

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA
PARAÍBA CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

LUMA PATRÍCIA NOGUEIRA

**AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE MATERIAL PARTICULADO NA
GRANDE JOÃO PESSOA - PB**

JOÃO PESSOA – PB

2024

LUMA PATRÍCIA NOGUEIRA

**AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE MATERIAL PARTICULADO NA GRANDE
JOÃO PESSOA - PB**

Trabalho Final de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Química do Centro
de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba
em cumprimento aos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador (a): Prof. Dr. Rennio Felix de Sena

JOÃO PESSOA - PB

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

N778a Nogueira, Luma Patricia.

Avaliação das emissões de material particulado na
grande João Pessoa-PB / Luma Patricia Nogueira. - João
Pessoa, 2024.

58 f. : il.

Orientação: Rennio Felix de Sena.

TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Material particulado. 2. Qualidade do ar. 3.
Poluição atmosférica. I. de Sena, Rennio Felix. II.
Título.

UFPB/BSCT

CDU 66.01(043.2)

LUMA PATRÍCIA NOGUEIRA

**AVALIAÇÃO DAS EMISSÕES DE MATERIAL PARTICULADO NA GRANDE
JOÃO PESSOA - PB**

Trabalho Final de Curso apresentado à
Coordenação de Engenharia Química do Centro de
Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em
cumprimento aos requisitos para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Química.

Orientador (a): Prof. Dr. Rennio Felix de Sena
Aprovado em: de outubro de 2024

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

RENNIO FELIX DE SENA

Data: 28/10/2024 19:45:10-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rennio Felix de Sena

Orientador - DEQ/CT/UFPB



Documento assinado digitalmente

RONALD HENRIQUE RODRIGUES DELFINO DA SI

Data: 28/10/2024 23:01:17-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Ronald Henrique Rodrigues Delfino da Silva

Examinador(a) - PPGEQ/CT/UFPB



Documento assinado digitalmente

CAMILA EDUARDA DIAS MARINHO

Data: 28/10/2024 12:47:03-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Me. Camila Eduarda Dias Marinho

Examinador(a) - PPGEQ/CT/UFPB

Aos que, com paciência e sabedoria, iluminaram meu caminho e me inspiraram a seguir
adiante, dedico este trabalho como símbolo da minha eterna gratidão.

Dedico.

RESUMO

O presente trabalho investiga a qualidade do ar nas cidades de João Pessoa, Cabedelo e Santa Rita, na Paraíba, com foco na avaliação das emissões de material particulado (MP), incluindo as frações PTS (partículas totais em suspensão), MP10, MP2,5 e MP1. A pesquisa foi motivada pelo aumento das atividades industriais e urbanas na região, que impactam a saúde pública e o meio ambiente. O monitoramento foi realizado em quatro estações, distribuídas em áreas urbanas e rurais, ao longo de 2023 e 2024, identificando e classificando as principais fontes emissoras de MP, como fontes antropogênicas fixas e móveis. Os resultados apontaram variações nas concentrações de MP entre as diferentes estações e períodos. A estação localizada em Santa Rita apresentou os níveis mais altos de poluição em agosto de 2024, com valores de MP2,5 superiores ao limite recomendado pela Resolução nº 491/2018, indicando um índice de qualidade do ar (IQA_r) na faixa "moderado". Em contraste, as estações de João Pessoa e Cabedelo apresentaram concentrações médias que se mantiveram abaixo dos limites legais, com a qualidade do ar predominantemente classificada na faixa "boa". A análise revelou uma forte correlação entre as emissões de MP e fatores como atividade industrial, tráfego de veículos e condições meteorológicas, que influenciam a dispersão dos poluentes. Além de caracterizar a poluição atmosférica, este estudo propõe estratégias de mitigação, como a implementação de tecnologias de controle de emissão, revisão de políticas ambientais e o aumento da cobertura de monitoramento para incluir outros poluentes atmosféricos. O trabalho contribui para a compreensão das dinâmicas de poluição na grande João Pessoa e reforça a importância de iniciativas integradas para a gestão da qualidade do ar, com o intuito de proteger a saúde da população e promover o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: qualidade do ar; material particulado (MP); poluição atmosférica; emissões antropogênicas; monitoramento ambiental.

ABSTRACT

This study investigates air quality in the cities of João Pessoa, Cabedelo, and Santa Rita, in Paraíba, focusing on the assessment of particulate matter (PM) emissions, including fractions such as TSP (total suspended particles), PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁. The research was motivated by the increase in industrial and urban activities in the region, impacting public health and the environment. Monitoring was conducted at four stations, located in urban and rural areas, throughout 2023 and 2024, identifying and classifying the main sources of PM emissions, such as fixed and mobile anthropogenic sources. The results showed variations in PM concentrations across different stations and periods. The station located in Santa Rita exhibited the highest pollution levels in August 2024, with PM_{2.5} values exceeding the limit recommended by Resolution No. 491/2018, indicating an air quality index (AQI) in the "moderate" range. In contrast, the stations in João Pessoa and Cabedelo recorded average concentrations below the legal limits, with air quality predominantly classified as "good." The analysis revealed a strong correlation between PM emissions and factors such as industrial activity, vehicle traffic, and meteorological conditions, which influence the dispersion of pollutants. In addition to characterizing atmospheric pollution, this study proposes mitigation strategies, such as implementing emission control technologies, revising environmental policies, and increasing monitoring coverage to include other air pollutants. The work contributes to understanding pollution dynamics in the Greater João Pessoa area and reinforces the importance of integrated initiatives for air quality management, aiming to protect public health and promote sustainable development.

Keywords: air quality; particulate matter (PM); atmospheric pollution; anthropogenic emissions; environmental monitoring.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVOS.....	10
2.1 OBJETIVO GERAL.....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	11
3.1 POLUENTES ATMOSFÉRICOS.....	11
3.2 MATERIAL PARTICULADO.....	13
3.3 PROGRAMAS RELACIONADOS A QUALIDADE DO AR.....	15
3.4 PADRÕES DE QUALIDADE DO AR.....	18
3.4.1 Cálculo do IQAr.....	21
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	22
4.2 PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS.....	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
5.1 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E A DISPERSÃO DE POLUENTES.....	36
5.2 ESTRATÉGIAS PARA MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS.....	38
5.3 ÍNDICES DE QUALIDADE DO AR: DADOS POR ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO.....	39
6. CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS.....	56

1. INTRODUÇÃO

O desafio ambiental global que enfrentamos hoje iniciou-se com um problema local que, a partir do século XIX, ganhou destaque devido a suas graves consequências. Durante a Revolução Industrial, à medida que as indústrias se expandiram e o uso de combustíveis fósseis, como o carvão, aumentou significativamente, cidades como Londres começaram a enfrentar problemas graves com a qualidade do ar.

Ao longo da história são conhecidos diversos episódios de contaminação do ar atmosférico, responsáveis pela intoxicação e mesmo a morte de muitas pessoas. Os primeiros episódios marcantes da ação de poluentes atmosféricos, na esfera nacional, foram relatados na cidade de Cubatão, no estado de São Paulo, que durante as décadas de 1960 e 1970 foi apelidada de "Vale da Morte" devido aos altos níveis de poluição do ar causados pelas indústrias petroquímicas, siderúrgicas e de fertilizantes na região (Alves, R. L., & Da Conceição, G. (2011)). Consequentemente, o ar poluído gerou graves problemas de saúde pública, chamando atenção das autoridades devido ao aumento exorbitante de doenças respiratórias, que levaram a necessidade de regulamentação e controle da poluição do ar no Brasil.

Considera-se poluente qualquer substância presente no ar e que, pela sua concentração, possa torná-lo impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, causando inconveniente ao bem estar público, danos aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CETESB, sd). Esses poluentes variam em tamanho, composição química e nos processos que levam à sua formação, normalmente, eles não são formados por uma única substância química, mas por uma mistura de partículas sólidas e líquidas, como poeira, fumaça e aerossóis, liberados na atmosfera por atividades industriais, veículos, construção civil e até pelo transporte natural de poeira (QUEIROZ, 2006).

O material particulado (MP) em suspensão, refere-se a uma mistura heterogênea de partículas sólidas e gotículas líquidas presentes no ar. Essas partículas variam em tamanho, composição e origem, e podem ser categorizadas principalmente em duas classes: MP_{10} (partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 10 micrômetros) e $MP_{2.5}$ (partículas com diâmetro menor que 2,5 micrômetros). As partículas finas ($MP_{2.5}$ e $MP_{1.0}$) permanecem na atmosfera por um período mais prolongado em comparação às partículas grossas (MP_{10}), o que permite que sejam transportadas por distâncias consideráveis. Essa maior capacidade de dispersão amplia seu potencial de impacto sobre a saúde das pessoas e

estão diretamente relacionadas a problemas de saúde, responsáveis por uma série de doenças respiratórias.

Tornou-se fundamental entender os processos de formação do material particulado e suas fontes, além de avaliar seus efeitos na saúde humana, para prevenir os possíveis impactos desse tipo de poluição. Nesse contexto, os estudos de caracterização do material particulado são essenciais para avaliar a qualidade do ar atmosférico, identificando as principais fontes emissoras e alertando as autoridades sobre possíveis irregularidades em relação aos padrões legais de emissão (MAGALHÃES, 2005).

Assim, com a finalidade de avaliar a emissão de material particulado, foi escolhida a cidade de João Pessoa, capital da Paraíba, e duas cidades da sua região metropolitana, Cabedelo e Santa Rita, para o estudo. Devido ao aumento da urbanização e das atividades industriais na região, a qualidade do ar tem sido objeto de estudos e iniciativas para garantir a saúde pública e o meio ambiente. O monitoramento da qualidade do ar é realizado pelo órgão estadual, a Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA). A gestão da qualidade do ar tem como objetivo garantir que o desenvolvimento sócio-econômico ocorra de forma sustentável e ambientalmente segura. Para tanto, se fazem necessárias ações de prevenção, combate e redução das emissões de poluentes e dos efeitos da degradação do ambiente atmosférico (MMA, s.d).

Diante deste cenário, é essencial compreender as fontes e os impactos das emissões de material particulado. Este trabalho visa analisar as principais fontes de emissão de material particulado situadas em áreas urbana e rural, nas cidades de João Pessoa, Cabedelo e na zona rural da cidade de Santa Rita, no Estado da Paraíba.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Realizar uma avaliação detalhada das emissões de material particulado (MP) em João Pessoa, Cabedelo e Santa Rita, na Paraíba, considerando as principais fontes emissoras e as condições ambientais.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar e classificar as principais fontes de emissão de material particulado na área de monitoramento;

2. Analisar os padrões das concentrações de material particulado e classificar a qualidade do ar na região, com base nos dados de monitoramento atmosférico;
3. Propor estratégias e medidas de mitigação para a redução das emissões de material particulado.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. POLUENTES ATMOSFÉRICOS

De modo geral, além dos componentes gasosos, a atmosfera contém uma vasta variedade de compostos orgânicos e inorgânicos em formas gasosas, líquidas e sólidas. Esses compostos são considerados poluentes atmosféricos quando suas concentrações atingem níveis prejudiciais à saúde humana, aos materiais e aos processos naturais dos ecossistemas (CETESB, 2016).

Entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora e que seja prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (Resolução CONAMA nº 03, 1990).

É importante notar que a presença de poluentes no ar, por si só, não configura necessariamente um problema. A poluição do ar só se torna uma questão de saúde quando a concentração desses poluentes excede os limites considerados aceitáveis, conforme estabelecido pela Organização Mundial da Saúde ou por outros padrões predefinidos (CAVALCANTI et al., 1979).

As fontes emissoras podem ser naturais ou antropogênicas. As fontes naturais incluem emissões do solo, vegetação, erupções vulcânicas, corpos d'água, etc. As fontes antropogênicas resultam das atividades humanas, como emissões por veículos automotores, indústrias e queimadas. Embora as fontes naturais contribuam significativamente para a presença de compostos orgânicos na atmosfera, em áreas urbanas, as fontes antropogênicas são as principais responsáveis.

As fontes antropogênicas podem ser classificadas em duas categorias principais: fontes fixas e fontes móveis. As fontes fixas permanecem em um local específico, que incluem instalações industriais, fábricas, usinas de energia, refinarias de petróleo, incineradores de resíduos, fornos, entre outros. As fontes móveis emitem poluentes

enquanto se movem, que incluem os veículos automotores, aviões, trens, navios, entre outros.

Os poluentes atmosféricos podem ser classificados como primários, quando são emitidos de uma fonte e estão presentes na atmosfera na forma em que são emitidos. Pode-se citar os compostos de enxofre, óxidos de carbono, compostos de nitrogênio, compostos orgânicos, etc. Os poluentes secundários, são formados na atmosfera a partir de reações químicas entre dois ou mais poluentes como o dióxido de enxofre (SO_2) proveniente das indústrias e dos veículos ou ozônio (derivado do oxigênio natural por ocasião das descargas elétricas atmosféricas – raios). O SO_3 , por sua vez, reage com o vapor d'água existente no ar formando uma neblina de ácido sulfúrico (TORRES; ROCHA; RIBEIRO, 2008).

Nas grandes cidades, a principal fonte de poluentes atmosféricos são as atividades humanas, especialmente a emissão veicular. Veículos são grandes emissores de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), hidrocarbonetos (HC), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e seus derivados.

