



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 2020

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.

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_{2,5}: 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 MP₁₀: 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_{2,5} para o período de referência de 24 horas é a média de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

- O limite de Material Particulado MP₁₀ para o período de referência de 24 horas é a média de 50 µg/m³.

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 MP₁₀ e MP_{2,5} 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 8 estações em Curitiba e região metropolitana:

1. Bairro Estação/Araucária
2. Batel
3. Boa Vista
4. Guaíra
5. Jardim Botânico
6. Jardim das Américas
7. Mercês
8. Orleans

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

MAPA DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO

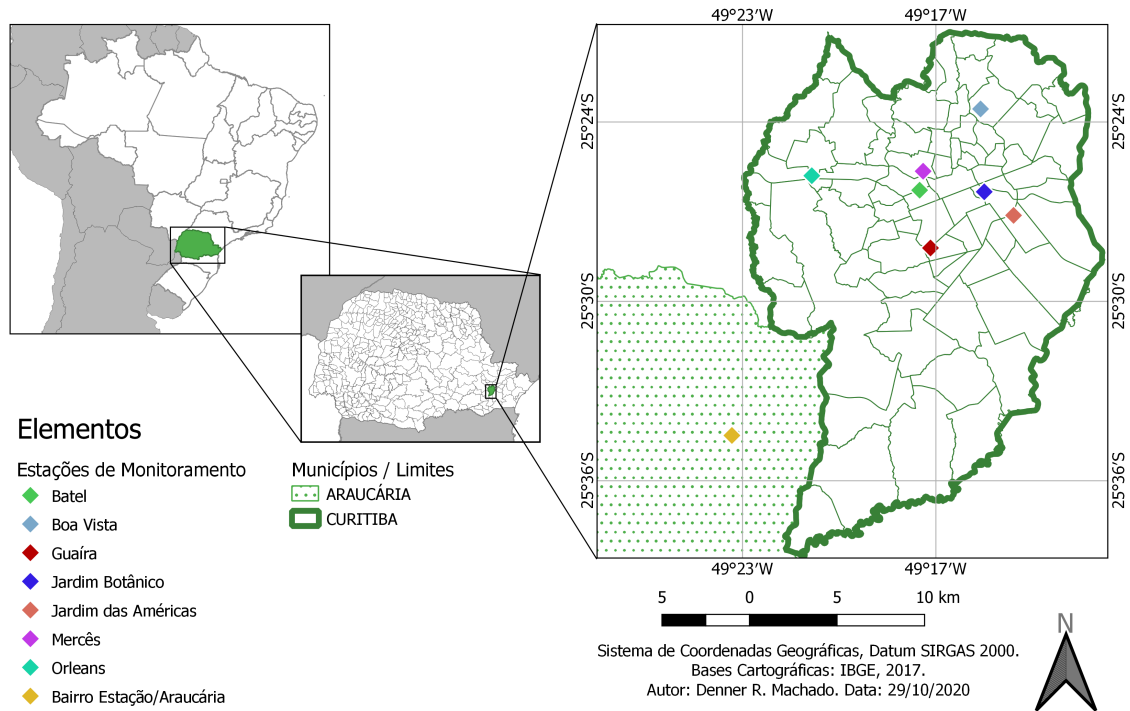


Figura 1.1: Pontos de amostragem com a numeração das estações

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.

