



RELATÓRIO ANUAL DA QUALIDADE DO AR NO ESTADO DO PARANÁ

2021



**INSTITUTO
ÁGUA E TERRA**

PARANÁ 
GOVERNO DO ESTADO

Governador do Estado do Paraná

Carlos Roberto Massa Júnior

**Secretário de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo
(SEDEST)**

Valdemar Bernardo Jorge

Diretor-Presidente do Instituto Água e Terra (IAT)

Everton Luiz da Costa Souza

Diretora de Licenciamento e Outorga

José Volnei Bisognin

Gerente de Monitoramento e Fiscalização

Álvaro Cesar de Góes

Chefe da Divisão de Monitoramento

Christine da Fonseca Xavier

Equipe técnica de Qualidade do Ar e Emissões Atmosféricas

João Carlos de Oliveira

Eduardo Neves da Silva

Ailton Marchiori Izidoro Junior

Carolina Kinverly Novais de Oliveira

Jéssica Anhaí Rabery

Gabriel Bolzan

APRESENTAÇÃO

O Relatório Anual da Qualidade do Ar 2021 apresenta os resultados obtidos a partir dos dados gerados pela rede de monitoramento, localizadas no estado do Paraná, em atendimento a Resolução CONAMA Nº 491/2018.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fontes e características dos principais poluentes na atmosfera.....	12
Tabela 2 - Padrões nacionais de qualidade do ar	14
Tabela 3 – Concentrações para níveis de Atenção, Alerta e Emergência para cada poluente (Resolução CONAMA Nº 481/18).....	14
Tabela 4 - Classificação da qualidade do ar utilizando o Índice de Qualidade do Ar - IQA	15
Tabela 5 – Configuração das estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar	19
Tabela 6 - Métodos de medição para cada parâmetro monitorado	22
Tabela 7 - Critério de representatividade dos dados gerados	22
Tabela 8 – Monitoramento da qualidade do ar nas áreas industrial, centro e bairro no Estado do Paraná	24
Tabela 9 - Evolução da frota veicular do Estado do Paraná de 2012 a 2019	26
Tabela 10 - Resultados das médias diárias do monitoramento de PTS	32
Tabela 11 - Resultados das médias diárias do monitoramento de MP10	36
Tabela 12 - Resultados das médias diárias do monitoramento de SO ₂	41
Tabela 13 - Resultados das médias diárias do monitoramento de CO	46
Tabela 14 - Resultados das médias diárias do monitoramento de O ₃	51
Tabela 15 - Resultados das médias diárias do monitoramento de NO ₂	56
Tabela 16 - Resultados das médias diárias do monitoramento de MP 2,5.....	61
Tabela 17 - Número de violações ao Padrão Final por parâmetros observados em 2021	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar de Curitiba e Araucária	20
Figura 2 - Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar no Paraná	21
Figura 3 - Evolução do índice de motorização no Paraná de 2010 a 2019.....	26
Figura 4 - Rosa dos ventos média da estação RPR no período de 2021	27
Figura 5 - Rosa dos ventos média da estação CSN no período de 2021	28
Figura 6 - Rosa dos ventos média da estação CIC no período de 2021	29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Precipitação média mensal e dias de chuva na estação CSN em 2021	30
Gráfico 2 - Média de temperatura mensal e máxima na estação RPR em 2021	30
Gráfico 3 - Máximas médias diárias de PTS observadas no Paraná em 2021	33
Gráfico 4 - Médias anuais de PTS observadas no Paraná em 2021	33
Gráfico 5 - Comportamento do poluente PTS na Estação RPR (médias diárias)	34
Gráfico 6 – Concentrações médias anuais de PTS em Curitiba e RM (2004-2021)	35
Gráfico 7 – Concentrações médias anuais de PTS no Paraná (2019-2021)	36
Gráfico 8 - Máximas médias diárias de MP10 observadas no Paraná em 2021	37
Gráfico 9 - Médias anuais de MP10 observadas no Paraná em 2021	38
Gráfico 10 - Comportamento do poluente MP10 na estação RPR (médias diárias)	38
Gráfico 11 - Comportamento do poluente MP10 na estação CIC	39
Gráfico 12 – Concentrações médias anuais de MP10 em Curitiba e RM (2004-2021)	39
Gráfico 13 – Concentrações médias anuais de MP10 no Paraná (2019-2021)	40
Gráfico 14 – Máximas médias diárias de SO ₂ observadas no Paraná em 2021	42
Gráfico 15 – Médias anuais de SO ₂ observadas no Paraná em 2021	42
Gráfico 16 – Comportamento do poluente SO ₂ na estação CSN (médias diárias)	43
Gráfico 17 – Comportamento do poluente SO ₂ na estação RPR (médias diárias)	43
Gráfico 18 – Concentrações médias anuais de SO ₂ em Curitiba e RM (2004-2021) ...	44
Gráfico 19 – Concentrações médias anuais de SO ₂ no Paraná (2019-2021)	45
Gráfico 20 – Máximas médias diárias de CO observadas no Paraná em 2021	47
Gráfico 21 – Médias anuais de CO observadas no Paraná em 2021	47
Gráfico 22 – Comportamento do poluente CO na estação PGA (médias diárias)	48
Gráfico 23 – Comportamento do poluente CO na estação RPR (médias diárias)	49
Gráfico 24 – Concentrações médias anuais de CO em Curitiba e RM (2004-2021)	50
Gráfico 25 – Concentrações médias anuais de CO no Paraná (2019-2021)	51
Gráfico 26 – Máximas médias diárias de O ₃ observadas no Paraná em 2021	52

Gráfico 27 – Comportamento do poluente O ₃ na estação CSN (médias diárias).....	53
Gráfico 28 – Comportamento do poluente O ₃ na estação RPR (médias diárias).....	53
Gráfico 29 – Concentrações médias anuais de O ₃ em Curitiba e RM (2004-2021)	54
Gráfico 30 – Concentrações médias anuais de O ₃ no Paraná (2019-2021)	55
Gráfico 31 – Máximas médias horárias de NO ₂ no estado do Paraná.....	57
Gráfico 32 – Médias anuais para o poluente NO ₂ no estado do Paraná em 2021	57
Gráfico 33 – Comportamento do poluente NO ₂ na estação CSN (médias horárias)....	58
Gráfico 34 – Concentrações médias anuais de NO ₂ em Curitiba e RM (2004-2021)...	59
Gráfico 35 – Concentrações médias anuais de NO ₂ em Curitiba e RM (2004-2022)...	60
Gráfico 36 – Máximas médias diárias de MP 2,5 obtidas no Paraná em 2021	61
Gráfico 37 – Médias anuais de MP 2,5 obtidas no Paraná em 2021	62
Gráfico 38 – Comportamento do poluente MP 2,5 na estação RPR durante o último quadrimestre de 2021	62
Gráfico 39 – Porcentagem de maior número de violações por poluentes no Paraná em 2021	64
Gráfico 40 – Porcentagem de maior número de violações por cidade no Paraná em 2021	65

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

ASS	Estação automática Centro Social São Francisco de Assis
BOQ	Estação automática Boqueirão
CETESB	Companhia da Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CH ₄	Metano
CIC	Estação automática da Cidade Industrial de Curitiba
CSN	Estação automática da Companhia Siderúrgica Nacional
CSN-PR 423	Estação manual CSN-PR 423
CO	Monóxido de carbono
COL	Estação manual Colombo
COMEC	Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CVEL	Estação automática Cascavel
DETRAN-PR	Departamento de Trânsito do Paraná
DV	Direção do vento
HCT	Hidrocarbonetos totais
H ₂ SO ₄	Ácido sulfúrico
IAT	Instituto Água e Terra
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IQA	Índice de qualidade do ar
kPa	Quilo pascal, unidade de pressão atmosférica
LACTEC	Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento
LON	Estação automática de Londrina
mm	milímetros
MP2,5	Material particulado com diâmetro de 2,5 micrômetros
MP10	Material particulado com diâmetro de 10 micrômetros
MRGA	Estação automática de Maringá
N°	Número
NH ₃	Amônia
NO	Monóxido de nitrogênio
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
NO _x	Óxidos de nitrogênio, entende-se como soma de NO + NO ₂
O ₃	Ozônio
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento
OMS	Organização Mundial da Saúde
P	Pressão
PARP	Estação automática praça Ouvidor Pardini

PGA	Estação automática Ponta Grossa
PGUA	Estação automática Paranaguá
ppm	partes por milhão
PTS	Partículas totais em suspensão
RADG	Radição global
REPAR	Refinaria Presidente Getúlio Vargas
RMC ou RM	Região metropolitana de Curitiba
RPR	Estação automática da refinaria Presidente Getúlio Vargas
SC	Estação manual Santa Casa
SEM	Estação manual Seminário
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SIX	Estação automática São Mateus do Sul
SO ₂	Dióxido de enxofre
SO ₃	Trióxido de enxofre ou óxido sulfúrico
SS	Estação manual São Sebastião
STC	Estação automática Santa Cândida
TEMP	Temperatura
UEG	Estação automática doada pela Usina Elétrica a Gás de Araucária
UMID	Umidade
UTM	Sistema de coordenadas cartesianas bidimensional Universal Transversa de Mercator
VV	Velocidade do vento
µg	Micro-grama, um milionésimo de um grama
µg/m ³	Micro-grama por metro cúbico, concentração gravimétrica do poluente no ar
° C	Unidade de temperatura graus Celsius

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. QUALIDADE DO AR	10
2.1. Principais poluentes atmosféricos.....	11
2.2. Padrões de qualidade do ar	13
2.3. Índice de qualidade do ar	15
2.4. Efeitos da poluição atmosférica.....	16
3. REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DO PARANÁ	18
3.1. Tipos de rede.....	18
3.1.1. Rede manual	18
3.1.2. Rede automática.....	18
3.2. Metodologia de monitoramento	21
3.3. Metodologia de tratamento dos dados	22
3.4. Abrangência do monitoramento	23
3.5. Aspectos gerais de Curitiba e região metropolitana	25
3.5.2. Condições meteorológicas – 2021	27
3.6. Resultados	31
3.6.1. Partículas totais em suspensão (PTS).....	31
3.6.2. Partículas inaláveis (PM10)	36
3.6.3. Dióxido de enxofre (SO ₂).....	40
3.6.4. Monóxido de carbono (CO).....	45
3.6.5. Ozônio (O ₃).....	51
3.6.6. Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	55
3.7. Registro de violações aos padrões finais e intermediários	63
4. CONCLUSÃO.....	66
5. REFERÊNCIAS.....	69
APÊNDICE 1 – Variação da média diária dos poluentes SO ₂ , NO, NO ₂ , O ₃ , CO, PI e PTS.....	Erro! Indicador não definido.
APÊNDICE 2 – Plumas de poluição para as estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar de Curitiba e região metropolitana.....	Erro! Indicador não definido.
APÊNDICE 3 – Coordenadas geográficas e UTM das estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar do Estado do Paraná	73

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Resolução CONAMA Nº 491/2018, que dispõe sobre o monitoramento da qualidade do ar, é responsabilidade dos estados o estabelecimento de Programas Estaduais de Controle da Poluição do Ar. Assim, o objetivo principal deste relatório é apresentar o diagnóstico da qualidade do ar no Estado do Paraná a partir dos dados obtidos pela rede de monitoramento da qualidade do ar.

Desde a década de 80, o Instituto Água e Terra - IAT mantém a rede de monitoramento da qualidade do ar para avaliar os níveis da poluição atmosférica em diferentes localidades no Estado do Paraná. Em 1998, foi iniciado o monitoramento automático que, além de permitir o monitoramento de um número maior de poluentes, permitiu também, o acompanhamento em tempo real dos resultados obtidos.

No ano de 2021, um total de oito estações automáticas de amostragens produziram dados significativos referentes a qualidade do ar. Entre tais, a rede conta com três estações de ar na Região Metropolitana de Curitiba e cinco estações distribuídas pelas cidades de Ponta Grossa, Londrina, Maringá, Cascavel e São Mateus do Sul, formando-se a Rede Estadual de Qualidade do Ar. Historicamente, tal rede contou com mais estações na cidade de Curitiba (Bairros Centro e Vila Hauer), Araucária (Bairros Centro e Fazenda Velha), Paranaguá, Foz do Iguaçu e Colombo, mas estas não contribuíram com dados significativos durante o período em questão, seja por conta de paradas para manutenção ou por troca de equipamentos.

2. QUALIDADE DO AR

2.1 Principais poluentes atmosféricos

Conforme define a Resolução CONAMA Nº 491/18, são poluentes atmosféricos “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 à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade”.

Quando o poluente atmosférico é emitido diretamente pela fonte de emissão, ele é denominado poluente primário, como é o caso do monóxido de carbono (CO), monóxido de nitrogênio (NO) e dióxido de enxofre (SO₂). Geralmente, concentrações altas de poluentes primários são registradas nas proximidades das fontes emissoras.

Outro tipo de poluente é formado na atmosfera através da reação química entre poluentes e/ou constituintes naturais na atmosfera, ou seja, não é emitido diretamente por uma fonte. Neste caso, chama-se de poluente secundário. É o caso do ozônio (O₃), da maior parte do dióxido de nitrogênio (NO₂) e de certas partículas muito finas. No caso de poluentes secundários, não podemos prever facilmente onde serão registradas altas concentrações. Em geral, problemas com poluentes secundários abrangem uma área maior do que no caso de poluentes primários.

Cabe ressaltar que, mesmo mantidas as emissões, a qualidade do ar pode sofrer alterações em função das condições meteorológicas que determinam a dispersão dos poluentes. Em função disso, durante os meses de inverno observa-se uma elevação da concentração de monóxido de carbono, material particulado e dióxido de enxofre em função das condições meteorológicas serem desfavoráveis à dispersão dos poluentes. Já nos meses de primavera e verão, observa-se o aumento da concentração de poluentes secundários, como o ozônio, os quais dependem de fatores como intensidade de luz solar para serem formados.

A Tabela 1 contempla um resumo geral dos principais poluentes indicadores da qualidade do ar, assim como suas características, principais origens e efeitos ao meio ambiente.

Tabela 1 - Fontes e características dos principais poluentes na atmosfera

Poluente	Características	Fontes principais	Efeitos gerais ao meio ambiente
Partículas inaláveis (MP₁₀)	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 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 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 (SO₂)	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 (NO₂)	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.	Combina com a hemoglobina do sangue dificultando o transporte de oxigênio
Ozônio (O₃)	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: Adaptado de CETESB, 2014 e CETESB, 2022.

2.1. Padrões de qualidade do ar

A Resolução CONAMA Nº 491/18, revoga as Resoluções CONAMA Nº 03/1990 e os itens 2.2.1 e 2.3 da CONAMA Nº 05/1989, definindo os padrões de qualidade do ar como “um dos instrumentos de gestão da qualidade do ar, determinado como valor de concentração de um poluente específico na atmosfera, associado a um intervalo de tempo de exposição, para que o meio ambiente e a saúde da população sejam preservados em relação aos riscos de danos causados pela poluição atmosférica”.

A existência de padrões de qualidade do ar é muito importante, pois eles definem até que nível a presença de certa substância no ar que respiramos é legalmente tolerável. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2014), os padrões de qualidade do ar são estabelecidos levando em consideração os riscos à saúde, a viabilidade técnica, considerações econômicas além de fatores políticos e sociais, os quais dependem, entre outras coisas, do nível de desenvolvimento e da capacidade nacional de gerenciar a qualidade do ar. Além disso, deve-se considerar as circunstâncias locais antes de se adotar valores propostos como padrões nacionais.

A Resolução CONAMA Nº 491/18, estabelece os padrões nacionais de qualidade do ar para nove parâmetros: partículas totais em suspensão (PTS), fumaça, material particulado (MP10), material particulado (MP2,5), dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂) e Chumbo (Pb).

Os parâmetros Partículas Totais em Suspensão (PTS) e o material particulado em suspensão na forma de fumaça (FMC), são parâmetros auxiliares, a serem utilizados em situações específicas, a critério do órgão ambiental competente.

O parâmetro Chumbo no material particulado, é um parâmetro a ser monitorado em áreas específicas, em função da tipologia das fontes de emissões e a critério do órgão ambiental.

Segundo a Resolução CONAMA Nº 491/18, os padrões de qualidade do ar são determinados como padrão de qualidade do ar intermediário – PI, e padrão de qualidade do ar final - PF. Tendo o padrão intermediário de qualidade do ar definido em 3 etapas, PI-1, PI-2, PI-3, a serem adotados de forma subsequente levando em consideração o Plano de Controle de Emissões Atmosféricas. Para o poluente CO, em específico, já encontra-se na etapa do Padrão Final.

Os padrões nacionais de qualidade do ar, estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº 491/18 estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Padrões nacionais de qualidade do ar

Poluente	Tempo de amostragem	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 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	PF (ppm)
Material Particulado (MP10)	24 horas	120	100	75	50	
	Anual ¹	40	35	30	20	
Material Particulado (MP2,5)	24 horas	60	50	37	25	
	Anual ¹	20	17	15	10	
Dióxido de enxofre (SO ₂)	24 horas	125	50	30	20	
	Anual ¹	40	30	20		
Dióxido de nitrogênio (NO ₂)	1 hora ²	260	240	220	200	
	Anual ¹	60	50	45	40	
Ozônio (O ₃)	8 horas ³	140	130	120	100	
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	
	Anual ¹	40	35	30	20	
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas ³					9
Partículas totais em suspensão (PTS)	24 horas				240	
	Anual ⁴				80	
Chumbo (Pb) ⁵	Anual ¹				0,5	

Nota:

¹ média aritmética anual, ² média horária, ³ máxima média móvel obtida no dia, ⁴ média geométrica anual, ⁵ medido nas partículas totais em suspensão.

FONTE: BRASIL, 2018.

A Resolução CONAMA Nº 491/18 estabelece também a definição de episódio crítico de poluição do ar, que seria uma situação de altas concentrações de poluentes na atmosfera em um curto período de tempo, resultante de condições atmosféricas desfavoráveis. A Tabela 3 contém os níveis de Atenção, Alerta e Emergência, sendo estes declarados quando excedido uma ou mais de suas condições.

Tabela 3 – Concentrações para níveis de Atenção, Alerta e Emergência para cada poluente (Resolução CONAMA Nº 481/18).

Nível	Poluentes e concentrações					
	SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	Material Particulado		CO (ppm) ²	O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ²	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹
		MP10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹	MP2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ¹			
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

Nota:¹ Média de 24h, ² Média de 8h, ³ Média de 1h.**FONTE: BRASIL, 2018.**

2.2. Índice de qualidade do ar

Para facilitar a divulgação da informação sobre a qualidade do ar e, ao mesmo tempo, padronizar todas as substâncias em uma única escala, utilizamos o índice de qualidade do ar (IQA). O índice é uma ferramenta matemática obtido através de uma função linear segmentada, onde os pontos de inflexão são os padrões de qualidade do ar (Tabela 2) e os níveis de atenção, alerta e emergência (Tabela 3). Para cada concentração medida, a função atribui um valor para o índice, que é um número adimensional. Por definição, ao nível do padrão primário é atribuído um índice de 100, o de atenção equivale a um índice de 200, o nível de alerta a 300 e o nível de emergência a 400. Por exemplo: se analisarmos uma média horária de ozônio de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, isto seria exatamente o limite do padrão primário e, portanto, corresponderia a um índice de 100. Caso o resultado fosse a metade, apenas $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o índice correspondente seria 50. Este índice também é utilizado para classificar a qualidade do ar em seis categorias, de boa até crítica conforme classificação da Tabela 4. Para efeito de divulgação, é utilizado o índice mais elevado dentre os poluentes medidos em cada estação. Portanto, a qualidade do ar em cada estação é determinada pelo pior caso dentre os poluentes monitorados no período avaliado.

Tabela 4 - Classificação da qualidade do ar utilizando o Índice de Qualidade do Ar - IQA

Qualidade	Índice	PM10	O ₃	CO	NO ₂	SO ₂	PM2,5	PTS	Significado
		($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 8h	(ppm) 8h	($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1h	($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24h	
Boa	0 – 40	0 – 50	0 – 100	0 – 9	0 - 200	0 - 20	0 - 25	0 – 240	Praticamente não há risco à saúde.
Regular	> 40 – 96	> 50 - 120	> 25 - 60	> 9 - 11	> 200 - 260	> 20 - 125	> 25 - 60	> 240 - 285	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.
Inadequada	> 96 – 144	> 120 – 180	> 140 - 160	> 11 - 13	> 260 - 340	> 125 - 400	> 60 - 90	> 285 - 330	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.

Ruim	> 144 - 200	> 180 - 250	> 160 - 200	> 13 - 15	> 340 - 1130	> 400 - 800	> 90 - 125	> 330 - 375	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda apresentar falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com problemas cardiovasculares).
Péssima	> 200	> 250	> 200	> 15	> 1130	> 800	> 125	> 375	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

FONTE: IAT, 2021.

2.3. Efeitos da poluição atmosférica

O intenso desenvolvimento econômico das últimas décadas tem agravado as questões socioambientais vivenciadas pela humanidade. Entre estas questões, ganha destaque a poluição atmosférica que, segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS), estima-se que é responsável pela morte de aproximadamente sete milhões de pessoas no mundo a cada ano, ou seja, uma em cada oito mortes foi resultado da exposição à poluição do ar (OMS, 2021), além de causar danos irreversíveis para a saúde humana, tais como: redução de crescimento em crianças, infecções respiratórias e agravamento da asma, doenças neurodegenerativas e cardiovasculares, possuindo também propriedades cancerígenas.

