



RELATÓRIO TÉCNICO DO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR EM  
CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA

---

## Monitoramento da Qualidade do Ar

---

*Desenvolvimento:*

Laboratório de Computação e Tecnologia em  
Engenharia Ambiental (LACTEA)  
Departamento de Engenharia Ambiental (DEA)  
Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Projeto de Extensão:

**Curitiba, o ar que você respira**



Outubro de 2021

# 1 Introdução

O monitoramento de material particulado em Curitiba e região metropolitana é desenvolvido pelo Laboratório de Computação e Tecnologia em Engenharia Ambiental (LACTEA). O grupo de alunos e professores do LACTEA e do Departamento de Engenharia Ambiental (DEA) é responsável pela instalação dos sensores, transmissão e armazenamento dos dados em um servidor, análise dos resultados e produção deste relatório.

A elaboração deste produto técnico integra as atividades projeto de extensão universitária intitulado “Curitiba, o ar que você respira”. Esse projeto de extensão está ligado ao projeto pesquisa da UFPR/CNPq intitulado “Monitoramento e estudo de relações entre material particulado e variáveis meteorológicas em Curitiba”, que tem como objetivo criar uma rede de monitoramento da qualidade do ar na capital do estado do Paraná.

Os boletins do monitoramento estão disponíveis na página do laboratório (<http://www.lactea.ufpr.br/pesquisa/quali-ar/mp>) e são publicados mensalmente. O LACTEA está vinculado ao Departamento de Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Para qualquer dúvida referente a este relatório favor entrar em contato pelo e-mail: [lactea@ufpr.br](mailto:lactea@ufpr.br).

## 1.1 Legislação

Considerando como referência os padrões de qualidade do ar recomendados pela Organização Mundial da Saúde - OMS em 2005, o Conselho Nacional do Meio Ambiente publicou a Resolução CONAMA N° 491 de 19/11/2018. Esta Resolução estabelece padrões de qualidade do ar e tem as seguintes definições:

- Material Particulado MP<sub>2,5</sub>: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 2,5 micrômetros;
- Material Particulado MP<sub>10</sub>: partículas de material sólido ou líquido suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fuligem, entre outros, com diâmetro aerodinâmico equivalente de corte de 10 micrômetros;

A Resolução CONAMA N° 491 estabeleceu Padrões de Qualidade do Ar Intermediários – PI, com valores temporários a serem cumpridos em etapas, e Padrões de Qualidade do Ar Final - PF. Adotaremos neste relatório os seguintes Padrões de Qualidade do Ar Final - PF:

- O limite de Material Particulado MP<sub>2,5</sub> para o período de referência de 24 horas é a média de 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

- O limite de Material Particulado MP<sub>10</sub> para o período de referência de 24 horas é a média de 50 µg/m<sup>3</sup>.

## 1.2 Rede de monitoramento

O monitoramento distribuído de material particulado pode ser direcionado a diferentes objetivos. O monitoramento das agências estaduais do meio ambiente tem como objetivo a conformidade regulamentar, ou seja, a verificação se as concentrações estão dentro dos limites da legislação. Entretanto, os requisitos de precisão e estabilidade para uma rede com muitos pontos de amostragem são altos, além do custo elevado.

Para complementar o monitoramento oficial foi criada uma rede complementar com sensores óticos de baixo custo. Esses sensores são capazes de medir MP<sub>10</sub> e MP<sub>2,5</sub> com precisão razoável e podem fornecer aos municípios informações importantes, desde a detecção de fonte até a possibilidade de selecionar áreas nas quais as medições com equipamentos de medição mais precisos parecem prudentes. Um dos focos do projeto é a identificação de *hot-spots* para o combate à poluição por MP.

O projeto se baseia no conceito Internet das coisas (IoT, *Internet of Things*). A metodologia consiste em utilizar os sensores de baixo custo SDS011 e AM2302 acoplados em microcontroladores como o computador Raspberry Pi ou a placa Arduino. O Raspberry funciona como um data logger local que transmite as informações para um servidor na UFPR que armazena os dados.

