

DESENVOLVIMENTO DE UM DISPOSITIVO ELETRÔNICO DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DO MATERIAL PARTICULADO NA ATMOSFERA: UM ESTUDO EM BAGÉ, RIO GRANDE DO SUL

Edgar Henrique de **Castro**¹, Andrea Valli **Nummer**²

(1 – Instituto Federal do Rio Grande do Sul - IFRS/Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, edgarhenri13@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3682-4565>, 2 – Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, anummer@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9271-442X>)

Resumo: Este estudo apresenta o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico de baixo custo para medir a quantidade de material particulado (MP2.5 e MP10) em suspensão na atmosfera, comparando os dados com as diretrizes de qualidade do ar do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). O material particulado é composto por partículas com diâmetros menores que 2,5 e 10 micrômetros, respectivamente, e pode causar problemas respiratórios, cardiovasculares e contribuir para o desenvolvimento de doenças crônicas. A exposição prolongada a essas partículas está associada a um aumento da mortalidade e morbidade, especialmente em populações urbanas e industriais. Crianças são particularmente vulneráveis, prejudicando o comprometimento da função pulmonar e aumentando as infecções respiratórias. A coleta de dados foi realizada na área urbana do município de Bagé, Rio Grande do Sul, em dois bairros residenciais simultaneamente durante 4 dias. O resultado revelou que a média de partículas suspensas no ar está acima das diretrizes de qualidade do ar do CONAMA. A pesquisa é relevante no contexto do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria, situado no estado do Rio Grande do Sul, e visa contribuir para a compreensão dos efeitos do material particulado na saúde humana e para a implementação de políticas eficazes de controle da poluição do ar.

Palavras-chave: Dispositivo, Material particulado, CONAMA, Bagé, Qualidade do Ar.

DEVELOPMENT OF A LOW-COST ELECTRONIC DEVICE FOR MONITORING PARTICULATE MATTER IN THE ATMOSPHERE: A STUDY IN BAGÉ, RIO GRANDE DO SUL

Abstract: This study presents the development of a low-cost electronic device to measure the amount of particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀) in suspension in the atmosphere, comparing the data with the air quality guidelines of the National Council for the Environment (CONAMA). Particulate matter consists of particles with diameters smaller than 2.5 and 10 micrometers, respectively, and can cause respiratory and cardiovascular problems, contributing to the development of chronic diseases. Prolonged exposure to these particles is associated with increased mortality and morbidity, especially in urban and industrial populations. Children are particularly vulnerable, which affects lung function and increases respiratory infections. Data collection was carried out in the urban area of Bagé, Rio Grande do Sul, in two residential neighborhoods simultaneously for 4 days. The result revealed that the average concentration of suspended particles in the air exceeds CONAMA's air quality guidelines. The research is relevant in the context of the Postgraduate Program in Geography at the Federal University of Santa Maria, located in the state of Rio Grande do Sul, and aims to contribute to understanding the effects of particulate matter on human health and the implementation of effective air pollution control policies.

Keywords: Device, Particulate matter, CONAMA, Bagé, Air Quality.

DESARROLLO DE UN DISPOSITIVO ELECTRÓNICO DE BAJO COSTO PARA MONITOREAR MATERIAL PARTICULADO EN LA ATMÓSFERA: UN ESTUDIO EN BAGÉ, RIO GRANDE DO SUL

Resumen: Este estudio desarrolló un dispositivo electrónico de bajo coste para medir las concentraciones de material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) en la atmósfera, comparando los datos con los estándares de calidad del aire del Consejo Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). El material particulado consta de partículas con diámetros menores a 2,5 y 10 micrómetros que pueden causar afecciones respiratorias y cardiovasculares, además de contribuir al desarrollo de enfermedades crónicas. La exposición prolongada se asocia a un incremento en la mortalidad y morbilidad, especialmente en zonas urbanas e industriales,

siendo los niños el grupo más vulnerable debido a que su exposición afecta la función pulmonar y aumenta el riesgo de infecciones respiratorias. Los datos se recolectaron en el área urbana de Bagé (Rio Grande do Sul, Brasil) durante cuatro días en dos barrios residenciales, revelando que la concentración promedio de partículas excede los límites establecidos por CONAMA. Esta investigación, enmarcada en el Programa de Posgrado en Geografía de la Universidad Federal de Santa Maria (UFSM, Brasil), busca comprender los efectos del material particulado en la salud humana y contribuir a la implementación de políticas eficaces de control de la contaminación atmosférica.

Palabras-clave: Dispositivo, Material particulado, CONAMA, Bagé, Calidad del aire.

1 - Introdução

O material particulado, denominado MP2.5 e MP10, refere-se a partículas suspensas no ar com diâmetros menores que 2,5 e 10 micrômetros, respectivamente. Originadas de fontes como queima de combustíveis fósseis, poeira e atividades industriais, essas partículas representam um grave risco à saúde humana. Devido ao seu tamanho reduzido, MP2.5 e MP10 podem penetrar profundamente nos pulmões, problemas causados por doenças e cardiovasculares, além de contribuir para doenças crônicas. A exposição prolongada está associada a um aumento na mortalidade e morbidade, especialmente em áreas urbanas e industriais.

Anualmente, cerca de 7 milhões de pessoas morrem prematuramente devido à exposição crônica ao ar poluído. Crianças são particularmente afetadas, causando comprometimento da função pulmonar, aumento de infecções respiratórias e agravamento da asma. Para os adultos, a poluição do ar contribui principalmente para cardiopatia isquêmica e acidente vascular cerebral, que são as principais causas de morte prematura associadas a esse fator ambiental (Organização Pan-Americana da Saúde, 2022).

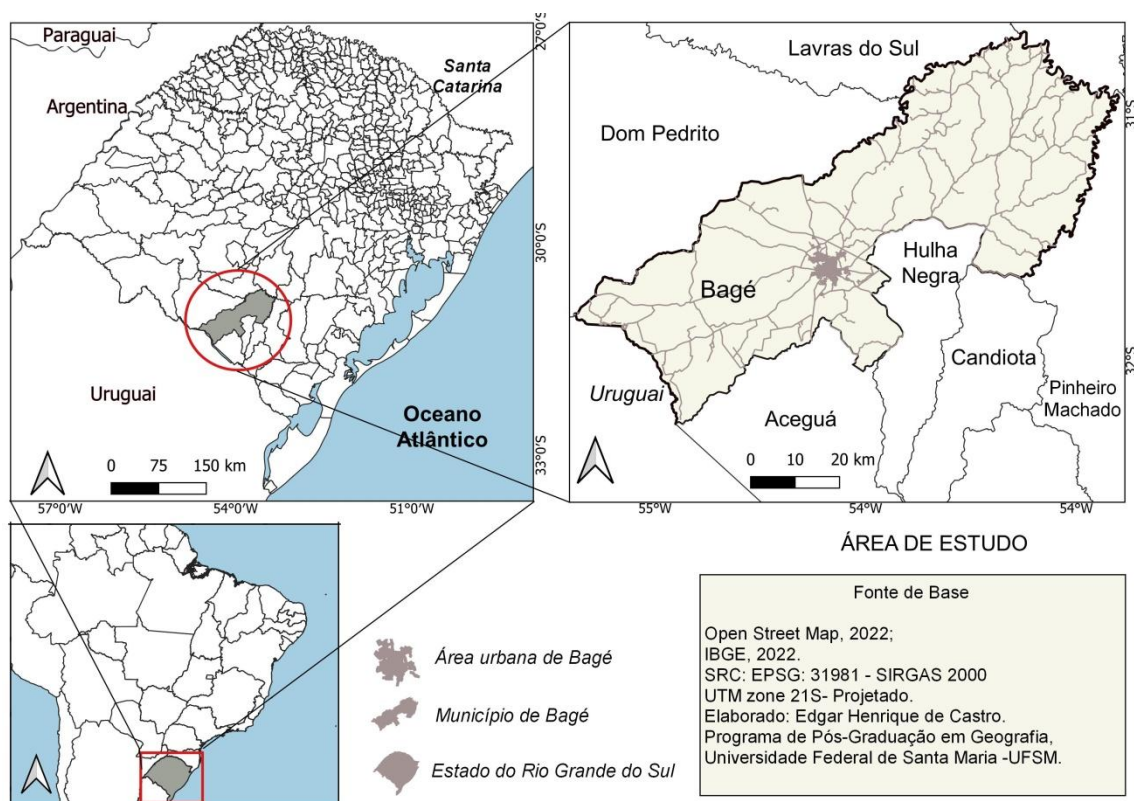
Além disso, é importante ressaltar que a exposição prolongada a essas partículas também pode aumentar o risco de desenvolvimento de doenças relacionadas ao neurodesenvolvimento e à neurodegeneração, acentuando ainda mais a importância de controlar e reduzir a emissão dessas partículas prejudiciais (Organização Pan-Americana da Saúde, 2022; Opiela *et al.*, 2022; Rienda *et al.*, 2023).