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 Bairro Estação/Araucária
Coordenada (SIRGAS 2000)	-25.576283, -49.396009
Topografia/altitude	894 metros
Endereço	Rua Dr. Vital Brasil, 396
Característica do solo no entorno (20 m)	Pavimentada e grama
Vias relevantes mais próximas	Dr. Vital Brasil Rodovia do Xisto (2 km de distância)
Principais fontes (industriais e/ou móveis)	Indústrias (CSN, Repar e Cocelpa) e veiculares
Parâmetros medidos	MP2,5 MP10 Umidade Temperatura
Tipo de monitoramento	A (automático)
Escala espacial	Bairro
Início do monitoramento	07/2019
Frequência do monitoramento	Contínuo

Tabela 2.1: Ficha cadastral da estação Bairro Estação/Araucária

Identificação de estação de monitoramento da qualidade do ar	
Nome	Estação Batel
Coordenada (SIRGAS 2000)	-25.436777, -49.289181
Topografia/altitude	930 metros
Endereço	Alameda Doutor Carlos de Carvalho, 1523
Característica do solo no entorno (20 m)	Pavimentada e grama
Vias relevantes mais próximas	Rua Francisco Rocha, Av. Visc. de Guarapuava Rua Alferes Ângelo Sampaio, Al. Dr. Carlos de Carvalho
Principais fontes (industriais e/ou móveis)	Veiculares e chaminés de pequenos estabelecimentos
Parâmetros medidos	MP2,5 MP10 Umidade Temperatura Velocidade e direção do vento Precipitação
Tipo de monitoramento	A (automático)
Escala espacial	Bairro
Início do monitoramento	10/2019
Frequência do monitoramento	Contínuo

Tabela 2.2: Ficha cadastral da estação Batel

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 2.3: Ficha cadastral da estação Boa Vista

Identificação de estação de monitoramento da qualidade do ar				
Nome	Estação Guaira			
Coordenada (SIRGAS 2000)	-25.46965,-49.28301			
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 2.4: Ficha cadastral da estação Guaira

Identificação de estação de monitoramento da qualidade do ar	
Nome	Estação Jardim Botânico
Coordenada (SIRGAS 2000)	-25.437698, -49.252419
Topografia/altitude	890 metros
Endereço	Rua Engenheiro Leão Sounis, 429
Característica do solo no entorno (20 m)	Pavimentada e grama
Vias relevantes mais próximas	Av. Pres. Affonso Camargo, Av. Pref. Omar Sabbag Av. Comendador Franco, Av. Eng. Rebouças
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 2.5: Ficha cadastral da estação Jardim Botânico

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 2.6: 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 2.7: 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 Ubaldo 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 2.8: Ficha cadastral da estação Orleans

3 Monitoramento de outubro de 2020

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.

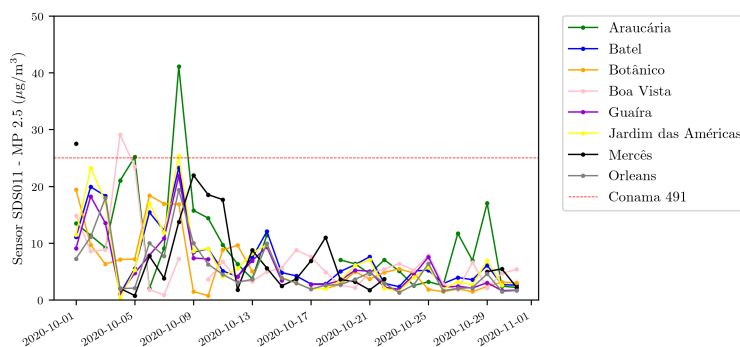


Figura 3.1: Médias diárias de $MP_{2,5}$ dos pontos de amostragem para outubro de 2020.

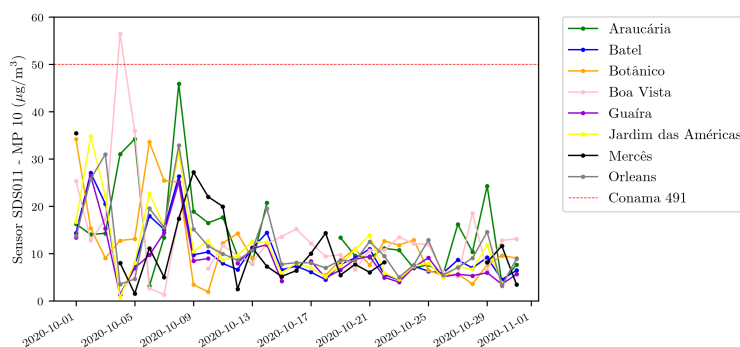


Figura 3.2: Médias diárias de MP_{10} dos pontos de amostragem para outubro de 2020.