Os efeitos da poluição atmosférica são numerosos e diversos, estendendo-se dos toxicológicos aos econômicos. Nos seres humanos, os poluentes atmosféricos normalmente entram no organismo através das vias respiratórias, podendo causar danos aos pulmões e a todo o sistema respiratório. De acordo com a *Organisation for Economic Co-operation and Development* (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento - OECD) estima-se que até 2050, se nenhuma medida de combate à poluição for tomada, a principal causa de morte, com exceção de doenças crônicas não evitáveis, estará relacionada a complicações cardiorrespiratórias devidas à má qualidade do ar, principalmente a poluentes como o material particulado e o ozônio troposférico, superando as mortes por malária, consumo de água insalubre e falta de saneamento básico (OECD, 2012).

Os ecossistemas também vêm sendo prejudicados pelo aumento de poluentes na atmosfera. A chuva ácida, um dos fenômenos que surgem a partir da poluição do ar, pode, por exemplo, causar grandes danos à flora e a fauna, tornando o solo improdutivo e contaminando a água dos rios. Construções e monumentos históricos também sofrem com a existência desse fenômeno, pois os materiais são corroídos e danificados, sendo necessário efetuar processos de restauração de tempos em tempos para que permaneçam em sua forma original, evitando que a cultura e a história se percam.

Por estas razões, o monitoramento da qualidade do ar e a redução das emissões são fundamentais para manter o meio ambiente preservado e a população saudável, tornando a qualidade de vida das pessoas paranaenses muito melhor.

3. REDE DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DO PARANÁ

3.1. Tipos de rede

Redes manuais e automáticas se diferem quanto ao funcionamento e obtenção de dados. Em uma rede manual de monitoramento da qualidade do ar, amostras são coletadas em campo e trazidas para análise em laboratório, a depender do poluente medido. O método e a frequência de amostragem são dependentes do parâmetro a ser medido (CETESB, 2023). O resultado, portanto, só é obtido após dita análise. Já redes automáticas diferem-se quanto a avanço tecnológico, uma vez que os dados são coletados ininterruptamente pelo equipamento que, ligado a uma central de computadores, registra as concentrações dos poluentes na atmosfera (CETESB, 2023). A análise dos dados brutos, portanto, deverá contemplar os períodos de referência previstos pela legislação ambiental.

3.1.1. Rede manual

A rede manual começou a operar no ano de 1985 com cinco estações que analisavam os poluentes PTS, Fumaça, SO₂ e NH₃ (médias diárias): Santa Casa (SC), Colombo (COL), Seminário (SEM), São Sebastião (SS) e Assis (ASS). As estações Assis e Seminário foram desativadas em abril de 2013 por estarem localizadas em regiões onde há estações automáticas em operação. A estação São Sebastião (SS) foi desativada em fevereiro de 2013 e realocada como CSN-PR423 no mesmo período, porém esta foi desativada em 2015. Também em 2015, as estações Santa Casa (SC) e Colombo (COL) foram desativadas.

3.1.2. Rede automática

A rede automática de monitoramento da qualidade do ar teve início no ano de 1998, com a instalação de duas estações automáticas em Curitiba. Hoje a rede abrange demais regiões do estado, atendendo em 2021 o total de 7 municípios. Na Tabela 5, segue a configuração atual das estações automáticas da qualidade do ar (em

funcionamento), identificados os poluentes medidos em cada uma dessas, bem como variáveis meteorológicas.

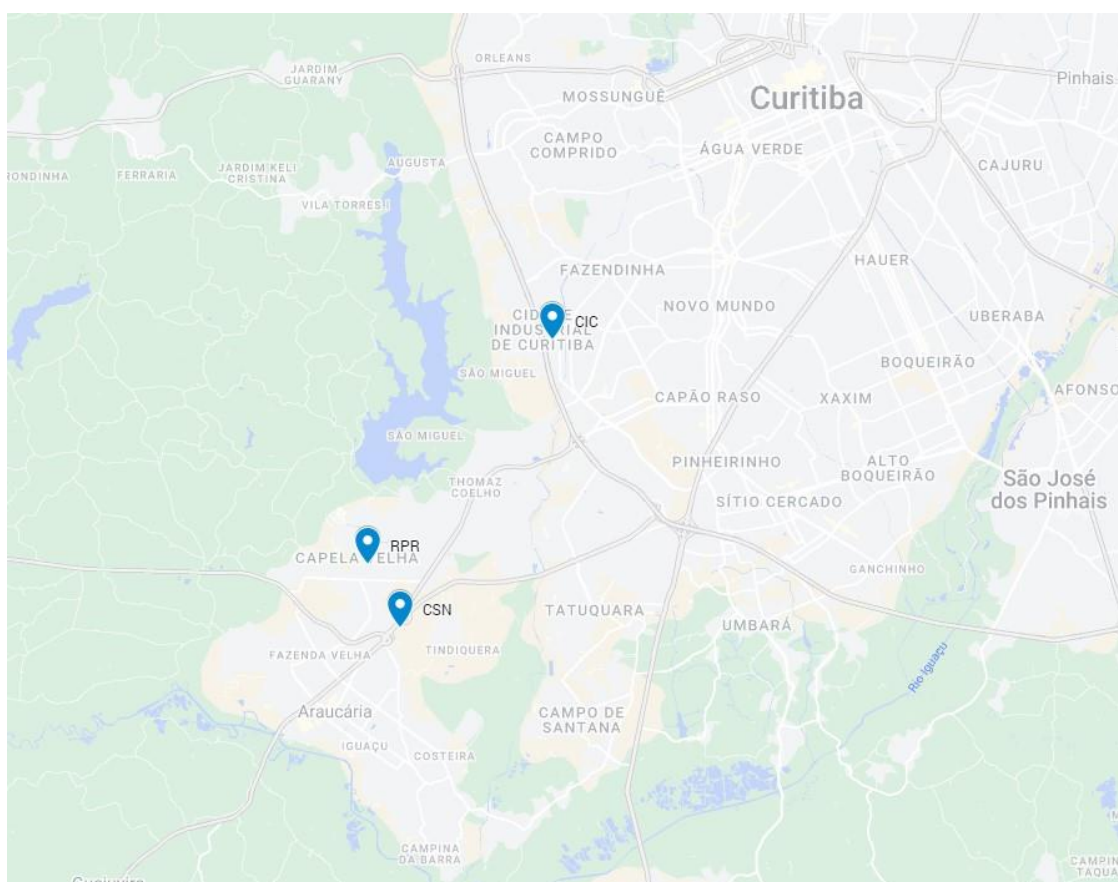
Tabela 5 – Configuração das estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar

Estação	Vocacional	Localização	Parâmetros												
			SO ₂	O ₃	NO ₂	CO	PTS	PM ₁₀	PM _{2.5}	UMID	T	VV	DV	P	
CIC	Bairro	Rua Senador Accioly Filho, Nº 3400, Cidade Industrial de Curitiba, Curitiba.	X		X	X	X		X	X		X	X	X	X
CSN	Industrial	Rodovia do Xisto, BR-476, Nº 5005, Chapada, Araucária.	X	X	X		X				X	X		X	X
CVEL	Centro	Rua Pernambuco, 1843, Centro, Cascavel	X	X					X		X	X	X	X	X
LON	Centro	Av. Brasil, 1115, Centro, Londrina		X	X						X	X	X	X	X
MRGA	Centro	Estádio Willi Davis, Centro, Maringá	X		X						X	X	X	X	X
PGA	Centro	Parque ambiental, Centro, Ponta Grossa		X	X	X	X	X			X	X	X	X	X
RPR	Industrial	Rua das Andorinhas, Nº 151, Capela Velha, Araucária.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SIX	Industrial e Centro	Rua Manoel da Cunha Bittencout, 128	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X

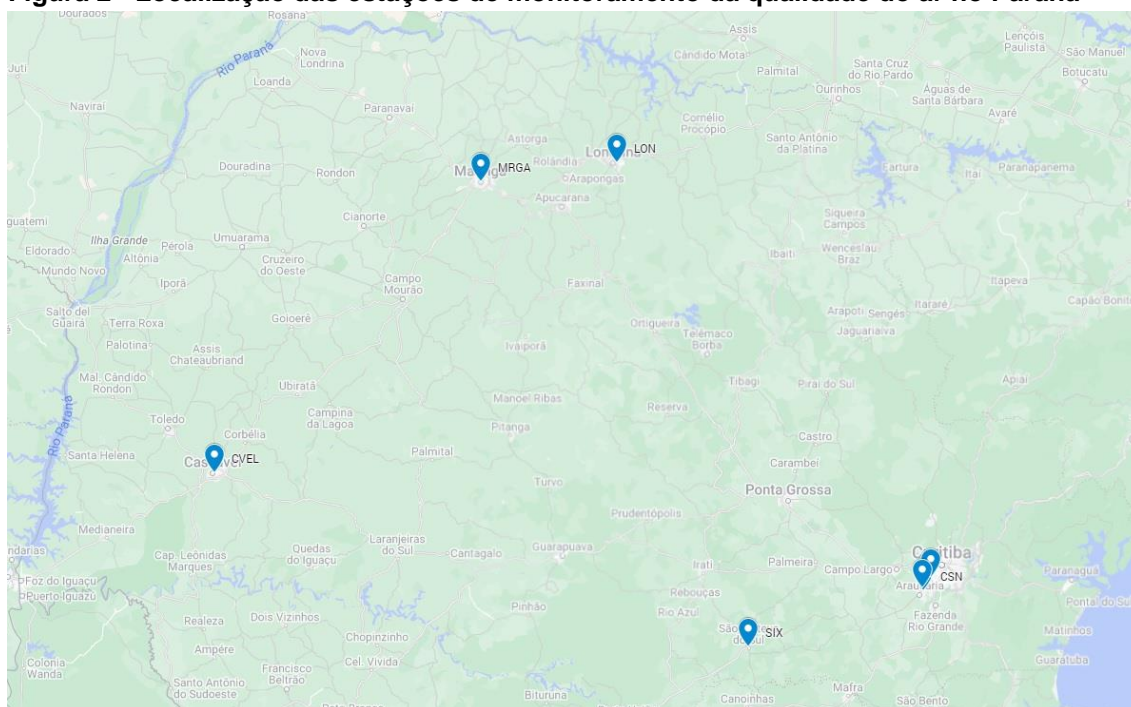
FONTE: Os autores, 2023.

A Figura 1 contém um mapa ilustrativo com as localidades das estações automáticas dos municípios de Curitiba e Araucária que estão em funcionamento no ano de 2021, enquanto na Figura 2 está indicado as demais estações em funcionamento em 2021. No Apêndice 2 estão listadas as coordenadas geográficas e UTM das estações de monitoramento da qualidade do ar que compõem a rede de monitoramento do Estado do Paraná.

Figura 1 - Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar de Curitiba e Araucária



FONTE: Os autores, 2023.

Figura 2 - Localização das estações de monitoramento da qualidade do ar no Paraná**FONTE: Os autores, 2023.**

3.2. Metodologia de monitoramento

O objetivo do controle da poluição atmosférica é baseado em três princípios: a proteção e a prevenção contra os comprovados impactos adversos e a motivação ética, que é o prazer de viver em um ambiente limpo e saudável. O instrumento central deste controle é o monitoramento da qualidade do ar, o qual é realizado através de estações de monitoramento automáticas. Cada estação automática possui equipamentos que analisam parâmetros químicos e parâmetros meteorológicos instantaneamente.

As estações automáticas operam com analisadores contínuos, capazes de realizar amostragens a cada 3 segundos. O banco de dados é formado por médias de 5 minutos, obtidas a partir dos dados de 3 segundos, com exceção dos analisadores de PTS e PI, os quais coletam o ar por um período de 50 minutos contínuos e analisam a amostra durante 10 minutos, armazenando o resultado no banco de dados como a média horária. Esse banco de dados é armazenado por um sistema computadorizado na estação e transmitido para uma central onde os dados são tratados e validados de acordo com critérios definidos. Como o monitoramento é todo automatizado, só é necessário visitar as estações automáticas para a realização de calibrações, manutenções preventivas e corretivas nos equipamentos e limpeza da estação.

Os princípios de medição utilizados para medição dos diversos parâmetros amostrados pelas estações automáticas estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 - Métodos de medição para cada parâmetro monitorado

Parâmetro	Método
Partículas inaláveis	Radiação Beta
Partículas totais em suspensão	Radiação Beta
Dióxido de enxofre	Fluorescência de pulso
Óxidos de nitrogênio	Quimiluminescência
Monóxido de carbono	Infravermelho não dispersivo
Ozônio	Ultravioleta

FONTE: Os autores, 2023.

3.3. Metodologia de tratamento dos dados

Na operação de uma rede de estações de monitoramento, sempre acontecem lacunas na obtenção de dados, podendo ser devido à calibração, manutenção dos analisadores ou simplesmente por falta de energia. Isto não significa um problema para o cálculo das médias horárias, diárias ou anuais, se os valores válidos não ficarem abaixo de um limite estabelecido de representatividade.

Os critérios de representatividade dos dados utilizados pelo IAT e considerados no processamento dos dados são descritos na Tabela 7.

Tabela 7 - Critério de representatividade dos dados gerados

Intervalo de tempo	Critério de representatividade
Média horária	½ das medidas válidas na hora
Média de oito horas	seis médias horárias válidas.
Média diária	2/3 das médias horárias válidas no dia
Média mensal	2/3 das médias diárias válidas no mês
Quadrimestral	½ das médias diárias válidas para os quadrimestres janeiro-abril, maio-agosto e setembro-dezembro
Média anual	todas as três médias quadrimestrais válidas

FONTE: Os autores, 2023.

Assim, sempre que uma média horária não atinge o critério de representatividade, cria-se uma lacuna na planilha destas médias. Dizer que a

disponibilidade para a média horária foi, por exemplo, de 80% significa que do total de 8.760 horas do ano, 80% ou 7.008 valores são válidos.

Da mesma forma, se para um dia não se obteve pelo menos 16 médias horárias válidas, cria-se uma lacuna na planilha das médias diárias. Dizer que a disponibilidade para 24 horas foi, por exemplo, de 80% significa que das 365 médias diárias do ano, 80% ou 292 estão válidas.

A informação sobre a disponibilidade do equipamento é de extrema importância, especialmente quando se comparam resultados de um ano com outro. Isso porque a probabilidade de monitorar uma violação fica cada vez menor, na medida em que a indisponibilidade de dados aumenta. Portanto, um número menor de violações pode também ser ocasionado pela menor disponibilidade de informações e não significa necessariamente que a qualidade do ar melhorou nesta proporção.

3.4. Abrangência do monitoramento

Baseando-se na Diretiva Europeia 1999/30/CE, verificamos que a Região Metropolitana de Curitiba, por comportar uma população entre 2,75 e 3,75 milhões, deveriam contar com três a sete pontos de monitoramento da qualidade do ar em função do grau de comprometimento da bacia aérea.

Quanto à localização das estações para a proteção da saúde humana, as estações devem estar localizadas em áreas de modo a:

- Fornecerem dados em áreas, dentro das zonas e aglomerações, nas quais é provável que a população esteja direta ou indiretamente exposta aos níveis mais elevados durante um período significativo em relação ao período de amostragem dos valores limites;
- Fornecerem dados sobre os níveis em outras áreas, dentro das zonas e aglomerações, que sejam representativas da exposição da população em geral.

Em outras palavras, pode-se dizer que as estações de monitoramento devem fornecer dados de três tipos de áreas de impacto:

- Industrial: onde se esperam violações em áreas dominadas por emissões industriais, fontes fixas.
- Centro: onde se esperam violações em áreas dominadas por emissões do tráfego, fontes móveis.
- Bairro: onde mora a maior parte da população e conseqüentemente passam uma boa parte da sua vida.

Atribuindo este sistema de classificação de localização para todos os poluentes analisados pelas estações de monitoramento chega-se a conclusão apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Monitoramento da qualidade do ar nas áreas industrial, centro e bairro no Estado do Paraná

Poluente	Nº de monitores nas estações de monitoramento (Durante 2021)	Nº de Monitores nas Áreas			
		Industrial	Industrial e centro	Centro	Bairro
PTS	5	2	1	1	1
PM10	6	2	1	2	1
PM _{2,5}	2	1	0	0	1
SO ₂	6	2	1	2	1
CO	4	1	1	1	1
O ₃	7	2	1	3	1
NO ₂	7	2	1	3	1

FONTE: Os autores, 2023.

No ano de 2021, a rede de monitoramento da qualidade do ar do Estado do Paraná contou com oito estações, sendo que três delas estão localizadas na Região Metropolitana de Curitiba. Embora o número de estações se encontre suficiente em relação à Diretiva Europeia, é importante que sejam complementadas para a medição da maior parte dos parâmetros indicados na Legislação.

3.5. Aspectos gerais de Curitiba e região metropolitana

Criada em 1973, a Região Metropolitana de Curitiba (RMC) é constituída por 29 municípios (COMEC 2021). Projeções formuladas pelo IBGE no ano de 2021 apontam uma população de 3.731.769 habitantes, concentrando 32 % da população do Estado do Paraná (IBGE, 2021). A capital do Estado, Curitiba, concentra cerca de 1.963.726 habitantes em uma área de 435 km², o que caracteriza uma densidade demográfica de 4.514 hab/km² (IBGE, 2021). Além de Curitiba, existem outros oito municípios na RMC com uma população acima de 100.000 habitantes: Almirante Tamandaré, Araucária, Campo Largo, Colombo, Fazenda Rio Grande, Pinhais, Piraquara e São José dos Pinhais.

De acordo com o Inventário Estadual de Emissões Atmosféricas de Poluentes (MP, CO, NO_x e SO_x) (GRAUER, 2013), realizado de acordo com o banco de dados do IAP e com o banco de dados da prefeitura municipal de Curitiba, no Paraná há 1.415 empresas com 2.898 fontes monitoradas e 7.816 medições realizadas nestas fontes. As atividades industriais, o tráfego motorizado e as queimadas a céu aberto são as maiores fontes antropogênicas.

3.5.1. Frota Veicular

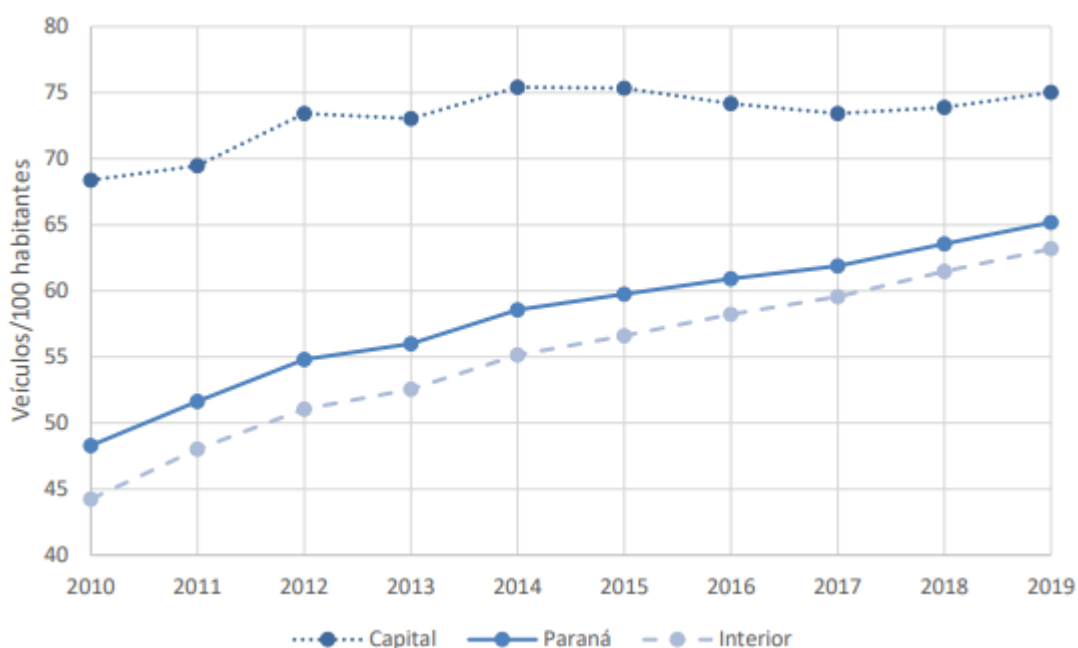
Acerca das fontes móveis, o Plano de Controle de Poluição Veicular, publicado em 2022, mas utilizando 2019 como ano base de estudo, agrega dados acerca da frota veicular do Estado do Paraná e seu impacto quanto à inventário de emissões atmosféricas. Criando um recorte histórico de 2000 até o período atual, pode-se perceber duas tendências de crescimento. De 2000 a 2010, houve um crescimento de 118% na frota veicular, resultado de um crescimento médio de 7,36% ao ano. Já de 2012 a 2019, o crescimento foi de 28,55% (PARANÁ, 2022). Apesar de ser observada uma desaceleração no aumento da frota veicular do Estado, ainda se trata de um aumento no número absoluto, conforme pode-se observar na Tabela 9. A desaceleração se mostrou mais visível na Região Metropolitana de Curitiba, na qual houve um crescimento abaixo da média de 21,62%.