### 1.2.1 Pontos amostrais

Atualmente o projeto conta com 6 estações em Curitiba e região metropolitana:

1. Boa Vista
2. Guabirota
3. Guaira
4. Jardim das Américas
5. Mercês
6. Orleans

A localização de cada estação da lista acima é ilustrada na Figura 1.1.

### 1.2.2 Análise de consistência dos dados

Os dados são coletados em uma frequência de 5 segundos e armazenados em arquivos de texto para cada hora de monitoramento. Para homogeneização e correção de falhas é realizada uma análise de consistência removendo valores espúrios, o que garante um controle de qualidade nos dados. Após o controle de qualidade os dados são reamostrados em médias por minuto. Estes dados são então reanalisados em médias horárias ou diárias conforme será detalhado nas próximas seções.

## MAPA DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO

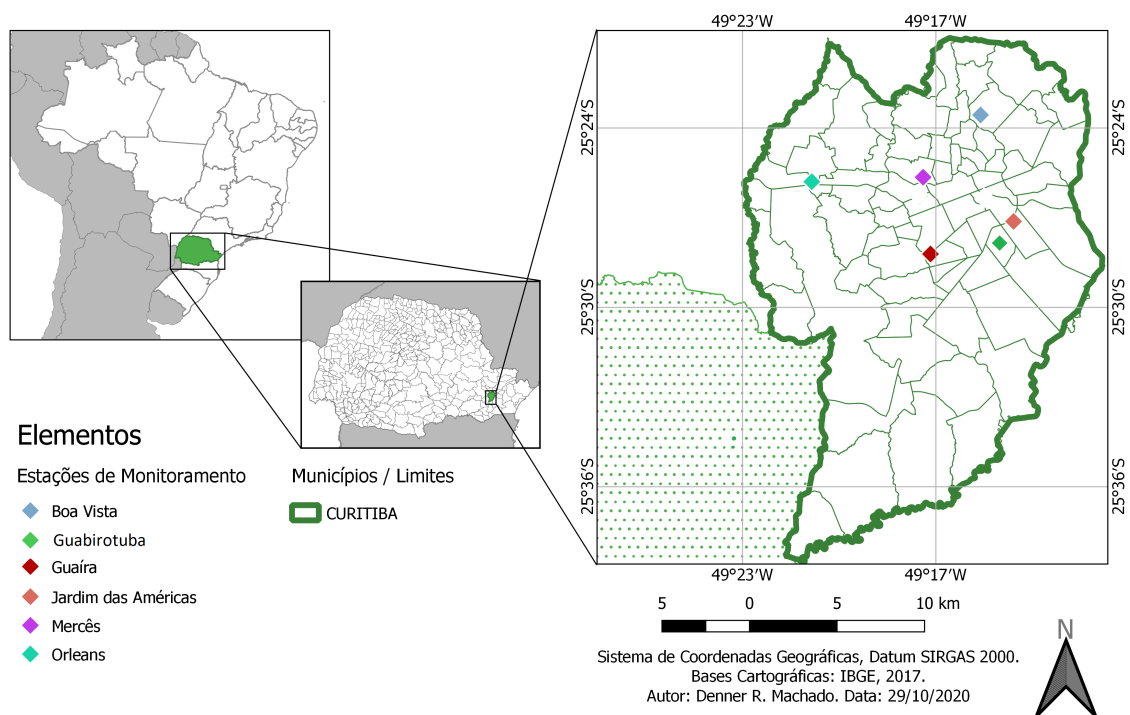


Figura 1.1: Pontos de amostragem com as cores e nomes das estações

## 2 Identificação das Estações

A seguir são apresentadas as fichas de identificação de cada ponto amostral de acordo com Guia de Monitoramento e Avaliação da qualidade do ar (Ministério do Meio Ambiente, 2019).