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.

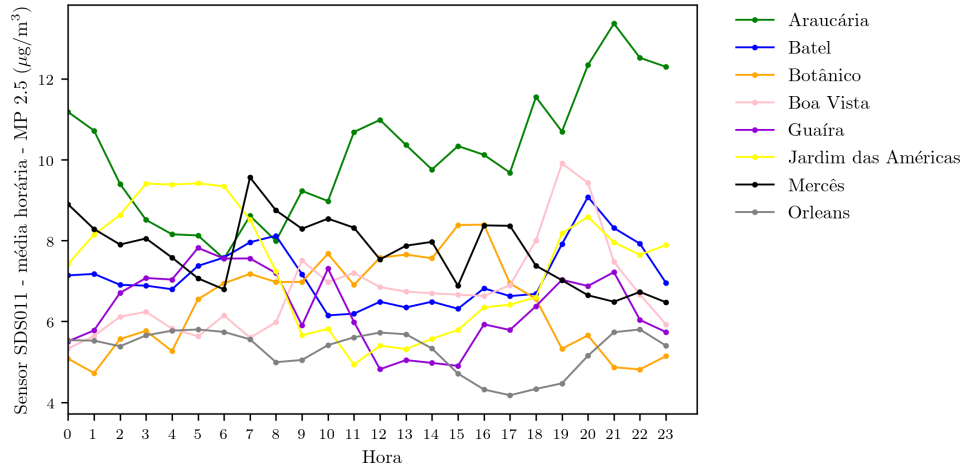


Figura 3.3: Perfis diários de MP_{2,5} dos pontos de amostragem para outubro de 2020

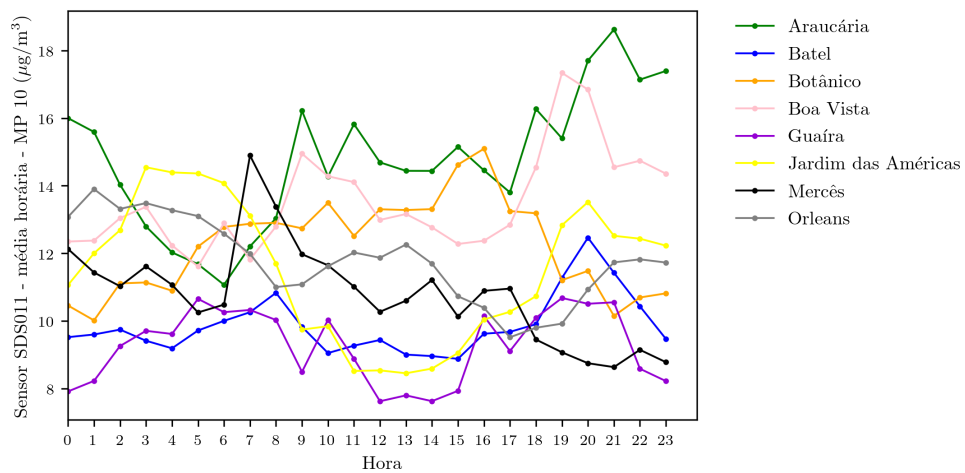


Figura 3.4: Perfis diários de MP₁₀ dos pontos de amostragem para outubro de 2020

3.3 Dados Meteorológicos

A figura abaixo ilustra a rosa dos ventos mensal para a estação Batel de acordo com a escala de cores na unidade metros por segundo.