Os HPAs e seus derivados são conhecidos por suas propriedades carcinogênicas e mutagênicas. Já os NO_x podem irritar os alvéolos pulmonares e, em combinação com hidrocarbonetos sob certas condições climáticas (como incidência de luz solar e inversão térmica), podem levar à formação de smog fotoquímico. O CO, por sua vez, reduz a capacidade do sangue de transportar oxigênio, podendo levar à morte por asfixia (LENZI e FAVERO, 2009).

O Quadro 1 mostra os poluentes considerados indicadores da qualidade do ar, bem como suas características, suas origens e seus efeitos ao meio ambiente.

Quadro 1 - Características dos principais poluentes na atmosfera.

Poluente	Características	Fontes Principais	Efeitos Gerais ao Meio Ambiente
Partículas Inaláveis Finas (MP _{2,5})	Partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc., que podem permanecer no ar e percorrer longas distâncias. Faixa de tamanho < 2,5 micra.	Processos de combustão (industrial, veículos automotores), aerossol secundário (formado na atmosfera) como sulfato e nitrato, entre outros.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Partículas Inaláveis (MP ₁₀) e Fumaça	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 10 micra.	Processos de combustão (indústria e veículos automotores), poeira ressuspensa, aerossol secundário (formado na atmosfera).	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça, fuligem, etc. Faixa de tamanho < 50 micra.	Processos industriais, veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo.	Danos à vegetação, deterioração da visibilidade e contaminação do solo e da água.
Dióxido de Enxofre (SO ₂)	Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforos. Pode ser transformado a SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis.	Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, produção de polpa e papel, fertilizantes.	Pode levar à formação de chuva ácida, causar corrosão aos materiais e danos à vegetação: folhas e colheitas.
Dióxido de Nitrogênio (NO ₂)	Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante. Pode levar à formação de ácido nítrico, nitratos (o qual contribui para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera) e compostos orgânicos tóxicos.	Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações.	Pode levar à formação de chuva ácida, danos à vegetação e à colheita.
Monóxido de Carbono (CO)	Gás incolor, inodoro e insípido.	Combustão incompleta em veículos automotores.	
Ozônio (O ₃)	Gás incolor, inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica.	Não é emitido diretamente para a atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis.	Danos às colheitas, à vegetação natural, plantações agrícolas; plantas ornamentais.

Fonte: CETESB, 2021.

3.2. MATERIAL PARTICULADO

O poluente em estudo, material particulado (MP) atmosférico, é constituído por partículas líquidas e sólidas suspensas no ar, com diâmetros variando entre 0,002 µm e 100 µm. Sua composição depende do tamanho, do tempo de permanência na atmosfera e da localização geográfica (DA ROCHA, 2003).

As partículas maiores, ou grossas, são geralmente compostas por partículas primárias, originadas de processos mecânicos tanto naturais quanto antrópicos, como a ressuspensão de poeira do solo devido ao vento, erosão, sal marinho, cinzas de combustão e emissões biogênicas naturais. Essas partículas são predominantemente constituídas por elementos como sódio, cloro, silício, magnésio, alumínio, ferro e metais. Em contraste, as partículas finas, que são predominantemente emitidas por processos de combustão, incluem partículas secundárias formadas por materiais como compostos carbonáceos, metais, compostos orgânicos e íons como sulfatos, nitratos e amônios. (ARBEX, 2001).

Quando disperso na atmosfera, o MP_{2,5} pode causar uma série de impactos. No

meio ambiente, essa dispersão pode alterar as condições biogeoquímicas e microbiológicas do solo, afetar o metabolismo das plantas, interferir no crescimento e na reprodução dos animais, e aumentar a carga de metais e compostos orgânicos, como também, aumentar a turbidez atmosféricas, modificando o fluxo de radiação solar e alterando a quantidade de luz que atinge as copas das árvores. Além disso, quando essas partículas se depositam na água e no solo, podem causar a acidificação de rios e lagos, o que, por sua vez, altera o fornecimento de nutrientes em bacias hidrográficas e águas costeiras, prejudicando tanto as culturas agrícolas quanto os ecossistemas sensíveis (SAFE, 2021).

Quanto à saúde humana, as partículas finas representam um risco significativo. A poluição atmosférica devido ao $MP_{2.5}$ e tamanhos menores que 2,5, está associada a um aumento nas hospitalizações por problemas cardiovasculares e respiratórios, no uso de medicamentos, em alterações na função pulmonar, e até mesmo em mortes prematuras. Os sintomas agudos mais comuns incluem crises asmáticas e irritação nos olhos, nariz e garganta. Devido ao seu tamanho reduzido, as partículas finas têm uma maior capacidade de penetrar nas vias respiratórias e causar danos à saúde (SAFE, 2021).

Tabela 1 - Fontes de poluição e poluentes associados.

Fontes		Poluentes
Classificação	Tipo	
Fontes estacionárias	Combustão	Material Particulado Dióxido e trióxido de enxofre Monóxido de carbono Hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio
	Processo industrial	Material particulado (fumos, poeiras e névoas) Gases: SO_2 , SO_3 , HCl e Hidrocarbonetos Mercaptanas, HF, H_2S , NO_x
	Queima de resíduos sólidos	Material particulado Gases: SO_2 , SO_3 , HCl, NO_x
	Outros	Hidrocarbonetos e material particulado
	Veículos automotores	Material particulado, monóxido de carbono Óxidos de nitrogênio, hidrocarbonetos e óxidos de enxofre
Fontes móveis	Aviões e barcos	Oxido de enxofre e óxido de nitrogênio
	Locomotivas	Ácidos orgânicos, hidrocarbonetos e aldeídos
Fontes naturais		Material particulado (poeiras) Gases: SO_2 , SO_3 , HCl, NO_x e Hidrocarbonetos Poluentes secundários: Ozônio e aldeídos

Fonte: Tabela adaptada de Dourado (2016).

3.3. PROGRAMAS RELACIONADOS A QUALIDADE DO AR

Durante a segunda metade do século XX, a monitoração da qualidade do ar começou a se consolidar, impulsionada pela crescente urbanização e industrialização nas grandes cidades. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) foi pioneira na administração pública e inaugurou em 1977 um dos primeiros laboratórios de emissões veiculares do Brasil, responsável por estudos que diagnosticaram a contribuição dos veículos na poluição do ar.

Em 1986 foi estabelecido e regulamentado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, por meio da Resolução nº 18, de 6 de maio de 1986, instituiu o Plano de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), que estabeleceu uma política de controle de emissões a longo prazo, com exigências determinadas em fases, permitindo que os diversos setores públicos e privados tivessem tempo para incorporar as ações e tecnologias necessárias para a redução das emissões (CETESB).

Entre os objetivos do PROCONVE, destaca-se não apenas a redução da emissão de poluentes, mas também a promoção da melhoria das características técnicas dos veículos e combustíveis. Para atender aos limites de emissão, os veículos passaram a incorporar uma série de avanços tecnológicos, como a substituição do carburador por injeção eletrônica, permitindo o uso do catalisador, um equipamento de alta eficiência no tratamento dos gases de exaustão, que reduziu significativamente as emissões dos veículos.

Além disso, os combustíveis sofreram várias alterações nas especificações ao longo dos últimos 30 anos, como a incorporação do etanol anidro na gasolina, a eliminação do composto chumbo tetraetila da gasolina, e a redução do teor máximo de enxofre na gasolina, entre outras. O programa também visou conscientizar a população sobre a poluição do ar e implementar programas de inspeção e manutenção de veículos em uso.

Em 2018, o CONAMA estabeleceu as Resoluções nº 490 e nº 492, que trouxeram as fases L7 e P8 do PROCONVE. As duas resoluções se complementam e estabelecem um marco regulatório para o monitoramento e controle da poluição atmosférica:

- Resolução CONAMA nº 490/2018: Foca na criação de diretrizes para a gestão da qualidade do ar, estabelecendo métodos de monitoramento e responsabilidades dos órgãos ambientais. Ela fornece um quadro geral para a gestão da qualidade do ar e cria as bases para as medições e interpretações dos níveis de poluição atmosférica.

- Resolução CONAMA nº 492/2018: Especifica os padrões de qualidade do ar, definindo os limites aceitáveis de concentração de vários poluentes, como material particulado, ozônio e dióxido de enxofre. Esta resolução é uma atualização e consolidação de normas anteriores, alinhando os padrões brasileiros às recomendações da OMS.

Nesse contexto de demandas institucionais e normativas, o CONAMA, por meio da Resolução nº 05 de 15 de junho de 1989, criou o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar (PRONAR), com o intuito de permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica, com vistas à melhora da qualidade do ar, ao atendimento dos padrões estabelecidos e o não comprometimento da qualidade do ar nas áreas consideradas não degradadas (MMA, 2017).

Para alcançar os objetivos do PRONAR foram estabelecidos limites nacionais para as emissões, por tipologia de fontes e poluentes prioritários, reservando o uso dos padrões de qualidade do ar como ação complementar de controle. Também determinou metas de aprimoramento da gestão da qualidade a serem cumpridas a curto, médio e longo prazo para que se desse prioridade à alocação de recursos e fossem direcionadas as ações.

O primeiro dispositivo legal decorrente do PRONAR foi a Resolução do CONAMA nº 03, de 28 de junho de 1990, que estabeleceu os padrões nacionais de qualidade do ar, substituída em 2018 pela Resolução CONAMA nº 491/2018. Esses padrões estabelecem legalmente o limite máximo permitido para a concentração de um poluente na atmosfera, assegurando a proteção da saúde humana e do meio ambiente.

Tabela 2 - Padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 03/90.

Poluentes	Tempo de Amostragem	Padrão Primário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Padrão Secundário ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Partículas Totais em Suspensão (PTS)	24 Horas ¹	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	MGA ²	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dióxido de Enxofre (SO_2)	24 Horas ¹	365 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	MAA ³	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Monóxido de Carbono (CO)	1 Hora ¹	40.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 35ppm	40.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 35ppm
	8 Horas ¹	10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 9ppm	10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 9ppm
Ozônio (O_3)	1 Hora ¹	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Fumaça	MAA ³	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Partículas Inaláveis (MP_{10})	24 Horas ¹	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	MAA ³	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Dióxido de Nitrogênio (NO_2)	1 Hora ¹	320 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	MAA ³	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

1-Não deve ser excedido mais que uma vez ao ano. 2- Média Geométrica Anual. 3-Média Aritmética Anual

Fonte: Resolução CONAMA nº 03/1990.

O Plano de Controle de Poluição Veicular (PCPV) é uma estratégia criada pela Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), para o controle das emissões por veículos automotores, com o objetivo de estabelecer regras e diretrizes para promover a redução da poluição atmosférica veicular e dos ruídos gerados pela frota de veículos em circulação no país, com foco na implementação de políticas públicas viáveis do ponto de vista técnico e ambientalmente relevantes, que contribuam para melhorar a qualidade do ar, diminuir o consumo de combustíveis e reduzir a concentração de gases de efeito estufa. Sua construção pelos órgãos estaduais de meio ambiente de toda a União, decorre da Resolução CONAMA nº 418, de 25 de novembro de 2009.

Quadro 02 - Limites máximos de ruído emitidos por veículos automotores segundo

Resolução CONAMA nº 418/09.

CATEGORIA	Posição do Motor	NÍVEL DE RUÍDO dB(A)
Veículo de passageiros até nove lugares e veículos de uso misto derivado de automóvel	Dianteiro	95
	Traseiro	103
Veículo de passageiros com mais de nove lugares, veículo de carga ou de tração, veículo de uso misto não derivado de automóvel e PBT até 3.500 kg	Dianteiro	95
	Traseiro	103
Veículo de passageiros ou de uso misto com mais de 9 lugares e PBT acima de 3.500 kg	Dianteiro	92
	Traseiro e entre eixos	98
Veículo de carga ou de tração com PBT acima de 3.500 kg	Todos	101
Motocicletas, motonetas, ciclomotores, bicicletas com motor auxiliar e veículos assemelhados	Todas	99

Fonte: Resolução CONAMA nº 418/2009.

O PCPV revisa, atualiza e organiza a legislação relacionada à inspeção veicular ambiental, considerando os avanços tecnológicos no setor automotivo e a implementação de novos métodos de inspeção. Além disso, visa fomentar a realização de estudos sistemáticos de custo-benefício para o aprimoramento contínuo das políticas públicas voltadas ao controle da poluição do ar causada por veículos automotores.

3.4. PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

O Índice de Qualidade do Ar (IQA_r) foi desenvolvido com o objetivo de simplificar a divulgação dos dados de monitoramento da qualidade do ar em curto prazo, conforme definido pela Resolução CONAMA nº 491/18, facilitando a compreensão dos resultados pela população (MMA, 2019).

No Brasil, a Resolução nº 03/1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), promulgada em 28 de junho de 1990, definiu os padrões de qualidade do ar, categorizando-os em dois tipos:

- Padrões primários: correspondem a concentrações de poluentes que, se ultrapassadas, podem causar efeitos adversos à saúde das pessoas expostas.
- Padrões secundários: referem-se a concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem-estar da população, da fauna, da flora e do ambiente em geral.

Em 2018, para alinhar os padrões brasileiros às diretrizes da Organização Mundial

da Saúde (OMS), foi introduzida a Resolução CONAMA 491/2018, que substituiu a Resolução CONAMA nº 03/1990. Essa nova resolução revisou alguns dos limites dos padrões de qualidade do ar e incluiu o material particulado fino (MP2.5) como um parâmetro obrigatório de controle. (BRASIL, 2018). Esses valores foram definidos como uma diretriz global para orientar a implementação de iniciativas que melhorem a qualidade do ar em benefício da saúde pública. No entanto, cada país precisa definir seus próprios objetivos para atingir essas recomendações, levando em consideração suas características, necessidades e interesses específicos. Os padrões nacionais de qualidade do ar no Brasil estão detalhados na Tabela 3.