Tabela 9 - Evolução da frota veicular do Estado do Paraná de 2012 a 2019

Ano	RMC	Interior	Total	Crescimento (%)
2012	2.116.225	3.681.646	5.797.871	-
2013	2.222.527	3.936.890	6.159.417	6,24
2014	2.327.736	4.161.553	6.489.289	5,36
2015	2.378.433	4.321.464	6.699.897	3,25
2016	2.399.709	4.449.357	6.849.066	2,23
2017	2.431.002	4.575.545	7.006.547	2,30
2018	2.490.006	4.724.378	7.214.384	2,97
2019	2.573.821	4.879.377	7.453.198	3,31

Fonte: Adaptado de PARANÁ, 2022.

Em questão à concentração veicular, chamado de índice de motorização (essa grandeza corresponde ao número de veículos a cada 100 habitantes), observa-se uma densidade superior na região da capital em relação ao restante do Estado, conforme a Figura 3. Apresenta-se, no entanto, uma tendência estagnada de crescimento, em comparação com o interior.

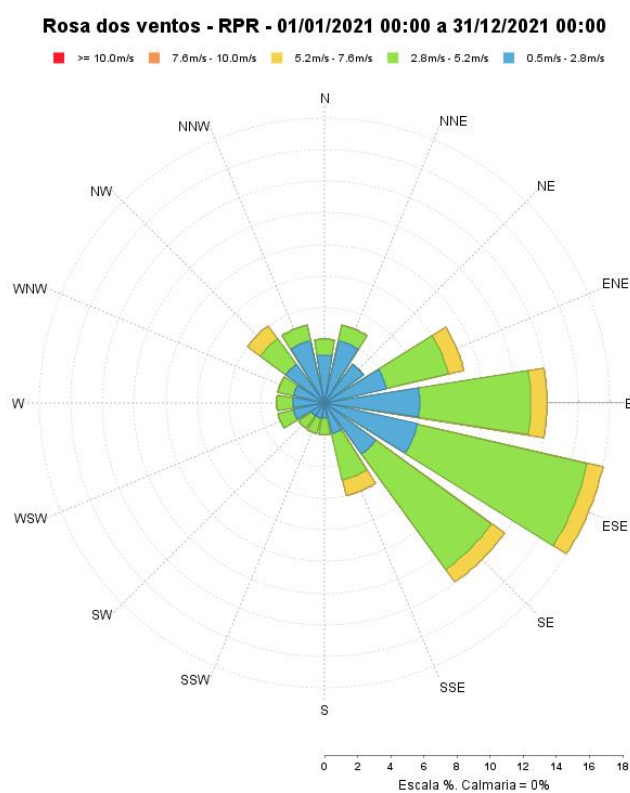
Figura 3 - Evolução do índice de motorização no Paraná de 2010 a 2019

FONTE: PARANÁ, 2022.

3.5.2. Condições meteorológicas

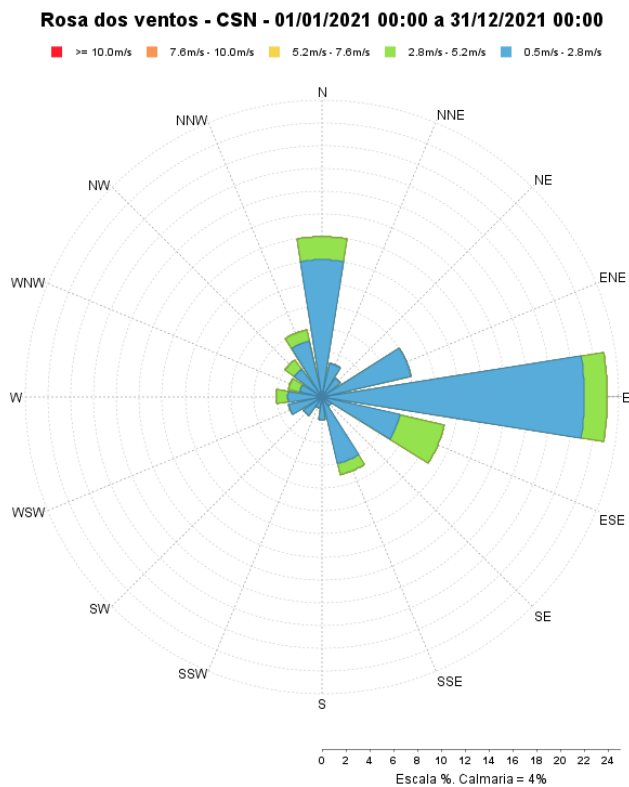
A Região Metropolitana de Curitiba está localizada no primeiro planalto do Estado do Paraná, com um clima subtropical e úmido. Usando as estações meteorológicas integradas às estações de monitoramento localizadas na RMC é possível levantar dados de interesse para análise de dispersão de poluentes. Inicialmente, é possível obter o Gráfico da rosa dos ventos resultantes no período de 2021. As Figura 4, Figura 5 e Figura 6 apresentam os resultados.

Figura 4 - Rosa dos ventos média da estação RPR no período de 2021



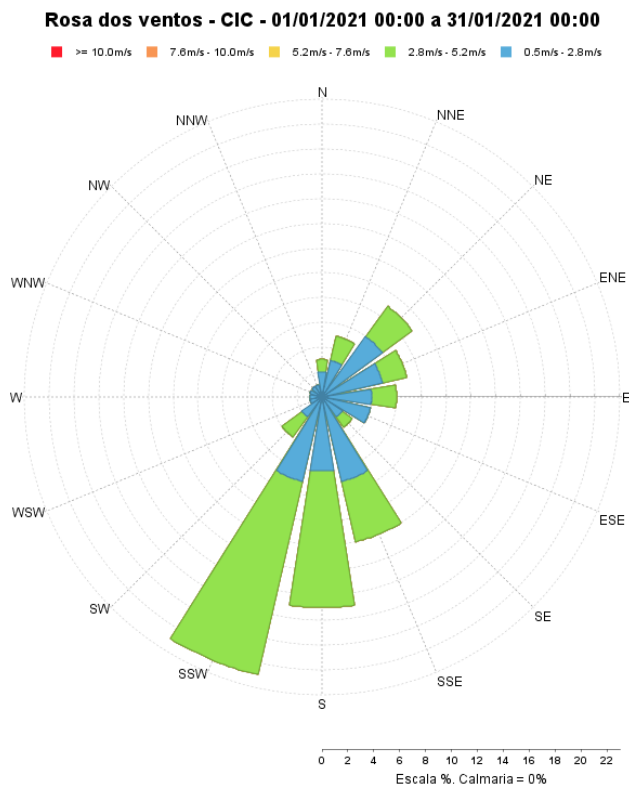
FONTE: Os autores, 2023.

Figura 5 - Rosa dos ventos média da estação CSN no período de 2021



FONTE: Os autores, 2023.

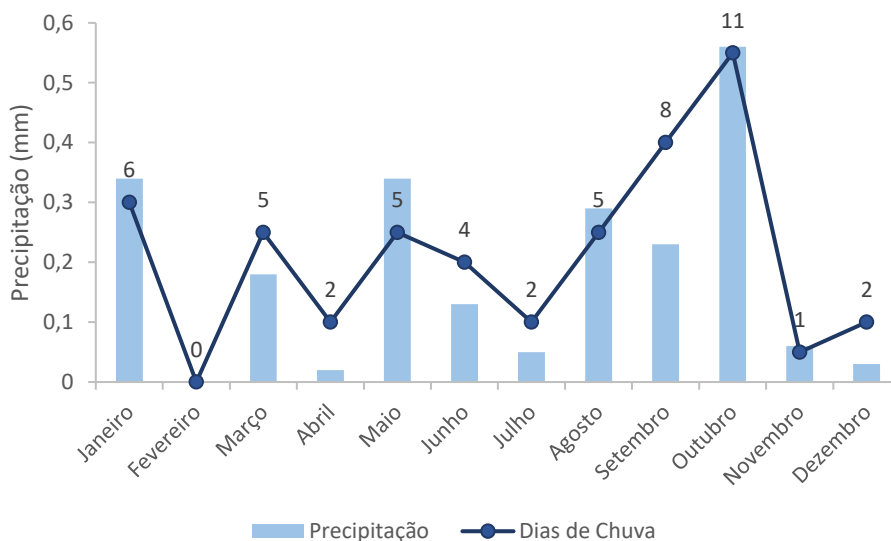
Figura 6 - Rosa dos ventos média da estação CIC no período de 2021



FONTE: Os autores, 2023.

A direção e intensidade do vento são distintos para cada uma das estações, como é perceptível pelos gráficos. Para a estação CSN o vento teve direção predominante da direção leste, com velocidade predominante de 0,5 a 2,8 m/s. Para a estação CIC, a direção predominante foi sudoeste, com intensidade média mais forte, de 2,8 a 5,2 m/s. Por fim, a direção sudeste é a predominante para a estação RRP, com intensidade média de 2,8 a 5,2 m/s. O Gráfico 1 trás o comportamento quanto a precipitação na estação CSN dentro do mesmo período.

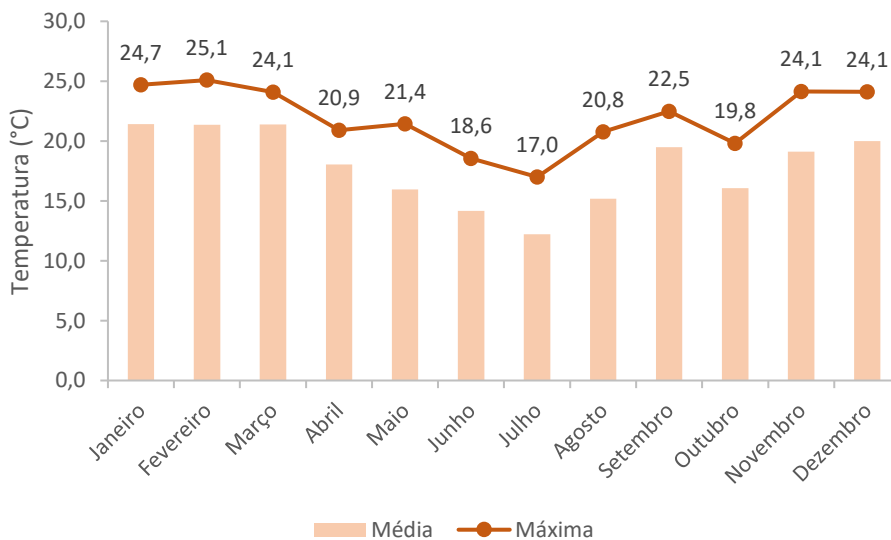
Gráfico 1 - Precipitação média mensal e dias de chuva na estação CSN em 2021



FONTE: Os autores, 2023.

A estação RPR conteve dados de medição de temperatura em 2021, estando os dados obtidos no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Média de temperatura mensal e máxima na estação RPR em 2021



FONTE: Os autores, 2023.

Percebe-se, a partir do gráfico, um comportamento típico anual de temperatura para o tipo de clima regente na RMC, sem nenhum desvio considerável. Com dados meteorológicos completos, é possível ter um panorama completo das condições

atmosféricas vigentes no período de 2021, de forma a se ter mais argumentos para avaliar a qualidade do ar no período.

A velocidade do vento e a estabilidade atmosférica são os parâmetros mais importantes para avaliar as condições de dispersão dos poluentes. Ambas os parâmetros indicam movimentação atmosférica: os ventos indicam a movimentação de massas de ar de zonas de alta pressão para zonas de baixa pressão, enquanto a estabilidade atmosférica afeta o movimento vertical do ar, causado pela convecção e turbulência do mesmo. Temperatura e Pressão são, portanto, fatores importantes na dispersão de poluentes, pois são variáveis na formação de ventos e na estabilidade atmosférica. Além disso, fatores como radiação solar e precipitação pluviométrica também são fatores que interferem na concentração de poluentes em uma determinada área (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2023).

Boas condições de dispersão significam que os poluentes estão sendo dispersos pelos mecanismos de transporte, evitando assim uma acumulação dos mesmos próximos às fontes de emissão. Se as condições estão desfavoráveis à dispersão, observamos essa acumulação, que resulta em altas concentrações dos poluentes, que muitas vezes ultrapassam os padrões estabelecidos. Esses fatores são importantes na interpretação de resultados de monitoramento, uma vez que uma concentração menor de um dado poluente na atmosfera não significa necessariamente uma menor emissão de tal poluente. Mesmo mantidas as emissões, a qualidade do ar pode mudar em razão das condições meteorológicas que determinam uma maior ou menor diluição dos poluentes: um exemplo disso é o comportamento de poluentes como monóxido de carbono e dióxido de enxofre, que apresentam maior acúmulo durante o inverno, quando as condições climáticas não estão favoráveis à sua dispersão (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2023).

3.6. Resultados

3.6.1. Partículas totais em suspensão (PTS)

Em 2021, o poluente PTS foi monitorado em cinco estações automáticas distintas. Três destas se encontram na Região Metropolitana de Curitiba (CIC, CSN e RPR), enquanto as cidades de Cascavel e São Mateus do Sul também foram contempladas pelo monitoramento das estações CVEL e SIX, respectivamente. A

Tabela 10 contém os dados obtidos para esse período de tempo, bem como o número de classificações de médias diárias.

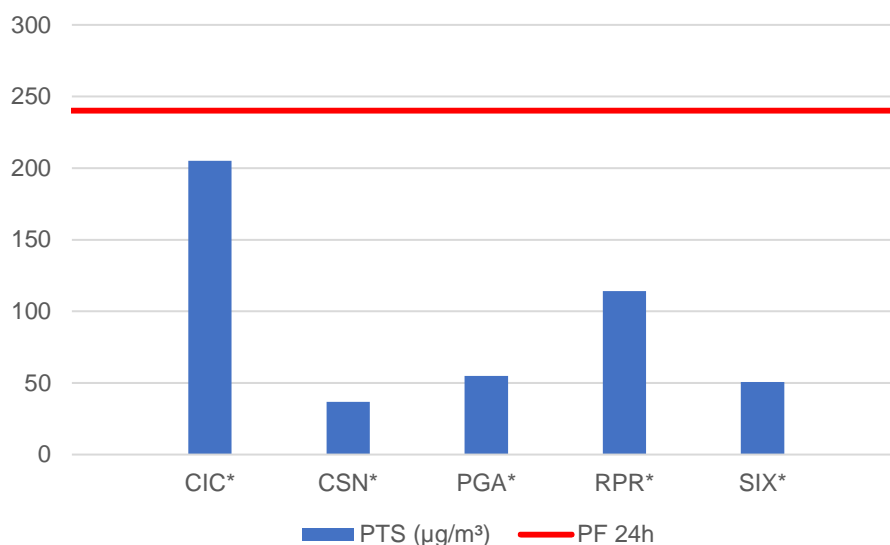
Tabela 10 - Resultados das médias diárias do monitoramento de PTS

Estação	Disp. anual	Média diária máxima (µg/m³)	Data da média máxima	Média anual (µg/m³)	Nº de classificações das médias diárias			
					Boa	Reg.	Inad.	Ruim
CIC*	40,8%	205,00	25/08/2021	54,26	119	0	0	0
CSN*	26,9%	36,77	25/03/2021	13,29	120	0	0	0
PGA*	16,2%	55,00	19/05/2021	26,70	59	0	0	0
RPR*	64,7%	114,18	22/07/2021	32,50	236	0	0	0
SIX*	5,48%	50,58	28/09/2021	18,67	19	0	0	0

* Não atende ao critério de representatividade da média anual.

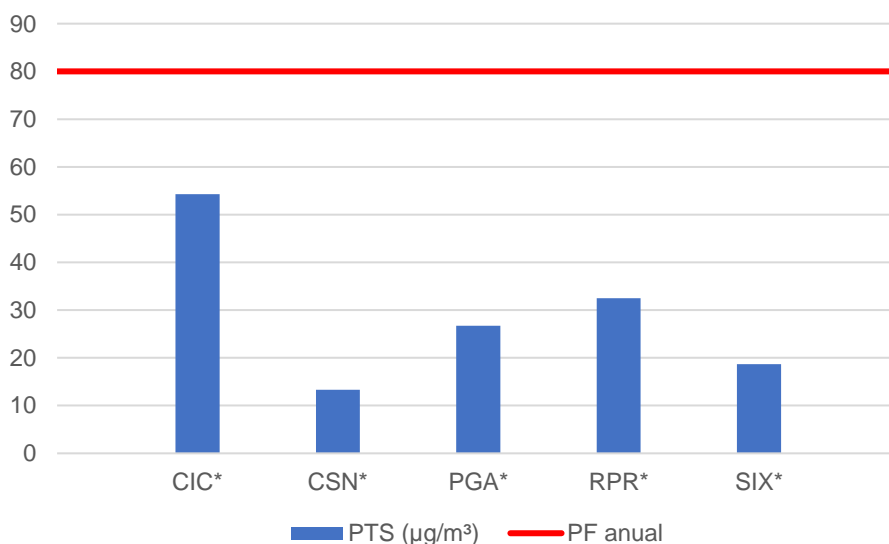
FONTE: Os autores, 2023.

Não houve registro de de violações ao padrão primário dentro do período. As classificações se mantiveram dentro do índice de qualidade BOA. Os critérios de representatividade anual, no entanto, não foram atingidos em tais estações. Os Gráfico 3 e Gráfico 4 trazem um comparativo entre as estações observadas, em questão de máximas médias diária e médias anuais.

Gráfico 3 - Máximas médias diárias de PTS observadas no Paraná em 2021

FONTE: Os autores, 2023.

A maior média diária foi observada na estação CIC (205 µg/m³), localizada na Cidade Industrial de Curitiba, mas ainda assim o Padrão Final diário de 240 µg/m³ foi respeitado.

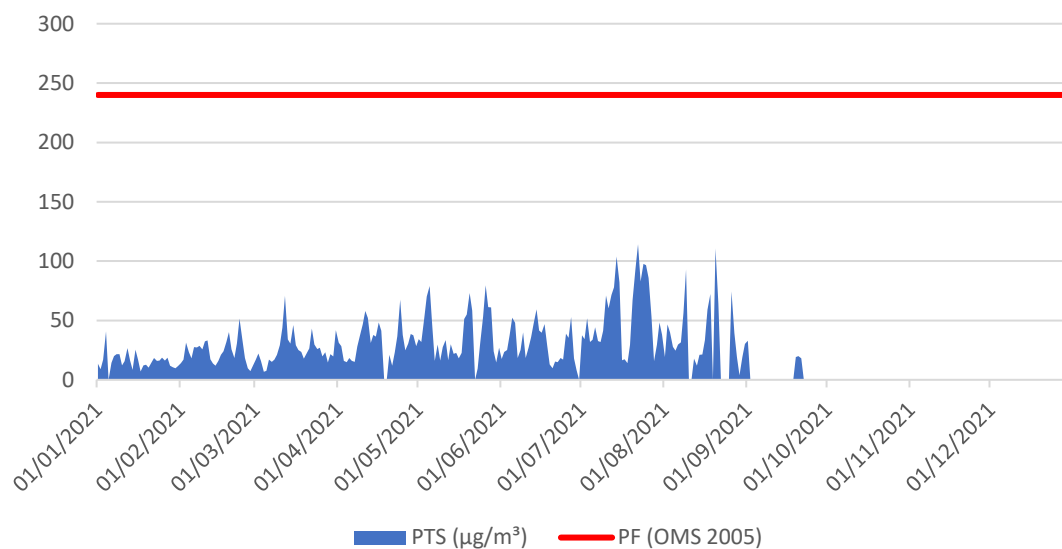
Gráfico 4 - Médias anuais de PTS observadas no Paraná em 2021

FONTE: Os autores, 2023.

A maior média anual foi observada, novamente, na estação CIC (54 µg/m³). O Padrão Final anual, de 80 µg/m³, também foi respeitado. Apesar do não cumprimento do critério de representatividade anual, a estação RPR, situada em Araucária, foi a que

apresentou maior disponibilidade durante o ano. O Gráfico 5 apresenta o comportamento do poluente nesta estação ao longo do ano.

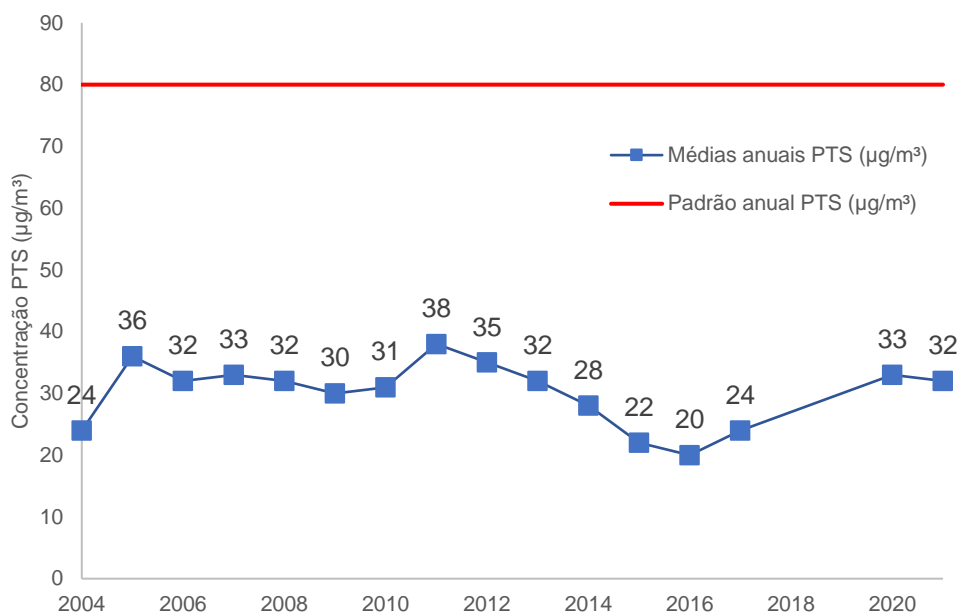
Gráfico 5 - Comportamento do poluente PTS na Estação RPR (médias diárias)



FONTE: Os autores, 2023.