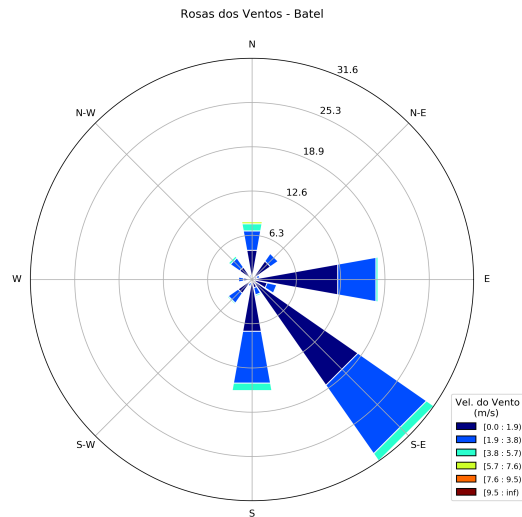


Figura 3.5: Rosa dos Ventos - Batel (m/s).

Os dados de direção e velocidade de vento do mês de interesse mostram que a direção preferencial do vento na estação Batel é proveniente da direção sudeste.

O perfil diário de temperatura e umidade são apresentados nas figuras 3.6 e 3.7. Os gráficos das figuras 3.8 e 3.9 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.

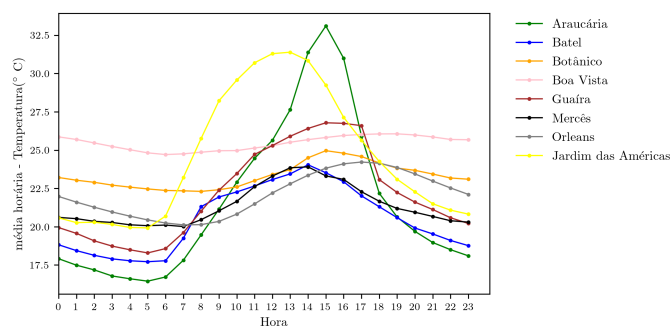


Figura 3.6: Perfil diário de temperatura horária média nos pontos amostrais

Nos gráficos das Figuras 3.6-3.9 nota-se que a estação do Boa Vista teve um comportamento diferente no período noturno (entre 18h e 6h) em relação às outras estações para variação

