organização das Nações Unidas

PM: Particulate matter

PQAr: Padrões de qualidade do Ar

dl: Decilitro

µm: Micrômetros

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Padrões de qualidade do ar.....23

Tabela 2: Estrutura do índice de qualidade do ar com base nos parâmetros aferidos.....24

Tabela 3: Faixas de qualidade do ar e seus significativos efeitos que podem ocasionar à saúde.....25

Tabela 4: Índice de qualidade do ar para o material particulado em suspensão em Macapá.....38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 O AR.....	12
2.2 PRINCIPAIS POLUENTES EM SUSPENSÃO NO AR	13
2.3 MATERIAL PARTICULADO (MP)	14
2.3.1 Classificação do Material Particulado	15
A. <i>Primários</i>	16
B. <i>Secundários</i>	16
2.3.1.1 Tamanho das Partículas.....	17
2.3.1.2 Partículas Inaláveis e Finas.....	18
2.4 DOENÇAS RELACIONADAS COM A POLUIÇÃO DO AR POR MATERIAL PARTÍCULADO	19
2.5 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR	21
2.5.1 PQA_r definidos pela legislação ambiental	22
2.6 ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR (IQA _r).....	23
2.7 QUALIDADE DO AR NAS ÁREAS URBANAS.....	25
2.8 AÇÕES MITIGADORAS DA POLUIÇÃO DO AR POR PARTICULADOS.....	26
3 METODOLOGIA	27
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	28
3.2 PURPLE AIR	30
3.3 PA-II-SD.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 ANÁLISE DE PARÂMETROS	33
4.1.1 Temperatura	33
4.1.2 Umidade	34
4.2 ANÁLISE DE PARÂMETROS – MATERIAL PARTICULADO (MP)	35
4.2.1 Partículas 1.0 µg/m³	35

4.2.2 Partículas 2.5 µg/m³	36
4.2.3 Partículas 10 µg/m³	37
4.3 CÁLCULO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR (IQAr)	38
4.3.1 IQAr - PARTÍCULAS 1.0 µg/m³, 2.5 µg/m³ e 10 µg/m³	38
4.3.2 IQAr – VARIAÇÃO SAZONAL	39
5 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS	42

1 INTRODUÇÃO

A mistura de diversos gases dá origem ao ar que é fundamental para a sobrevivência dos seres humanos, da fauna e flora para os seus processos de fotossíntese. Dessa forma, esse elemento essencial necessita sempre de monitoramento para manter o controle sobre sua qualidade, gerando assim o bem estar dos seres humanos.

O ar é um dos elementos mais agredidos pela ação humana através de suas intervenções na natureza. Centros urbanos são uma das principais áreas com maiores índices de poluição do ar devido à alta movimentação de veículos, indústrias, processos químicos, entre outros. Assim, os estudos a respeito da qualidade do ar se fazem cada vez mais importantes na atualidade (TORRES; MARTINS, 2005).

A contaminação atmosférica contribui de forma significativa para o aumento das doenças respiratórias. Atualmente cerca de 7 milhões de pessoas morrem anualmente devido ao efeito da contaminação do ar principalmente em áreas urbanas que possuem diversos poluentes em suspensão no ar. De acordo com um estudo da Organização mundial da saúde (OMS) aproximadamente 90% de toda a população mundial esteja exposta diariamente por algum tipo de poluente no ar que pode afetar diretamente a sua saúde (ÉPOCA, 2021).

A curto prazo é comum observar em pessoas que convivem em ambientes com cargas elevadas de particulados em suspensão (conjunto de poluentes presentes no ar), problemas como: pneumonia, asma, rinite, bronquite, dentre outras enfermidades respiratórias. Já exposição a longo prazo pode causar a intensificação desses sintomas transformando em enfermidades agudas, podendo levar a óbito (CETESB, 2008).

O material particulado (MP) em suspensão no ar é um conjunto de partículas de diversos tamanhos, origens e composições. Esse material na maioria dos casos pode ser extremamente nocivo à saúde humana, devido aos seus diferentes níveis de toxicidade. O MP pode estar presente em diversos ambientes, principalmente em áreas urbanas, tendo suas origens principalmente através da combustão em veículos e de indústrias, que em altas concentrações podem promover diversos problemas respiratórios (TORRES; MARTINS, 2005)

Os particulados apresentam em sua composição nitrato, hidrogênio, amônia, metais pesados, entre outros componentes, que podem permanecer em suspensão no ar por dias ou por semanas, até que ocorra a sua precipitação. Algumas partículas são extremamente prejudiciais à saúde humana enquanto outras são toleráveis ao organismo. Partículas finas ao serem inspiradas podem chegar até a corrente sanguínea e pulmões e afetar o sistema imunológico do ser humano, causando um leque de problemas e doenças. (BELO; TOFOLI, 2011).

No caso do Amapá, não há estudos disponíveis sobre qualidade do ar em centros urbanos, embora se saiba da existência de importantes fontes de poluentes, como no caso da área urbana de Macapá, que possui um elevado tráfego de veículos leves e pesados, empreendimentos instalados ao seu entorno, queimas de lixo domésticos, entre outros fatores.

Por consequência essas fontes de poluentes podem gerar a contaminação no ar devido a emissão de particulados. Em Macapá não existe controle e monitoramento sobre qualidade do ar em geral e não possui estudos e pesquisas nessa área, A hipótese é que embora existam tais fontes de poluentes de materiais particulados a quantidade e concentração dos mesmos ainda não é alta o suficiente para ter efeitos negativos à saúde da população.

A presente pesquisa teve como objetivo geral determinar se a qualidade do ar da cidade de Macapá está com a classificação dentro dos limites aceitáveis em termos de emissões de material particulado. Como objetivos específicos foram determinados a quantificação da média de partículas em suspensão no ar na cidade de Macapá. Analisar se o nível de material particulado encontrado no ar se enquadra nos padrões do CONAMA e assim; determinar o índice de qualidade para o município.

Partindo dessa premissa, foi utilizado dados do Sistema *Purple Air* que é uma rede de dados em tempo real que se pode ter o acesso via internet. O sistema apresenta diversos parâmetros de estudo sobre qualidade do ar e principalmente sobre material particulado em suspensão no ar. Os sensores utilizados nesta pesquisa estão instalados em uma rede de monitoramento composto por cinco sensores presentes em todo o estado. Dois desses sensores estão localizados em diferentes áreas da cidade de Macapá e estão sob responsabilidade do ministério público do Amapá.

A pesquisa foi de extrema importância científica para o estado do Amapá, e para a sua comunidade. O município de Macapá por não ter pesquisas relacionadas a qualidade do ar, demonstra a falta de investimento e estudos sobre o tema, e comprova a importância dessa pesquisa. Sendo assim, pode-se ser considerada como uma pesquisa pioneira sobre o estudo de qualidade do ar.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O AR

O ar é um elemento fundamental e necessário para a sobrevivência humana, da flora e da fauna. Ele é uma mistura de diferentes gases que estão presentes na atmosfera do planeta. A atmosfera por sua vez é uma camada de extrema importância que envolve a Terra e possui funções vitais para o planeta, como, regulamentação do clima, fornecer o oxigênio, protege dos raios ultravioletas, entre outras (DAPPER; SPOHR; ZANINI, 2016).

Segundo Parsekian e Cordeiro (2011) o ar atmosférico possui uma composição variada e aproximadamente 20% dessa composição é de oxigênio (O). O oxigênio por sua vez é responsável por diversos processos, como a respiração e oxidação da matéria orgânica que tem início quando bactérias reagem com o oxigênio dissolvido na água. A oxidação por sua vez gera a energia para que os seres vivos realizem suas atividades.

A constituição geral do ar se estabelece da seguinte forma, aproximadamente 78,10% de sua composição é por nitrogênio, 20,95% é por oxigênio, 0,94% por argônio e cerca de 0,033% de gás carbônico. Além dessas substâncias outras também fazem parte, porém em concentrações menores, como exemplo do hélio, hidrogênio, metano, que unidos formam o elemento ar, essencial para a vida no planeta (VIEIRA, 2009).

O ar que todos os seres vivos respiram é o ar da troposfera, que é a camada mais baixa até a superfície terrestre, e cerca de 90% do ar da atmosfera está localizado nessa camada baixa. A troposfera possui cerca de 10 a 12 Km de altitude, geralmente as condições climáticas acontecem nessa camada (CORDEIRO; PARSEKIAN, 2011).

Embora o ar seja um elemento de suma importância, ele vem sendo agredido por atividades humanas com o decorrer das décadas, o tornando em determinados casos, nocivos para a saúde humana. Diversos fatores podem tornar o ar impróprio, mudando a sua composição como já citado, e se expondo como uma importante fonte de pesquisa e monitoramento, para manter a qualidade de vida e um meio ambiente ecologicamente equilibrado (BRABO; MIYAGAWA, 2014).

2.2 PRINCIPAIS POLUENTES EM SUSPENSÃO NO AR

Poluentes em suspensão no ar são definidos como, qualquer forma de matéria, com quantidade, concentração, tempo em suspensão e entre outras características que estejam acima do que é definido pela legislação, e tenha potencial para afetar a saúde humana direta e indiretamente, tornando o ar impróprio (CETESB, 2008).

De modo geral, o ar possui uma variada constituição e os poluentes que podem estar presentes em suspensão no ar também apresentam uma vasta composição e classificação, podendo ser distribuídos em três grupos: sólidos, líquidos e gasosos. Em determinados casos, tais poluentes podem estar ligados entre si, o que determina outro tipo de classificação, que são: gases e particulados no ar (ALMEIDA, 1999).

Atualmente existem muitos poluentes atmosféricos, e segundo a Companhia de tecnologia de saneamento ambiental (CETESB) existem alguns poluentes que podem modificar o ar tornando-o nocivo à saúde humana. Os componentes mais encontrados em suspensão no ar são: material particulado, dióxido de enxofre, fumaça, material particulado total, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio.

Na forma de gases presentes diariamente na atmosfera estão os óxidos de carbono, que geralmente são lançados na forma de monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂); compostos de enxofre, na forma de óxidos de enxofre (SO₂); e gás sulfídrico (H₂S). Compostos de nitrogênio, na forma de óxidos de nitrogênio (NO₂); e amônia (NH₃). Hidrocarbonetos como, metano (CH₄); butano (C₄H₁₀); e propano (C₃H₈). Oxidantes fotoquímicos, como o ozônio (O₃); e o próprio material particulado (ALMEIDA, 1999).

Em determinados casos os poluentes em suspensão se inserem em processos de ciclos naturais, como no ciclo do carbono, onde diversos elementos interagem

entre si e se relacionam dando origem a outros componentes. A atividade antrópica é o principal fator de elevação de poluentes no ar, e o caso mais famoso é o gás carbônico (CO₂) que em grandes concentrações na atmosfera está sendo responsável pelo efeito estufa (MAIA, et al, 2017).

Diversas origens de poluentes em suspensão no ar podem ser observadas, desde origens naturais, quanto origens antrópicas. As origens naturais dos poluentes no ar são geralmente provocadas pela decomposição de animais ou vegetais, incêndios florestais, erupções vulcânicas e suspensão de poeira pelos ventos (MAGALHÃES, 2005).

As origens de poluentes no ar de forma antrópica são mais comuns através de indústrias, devido a vários processos químicos, através de queimas de lixos domésticos, industriais ou florestais, mineração, construção civil. Outro forte fator de extrema importância é o tráfego de veículos que na sua combustão gera uma carga elevada de fuligens e poluentes em suspensão (MAGALHÃES, 2005).