Como observado, a estação parou de medir o poluente a partir de outubro. Isso aconteceu devido a modernização da estação, que passou a medir o parâmetro PM_{2,5}, atendendo à exigência da CONAMA 491/2018.

Em relação aos anos anteriores, o Gráfico 6 apresenta as concentrações médias anuais do poluente PTS, considerando as estações localizadas em Curitiba e Região Metropolitana, de 2004 a 2021.

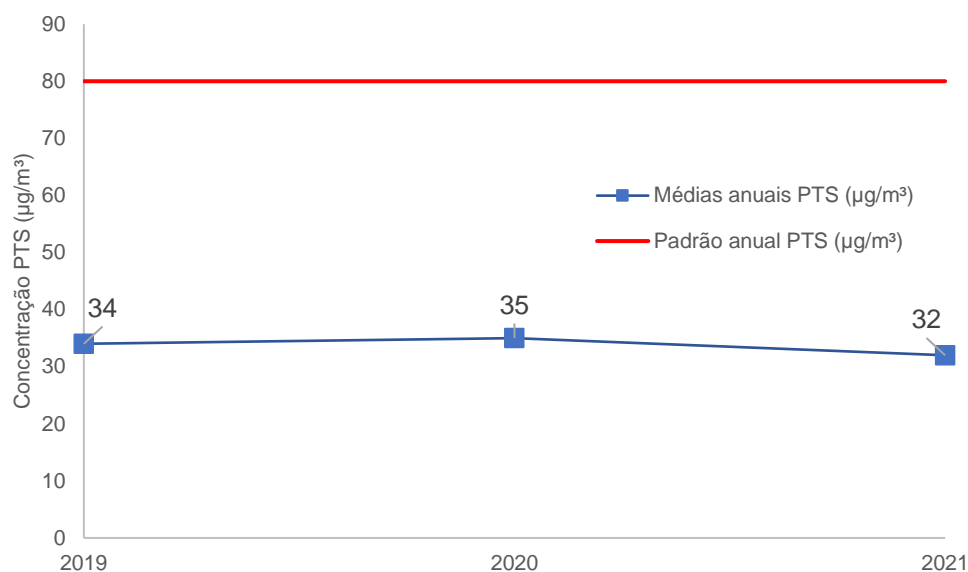
Gráfico 6 – Concentrações médias anuais de PTS em Curitiba e RM (2004-2021)

FONTE: Os autores, 2023.

O gráfico foi realizado considerando, de forma geral, as estações e parâmetros que atenderam aos critérios de representatividade. Porém, para efeito de comparação, em 2021, a média anual foi calculada com base no resultado obtido na estação RPR, que não obteve média anual representativa, porém foi a única que mediu em mais de 50% do ano. Os anos de 2018 e 2019 não constam no esquema, pois nenhuma estação na região avaliada atingiu um número suficiente de medições do poluente.

Observa-se que a concentração média anual de PTS segue a tendência de aumento desde o ano de 2016, porém, em relação a 2020, houve um pequeno decréscimo no valor.

Em relação ao estado do Paraná, ocorre pouca variação na média anual, com uma ligeira queda, em 2021, em relação aos anos anteriores, como mostra o Gráfico 19.

Gráfico 7 – Concentrações médias anuais de PTS no Paraná (2019-2021)

FONTE: Os autores, 2023.

3.6.2. Partículas inaláveis (MP10)

As partículas inaláveis MP10 foram monitoradas em cinco estações, sendo 2 delas na Região Metropolitana de Curitiba (CIC e RPR), uma em Ponta Grossa (PGA), uma em Cascavel (CVEL) e uma em São Mateus do Sul (SIX). A Tabela 11 contém os dados obtidos dentro do período de tempo, bem como o número de classificações diárias.

Tabela 11 - Resultados das médias diárias do monitoramento de MP10

Estação	Disp. anual	Média diária máxima (µg/m³)	Data da média máxima	Média anual (µg/m³)	Nº de classificações das médias diárias			
					Boa	Reg.	Inad.	Ruim
CIC*	63,0%	124,38	21/07/2021	28,23	190	38	2	0
CVEL*	7,7%	65,10	20/09/2021	20,10	26	2	0	0
PGA*	25,8%	64,4	11/07/2021	21,90	90	4	0	0

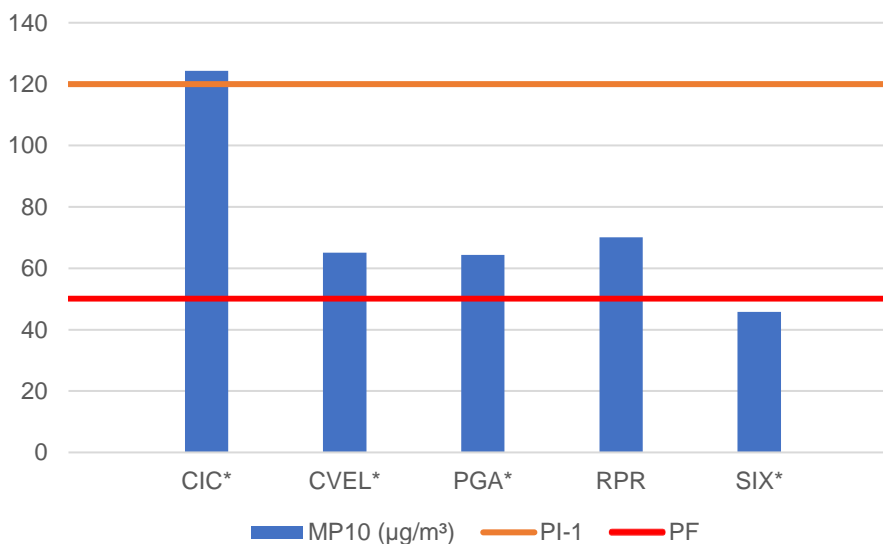
RPR	87,9%	70,10	22/07/2021	20,30	304	12	0	0
SIX*	18,4%	45,8	01/07/2021	14,90	67	0	0	0

* Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

As classificações das estações CVEL, PGA, RPR e SIX se mantiveram dentro das classificações Boa e Regular. A estação CIC obteve a classificação Inadequada em dois dias durante o período. O Gráfico 8 apresenta uma comparação entre as médias máximas diárias entre as estações.

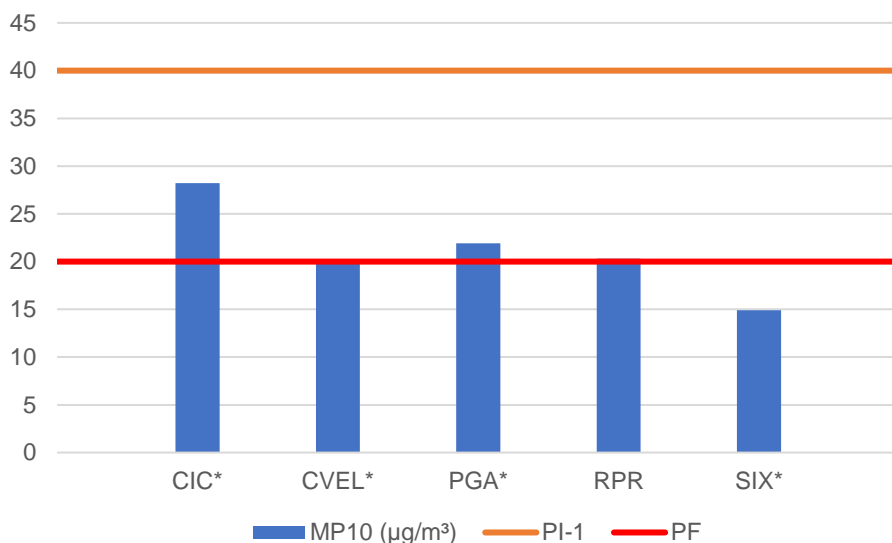
Gráfico 8 - Máximas médias diárias de MP10 observadas no Paraná em 2021



*Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

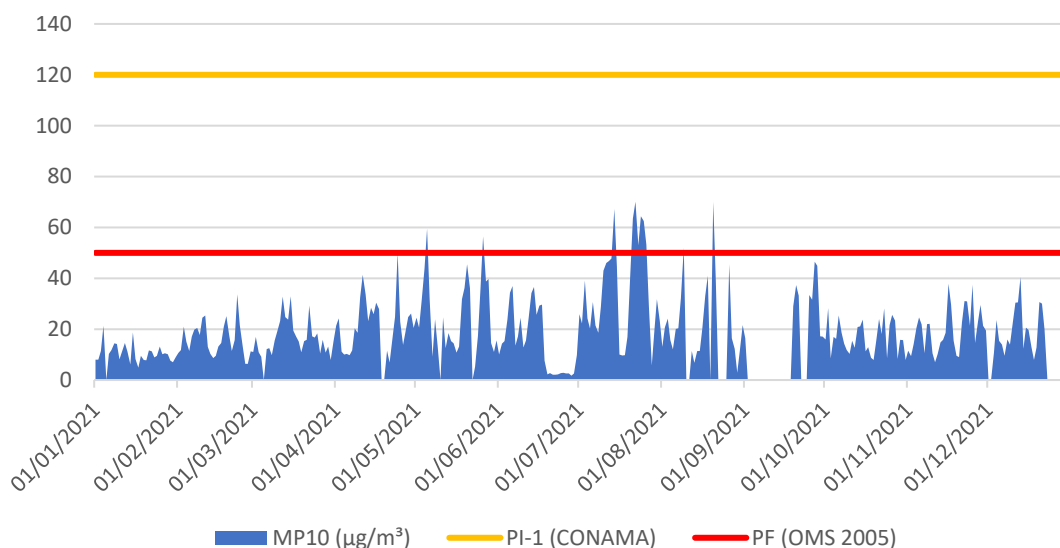
Como observado, a estação CIC, em sua máxima média diária observada, apresentou violação ao Padrão Intermediário I. A estação SIX não apresentou nenhuma violação ao Padrão Final, enquanto as demais apresentam máximas que ultrapassam o PF. O Gráfico 9 apresenta uma comparação entre as médias anuais observadas para tais estações.

Gráfico 9 - Médias anuais de MP10 observadas no Paraná em 2021

*Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

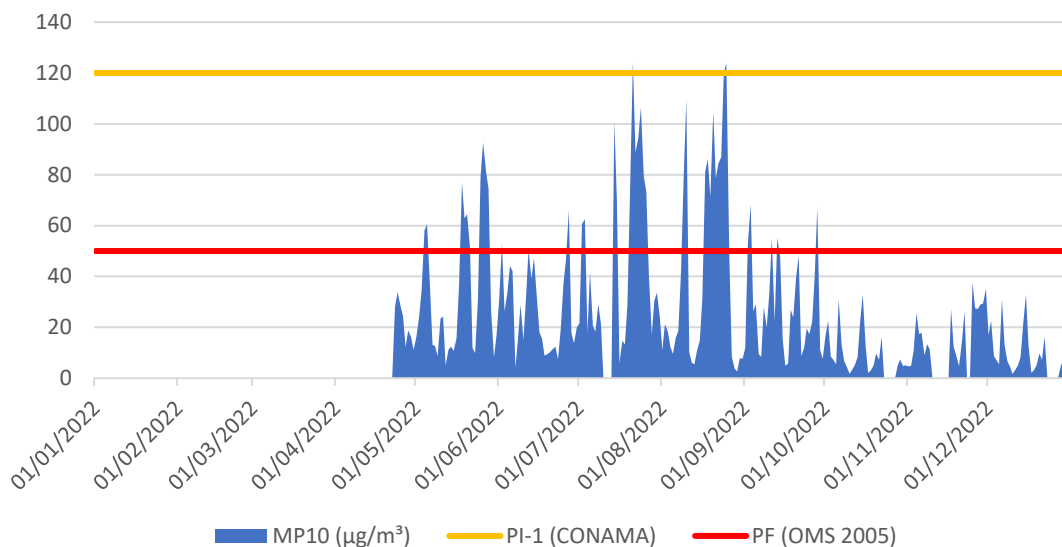
A estação SIX é a única que apresenta uma média anual dentro do Padrão Final. É importante destacar, no entanto, que apenas a estação RPR atendeu aos critérios de representatividade. O comportamento diário do poluente nesta estação apresentou o comportamento expresso no Gráfico 10.

Gráfico 10 - Comportamento do poluente MP10 na estação RPR (médias diárias)

FONTE: Os autores, 2023.

A estação CIC, que apresentou as maiores concentrações do poluente durante o período, tem o comportamento de MP10 ilustrados pelo Gráfico 11.

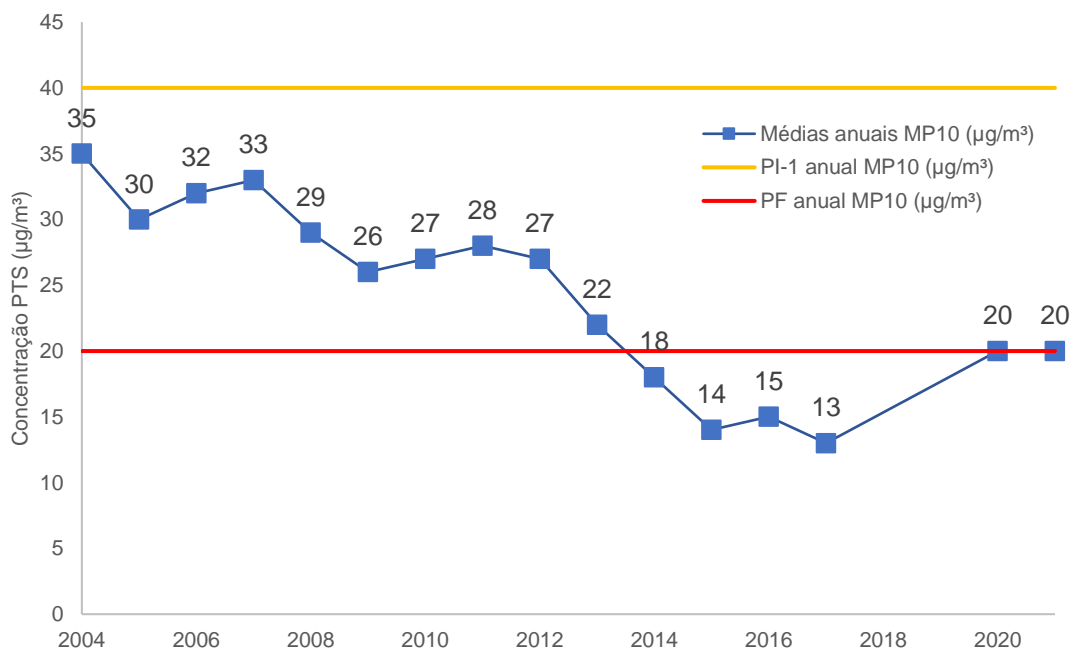
Gráfico 11 - Comportamento do poluente MP10 na estação CIC



FONTE: Os autores, 2023.

Em relação à Curitiba e Região Metropolitana, o Gráfico 12 apresenta a série histórica das concentrações médias anuais do poluente MP10, de 2004 a 2021.

Gráfico 12 – Concentrações médias anuais de MP10 em Curitiba e RM (2004-2021)



FONTE: Os autores, 2023.

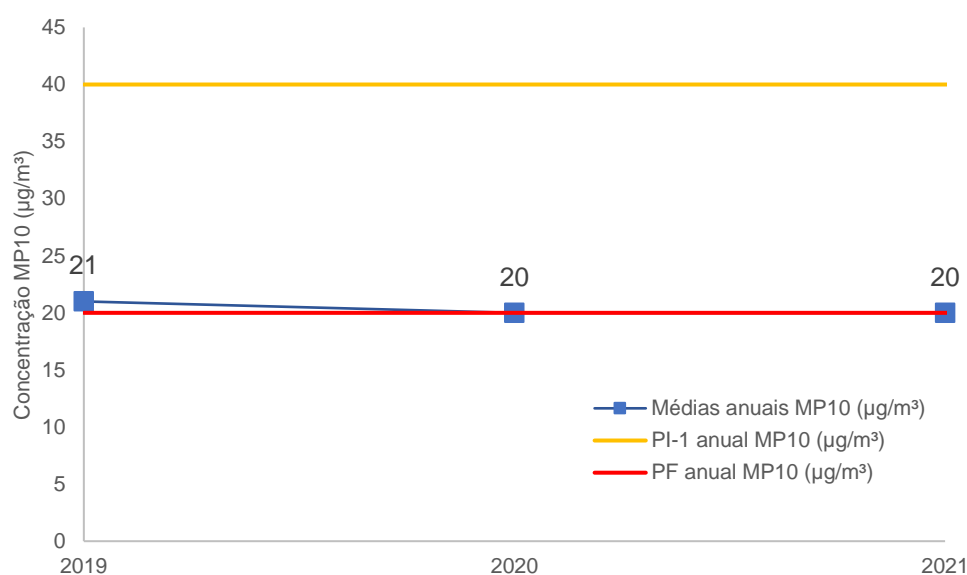
O gráfico foi realizado a partir dos dados considerados representativos, ou seja, considera, de forma geral, as estações e parâmetros que atenderam aos critérios para

validação. Por esse motivo, os anos de 2018 e 2019 não constam no esquema, pois nenhuma estação atingiu um número suficiente de medições de MP10.

Observa-se que a concentração média anual do poluente se mantém constante em 2020 e 2021. Nesse último, a média anual foi calculada com base no resultado obtido na estação RPR.

Em relação ao estado do Paraná, a tendência é a mesma. A concentração de MP10 praticamente não varia desde 2019, como mostra o Gráfico 13. Para o resultado de 2021, foi considerado novamente o resultado obtido na estação RPR.

Gráfico 13 – Concentrações médias anuais de MP10 no Paraná (2019-2021)



FONTE: Os autores, 2023.

3.6.3. Dióxido de enxofre (SO₂)

O dióxido de enxofre, SO₂, foi monitorado em quatro estações de monitoramento no ano de 2021. Três destas estão localizadas na Região Metropolitana de Curitiba, enquanto uma está localizada em São Mateus do Sul. A Tabela 12 contém os dados resumidos, bem como o número de classificações médias diárias.

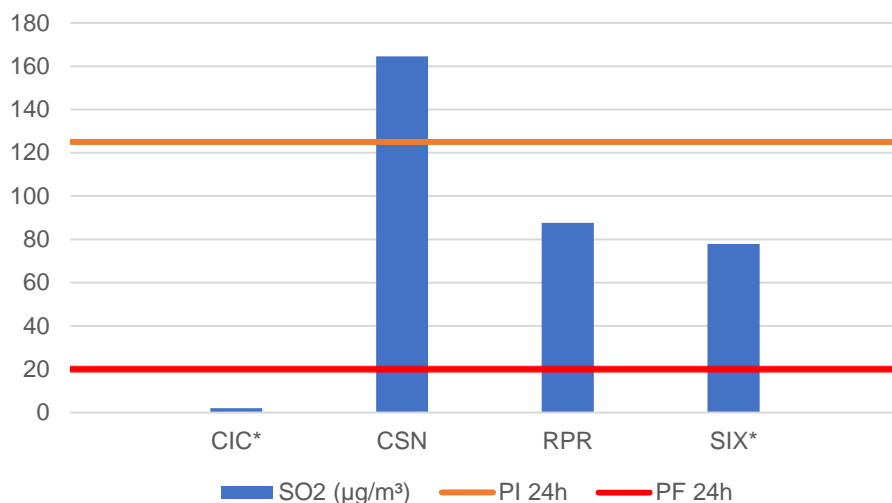
Tabela 12 - Resultados das médias diárias do monitoramento de SO₂

Estação	Disp. anual	Média diária máxima (µg/m ³)	Data da média máxima	Média anual (µg/m ³)	Nº de classificações das médias diárias			
					Boa	Reg.	Inad.	Ruim
CIC*	3,56%	2,02	21/11/2021	1,036	13	0	0	0
CSN	75,9%	164,58	25/03/2021	23,70	163	112	2	0
RPR	83,0%	87,70	08/12/2021	3,22	300	3	0	0
SIX*	64,9%	77,83	24/07/2021	3,60	230	7	0	0

* Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

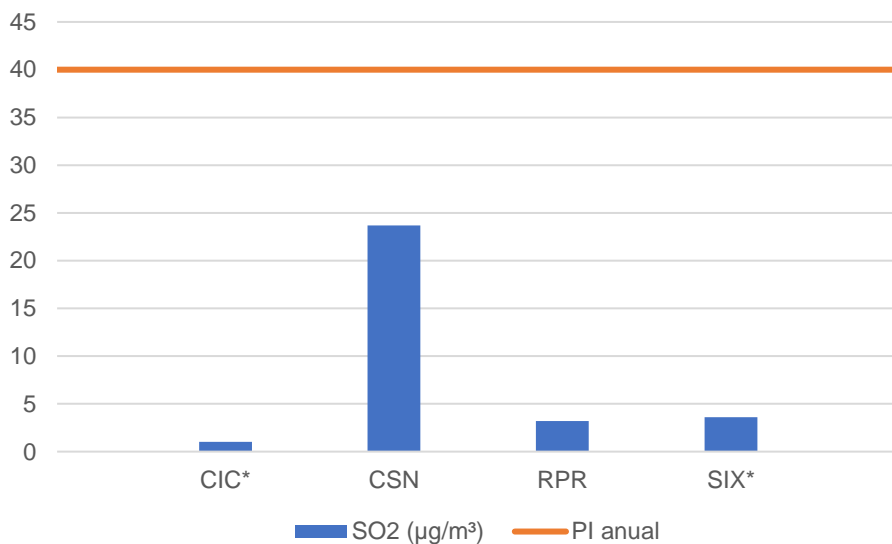
Enquanto as estações CIC, RPR e SIX apresentam dados que se situam predominantemente na classificação boa, com poucos dados em classificação regular, a estação CSN apresentou médias e máximos consideravelmente mais altos, tendo, inclusive, duas médias situadas na classificação inadequada. Uma explicação preliminar para os dados elevados da estação CSN é o seu posicionamento geográfico, estando esta em rota direta dos efluentes gasosos emitidos pela Refinaria Presidente Getúlio Vargas. O Gráfico 14 apresenta um comparatido entre as máximas diárias observadas para cada estação.