Tabela 3 - Concentrações estabelecidas como padrões de qualidade do ar.

POLUENTE	TEMPO DE AMOSTRAGEM	CONCENTRAÇÃO
Material Particulado (MP) 10	Média anual	20 µg/m³
	Média de 24 horas	50 µg/m³
Material Particulado 2,5	Média anual	10 µg/m³
	Média de 24 horas	25 µg/m³
Ozônio (O3)	Média de 8 horas	100 µg/m³
	Média anual	40 µg/m³
Dióxido de Nitrogênio (NO2)	Média de 1 hora	200 µg/m³
	Média de 24 horas	20 µg/m³
Dióxido de Enxofre (SO2)	Média anual	-
Monóxido de Carbono (CO)	Média anual	9 PPM
	Média de 8 horas	

Fonte: Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018.

Para cada poluente monitorado, é calculado um índice, que é um valor

adimensional. Com base no índice obtido, a qualidade do ar é classificada, recebendo uma nota e uma cor correspondente, conforme mostrado no Quadro 1.

Tabela 4 - Estrutura do índice de qualidade do ar.

Qualidade do Ar	Índice	MP ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	MP _{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 8h	CO (ppm) 8h	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1h	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h
N1 - Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 - 200	0 - 20
N2 - Moderada	41 - 80	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40
N3 - Ruim	81 - 120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365
N4 - Muito Ruim	121 - 200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13 - 15	>320 - 1130	>365 - 800
N5 - Péssima	201 - 400	>250 - 600	>125 - 300	>200 - 800	>15 - 50	>1130 - 3750	>800 - 2620

Fonte: Guia técnico de qualidade do ar, 2019.

Para efeito de divulgação, é utilizado o índice mais elevado dos poluentes medidos em cada estação. Portanto, a qualidade do ar em uma estação é determinada diariamente pelo pior caso entre os poluentes monitorados (CETESB, 2009). No quadro 2 é sugerida uma relação de efeitos à saúde que podem ser associados aos índices na sua divulgação:

Quadro 3 - Relação entre valor do IQAr e possíveis efeitos à saúde.

Índice	Efeitos
0 - 40	-
41 - 80	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população em geral não é afetada.
81 - 120	Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde.
121 - 200	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
> 200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: Guia técnico de qualidade do ar, 2019.

Os órgãos ambientais estaduais deverão divulgar os dados de monitoramento e informações relacionadas à gestão de qualidade do ar. Caso as concentrações excederem

uma ou mais das suas condições estabelecidos, os órgãos ambientais deverão elaborar, com base nos níveis de atenção, de alerta e de emergência, um Plano para Episódios Críticos de Poluição do Ar, a ser submetido à autoridade competente do estado, visando medidas preventivas com o objetivo de evitar graves e iminentes riscos à saúde da população, Durante a permanência dos níveis elevados, as fontes de poluição do ar ficarão, na área atingida, sujeitas às restrições previamente estabelecidas no Plano para Episódios Críticos de Poluição do Ar.

Tabela 5- Níveis de atenção, alerta e emergência para poluentes e suas concentrações.

Nível	Poluentes e concentrações					
	SO2 µg/m³(média de 24h)	Material Particulado	CO Ppm (média móvel de 8h)	O3 µg/m³ (média móvel de 8h)	NO2 µg/m³ (média de 1h)	
		MP10	MP2,5			
		µg/m³ (média de 24h)	µg/m³ (média de 24h)			
Atenção	800	250	125	15	200	1.130
Alerta	1.600	420	210	30	400	2.260
Emergência	2.100	500	250	40	600	3.000

Fonte: Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018.

3.4.1. Cálculo do IQAr

Os valores do índice são definidos a partir de um cálculo, cada poluente possui uma concentração medida e lhe é atribuído um IQAr a partir da equação:

Equação 1: Índice de qualidade do ar.

$$IQAr = I_{ini} + \frac{I_{fin} - I_{ini}}{C_{fin} - C_{ini}} \times (C - C_{ini})$$

I_{ini} = valor do índice que corresponde à concentração inicial da faixa;

I_{fin} = valor do índice que corresponde à concentração final da faixa;

C_{ini} = concentração inicial da faixa em que se localiza a concentração medida;

C_{fin} = concentração final da faixa em que se localiza a concentração medida; C = concentração medida do poluente.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os pontos de coleta dos dados foram realizados nos municípios de João Pessoa, e na região metropolitana da capital, Cabedelo e na cidade de Santa Rita. São analisadas quatro estações: a Estação 1 está localizada na Rua Mar do Caribe, número 206, Portal do Poço, Cabedelo; a Estação 2 está na Rodovia BR-230, Km 13,3, S/N, Parque Esperança, Cabedelo; a Estação 3 está localizada em Nossa Senhora do Livramento, distrito rural do município de Santa Rita, que possui as coordenadas geográficas 7°2'50,142"S, 34°57'24,324"W; e a Estação 4 está na Avenida Monsenhor Walfredo Leal, número 181, Tambiá, João Pessoa, onde se encontra a sede da SUDEMA.

O clima predominante na capital paraibana é o tropical úmido, com altos índices de umidade, caracterizado pelas temperaturas elevadas durante todo o ano. A média fica em torno de 26° C, enquanto as mínimas registradas são de 22° C e máximas de 28° C. No verão as máximas têm média de 30 graus, enquanto as mínimas ficam na casa dos 26 graus. A umidade do ar permanece acima dos 70%, e os maiores volumes de chuvas se concentram nos meses referentes ao outono e início do inverno, entre abril e julho. Anualmente, a pluviosidade é de 1.700 mm (GUITARRARA, 2021).

Os pontos escolhidos para instalar as estações são áreas com alta densidade populacional, intensa movimentação de veículos e forte concentração de atividades comerciais e serviços. Esses elementos contribuem para a elevação dos níveis de poluentes atmosféricos, como material particulado (PM), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e ozônio (O₃), tornando o local um ponto essencial para estudos de qualidade do ar.

O clima quente e úmido da cidade, típico de regiões litorâneas, afeta a dispersão dos poluentes. Ventos alísios, comuns na área, auxiliam na dissipação de partículas em certas estações do ano, porém, a alta temperatura combinada com o tráfego intenso nos horários de pico pode agravar a concentração de poluentes.

Na Paraíba, o tipo climático de acordo com a classificação de Köppen, é As', pois apresenta um clima tropical com subtipos tropical úmido no litoral e tropical semiárido no interior, com uma estação mais seca no verão.

O clima do tipo As', tropical chuvoso, quente e úmido é caracterizado por chuvas concentradas nos meses de outono e inverno, geralmente entre abril e julho na Paraíba, com algumas variações sazonais. As temperaturas médias mensais permanecem entre 22 e 26°C,

devido à proximidade com o Equador, já que o estado da Paraíba está situado entre as latitudes de 6° e 8° Sul. Essa localização em latitudes baixas resulta em pouca variação de temperatura ao longo do ano, mantendo a amplitude térmica geralmente baixa nesta região (ARAÚJO; LIMA, 2019).

A escolha dos locais como área de estudo é estratégica devido ao fluxo elevado de veículos e pedestres, o que torna a região crucial para o monitoramento da qualidade do ar e a formulação de políticas públicas ambientais. Esses fatores são fundamentais para determinar os pontos de coleta de dados e a metodologia de análise a ser empregada.

João Pessoa é a única cidade da Paraíba que começou o monitoramento da qualidade do ar, iniciando com a monitoração apenas de materiais particulados, permitindo assim, a realização de estudos sobre os níveis de concentrações dos principais materiais particulados lançados no meio ambiente. Como o monitoramento é recente, tendo início no final do ano de 2023, ainda não foram realizados estudos com essas informações, tendo como fim encontrar a classificação do ar nessa região.

4.2. PROCEDIMENTO DE COLETA DE DADOS

A coleta do material particulado (PTS, MP_{10} , $MP_{2.5}$ e $MP_{1.0}$) foi realizada utilizando o sistema SINFOMET-23, que é uma estação de monitoramento da poluição do ar e possui um sistema avançado utilizado para monitorar a qualidade do ar.

O Sistema SINFOMET-23 é composto de diversos instrumentos, dentre eles, o Monitor Compacto de Material Particulado LPM - 4105, projetado com uma câmara de amostragem interna, para onde o ar é aspirado, dentro da câmara possui um laser que emite um feixe de luz que atravessa as partículas suspensas e dispersam a luz em diferentes direções. Este processo é essencial para a detecção das partículas no ar. Sensores conhecidos como detectores de luz são posicionados para captar a luz que é dispersa pelas partículas no ar. Esses sensores são fundamentais para medir a intensidade da luz dispersa e, assim, determinar a concentração e o tamanho das partículas presentes. Esse método oferece monitoramento contínuo e em tempo real, eliminando a necessidade de filtros manuais para coleta e pesagem das amostras como também, fornece dados em intervalos curtos, permitindo uma visão detalhada e contínua da qualidade do ar.

Figura 1 - Monitor Compacto de Material Particulado LPM - 4105.



O DATALOGGER ALPHA-LOG, é uma interface de usuário digital que inclui uma tela para exibir dados e configurar parâmetros do equipamento. É integrado a sistemas de monitoramento para transmissão de dados. A capacidade de armazenamento de dados permite registrar e acessar informações de medição para análises posteriores.

Figura 2 - DATALOGGER ALPHA-LOG



Para a transmissão de dados, a estação possui um Roteador 3G/4G RUT240, que automatiza a estação e elimina a necessidade de uma visita técnica para a coleta de dados, pois eles são transmitidos para um banco de dados centralizado.

Os técnicos podem acessar a estação remotamente para verificar o status do equipamento, realizar manutenção preventiva, atualizar software ou corrigir falhas, sem a necessidade de deslocamento físico. Além disso, eles têm acesso aos dados de um conjunto de estações simultaneamente e em tempo real, garantindo uma resposta rápida a variações críticas nos níveis de poluentes.

Figura 3 - Roteador 3G/4G RUT240.



O SINFOMET-23 possui um conjunto de equipamentos para alimentação elétrica fotovoltaica, composto por um painel solar de 60W, suficientes para manter todo sistema operacional, além de fornecer energia suficiente para manter a bateria sempre carregada. Um controlador de carga e uma bateria de 12V/ 18Ah, com potência suficiente para manter o sistema operacional por até 2 dias sem necessidade de recarga, em casos de longos períodos de alta nebulosidade. e que o torna totalmente independente da rede elétrica local, fazendo com que possa ser instalado em locais distantes e remotos.

Contém um controlador de carga desenvolvido utilizando a tecnologia PWM, que consegue manter a tensão de carga da bateria mesmo com baixa incidência solar, possui também alta tecnologia no controle de sobre ou sub tensão e corrente.

Figura 4 - Sistema SINFOMET-23.



O SINFOMET-23 oferece eficiência no monitoramento contínuo sem a necessidade de coleta manual de amostras. A sua precisão na medição de partículas de diferentes tamanhos e a facilidade de uso com operação simplificada e mínima intervenção manual são características que destacam o equipamento. Essas qualidades fazem do SINFOMET-23 uma ferramenta eficaz para a gestão ambiental e a proteção da saúde pública.

Figura 5 – Estação de monitoramento de qualidade do ar, instalada em um canavial, em Santa Rita.



Figura 6 – Estação de monitoramento de qualidade do ar, instalada na sede da SUDEMA, em João Pessoa.



Figura 7 – Estação de monitoramento de qualidade do ar, instalada na VITRIUM, em Cabedelo.



5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico, serão apresentados e discutidos os resultados obtidos a partir do monitoramento de material particulado (PTS, MP10, MP2.5 e MP1.0) realizado em João Pessoa, Cabedelo e Santa Rita. O objetivo principal é avaliar a concentração desses poluentes no ar e sua variação ao longo do tempo, considerando fatores sazonais, condições meteorológicas e o impacto das atividades humanas.

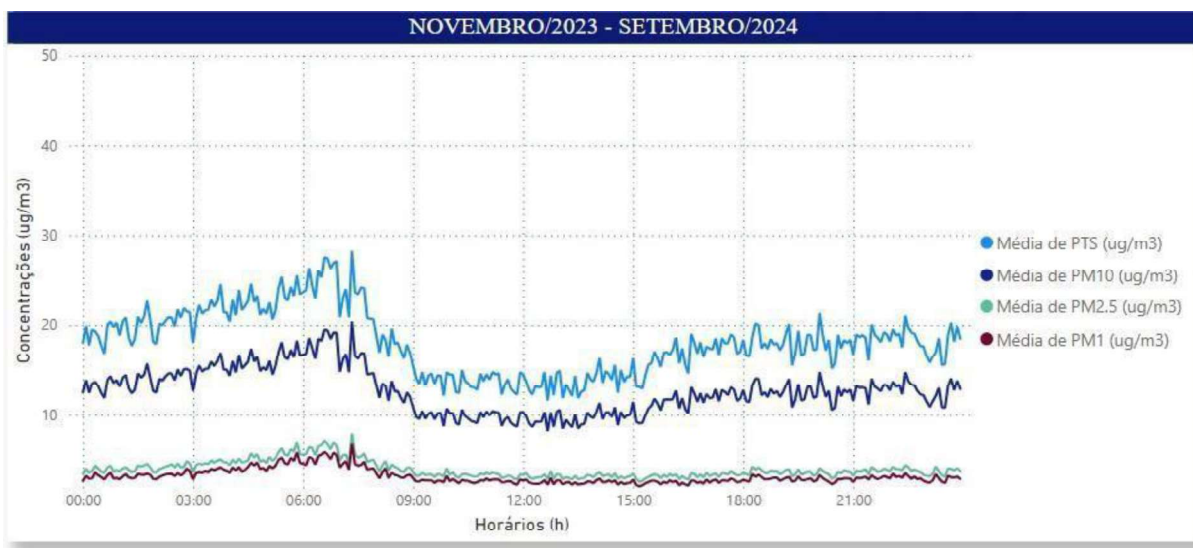
Os poluentes gasosos não foram analisados neste estudo devido à limitação do equipamento de monitoramento utilizado, que é projetado exclusivamente para medir material particulado no ar. Atualmente, a estação de monitoramento em questão não possui a

capacidade de detectar gases poluentes, que são importantes para uma avaliação mais abrangente da qualidade do ar.