Dentre os diversos poluentes em suspensão no ar o material particulado é um dos mais comuns presentes no ar ambiente. Ele é um dos parâmetros de extrema importância para o estudo de qualidade do ar de forma global, e apresenta uma série de características próprias como contaminante.

2.3 MATERIAL PARTICULADO (MP)

Existem diversos parâmetros a serem analisados quando o tema é poluente em suspensão no ar, porém o MP (material particulado) em suspensão é um dos mais importantes para se realizar estudos e analisar impactos ao meio ambiente e a saúde humana através da poluição atmosférica (TORRES; MARTINS, 2005).

O material particulado (MP) é um componente produzido por diversas fontes e formado a partir de um aglomerado de partículas de diversos tamanhos, de origens naturais ou antrópicas, podendo ter diferentes graus de toxicidade. Tais materiais particulados podem ser extremamente nocivos à saúde humana ocasionando doenças respiratórias (TORRES; MARTINS, 2005).

O MP apresenta uma grande relevância em pesquisas relacionadas a qualidade do ar, devido a toda a sua origem, composição química e até mesmo

propriedades físicas. Esse grupo dos MP abrangem uma vasta quantidade de poluentes em suspensão no ar, que vão desde materiais sólidos e líquidos, até poeira, fumaça e entre outras formas de poluentes (SANTIAGO, et al, 2015).

A formação dos MP demonstrando uma caracterização geral vai desde reações químicas, vaporização e evaporação de gases, à suspensão de poeiras, processos mecânicos, entre outros. Sua composição é variada e abrange diversos elementos químicos, tendo diversas fontes, e podendo durar de minutos a até semanas em suspensão no ar até sua precipitação, podendo alcançar centenas de km de contaminação (LIMA, 2007).

O tempo de suspensão no ar do material particulado varia de modo geral em função de dois fatores: ausência e presença de chuvas. Tais fatores podem determinar o tempo em que os particulados permanecem em suspensão no ar (dias e semanas), até serem removidos pelas precipitações, gases e partículas na superfície (GODISH, 2004).

Devido ao seu pequeno tamanho, as partículas encontram-se suspensas no ar e são responsáveis por uma gama de problemas de saúde a pessoas que respiram o ar com uma carga elevada desses materiais. Os MP possuem diferentes densidades, composições e diferentes classificações (SANTIAGO, et al, 2015).

2.3.1 Classificação do Material Particulado

Existem três tipos de classificação do material particulado, que são: partículas totais, partículas finas e inaláveis. Essa definição se dá de acordo com o seu tamanho medido em micrômetros. Outra classificação é quanto sua origem de forma natural ou antrópica e entre MP primário e secundário (ALMEIDA, 1999).

A primeira classificação é determinada pelo tamanho das partículas. As partículas totais possuem seu diâmetro de até 50 μm (PM_{50}). Partículas inaláveis possuem seu diâmetro menor ou igual a 10 μm (PM_{10}). As partículas finas são aquelas que possuem seu tamanho menor ou igual a 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), existem outras nomenclaturas para diferentes tamanhos, porém as três são as mais utilizadas (BRITO; SODRÉ; ALMEIDA, 2018).

A segunda classificação é quanto a origem do material particulado, que pode ser por meio natural como: erupções vulcânicas, tempestades, queimadas naturais de biomassa, decomposição de animais e vegetais e entre outras. Por meio antrópico existem as atividades industriais, mineração, queima de lixo diversos, tráfego elevado de veículos, devido a combustão, e entre outras fontes (JUNIOR, 2014).

Os poluentes atmosféricos, no caso dos materiais particulados, são classificados em dois grupos: primários e secundários. Essa classificação varia de acordo com sua formação que podem ter origens naturais ou antrópicas (TORRES; MARTINS, 2005).

A. Primários

Os poluentes primários são aqueles que estão presentes na atmosfera da mesma forma que foram emitidos, ou seja, foram emitidos diretamente de uma fonte emissora e sua composição não muda. Alguns exemplos de poluentes primários são: compostos de enxofre, poeira, compostos de nitrogênio, óxidos de carbono, compostos radioativos, dentre outros (TORRES; MARTINS, 2005).

B. Secundários

Os poluentes secundários, diferente dos primários, são produzidos pela reação de mais de um componente na própria atmosfera. Como exemplo de poluente secundário tem-se: o dióxido de enxofre (SO_2) proveniente de combustão de óleos, reação de fusão e outras reações provenientes de atividades industriais e outros agentes (TORRES; MARTINS, 2005).

Além de todas as classificações já citadas, as partículas possuem uma classificação daquelas produzidas em áreas marinhas, o simples processo de formação e estouro de bolhas pelas ondas nos oceanos já leva a produção de particulados, outro exemplo são as partículas de sal, dos núcleos de cloreto de sódio (NaCl), e todos esses processos de formação e entre outros são classificados como spray marinho (BRITO; SODRÉ; ALMEIDA, 2018).

2.3.1.1 Tamanho das Partículas

As partículas em suspensão no ar podem apresentar variados tamanhos e sua definição é uma tarefa muito complexa. Nas pesquisas sobre poluição atmosférica o tamanho das partículas é um parâmetro essencial a ser analisado para obter resultados eficazes (ALMEIDA, 1999).

A unidade de medida do tamanho das partículas é o micrometro (μm), que é a milésima parte do milímetro, e essas partículas podem ser classificadas quanto ao seu tamanho, em três grupos: partículas inaláveis, são aquelas com diâmetro menor ou igual a $10\ \mu\text{m}$ (MP_{10}), partículas finas com diâmetro menor ou igual a $2,5\ \mu\text{m}$ ($\text{MP}_{2,5}$) e partículas ultrafinas com diâmetro menor ou igual a $0,1\ \mu\text{m}$ ^{10,24}.

Uma comparação de tamanho das partículas pode ser observada na figura 1 onde são comparados o MP_{10} e o $\text{MP}_{2,5}$ com um grão de areia e com um fio de cabelo. Na figura 2 é demonstrado as diversas composições que podem ter cada tamanho de partículas (NASCIMENTO, et al, 2017).

Figura 1. Comparação do tamanho das partículas (MP_{10} e $\text{MP}_{2,5}$) (FORNARO, 2019).

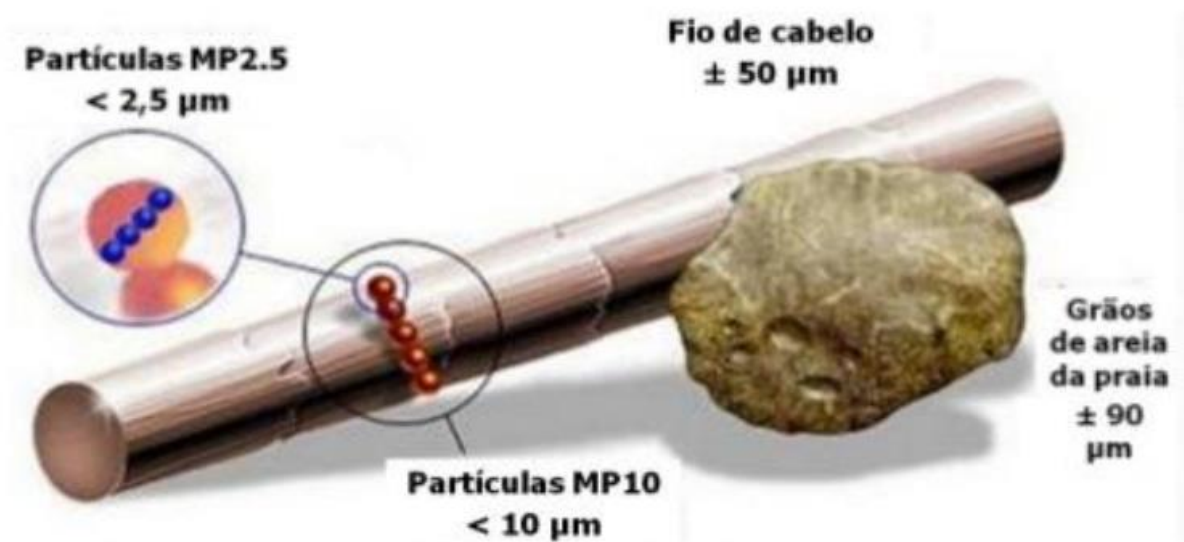
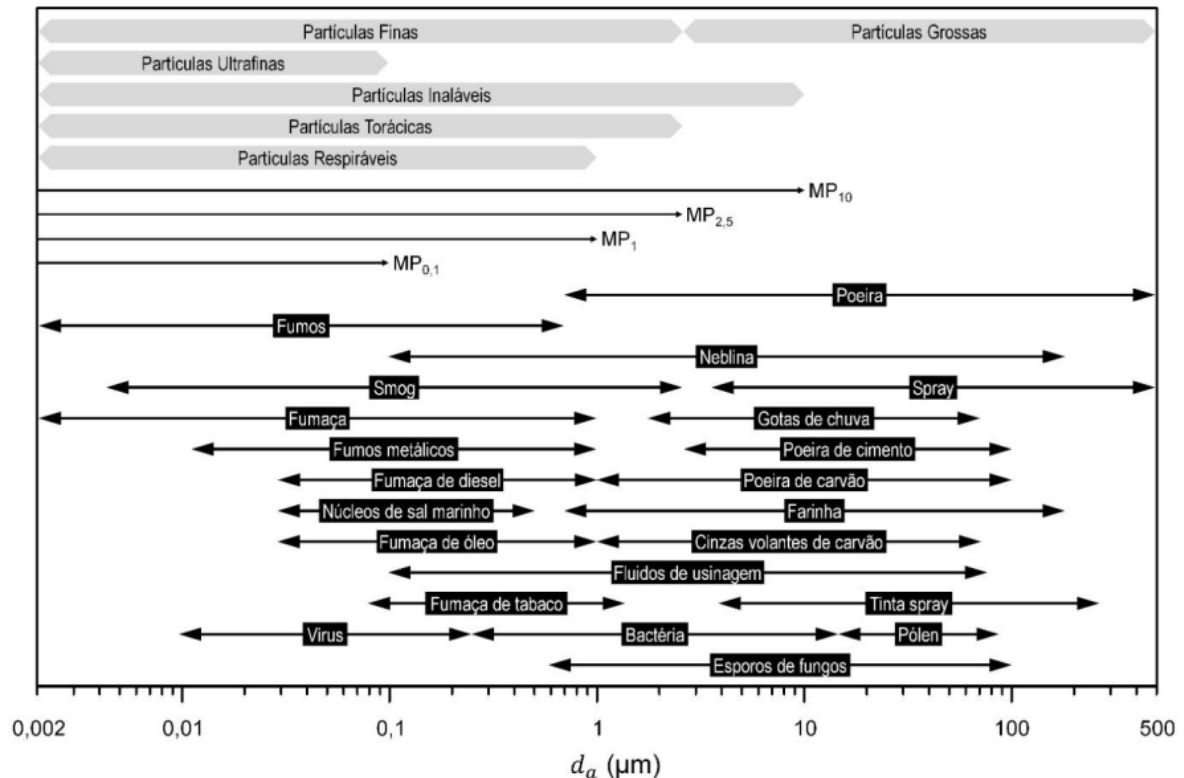


Figura 2. Tamanhos das partículas e suas composições (MUHLFELD, et al, 2008, apud BRITO; SODRÉ; ALMEIDA, 2018).



