

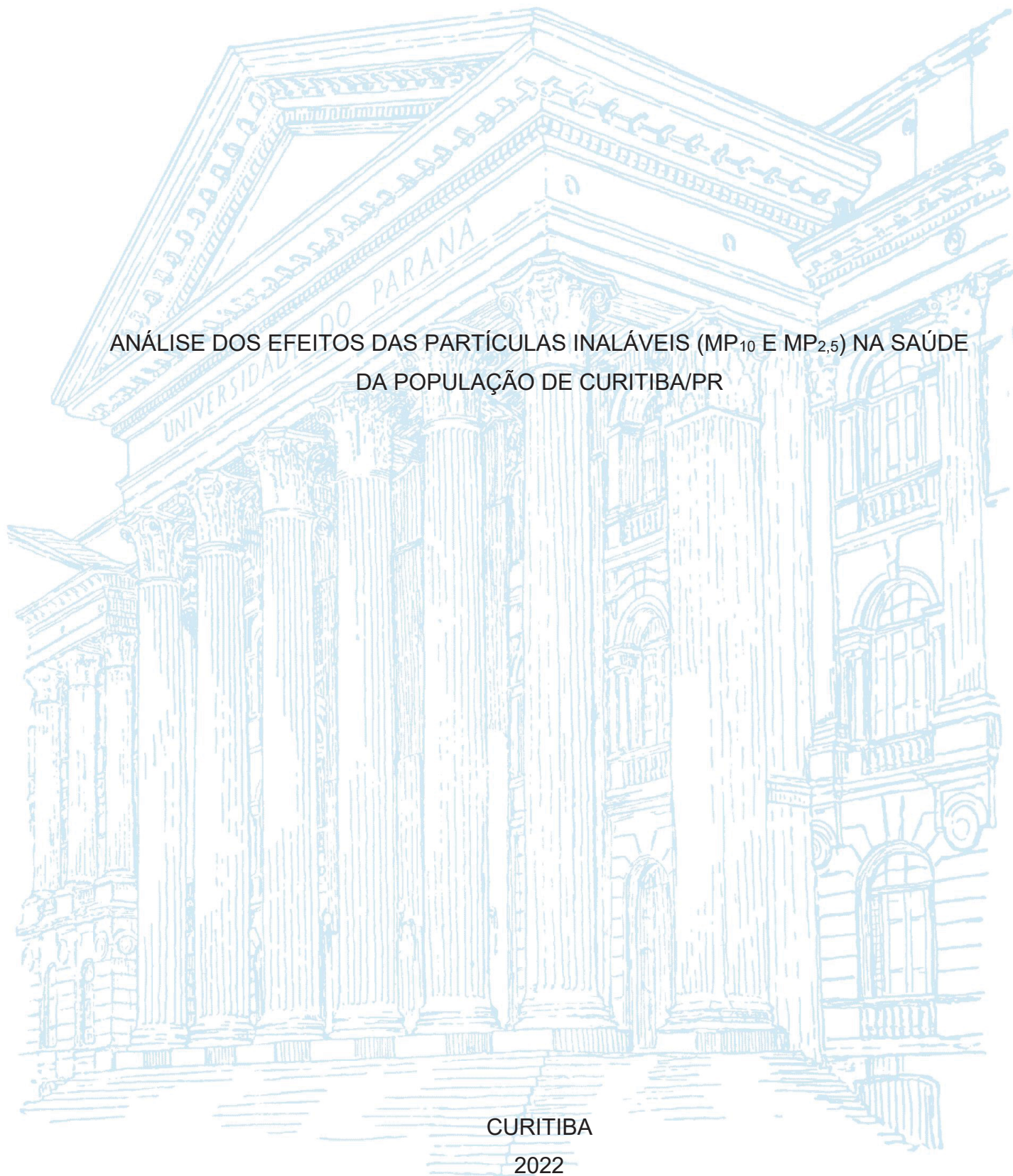
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JACQUELINE ARIELE SCHRAIER

ANÁLISE DOS EFEITOS DAS PARTÍCULAS INALÁVEIS (MP_{10} E $MP_{2,5}$) NA SAÚDE
DA POPULAÇÃO DE CURITIBA/PR

CURITIBA

2022



JACQUELINE ARIELE SCHRAIER

ANÁLISE DOS EFEITOS DAS PARTÍCULAS INALÁVEIS (MP₁₀ E MP_{2,5}) NA SAÚDE
DA POPULAÇÃO DE CURITIBA/PR

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR), em parceria com a Universidade de Stuttgart e o Sistema Nacional de Aprendizagem Industrial do Paraná (SENAI), como requisito à obtenção do título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Mônica Beatriz Kolicheski

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Pablo Devecchi

CURITIBA

2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Schraier, Jacqueline Ariele

Análise dos efeitos das partículas inaláveis (MP₁₀ e MP_{2,5}) na saúde da população de Curitiba/PR. / Jacqueline Ariele Schraier. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, em parceria com o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) e a Universität Stuttgart.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Mônica Beatriz Kolichski

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Pablo Devecchi

1. Ar - Poluição. 2. Doenças respiratórias. 3. Mortalidade. I. Kolichski, Mônica Beatriz. II. Devecchi, Fernando Pablo. III. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial. IV. Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. V. Universität Stuttgart. VI. Título.