Identificação de estação de monitoramento da qualidade do ar	
Nome	Estação Boa Vista
Coordenada (SIRGAS 2000)	-25.390575, -49.254514
Topografia/altitude	950 metros
Endereço	Rua Leão Sallum, 1394
Característica do solo no entorno (20 m)	Pavimentada e grama
Vias relevantes mais próximas	Av. Paraná, Av. Anita Garibaldi Rua Jovino do Rosário, Rua Holanda
Principais fontes (industriais e/ou móveis)	Veiculares
Parâmetros medidos	MP2,5                      MP10    Umidade    Temperatura
Tipo de monitoramento	A (automático)
Escala espacial	Bairro
Início do monitoramento	08/2019
Frequência do monitoramento	Contínuo

Tabela 2.1: Ficha cadastral da estação Boa Vista

Identificação de estação de monitoramento da qualidade do ar	
Nome	Estação Guabirota
Coordenada (SIRGAS 2000)	-25.463189, -49.236858
Topografia/altitude	890 metros
Endereço	Rua Marins Tavares de Andrade, 72
Característica do solo no entorno (20 m)	Pavimentada e grama
Vias relevantes mais próximas	Rua Doutor Joaquim Ignácio Silveira da Motta Av. Comendador Franco, Rua Eng. José de Freitas Saldanha
Principais fontes (industriais e/ou móveis)	Veiculares
Parâmetros medidos	MP2,5                      MP10    Umidade    Temperatura
Tipo de monitoramento	A (automático)
Escala espacial	Bairro
Início do monitoramento	07/2021
Frequência do monitoramento	Contínuo

Tabela 2.2: Ficha cadastral da estação Guabirota

Identificação de estação de monitoramento da qualidade do ar	
Nome	Estação Guaira
Coordenada (SIRGAS 2000)	-25.469650,-49.283010
Topografia/altitude	922 metros
Endereço	Avenida Presidente Kennedy, 2929
Característica do solo no entorno (20 m)	Pavimentada e grama
Vias relevantes mais próximas	Avenida Presidente Kennedy
Principais fontes (industriais e/ou móveis)	Veiculares
Parâmetros medidos	MP2,5                      MP10      Umidade      Temperatura
Tipo de monitoramento	A (automático)
Escala espacial	Bairro
Início do monitoramento	07/2020
Frequência do monitoramento	Contínuo

Tabela 2.3: Ficha cadastral da estação Guaira

Identificação de estação de monitoramento da qualidade do ar	
Nome	Estação Jardim das Américas
Coordenada (SIRGAS 2000)	-25.450927, -49.232396
Topografia/altitude	880 metros
Endereço	UFPR, Campus Politécnico
Característica do solo no entorno (20 m)	Pavimentada e grama
Vias relevantes mais próximas	Rod. Régis Bittencourt (Linha Verde), Rua Evaristo Ferreira da Costa Av. Comendador Franco, BR-277, Av. Cel Francisco Heráclito dos Santos
Principais fontes (industriais e/ou móveis)	Veiculares
Parâmetros medidos	MP2,5                      MP10      Umidade      Temperatura
Tipo de monitoramento	A (automático)
Escala espacial	Bairro
Início do monitoramento	10/2019
Frequência do monitoramento	Contínuo

Tabela 2.4: Ficha cadastral da estação Jardim das Américas

Identificação de estação de monitoramento da qualidade do ar	
Nome	Estação Mercês
Coordenada (SIRGAS 2000)	-25.425985, -49.287201
Topografia/altitude	940 metros
Endereço	Rua Desembargador Motta, 3428
Característica do solo no entorno (20 m)	Pavimentada e grama
Vias relevantes mais próximas	Av. Manoel Ribas, Rua Júlia Wanderley, Rua Padre Agostinho Rua Padre Anchieta, Rua Desembargador Motta, Rua Brigadeiro Franco
Principais fontes (industriais e/ou móveis)	Veiculares
Parâmetros medidos	MP2,5                      MP10      Umidade      Temperatura
Tipo de monitoramento	A (automático)
Escala espacial	Bairro
Início do monitoramento	11/2019
Frequência do monitoramento	Contínuo