Segundo Almeida (1999) um dos fatores que podem ser utilizados para estudar o tamanho das partículas é o diâmetro equivalente. De maneira simples pode ser definido como o diâmetro de uma esfera que possua o mesmo valor, ou seja, uma partícula pode apresentar diferentes diâmetros em função de sua propriedade física que dependem do seu comportamento, movimento, gravidade e entre outros fatores.

2.3.1.2 Partículas Inaláveis e Finas

As partículas inaláveis (MP_{10}) são aquelas que possuem seu diâmetro entre 2,5 μm a 10 μm . Tais partículas são originalmente geradas através de processos mecânicos, que são processos que utilizam de “força” para formar um produto, no caso as partículas (CEPA, 1999).

Alguns exemplos de fontes de geração de partículas inaláveis é a quebra de ondas do mar, esse processo causa a formação de bolhas que estouram e se mantêm em suspensão no ar. Outro fator é a erosão eólica, que é de forma simples a retirada de fragmentos através do vento, a erosão acontece através do desgaste de

superfícies, rochas, e entre outros fatores, que geram partículas e sem mantem em suspensão no ar (BELO; TOFOLI, 2011).

As partículas finas (MP_{2,5}) possuem seu diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 µm e são originalmente oriundas da queima de biomassa, combustão em veículos automotores e indústrias. Concentrações ambientes elevadas de partículas finas apresentam um risco em potencial para a saúde humana ocasionando problemas respiratórios, cardiovasculares, câncer e entre outras doenças (CEPA, 1999).

As partículas finas podem ter origens antrópicas e naturais, as de origem antrópica podem ser compostas de nitrato, sódio, sulfato, cloreto entre outros compostos; já as partículas finas de origens naturais podem ser compostas de partículas provenientes de queima de vegetação, vulcões, bactérias e outros (BELO; TOFOLI, 2011).

Quanto maior o tamanho das partículas mais rápido será sua precipitação. O tempo em que ela fica em suspensão no ar pode ser de dias até semanas, e o vento é um dos agentes que afetam diretamente as partículas fazendo com que sua dispersão seja maior e alcance outras áreas, assim como também afeta no tempo de sua precipitação (MAGALHÃES, 2005).

Independentemente do tamanho da partícula seja fina ou inalável possuem sua semelhança principal de gerar diversos malefícios à saúde humana. Em grandes quantidades a inspiração desses poluentes pode afetar diversos órgãos do corpo e levar a ocasionar doenças a curto e longo prazo (CASTRO; ARAÚJO; SILVA, 2013).

2.4 DOENÇAS RELACIONADAS COM A POLUIÇÃO DO AR POR MATERIAL PARTICULADO

A contaminação do ar por material particulado ou outras fontes podem ocasionar muitos transtornos para a saúde humana. A alteração na qualidade do ar varia de acordo com a concentração de cada contaminante em suspensão no ar, seja em pequena ou grande escala (LIMA, 2006).

Os processos antrópicos, como aumento das quantidades de indústrias, queimadas, desmatamentos e entre outros processos ocasionam alterações

diretamente ou indiretamente na qualidade do ar. Muitos desses fatores introduzem substâncias altamente poluentes na atmosfera, e podem ocasionar diversas doenças (LIMA, 2006).

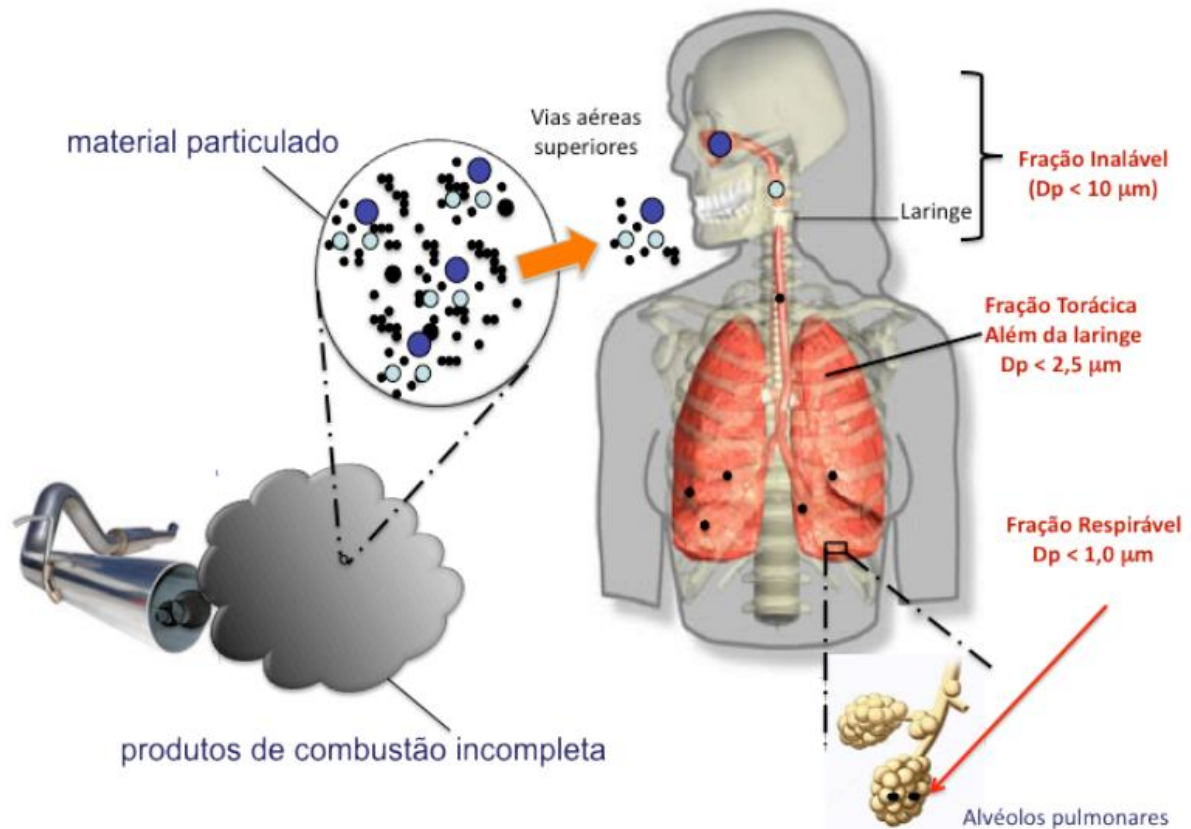
Os efeitos do material particulado à saúde ocorrem a curto e médio prazo. A curto prazo a ação é direta nas vias respiratórias, a médio prazo esses poluentes podem alcançar a corrente sanguínea e atingir diversos órgãos vitais para a saúde humana, levando assim ao desenvolvimento de doenças respiratórias, cardiovasculares, neurológicas e variados tipos de câncer (NASCIMENTO, *et al*, 2017).

Diversos estudos apontam que o material particulado pode ocasionar uma série de malefícios à saúde, e dentre alguns desses fatores pode-se citar problemas como arritmia e ataques cardíacos, onde os batimentos cardíacos vão sofrer alterações em seu ritmo; problemas de asma, dificuldades respiratórias, e entre outras (ECYCLE, 2022).

Segundo Brito; Sodré; Almeida (2018) o material particulado possui a capacidade de penetrar no corpo humano e atingir vias aéreas, assim como diversas partes do sistema respiratório.

Geralmente as partículas inaláveis (MP₁₀) possuem a capacidade de chegar até a laringe e já ocasionar problemas respiratórios. As partículas finas (MP_{2,5}) por serem menores são as maiores causadoras de problemas de saúde pois penetram ainda mais profundamente e chegam além da laringe, atingindo o pulmão e ocasionando pneumonia, bronquite, asma e diversos outros problemas como demonstrado na figura 3 demonstrando as áreas de alcance do MP.

Figura 3. Áreas de alcance do MP no corpo humano (GUARIEIRO; SOLCI; VASCONCELOS, 2011).



Partindo dessa premissa onde diversas doenças podem ser ocasionadas por poluentes em suspensão no ar, uma resposta precisou ser dada para haver uma forma de monitoramento desses contaminantes, dessa forma foi criado os padrões de qualidade do ar estabelecido pelo CONAMA.

2.5 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Segundo a resolução CONAMA 491/2018 o padrão de qualidade do ar é um instrumento que vai determinar a quantidade de concentração específica para determinados poluentes na atmosfera, se tornando assim uma ferramenta de extrema importância na gestão de qualidade do ar. Os padrões de qualidade do ar (PQAr) são uma norma de controle de qualidade de ar que define um limite máximo para a concentração de alguma substância em suspensão na atmosfera (LIMA, 2007).

Os Estados Unidos no ano de 1971 criou a (*Clean Air Act*) conhecida como a política nacional do ar limpo. Foi criada pela preocupação com a qualidade do ar no país, através de uma agência de proteção ambiental. Dessa forma os Estados Unidos

se tornaram o primeiro país a desenvolver uma legislação federal voltada para o controle de qualidade do ar (ALMEIDA, 2016).

No Brasil o processo de preocupação com a qualidade do ar foi mais tardio, onde somente no ano de 1990, dezenove anos depois da criação da política nacional do ar limpo no Estados Unidos que foi estabelecida a primeira resolução CONAMA nº 03/1990 que estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar (JUNIOR, 2014).

A resolução 03/1990 permanece em vigor por anos até que em 2018 ela passa por uma atualização que é a resolução CONAMA 491/2018, onde é adicionado uma nova variante para o material particulado e novos períodos e concentrações como será demonstrado na tabela 1 sobre os padrões nacionais de qualidade do ar.

Nos dias atuais os países estabelecem os padrões de qualidade do ar próprios para assim controlar alguns poluentes que podem gerar efeitos nocivos à saúde de sua população. Geralmente os padrões estabelecem os seguintes parâmetros: monóxido de carbono, dióxido de enxofre e nitrogênio, ozônio, material particulado e diversos outros parâmetros para análises (ALMEIDA, 2016).

O principal objetivo para o qual foi criado os padrões de qualidade do ar é o fato de que em caso de problemas atmosféricos, ou seja, na constatação da contaminação do ar em que seja necessário tomar medidas emergenciais, os padrões sirvam como forma de monitoramento e avaliação para se tomar uma ferramenta fundamental na tomada de medidas com relação a determinados contaminantes que podem estar suspensos no ar.

2.5.1 PQAr definidos pela legislação ambiental

No Brasil a primeira legislação ambiental a respeito da qualidade do ar ocorreu no ano de 1976 com a criação da portaria MINTER 231. A preocupação da época era com a emissão de dióxido de enxofre. 14 anos depois o CONAMA ampliou alguns parâmetros, dando origem aos padrões de qualidade do ar (ALMEIDA, 2016).

A legislação ambiental define os padrões para a qualidade do ar para o bem-estar da saúde humana. Dessa forma, a contaminação do ar atmosférico é avaliada de acordo com a concentração de contaminantes particulados no ar. Atualmente há aparatos tecnológicos que facilitam a avaliação de níveis de poluição do ar,

possibilitando realizar leituras mais rápida e eficaz para assistir à ação de órgãos fiscalizadores (LIMA, 2006).

A Resolução do CONAMA nº491/2018 estabelece padrões nacionais de qualidade do ar para o material particulado em suspensão no ar. Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros regulamentados pela resolução do CONAMA, com seus períodos de referência de 1 ano e 24 horas, que são as seguintes: material particulado - MP 10, material particulado - MP 2,5, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, ozônio, fumaça e entres outros poluentes atmosféricos.