Gráfico 14 – Máximas médias diárias de SO₂ observadas no Paraná em 2021

*Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

A estação CIC apresentou a menor média máxima dentro do período, enquanto RPR e SIX apresentaram máximas entre o Padrão Intermediário e Padrão Final. A estação CSN apresentou uma máxima que excede o Padrão Intermediário. O Gráfico 15 ilustra as médias anuais para as estações operantes.

Gráfico 15 – Médias anuais de SO₂ observadas no Paraná em 2021

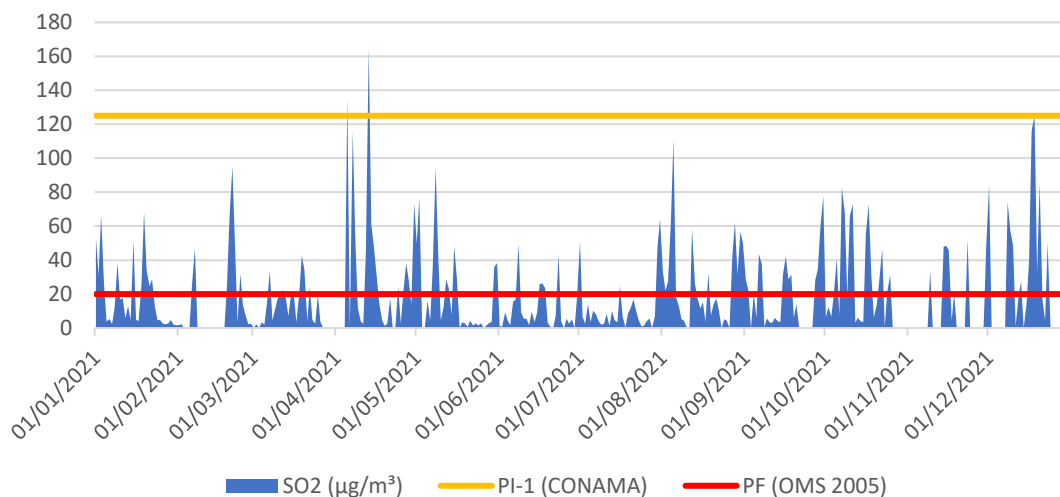
*Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

Como observado, as médias anuais de todas as estações se mantiveram dentro do Padrão Intermediário estabelecido pela CONAMA 491/2018. As estações CSN e

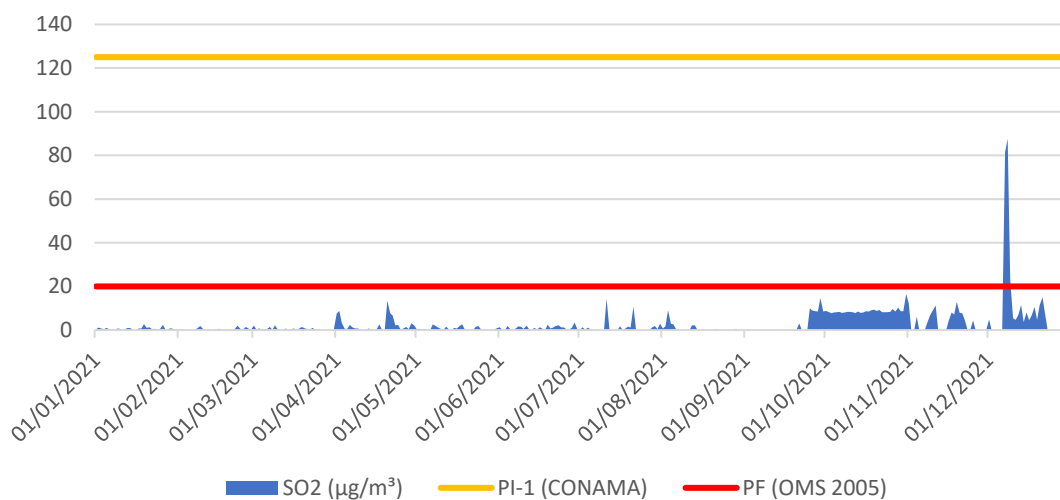
RPR, no entanto, foram as únicas que obtiveram disponibilidade o suficiente para estabelecer a representatividade anual. O Gráfico 16 detalha os dados obtidos para a estação CSN, enquanto o Gráfico 17 detalha os dados obtidos para a estação RPR.

Gráfico 16 – Comportamento do poluente SO₂ na estação CSN (médias diárias)



FONTE: Os autores, 2023.

Gráfico 17 – Comportamento do poluente SO₂ na estação RPR (médias diárias)



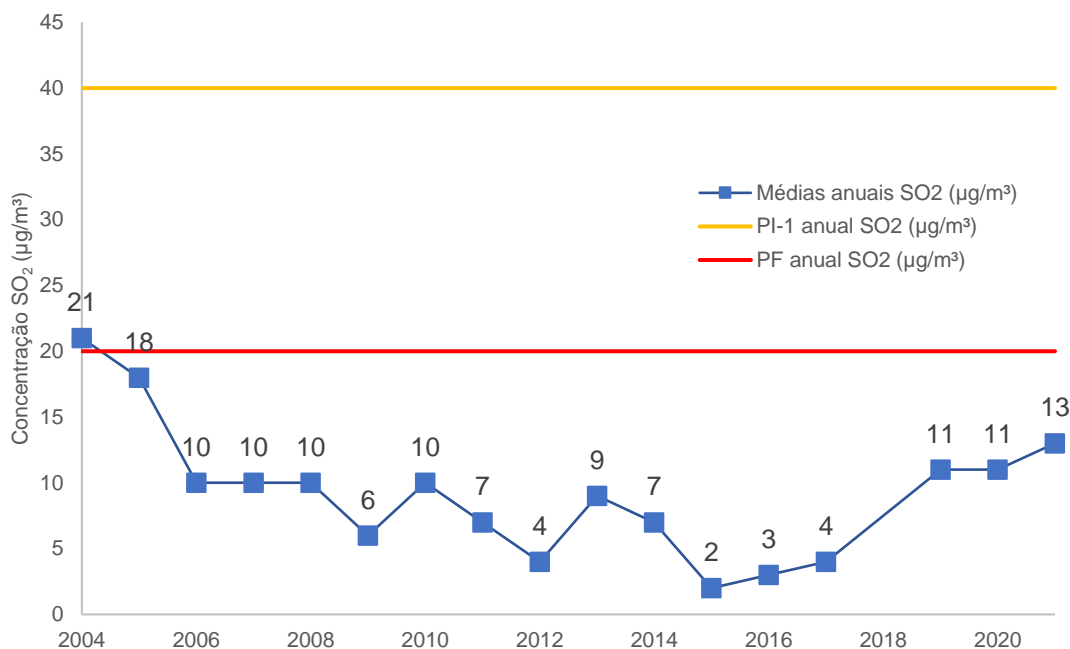
FONTE: Os autores, 2023.

Como observado, a média anual obtida para a estação CSN foi elevada por picos de medição observados durante o ano todo, enquanto a estação RPR teve apenas um pico de medição durante o período, entando em congruência com o Padrão Final durante o restante do ano.

No Gráfico 18, está representada a evolução das concentrações médias anuais para o dióxido de enxofre no período de 2004 a 2021, considerando as estações

automáticas de Curitiba e Região Metropolitana. Para compor o gráfico, foram consideradas apenas as médias anuais que atenderam ao critério de representatividade. O ano de 2018 não consta no esquema, pois nenhum resultado atendeu tal critério.

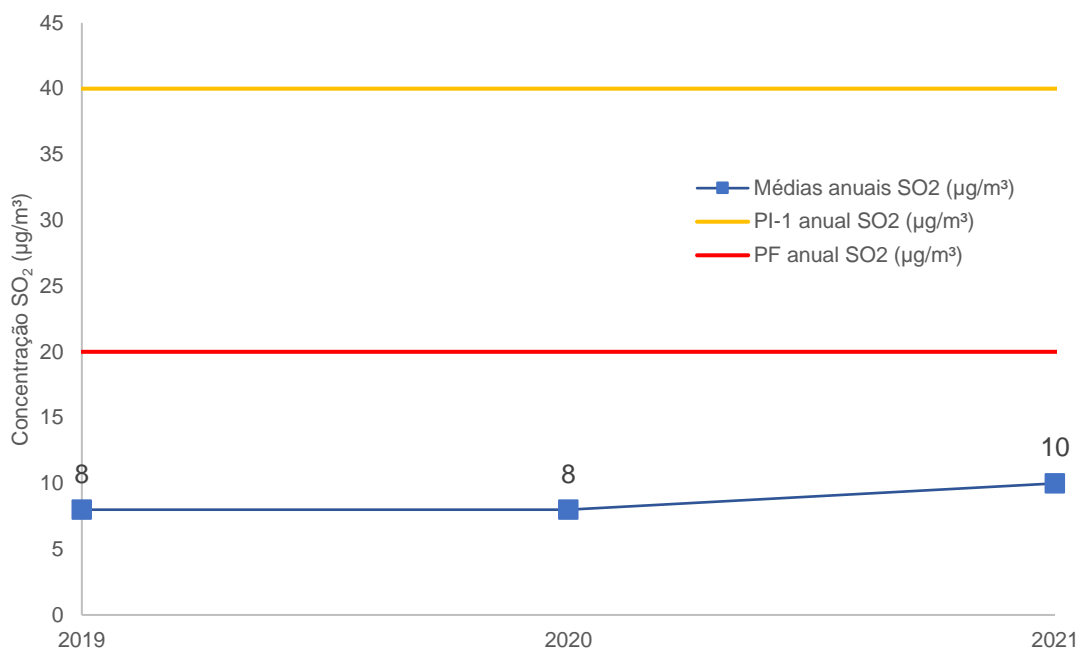
Gráfico 18 – Concentrações médias anuais de SO₂ em Curitiba e RM (2004-2021)



FONTE: Os autores, 2023.

Dessa forma, observa-se um aumento de 18% na concentração média anual do poluente, em 2021, quando comparado ao ano anterior. Esse valor é o mais elevado desde o ano de 2006.

Em relação à abrangência estadual, a concentração média anual de SO₂ apresentou um ligeiro aumento de 2020 para 2021, como mostra o Gráfico 19. Para o resultado de 2021 foi considerada, além das estações de Curitiba e RM, a estação SIX (São Mateus do Sul), a qual, apesar de não atender aos critérios de representatividade, obteve mais de 50% de disponibilidade durante o ano. Dessa forma, é possível admitir uma maior abrangência da média anual.

Gráfico 19 – Concentrações médias anuais de SO₂ no Paraná (2019-2021)

FONTE: Os autores, 2023.

3.6.4. Monóxido de carbono (CO)

Conforme a CONAMA 491/2018, o poluente CO é medido em períodos de 8h, sendo considerado para fins de média diária a maior das três médias de 8h de cada dia. A unidade padrão referencial para medida de concentração de CO também difere dos demais poluentes, sendo medido em *ppm* (partes por milhão). Por fim, uma última diferença em relação à metodologia é o Padrão, que já se encontra na fase final, não havendo então um Padrão Intermediário. Tendo em vista esses diferenciais, é possível iniciar a análise dos dados.

As concentrações de CO foram registradas em seis estações, sendo duas na Região Metropolitana de Curitiba, estações CIC e RPR, uma em Cascavel, CVEL, uma em Maringá, MRGA, uma em Ponta Grossa, PGA e uma em São Mateus do Sul, SIX. A Tabela 13 apresenta os resultados e as classificações das médias de 8 horas e as médias máximas de 8 horas no período.

Tabela 13 - Resultados das médias diárias do monitoramento de CO

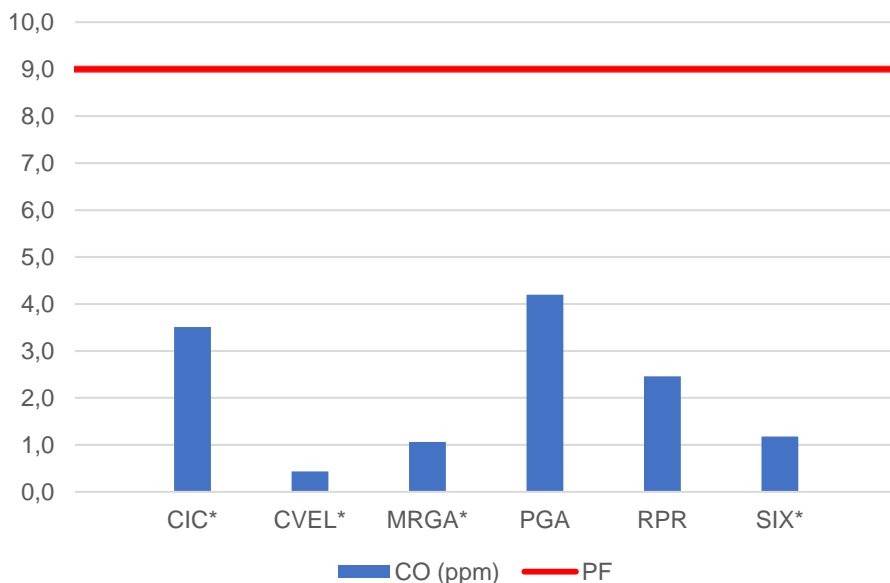
Estação	Disp. anual	Média diária máxima (ppm)	Data da média máxima	Média anual (ppm)	Nº de classificações das médias diárias			
					Boa	Reg.	Inad.	Ruim
CIC*	63,01%	3,51	27/05/2021	0,56	230	0	0	0
CVEL*	29,4%	0,44	22/03/2021	0,21	106	0	0	0
MRGA*	48,5%	0,53	14/05/2021	0,34	177	0	0	0
PGA	58,9%	4,20	27/06/2021	1,30	215	0	0	0
RPR	88,0%	2,46	15/10/2021	0,59	321	0	0	0
SIX*	44,1%	1,18	23/02/2021	0,42	161	0	0	0

* Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

Em respeito ao estabelecido pelo CONAMA 491/2018, nenhuma média de 8h ultrapassou o limite de 9 ppm, durante o ano todo. O Gráfico 20 compara os dados de máximo de estação a estação.

Gráfico 20 – Máximas médias diárias de CO observadas no Paraná em 2021

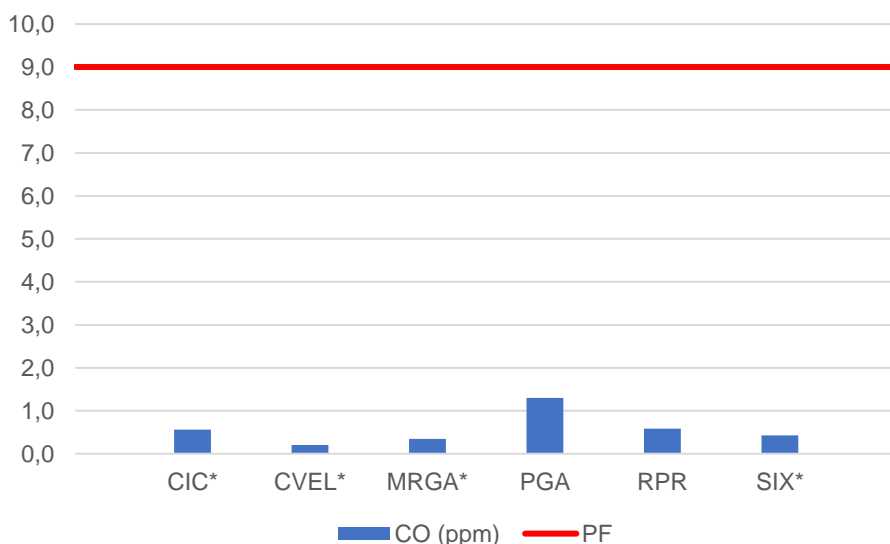


*Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

A média máxima observada no estado do Paraná foi de 4,20 ppm, observada na estação PGA em 27 de junho. As médias anuais para as estações são ilustradas pelo Gráfico 21.

Gráfico 21 – Médias anuais de CO observadas no Paraná em 2021

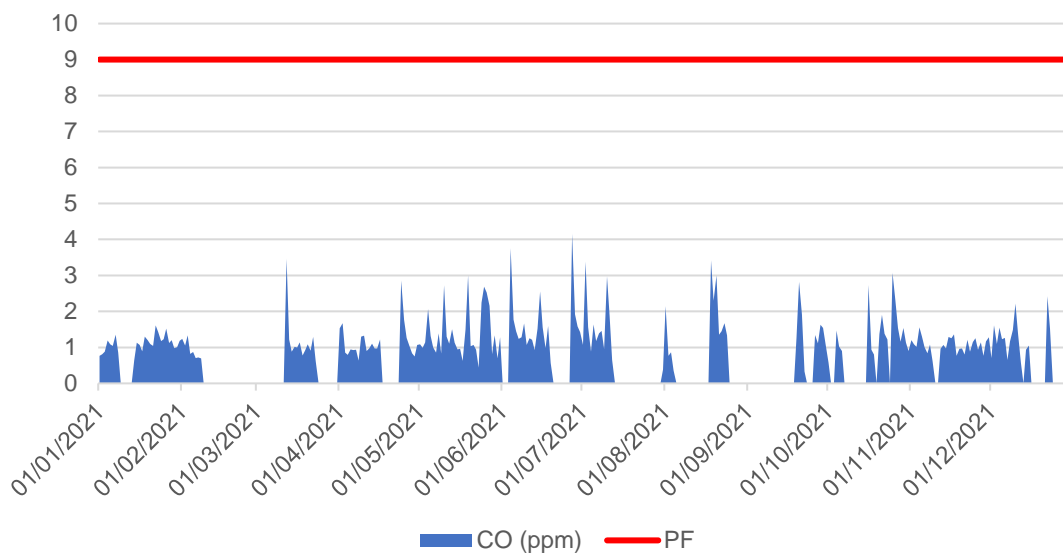


*Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

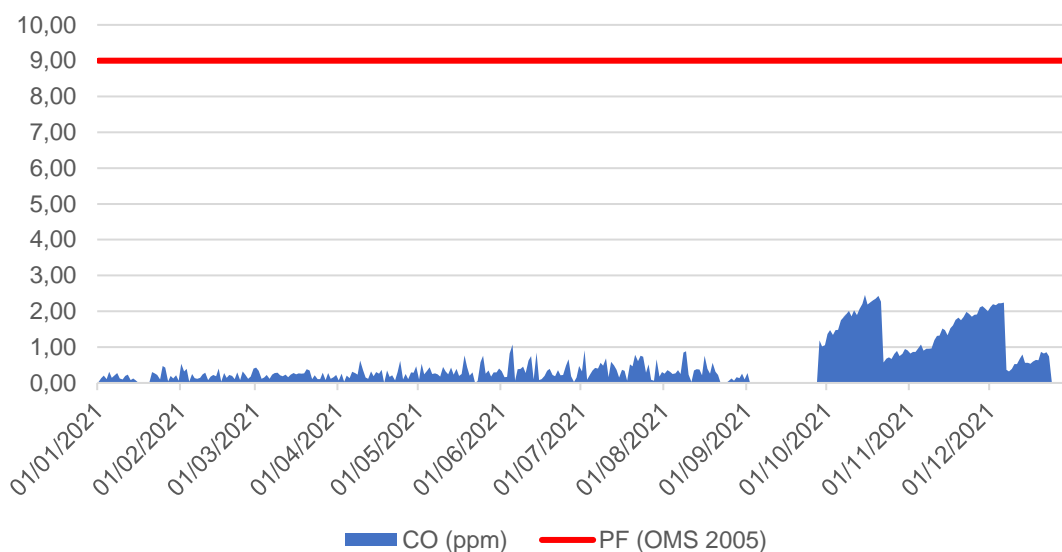
É possível observar que, no período em questão, a média anual para o poluente CO esteve muito abaixo do limite previsto pelo CONAMA/OMS, de 9 ppm, sendo o valor máximo atingido em Ponta Grossa, tendo valor de 1,3 ppm. As estações PGA (Gráfico 22) e RPR obtiveram representatividade anual, tendo disponibilidade de 58,9 e 88% respectivamente.

Gráfico 22 – Comportamento do poluente CO na estação PGA (médias diárias)



FONTE: Os autores, 2023.