Bibliotecária: Roseny Rivelini Morciani CRB-9/1585



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MEIO AMBIENTE
URBANO E INDUSTRIAL - 40001016057P5

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **JACQUELINE ARIELE SCHRAIER** intitulada: **ANÁLISE DOS EFEITOS DAS PARTÍCULAS INALÁVEIS (MP10 E MP2,5) NA SAÚDE DA POPULAÇÃO DE CURITIBA/PR**, sob orientação da Profa. Dra. MÔNICA BEATRIZ KOLICHESKI, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 30 de Março de 2022.

Assinatura Eletrônica
07/04/2022 12:01:54.0
MÔNICA BEATRIZ KOLICHESKI
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
07/04/2022 13:49:43.0
ROBERTO GREGORIO DA SILVA JUNIOR
Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
07/04/2022 19:52:46.0
EMILIO GRACILIANO FERREIRA MERCURI
Avaliador Externo (55001149)

Assinatura Eletrônica
07/04/2022 14:24:10.0
RODRIGO CESAR RAIMUNDO
Avaliador Interno (FACULDADE DE TECNOLOGIA SENAI CURITIBA)

Essa dissertação é dedicada a Deus, que guia e ilumina cada um dos meus passos, ao meu pai Agostinho Schraier, que é meu alicerce de vida, e aos meus familiares e amigos pelo companheirismo, paciência e motivação em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem sua presença e seu amor infinito eu nada seria.

À Prof. Dr.^a Mônica Beatriz Kolicheski e ao Prof. Dr. Fernando Pablo Devecchi pela orientação, paciência, dedicação e por todo apoio durante o estudo.

A toda equipe do projeto O Ar Que Respiramos, em especial ao Patrick Alves Bastos, que contribuiu significativamente para a elaboração desse estudo.

Ao Prof. Dr. Emílio Graciliano Ferreira Mercuri do Laboratório de Computação e Tecnologia em Engenharia Ambiental (LACTEA) da Universidade Federal do Paraná, ao Departamento de Qualidade do Ar do Instituto Água e Terra (IAT) e ao Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde (SISAM) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo fornecimento de dados da qualidade do ar.

A todos os professores do curso de Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial pelos ensinamentos que foram essenciais para meu crescimento pessoal e profissional.

A minha família e amigos que sempre acreditaram no meu potencial e que estiveram ao meu lado me incentivando e apoiando, em especial ao meu pai, Agostinho Schraier, por todo seu amor e dedicação, sem seu apoio a realização desse estudo não seria possível.

À Universidade Federal do Paraná, em especial ao Departamento de Engenharia Química, ao Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) Paraná e à Universidade de Stuttgart na Alemanha, pela oportunidade de realização do meu mestrado.

Meu único desejo é um pouco mais de respeito para o mundo, que começou sem o ser humano e vai terminar sem ele.

(CLAUDE LÉVI-STRAUSS, 2005)