Tabela 2.5: Ficha cadastral da estação Mercês

Identificação de estação de monitoramento da qualidade do ar	
Nome	Estação Orleans
Coordenada (SIRGAS 2000)	-25.428546, -49.350547
Topografia/altitude	950 metros
Endereço	Rua Adir Dalabona, 205
Característica do solo no entorno (20 m)	Pavimentada e grama
Vias relevantes mais próximas	Av. Ver. Toaldo Túlio, Rua Izidoro Langa, Rua Virgínia Dalabona Rua Ubaldino Brunatti, Rua Alberto Panek, BR-376 (Rodovia do Café)
Principais fontes (industriais e/ou móveis)	Veiculares
Parâmetros medidos	MP2,5                      MP10      Umidade      Temperatura
Tipo de monitoramento	A (automático)
Escala espacial	Bairro
Início do monitoramento	10/2019
Frequência do monitoramento	Contínuo

Tabela 2.6: Ficha cadastral da estação Orleans

## 3 Monitoramento de Outubro de 2021

### 3.1 Séries temporais dos pontos amostrais

As séries temporais com as médias horárias de material particulado para o mês de interesse dos pontos de amostragem são apresentadas nas Figuras 3.1 e 3.2. A linha vermelha tracejada em cada gráfico indica o limite de concentração média diária da Resolução CONAMA N° 491/2018.

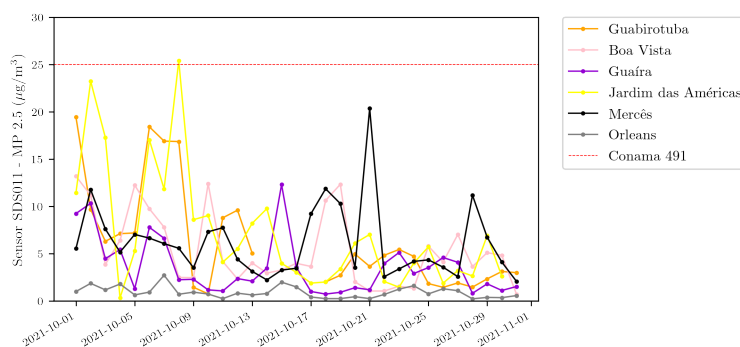


Figura 3.1: Médias diárias de  $MP_{2,5}$  dos pontos de amostragem para outubro de 2021.

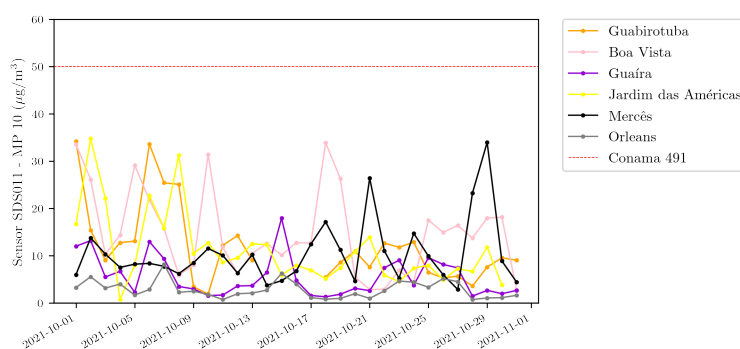


Figura 3.2: Médias diárias de  $MP_{10}$  dos pontos de amostragem para outubro de 2021.

Em alguns dias não foram apresentados os dados do monitoramento devido a diversos fatores dentre eles: falta de energia, falha nos sensores ou no sistema de aquisição dos dados e problemas na conexão de internet dos pontos amostrais. Por este motivo nos gráficos deste relatório podem ocorrer dados faltantes que estão associados ao período manutenção do equipamento.