Pode-se observar que durante a maioria do período as médias diárias se mantiveram abaixo de 1 ppm de concentração. O **Gráfico 23** ilustra o comportamento do poluente na estação RPR.

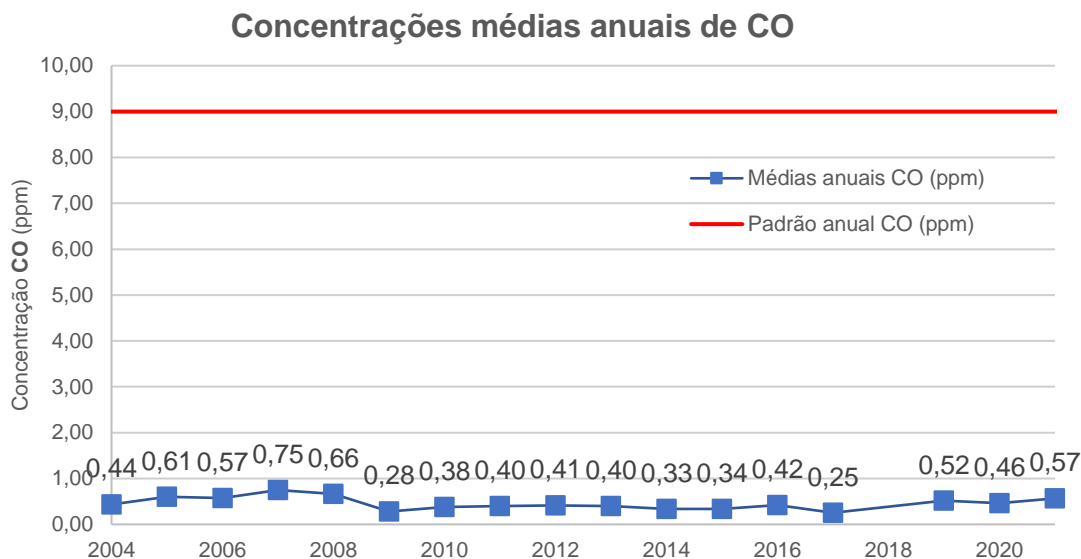
Gráfico 23 – Comportamento do poluente CO na estação RPR (médias diárias)

FONTE: Os autores, 2023.

Pode-se observar que, a partir de outubro de 2021, as médias diárias tiveram um aumento considerável em relação ao restante do ano. Isso se dá em função da troca do equipamento analisador automático de gases antigo, retirado em agosto de 2021 e o período de adaptação do equipamento novo. O período de setembro compreende o período de chegada do equipamento novo até a sua adaptação. Desta forma, a diferença entre os dois conjuntos de dados se dá por conta da utilização em dois estágios diferentes de funcionamento.

Em Curitiba e Região Metropolitana, a evolução das concentrações médias anuais para o dióxido de carbono, no período de 2004 a 2021, está representada no Gráfico 24. De forma geral, foram consideradas apenas as médias anuais que atenderam ao critério de representatividade. O ano de 2018 não consta no esquema, pois nenhum resultado atendeu tal critério.

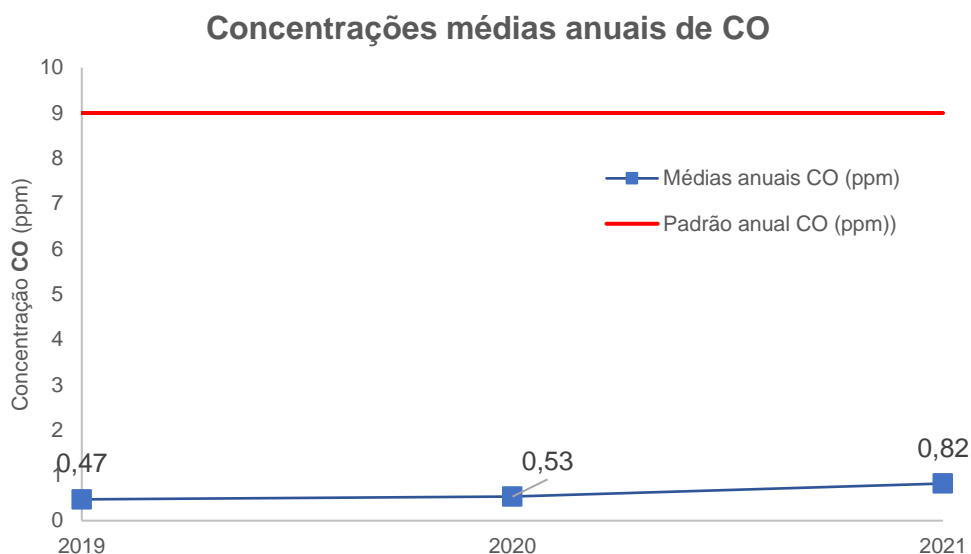
Gráfico 24 – Concentrações médias anuais de CO em Curitiba e RM (2004-2021)



FONTE: Os autores, 2023.

As estações consideradas para o cálculo da média anual, em 2021, foram a RPR (Araucária) e a CIC (Curitiba). A última, apesar de não atender ao critério de representatividade anual, foi considerada para gerar uma média abrangendo ao máximo a região de interesse, já que obteve mais de 50% de disponibilidade durante o ano.

Em relação ao estado do Paraná, o Gráfico 25 apresenta as concentrações médias anuais de CO entre 2019 e 2021. No último ano, houve um aumento de considerável da média em relação a 2020. Vale observar que, em 2019 e 2020, foram consideradas mais estações localizadas no interior do estado do que no ano de 2021. Neste, as médias anuais consideradas no cálculo total foram obtidas nas estações CIC, RPR e PGA.

Gráfico 25 – Concentrações médias anuais de CO no Paraná (2019-2021)

FONTE: Os autores, 2023.

3.6.5. Ozônio (O₃)

A metodologia de tratamento de dados do poluente ozônio no que tange tempo de amostragem e média diária é a mesma aplicada para CO. A média anual, entretanto, não é referenciada pelo CONAMA 491/2018, utilizando-se para comparação somente a média diária. Na análise realizada neste relatório, utilizou-se o Padrão Intermediário I (de 140 µg/m³) e o Padrão Final (de 100 µg/m³), estabelecidos por CONAMA e OMS.

Dito isso, tem-se registro de monitoramento de ozônio em seis estações, sendo duas delas na Região Metropolitana de Curitiba, uma em Cascavel, uma em Londrina, uma em Ponta Grossa e uma em São Mateus do Sul.

Tabela 14 - Resultados das médias diárias do monitoramento de O₃

Estação	Disp. anual	Média diária máxima (µg/m ³)	Data da média máxima	Nº de classificações das médias diárias			
				Boa	Reg.	Inad.	Ruim
CSN	85,2%	96,5	23/06/2021	311	0	0	0
CVEL*	40,8%	4,29	21/09/2021	149	0	0	0

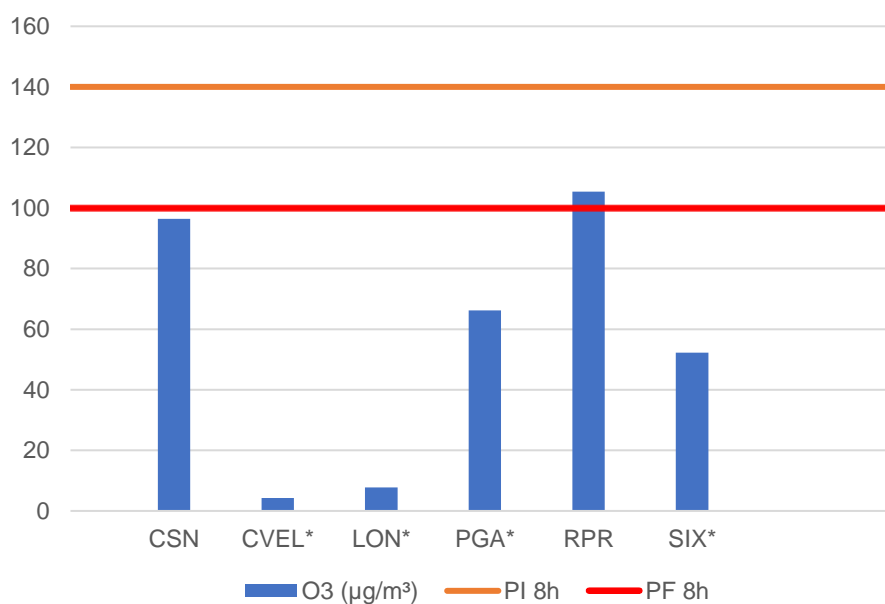
LON*	22,2%	7,77	14/03/2021	81	0	0	0
PGA*	51,3%	51,7	28/09/2021	188	0	0	0
RPR	83,6%	105,4	21/12/2021	330	4	0	0
SIX*	45,8%	52,2	21/05/2021	167	0	0	0

*Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

Na Tabela 14, é possível observar que apenas uma estação (RPR) apresentou classificação de médias diárias fora do intervalo “Boa”, havendo quatro classificações Regulares. O Gráfico 26 ilustra o comportamento do poluente de estação a estação.

Gráfico 26 – Máximas médias diárias de O₃ observadas no Paraná em 2021



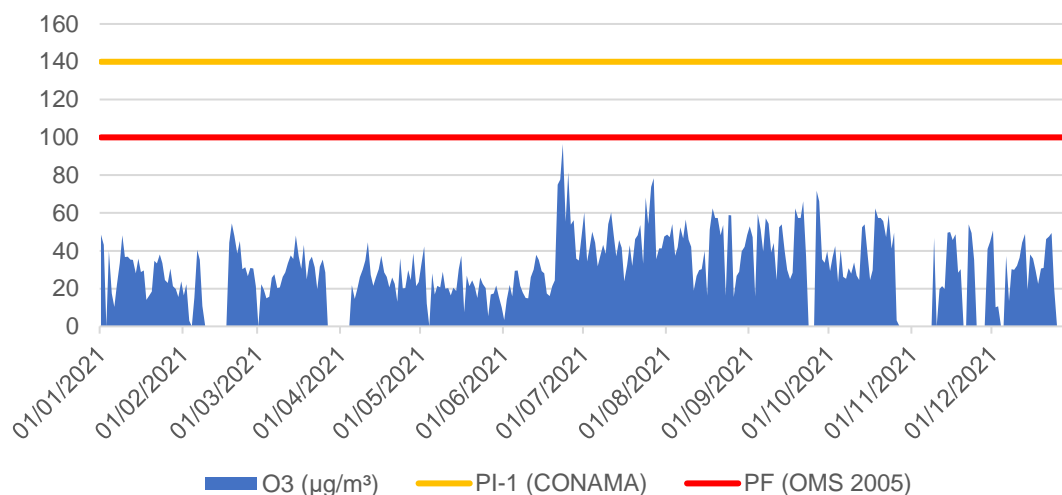
*Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

Conforme o observado, tanto o PI quanto o PF não tiveram violações em cinco das seis estações que monitoraram o poluente. Médias anuais não apresentam significância de comparação, uma vez que o CONAMA 491/2018 estipula apenas um valor de padrão para média diária.

As estações RPR e CSN, ambas situadas na cidade de Araucária, obtiveram representatividade anual, tendo, portanto, os dados mais significativos dentro do período. O Gráfico 27 ilustra o comportamento do poluente ao longo do ano na estação CSN, enquanto o Gráfico 28 trás a mesma análise para a estação RPR.

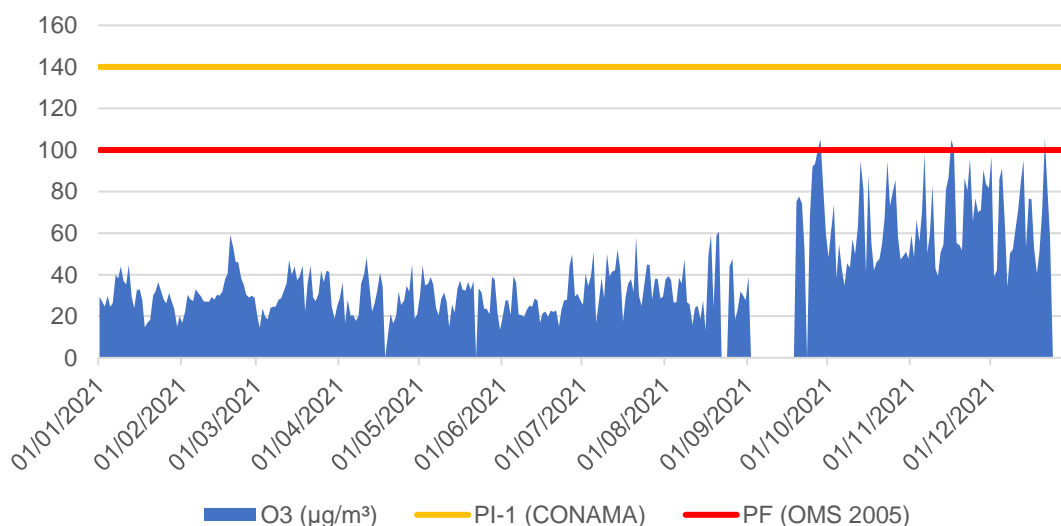
Gráfico 27 – Comportamento do poluente O₃ na estação CSN (médias diárias)



FONTE: Os autores, 2023.

O maior pico para a estação em questão foi observado no dia 23/06, não violando o Padrão Final estabelecido pela CONAMA 491/2018.

Gráfico 28 – Comportamento do poluente O₃ na estação RPR (médias diárias)

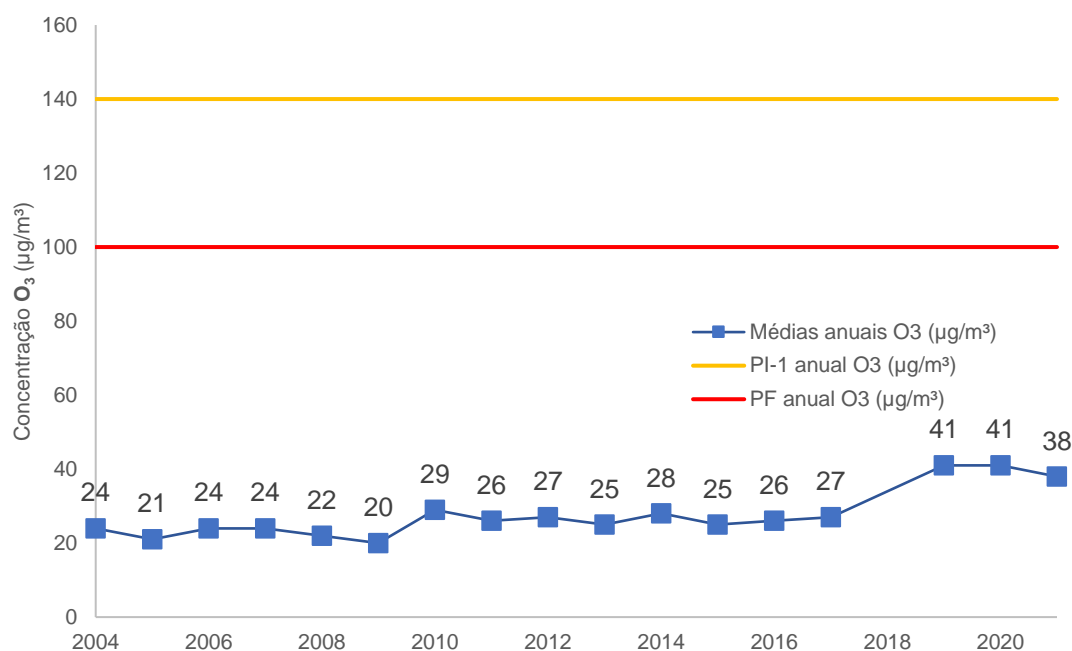


FONTE: Os autores, 2023.

É observado o mesmo fenômeno decorrente da troca de equipamento analisador de gases automático: o aumento das médias diárias no mês de outubro, após um período parado para instalação e adaptação. Dentro deste período houve as violações identificadas pelo IQA, em quatro dias distintos.

No Gráfico 29, está representada a evolução das concentrações médias anuais para o ozônio no período de 2004 a 2021, considerando as estações automáticas de Curitiba e Região Metropolitana. Para compor o gráfico, foram consideradas apenas as médias anuais que atenderam ao critério de representatividade. O ano de 2018 não consta no esquema, pois nenhum resultado atendeu tal critério.

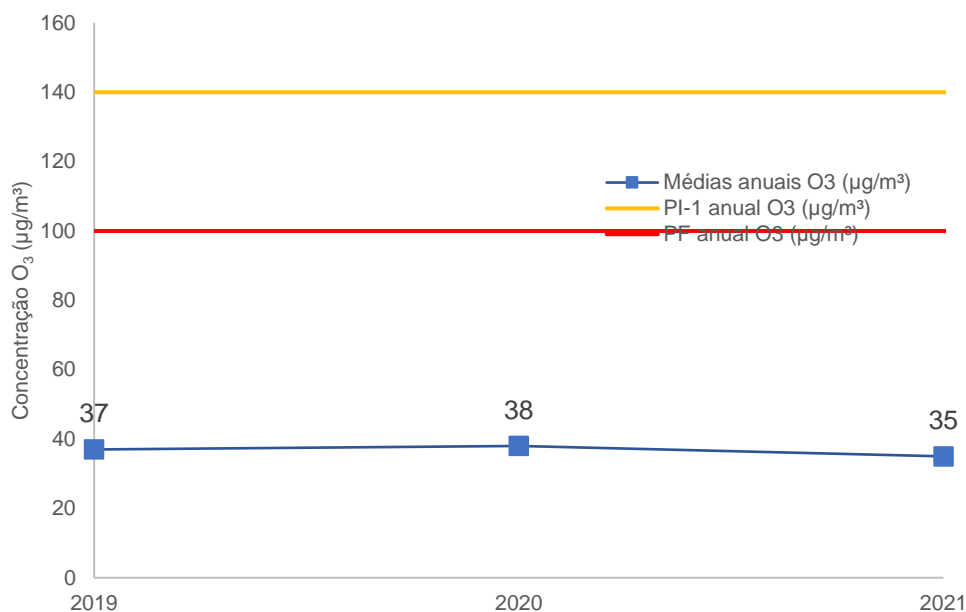
Gráfico 29 – Concentrações médias anuais de O₃ em Curitiba e RM (2004-2021)



FONTE: Os autores, 2023.

Assim, nota-se que a concentração média anual desse poluente foi menor em 2021 quando comparado ao ano de 2020. Na área considerada, apenas as estações CSN e RPR, localizadas em Araucária, obtiveram médias anuais representativas, em 2022.

Partindo para a análise do estado, a concentração média anual de O₃ também diminuiu quando comparado aos anos anteriores, como pode ser observado no Gráfico 30.

Gráfico 30 – Concentrações médias anuais de O₃ no Paraná (2019-2021)

FONTE: Os autores, 2023.

Em 2021, as estações CSN, RPR e PGA foram consideradas para calcular a média anual do estado. A última, localizada em Ponta Grossa, foi admitida para compreender outras regiões do estado. Apesar de não atender aos critérios de representatividade anual, foi a única estação do interior que obteve disponibilidade maior do que 50%. Em 2019, o resultado ainda contava com a contribuição representativa de mais estações localizadas no interior do estado, como em Cascavel, Londrina e Ponta Grossa, o que gera resultados mais abrangentes e que consideram de maneira mais efetiva as diferentes regiões do Paraná. Vale ressaltar, portanto, a importância de expandir a rede de monitoramento da qualidade do ar para diferentes cidades e realizar a manutenção das estações, para garantir a disponibilidade necessária ao longo do ano.

3.6.6. Dióxido de nitrogênio (NO₂)

O CONAMA 491/2018 estipula dois períodos de referência para o poluente NO₂: média horária e média anual, sendo a última obtida através das médias diárias. Há um Padrão Intermediário e um Padrão Final para ambas as médias, e as classificações de médias diárias são obtidas através da maior média horária monitorada no dia.

Sete estações automáticas monitoraram o poluente NO₂ durante o período de 2021, sendo três destas na Região Metropolitana de Curitiba, uma em Londrina,

Maringá, Ponta Grossa e São Mateus do Sul. A Tabela 15 mostra os dados tratados para as médias horárias e anuais, bem como o número de classificações de tais médias.