Tabela 1. Padrões nacionais de qualidade do ar.

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	PF
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm
Material Particulado - MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-

Fonte: Resolução CONAMA 491/2018. Nota: PI (1, 2, 3) são os padrões de qualidade do ar intermediários, são valores temporários que devem ser cumpridos em etapas. PF é o padrão de qualidade do ar final, são valores que servem como guia que são definidos pela organização mundial de saúde (OMS). 1 - Média aritmética anual; 2 - Média horaria; 3 - Máxima média móvel obtida no dia; 4 - Média geométrica anual; 5 - Medido nas partículas totais em suspensão.

2.6 ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR (IQAR)

O índice de qualidade do ar (IQAR) é um indicador que apresenta um valor utilizado para fins de comunicação e informação à população sobre a qualidade do ar que as pessoas daquele local estão expostas diariamente, apresentando o nível de concentração de determinados poluentes. Para saber o índice da qualidade do ar (IQAR) de algum poluente em questão, deve ser utilizado a equação 1 para o poluente monitorado. (CONAMA 491/18).

Equação 1. Equação de índice de qualidade do ar (IQAR)

$$I = I_i + \left(\frac{I_f - I_i}{C_f - C_i} \right) \times (C_m - C_i)$$

onde:

I = índice a ser determinado

I_i = índice inicial (valor do índice correspondente à concentração inicial)

I_f = índice final (valor do índice correspondente à concentração final)

C_m = concentração medida

C_i = concentração inicial da faixa onde se encontra a concentração medida

C_f = concentração final da faixa onde se encontra a concentração medida

Fonte: CONAMA 491/18

As substâncias utilizadas no cálculo de IQAr são o material particulado (MP₁₀) e (MP_{2,5}), ozônio, monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre. Todos os poluentes citados podem ser analisados seguindo o cálculo de IQAr, e apresentar a sua qualidade. O cálculo é realizado conforme a equação 1, em seguida será comparado com a tabela de índice de qualidade do ar, tabela 2.

Tabela 2. Estrutura do índice de qualidade do ar com base nos parâmetros aferidos

Qualidade	Índice	MP ₁₀ (µg/m ³) 24 h	MP _{2,5} (µg/m ³) 24 h	O ₃ (µg/m ³) 8 h	CO (ppm) 8 h	NO ₂ (µg/m ³) 1 h	SO ₂ (µg/m ³) 24 h
Boa	0 – 40	0 – 50	0 – 25	0 – 100	0 – 9	0 – 200	0 – 20
Moderada	41 – 80	> 50 – 100	> 25 – 50	> 100 – 130	> 9 – 11	> 200 – 240	> 20 – 40
Ruim	81 – 120	> 100 – 150	> 50 – 75	> 130 – 160	> 11 – 13	> 240 – 320	> 40 – 365
Muito Ruim	121 – 200	> 150 - 250	> 75 – 125	> 160 – 200	> 13 – 15	> 320 – 1130	> 365 – 800
Péssima	> 200	> 250	> 125	> 200	> 15	> 1130	> 800

Fonte: Cetesb, 2022

Os valores do cálculo de IQAr se classificam em cinco faixas do índice que varia de qualidade boa, moderada, ruim, muito ruim e péssima. Para saber os efeitos do nível de contaminação do ar a resolução CONAMA 491/2018 demonstra na tabela 3, parâmetros de qualidade, índice e seus devidos efeitos e significados que o ar contaminado pode ocasionar na saúde humana durante as suas 5 faixas.

Tabela 3. Faixas de qualidade do ar e seus significativos efeitos que podem ocasionar à saúde

Qualidade	Índice	Significado
Boa	0 – 40	A qualidade do ar é considerada boa e não apresenta riscos à saúde humana.
Moderada	41 – 80	Pessoas com problemas respiratórios, crianças e idosos podem apresentar sintomas que levam a afetar sua saúde como, cansaço e tosse.
Ruim	81 – 120	A população em geral vai sentir o efeito da qualidade ruim do ar, com sintomas como, tosse, cansaço, dor na garganta e entre outros. Indivíduos de grupos sensíveis podem apresentar sérios sintomas.
Muito ruim	121 – 200	A população inteira pode apresentar sérios sintomas a saúde, a falta de ar, vai ser um dos principais fatores nesse estágio. Indivíduos de grupos sensíveis sofrerão efeitos ainda mais graves.
Péssima	> 200	Estágio extremamente crítico, a população em geral vai sofrer de diversos problemas respiratórios, a taxa de mortalidade irá aumentar drasticamente.

Fonte: Adaptado de Cetesb, 2022.

2.7 QUALIDADE DO AR NAS ÁREAS URBANAS

O meio urbano é uma área que apresenta condições de qualidade do ar em níveis mais graves. Um dos fatores para esse acontecimento se diz respeito ao alto tráfego de veículos leves e pesados em centros urbanos, bem como a expansão industrial nas cidades, impactando as condições de qualidade do ar (RUSSO, 2010).

Áreas urbanas apresentam na maioria dos casos grandes concentrações de veículos, empresas, indústrias e movimentos de pessoas, esse aglomerado de agentes faz com que haja alterações na qualidade do ar, podendo ocasionar riscos à saúde humana. Além da quantidade de veículos, o acúmulo e queima de lixo acontecem com frequência em centros urbanos, fazendo com que poluentes entrem em suspensão no ar (SICFLUX, 2020).

Nas áreas urbanas o vento é um dos principais fatores responsáveis pela qualidade do ar. O mesmo promove o transporte e disseminação de contaminantes atmosféricos através dos vários movimentos de correntes turbulentas e convectivas

que o ar realiza dentro da atmosfera (GRAEDEL; CRUTZEL, 1995 apud MAIA *et al*, 2017).

Os contaminantes que ficam retidos na parte baixa da atmosfera em áreas urbanas podem ser agregados a umidade do ar e podem ser aderidos em várias superfícies presentes no meio urbano, desde o solo até paredes de casas, automóveis e entre outros (MAIA *et al*, 2017).

Aproximadamente 60% da poluição atmosférica nas áreas urbanas são decorrentes do alto tráfego de veículos, devido ao seu processo de combustão, e liberação de gases e fuligens no ar. Os outros 40% são decorrentes de indústrias, queimadas e entre outros fatores (AMBIENTE BRASIL, 2021).

2.8 AÇÕES MITIGADORAS DA POLUIÇÃO DO AR POR PARTICULADOS

Problemas relacionados a poluição do ar em geral afetam diversas partes do mundo, o objetivo principal de mitigar tal poluição necessita de estratégias e técnicas para tipos específicos de poluentes e suas fontes. No geral as estratégias buscam reduzir, coletar ou mesmo reter determinado poluentes para que o bem estar da saúde humana seja preservado (ALMEIDA, 1999).

Segundo a organização das nações unidas (ONU) diversas ações são necessárias para mitigar a poluição do ar por particulados em suspensão. A poluição do ar afeta não só a saúde humana de forma grave como também afeta o meio ambiente e os centros urbanos e industriais e esses são os setores que mais representam risco para a população. Algumas das medidas criadas para mitigar os impactos na qualidade do ar em áreas urbanas e indústria são:

- Na mobilidade urbana: o fortalecimento dos padrões de emissão veicular, criação de alternativas ambientalmente mais eficientes na matriz de transporte automotor, controle e mitigação de fontes de poeira, entre outros.
- No setor industrial: a adoção de medidas preventivas e mitigatórias dos efeitos da poluição industrial, adoção de limites de emissão mais restritivos para processos industriais.

Medidas diretas e indiretas podem ser tomadas para controle da poluição do ar por particulados ou outros tipos de contaminantes, como: nas medidas indiretas se destacam o uso de combustíveis limpos, planejamento urbano e industrial adequado redução e afastamento de poluentes presentes em grandes quantidades em determinadas áreas (CASTELLANO, 1998).

Como medidas diretas elas buscam reduzir a quantidade de poluentes que já estão presentes na atmosfera, ela é o segundo passo após a aplicação das medidas indiretas. São utilizadas técnicas como o uso de filtros de ar como uma ferramenta de controle, equipamentos de controle para gases, e entre outras técnicas (CASTELLANO, 1998).

A emissão de material particulado é abundante em áreas urbanas e industriais e o controle dessa emissão é fundamental. Para manter o controle e monitoramento para mitigar os efeitos de material particulado em excesso no ar podem ser utilizados equipamentos como: filtros de manga, coletores úmidos, ciclones, coletores gravitacionais e entre outros (CORDEIRO; PARSEKIAN, 2011).

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesse estudo foi baseada em dados secundários obtidos a partir da plataforma *Purple Air*, a qual disponibiliza dados coletados por sensores no Brasil e no mundo, incluindo alguns distribuídos no estado do Amapá. Nesse estudo, foram utilizados dados do sensor instalado em Macapá sob responsabilidade do ministério público do Amapá. As informações são apresentadas em forma de gráficos produzidos na própria plataforma, sobre diversos parâmetros como temperatura, umidade, material particulado e outros, sendo que no presente trabalho se analisou os três primeiros citados.

Para o cálculo de Índice de qualidade do ar (IQAr) de Macapá foram coletados e analisados os dados de material particulado em três frações (MP 1.0, MP 2.5 e MP 10) para o período de um ano. Foi calculado a média do IQAr do período de análise, bem como, um para cada estação climática (inverno de janeiro a julho; verão de agosto a dezembro). Para isso foi utilizado a equação de cálculo de IQAr.

O período de análises gráficas foi realizada no período de 01 de novembro de 2021 a 01 de novembro de 2022, exatos um ano de monitoramento. O período utilizado passou por todas as estações e condições climáticas. A localização e tipo de sensor utilizado na pesquisa será demonstrado respectivamente nos tópicos de área de estudo e sensor PA-II-SD.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi município de Macapá que está localizada na Região Norte do Brasil, é o município que possui a maior população dentre os 16 e é a capital do estado do Amapá. Macapá possui uma população estimada em cerca de 522 mil para o ano de 2021 onde foi demonstrado o último dado populacional pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021).

Segundo o IBGE (2022), em 2022 Macapá possuía aproximadamente 180 mil veículos entre carros, motocicletas, caminhões e demais veículos. Um dos fatores que influenciam a na quantidade de particulados em suspensão no ar é o alto tráfego de veículos, que na sua combustão gera uma carga de fuligens que são altamente contaminantes e se mantêm em suspensão no ar, além de queimadas de lixo doméstico e entre outros.

O sensor utilizado no estudo está localizado na zona norte da cidade conforme demonstrado no mapa 1 e 2, onde é demonstrado um panorama geral dos bairros próximos aos sensores e local onde estão instalados (ponto verde). O sensor se encontra nas coordenadas: latitude $0^{\circ}07'57.3''S$ e longitude $51^{\circ}05'55.7''W$.

Mapa 1. Área de estudo e localização do sensor de monitoramento (ponto VERDE)



Fonte: Sistema *Purple Air*

Mapa 2. Área de estudo / localização do sensor (Ministério público de Macapá, complexo da zona norte, quadrado amarelo)



Fonte: Google Earth

O sensor PA-II-SD, localizado no ministério público do Amapá utilizado para a realização da pesquisa está situado na Rua Adílson José Pinto Pereira, com a Av. Professor Glauco, fazendo parte das duas principais rotas de veículos na zona norte de Macapá. O sensor está localizado no prédio do Ministério Público do complexo da zona norte, conforme demonstrado no mapa 2. O estado do Amapá, atualmente, possui um total de 5 sensores, sendo dois deles localizados em Macapá, um em Santana, um no Mazagão e um no município do Jari.