Entretanto, a SUDEMA já está trabalhando para ampliar sua rede de monitoramento. Em breve, serão instalados novos equipamentos que irão medir não apenas os gases poluentes, mas também a intensidade e a direção dos ventos. Isso permitirá uma análise mais completa e precisa da qualidade do ar, possibilitando identificar melhor as fontes de poluição e avaliar os impactos ambientais de forma mais detalhada.

Para entender melhor a variação das concentrações de material particulado ao longo do tempo, foram analisados os dados coletados nas estações de monitoramento em diferentes locais. Os gráficos a seguir apresentam o comportamento das concentrações, evidenciando os padrões de variação mensal e sazonal em cada estação, bem como as influências de fatores como o fluxo de veículos, condições ambientais e atividades específicas na região.

Figura 8 - Representação gráfica da concentração de de PTS, MP10, MP2,5 E MP1 no período de novembro de 2023 a setembro de 2024.

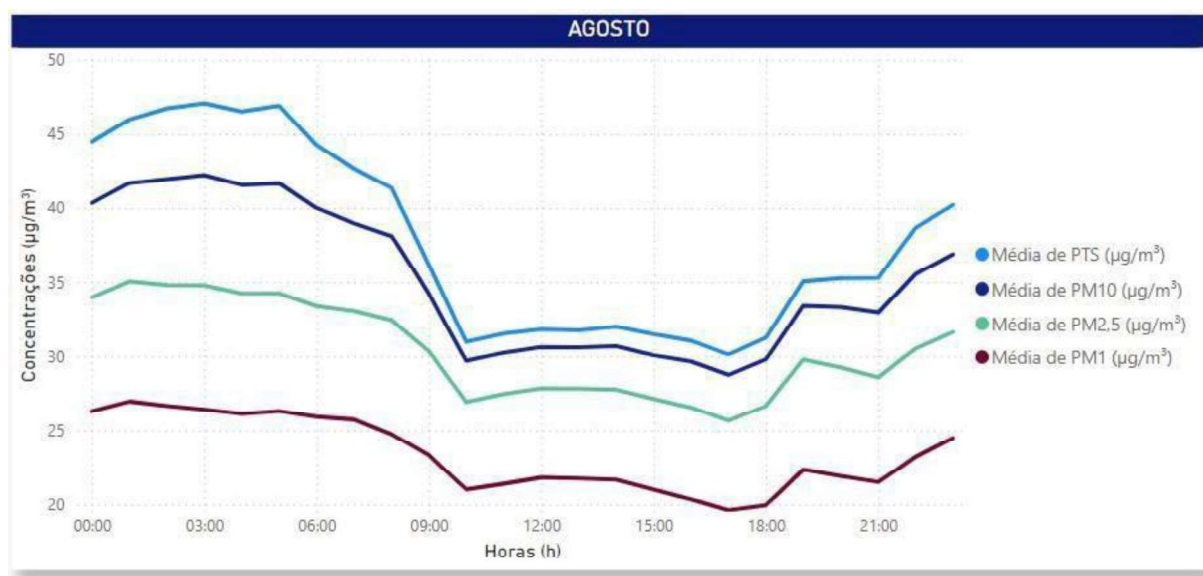


Na estação 4, localizada na sede da SUDEMA, com coordenadas geográficas 7°6'56,16"S 34°52'33,534"W, pode-se observar que a concentração de material particulado tem o aumento gradual a partir da 01h hora da manhã e atinge seu ápice de maior concentração por volta das 07h da manhã, alcançando as concentrações de 27,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de particulados totais suspensos, 19,29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ material particulado 10, 6,81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ material particulado 2,5 e 5,73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ material particulado 1. No início da manhã inicia-se o decréscimo da concentração, mantendo-se estável das 09h da manhã até as 15h da tarde,

mantendo a concentração média de 14,62, 10,33, 3,50 e 2,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PTS, PM10, PM2,5 e PM1, respectivamente. Quando comparamos com as concentrações estabelecidas como padrões de qualidade do ar pela Resolução nº 491/2018, temos que todos estão abaixo do estabelecido, uma vez que o estabelecido para o MP10 é 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e MP2,5 é 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

É comum haver um aumento da concentração de material particulado (MP) ao longo da noite e madrugada, quando a incidência de ventos é reduzida. Entre as 6h e 8h da manhã, esse incremento continua devido ao aumento do fluxo de veículos, à abertura das atividades comerciais e de serviços e ao início das atividades cotidianas da população. As fontes de emissão associadas a esse período são classificadas como fontes antropogênicas móveis, pois estão relacionadas ao movimento de veículos e outras atividades humanas que geram emissões no ambiente. Após esse período de aumento, inicia-se a diminuição da concentração de MP no ar, pois, durante o dia, a elevação da temperatura intensifica os ventos e a movimentação de massas de ar na troposfera, dispersando o material particulado de forma mais rápida.

Figura 9 - Representação gráfica da concentração de PTS, MP10, MP2,5 E MP1 no período de agosto de 2024.



Na estação 3, localizada no município de Santa Rita, com coordenadas geográficas 7°2'50,142"S, 34°57'24,324"W, pode-se observar que a concentração de material particulado tem o aumento gradual a partir das 17h horas e atinge seu ápice de maior concentração por volta das 03h da manhã, alcançando as concentrações médias de 47,02

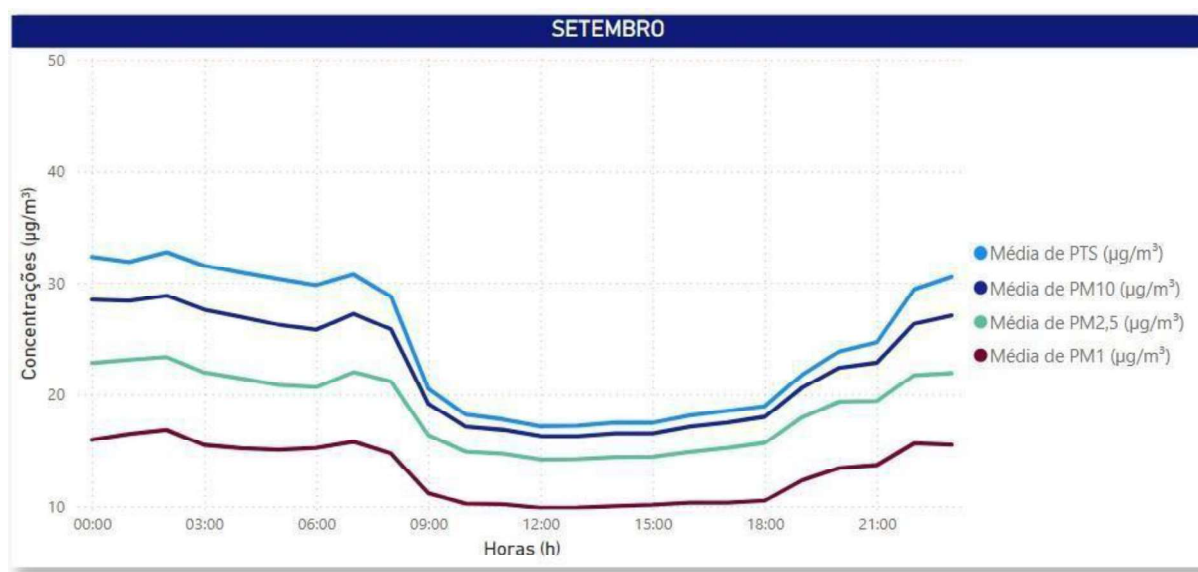
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS, $42,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP10, $34,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP2,5 e $26,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP1. No início da manhã inicia-se o decréscimo da concentração, mantendo-se estável das 10h da manhã até as 17h, mantendo a concentração média de 31,1, 29,78, 28,87 e $83,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para PTS, PM10, PM2,5 e PM1 respectivamente. Quando comparamos com as concentrações estabelecidas como padrões de qualidade do ar pela Resolução nº 491/2018, temos que o PM2,5 ultrapassa o valor estabelecido, uma vez que o estabelecido para MP2,5 é $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 24h e o monitoramento transmitiu que as 03h da manhã o MP2,5 atingiu valor médio de $34,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

É observado valores elevados das partículas finas (MP2,5 E MP1), estes são preferencialmente emitidas por processos de combustão e quando há queima de biomassa, são compostas por material carbonáceo, metais, compostos orgânicos, íons nitrato, sulfato e amoníaco (ARBEX, 2001). Segundo a agência responsável pela proteção ambiental dos EUA, “U.S. Environmental Protection Agency”, o maior percentual do MPA produzido por combustão é de partículas com diâmetro menor que $2,5\mu\text{m}$, perfazendo 90% do total (USEPA 1998).

O aumento progressivo da concentração de material particulado se concentra no período da noite, devido à incidência da queima de canaviais, uma vez que o período de safra inicia-se em meados de agosto a março (WANDERLEY, 2024). As fontes de emissão associadas a essa área são classificadas como fontes antropogênicas fixas, porque ocorre em um local específico (os canaviais) e gera poluentes de maneira concentrada durante o processo de queima. A queima também pode gerar poluentes secundários.

A queima de canaviais gera impactos ambientais significativos e abrangentes, que vão além da poluição do ar, afetando também o solo, a água e a biodiversidade, além de agravar o aquecimento climático. O depósito de material particulado sobre as folhas pode bloquear a luz solar e interferir na fotossíntese, reduzindo o crescimento das plantas. As partículas liberadas durante a queima podem se depositar no solo, alterando suas propriedades físicas e químicas. Isso pode afetar a disponibilidade de nutrientes essenciais e reduzir a fertilidade do solo, prejudicando o desenvolvimento das plantas. A queima frequente pode prejudicar a capacidade de regeneração da vegetação, o que leva a uma mudança na composição da flora local.

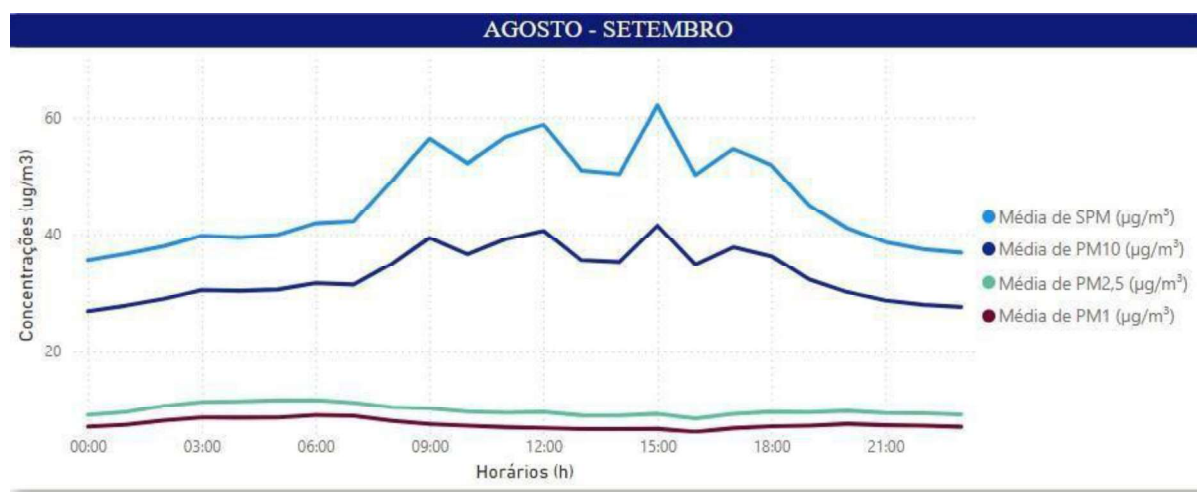
Figura 10 - Representação gráfica da concentração de PTS, MP10, MP2,5 E MP1 no período de setembro de 2024.



De mesma localização, o gráfico da estação 3 para o mês de setembro demonstra o mesmo comportamento do mês de agosto, no entanto, apresenta valores de concentrações mais baixos em comparação com o mês de agosto. Atinge o horário de pico mais alto às 02h da manhã, alcançando as concentrações médias de $32,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS, $28,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10, $23,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM2,5 e $16,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM1. Quando comparamos com as concentrações estabelecidas como padrões de qualidade do ar pela Resolução nº 491/2018, temos que todos estão abaixo do estabelecido, uma vez que o estabelecido para o PM10 é $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e PM2,5 é $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, diferente do mês de agosto, que apresenta um padrão acima do determinado.

A redução da concentração dos poluentes em setembro pode indicar que a queima do canavial estaria diminuindo, resultando em uma menor emissão direta de partículas na atmosfera. Como o SINFOMET, equipamento usado para a medição do material particulado, não possui medição de intensidade e direção dos ventos, não podemos fazer essa comparação com os meses de agosto e setembro, porém, em setembro, as condições climáticas podem ter mudado, com o aumento da precipitação e ventos mais intensos, pode ter aumentado a dispersão dos poluentes e reduzido suas concentrações no ar.