Portanto, a compreensão dos efeitos do material particulado na saúde humana é crucial para a implementação de políticas eficazes de controle da poluição do ar e para a proteção da saúde da população. A redução das emissões de fontes poluentes e a adoção de medidas de mitigação são essenciais para minimizar os impactos negativos do MP2.5 e MP10 na saúde pública.

Com base nas considerações que envolvem a saúde pública relacionada ao material particulado, este estudo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um dispositivo capaz de mensurar a quantidade de material em suspensão na atmosfera por meio de sensor de baixo custo. Nesta mesma perspectiva, os dados gerados pelo dispositivo serão comparados com as diretrizes de qualidade do ar estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

A coleta de dados foi realizada em dois pontos distintos da área urbana de Bagé, Figura 1, localizada no estado do Rio Grande do Sul, ao longo de um período de três dias. É relevante destacar que este estudo está em curso no âmbito do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria, também situada no estado do Rio Grande do Sul.

Figura 1 – Localização da área de Estudo.



2 - Referencial Teórico

2.1. Material particulado inalável

O termo técnico para as diversas categorias de partículas sólidas no ar, que podem se combinar com gotículas de água, é "poluente atmosférico por partículas" ou "material particulado inalável". Essas partículas variam em tamanho e composição química; algumas, como poeira e fuligem, são visíveis a olho nu e causam desconforto imediato, enquanto outras são tão pequenas que só podem ser bloqueadas com instrumentos especializados, como o recorte eletrônico. Partículas minúsculas podem penetrar no corpo e causar danos progressivos à saúde ao longo do tempo (Agência de Proteção Ambiental, 2023; Alves *et al.*, 2015; Chen *et al.*, 2024).

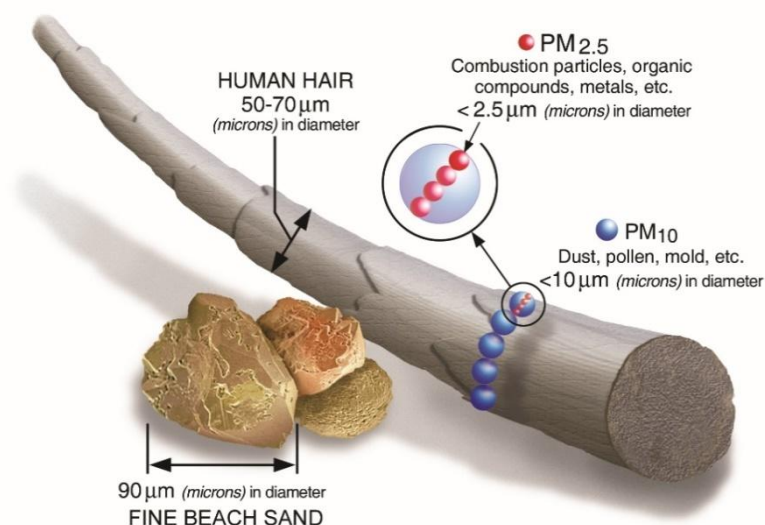
A partir desse prenúncio, a poluição por partículas está categorizada de acordo com seus respectivos tamanhos ou diâmetros aerodinâmicos:

- Partículas inaláveis, com diâmetros de até 10 micrômetros ou menores, com denominação abreviada MP10;
- Partículas finas inaláveis, com diâmetros de até 2,5 micrômetros ou menores, com denominação abreviada MP2.5;
- Partículas ultrafinas inaláveis, com diâmetro de até 1.0 micrômetro ou menor, com denominação abreviada MP1.0.

Nesse contexto, torna-se relevante enfatizar que a magnitude de 1 micrômetro corresponde exatamente a uma proporção de um milionésimo de metro, uma unidade de medida que ilustra com precisão a dimensão extremamente reduzida que essa escala representa, expressa numericamente como 10^{-6} .

Conforme a Figura 2, é possível observar que o fio de cabelo humano, com uma média de diâmetro calculada em cerca de 70 micrômetros, apresenta uma dimensão que é aproximadamente 28 vezes superior à medida estabelecida para o material particulado, conforme a especificação referente ao MP2.5.

Figura 2 – Comparações de tamanho para as partículas MP10 e MP2.5.



Fonte: Environmental Protection Agency, 2023.

Sob a abordagem dessa dimensão, merece destaque o papel central desempenhado pelo MP2.5 no âmbito da atividade acadêmica. O destaque é atribuído, em grande medida, às dimensões desse material particulado, o qual suscita preocupações substanciais em relação aos perigos que representam para a saúde humana, notadamente nos grandes núcleos urbanos. É importante ressaltar que uma multiplicidade de reflexões científicas vem sendo conduzida, particularmente na China e na Índia, abordando a temática da combustão decorrente tanto de partículas inaláveis quanto de emissões gasosas, e subsequentes influências desses poluentes nos padrões de qualidade de vida da população (Bera *et al.*, 2021; Chanchpara *et al.*, 2023; Chen *et al.*, 2024; Huang *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2024).

Existem diversas fontes responsáveis pela emissão dessas partículas poluentes, variando em sua natureza e associação com diferentes materiais de origem, que podem ser tanto naturais quanto resultado da atividade humana. Por exemplo, como partículas de material particulado liberadas de maneira natural na atmosfera podem derivar de fontes como poeira mineral que é levantada pelo vento a partir do solo, compostos presentes na maresia, emissões de atividades vulcânicas, pólen, esporos de fungos e até mesmo a queima espontânea de biomassa.

Por outro lado, as emissões antropogênicas, ou seja, aquelas causadas pela ação humana incluem a queima de combustíveis em veículos e usinas termelétricas, processos

industriais como os relacionados à produção de cimento, siderurgia, metalurgia e produtos químicos, atividades ligadas à construção civil e o uso frequente das lareiras durante o inverno nas cidades da campanha do Rio Grande do Sul (Santos; Reisjr e Galvão, 2022; Wang *et al.*, 2024).

De maneira geral, as partículas de material particulado com diâmetro de 10 micrômetros ou menos, conhecidas como MP10, demonstram uma associação mais significativa com processos de natureza mecânica. Esses processos englobam atividades como mineração, obras de construção civil e o revolvimento do solo. É válido ressaltar que, nesse contexto, as fontes geradoras dessas partículas são categorizadas como primárias, dado o caráter direto de sua emissão.

Em contrapartida, as partículas de menor tamanho, como nos casos do MP2.5 e MP1.0, apresentam uma origem predominantemente vinculada a processos não mecânicos. Isso se deve ao fato de que essas partículas se formam como resultado de reações químicas que ocorrem durante o transporte de certos gases na atmosfera. Tais partículas, definidas como partículas secundárias, não são geradas de maneira direta, mas sim como produtos secundários das reações químicas, caracterizando uma natureza mais complexa e indireta de sua formação (Santos; Reisjr e Galvão, 2022).

Devido à presença de inúmeras complexidades associadas à poluição atmosférica originada por partículas em suspensão, resultando da mistura de diversos componentes que influenciam características como tamanho, forma, massa e composição química, a tarefa de realizar a identificação precisa de todos os elementos indicados no material particulado em questão pode ser extremamente percebida como uma empreitada de magnitude e dificuldades específicas.

2.2. Diretrizes do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA

O Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA desempenha um papel fundamental como órgão consultivo e deliberativo, dentro do âmbito do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, sua criação foi estabelecida por meio da Lei 6.938/81, a qual aborda os princípios e diretrizes da Política Nacional do Meio Ambiente, e sua operacionalização é regulamentada pelo Decreto 99.274/90. É importante destacar que, em 1989, o CONAMA estabeleceu o Programa Nacional de Controle de Qualidade do Ar

(PRONAR) por meio da Resolução Nº 05, com o objetivo específico de monitorar e regular os níveis de poluição atmosférica.