O monitoramento da qualidade do ar foi realizado durante um período de 1 ano, entre os dias 01 de novembro de 2021 a 01 de novembro de 2022. A formulação dos gráficos foi realizada pelo próprio programa da *Purple Air*, onde são gerados e em seguida analisados. Alguns dos parâmetros avaliados neste trabalho foram: temperatura, umidade e material particulado em suspensão no ar: MP_{1.0}, MP_{2.5}, MP₁₀ µg/m³.

A escolha do período de realização das análises através dos gráficos obtidos pelo sistema *Purple Air* e cálculos de IQAr ocorreram de acordo com a disponibilidade dos dados no sistema. Períodos maiores poderiam ser utilizados, porém os sensores sofrem constantemente com quedas de energia elétrica e de acesso à rede wi-fi, influenciando diretamente na coleta de dados, visto que, alguns sensores foram trocados e dados perdidos. Assim, o período que apresentou a melhor representação de coleta de dados dessa pesquisa foi o correspondente ao início de novembro de 2021 a novembro de 2022.

3.2 PURPLE AIR

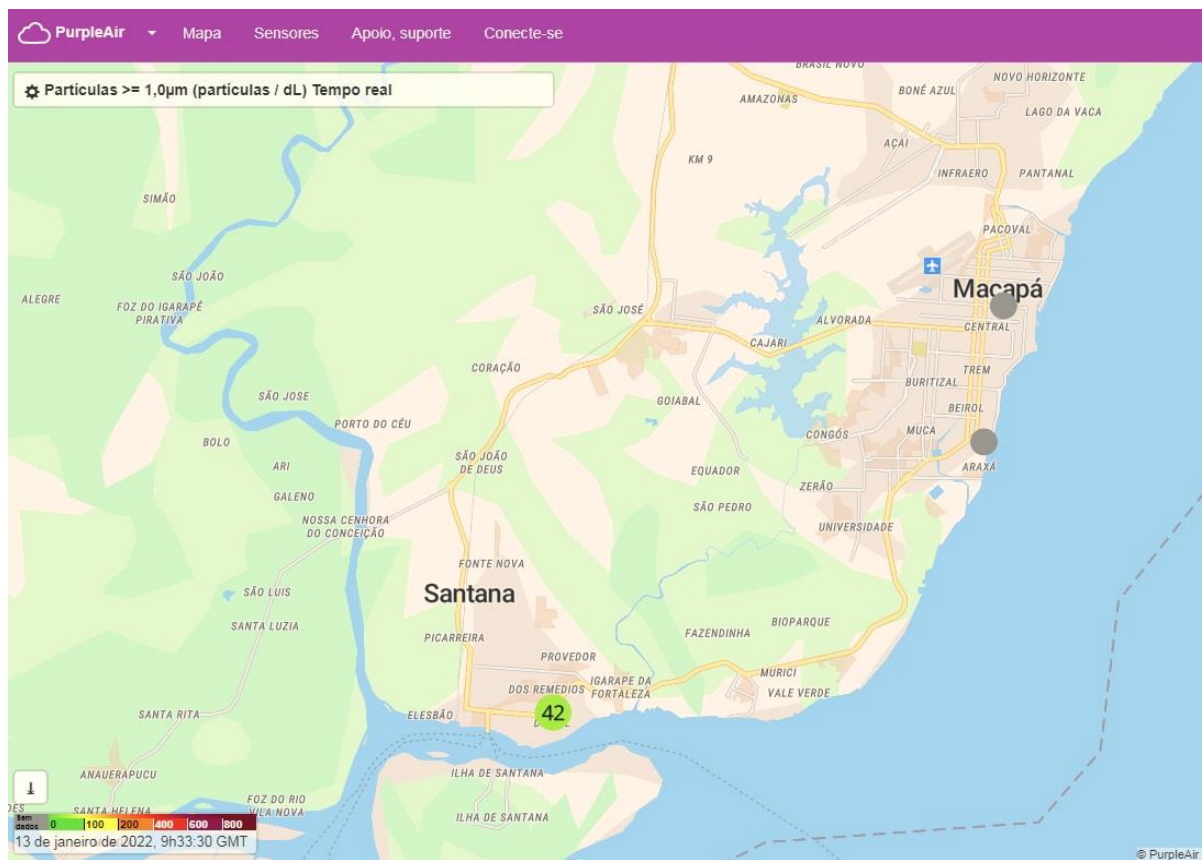
Purple Air é uma comunidade ou mesmo uma rede de dados em tempo real que qualquer pessoa pode ter acesso via internet. Nesse software são apresentados diversos parâmetros de estudo sobre qualidade do ar e principalmente sobre material particulado em suspensão no ar.

O sistema *Purple Air* pode disponibilizar dados sobre: Compostos Orgânicos voláteis (IAQ), Ozônio (ppm), umidade, temperatura, pressão do nível do mar, altitude, umidade absoluta, e entre outros parâmetros. Outros dados importantes que a rede disponibiliza são dados sobre o material particulado em suspensão no ar, (*particulate*

matter) PM bruto (1.0), (2,5), (10) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, partículas suspensas de tamanho 0,3, 0,5, 1,0, 2,5, 5,0 e 10 μm (PURPLE AIR, 2022).

Na figura 4 demonstra a interface inicial do sistema *Purple Air* onde se tem acesso a rede de mapas e sensores globais, juntamente com a localização dos sensores, e quais sensores estão online/offline e em atividade para a realização das análises de qualidade do ar em cada ponto.

Figura 4. Interface do sistema *Purple Air*



Fonte: Sistema *Purple Air*

A tecnologia do sistema *Purple Air* consiste em sensores calibrados com contadores de partículas a laser. esses sensores vêm calibrados de fábrica e o processo da contagem das partículas são processadas pelos sensores utilizando um algoritmo estabelecido para calcular a concentração de particulados em suspensão no ar. Em seguida, os dados coletados pelos sensores são enviados ao banco de dados em tempo real da comunidade *Purple Air* para análises (PURPLE AIR, 2022).

3.3 PA-II-SD

O sensor PA-II-SD é o tipo de sensor utilizado para a realização dessa pesquisa, possui seu princípio principal em aferir as medições de parâmetros de qualidade do ar para fins científicos. O sensor mede em tempo real as concentrações de material particulado em suspensão e entre outros parâmetros que podem ser utilizados para o monitoramento (*PURPLE AIR, 2022*). Na figura 5 pode ser observada a forma do sensor utilizado na pesquisa com especificações do fabricante.

Figura 5. Sensor PA-II-SD utilizado na pesquisa



Fonte: *Sistema Purple Air*

O sensor PA-II-SD é conectado 24 horas a rede WiFi, dessa forma os dados são enviados em tempo real para o mapa *Purple Air*. O sensor a cada 80 segundos registra e transfere dados quantitativos para o sistema, podendo ser de uso interno ou externo onde o mesmo mede a concentração de todos os parâmetros disponíveis no mapa *Purple Air*.

O sensor possui uma faixa de medição da concentração de partículas de diversos tamanhos. A contagem de partículas varia pelo tamanho de 0.3 a 10 μm , e toda a contagem e média das partículas é feita pelo sensor e transformada em gráficos para o monitoramento em tempo real. O alcance da contagem das partículas pode variar de 3 a 300 km de acordo com a influência do vento (*PURPLE AIR, 2022*).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

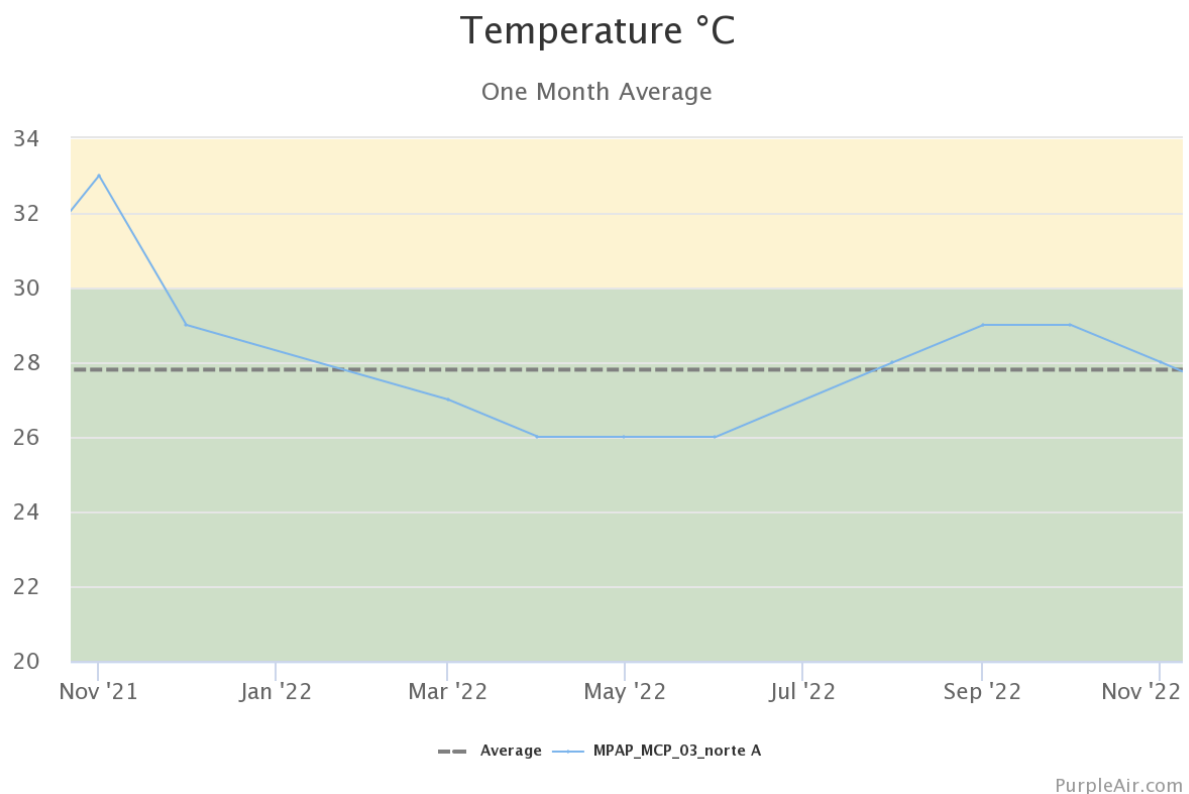
4.1 ANÁLISE DE PARÂMETROS

4.1.1 Temperatura

Parâmetros meteorológicos podem influenciar na dispersão de poluentes no ar, como ventos, turbulências, índices pluviométricos, entre outros, são agentes que atuam diretamente na dispersão de material particulado. Temperaturas mais altas são mais propícias a dispersão de material particulado devido a sua baixa precipitação e a dispersão do vento ser maior (BELO; TOFOLI, 2011).

A temperatura durante o período da pesquisa teve a média geral de 28 graus °C detectada pelos sensores PA-II-SD do ministério público. Durante o período de análises a temperatura mínima detectada pelos sensores foi de 26 graus °C, e a temperatura máxima foi de 33 graus °C. O gráfico 1 demonstra a temperatura durante o período de análises, ilustrando sua média e o sensor (estação) utilizada, sendo ela a estação MPAP_MCP_03_norte A (referencia do nome da estação utilizada).