Figura 11 - Representação gráfica da concentração de PTS, MP10, MP2,5 E MP1 no período de agosto a setembro de 2024.



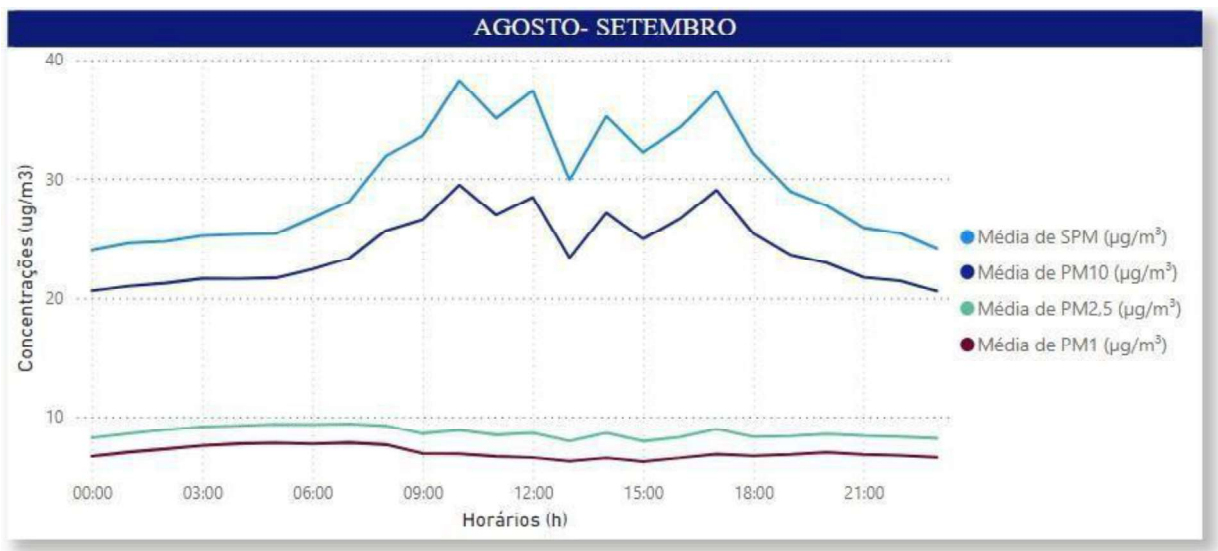
Na estação 2, localizada na BR-230, KM 13,3, instalada na Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAR), pode-se observar que a concentração de material particulado tem o aumento a partir das 06h horas da manhã, e atinge seu ápice de maior concentração por volta das 15h da tarde, alcançando as concentração de 62,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS, 41,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MP10, 9,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MP2,5 e 6,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MP1. No início da noite inicia-se o decréscimo da concentração, devido à diminuição do fluxo de automóveis, mantendo a concentração média de 36,65, 27,52, 9,25 e 7,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PTS, PM10, PM2,5 e PM1 respectivamente. Quando comparamos com as concentrações estabelecidas como padrões de qualidade do ar pela Resolução nº 491/2018, temos que todos estão abaixo do estabelecido, uma vez que o estabelecido é para o MP10 é 50 e MP2,5 é 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Podemos observar que os valores de PTS e PM10 foram mais elevados em comparação com as estações de monitoramento instaladas em outros locais. Esse aumento pode ser explicado pela proximidade com a indústria alimentícia São Braz, que fica ao lado da EMPAER. Os processos industriais, classificados como fontes antropogênicas fixas, incluem operações como moagem, secagem e o uso de fornos, caldeiras e outros equipamentos que funcionam com a queima de combustíveis. Essas atividades liberam partículas no ar, impactando a qualidade do ar local e podendo contribuir para a formação de poluentes secundários.

O tráfego frequente de veículos e transporte de cargas na BR intensifica a emissão de poluentes, resultando na suspensão de partículas já depositadas no solo, especialmente

em períodos de tempo seco, aumentando ainda mais a concentração de material particulado no ar, essas fontes são classificadas em antropogênicas móveis. A ausência de barreiras naturais, como árvores ou edificações, que possam reduzir ou dispersar as substâncias poluentes, também contribui para a manutenção desses níveis elevados, principalmente nessa área entre João Pessoa e Cabedelo, onde o comércio e o setor de serviços são mais ativos.

Figura 12 - Representação gráfica da concentração de PTS, MP10, MP2,5 E MP1 no período de agosto a setembro de 2024.



Na estação 1, localizada na Rua Mar do Caribe, número 206, instalada na empresa VITRIUM, pode-se observar que a concentração de material particulado tem o aumento a partir das 05h horas da manhã, e atinge seu ápice de maior concentração por volta das 10h da manhã, alcançando as concentrações de 38,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS, 29,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MP10, 8,88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MP2,5 e 6,94 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ MP1. No início da noite inicia-se o decréscimo da concentração, devido à diminuição do fluxo de automóveis, mantendo a concentração média de 27,78, 22,84, 8,33 e 6,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para PTS, PM10, PM2,5 e PM1 respectivamente. Quando comparamos com as concentrações estabelecidas como padrões de qualidade do ar pela Resolução nº 491/2018, temos que todos estão abaixo do estabelecido, uma vez que o estabelecido para o MP10 é 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e MP2,5 é 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Semelhante a estação 2, a estação 1 fica próxima a BR-230, trecho que liga João Pessoa a Cabedelo, que apresenta um fluxo constante de automóveis e veículos pesados que gera altas emissões, como poeira, partículas oriundas do desgaste dos pneus, freios e

pavimentos, além da queima de combustíveis, como também, emissões industriais (produção de massas, concreto, tintas e outros insumos para construção civil). As fontes de emissão associadas a essa área são classificadas como fontes antropogênicas móveis e fixas, pois estão relacionadas ao movimento de veículos, as atividades humanas e as emissões industriais.

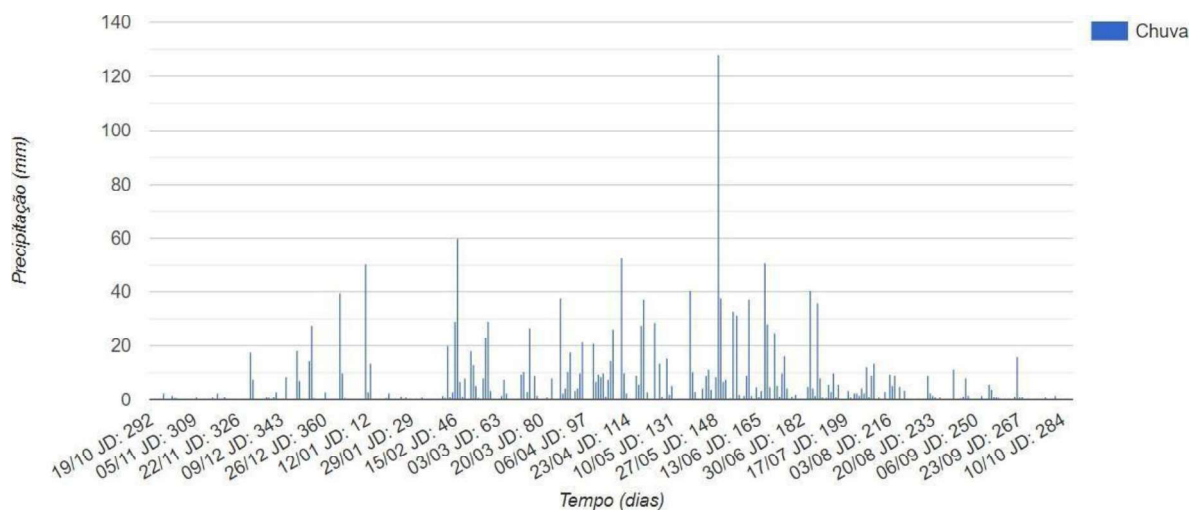
5.1. CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS E A DISPERSÃO DE POLUENTES

As condições sazonais e meteorológicas desempenham um papel crucial na dispersão do material particulado (MP) na atmosfera. Fatores como a variação de temperatura, a intensidade e a direção dos ventos, além dos níveis de umidade e pressão atmosférica, influenciam diretamente na capacidade de dispersão e concentração das partículas. Durante os meses mais secos, por exemplo, a redução na umidade do ar e a maior ocorrência de ventos favorecem a suspensão de partículas no ambiente, enquanto nos períodos chuvosos, o aumento da precipitação contribui para a remoção do MP da atmosfera, reduzindo sua concentração.

O mês de agosto marca o início do período típico de estiagem em todo o estado da Paraíba, que se estende até dezembro. Em janeiro, as chuvas começam a se intensificar, embora o mês ainda seja considerado relativamente seco em comparação com os meses seguintes. A partir de fevereiro, o volume de chuvas aumenta gradualmente e, em março, essa tendência continua.

A partir de abril, o período chuvoso se consolida, trazendo precipitações mais frequentes e consistentes, o que contribui significativamente para o aumento da umidade. Esse período chuvoso se estende até julho. Com o retorno de agosto, a seca começa novamente, reiniciando o ciclo climático anual, como mostrado na figura a seguir:

Figura 13 - Pluviometria de João Pessoa de outubro de 2023 a outubro de 2024.



Fonte: Estação Pluviométrica LARHENA, na UFPB, 2024. Período analisado: 10/10/2023 à 10/10/2024

Em períodos de maior temperatura, especialmente no verão, o aumento da convecção (movimento ascendente do ar quente) pode facilitar a dispersão de partículas na atmosfera. Isso tende a reduzir as concentrações de MP perto do solo, pois as partículas são mais facilmente dispersadas para níveis mais altos da atmosfera.

Em contraste, durante os períodos mais frios, pode haver menos movimento convectivo, e as partículas tendem a permanecer mais próximas da superfície, resultando em concentrações mais elevadas de MP. Entretanto, nos períodos chuvosos ocorre a remoção de partículas pelo processo de lavagem atmosférica que diminui as concentrações de MP.

A umidade relativa, que tende a ser mais alta durante os meses chuvosos, pode afetar a formação de partículas secundárias, especialmente os aerossóis de sulfato e nitrato. O aumento da umidade favorece as reações químicas na atmosfera que podem aumentar a concentração de partículas finas (MP_{2,5}). Assim, em períodos mais úmidos, pode ocorrer maior formação de material particulado secundário, apesar da remoção de partículas pela chuva.

A proximidade do mar, é mais um fator que acresce as precipitações no litoral, uma vez que as brisas também ajudam na formação de chuvas, aumentando os totais pluviométricos de outros sistemas como as massas de ar e os alísios. As brisas resultam do aquecimento e resfriamento desigual do continente (terra) e da água (FEDOROVA, 2001 apud MELLO; FERREIRA, 2005).

Durante o dia o continente se aquece mais rapidamente que o oceano adjacente, fazendo com que a pressão sobre o continente seja mais baixa que sobre o oceano. Isto faz

com que o vento à superfície sopra do oceano para o continente, vento esse denominado de brisa marítima. A brisa marítima chega a penetrar até 100 km para dentro do continente. No período da noite o continente perde calor mais rapidamente que o oceano, fazendo com que esse fique com temperaturas mais elevadas. Dessa forma a pressão fica maior sobre o continente, fazendo com que o vento sopra do litoral para o oceano, vento esse chamado de brisa terrestre. A brisa terrestre também afeta até 100 km para dentro do mar. (MELLO; FERREIRA, 2005).

5.2. ESTRATÉGIAS PARA MITIGAÇÃO DAS EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Para melhorar a qualidade do ar e proteger a saúde pública é preciso adotar medidas para mitigar a geração de poluentes tanto por automóveis, industriais como de ações humanas. A infraestrutura rodoviária pode ser aprimorada para reduzir a poluição decorrente do tráfego. Isso inclui a ampliação de faixas de rolamento e a manutenção regular das vias para evitar congestionamentos, que aumentam as emissões de poluentes devido ao tráfego lento e aos veículos parados. Além disso, a criação de barreiras vegetais ao longo da rodovia, como cinturões verdes, pode ajudar a capturar o material particulado e outros poluentes, limitando sua dispersão para as áreas circundantes.

O incentivo ao uso de veículos elétricos, híbridos ou com tecnologia de baixa emissão é fundamental para reduzir a poluição. Contudo, veículos que apresentam essas vantagens não são de fácil acesso, devido ao alto valor de custo, por isso, a implementação de programas de inspeção e manutenção veicular periódicos também ajuda a garantir que os automóveis estejam em boas condições de funcionamento, evitando a emissão excessiva de poluentes devido a falhas mecânicas. O uso de transporte público ajuda a reduzir o número de automóveis em circulação, o que diminui proporcionalmente a poluição gerada.

No caso do canavial, a substituição gradual da queima por colheita mecanizada é uma alternativa eficaz, pois elimina a necessidade de queima prévia da cana-de-açúcar, que é realizada para facilitar a colheita manual. A mecanização permite a coleta da cana verde, mantendo a palha e outros resíduos no solo, o que contribui para a conservação do solo e a redução de emissões atmosféricas. Para facilitar essa transição, incentivos fiscais e subsídios podem ser oferecidos aos produtores para a compra de máquinas de colheita e a adaptação de suas operações agrícolas.