A estrutura organizacional do CONAMA compreende diversos componentes, que incluem o Plenário, a Comissão Permanente de Assuntos Institucionais e Normativos (CIPAM), os Grupos Assessores, as Câmaras Técnicas e os Grupos de Trabalho. A presidência do Conselho é ocupada pelo Ministro do Meio Ambiente, enquanto a Secretaria Executiva é conduzida pelo Secretário-Executivo do Ministério do Meio Ambiente (MMA). É relevante destacar que o CONAMA representa um colegiado aberto a participação e colaboração de cinco segmentos distintos, a saber: órgãos governamentais de esfera federal, estadual e municipal, representantes do setor empresarial e organizações voltadas para a defesa e preservação do meio ambiente, compreendendo, assim, uma diversidade de perspectivas e interesses em suas deliberações e ações (Ministério do Meio Ambiente, 2023).

Assim como as duas instituições supracitadas, o CONAMA também passou por retificações em suas resoluções com o propósito de alterar as recomendações referente às emissões de poluentes para a atmosfera. Na Resolução CONAMA Nº 003 de 1990, a título de exemplo, estabelece com padrão de qualidade do ar referente ao material particulado na atmosfera, três categorias: Partículas Totais em Suspensão; Fumaça e Partículas Inaláveis, com suas respectivas quantidades de microgramas por metro cúbico de ar (Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1990).

No ano de 2018, o Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA, promoveu uma significativa revisão das orientações relacionadas aos níveis de qualidade do ar que haviam sido recomendados pela Organização Mundial da Saúde - OMS, com base em sua referência datada do ano de 2005. Esta revisão foi formalizada por meio da Resolução Nº 491. Além disso, durante esse processo de revisão, também foram efetuadas modificações na categorização ou terminologia, mais específicas, relacionada ao material particulado fino (MP2.5) e (MP10) referente ao material particulado grosso ((Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2018).

Ademais, a referida resolução apresenta em seu escopo justificativas abrangentes, abordando os impactos adversos à saúde humana, ao bem-estar público, aos materiais, à fauna e flora, bem como ameaças à segurança e perturbações no uso e gozo da propriedade ou nas atividades comuns da comunidade, decorrentes da emissão de poluentes no ar. Dessa maneira,

em sintonia com as orientações da Organização Mundial da Saúde (OMS), o CONAMA definiu etapas destinadas a alcançar os resultados desejados, com base nos parâmetros estabelecidos pela OMS em 2005, conforme a Tabela 1

Tabela 1 – Nível médio de exposição ao MP2.5 e MP10 de acordo com a Resolução N0 491 - CONAMA.

Material Particulado	Período de Referência	PI-1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PI-2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PI-3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PF $\mu\text{g}/\text{m}^3$
MP2.5	24 horas	60	50	37	25
	Anual	20	17	15	10
MP10	24 horas	120	100	75	50
	Anual	40	35	30	20

Fonte: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2018.

Os padrões de qualidade do ar intermediários, representados pelas designações PI-1, PI-2 e PI-3, correspondem a critérios temporários estabelecidos para serem cumpridos ao longo de diferentes etapas. Em contraste, o padrão de qualidade do ar final, identificado pela sigla PF, consiste em valores guia que foram determinados pela Organização Mundial da Saúde no ano de 2005. O período de referência diz respeito à média aritmética considerada ao longo de dois intervalos temporais distintos, que compreendem 24 horas e um ano, respectivamente.

Ainda dentro do contexto do documento em questão, é enfatizado que a implementação dos Padrões de Qualidade do Ar, intermediários e final, ocorrerá sequencialmente. Essa decisão levará em conta a análise dos Planos de Controle de Emissões Atmosféricas, bem como os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, os quais são elaborados pelas autoridades ambientais dos estados e do Distrito Federal.

Cabe aos órgãos ambientais estaduais e distrital elaborar, em até 3 anos a partir da entrada em vigor da Resolução N0 491, o Plano de Controle de Emissões Atmosféricas que deverá ser definido em regulamentação própria, desde que não sobreponha as diretrizes contidas no PRONAR. Além disso, foi estabelecido no documento o compromisso do Ministério do Meio Ambiente de elaborar o guia técnico contendo os métodos de referência adotados e os critérios para utilização de métodos equivalentes.

No Guia Técnico desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente, são expostos detalhes de cada tipo de poluente em diferentes níveis, estabelecendo uma escala que serve como classificações para avaliar a qualidade do ar. Na Tabela 2 estão explícitos apenas os poluentes MP2.5 e MP10.

Tabela 2 – Estrutura do índice de qualidade do ar.

Qualidade do Ar	MP2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24h)	MP10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24h)
N1 – Boa	0-25	0-50
N2 – Moderada	26-50	51-100
N3 – Ruim	51-75	101-150
N4 – Muito Ruim	76-125	151-250
N5 – Péssima	126-300	251-600

Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2020.

Os valores de concentração que categorizam a qualidade do ar como 'Boa' são os valores que a Organização Mundial da Saúde (OMS) preconiza como sendo os mais seguros em termos de impacto na saúde humana quando se trata de exposição a curto prazo.

2.3. Componentes do instrumento de aferição da qualidade do ar

A princípio é necessário destacar dois métodos para determinar a concentração de material particulado fino de até MP2.5 presente na atmosfera, de acordo com o guia técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar, elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente. O primeiro método é conhecido como Método de Referência, que envolve a utilização do método gravimétrico para medir as partículas, utilizando papel filtro quantitativo.

No entanto, é importante ressaltar que esse método enfrenta algumas complicações significativas. Por exemplo, a medição não ocorre de maneira instantânea, uma vez que as partículas presentes no ar precisam ser capturadas e somente após a pesagem do filtro é possível obter os dados necessários. Além disso, é necessário que a amostra seja removida fisicamente por um operador e, posteriormente, enviada para um laboratório a fim de realizar a análise. Essa abordagem implica em custos operacionais consideráveis quando comparada a métodos automatizados (Ministério do Meio Ambiente, 2020).

Os dispositivos certificados como Método Equivalente são aqueles que comprovam ter um desempenho comparável aos instrumentos de referência certificados. Além disso, os Métodos Equivalentes são amplamente adotados em nível internacional e, frequentemente, apresentam vantagens em relação aos métodos de referência correspondentes. Essas vantagens podem incluir facilidade de manutenção, durabilidade aprimorada e até mesmo um custo mais acessível, tornando o projeto viável, desde que a qualidade dos dados gerados permaneça dentro de limites adequados (Ministério do Meio Ambiente, 2020).

Com base nesse contexto, o Método Equivalente foi selecionado e adotado para realizar o monitoramento e a avaliação da qualidade do ar no âmbito da pesquisa em questão, tendo como embasamento a justificativa mencionada anteriormente. Essa escolha foi feita levando em consideração o cenário descrito e a busca por um método que pudesse fornecer resultados confiáveis e representativos para a análise da qualidade do ar.

Ao trazer o Estado da Arte, entre os estudos de importância internacional, merece destaque a pesquisa que converteu uma avaliação minuciosa da precisão de sensores de baixo custo destinados à amostragem da qualidade do ar, focalizando especificamente nas partículas de PM_{2.5} e PM₁₀. Este estudo abrange a análise de 348 sensores em um ambiente controlado, realizada na Universidade Johns Hopkins, localizada em Washington, DC, nos Estados Unidos.