### 3.2 Perfil diário das estações

Os perfis diários dos pontos de amostragem para o mês de interesse foram construídos com base em médias horárias.

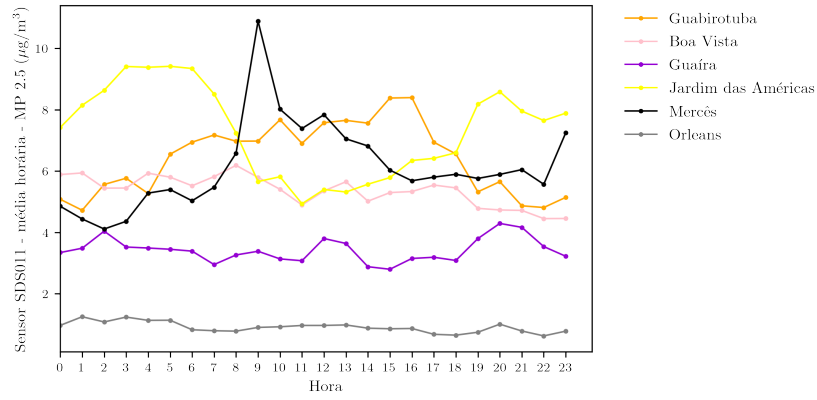


Figura 3.3: Perfis diários de MP<sub>2,5</sub> dos pontos de amostragem para outubro de 2021

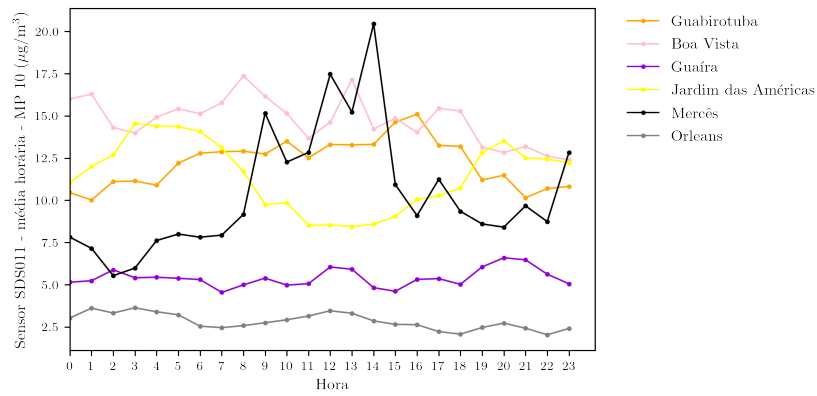


Figura 3.4: Perfis diários de MP<sub>10</sub> dos pontos de amostragem para outubro de 2021

### 3.3 Dados Meteorológicos

O perfil diário de temperatura e umidade são apresentados nas figuras 3.5 e 3.6. Os gráficos das figuras 3.7 e 3.8 ilustram a temperatura e umidade média diária nos pontos amostrais para o mês de interesse. Algumas estações podem apresentar falhas em alguns dias, que são ilustradas como quadrados brancos.