Gráfico 1. Variação de temperatura medida em Macapá no período de novembro de 2021 a novembro de 2022.



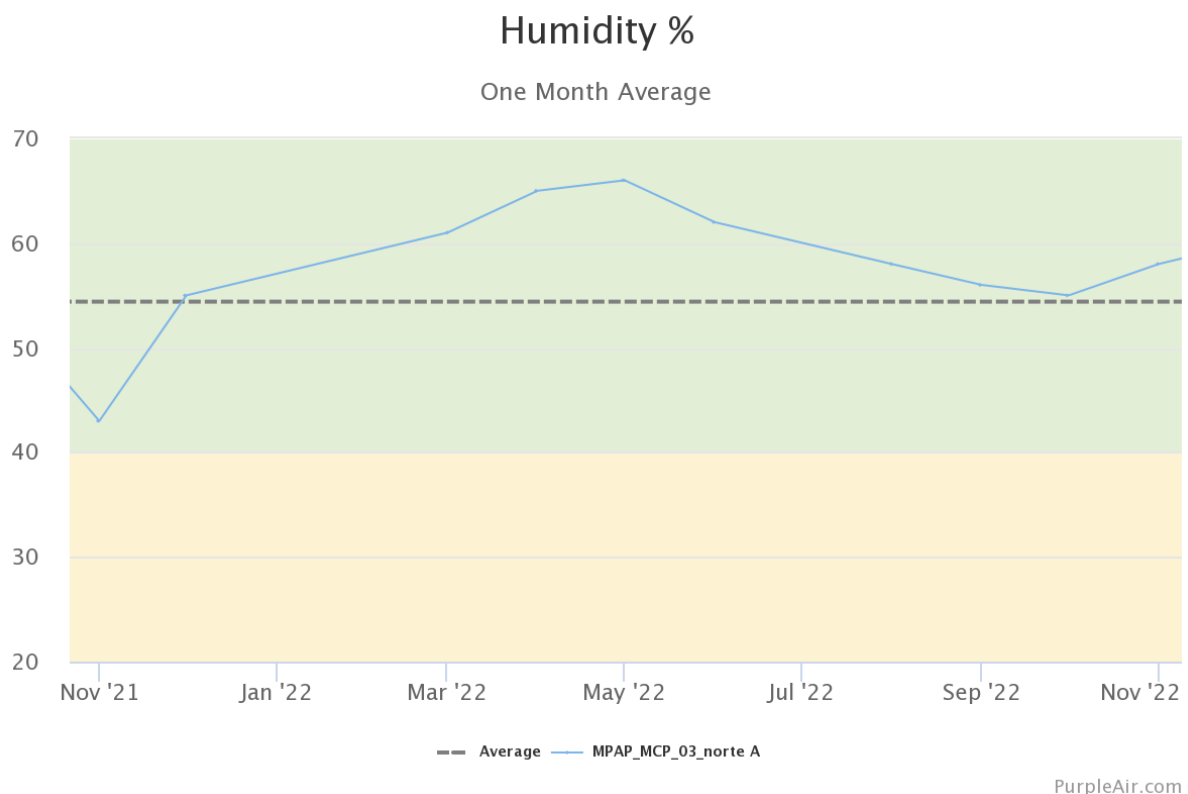
Fonte: Sistema *Purple Air*

4.1.2 Umidade

Durante os dias de umidade do ar em níveis abaixo dos 30% a concentração de poluentes e principalmente do material particulado é mais alta devido à pouca umidade em suspensão dificultando a dispersão dos poluentes. O índice adequado da umidade deve ser entre 50% a 80%, visto que abaixo dessas medidas o risco de problemas respiratórios torna-se maior (SICFLUX, 2020).

A umidade do ar detectada pelo sensor durante o mês da realização da pesquisa teve uma média geral aproximada de 57%. A umidade mínima chegou a 43%, e a máxima chegou a aproximadamente os 65%. Na maioria dos meses a umidade se manteve no padrão de 50% a 80%. No gráfico 2 observa-se a umidade média no período da pesquisa.

Gráfico 2. Variação da umidade medida em Macapá no período de novembro de 2021 a novembro de 2022.



Fonte: Sistema *Purple Air*

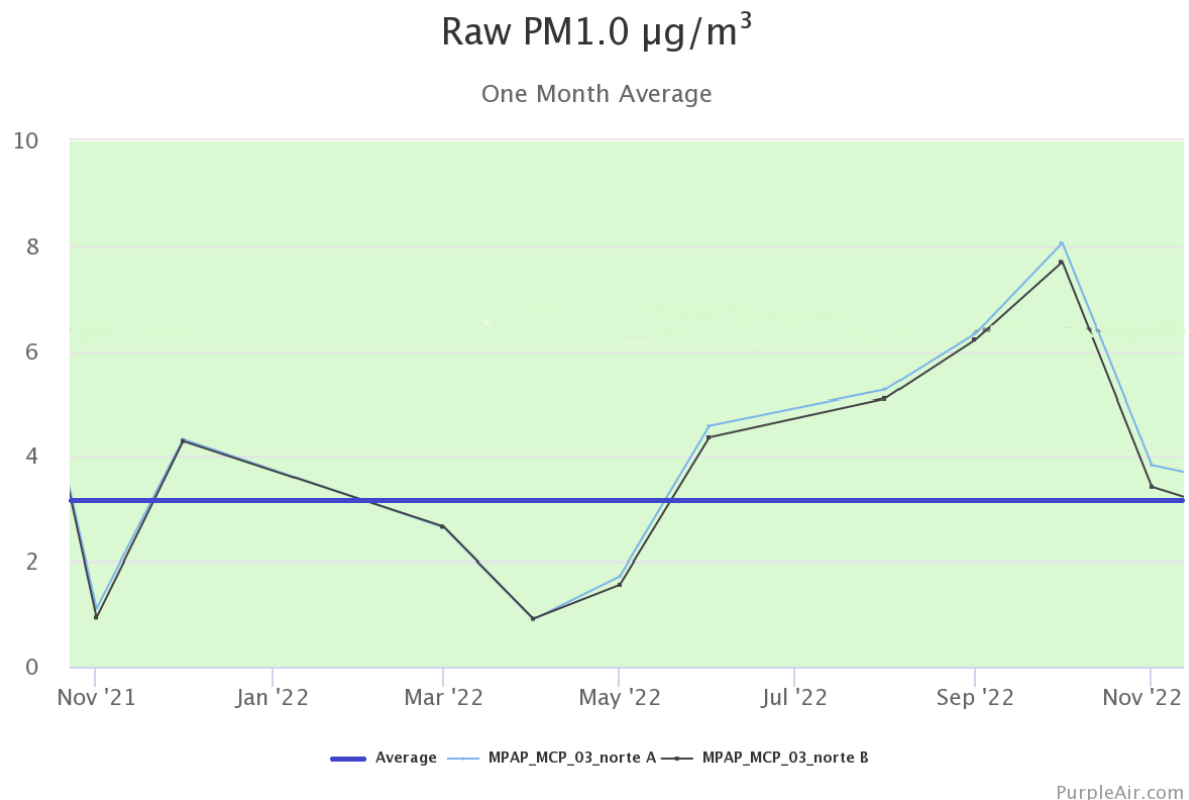
4.2 MONITORAMENTO DO MATERIAL PARTICULADO

4.2.1 Partículas 1.0 µg/m³

O sensor PA-II-SD conta as partículas de tamanho 0.3 a 10 µm, e em seguida é calculada a concentração da massa de material particulado PM 1,0, PM 2,5 e PM 10 em µg/m³ conforme demonstrado nos gráficos 3, 4 e 5. Todos os cálculos foram realizados pelos próprios sensores e em seguida disponibilizados em forma de gráficos em tempo real no mapa da *Purple Air*.

Segundo a resolução CONAMA 491/18 a unidade de medida que é adotada para a determinação da concentração dos poluentes atmosféricos é o micrograma por metro cúbico (µg/m³), com exceção do monóxido de carbono. Dessa forma os gráficos gerados pelo *Purple Air* foram avaliados de acordo com a resolução 491/18.

Gráfico 3. Média da coleta das partículas de 1.0 µg/m³ durante o período de análise



Fonte: Sistema *Purple Air*

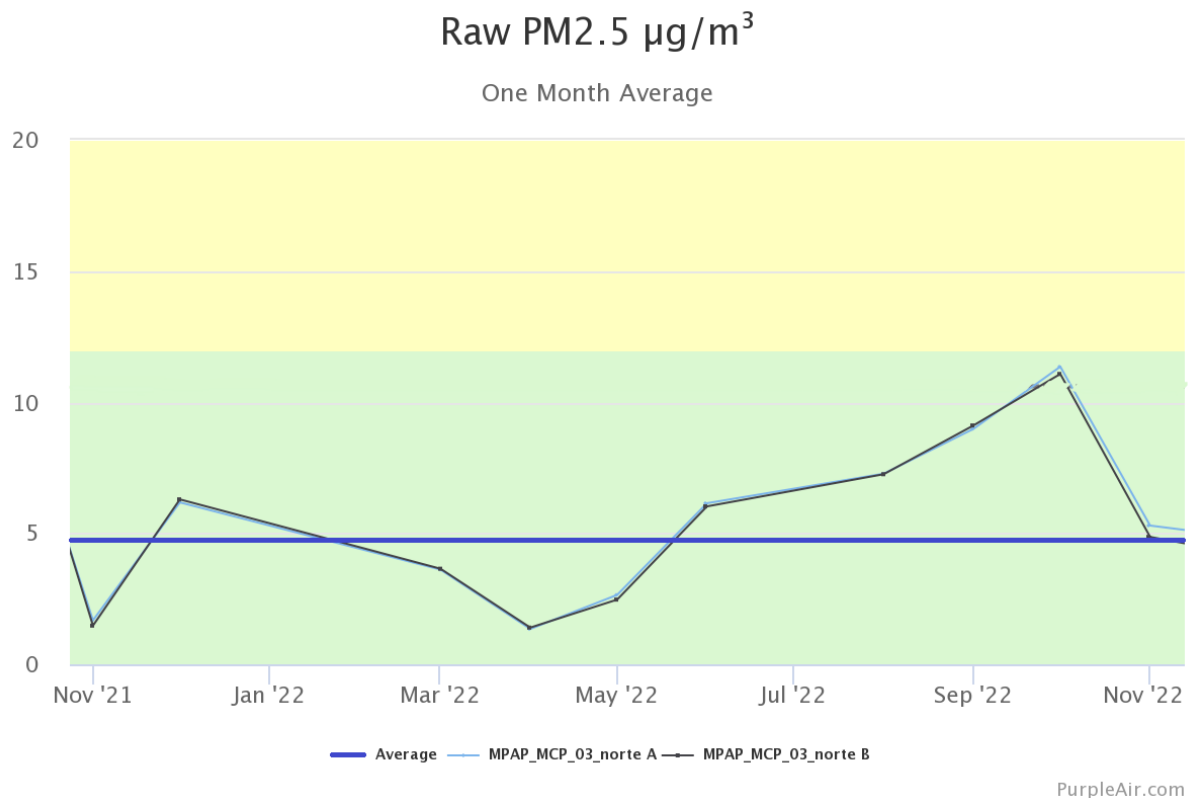
O gráfico 3 gerado pelos sensores da *Purple Air* apresenta o monitoramento da parte bruta do material particulado de 1.0 µm em µg/m³ durante o período de estudo, a média geral de concentração por µg/m³ do material particulado de 1.0 µm é de 3.3 µg/m³, em seu pico máximo atingiu aproximadamente a concentração de 7.9 µg/m³, e

no seu pico mínimo atingiu cerca de $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A média é ilustrada no gráfico (reta azul), juntamente com as duas estações utilizados para o monitoramento de material particulado, sendo elas: MPAP_MCP_03_norte A e MPAP_MCP_03_norte B. Ambas as estações são sensores instalados no mesmo local utilizados para fazer os cálculos e obter uma margem de erro.