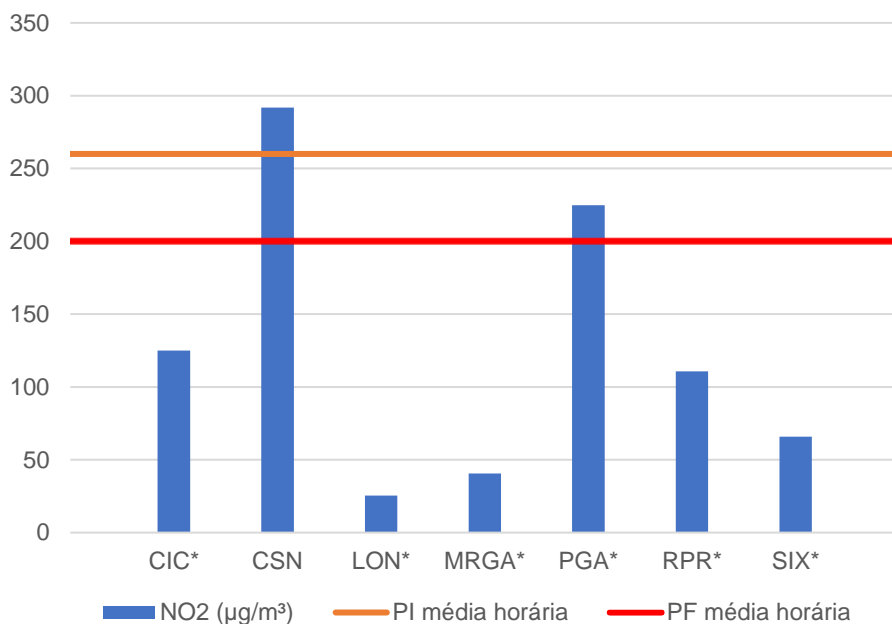
Tabela 15 - Resultados das médias diárias do monitoramento de NO₂

Estação	Disp. anual	Média horária máxima (µg/m ³)	Data da média máxima	Média anual (µg/m ³)	Nº de classificações das médias diárias			
					Boa	Reg.	Inad.	Ruim
CIC*	41,4%	125,07	11/01/2021	18,55	194	0	0	0
CSN	74,3%	291,77	27/04/2021	26,37	311	0	1	0
LON*	21,4%	25,44	17/02/2021	10,62	82	0	0	0
MRGA*	46,9%	40,56	20/09/2021	15,71	182	0	0	0
PGA*	47,1%	224,00	10/05/2021	16,10	203	1	0	0
RPR*	68,8%	110,82	19/04/2021	12,69	274	0	0	0
SIX*	48,0%	65,79	16/05/2021	10,97	156	0	0	0

*Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

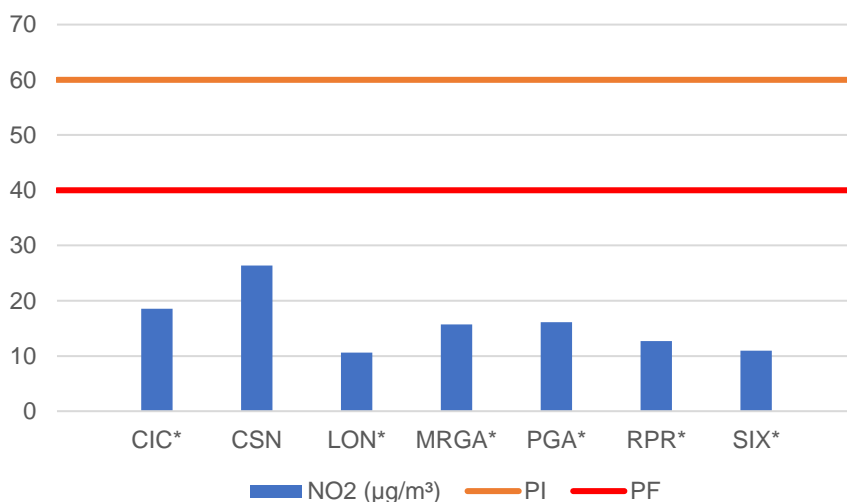
Apenas em dois horários durante o ano de 2021 a média horária extrapolou o Padrão Final, resultando em uma classificação inadequada na estação CSN e outra regular na estação PGA. O Gráfico 31 faz um comparativo entre as médias máximas obtidas em cada estação.

Gráfico 31 – Máximas médias horárias de NO₂ no estado do Paraná

*Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

Como observado, a estação CSN extrapolou o Padrão Intermediário, resultando na classificação inadequada já citada. Cinco das sete estações mantiveram sua média horária máxima abaixo de 150 µg/m³. O Gráfico 32 compara as médias anuais obtidas para cada estação em relação aos Padrões Final e Intermediário, também anuais, estipulados pela CONAMA e OMS.

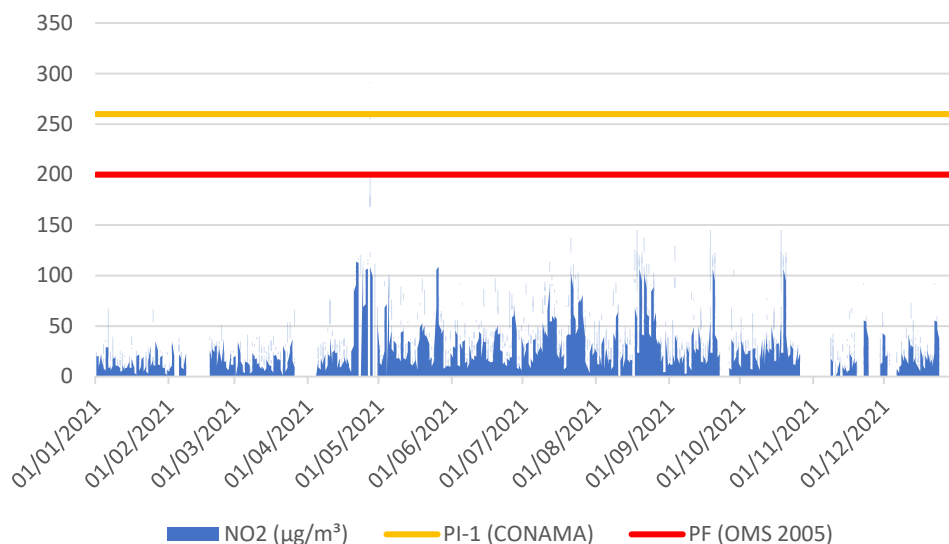
Gráfico 32 – Médias anuais para o poluente NO₂ no estado do Paraná em 2021

*Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

No que tange a média anual estipulada por CONAMA e OMS como padrões, não houve a ultrapassagem destes, sendo a média anual máxima de 26,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, observada na cidade de Araucária. Nesta mesma estação, CSN, houve o atingimento da representatividade anual, estando o comportamento deste poluente nesta estação disposto no Gráfico 33.

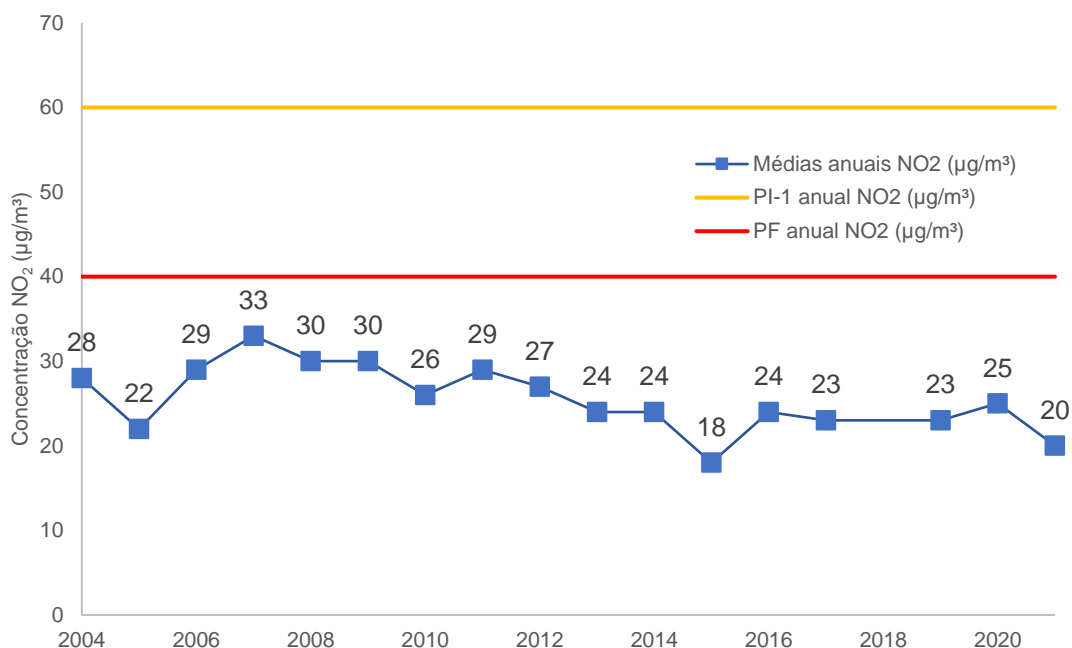
Gráfico 33 – Comportamento do poluente NO₂ na estação CSN (médias horárias)



FONTE: Os autores, 2023.

Como é possível observar, o monitoramento de NO₂ é caracterizado por picos altos e repentinos, sendo o maior deste o já referido em 27/04. Ademais, as médias horárias estiveram, em sua grande maioria, abaixo de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

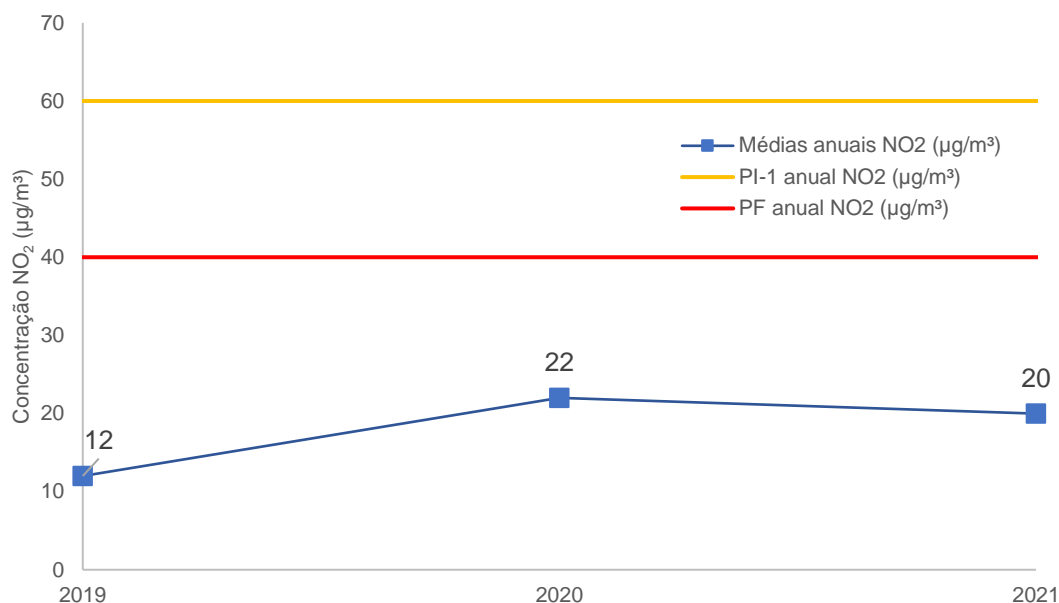
Em Curitiba e Região Metropolitana, a evolução das concentrações médias anuais para o dióxido de nitrogênio, no período de 2004 a 2021, está representada no Gráfico 34. De forma geral, foram consideradas apenas as médias anuais que atenderam ao critério de representatividade. O ano de 2018 não consta no esquema, pois nenhum resultado atendeu tal critério.

Gráfico 34 – Concentrações médias anuais de NO₂ em Curitiba e RM (2004-2021)

FONTE: Os autores, 2023.

Em 2021, houve uma diminuição em 20% no resultado em relação ao ano anterior. Nesse ano, foram consideradas as estações RPR e CSN, sendo que a primeira, mesmo não obtendo resultado representativo, foi utilizada para compor uma média mais abrangente, pois realizou medições desse parâmetro em mais de 50% do ano.

Em relação à abrangência estadual, a concentração média anual de NO₂ também diminuiu de 2020 para 2021, como mostra o Gráfico 35.

Gráfico 35 – Concentrações médias anuais de NO₂ em Curitiba e RM (2004-2022)

FONTE: Os autores, 2023.

Novamente, em 2021, foram consideradas apenas as estações RPR e CSN, pois nenhuma estação localizada no interior do estado atendeu ao critério de representatividade ou realizou medições desse parâmetro em mais de 50% do ano.

3.6.7. Partículas inaláveis finas (MP_{2,5})

O monitoramento de partículas em suspensão com diâmetro menor a 2,5 µm é relativamente novo no estado, e decorre do próprio estabelecimento do próprio CONAMA 491/2018, havendo, então, dados a partir da segunda metade de 2021. São estabelecidos pela CONAMA e OMS, então, Padrões Intermediários e Finais, em tempos de referência de 24 horas e um ano.

Dentro deste contexto, o MP 2,5 foi monitorado em duas estações, em substituição ao monitoramento de PTS, localizadas na Região Metropolitana de Curitiba, nas cidades de Curitiba e Araucária. A Tabela 16 sumariza os resultados obtidos.

Tabela 16 - Resultados das médias diárias do monitoramento de MP 2,5

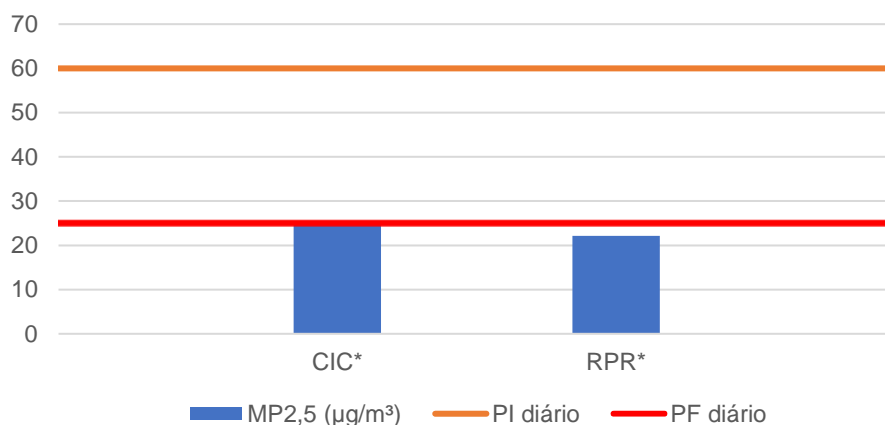
Estação	Disp. anual	Média diária máxima ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Data da média máxima	Média anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nº de classificações das médias diárias			
					Boa	Reg.	Inad.	Ruim
CIC*	3,56%	25,37	23/11/2021	11,13	12	1	0	0
RPR*	23,6%	22,12	28/09/2021	9,94	86	0	0	0

*Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

Dada a tardia implementação de equipamentos capazes do monitoramento do poluente em questão, a disponibilidade anual do monitoramento de manteve abaixo de 30%. As medições, no entanto, indicaram apenas uma violação ao Padrão Final. O Gráfico 36 compara as médias diárias máximas obtidas nas duas estações.

Gráfico 36 – Máximas médias diárias de MP 2,5 obtidas no Paraná em 2021

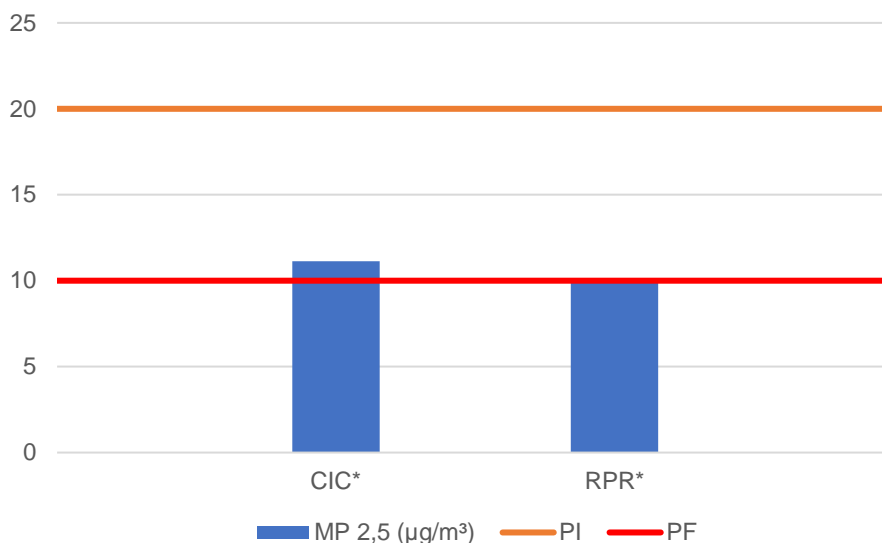


*Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

O Gráfico 37 compara a média anual obtida com os Padrões Final e Intermediário estipulados por CONAMA e OMS.

Gráfico 37 – Médias anuais de MP 2,5 obtidas no Paraná em 2021

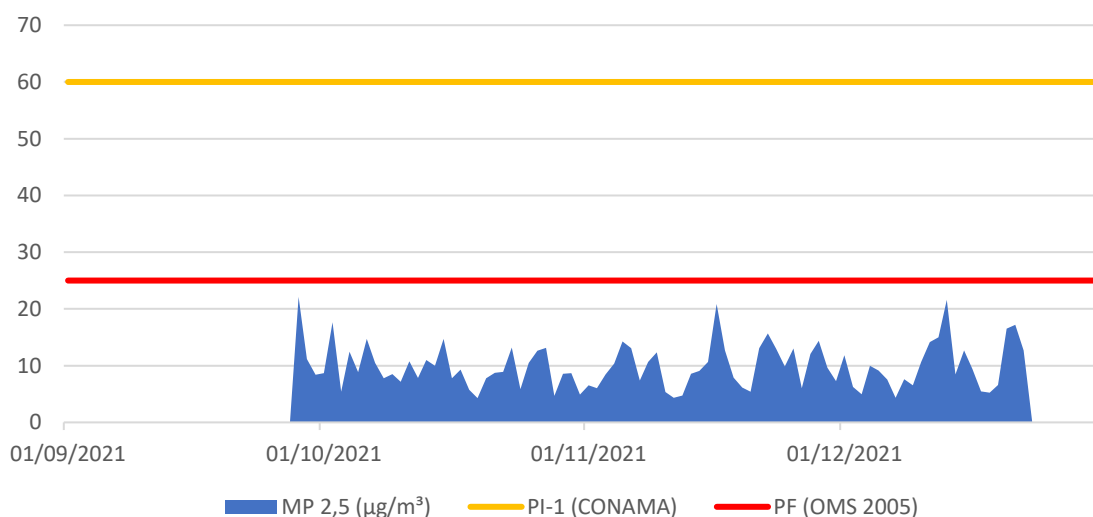


*Não atende ao critério de representatividade da média anual.

FONTE: Os autores, 2023.

Observa-se que ambas as estações tiveram médias anuais muito próximas ao Padrão Final estabelecido pela OMS, estando a estação CIC levemente acima e a estação RPR levemente abaixo. Apesar da não representatividade, a estação RPR apresentou um monitoramento com boa frequência durante o último quadrimestre de 2021. O Gráfico 38 ilustra os dados obtidos nesta estação para este período específico.

Gráfico 38 – Comportamento do poluente MP 2,5 na estação RPR durante o último quadrimestre de 2021



FONTE: Os autores, 2023.

Dentro deste período, que corresponde ao período no qual o poluente teve medição, o Padrão Final foi respeitado, sendo o máximo medido 22,12 µg/m³.

3.7.Registro de violações aos padrões finais e intermediários

Na Tabela 17, podemos observar as violações ocorridas no ano de 2021, por município, estação, e por parâmetro monitorado. Tais dados servem como indicador de qualidade do ar, uma vez que mostram dias e horários nos quais a qualidade do ar esteve fora da faixa “Boa”.

Tabela 17 - Número de violações ao Padrão Final por parâmetros observados em 2021

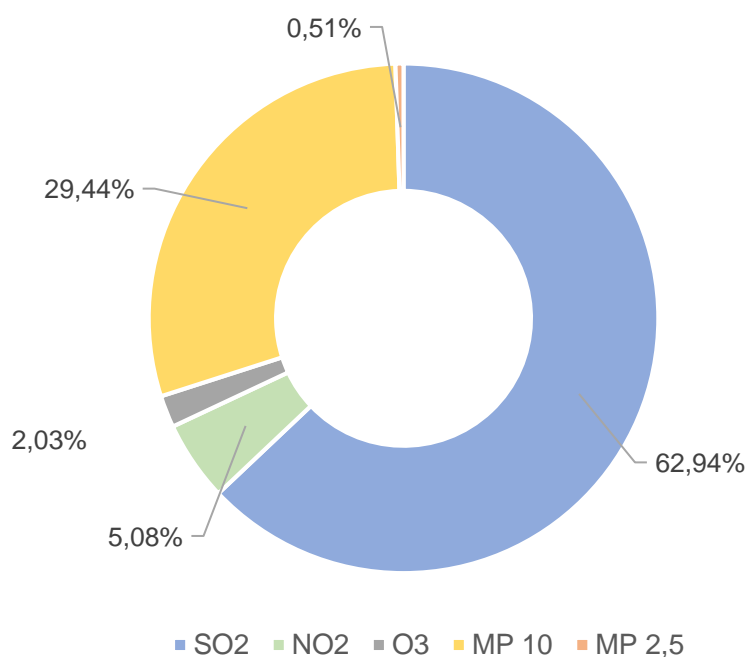
Cidade	Estação	CO	SO ₂	NO ₂	O ₃	MP 10	PTS	MP 2,5
Curitiba	CIC	0	0	0	*	40	0	1
	RPR	0	3	0	4	12	0	0
Araucária	CSN	*	114	9	0	*	0	*
	CVEL	0	0	*	0	2	*	*
Londrina	LON	0	*	0	0	*	*	*
Maringá	MRGA	0	*	0	*	*	*	*
Ponta Grossa	PGA	0	*	1	0	4	0	*
São Mateus do Sul	SIX	0	7	0	0	0	0	*

* Poluente não monitorado na estação em 2021

FONTE: Os autores, 2023.