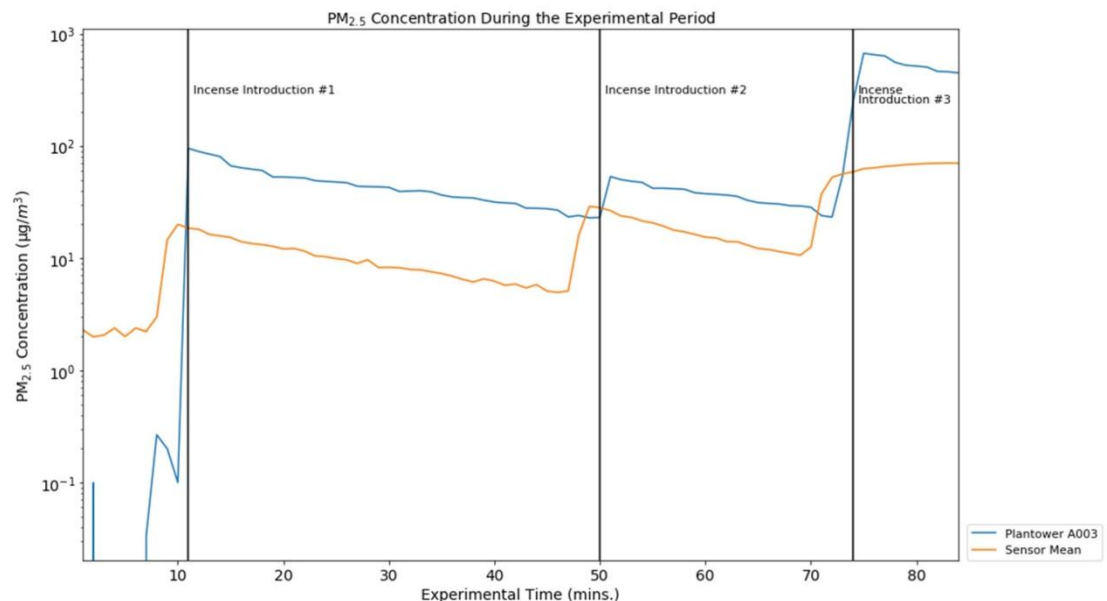
O objetivo principal foi compartilhar resultados que contrastam as médias de medição de PM_{2.5} e PM₁₀ de 34 dispositivos Flow com as concentrações equivalentes material particulado capturado ao mesmo tempo por um sensor Plantower A003, previamente calibrado e validado. vale ressaltar que Plantower A003 também é de baixo custo, porém já possui credibilidade na quantificação e classificação das partículas no meio científico (Crnosija et al., 2022).

Os sensores foram submetidos a exposição de PM_{2.5} e PM₁₀, sendo suas respostas comparadas com as produzidas pelo sensor Plantower A0039. O passo a passo ocorreu da seguinte forma: Todos os sensores foram colocados junto com o sensor Plantower A003 em uma câmara hermética de 1,5 metro por 1 metro.

Posteriormente, o incenso foi introduzido em três momentos diferentes na câmara. Os dados do Plantower A003 foram coletados a cada 30 segundos no formato Excel, enquanto os dispositivos de fluxo coletaram dados de PM_{2.5} e PM₁₀ a cada minuto. Foram considerados

10 minutos antes da primeira introdução do incenso e 10 minutos após a última introdução para estabelecer uma linha de base sem partículas, conforme o Figura 3.

Figura 3 – Concentração de MP2.5 durante o período experimental apresentando dados de 32 sensores de fluxo individualmente vs. Plantower A003.



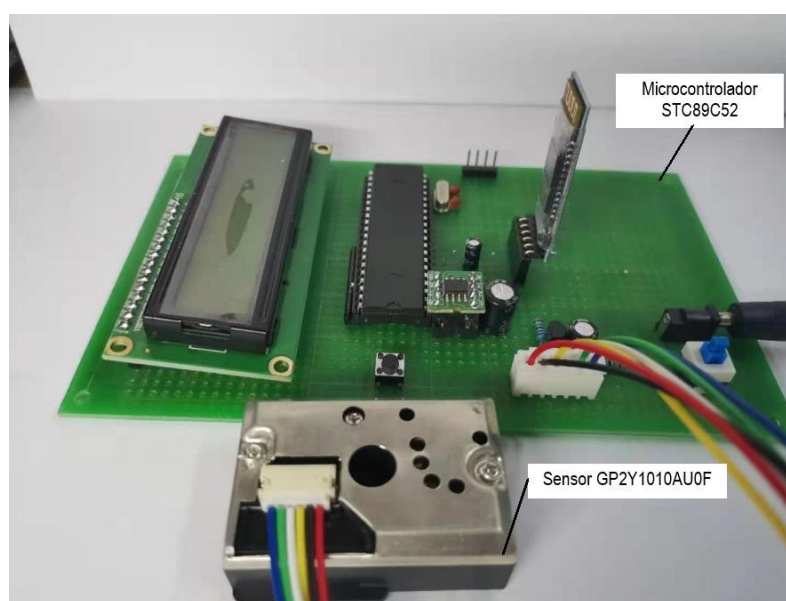
Fonte: Crnosija et al., 2022.

Como resultado, os autores concluíram que os dispositivos de fluxo mostram informações importantes para monitorar a qualidade do ar em áreas urbanas com altos índices de PM2.5 e PM10. Esses sensores se tornam mais relevantes quando integrados a outras estruturas de monitoramento, como as redes da Agência de Proteção Ambiental (EPA). Eles ganham ainda mais importância quando utilizados em conjunto, como parte de campanhas de avaliação da qualidade do ar. O estudo destaca que esses sensores permitem que indivíduos e grupos monitorem sua exposição pessoal à poluição por partículas de forma mais eficaz.

Outro exemplo relevante no campo científico é o estudo denominado *Design of Wireless PM2.5 Dust Detection System for STC Series Single-chip Microcomputer*, apresentado durante a 5ª Conferência Internacional sobre Sistemas Robóticos e Engenharia de Automação (RSAE 2023), sediada em Praga, na República Tcheca. Este trabalho descreve a concepção de um sistema destinado a detectar a concentração de PM2.5, abordando o nível de concentração dessas partículas.

O projeto empregou um microcomputador, modelo STC89C52 para coletar dados sobre a concentração de PM2.5 utilizando o sensor de poeira modelo Sharp GP2Y1010AU0F e exibindo os resultados obtidos em um display LCD, conforme a Figura 4. Além disso, o sistema de detecção integra uma funcionalidade sem fio, permitindo a transferência dos dados obtidos para um dispositivo móvel por meio do módulo Bluetooth, constituindo assim um detector de PM2.5 sem fio completo (Zhao, 2023).

Figura 4 – Projeto para detecção de MP2.5



Fonte: Zhao, 2023 (adaptado).

O autor utilizou como parâmetro de suas análises os Padrões de Qualidade do Ar Ambiental referentes às concentrações médias diárias de MP2.5 estabelecidas tanto nos Estados Unidos quanto na China.

Por fim, o ramo de sensores, chips, microcontroladores e componentes eletrônicos estavam num campo de conhecimento limitado, os projetos ou equipamentos eram produzidos e comercializados apenas por empresas do segmento tecnológico.

A ampla disponibilidade de componentes eletrônicos, junto com a disseminação do conhecimento, cria inúmeras possibilidades para a criação e desenvolvimento de projetos voltados para o entretenimento, aplicações domésticas e até para pesquisas científicas. Desta forma, acessibilidade cada vez mais abrangente aos meios de comunicação, especialmente por meio da internet, tem viabilizado o acesso e a interação com a produção científica em várias

regiões do mundo. A tecnologia empregada nesse contexto global facilita um refinamento constante, buscando atender às necessidades sociais em cenários comparáveis.

3 Materiais e Métodos

3.1. Microcontrolador Arduino

O Arduino se destaca como um microcontrolador capaz de estabelecer interações com o ambiente por meio de linguagens de programação, *software*, de padrão C/C++ associadas a dispositivos físicos, *hardware*, tais como sensores, motores, teclados, *displays* e dispositivos que emitem sons.

O dispositivo em questão é uma placa eletrônica de baixo custo, projetada para operar de maneira análoga a um computador. Ela possui diversas portas digitais e analógicas que facilitam a transmissão de dados entre a placa e outros dispositivos por meio de cabos *jumper*. Fisicamente, a placa oferece duas opções de alimentação: uma conexão USB de 5 volts e um plugue para fonte externa com voltagem variando de 7 a 12 volts. O microcontrolador é o componente central da placa, responsável pelo armazenamento e execução dos dados programados. A placa também inclui LEDs, resistores, transistores e um botão de *reset*.