4.2.2 Partículas $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

O gráfico 4 apresenta os resultados do material particulado de $2.5 \mu\text{m}$ em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante o período de estudo, a média geral de concentração por $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do material particulado de $1.0 \mu\text{m}$ é de $4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$, em seu pico máximo atingiu aproximadamente a concentração de $11.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, e no seu pico mínimo atingiu cerca de $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfico 4. Média da coleta das partículas de $2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante o período de análise

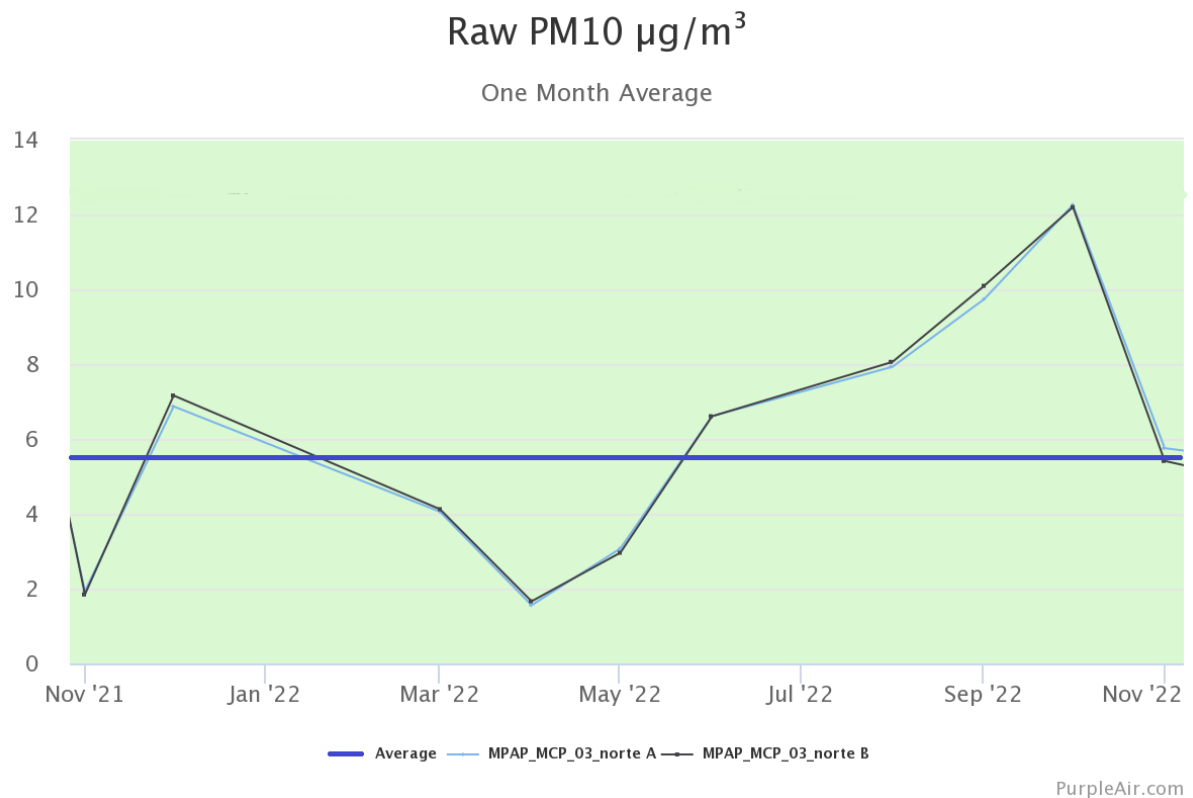


Fonte: Sistema *Purple Air*

4.2.3 Partículas 10 µg/m³

O gráfico 5 gerado pelos sensores da *Purple Air* monitora o bruto do material particulado de 10 µm em µg/m³ durante o período da pesquisa. A média geral de concentração no por µg/m³ do material particulado de 10 µm foi de 5.4 µg/m³, em seu pico máximo atingiu aproximadamente a concentração de 12.2 µg/m³, e no seu pico mínimo atingiu cerca de 1.6 µg/m³.

Gráfico 5. Média da coleta das partículas de 10 µg/m³ durante o período de análise



Fonte: Sistema *Purple Air*

4.3 CÁLCULO DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR (IQAr)

4.3.1 IQAr - PARTÍCULAS 1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Sabendo que as médias gerais de concentrações de material particulado de 1.0, 2.5 e 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ durante o período da pesquisa são respectivamente: 3.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 4.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 5.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e os períodos com o pico mais alto de leituras de MP são respectivamente 7.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 11.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e 12.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e utilizando a equação do índice de qualidade do ar estabelecido pela resolução CONAMA 491/2018, foi realizado o cálculo de IQAr e comparado com a tabela 3 para saber a sua faixa de qualidade do ar. Por conseguinte, a tabela 4 demonstra todos os índices de qualidade do ar para o material particulado no período de pesquisa em Macapá.

Tabela 4. Índice de qualidade do ar para o material particulado em suspensão em Macapá

Tamanho do MP	IQAr da média anual	IQAr do pico mais alto	Faixa de qualidade
MP 1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5,28	12,64	BOA
MP 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	7,68	17,76	BOA
MP 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4,32	9,76	BOA

O índice de qualidade do ar do município de Macapá, seja na média anual quanto no período de maior pico se enquadram na faixa de qualidade boa, seguindo os padrões nacionais de qualidade do ar, tabela 1, visto que o índice considerado bom é de 0 a 40 seguindo a tabela 3 de faixas de qualidade do ar estabelecido pela resolução CONAMA 491/2018.

O sensor realizou as contagens, os cálculos foram efetuados seguindo todos os padrões já previstos, demonstrando que os resultados se encontram dentro de todos os parâmetros. O que representou um nível mais elevado foi o pico mais alto de MP 2.5 alcançando 17,76 de IQAr, porém continua na faixa de qualidade do ar boa, e não apresenta risco para a saúde humana.

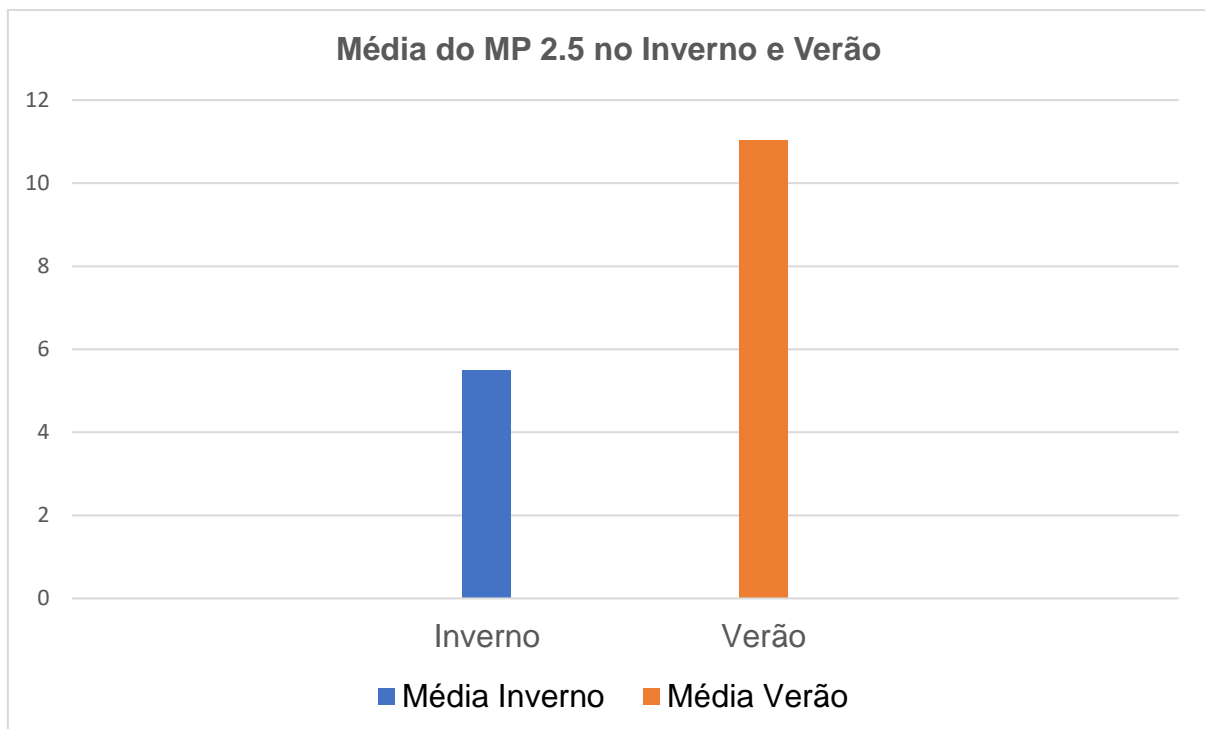
Partindo dessa premissa foi investigado o índice de qualidade do ar para cada estação climática (Verão – agosto a dezembro; inverno – janeiro a julho) analisando sua média geral do período de pesquisa, e observando qual estação apresenta mais leituras e piores índices de qualidade do ar.

4.3.2 IQAr – VARIAÇÃO SAZONAL

O clima no Amapá é conhecido como equatorial e define duas estações no estado (inverno compreendendo períodos de maiores índices pluviométricos e verão com períodos de clima mais quente e seco). No período muito chuvoso as temperaturas tendem a ser mais baixas, com a ocorrência de muitos ventos e chuvas fortes, é um período que vai de janeiro a julho. No menos chuvoso as temperaturas tendem a ser mais altas, podendo ocorrer períodos de estiagem, sendo ele de agosto a dezembro (TAVARES, 2014).