Para reduzir as emissões de poluentes provenientes de fontes antropogênicas fixas

nas áreas com muitas empresas de materiais de construção civil, podem ser adotadas várias estratégias de mitigação. Equipar as instalações com filtros de manga ou lavadores de gases para capturar partículas e poluentes antes que sejam liberados na atmosfera, podem remover grande parte dos contaminantes gerados por processos como moagem, mistura e aplicação de tintas. Incentivar o uso de tintas, solventes e materiais de construção com baixa emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) e outras substâncias tóxicas. Materiais mais sustentáveis e de composição menos nociva podem ajudar a reduzir a carga de poluentes no ar. A criação de cinturões verdes ao redor das indústrias, com espécies vegetais adequadas, pode ajudar a absorver poluentes e reduzir a propagação de partículas no ambiente.

5.3. ÍNDICES DE QUALIDADE DO AR: DADOS POR ESTAÇÃO DE MONITORAMENTO

As tabelas a seguir resumem os resultados dos IQAr registrados ao longo do período de estudo, oferecendo uma visão clara das variações nos níveis de poluição entre as estações. Isso facilita a identificação de padrões sazonais, variações diárias e áreas críticas, bem como a análise das possíveis fontes de emissão. A apresentação desses dados é essencial para entender o impacto das atividades locais na qualidade do ar, servindo como base para a elaboração de estratégias de mitigação e controle da poluição.

Utilizando a Tabela 2 e a Equação 1, foi definido o IQAr do MP10 e MP2,5 de cada estação no período de estudo.

Tabela 6 - Índice de qualidade do ar da estação 1, instalada na VITRIUM.

AGOSTO/SETEMBRO					
Datetime	Média MP10	Média MP2,5	IQAr MP10	IQAr MP2,5	Índice
23/08/2024	19,83	41,79	33,43	31,73	Boa
24/08/2024	15,91	35,33	28,26	25,46	Boa
25/08/2024	12,01	29,33	23,46	19,21	Boa
26/08/2024	11,61	30,08	24,06	18,58	Boa
27/08/2024	12,38	32,95	26,36	19,80	Boa
28/08/2024	7,45	22,36	17,89	11,92	Boa
29/08/2024	11,67	30,36	24,29	18,67	Boa
30/08/2024	14,66	32,86	26,29	23,46	Boa
31/08/2024	11,06	27,81	22,25	17,70	Boa
01/09/2024	5,51	20,10	16,08	8,82	Boa
02/09/2024	6,65	20,35	16,28	10,64	Boa
03/09/2024	11,65	25,83	20,67	18,64	Boa
04/09/2024	12,56	28,68	22,95	20,09	Boa
05/09/2024	8,21	29,43	23,54	13,14	Boa
06/09/2024	9,59	28,55	22,84	15,35	Boa
07/09/2024	11,54	30,30	24,24	18,47	Boa
08/09/2024	11,06	23,59	18,87	17,69	Boa
09/09/2024	12,39	31,64	25,31	19,83	Boa
10/09/2024	9,40	25,54	20,43	15,03	Boa
11/09/2024	5,29	16,05	12,84	8,47	Boa
12/09/2024	4,34	17,34	13,87	6,95	Boa
13/09/2024	4,35	16,14	12,91	6,97	Boa
14/09/2024	4,80	17,42	13,94	7,67	Boa
15/09/2024	5,97	17,78	14,22	9,55	Boa
16/09/2024	6,10	18,80	15,04	9,76	Boa
17/09/2024	6,23	20,23	16,19	9,97	Boa
18/09/2024	7,14	21,88	17,51	11,42	Boa
19/09/2024	7,00	22,00	17,60	11,19	Boa
20/09/2024	7,28	23,01	18,41	11,64	Boa
21/09/2024	8,54	22,24	17,79	13,67	Boa
22/09/2024	6,41	16,26	13,01	10,26	Boa
23/09/2024	6,36	15,78	12,63	10,18	Boa
24/09/2024	6,79	15,21	12,17	10,86	Boa
25/09/2024	6,90	24,39	19,51	11,03	Boa
26/09/2024	5,83	19,97	15,98	9,33	Boa
27/09/2024	6,68	25,94	20,76	10,69	Boa
28/09/2024	6,78	25,39	20,31	10,84	Boa

A tabela apresenta os índices de Qualidade do Ar (IQAr) registrados pela estação 1 de monitoramento durante os meses de agosto e setembro de 2024. Os dados indicam que, ao longo do período analisado, os índices mantiveram-se consistentemente na faixa "boa", o que significa que as concentrações de poluentes permaneceram em níveis baixos, considerados seguros para a saúde da população. Esse resultado sugere que, nos meses de estudo, as condições atmosféricas e as possíveis fontes de poluição não impactaram de forma significativa a qualidade do ar na região monitorada, garantindo um ambiente mais saudável para a comunidade.

Tabela 7 - Índice de qualidade do ar da estação 2, instalada na EMPAER.

AGOSTO/SETEMBRO					
Datetime	Média MP10	Média MP2,5	IQAr MP10	IQAr MP2,5	Índice
22/08/2024	19,88	43,58	34,87	31,80	Boa
23/08/2024	20,83	49,99	39,99	33,32	Boa
24/08/2024	16,57	41,55	33,24	26,51	Boa
25/08/2024	12,72	32,36	25,89	20,35	Boa
26/08/2024	12,74	37,87	30,30	20,38	Boa
27/08/2024	13,54	37,56	30,05	21,66	Boa
28/08/2024	8,75	29,51	23,61	14,01	Boa
29/08/2024	12,56	38,89	31,11	20,09	Boa
30/08/2024	15,81	43,02	34,42	25,30	Boa
31/08/2024	13,25	34,64	27,71	21,20	Boa
01/09/2024	6,80	24,27	19,41	10,88	Boa
02/09/2024	7,98	29,14	23,31	12,76	Boa
03/09/2024	14,79	39,95	31,96	23,67	Boa
04/09/2024	13,49	35,70	28,56	21,58	Boa
05/09/2024	8,81	33,20	26,56	14,09	Boa
06/09/2024	12,96	43,32	34,65	20,73	Boa
07/09/2024	11,60	33,76	27,01	18,57	Boa
08/09/2024	11,72	33,28	26,63	18,76	Boa
09/09/2024	13,14	38,19	30,55	21,02	Boa
10/09/2024	10,81	41,68	33,34	17,30	Boa
11/09/2024	5,78	23,98	19,18	9,25	Boa
12/09/2024	5,40	29,51	23,61	8,64	Boa
13/09/2024	5,55	27,62	22,09	8,88	Boa
14/09/2024	5,38	25,70	20,56	8,61	Boa
15/09/2024	6,41	24,65	19,72	10,26	Boa
16/09/2024	6,64	26,74	21,39	10,62	Boa
17/09/2024	6,99	32,27	25,81	11,18	Boa
18/09/2024	8,25	32,22	25,78	13,19	Boa
19/09/2024	7,89	32,13	25,70	12,62	Boa
20/09/2024	8,05	30,00	24,00	12,88	Boa
21/09/2024	9,39	29,18	23,35	15,03	Boa
22/09/2024	6,17	22,39	17,91	9,87	Boa
23/09/2024	6,56	27,16	21,73	10,50	Boa
24/09/2024	7,21	28,88	23,10	11,54	Boa
25/09/2024	7,00	32,41	25,92	11,21	Boa
26/09/2024	6,51	34,74	27,79	10,42	Boa
27/09/2024	6,21	37,80	30,24	9,94	Boa
28/09/2024	6,37	29,04	23,23	10,19	Boa

A tabela apresenta os índices de Qualidade do Ar (IQAr) registrados pela estação 2 de monitoramento durante os meses de agosto e setembro de 2024. Os dados indicam que, ao longo do período analisado, os índices mantiveram-se consistentemente na faixa "boa", o que significa que as concentrações de poluentes permaneceram em níveis baixos, considerados seguros para a saúde da população. Esse resultado sugere que, nos meses de estudo, as condições atmosféricas e as possíveis fontes de poluição não impactaram de forma significativa a qualidade do ar na região monitorada, garantindo um ambiente mais saudável para a comunidade.

Tabela 8 - Índice de qualidade do ar da estação 3, instalada em Santa Rita.

Datetime	Média MP10	AGOSTO/SETEMBRO			Índice
		Média MP2,5	IQAr MP10	IQAr MP2,5	
21/08/2024	35,13	30,55	28,10	49,65	Moderada
22/08/2024	44,47	39,92	35,57	64,27	Moderada
23/08/2024	46,60	42,06	37,28	67,62	Moderada
24/08/2024	43,78	37,30	35,03	60,19	Moderada
25/08/2024	31,65	26,81	25,32	43,83	Moderada
26/08/2024	32,33	27,20	25,87	44,43	Moderada
27/08/2024	31,76	27,15	25,41	44,36	Moderada
28/08/2024	19,84	15,93	15,88	25,48	Boa
29/08/2024	29,25	25,29	23,40	41,45	Moderada
30/08/2024	44,92	37,92	35,94	61,16	Moderada
31/08/2024	32,20	27,50	25,76	44,90	Moderada
01/09/2024	18,90	15,50	15,12	24,79	Boa
02/09/2024	18,39	14,86	14,72	23,77	Boa
03/09/2024	28,06	24,68	22,44	39,49	Boa
04/09/2024	32,76	28,58	26,21	46,59	Moderada
05/09/2024	26,32	22,17	21,05	35,47	Boa
06/09/2024	31,24	25,68	24,99	42,06	Moderada
07/09/2024	33,49	28,54	26,79	46,52	Moderada
08/09/2024	27,13	24,13	21,70	38,61	Boa
09/09/2024	32,27	28,00	25,81	45,69	Moderada
10/09/2024	31,35	26,37	25,08	43,14	Moderada
11/09/2024	15,49	13,16	12,39	21,06	Boa
12/09/2024	15,50	10,65	12,40	17,04	Boa
13/09/2024	16,27	12,87	13,02	20,59	Boa
14/09/2024	18,28	14,15	14,63	22,64	Boa
15/09/2024	18,57	15,08	14,85	24,13	Boa
16/09/2024	20,82	17,00	16,65	27,21	Boa
17/09/2024	17,76	14,64	14,21	23,42	Boa
18/09/2024	20,98	17,26	16,78	27,62	Boa
19/09/2024	20,83	17,47	16,66	27,95	Boa
20/09/2024	25,78	20,78	20,63	33,26	Boa
21/09/2024	26,59	22,24	21,27	35,58	Boa
22/09/2024	20,91	17,34	16,73	27,74	Boa
23/09/2024	20,29	16,84	16,23	26,94	Boa
24/09/2024	17,68	15,17	14,14	24,27	Boa
25/09/2024	19,39	16,48	15,51	26,37	Boa
26/09/2024	16,13	13,08	12,91	20,93	Boa
27/09/2024	16,17	12,91	12,94	20,66	Boa
28/09/2024	16,08	13,18	12,87	21,09	Boa

A tabela a seguir mostra os índices de Qualidade do Ar (IQAr) registrados pela estação 3 de monitoramento durante os meses de agosto e setembro. De modo geral, os índices estiveram na faixa "boa", indicando que a qualidade do ar foi satisfatória na maior parte do período, com concentrações de poluentes em níveis seguros para a saúde. No

entanto, em alguns dias de agosto, os níveis de PM_{2,5} ultrapassaram os limites estabelecidos pela legislação, o que elevou a classificação do IQAr para a faixa "moderada" nesses dias. É importante ressaltar que o índice diário de qualidade do ar é determinado com base no poluente com a concentração mais alta, portanto, mesmo que os valores de PM₁₀ tenham permanecido dentro dos padrões aceitáveis, os dias com PM_{2,5} acima do limite influenciaram o IQAr, refletindo um nível moderado de poluição. Essa classificação sugere que a qualidade do ar não é ideal, especialmente para grupos sensíveis, como crianças, idosos e pessoas com problemas respiratórios ou cardíacos.

Tabela 9 - Índice de qualidade do ar da estação 4, instalada na SUDEMA.

NOVEMBRO					
Datetime	Média MP10	Média MP2,5	IQAr MP10	IQAr MP2,5	Índice
01/11/2023	9,06	2,05	7,25	3,28	Boa
02/11/2023	13,62	3,13	10,90	5,01	Boa
03/11/2023	16,15	3,64	12,92	5,83	Boa
04/11/2023	15,13	3,68	12,10	5,89	Boa
05/11/2023	11,94	3,06	9,56	4,90	Boa
06/11/2023	13,24	3,09	10,59	4,94	Boa
07/11/2023	11,84	3,09	9,47	4,94	Boa
08/11/2023	14,96	4,05	11,97	6,48	Boa
09/11/2023	14,60	3,69	11,68	5,90	Boa
10/11/2023	15,93	4,20	12,74	6,73	Boa
11/11/2023	11,57	2,84	9,25	4,54	Boa
12/11/2023	12,52	3,56	10,01	5,70	Boa
13/11/2023	11,11	3,22	8,89	5,15	Boa
14/11/2023	10,40	2,27	8,32	3,63	Boa
15/11/2023	9,95	2,11	7,96	3,37	Boa
16/11/2023	8,87	2,39	7,09	3,82	Boa
17/11/2023	9,14	2,15	7,32	3,45	Boa
18/11/2023	12,54	3,26	10,03	5,22	Boa
19/11/2023	13,06	3,23	10,45	5,17	Boa
20/11/2023	12,32	3,08	9,85	4,93	Boa
21/11/2023	11,73	2,69	9,38	4,30	Boa
22/11/2023	10,82	2,40	8,66	3,84	Boa
23/11/2023	10,42	2,32	8,34	3,72	Boa
24/11/2023	9,31	2,60	7,45	4,16	Boa
25/11/2023	10,63	3,42	8,50	5,47	Boa
26/11/2023	6,33	1,83	5,07	2,93	Boa
27/11/2023	9,06	2,88	7,25	4,61	Boa
28/11/2023	17,54	4,58	14,03	7,33	Boa
29/11/2023	18,59	6,27	14,87	10,03	Boa
30/11/2023	10,81	3,13	8,65	5,00	Boa

Tabela 10 - Índice de qualidade do ar da estação 4, instalada na SUDEMA.