RESUMO

Dados da Organização Mundial da Saúde mostram que os efeitos da poluição atmosférica causam anualmente aproximadamente sete milhões de mortes prematuras no mundo, como resultado, em grande parte, do aumento das infecções respiratórias agudas, câncer de pulmão, doença pulmonar obstrutiva crônica, doenças cardíacas e acidente vascular cerebral. Desse total, aproximadamente 600.000 se referem a crianças com menos de cinco anos de idade. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar os efeitos das partículas inaláveis em suspensão na atmosfera (MP_{10} e $MP_{2,5}$) na saúde da população de Curitiba/PR. Para tanto, utilizou-se o *software* AirQ+ da Organização Mundial da Saúde para estimar os efeitos de mudanças na qualidade do ar na saúde da população. Todos os cálculos realizados pelo AirQ+ são baseados em metodologias estabelecidas por estudos epidemiológicos e as funções utilizadas no *software* se baseiam na revisão de estudos e em suas metanálises. Destaca-se que para essa análise foram necessários dados de saúde e da qualidade do ar da região de estudo. Os dados de qualidade do ar foram obtidos com base em dados do Instituto Água e Terra (IAT), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Laboratório de Computação e Tecnologia em Engenharia Ambiental (LACTEA). Os dados de saúde decorrentes de problemas relacionados à poluição atmosférica na área de estudo foram obtidos a partir do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) e do Boletim Epidemiológico da Gripe da Secretaria Municipal de Saúde de Curitiba. Para o ano de 2018, por exemplo, em que a concentração média anual de $MP_{2,5}$ foi igual a $17,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o número de mortes ocorridas por câncer dos brônquios e dos pulmões na população de Curitiba com idade igual ou maior do que 30 anos e atribuídas a poluição do ar foi igual a 41. Valor que representa 14% do total de mortes ocorridas pela referida doença no município no ano de 2018. Caso a recomendação da OMS para a concentração média anual de $MP_{2,5}$ para a exposição de longo prazo ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fosse atendida, haveria uma redução de aproximadamente 10% no número total de mortes por câncer de brônquios e pulmão em 2018. Se a recomendação para a exposição de curto prazo para o MP_{10} ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) fosse atendida no ano de 2017, ou seja, caso houvesse uma redução de 30% dos níveis de MP_{10} na atmosfera, haveria a potencial redução de 5% das mortes por doenças respiratórias, que passaria de 1.036 para 982. Esses resultados ressaltam a importância de ações e políticas públicas com foco na redução dos níveis de poluentes na atmosfera, como a melhora da mobilidade urbana, incentivo a uso de meios de transporte limpos e/ou alternativos, incentivos fiscais a indústrias com emissões reduzidas, arborização dos centros urbanos, entre outros.

Palavras-chave: Poluição do ar. Material particulado. AirQ+. Mortalidade. Doenças respiratórias.

ABSTRACT

World Health Organization data show that the effects of air pollution caused approximately seven million premature deaths worldwide, as a result of the increase in acute respiratory infections, lung cancer, chronic obstructive pulmonary disease, heart disease and stroke system. Of this total, approximately 600.000 refer to children less than five years old. In this context, the present study aimed to analyze the effects of particulate matter suspended in the atmosphere (PM₁₀ and PM_{2,5}) on the health of the population of Curitiba/PR. Therefore, the AirQ+ software from the World Health Organization was used to estimate the effects of changes in air quality on the population's health. All calculations performed by AirQ+ are based on methodologies established by epidemiological studies and functions used in the software are based on the review of studies available until the year 2013 and on their meta-analyzes. This analysis requires data on health and air quality in the study region. Air quality data were obtained based on data from the IAT, INPE and LACTEA. And the health data resulting from problems related to atmospheric pollution in the study area were obtained from the DATASUS and the municipal flu epidemiological bulletin. For the year 2018, for example, in which the annual average of PM_{2,5} was equal to 17,5 µg/m³, the number of deaths from bronchial and lung cancer in the population of Curitiba aged equal to or older than 30 years and attributed to air pollution was equal to 41. This value represents 14% of the total number of deaths from the disease in the city in 2018. If the WHO recommendation for the average annual concentration of PM_{2.5} for long-term exposure (5 µg/m³) were met, there would be an approximately 10% reduction in the total number of bronchial and lung cancer deaths in 2018. If the recommendation for short-term exposure to PM₁₀ (45 µg/m³) were met in 2017, that is, if there was a 30% reduction in PM₁₀ levels in the atmosphere, there would be a potential 5% reduction in deaths from respiratory diseases, which would rise from 1.036 to 982. These results highlight the importance of public actions and policies focused on reducing the levels of pollutants in the atmosphere, such as improving urban mobility, encouraging the use of clean and alternative transport, tax incentives for industries with reduced emissions, afforestation of urban centers, among others.

Key-words: Air pollution. Particulate matter. AirQ+. Mortality. Respiratory diseases.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DO AR DO IAT EM CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA.	44
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CURITIBA NO ESTADO DO PARANÁ E NO BRASIL.....	67
FIGURA 3 – RELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA MÉDIA SEMANAL E O NÚMERO DE ATENDIMENTOS POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM CURITIBA NO ANO DE 2019.....	94
FIGURA 4 - PROPORÇÃO (%) DE ATENDIMENTOS POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM RELAÇÃO AO TOTAL DE ATENDIMENTOS REALIZADOS NAS UNIDADES DE SAÚDE DE CURITIBA.....	95
FIGURA 5 - PROPORÇÃO (%) DE ATENDIMENTOS POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM RELAÇÃO AO TOTAL DE ATENDIMENTOS REALIZADOS NAS UNIDADES DE SAÚDE DE CURITIBA.....	96