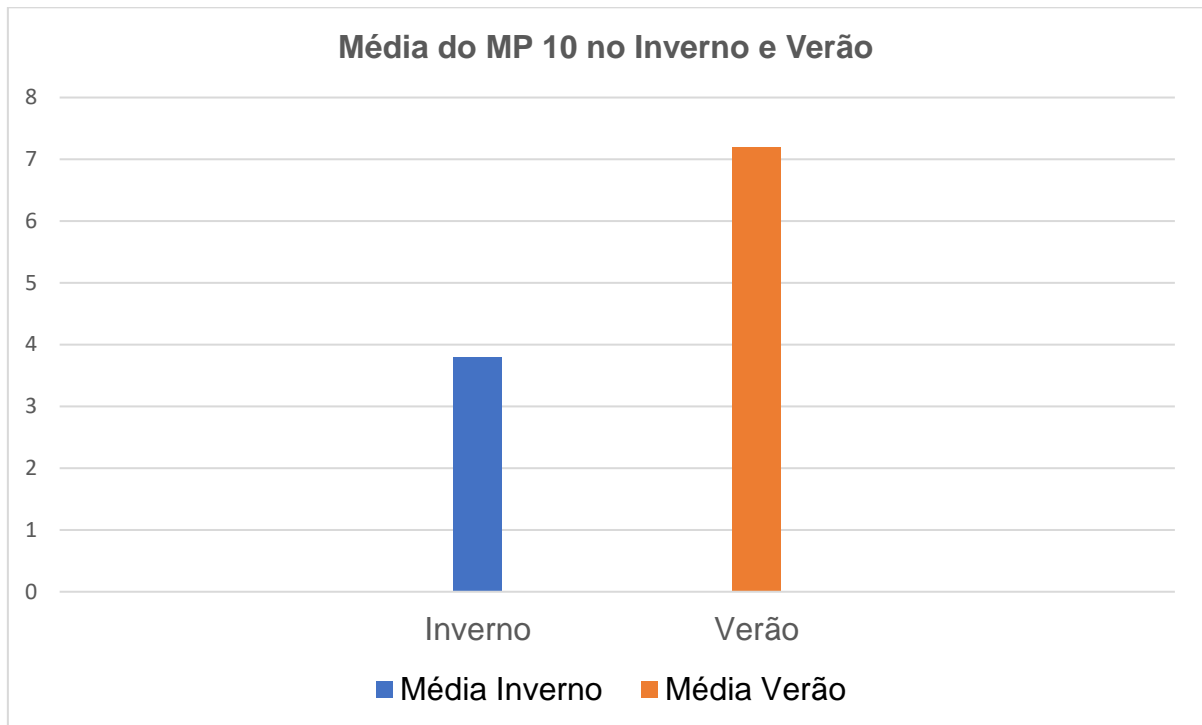
O cálculo da média das partículas de 1.0 e 2.5 μ (MP 2.5) foi realizado levando em consideração os períodos de verão e inverno em seus respectivos meses e em seguida foi calculado índice de qualidade do ar afim de determinar sua faixa de qualidade em cada estação do ano. Como resultado foi obtido: índice MP 2.5 no inverno = 5.5 de IQAr; índice MP 2.5 no verão = 11.04 de IQAr. Todos os valores se enquadram na qualidade do ar boa seguindo a tabela 3 de índice de qualidade do ar.

Gráfico 6. Índice de qualidade do ar para o MP 2.5 no inverno e verão



O cálculo da média das partículas de 10 μ (MP 10) foi realizado levando em consideração os períodos de verão e inverno em seus respectivos meses e em seguida foi calculado índice de qualidade do ar afim de determinar sua faixa de qualidade em cada estação do ano. Como resultado foi obtido: índice MP 10 no inverno = 3.8 de IQAr; índice MP 10 no verão = 7.2 de IQAr.

Gráfico 7. Índice de qualidade do ar para o MP 10 no inverno e verão



Observou-se que em todas as estações do ano, as partículas MP 2.5 e MP 10 se classificam como um ar de boa qualidade, não apresentando risco a saúde humana. Um fato interessante que se confirma durante as análises são de que no período de verão a quantidade de material particulado em suspensão no ar aumenta com o aumento da temperatura, umidades mais baixas ocasionam maiores ações dos ventos na dispersão desse material particulado.

5 CONCLUSÃO

Nesta pesquisa o objetivo principal foi determinar se o ar do município de Macapá apresenta uma boa qualidade, através de uma série de análises gráficas utilizando sensores sensíveis a materiais particulados em suspensão no ar, e calculando a sua faixa de qualidade pelo cálculo de IQAr estabelecido pela resolução CONAMA 491/2018.

Após todas as análises foi demonstrado que o ar do município de Macapá apresenta uma qualidade satisfatória, enquadrando-se como boa e confirmando níveis baixos de contaminação por material particulado. Comparando os períodos de inverno e verão, foi observado que o MP se encontra mais presente e intenso no período menos chuvoso que pode ser justificado pela maior dispersão e baixa precipitação no período. Entretanto, mesmo em períodos de temperaturas mais altas o ar continua com uma qualidade boa quando comparado os resultados seguindo a tabela 3 que demonstra as faixas de qualidade do ar CONAMA 491/2018.

É importante ressaltar que esse estudo leva em consideração apenas o poluente de material particulado, no qual é o mais comum e presente nos centros urbanos. É de fundamental importância a continuidade de pesquisas científicas sobre a qualidade do ar na capital Macapá fazendo com que cada vez mais se consiga obter um bom embasamento a respeito da qualidade de ar no município e levando em consideração outros poluentes que se fazem presentes em suspensão no ar e que podem ser extremamente prejudiciais à saúde humana.

Essa pesquisa é pioneira e será um passo inicial para futuras pesquisas ligadas a qualidade de ar no município ou mesmo no estado do Amapá. Além de fornecer toda uma contribuição científica para a comunidade acadêmica, também é de grande contribuição para conhecimento sobre qualidade do ar para a população em geral do município de Macapá.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F, M. **Análise de qualidade do ar interior com ênfase na concentração de material particulado sólido em suspensão: estudo de caso em ambientes laboratoriais da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – campus experimental de Itapeva.** São Paulo, 2016.
- ALMEIDA, I, T. **A poluição atmosférica por material particulado na mineração a céu aberto.** São Paulo, 1999.
- AMBIENTE BRASIL. **Poluição urbana.** Disponível em: https://ambientes.ambientebrasil.com.br/urbano/poluicao/poluicao_urbana.html. Acesso em 19 de janeiro de 2023.
- BELO, P, I, D.; TOFOLI, R. **Quantificação dos níveis de partículas finas (MP 2,5) no município de Vitória.** Espírito Santo, 2011.
- BRABO, L, D, M.; MIYAGAWA, L, T. **Avaliação da poluição e qualidade do ar, e seus possíveis efeitos sobre a saúde humana na cidade de Belém.** Minas Gerais, 2014.
- BRASIL. Conama (2018). Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018.**
- BRITO, G, F, S.; SODRÉ, F, F.; ALMEIDA, F, V. **O impacto do material particulado na qualidade do ar.** Distrito Federal, 2018.
- CANADIAN ENVIRONMENTAL PROTECTION ACT 1999 (CEPA). **Priority substances list assessment report: respirable particulate matter less than or equal to 10 microns.** Canada, 1999.
- CASTELLANO, E, G. **Desenvolvimento sustentado: problemas e estratégias.** São Paulo, 1998.
- CASTRO, A, H, S.; ARAÚJO, R, S.; SILVA, G, M, M. **Qualidade do ar – parâmetros de controle e efeitos na saúde humana: uma breve revisão.** Rio Grande do Norte, 2013.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Material Particulado Inalável Fino (MP2,5) e Grosso (MP2,5-10) na Atmosfera da Região Metropolitana de São Paulo (2000-2006).** São Paulo, 2008.
- CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Padrões de qualidade do ar.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>. Acesso em 07 de fevereiro de 2022.
- CONAMA. Conselho nacional do meio ambiente. **Resolução CONAMA 491/2018: padrões nacionais de qualidade do ar.** 2018.
- CORDEIRO, J, S; PARSEKIAN, M, P, S. **Introdução à Engenharia Ambiental.** São Paulo, 2011.

DAPPER, S, N; SPOHR, C, ZANINI, R, R. **Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo.** São Paulo, 2016.

ECYCLE. **Conheça os perigos do material particulado.** Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/material-particulado/>. Acesso em: 18 de janeiro de 2023.

ÉPOCA. **Cerca de 7 milhões de pessoas morrem por ano pela poluição do ar, segundo a OMS.** Disponível em: <https://oglobo.globo.com/saude/epoca/cerca-de-7-milhoes-de-pessoas-morrem-por-ano-pela-poluicao-do-ar-aponta-oms-1-25209660>. Acesso em: 14 de março de 2023.

GODISH, T. **Air Quality.** 4th edition. Lewis Publishers, 2004.

GOOGLE EARTH. **Local de estudo.** Disponível em: <https://earth.google.com/web/@0.07567743,-51.05543428,13.9789574a,587.42007781d,35y,0h,0t,0r>. Acesso em: 16 de março de 2023.

GUARIEIRO, L, L, N.; SOLCI, M, C.; VASCONCELOS, P, C. **Poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis e biocombustíveis: uma breve revisão.** Bahia, 2011.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População de Macapá.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ap/macapa.html>. Acesso em 15 de março de 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Veículos em Macapá.** Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ap/macapa/pesquisa/22/2>. Acesso em: 15 de março de 2023.

JUNIOR, S, J, G. **Avaliação da participação de material particulado e seus impactos à saúde humana em escolas próximas a vias de tráfego veicular e refinarias de petróleo.** Curitiba, 2014.

LIMA, E, A, P. **Um estudo sobre a qualidade do ar de Uberlândia: material particulado em suspensão.** Minas Gerais, 2007.

LIMA, M, M, C. **Estimativa de concentração de material particulado na atmosfera por meio da modelagem de redes neurais artificiais.** Belo Horizonte, 2006.

MAGALHÃES, L, C. **Estudo do material particulado atmosférico e metais associados às partículas totais em suspensão na cidade de Ouro Preto, MG.** Minas Gerais, 2005.

MAIA, J, L, M. et al. **Forma urbana e qualidade do ar: o caso do Rio de Janeiro.** São Paulo, 2017.

NASCIMENTO, A, P.; et al. **Associação entre concentração de partículas finas na atmosfera e doenças respiratórias agudas em crianças.** Espírito Santo, 2017.

NETO, M, S. et al. **Análise da concentração de partículas totais (Dióxido de enxofre e Dióxido de nitrogênio):** um estudo de caso no município de Ananindeua, estado do Pará, Norte do Brasil. Pará, 2018.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **16 medidas pela qualidade do ar nas cidades: um chamado pela saúde e pelo meio ambiente.** Disponível em: https://www.cnm.org.br/cms/images/stories/Links/06062019_16_medidas_pela_qualidade_do_ar_nas_cidades.pdf. Acesso em 25 de março de 2021.

PURPLEAIR. **Mapa.** Disponível em: <https://map.purpleair.com/1/mP2/a1440/p604800/cC0#14.83/-0.05414/-51.15656>. Acesso em 13 de janeiro de 2022.

PURPLEAIR. **Sensores.** Disponível em: <https://www2.purpleair.com/collections/air-quality-sensors/products/purpleair-pa-ii-sd>. Acesso em 25 de janeiro de 2022.

RUSSO, P, R. **A qualidade do ar no município do Rio de Janeiro:** análise espaço-temporal de partículas em suspensão na atmosfera. Rio de Janeiro, 2010.

SANTIAGO, A.; et al. **Caracterização do material particulado suspenso no ar de Cuiabá – MT no período de queimadas.** Rio de Janeiro, 2015.

SICFLUX. **Qualidade do ar em centros urbanos.** Disponível em: <https://sicflux.com.br/blog/qualidade-do-ar-em-centros-urbanos/>. Acesso em: 19 de janeiro de 2023.

SICFLUX. **Qualidade do ar em dias secos e o aumento da poluição.** Disponível em: <https://sicflux.com.br/blog/qualidade-do-ar-em-dias-secos-e-o-aumento-da-poluicao/>. Acesso em: 24 de janeiro de 2023.

TAVARES, J, P, N. **Características da climatologia de Macapá – AP.** Macapá, 2014.

TORRES, F, T, P.; MARTINS, L, A. **Fatores que influenciam na concentração do material particulado inalável na cidade de Juiz de Fora (MG).** Minas Gerais, 2005.

VIEIRA, N, R. **Poluição do ar:** indicadores ambientais. Rio de Janeiro, 2009.