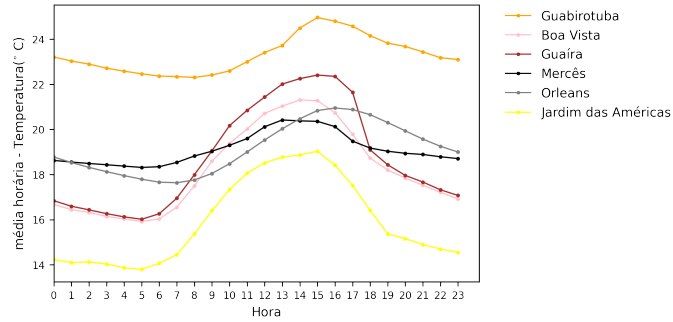


Figura 3.5: Perfil diário de temperatura horária média nos pontos amostrais

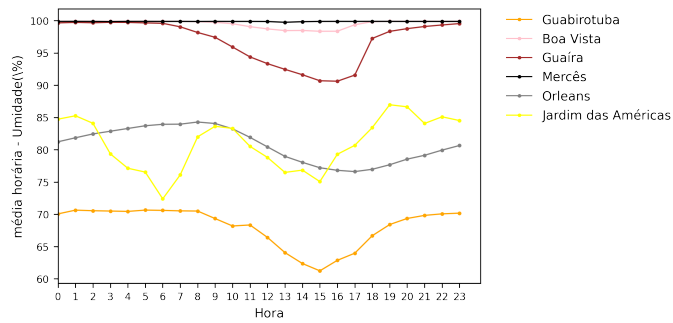


Figura 3.6: Perfil diário de umidade horária média nos pontos amostrais

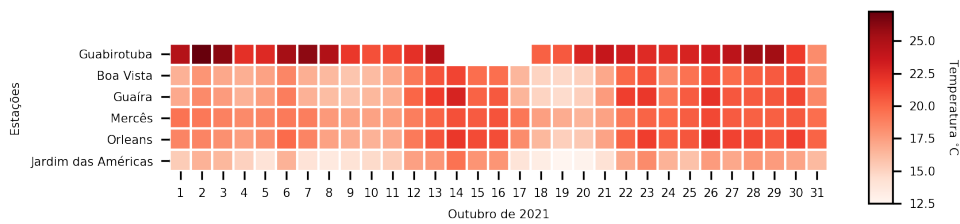


Figura 3.7: Temperatura média diária nos pontos amostrais

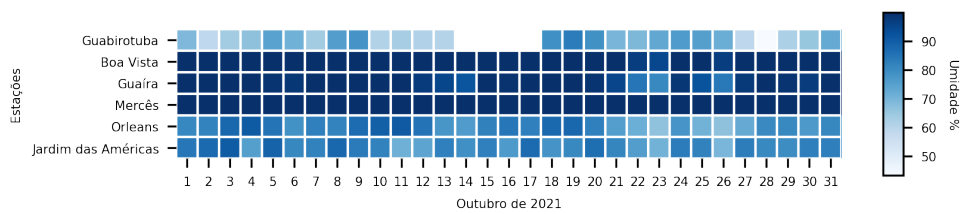


Figura 3.8: Umidade média diária nos pontos amostrais

### 3.4 Índice da Qualidade do Ar (IQAr)

O Ministério do Meio Ambiente (MMA), em conjunto com os órgãos ambientais estaduais e distritais, publicou no final do ano de 2019 um Guia de Monitoramento e Avaliação da qualidade do ar. O guia contém os objetivos das redes de monitoramento do ar, as orientações para implantação desse monitoramento, a representatividade temporal dos dados, gestão de redes de monitoramento da qualidade do ar, documentação, métodos de referência e equivalentes e o índice de qualidade do ar (IQAr).

A Figura 3.9 ilustra as classes do índice de qualidade do ar (IQAr) definidas pelo MMA.

Qualidade do Ar	Índice	MP <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) 24h
N1 - Boa	0 - 40	0 - 25	0 - 50
N2 - Moderada	41 - 80	>25 - 50	>50 - 100
N3 - Ruim	81 - 120	>50 - 75	>100 - 150
N4 - Muito Ruim	121 - 200	>75 - 125	>150 - 250
N5 - Péssima	201 - 400	>125 - 300	>250 - 600

Figura 3.9: Material Particulado e o Índice de qualidade do ar (IQAr)

A Tabela 3.1 apresenta as concentrações, temperatura e umidade mensais médias de cada ponto de monitoramento do projeto CWBreathe.