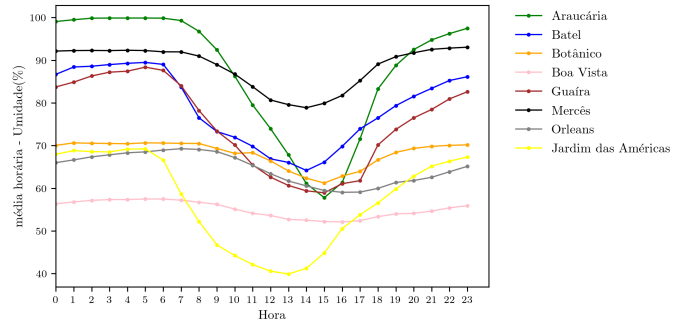


Figura 3.7: Perfil diário de umidade horária média nos pontos amostrais

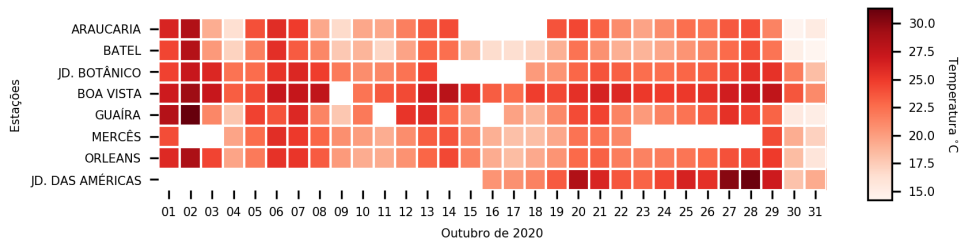


Figura 3.8: Temperatura média diária nos pontos amostrais

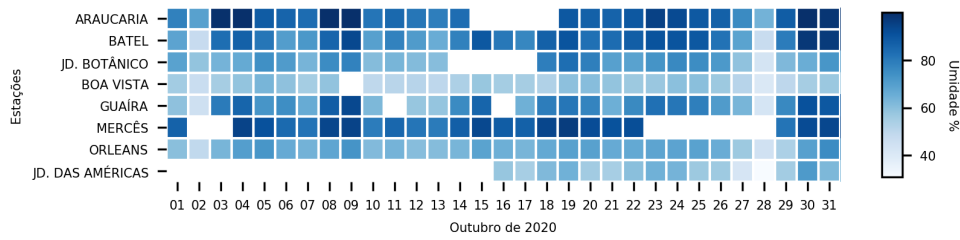


Figura 3.9: Umidade média diária nos pontos amostrais

de temperatura e umidade, a temperatura foi em geral mais alta e a umidade foi em geral mais baixa. Isso pode estar associado ao posicionamento do sensor, que está dentro de uma residência. Essa hipótese será testada para os próximos meses com a troca do sensor e do posicionamento do mesmo.

3.4 Índice da Qualidade do Ar (IQAr)

O Ministério do Meio Ambiente (MMA), em conjunto com os órgãos ambientais estaduais e distritais, lançou 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 3.10 ilustra as classes do índice de qualidade do ar (IQAr) definidas pelo MMA.

Qualidade do Ar	Índice	MP _{2.5} (µg/m ³) 24h	MP ₁₀ (µg/m ³) 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 3.10: 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 ₁₀ (µg/m ³)	MP _{2.5} (µg/m ³)	Umidade(%)	Temperatura(°C)
Araucária	14.80	10.13	87.41	21.57
Batel	9.86	7.15	79.78	20.30
Botânico	12.11	6.31	68.29	23.29
Boa Vista	13.56	6.75	54.93	25.49
Guáiria	9.26	6.33	75.08	22.13
Mercês	10.89	7.75	88.45	21.37
Orleans	11.95	5.29	64.65	22.09
Jardim das Américas	6.61	3.12	57.09	24.60

Tabela 3.1: Médias mensais das concentrações de MP₁₀ e MP_{2.5}, Temperatura e Umidade para as estações de monitoramento

As Figuras 3.11 e 3.12 ilustram a concentração média diária de material particulado em todos os pontos amostrais para MP_{2.5} e MP₁₀, respectivamente. As Figuras 3.13 e 3.14 ilustram o Índice de Qualidade do Ar diário em todos os pontos amostrais baseado na concentração média diária de material particulado para MP_{2.5} e MP₁₀, respectivamente. Algumas estações podem apresentar falhas em alguns dias, que são ilustradas nas Figuras (3.11-3.14) como quadrados brancos.

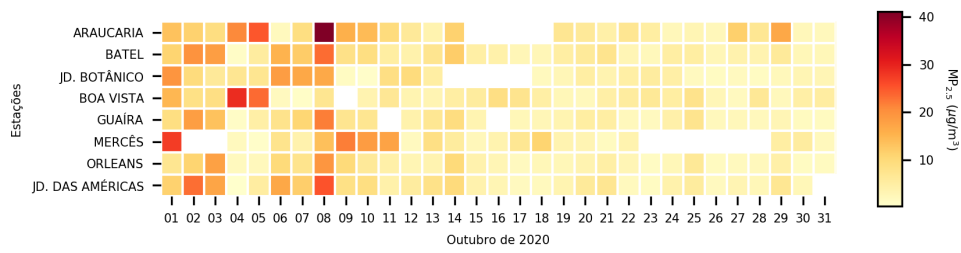


Figura 3.11: Concentração média diária de $MP_{2.5}$ em todos os pontos amostrais