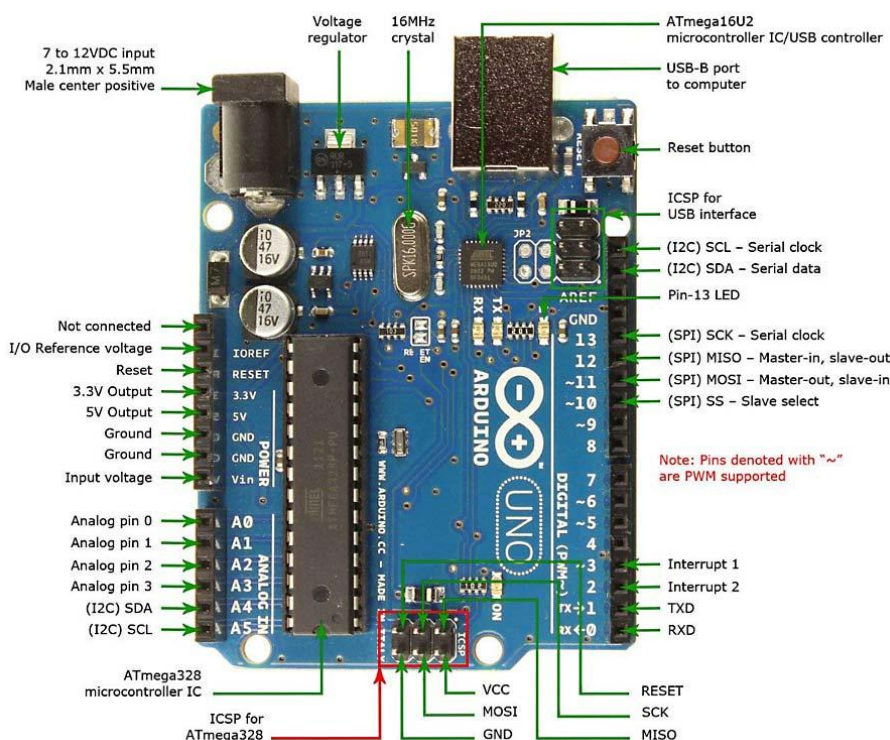
Apesar da Figura 5 fazer alusão ao Arduino Uno R3, existem diversos modelos de placas como o Arduino Mega, Arduino Leonardo, Arduino Nano, Arduino Mini, Arduino Micro e outros mais. Estes diferentes modelos podem ter projetos facilmente adaptados entre si, a título de exemplo, esta pesquisa faz uso do Arduino Uno e Arduino Mega com o mesmo código-fonte (UMPRO, 2023).

O código-fonte é desenvolvido no *software* denominado de Arduino IDE, *Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado. A plataforma IDE possui em sua estrutura um conjunto de recursos que visam facilitar o processo de programação e interação com o *hardware*. Dentre esses recursos, destaca-se um editor de texto dedicado para escrever e modificar o código, proporcionando uma plataforma conveniente para desenvolver programas. Além disso, o *software* conta com uma área de mensagens que exibe informações relevantes durante o processo de programação, permitindo que os usuários acompanhem o fluxo de execução e identifiquem possíveis erros ou avisos (Arduino, 2023).

A escolha do Arduino como plataforma para o projeto é justificada por suas características de código aberto, que garantem acesso público ao código e à flexibilidade tanto

do *hardware* quanto do *software*. Esta natureza *open-source* promove a colaboração e o compartilhamento de projetos através das bibliotecas disponíveis, facilitando a utilização e o aprimoramento contínuo da plataforma (Arduino, 2023; UMPRO, 2023).

Figura 5 – Arduino Uno R3



Fonte: UMPRO, 2023.

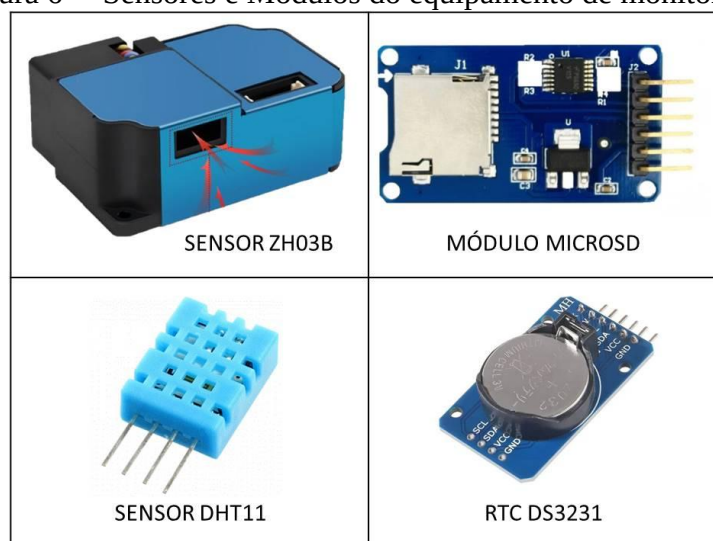
Para obter os componentes necessários no Arduino, como o sensor de temperatura, relógio e o módulo para armazenamento de dados (microSD), foi realizado o acesso à biblioteca do Arduino IDE, que é de domínio público. Através dessa biblioteca, foi possível obter separadamente o código-fonte de cada um desses componentes. É importante ressaltar que o código-fonte do sensor de material particulado (MP2.5) foi adquirido no *site* (<https://community.dfrobot.com/>) onde os profissionais e entusiastas da tecnologia compartilham informações.

3.2. Sensores e módulos

Ao considerar o microcontrolador como cérebro do projeto, os sensores são componentes eletrônicos conectados ao microcontrolador com o propósito de fornecer dados

específicos do meio que está inserido, podendo ou não executar uma ação, como por exemplo acender uma luz ou emitir um som. Os módulos são pequenas placas de circuitos que auxiliam o microcontrolador de forma específica, tal como o armazenamento de dados em cartão microSD, como também o módulo de internet. Desta forma, os módulos e sensores contidos no projeto de monitoramento do ar estão ilustrados na Figura 6.

Figura 6 – Sensores e Módulos do equipamento de monitoramento do ar.

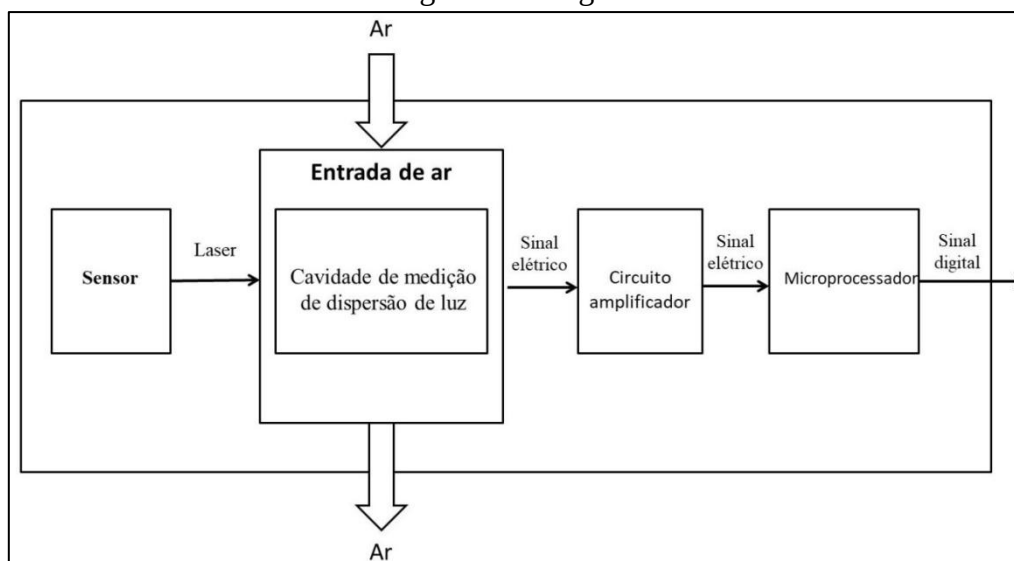


Fonte: Elaborado pelo autor a partir das imagens disponibilizadas pelos sites de compras.

O dispositivo para aferir a quantidade de material particulado em suspensão no ar é um sensor de baixo custo importado diretamente da China denominado sensor de poeira a laser MP2.5, modelo ZH03B. Esse sensor digital é capaz de obter o número de partículas suspensas e seus respectivos tamanhos (1 a 10 micrômetros), a resposta dos dados obtidos é muito rápida. De acordo com o fabricante, Winsen, o sensor é amplamente utilizado em diversos equipamentos, como: purificadores de ar, instrumentos portáteis e monitoramento da qualidade do ar.