Estação	MP <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	MP <sub>2.5</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	Umidade(%)	Temperatura(°C)
Boa Vista	14.74	5.37	99.51	18.20
Guabirota	12.23	6.43	68.11	23.31
Guaíra	5.40	3.42	96.89	18.71
Mercês	10.38	6.14	99.87	19.12
Orleans	2.83	0.91	80.75	19.15
Jardim das Américas	11.45	7.31	80.93	15.93

Tabela 3.1: Médias mensais das concentrações de MP<sub>10</sub> e MP<sub>2.5</sub>, Temperatura e Umidade para as estações de monitoramento

As Figuras 3.10 e 3.11 ilustram a concentração média diária de material particulado em todos os pontos amostrais para MP<sub>2.5</sub> e MP<sub>10</sub>, respectivamente. As Figuras 3.12 e 3.13 ilustram o IQAr diário baseado na concentração média diária de MP<sub>2.5</sub> e MP<sub>10</sub>, respectivamente. Algumas estações podem apresentar falhas em alguns dias, que são ilustradas nas Figuras (3.10-3.13) como quadrados brancos.

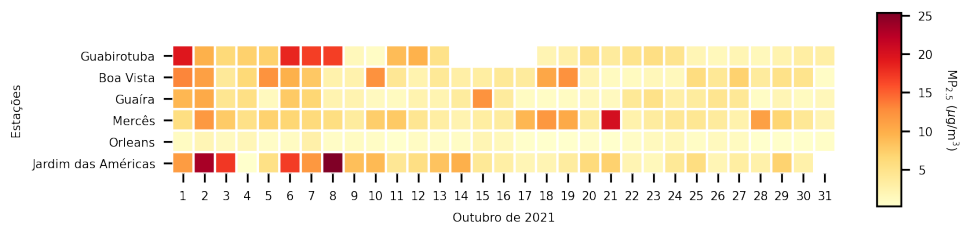


Figura 3.10: Concentração média diária de  $MP_{2.5}$  em todos os pontos amostrais

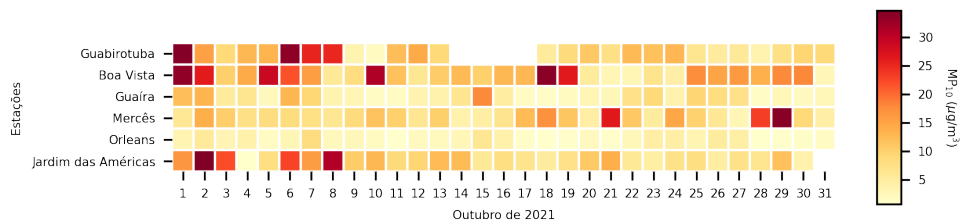


Figura 3.11: Concentração média diária de  $MP_{10}$  em todos os pontos amostrais

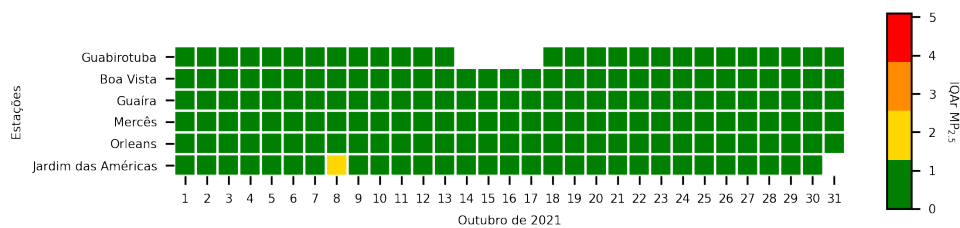


Figura 3.12: IQAr baseado na concentração diária de  $MP_{2.5}$  em todos os pontos amostrais