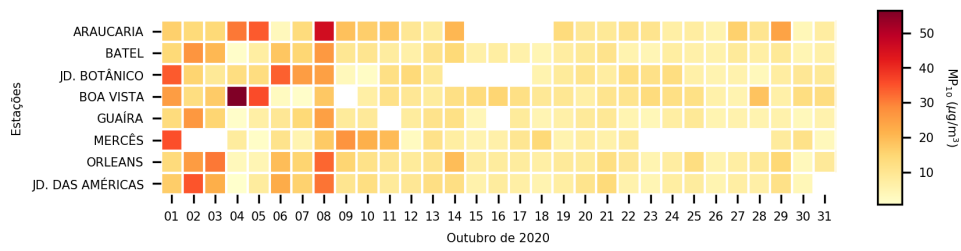


Figura 3.12: Concentração média diária de MP_{10} em todos os pontos amostrais

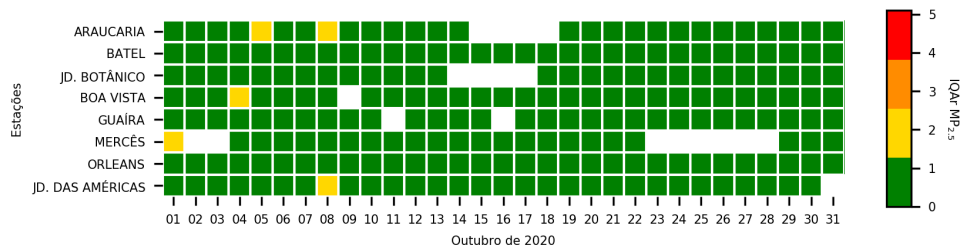


Figura 3.13: IQAr baseado na concentração diária de $MP_{2.5}$ em todos os pontos amostrais

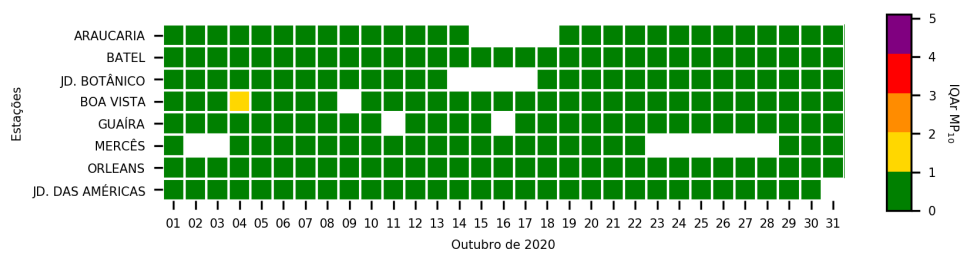


Figura 3.14: IQAr baseado na concentração diária de MP_{10} em todos os pontos amostrais

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 3.10. Foi escolhido o IQAr mais elevado, independentemente do indicador, seja MP₁₀ ou MP_{2.5}.

A Tabela 3.2 apresenta o Índice de Qualidade do Ar para cada estação de monitoramento durante o mês de interesse.

Estação	IQAr (Outubro/2020)
Batel	N1 - Boa
Mercês	N1 - Boa
Jardim Botânico	N1 - Boa
Jardim das Américas	N1 - Boa
Orleans	N1 - Boa
Boa Vista	N1 - Boa
Estação/Araucária	N1 - Boa
Guaira	N1 - Boa

Tabela 3.2: IQAr para as estações de monitoramento

4 Considerações Finais

Considerando os resultados do monitoramento de outubro de 2020 pode-se afirmar que a qualidade do ar dos pontos amostrados em Curitiba é boa (IQAr = N1). Na região metropolitana a estação Araucária apresentou uma qualidade do ar boa (IQAr = N1).

Com relação à identificação dos pontos críticos, destaca-se que as estações de Araucária, Boa Vista, Mercês e Jardim das Américas tiveram um ou dois dias com a qualidade do ar moderada. Ainda 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.

A estação de Campo Largo foi desativada pois estava próxima a fontes de material particulado (estradas de terra, obras na rodovia BR277) e estava apresentando resultados anômalos.