O sensor ZH03B está equipado por um pequeno exaustor que aspira o ar do ambiente externo para dentro do componente. Uma vez dentro, o raio é direcionado a um feixe de laser, que realiza a medição da dispersão de luz causada por cada partícula presente, conforme a Figura 7. Esse processo permite a determinação do tamanho e da quantidade de material particulado (MP), classificando-o em três categorias: MP1.0, MP2.5 e MP10, expressos em microgramas por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

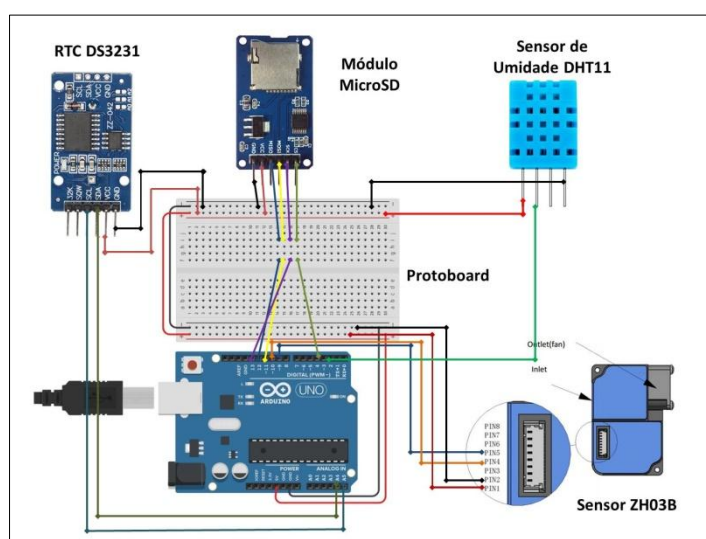
Figura 7 – Diagrama do Sensor ZH03B



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do manual do fabricante.

O sensor precisa estar conectado a um microcomputador, neste caso, o Arduino, para receber comandos a partir de uma programação específica. O projeto também inclui módulos e sensores adicionais, como o RTC DS3231, que determina dados e hora, e possui um sensor de temperatura embutido. Outro componente é o módulo de cartão MicroSD, que permite o armazenamento de dados em um cartão de memória. Além disso, o projeto integra o sensor DHT11, responsável por medir a umidade e a temperatura do ar, conforme a ilustração da Figura 8.

Figura 8 – Diagrama elétrico do projeto de monitoramento do ar (MP 2.5 e MP 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Conforme a ilustração, todos os componentes estão conectados a Protoboard, que por sua vez é uma placa de teste que funciona como um protótipo eletrônico, permitindo a montagem de circuitos para testes sem a necessidade de soldagem.

3.3. Teste de significância do projeto

O sensor, embora calibrado de fábrica, foi submetido a um teste de significância no Observatório Heller & Jung em Taquara, RS, conhecido por seu monitoramento atmosférico. O observatório faz parte da *Sensor.Community*, uma rede global com 12.961 sensores em 78 países, a maioria na Europa. No Brasil, a rede inclui 8 pontos de monitoramento, sendo metade no Rio Grande do Sul, oferecendo uma visão abrangente da qualidade do ar. A adesão ao *Sensor.Community* exige conformidade com as normas específicas e uso de dispositivos como o sensor SDS011 e o microcontrolador NodeMCU ESP8266 (*Sensor.Community*, 2023).

O procedimento de teste envolveu uma análise comparativa das leituras dos sensores em intervalos de cinco minutos ao longo de 28 dias, com todos os sensores operando no mesmo ambiente para garantir a consistência dos dados.

Figura 9: A esquerda o Observatório e ao lado os sensores comparados.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A análise comparativa incluiu a avaliação dos valores médios diários do material particulado registrado por cada sensor. Foram coletadas amostras de dados ao longo de 96 horas contínuas, correspondendo a quatro dias, para identificar possíveis variações diárias. As

médias diárias foram então comparadas ao longo de todo o período analisado. O sensor ZH03B realizou 288 leituras por cada intervalo de 24 horas. Os resultados detalhados desta análise estão disponíveis na Tabela 3.

Tabela 3 - Comparação das médias diárias entre os sensores.

Datas das amostragens	Sensor ZH03B MP2.5 µg/m ³	Sensor SDS011 MP2.5 µg/m ³
22/08/2023	14,5	12,8
23/08/2023	12,1	13,3
24/08/2023	2,3	2,6
25/08/2023	4,8	4,2
Todo intervalo de tempo	8,7	7,8

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Por causa da restrição de espaço na caixa dos dispositivos comparados, os sensores não puderam ser posicionados em um plano paralelo ao solo, o que pode ter contribuído para uma pequena discrepância entre os diferentes modelos de sensores utilizados. Além disso, o tempo de leitura de cada sensor não pôde ser sincronizado, o que, dada a alta precisão dos equipamentos, foi verificado em uma pequena diferença de segundos entre as leituras, dificultando a obtenção de resultados exatos.

3.3. Montagem do equipamento e aquisição dos dados

No que diz respeito à disposição e montagem dos equipamentos, é importante destacar que o microcontrolador juntamente com os condutores foi alojado dentro de uma caixa de passagem elétrica fabricada em PVC, que possui uma tampa, apresentando dimensões de 19 centímetros de comprimento, 24 centímetros de largura e 9 centímetros de altura. A caixa possui uma abertura para entrada de ar, permitindo a coleta de dados sobre temperatura e umidade relativa do ar. O sensor de material particulado foi posicionado fora da caixa para capturar livremente as partículas de MP2.5 e MP10 do ambiente externo, vide a Figura 10.

Para estabilizar o arranjo, foi utilizado um suporte quadripé de tubos de PVC de 40 mm de diâmetro, com conectores, incluindo quatro joelhos na parte superior e dez conectores "T", seis na base e quatro na parte superior. A caixa com o dispositivo foi posicionada a 1,6

metro do solo. Para aumentar sua resistência e evitar que a leveza do equipamento estivesse comprometida por rajadas de vento, adicionou-se areia nos tubos próximos à base.

Figura 10– Equipamento do aferição de MP2.5 e MP10.

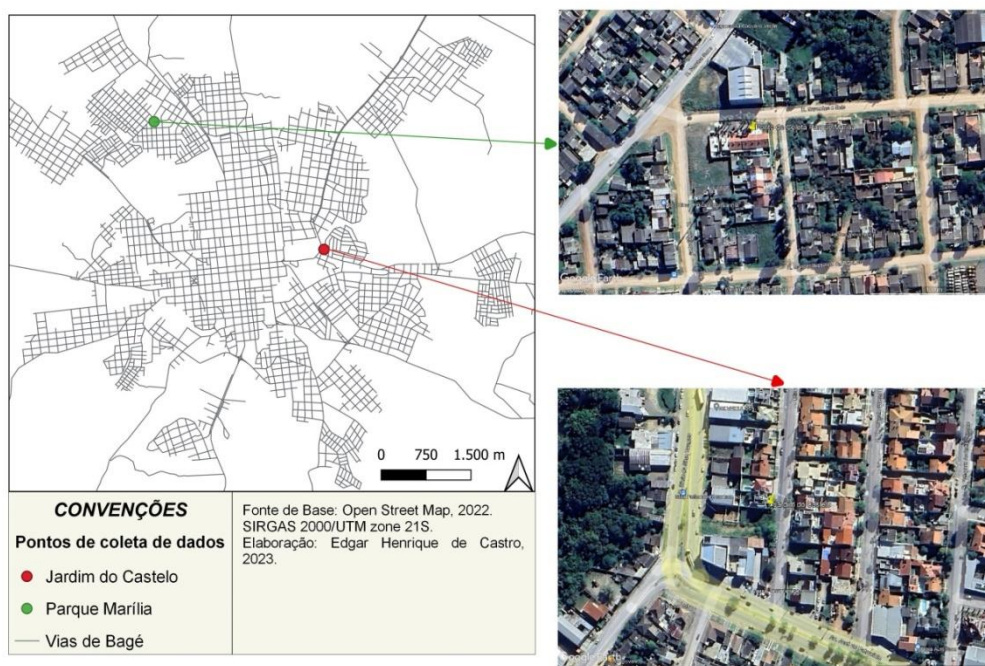


Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Os locais escolhidos para a instalação dos equipamentos têm como propósito explorar e categorizar os dados coletados em dois pontos distintos da área urbana de Bagé. Um dos pontos de coleta está no Bairro Parque Marília, uma área sem pavimentação que integra a rota regular de transporte coletivo, enquanto o outro está no Bairro Jardim do Castelo, que possui vias asfaltadas e não é servido por transporte coletivo. A Figura 11 ilustra claramente essas diferenças, com o Bairro Parque Marília apresentando diversas ruas não pavimentadas, enquanto o Bairro Jardim do Castelo possui ruas asfaltadas. Ambas as imagens foram obtidas do Google Earth Pro e estão localizadas à mesma altitude de 504 metros em relação ao ponto de observação.