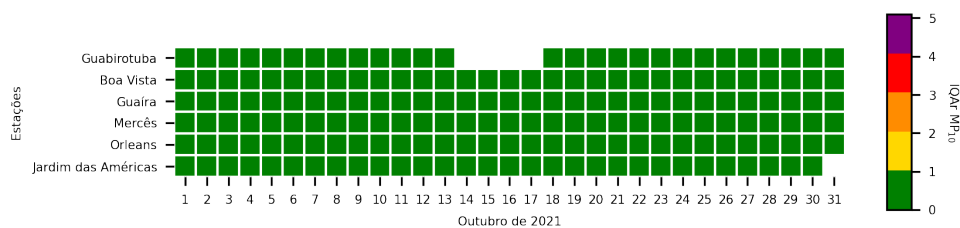


Figura 3.13: IQAr baseado na concentração diária de  $MP_{10}$  em todos os pontos amostrais

O IQAr mensal de cada estação foi determinado com base nas concentrações médias mensais de material particulado, conforme a tabela 3.1 e a figura 3.9. Foi escolhido o IQAr mais elevado, independentemente do indicador, seja  $MP_{10}$  ou  $MP_{2.5}$ .

As Tabelas 3.2 e 3.3 apresentam o Índice de Qualidade do Ar para cada estação de monitora-

mento durante o mês de interesse. Nessas tabelas é apresentada a quantidade de dias em que a qualidade do ar foi classificada nas faixas boa, moderada, ruim, muito ruim e péssima. A Tabela 3.2 apresenta o número de dias em cada faixa do IQAr com base na concentração de  $MP_{2.5}$  e a Tabela 3.3 apresenta o número de dias em cada faixa do IQAr com base na concentração de  $MP_{10}$ .

<b>Estação \ Qualidade</b>	<b>boa</b>	<b>moderada</b>	<b>ruim</b>	<b>muito ruim</b>	<b>péssima</b>
Boa Vista	31	0	0	0	0
Guabirota	27	0	0	0	0
Guaira	31	0	0	0	0
Mercês	31	0	0	0	0
Orleans	31	0	0	0	0
Jardim das Américas	29	1	0	0	0

Tabela 3.2: Número de dias do mês de outubro em cada classe do IQAr, calculado com base na concentração de  $MP_{2.5}$ .

<b>Estação \ Qualidade</b>	<b>boa</b>	<b>moderada</b>	<b>ruim</b>	<b>muito ruim</b>	<b>péssima</b>
Boa Vista	31	0	0	0	0
Guabirota	27	0	0	0	0
Guaira	31	0	0	0	0
Mercês	31	0	0	0	0
Orleans	31	0	0	0	0
Jardim das Américas	30	0	0	0	0

Tabela 3.3: Número de dias do mês de outubro em cada classe do IQAr, calculado com base na concentração de  $MP_{10}$ .

A estação do bairro Guabirota apresentou falhas em 4 dias do mês de outubro (dias 14, 15, 16 e 17), dessa forma, foram considerados nas tabelas 3.2 e 3.3 apenas os dias em que as medições foram realizadas. E a estação localizada no Jardim das Américas contou com um dia de falha na medição (dia 31), portanto esse dia também não foi contabilizado nas tabelas 3.2 e 3.3.

## 4 Considerações Finais

Por meio da análise dos resultados do monitoramento de outubro de 2021 pode-se afirmar que a qualidade do ar das estações Boa Vista, Guaíra, Guabirota, Mercês e Orleans foi boa 100% do tempo, considerando os dias em que não houveram falhas de medição. A qualidade do ar da estação Jardim das Américas foi boa 96.77% do tempo em que os dados foram medidos, levando em conta a concentração de  $MP_{2.5}$ . Já analisando a concentração de  $MP_{10}$ , a qualidade do ar dessa estação foi boa 100% do tempo em que os dados foram medidos.

Apesar da média mensal não ter ultrapassado valores de concentração média definidos pelo MMA (Figura 3.9), o IQAr do bairro Jardim das Américas no dia 8 de outubro foi considerado moderado. Com relação à identificação dos pontos críticos, é necessário ampliar os pontos de medição e realizar análises durante mais meses para se obter um panorama mais detalhado das regiões de interesse para entender a dispersão do material particulado em Curitiba e região metropolitana.