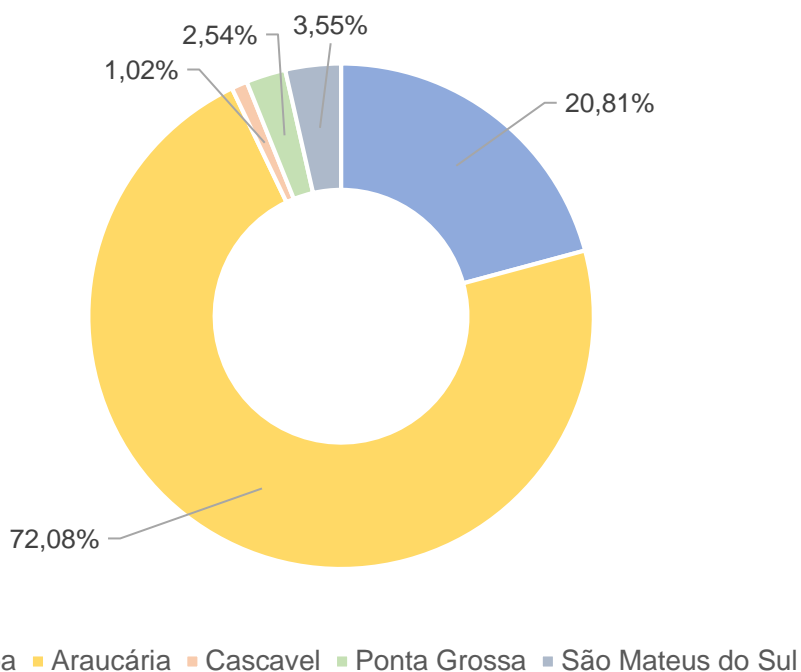
Dentro dessas violações estão também integradas as violações ao Padrão Intermediário I, que causam uma classificação “Inadequada”. Foram contabilizadas duas médias diárias referentes à SO₂ que ultrapassam o PI-1, três médias horárias de NO₂ e duas médias diárias que ultrapassaram o PI-1 referente ao poluente MP₁₀. As violações ao PI-1 referentes ao MP₁₀ foram registradas na estação CIC enquanto as demais aconteceram na estação CSN.

O Gráfico 39 ilustra a porcentagem de violações por componente durante período. Poluentes sem violações não foram considerados para a análise.

Gráfico 39 – Porcentagem de maior número de violações por poluentes no Paraná em 2021

FONTE: Os autores, 2023.

Através da análise do gráfico em questão, é possível concluir que a enorme maioria do número de violações corresponde aos poluentes SO₂ e MP 10, que juntos somam 92,39% do número total de violações. Quanto às cidades com maior número de incidências de violação ao Padrão Final, para qualquer poluente, o Gráfico 40 ilustra a situação.

Gráfico 40 – Porcentagem de maior número de violações por cidade no Paraná em 2021

FONTE: Os autores, 2023.

A Região Metropolitana de Curitiba é responsável por 92,89% das ocorrências de violações aos Padrões Finais. A cidade de Araucária, especificamente, corresponde a mais de 70% das ocorrências, impulsionadas em grande parte pelas ocorrências de violações de SO₂ na estação CSN.

4. CONCLUSÃO

No ano de 2021, a rede de monitoramento de qualidade do ar do Estado do Paraná contou com oito estações automáticas de monitoramento, sendo três delas instaladas na Região Metropolitana de Curitiba. Embora o número de estações se encontre suficiente em relação à Diretiva Europeia, é importante que sejam complementadas para a medição da maior parte dos parâmetros indicados na Legislação. Além do mais, é importante operar as estações com uma maior frequência, de forma a se alcançar a disponibilidade esperada e representatividade dos dados obtidos.

Como pôde ser observado, na maior parte do tempo a qualidade do ar nas localidades monitoradas no interior do Paraná atende aos padrões da Resolução CONAMA Nº 491/18. Na RMC, houve um número maior de violações ao Padrão Final e Intermediário, principalmente em relação ao poluente SO₂. Dessa forma, controle e fiscalização são ferramentas ainda importantes para a gestão ambiental atmosférica no Estado.

- Curitiba

Em Curitiba, no ano de 2021, foram monitorados os parâmetros PTS, PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, CO e NO₂ em uma estação automática, no bairro Cidade Industrial de Curitiba. Foram registradas um total de 40 violações ao padrão final estabelecido na resolução CONAMA Nº 491/18, devido ao poluente MP₁₀. Em relação às médias anuais dos poluentes monitorados no período, os poluentes MP₁₀ e MP_{2,5} não atenderam aos Padrões Finais estipulados na resolução CONAMA Nº 491/18. Os critérios de representatividade anual, no entanto, não foram atingidos para nenhum poluente.

Baseado no Índice de Qualidade do Ar, em Curitiba, no ano de 2021, 94,9% das avaliações realizadas foram classificadas como “Boa”, 4,9% como “Regular” e 0,3% como “Inadequada” (considerando as classificações individuais de cada poluente).

- Araucária

Na cidade de Araucária, foram monitorados os parâmetros PTS, PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂, CO, O₃ e NO₂ em duas estações automáticas. Foram registradas 142 violações aos Padrões Finais estabelecidos na resolução CONAMA Nº 491/18. Em relação às

médias anuais dos poluentes monitorados no período, apenas o poluente MP₁₀ apresentou valor maior que o Padrão Final.

Considerando o critério de representatividade anual (todas as três médias quadrimestrais válidas), a estação RPR atendeu o critério para os poluentes O₃, SO₂, CO e MP₁₀. Já a estação CSN obteve representatividade anual para os poluentes SO₂, NO₂ e O₃. Pode-se destacar que as estações da cidade foram as que obtiveram a melhor disponibilidade dentre todas as estações automáticas em funcionamento.

Baseado no Índice de Qualidade do Ar, em Araucária, no ano de 2021, 95,1% das avaliações realizadas foram classificadas como “Boa”, 4,5% como “Regular” e 0,4% como “Inadequada” (considerando as classificações individuais de cada poluente).

- **Ponta Grossa**

Em Ponta Grossa, foram monitorados os parâmetros CO, MP₁₀, PTS, NO₂ e O₃ em uma estação automática. Foram registradas 3 violações aos Padrões Finais referentes à MP₁₀ e NO₂ estabelecidos na resolução CONAMA Nº 491/18. Em relação às médias anuais dos poluentes monitorados no período, apenas o parâmetro PM₁₀ não teve seu padrão respeitado. Quanto a representatividade anual, apenas para o poluente CO os critérios foram atendidos.

Baseado no Índice de Qualidade do Ar, 99,6% das avaliações realizadas foram classificadas como “Boa” e 0,4% como “Regular” (considerando as classificações individuais de cada poluente).

- **São Mateus do Sul**

Em São Mateus do Sul, foram monitorados os parâmetros CO, MP₁₀, PTS, SO₂, NO₂ e O₃ em uma estação automática. Foram registradas 7 violações ao Padrão Final referentes à SO₂ estabelecido na resolução CONAMA Nº 491/18. Em relação às médias anuais dos poluentes monitorados no período, todas foram respeitadas. Quanto a representatividade anual, a estação não obteve os critérios para nenhum poluente.

Baseado no Índice de Qualidade do Ar, 99,1% das avaliações realizadas foram classificadas como “Boa” e 0,9% como “Regular” (considerando as classificações individuais de cada poluente).

- **Cascavel**

Em Cascavel, foram monitorados os parâmetros CO, MP₁₀ e O₃ em uma estação automática. Foram registradas 2 violações ao Padrão Final referentes à MP₁₀ estabelecido na resolução CONAMA Nº 491/18. Em relação às médias anuais dos poluentes monitorados no período, apenas a referente a MP₁₀ não foi respeitado. Quanto a representatividade anual, a estação não obteve os critérios para nenhum poluente.

Baseado no Índice de Qualidade do Ar, 99,3% das avaliações realizadas foram classificadas como “Boa” e 0,7% como “Regular” (considerando as classificações individuais de cada poluente).

- **Londrina e Maringá**

No conjunto das duas cidades, foram monitorados os parâmetros CO, NO₂ e O₃ em duas estações automáticas, uma localizada em cada cidade. Não foram registradas violações ao Padrão Final CONAMA Nº 491/18 em nenhuma das cidades. Em relação às médias anuais dos poluentes monitorados no período, todos os Padrões Finais foram respeitados. Quanto a representatividade anual, as estações não obtiveram os critérios para nenhum poluente.

Baseado no Índice de Qualidade do Ar, 100% das avaliações realizadas em ambas as cidades foram classificadas como “Boa” (considerando as classificações individuais de cada poluente).

5. REFERÊNCIAS

BRASIL. Resolução CONAMA Nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre qualidade do ar. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 de novembro de 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB), 2014. **Relatório de qualidade do ar no Estado de São Paulo 2013**. Série Relatórios / Secretaria do Estado do Meio Ambiente. Disponível em: < <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/qualidade-do-ar/31-publicacoes-e-relatorios> >. Acesso em: 09 fev. 2015.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Redes de Monitoramento**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/redes-de-monitoramento/>>. Acesso em: 20 jul. 2023.

AGÊNCIA DE ASSUNTOS METROPOLITANOS DO PARANÁ (AMEP). **Região Metropolitana de Curitiba**. Disponível em: <<https://www.amep.pr.gov.br/FAQ/Municipios-da-Regiao-Metropolitana-de-Curitiba>>. Acesso em: 20 jul. 2023.

PARANÁ. **PLANO DE CONTROLE DE POLUIÇÃO VEICULAR**. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2023-03/pcpv_pr_2022_final.pdf>. Acesso em 20 jul. 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA CLIMÁTICA (MMA). **Gestão da Qualidade do ar. Módulo I Introdução à qualidade do ar e legislação aplicada**. Curso Gestão e Qualidade do ar. 05 jun. 2023. EAD MMA, 2023.

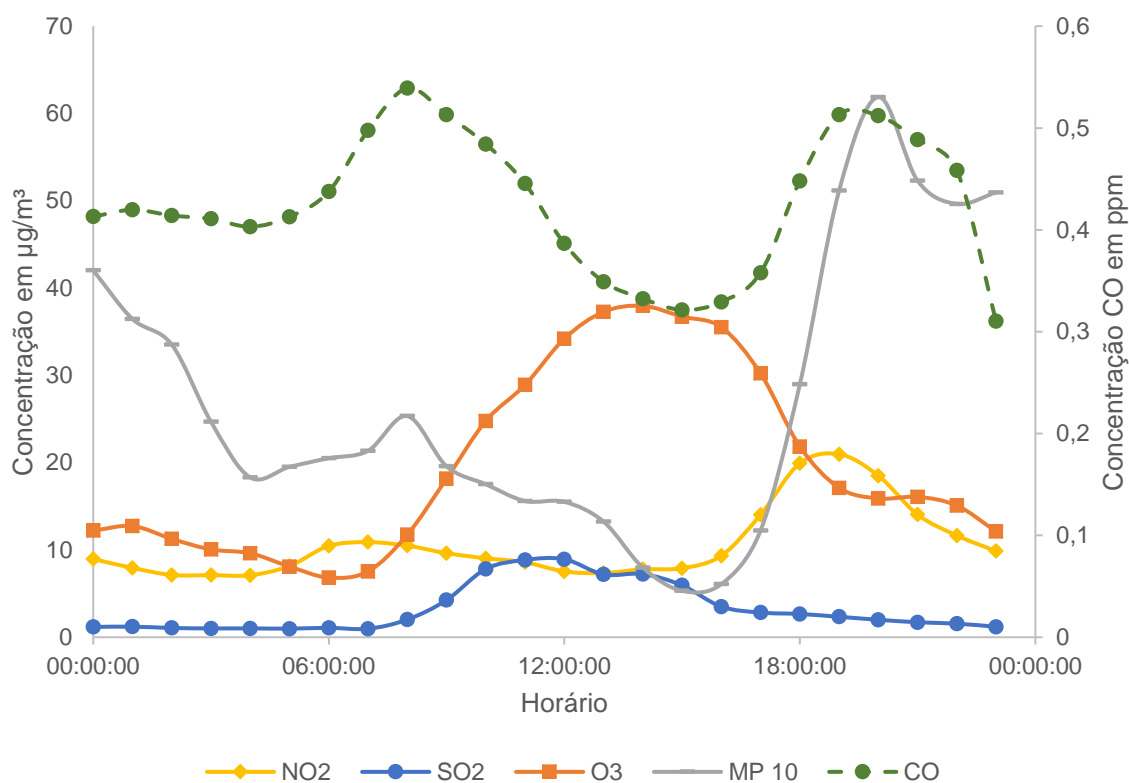
LUXEMBURGO. Diretiva 1999/30/CE do Conselho, de 22 de abril de 1999. Dispõe sobre valores-limite para o dióxido de enxofre, dióxido de azoto e óxidos de azoto, partículas em suspensão e chumbo no ar ambiente. **Jornal Oficial das Comunidades Europeias**, Luxemburgo, 29 de junho de 1999.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **OMS estima que sete milhões de mortes ocorram por ano devido à contaminação atmosférica**. Genebra: Março de 2014. Disponível em <http://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=4609:oms-estima-que-sete-milhoes-mortes-ocorram-ano-devido-contaminacao-atmosferica&Itemid=839>. Acesso em: 12 fev. 2015.

PARANÁ. Resolução SEMA Nº 016, de 26 de março de 2014. Define critérios para o Controle da Qualidade do Ar como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem estar da população e melhoria da qualidade de vida, com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do Estado de forma ambientalmente segura, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, Paraná, PR, 15 de abril de 2014.

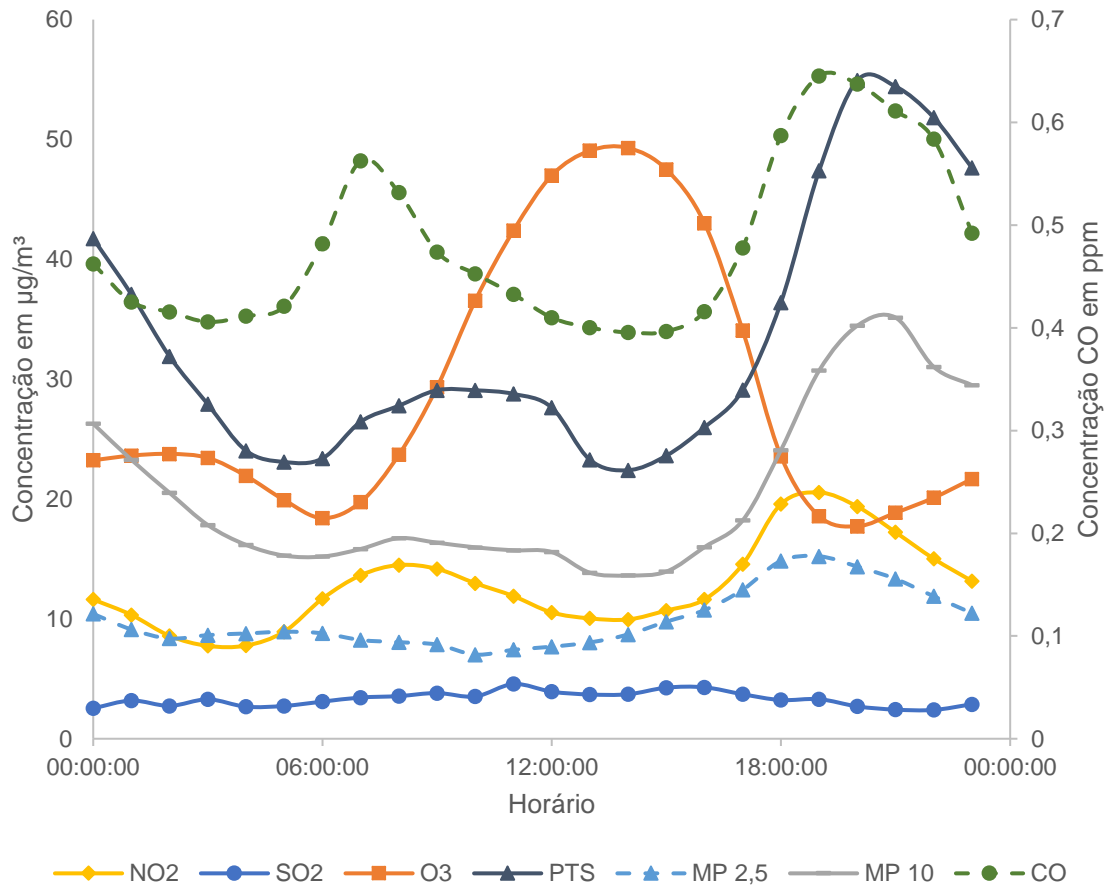
APÊNDICE 1 – Variação da média diária dos poluentes nas estações SIX, RPR e PGA

Figura 1 – Variação da média diária registrada na estação automática SIX em 2021



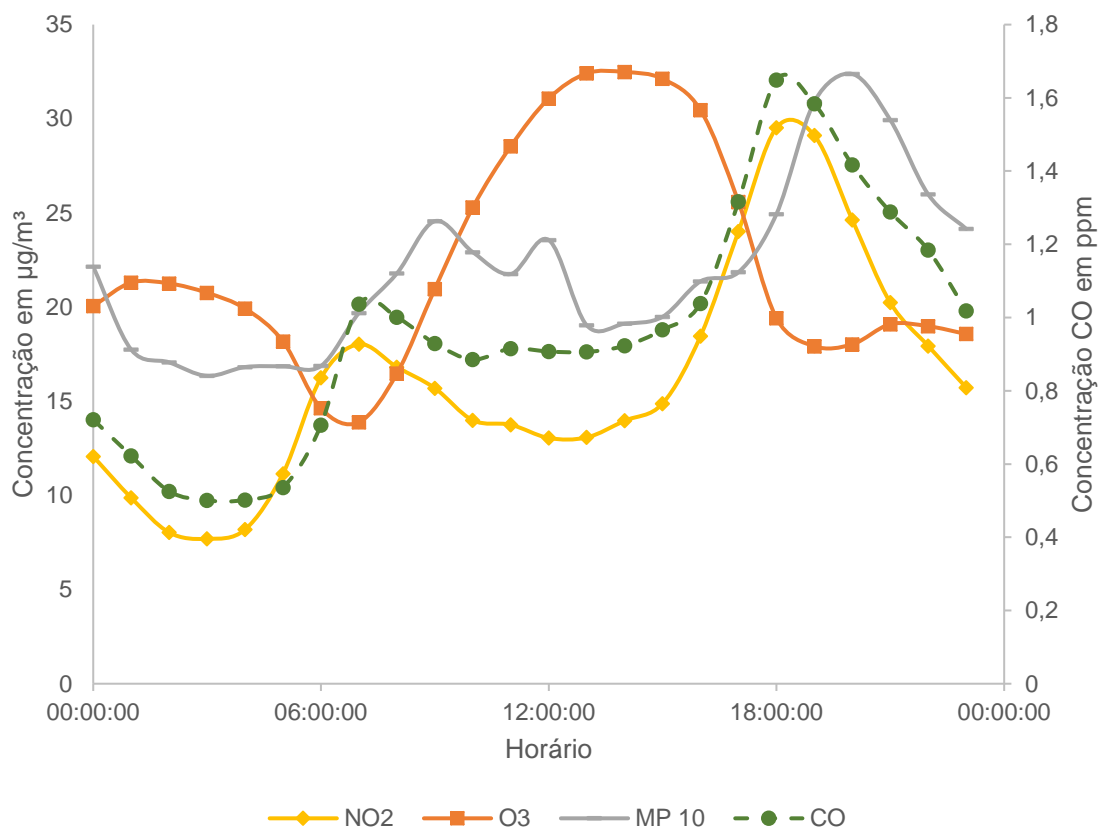
Fonte: Os autores, 2023.

Figura 2 - Variação da média diária registrada na estação automática RPR em 2021



Fonte: Os autores, 2023.

Figura 3 – Variação da média diária registrada na estação automática PGA em 2021



Fonte: Os autores, 2023.

APÊNDICE 2 – Coordenadas geográficas e UTM das estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar do Estado do Paraná

Tabela 1 – Coordenadas geográficas e UTM das estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar do Estado do Paraná

Estação	Endereço	Coordenadas			
		Geográfica		UTM	
		Latitude (S)	Longitude (W)	E (m)	S (m)
CIC	Rua Senador Accioly Filho, Nº 3400, Cidade Industrial de Curitiba, Curitiba.	25°29'51,42"	49°20'25,40"	666804,88	7178909,22
CSN	Rodovia do Xisto, BR-476, Nº 5005, Chapada, Araucária.	25°34'09,35"	49°22'57,25"	662468,35	7171027,03
CVEL	Rua Pernambuco, 1843, estacionamento Câmara de Vereadores	24°57'11,17"	53°28'39,99"	249823	7237962
LON	Av. Brasil, 1115, estacionamento IAT	23°19'7,68"	51°9'13,42"	484283	7421180
MRGA	Estádio Willi Dayvis, ao lado portão estádio e ginásio esportivo	23°24'56,07"	51°56'17,65"	404142	7410163
PGA	Parque ambiental, ao lado da 1ª Companhia de Polícia	25°5'40,07"	50°9'13,41"	585334	7224325
RPR	Rua das Andorinhas, Nº 151, Capela Velha, Araucária.	25°33'13,02"	49°23'30,21"	661570,68	7172775,17
SIX	Rua Manoel da Cunha Bittencout, 128	25°51'32,35"	50°24'29,56"	559296	7139799

Fonte: Os autores (2023).