O sistema foi configurado para realizar a gravação dos dados no cartão micros em intervalos regulares de 300 mil milissegundos, equivalentes a 5 minutos. Esses dados foram armazenados em um arquivo de texto (.txt), conforme a Figura 10, contendo informações apresentadas sobre hora e dados, níveis de umidade e temperatura, bem como a quantidade específica de material particulado (MP1.0, MP2.5, e MP10), para cada ciclo de intervalado.

Figura 11 – Bagé: Bairros de coleta de dados MP2.5 e MP10.



Após a coleta e gravação dos dados, eles foram transferidos para fins de análise e para a criação de gráficos. Essa transferência ocorreu para a plataforma do *Google Sheets*, onde foram tratadas e utilizadas na produção dos gráficos pertinentes.

4 – Resultados e discussão

A instalação dos dispositivos de amostragem ocorreu em pleno inverno, no dia 14 de julho de 2023, nos locais previamente mencionados. Inicialmente, o plano era coletar dados ao longo de um período de sete dias; no entanto, devido a contratempos relacionados a oscilações de energia elétrica, os instrumentos conseguiram registrar informações apenas durante um período de quatro dias.

Com o propósito de ratificar as premissas mencionadas, as informações fornecidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), durante o período compreendido entre os dias 12 e 16 de julho, registrou 126 milímetros de atividades pluviométricas.

Durante o período de 12 a 16, a temperatura média variou entre 7,6 °C (mínima) e 8,7 °C (máxima), com umidade relativa do ar em torno de 88% e ventos a uma média de 2,5 metros por segundo. Nos dias com precipitação, os ventos vieram predominantemente do leste-sudeste, sudeste e su-sudeste; nos demais dias, a direção predominante foi sudoeste (Instituto Nacional de Meteorologia, 2023).

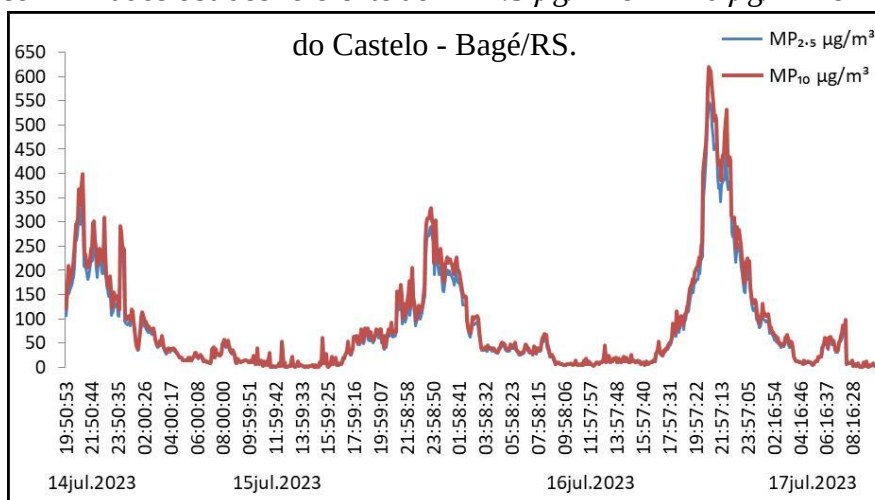
De acordo com as orientações fornecidas pela Organização Mundial da Saúde (OMS), pela Agência de Proteção Ambiental (EPA) e pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), é necessário um período mínimo de 24 horas de exposição para comparar a qualidade do ar relacionado às partículas em suspensão.

A programação do microcontrolador foi configurada para realizar leituras de dados a cada cinco minutos, resultando em 288 conjuntos de dados gerados a cada 24 horas. A comparação entre os dados dos sensores deve considerar pequenas discrepâncias nos tempos de execução entre os dispositivos.

Nos dias representados nos Gráficos 1 e 2, a temperatura mínima foi de 3°C na madrugada do dia 17, enquanto a máxima chegou a 18°C. Durante o período entre o entardecer e o amanhecer, observou-se um aumento na concentração de material particulado na atmosfera, possivelmente devido ao uso de lareiras para aquecimento noturno. Os gráficos oferecem uma visão geral das variações na concentração de material particulado ao longo dos dias monitorados.

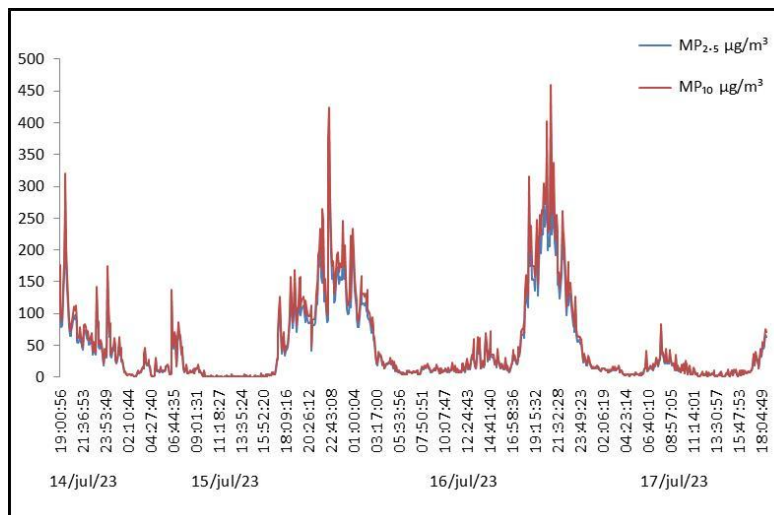
Ao comparar os Gráficos, nota-se semelhanças nas flutuações das concentrações de material particulado (MP) entre os locais monitorados. O Bairro Jardim do Castelo apresentou maior variação nas concentrações de MP, com o pico ocorrendo na noite do dia 16, o período mais frio da amostragem. Nessa ocasião, as concentrações de MP10 chegaram a 614 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, enquanto as de MP2.5 atingiram 547 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Gráfico 1 – Dados obtidos referente ao MP2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e MP10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no Bairro Jardim



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Gráfico 2 – Dados obtidos referente ao MP2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ e MP10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no Bairro Parque Marília - Bagé/RS.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Entretanto, ao longo do intervalo que compreende o amanhecer até o entardecer, observaram-se pequenas flutuações nas concentrações de MP10 e MP2.5, proporcionando uma menor presença de partículas finas no ar durante esse período do dia.

No Bairro Parque Marília, observou-se uma variação mais acentuada nas concentrações de material particulado ao longo do período de amostragem, particularmente durante a transição entre manhã e tarde. Nesse período, os valores atingiram seu pico, com 402 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP2.5 e 459 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para MP10, coincidindo com o intervalo de tempo em que as maiores concentrações foram registradas no Bairro Jardim do Castelo.

Com o objetivo de realizar uma análise mais contundente e baseada nos dados, é crucial estabelecer como classificações para avaliar a qualidade dos nossos bairros os padrões definidos tanto no âmbito nacional quanto no internacional. Isso permitirá uma avaliação mais precisa e contextualizada, alinhando as informações coletadas com as diretrizes e normativas que vigoram em diferentes escalas de governança e regulamentação ambiental.

A Tabela 4 apresenta detalhadamente a média diária das concentrações de MP2.5 e MP10 nos bairros analisados, permitindo uma comparação com as normas do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e as diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS). Essa comparação ajuda a avaliar a conformidade dos locais com as regulamentações e recomendações sobre qualidade do ar. As médias das concentrações de material particulado

referem-se aos dias 15 e 16 de julho, pois em outros dias não foi possível obter dados completos ao longo de 24 horas. A umidade relativa média registrada para esses dias foi de 68,6% e 71,6%, respectivamente.

Tabela 4 – Média de concentração do MP2.5 e MP10 associado as diretrizes CONAMA e OMS.