DEZEMBRO					
Datetime	Média MP10	Média MP2,5	IQAr MP10	IQAr MP2,5	Índice
01/12/2023	6,32	2,04	5,06	3,26	Boa
02/12/2023	6,98	1,85	5,58	2,96	Boa
03/12/2023	7,17	2,39	5,74	3,83	Boa
04/12/2023	11,30	2,85	9,04	4,56	Boa
05/12/2023	11,34	3,06	9,07	4,89	Boa
06/12/2023	8,63	2,33	6,91	3,73	Boa
07/12/2023	9,67	2,60	7,73	4,15	Boa
08/12/2023	11,56	3,05	9,24	4,88	Boa
09/12/2023	15,65	4,36	12,52	6,97	Boa
10/12/2023	10,28	2,54	8,22	4,06	Boa
11/12/2023	13,66	3,46	10,93	5,53	Boa
12/12/2023	12,33	3,01	9,86	4,82	Boa
13/12/2023	12,59	2,90	10,08	4,63	Boa
14/12/2023	11,88	2,91	9,50	4,66	Boa
15/12/2023	11,21	2,81	8,97	4,50	Boa
16/12/2023	15,05	4,44	12,04	7,11	Boa
17/12/2023	10,80	3,40	8,64	5,44	Boa
18/12/2023	7,24	2,03	5,79	3,24	Boa
19/12/2023	9,61	2,31	7,69	3,70	Boa
20/12/2023	12,90	3,09	10,32	4,95	Boa
21/12/2023	19,00	5,03	15,20	8,05	Boa
22/12/2023	16,08	4,01	12,87	6,41	Boa
23/12/2023	8,57	2,41	6,85	3,85	Boa
24/12/2023	8,88	2,50	7,10	4,00	Boa
25/12/2023	6,90	1,81	5,52	2,89	Boa
26/12/2023	8,75	2,17	7,00	3,48	Boa
27/12/2023	11,87	3,41	9,50	5,46	Boa
28/12/2023	8,79	2,23	7,03	3,56	Boa
29/12/2023	6,72	2,23	5,37	3,57	Boa
30/12/2023	8,91	3,13	7,12	5,00	Boa
31/12/2023	14,02	4,77	11,21	7,64	Boa

Tabela 11 - Índice de qualidade do ar da estação 4, instalada na SUDEMA.

JANEIRO					
Datetime	Média MP10	Média MP2,5	IQAr MP10	IQAr MP2,5	Índice
01/01/2024	9,20	3,04	7,36	4,86	Boa
02/01/2024	5,85	2,21	4,68	3,54	Boa
03/01/2024	9,01	2,73	7,21	4,37	Boa
04/01/2024	9,55	2,65	7,64	4,24	Boa
05/01/2024	12,10	3,00	9,68	4,80	Boa
06/01/2024	8,30	2,40	6,64	3,84	Boa
07/01/2024	8,58	2,84	6,87	4,55	Boa
08/01/2024	10,75	3,77	8,60	6,03	Boa
09/01/2024	10,74	2,97	8,59	4,74	Boa
10/01/2024	8,49	2,17	6,80	3,47	Boa
11/01/2024	8,43	2,79	6,75	4,46	Boa
12/01/2024	10,12	2,97	8,10	4,75	Boa
13/01/2024	10,57	2,84	8,45	4,54	Boa
14/01/2024	10,19	2,69	8,15	4,30	Boa
15/01/2024	10,02	2,69	8,02	4,31	Boa
16/01/2024	7,61	2,05	6,09	3,28	Boa
17/01/2024	9,58	2,97	7,66	4,76	Boa
18/01/2024	12,13	4,54	9,71	7,27	Boa
19/01/2024	8,92	2,53	7,14	4,05	Boa
20/01/2024	10,48	3,44	8,38	5,51	Boa
21/01/2024	8,69	2,75	6,95	4,40	Boa
22/01/2024	13,32	3,96	10,66	6,33	Boa
23/01/2024	23,02	7,67	18,41	12,27	Boa
24/01/2024	25,62	9,25	20,50	14,80	Boa
25/01/2024	25,22	8,58	20,18	13,73	Boa
26/01/2024	19,96	6,26	15,97	10,02	Boa
27/01/2024	20,86	7,06	16,69	11,30	Boa
28/01/2024	20,36	6,81	16,29	10,90	Boa
29/01/2024	19,40	6,41	15,52	10,26	Boa
30/01/2024	17,94	6,71	14,35	10,73	Boa
31/01/2024	14,63	6,05	11,70	9,68	Boa

Tabela 12 - Índice de qualidade do ar da estação 4, instalada na SUDEMA.

FEVEREIRO					
Datetime	Média MP10	Média MP2,5	IQAr MP10	IQAr MP2,5	Índice
01/02/2024	10,68	4,52	8,55	7,24	Boa
02/02/2024	12,56	4,72	10,05	7,55	Boa
03/02/2024	8,73	2,54	6,98	4,06	Boa
04/02/2024	7,22	2,27	5,78	3,64	Boa
05/02/2024	10,31	3,27	8,25	5,23	Boa
06/02/2024	12,88	4,29	10,30	6,86	Boa
07/02/2024	13,60	4,28	10,88	6,84	Boa
08/02/2024	18,50	5,36	14,80	8,58	Boa
09/02/2024	23,49	6,28	18,79	10,05	Boa
10/02/2024	17,81	5,25	14,25	8,40	Boa
11/02/2024	12,53	3,76	10,02	6,02	Boa
12/02/2024	7,59	2,15	6,07	3,43	Boa
13/02/2024	8,54	2,36	6,83	3,77	Boa
14/02/2024	10,66	3,34	8,53	5,34	Boa
15/02/2024	18,67	5,15	14,94	8,24	Boa
16/02/2024	19,89	6,61	15,91	10,57	Boa
17/02/2024	13,31	3,81	10,65	6,09	Boa
18/02/2024	19,35	5,12	15,48	8,20	Boa
19/02/2024	7,01	2,15	5,61	3,43	Boa
20/02/2024	17,38	5,43	13,90	8,68	Boa
21/02/2024	18,15	4,84	14,52	7,74	Boa
22/02/2024	17,47	4,94	13,98	7,91	Boa
23/02/2024	15,10	4,19	12,08	6,70	Boa
24/02/2024	12,98	3,52	10,39	5,63	Boa
25/02/2024	14,52	3,87	11,62	6,19	Boa
26/02/2024	8,40	2,47	6,72	3,96	Boa
27/02/2024	8,73	2,85	6,99	4,56	Boa
28/02/2024	4,76	1,65	3,81	2,64	Boa
29/02/2024	7,32	2,72	5,85	4,35	Boa

Tabela 13 - Índice de qualidade do ar da estação 4, instalada na SUDEMA.

ABRIL					
Datetime	Média MP10	Média MP2,5	IQAr MP10	IQAr MP2,5	Índice
01/04/2024	4,95	1,93	3,96	3,10	Boa
02/04/2024	2,95	1,27	2,36	2,03	Boa
03/04/2024	2,94	1,17	2,35	1,87	Boa
04/04/2024	5,00	1,44	4,00	2,31	Boa
05/04/2024	5,65	1,92	4,52	3,07	Boa
06/04/2024	4,91	1,55	3,93	2,48	Boa
07/04/2024	2,42	1,00	1,93	1,60	Boa
08/04/2024	3,05	1,07	2,44	1,71	Boa
09/04/2024	5,38	1,62	4,31	2,59	Boa
10/04/2024	4,27	1,47	3,41	2,35	Boa
11/04/2024	5,14	1,67	4,11	2,67	Boa
12/04/2024	5,63	1,56	4,50	2,50	Boa
13/04/2024	3,58	1,30	2,87	2,09	Boa
14/04/2024	3,52	1,17	2,82	1,86	Boa
15/04/2024	5,68	1,49	4,55	2,38	Boa
16/04/2024	10,44	2,55	8,35	4,09	Boa
17/04/2024	7,79	2,42	6,23	3,86	Boa
18/04/2024	4,62	1,35	3,69	2,16	Boa
19/04/2024	3,61	1,42	2,89	2,26	Boa
21/04/2024	4,71	1,46	3,77	2,34	Boa
22/04/2024	11,63	2,75	9,30	4,40	Boa
23/04/2024	7,03	2,08	5,63	3,33	Boa
24/04/2024	9,80	2,71	7,84	4,34	Boa
25/04/2024	17,33	7,67	13,86	12,27	Boa
26/04/2024	16,13	4,28	12,91	6,85	Boa
27/04/2024	13,12	3,17	10,49	5,07	Boa
28/04/2024	6,60	2,28	5,28	3,64	Boa
29/04/2024	12,45	3,00	9,96	4,80	Boa
30/04/2024	12,50	4,13	10,00	6,60	Boa

Tabela 14 - Índice de qualidade do ar da estação 4, instalada na SUDEMA.

MAIO					
Datetime	Média MP10	Média MP2,5	IQAr MP10	IQAr MP2,5	Índice
01/05/2024	6,98	1,95	5,59	3,12	Boa
02/05/2024	7,18	2,11	5,75	3,38	Boa
03/05/2024	8,69	2,14	6,95	3,42	Boa
04/05/2024	7,15	2,06	5,72	3,29	Boa
05/05/2024	15,58	3,18	12,47	5,09	Boa
06/05/2024	9,32	2,44	7,45	3,91	Boa
07/05/2024	10,83	3,06	8,67	4,89	Boa
08/05/2024	9,36	2,42	7,48	3,87	Boa
09/05/2024	12,71	2,96	10,17	4,73	Boa
10/05/2024	10,44	2,54	8,35	4,06	Boa
11/05/2024	7,58	2,09	6,06	3,34	Boa
12/05/2024	7,78	2,11	6,22	3,38	Boa
13/05/2024	12,60	3,39	10,08	5,42	Boa
14/05/2024	9,79	2,63	7,83	4,20	Boa
15/05/2024	7,83	2,27	6,27	3,63	Boa
16/05/2024	7,01	1,81	5,61	2,90	Boa
18/05/2024	11,84	3,42	9,47	5,46	Boa
19/05/2024	8,67	2,50	6,93	4,00	Boa
20/05/2024	6,44	1,92	5,15	3,07	Boa
21/05/2024	12,71	3,13	10,16	5,00	Boa
22/05/2024	18,00	4,75	14,40	7,60	Boa
23/05/2024	12,90	3,25	10,32	5,20	Boa
24/05/2024	17,67	7,36	14,13	11,78	Boa
25/05/2024	8,35	2,01	6,68	3,21	Boa
26/05/2024	11,19	2,86	8,95	4,58	Boa
27/05/2024	7,40	2,06	5,92	3,30	Boa
29/05/2024	9,08	2,57	7,27	4,11	Boa
30/05/2024	6,13	1,70	4,91	2,72	Boa
31/05/2024	9,79	6,85	7,83	10,96	Boa

Tabela 15 - Índice de qualidade do ar da estação 4, instalada na SUDEMA.

JUNHO					
Datetime	Média MP10	Média MP2,5	IQAr MP10	IQAr MP2,5	Índice
01/06/2024	6,75	1,88	5,40	3,00	Boa
02/06/2024	15,06	3,50	12,05	5,60	Boa
03/06/2024	7,14	2,05	5,71	3,28	Boa
04/06/2024	11,50	3,05	9,20	4,88	Boa
05/06/2024	17,80	4,01	14,24	6,42	Boa
06/06/2024	12,75	3,00	10,20	4,80	Boa
07/06/2024	9,06	2,39	7,25	3,83	Boa
08/06/2024	13,29	3,00	10,63	4,80	Boa
09/06/2024	13,89	3,07	11,11	4,91	Boa
10/06/2024	10,73	2,15	8,58	3,43	Boa
11/06/2024	13,06	2,84	10,45	4,54	Boa
12/06/2024	12,60	2,92	10,08	4,67	Boa
13/06/2024	10,03	2,26	8,02	3,62	Boa
14/06/2024	7,46	1,98	5,97	3,17	Boa
15/06/2024	5,13	1,94	4,10	3,10	Boa
16/06/2024	16,73	4,00	13,38	6,39	Boa
17/06/2024	14,83	3,35	11,87	5,36	Boa
18/06/2024	13,78	3,01	11,03	4,82	Boa
19/06/2024	13,60	3,19	10,88	5,11	Boa
20/06/2024	12,31	2,89	9,85	4,62	Boa
21/06/2024	8,96	2,29	7,17	3,67	Boa
22/06/2024	14,42	3,47	11,53	5,55	Boa
23/06/2024	15,46	3,76	12,37	6,02	Boa
24/06/2024	8,67	2,25	6,93	3,60	Boa
25/06/2024	15,42	4,32	12,33	6,91	Boa
26/06/2024	12,79	3,54	10,23	5,66	Boa
27/06/2024	8,94	2,53	7,15	4,04	Boa
28/06/2024	7,96	2,96	6,37	4,74	Boa
29/06/2024	8,06	4,00	6,45	6,40	Boa
30/06/2024	10,17	4,08	8,14	6,53	Boa

Tabela 16 - Índice de qualidade do ar da estação 4, instalada na SUDEMA.