Referência da Qualidade do Ar	Média (24h) MP2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Média (24h) MP10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Média (24h) Temperatura
Bairro Jardim do Castelo 15/07	47	53	9,6°C
Bairro Jardim do Castelo 16/07	99	111	9,1°C
Bairro Parque Marília – 15/07	43	49	9,6°C
Bairro Parque Marília 16/07	67	76	9,1°C
Diretrizes do CONAMA	25	50	
Diretrizes da OMS	15	45	

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Não é possível estabelecer instruções definitivas ou associações precisas entre o tipo de via de circulação e a concentração de material particulado em suspensão. No entanto, as médias de MP2.5 e MP10 frequentemente excedem os limites recomendados pela OMS e pelo CONAMA para o período de 24 horas, especialmente em dias de temperaturas mais baixas, quando as concentrações ultrapassam o dobro dos limites estabelecidos. A análise dos Gráficos 1 e 2 e da Tabela 4 revela que a maior concentração de partículas finas ocorre no início da noite, sugerindo que o uso de lareiras para aquecimento doméstico pode contribuir para o aumento dessas concentrações.

5 – Considerações

- Este estudo preliminar apresentou uma análise inicial dos dados referentes à quantificação de material particulado (MP2.5 e MP10, em $\mu\text{g}/\text{m}^3$) na área urbana de Bagé. Embora tenha sido possível medir a média das concentrações de material particulado para comparação com as diretrizes condicionais do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) dentro de um período de 24 horas, os resultados indicaram que os níveis de material particulado excederam os limites aceitáveis para a saúde pública, conforme os padrões de qualidade do ar. Contudo, ainda é necessário

recolher e analisar dados ao longo de um período mais prolongado, idealmente um ano de exposição, para atender integralmente os requisitos exigidos pelo órgão regulador especificado.

- É importante destacar as condições meteorológicas um pouco antes das instalações dos equipamentos, a chuva contribuiu para um panorama de ar mais limpo e consequentemente diminuiu a quantidade do material particulado durante o dia. Durante a noite, por conta da queda da temperatura teve como consequência o uso de sistema de calefação a base da queima de madeira, visivelmente no céu noturno da cidade. Desta maneira, a quantidade de material particulado aumentou exponencialmente.
- Como os estudos ainda estão em andamento, até o momento, o principal resultado deste projeto foi a construção de um dispositivo para medir o material particulado presente na atmosfera, com foco específico nas partículas finas em suspensão. Na fase inicial de amostragem, o equipamento foi alimentado pela rede elétrica. No entanto, devido a oscilações insuficientes de energia que comprometeram a coleta contínua de dados, tornou-se necessário adquirir baterias de 12 volts acopladas a painéis solares para garantir maior estabilidade energética nas próximas etapas do projeto.
- A criação deste instrumento de medição de material particulado na atmosfera abre novas oportunidades de pesquisa na área da saúde pública, especialmente em regiões com presença significativa industrial, intenso tráfego de veículos automotores e vias não pavimentadas. Além disso, possibilita a estimativa da demanda hospitalar futura nessas localidades, contribuindo para um planejamento mais eficaz das políticas de saúde pública.

Referências

- Alves, D., et al. (2015). Concentrations of PM_{2.5-10} and PM_{2.5} and metallic elements around the Schmidt stream area, in the Sinos River Basin, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 75, 43–52.
- Arduino.CC. (2023). *Arduino Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE)*. Recuperado de <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics>. Acesso em: 13 de junho de 2023.

- Bera, B., et al. (2021). Significant impacts of COVID-19 lockdown on urban air pollution in Kolkata (India) and amelioration of environmental health. *Environment, Development and Sustainability*, 23(5), 6913–6940.
- Chanchpara, A., et al. (2023). Pre-to-post Diwali air quality assessment and particulate matter characterization of a western coastal place in India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(3), 413.
- Chen, S., et al. (2024). Regulation of PM_{2.5} on mitochondrial damage in H9C2 cells through miR-421/SIRT3 pathway and protective effect of miR-421 inhibitor and resveratrol. *Journal of Environmental Sciences*, 138, 288–300.
- Crnosija, N., et al. (2022). Laboratory chamber evaluation of flow air quality sensor PM_{2.5} and PM₁₀ measurements. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12), 7340.
- Environmental Protection Agency. (2023). *Particulate Matter (PM) Pollution*. Recuperado de <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>. Acesso em: 18 de agosto de 2023.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente. (1990). *Resolução Nº 003, de 28 de junho de 1990*. Recuperado de <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0003-280690.PDF>. Acesso em: 04 de setembro de 2023.
- Conselho Nacional do Meio Ambiente. (2018). *Resolução Nº 491, de 19 de novembro de 2018*. Recuperado de https://www.in.gov.br/web/guest/materia//asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/5058895/do1-2018-11-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603. Acesso em: 04 de setembro de 2023.
- Huang, C., et al. (2023). The acute effects of particulate air pollution on lung function in asthmatic children: A multicenter study with intensively repeated measurements. *Atmospheric Environment*, 306, 119826.

Instituto Nacional de Meteorologia. (2023). *Dados históricos anuais*. Recuperado de <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 21 de setembro de 2023.

Arduino. (2020). *Guia técnico para o monitoramento e avaliação da qualidade do ar*. Recuperado de <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/mma-guia-tecnico-qualidade-do-ar-pdf>. Acesso em: 15 de junho de 2023.

Opiela, DR, et al. (2022). Material particulado e doença de Alzheimer: uma conexão íntima. *Tendências em Medicina Molecular*, 28 (9), 770–780.

Organização Pan-Americana da Saúde. (2022). *Novos dados da OMS revelam que bilhões de pessoas ainda respiram ar insalubre*. Recuperado de <https://www.paho.org/pt/noticias/4-4-2022-novos-dados-da-oms-revelam-que-bilhoes-pessoas-ainda-respiram-ar-insalubre>. Acesso em: 28 de agosto de 2023.

Rienda, IC, et al. (2023). Ressuspensão PM10 de poeira rodoviária em diferentes tipos de estacionamentos: Emissões, caracterização química e ecotoxicidade. *Atmosfera*, 14 (2), 305.

Santos, J. M., Reis Jr., N. C., & Galvão, E. S. (2022). *Material Particulado na atmosfera urbana e suas interações com a saúde humana [Ebook]*. Goiânia: Alta Performance.

Sensor.Community. (2023). *Construa seu sensor DIY*. Disponível em: <https://sensor.community/pt/sensors/airrohr/>. Acesso em 28 de julho de 2023.

UMPRO. (2023). *Arduino, Internet das Coisas e Computação vestível*. Recuperado de <http://www.um.pro.br/arduino/index.php?c=ArduinoUno>. Acesso em: 13 de junho de 2023.

Wang, L., et al. (2024). Environmentally persistent free radicals in PM2.5 from a typical Chinese industrial city during COVID-19 lockdown: The unexpected contamination level variation. *Journal of Environmental Sciences*, 135, 424–432.

Winsen. (2024). *Manual: Laser dust module*. <https://www.winsen-sensor.com/d/files/zh03b-laser-dust-module>. Acesso em: 14 de agosto de 2024.

Zhang, M., et al. (2022). Source apportionment of fine particulate matter during the day and night in Lanzhou, NW China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(12), 7091.

Zhao, C. (2023). Design of wireless PM2.5 dust detection system for STC series single-chip microcomputer. In *Proceedings of the 2023 5th International Conference on Robotics Systems and Automation Engineering* (pp. 22–28).

Publisher: Universidade Federal de Jataí. Instituto de Geografia. Programa de Pós-graduação em Geografia. Publicação no Portal de Periódicos UFJ. As ideias expressadas neste artigo são de responsabilidade de seus autores, não representando, necessariamente, a opinião dos editores ou da universidade.

Contribuições dos autores: Edgar Henrique de Castro: Conceituação, Curadoria de dados, Investigação, Escrita – rascunho original; Andrea Valli Nummer: Validação, Escrita – revisão, Análise formal de dados e revisão da escrita. Declaramos ainda ciência das Diretrizes Gerais da Geoambiente On-line.

Agradecimentos: Este trabalho teve o apoio da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e do Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS).

Conflito de interesse: Os autores declaram que não possuem interesses financeiros ou não financeiros relevantes relacionados a este trabalho.