JULHO					
Datetime	Média MP10	Média MP2,5	IQAr MP10	IQAr MP2,5	Índice
01/07/2024	11,89	3,17	9,51	5,07	Boa
02/07/2024	9,89	2,97	7,91	4,76	Boa
03/07/2024	13,48	3,46	10,78	5,53	Boa
04/07/2024	7,50	2,09	6,00	3,34	Boa
05/07/2024	11,31	3,35	9,04	5,35	Boa
06/07/2024	12,43	3,11	9,95	4,97	Boa
07/07/2024	12,38	3,21	9,90	5,13	Boa
08/07/2024	5,67	1,47	4,53	2,35	Boa
09/07/2024	18,24	4,19	14,59	6,71	Boa
10/07/2024	22,17	5,28	17,73	8,45	Boa
11/07/2024	7,39	2,44	5,91	3,91	Boa
12/07/2024	22,71	7,00	18,17	11,21	Boa
13/07/2024	10,81	2,33	8,65	3,73	Boa
14/07/2024	11,92	2,94	9,53	4,70	Boa
15/07/2024	9,04	2,13	7,23	3,40	Boa
16/07/2024	10,46	2,46	8,37	3,94	Boa
17/07/2024	12,58	2,92	10,07	4,67	Boa
18/07/2024	12,62	3,05	10,09	4,88	Boa
19/07/2024	17,75	6,00	14,20	9,60	Boa
20/07/2024	5,83	1,58	4,67	2,53	Boa
21/07/2024	9,05	2,80	7,24	4,48	Boa
22/07/2024	11,53	4,32	9,23	6,91	Boa
23/07/2024	9,29	4,30	7,43	6,87	Boa
24/07/2024	7,10	1,78	5,68	2,85	Boa
25/07/2024	10,04	2,25	8,03	3,60	Boa
26/07/2024	9,80	2,14	7,84	3,42	Boa
27/07/2024	9,84	2,72	7,87	4,36	Boa
28/07/2024	15,08	5,55	12,06	8,87	Boa
29/07/2024	27,00	11,58	21,60	18,53	Boa
30/07/2024	20,00	7,96	16,00	12,74	Boa
31/07/2024	12,00	4,31	9,60	6,90	Boa

Tabela 17 - Índice de qualidade do ar da estação 4, instalada na SUDEMA.

AGOSTO/SETEMBRO					
Datetime	Média MP10	Média MP2,5	IQAr MP10	IQAr MP2,5	Índice
01/08/2024	13,25	5,00	10,60	8,00	Boa
02/08/2024	8,90	2,48	7,12	3,97	Boa
03/08/2024	9,39	2,13	7,51	3,41	Boa
04/08/2024	12,08	3,47	9,67	5,55	Boa
05/08/2024	13,78	3,20	11,03	5,12	Boa
06/08/2024	10,61	2,58	8,49	4,13	Boa
07/08/2024	13,10	3,22	10,48	5,15	Boa
08/08/2024	11,00	3,18	8,80	5,09	Boa
09/08/2024	6,98	1,72	5,59	2,75	Boa
10/08/2024	6,59	1,86	5,27	2,97	Boa
11/08/2024	10,83	3,17	8,67	5,06	Boa
12/08/2024	11,06	4,28	8,85	6,85	Boa
13/08/2024	14,84	6,70	11,87	10,71	Boa
14/08/2024	23,45	11,82	18,76	18,91	Boa
15/08/2024	26,92	15,07	21,53	24,11	Boa
16/08/2024	22,06	11,19	17,65	17,90	Boa
17/08/2024	11,11	4,47	8,89	7,16	Boa
18/08/2024	8,39	3,28	6,71	5,24	Boa
19/08/2024	8,40	2,71	6,72	4,34	Boa
20/08/2024	18,92	9,67	15,13	15,46	Boa
21/08/2024	16,89	8,33	13,51	13,33	Boa
22/08/2024	37,52	17,54	30,02	28,06	Boa
23/08/2024	32,75	17,88	26,20	28,60	Boa
24/08/2024	23,00	11,50	18,40	18,40	Boa
25/08/2024	17,54	9,50	14,03	15,20	Boa
26/08/2024	29,08	11,58	23,26	18,53	Boa
27/08/2024	14,90	6,95	11,92	11,12	Boa
28/08/2024	11,54	4,54	9,23	7,26	Boa
29/08/2024	33,17	12,00	26,53	19,19	Boa
30/08/2024	16,67	8,00	13,34	12,80	Boa
31/08/2024	7,42	2,00	5,94	3,20	Boa
01/09/2024	9,50	3,13	7,60	5,00	Boa
02/09/2024	16,94	9,33	13,55	14,93	Boa
03/09/2024	13,25	7,36	10,60	11,78	Boa
04/09/2024	10,92	4,42	8,74	7,07	Boa
05/09/2024	15,67	7,67	12,54	12,27	Boa
06/09/2024	17,50	9,00	14,00	14,40	Boa
07/09/2024	19,72	8,67	15,78	13,87	Boa
08/09/2024	18,42	8,92	14,74	14,27	Boa
09/09/2024	13,22	5,70	10,58	9,11	Boa

As tabelas 10 a 17 apresentam os índices de Qualidade do Ar (IQAr) registrados pela estação 4 de monitoramento durante os meses de novembro de 2023 a setembro de 2024. Os dados indicam que, ao longo do período analisado, os índices mantiveram-se consistentemente na faixa "boa", o que significa que as concentrações de poluentes permaneceram em níveis baixos, considerados seguros para a saúde da população. Esse resultado sugere que, nos meses de estudo, as condições atmosféricas e as possíveis fontes de poluição não impactaram de forma significativa a qualidade do ar na região monitorada, garantindo um ambiente mais saudável para a comunidade.

6. CONCLUSÃO

Após uma avaliação detalhada das emissões de material particulado (MP) nas estações de coleta localizadas em João Pessoa, Cabedelo e Santa Rita, no estado da Paraíba, identificou-se os valores de emissão de material particulado que demonstraram maior concentração em cada estação de monitoramento.

Na estação 1, nos meses de agosto e setembro, apresentou concentração média de $38,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS, $29,47 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP10, $8,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP2,5 e $6,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP1; na estação 2, nos meses de agosto e setembro, apresentou concentração de $62,80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS, $41,43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP10, $9,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP2,5 e $6,72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP1. Localizadas em Cabedelo, as fontes de emissão associadas a essas estações são classificadas como fontes antropogênicas móveis e fixas.

Na estação 3, no mês de agosto, apresentou concentração média de $47,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS, $42,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP10, $34,77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP2,5 e $26,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP1; e no mês de setembro, apresentou concentração média de $32,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS, $28,87 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP10, $23,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP2,5 e $16,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP1. Localizada em Santa Rita, as fontes de emissão presentes nessa área são consideradas fontes antropogênicas fixas, e se caracterizou como a estação que detectou os índices de maiores emissões de material particulado, ultrapassando, em agosto, o limite estabelecido para MP2,5.

Na estação 4, nos meses de novembro de 2023 a setembro de 2024, apresentou concentração média de $27,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PTS, $19,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP10, $6,81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP2,5 e $5,73 \mu\text{g}/\text{m}^3$ MP1, localizada em João Pessoa, as fontes de emissão associadas a essas estações são classificadas como fontes antropogênicas móveis.

Quando comparamos os indicadores de MP coletados com o limite permitido pela

Resolução nº 491/2018, infere-se que as estações 1,2, 3 (no mês de setembro) e 4 estão com concentrações abaixo do limite e , assim, segundo os padrões de qualidade do ar, o ar dessas regiões foi classificada com IQAr de índice na faixa “boa”. Na estação 3, no mês de agosto, a qualidade do ar foi classificada com IQAr de índice na faixa “moderado”.

Os resultados obtidos na avaliação da emissão de material particulado na grande João Pessoa evidenciam a influência significativa das fontes de emissão antropogênicas e das condições meteorológicas na qualidade do ar local. A análise dos dados permitiu identificar áreas e períodos de maior concentração de poluentes, destacando a necessidade de medidas de controle mais eficazes para mitigar os impactos à saúde pública e ao meio ambiente. A continuidade do monitoramento e a expansão das estações de medição, juntamente com o uso de novas tecnologias para a análise não apenas do material particulado, mas também outros poluentes atmosféricos, são recomendadas para fornecer uma compreensão mais abrangente da dinâmica da poluição atmosférica na região. Assim, este estudo contribui para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à melhoria da qualidade do ar e reforça a importância de iniciativas integradas para a proteção ambiental.

REFERÊNCIAS

ARBEX, M. A. **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana-de-açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara**. 2001. 188 f. Tese (Doutorado em Medicina) -Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

A UNIÃO. Paraíba é segundo maior produtor de etanol do Nordeste. Economia, João Pessoa, 13 out. 2023. Disponível em: <https://auniao.pb.gov.br/noticias/economia/paraiba-e-segundo-maior-produtor-de-etanol-done#:~:text=Atualmente%2C%20o%20estado%20se%20encontra,de%20a%C3%A7%C3%BA%20para%2011%20pa%C3%ADses>. Acesso em: 28 set. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n.º 03, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0003-280690.PDF>. Acesso em: 15 set. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n.º 418, de 25 de novembro de 2009. Dispõe sobre critérios para a elaboração de Planos de Controle de Poluição Veicular - PCPV e dá outras providências. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/2022/04/Resolucao-CONAMA-418-2009.pdf>. Acesso em: 07 out. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n.º 492 de 20 de dezembro de 2018. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=765. Acesso em: 01 out. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Guia técnico: qualidade do ar. Brasília: MMA, [sd]. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/mma-guia-tecnico-qualidade-do-ar-pdf>. Acesso em: 15 set. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Cidades Sustentáveis: Qualidade do Ar. MMA, [sd]. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/qualidade>. Acesso em: 17 set. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n.º 491, de 19 de novembro de 2018. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 21 nov. 2018. Disponível em: https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603. Acesso em: 05 out. 2024.

CAVALCANTI, M. L. F.; D'EL REY, D. C. H.; LENCASTRE, E. F.; PILON, A. F.; SANTOS, S. O.; SOSSAI, J. A. Saúde na Escola – 1º Grau. 1ª Edição. São Paulo: Ibrasa,

1979.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Poluentes atmosféricos. São Paulo, sd. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/#:~:text=S%C3%A3o%20gases%20e%20vapores%20resultantes,e%20transfer%C3%A2ncia%20de%20combust%C3%A2vel%20etc>. Acesso em: 17 set. 2024.

BRASIL. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Plano de Controle de Poluição Veicular do Estado de São Paulo 2020-2022. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/wp-content/uploads/sites/6/2021/01/PCPV-Plano-de-Controle-de-Poluicao-Veicular-do-Estado-de-Sao-Paulo-2020-2022.pdf>. Acesso em: 10 set. 2024.

BRASIL. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE). São Paulo, sd. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/veicular/proconve/#:~:text=Estava%20criado%20o%20Proconve%20%E2%80%93%20Programa,do%20Ar%20por%20Ve%C3%ADculos%20>. Acesso em: 17 set. 2024.

DA ROCHA, G. O. **Avaliação de compostos iônicos majoritários presentes na fase gasosa e na fase particulada da atmosfera da região de Araraquara-SP**. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2003.

DOURADO, Thiago de Araújo. **Avaliação do teor de metais em material particulado MP_{2,5} e MP₁₀ nas cidades de Goiânia – GO e Rio Claro - SP empregando a técnica de fluorescência de raios X dispersiva em energia (EDXRF)**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Programa de Pós- Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2016.

FERREIRA, Antônio Geraldo, MELLO, Namir Giovanni da Silva. **Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre A Região Nordeste Do Brasil E A Influência Dos Oceanos Pacífico E Atlântico No Clima Da Região**. Revista Brasileira de Climatologia, Vol. 1, Nº 1, p. 15- 28, Dez. 2005.

GITARRA, Paloma. "João Pessoa"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/joao-pessoa.htm>. Acesso em 14 de setembro de 2024.

LEGISWEB. Resolução CONAMA Nº 490 DE 16/11/2018 . Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=369514> . Acesso em: 10 set. 2024.

LENZI, E. e FAVERO, L.O. B. **Introdução à química da atmosfera: ciência, vida e sobrevivência**. Editora CTC, Rio de Janeiro, 2009.

MAGALHÃES, L. C. **Estudo do material particulado atmosférico e metais associados as partículas totais em suspensão na cidade de Ouro Preto, MG**. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) – Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, Universidade

Federal de Ouro Preto, 2005.

MAIS SEGURO. **Material particular: entenda o que é e como pode ser prejudicial à saúde.** Disponível em: <https://blog.safesst.com.br/material-par>. Acesso em: 02 set. de 2024.

NÓBREGA, Luciana Alves da. **Modelagem da influência de poluentes atmosféricos veiculares e fatores meteorológicos em afecções respiratórias.** Dissertação (Mestrado em Modelos de Decisão e Saúde) – Programa de Pós- Graduação em Modelos de Decisão e Saúde, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

QUEIROZ, P. G. M. (2006). **Estudos da poluição do ar do município de Sete Lagoas, MG utilizando técnicas nucleares.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2006.

TORRES, F. T. P.; ROCHA, G. C.; RIBEIRO, G. A. Geociência Aplicada – Diferentes Abordagens. Minas Gerais: Geographica, 149 f. 2008.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Particulate matter research needs for human health risk assessment to support future reviews of the National Ambient Air Quality Standards for particulate matter. NC 27711, EPA/600/R- 97/132F, 1998.