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DIÁRIAS PARA O PARÂMETRO MP ₁₀ NAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DO AR BOQ E PAR E COMPARAÇÃO COM OS PADRÕES.....	77
GRÁFICO 2 – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DIÁRIAS PARA O PARÂMETRO NO ₂ NAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DO AR CIC, PAR E STC.	80
GRÁFICO 3 – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DIÁRIAS PARA O PARÂMETRO O ₃ NAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DO AR BOQ, PAR E STC. .	82
GRÁFICO 4 – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DIÁRIAS PARA O PARÂMETRO MP _{2,5} NOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DO AR BATEL, BOA VISTA E MERCÊS, E COMPARAÇÃO COM OS PADRÕES.....	83
GRÁFICO 5 – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DIÁRIAS PARA O PARÂMETRO MP _{2,5} COM BASE NOS DADOS DO SISAM E COMPARAÇÃO COM OS PADRÕES.	85
GRÁFICO 6 – COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DIÁRIAS DE MP _{2,5} REGISTRADAS PELO LACTEA E PELO SISAM.....	87

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – EFEITOS DO MONÓXIDO DE CARBONO NA SAÚDE.....	29
QUADRO 2 – RESUMO DOS EFEITOS NA SAÚDE DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS.	31
QUADRO 3 – PRINCIPAIS EFEITOS ADVERSOS À SAÚDE ASSOCIADOS AOS POLUENTES ORIGINADOS DA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS.....	32
QUADRO 4 – DIRETRIZES DA QUALIDADE DO AR ESTABELECIDAS PELA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE.....	38
QUADRO 5 – PADRÕES DE QUALIDADE DO AR SEGUNDO LEGISLAÇÃO FEDERAL.	40
QUADRO 6 – NÍVEIS DE ATENÇÃO, ALERTA E EMERGÊNCIA PARA POLUENTES E SUAS CONCENTRAÇÕES SEGUNDO LEGISLAÇÃO FEDERAL.....	41
QUADRO 7 – ÍNDICES DE QUALIDADE DO AR SEGUNDO LEGISLAÇÃO FEDERAL.	42
QUADRO 8 – RELAÇÃO ENTRE VALOR DO IQAR E POSSÍVEIS EFEITOS À SAÚDE.	42
QUADRO 9 – ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR PARA O POLUENTE PTS SEGUNDO IAT.....	43
QUADRO 10 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR.	45
QUADRO 11 - CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE LONGO PRAZO DAS PRINCIPAIS SUBSTÂNCIAS MONITORADAS NAS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS DA RMC NO ANO DE 2015.	46
QUADRO 12 – EQUAÇÕES PARA O CÁLCULO DO RISCO RELATIVO,	49
QUADRO 13 – AÇÕES PARA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO DE INDIVÍDUOS A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	56
QUADRO 14 – MODELOS UTILIZADOS NA OBTENÇÃO DE DADOS DA QUALIDADE DO AR PELO INPE.	60
QUADRO 15 – DADOS DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DE MATERIAL PARTICULADO COM SENSORES DE BAIXO CUSTO DO LACTEA.....	61
QUADRO 16 – DADOS DAS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DO IAT.	62
QUADRO 17 – EQUAÇÕES UTILIZADAS NO CÁLCULO DO RISCO RELATIVO. .	65

QUADRO 18 – CENÁRIOS PARA AVALIAR A REDUÇÃO DE PROBLEMAS DE SAÚDE EM FUNÇÃO DA MELHORIA NA QUALIDADE DO AR.....	66
QUADRO 19 – COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES INDUSTRIAIS E VEICULARES NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.	69
QUADRO 20 – AÇÕES E PRAZOS PROPOSTOS NO PLANO DE CONTROLE DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DO PARANÁ.....	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO DE CURITIBA POR FAIXA ETÁRIA E SEXO.....	68
TABELA 2 – PRECIPITAÇÃO ACUMULADA MENSAL E ANUAL PARA O PERÍODO DE 2014 A 2020 PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA.	70
TABELA 3 – MÉDIAS ANUAIS DOS DADOS DE QUALIDADE DO AR DAS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS DE MONITORAMENTO DO IAT.	74
TABELA 4 – ULTRAPASSAGENS DO PF PARA MÉDIA DIÁRIA NAS ESTAÇÕES BOQ E PAR DO IAT, CONSIDERANDO O PARÂMETRO MP ₁₀	78
TABELA 5 – MÉDIAS MENSAIS DO PARÂMETRO MP ₁₀ NAS ESTAÇÕES BOQ E PAR DO IAT.....	79
TABELA 6 – MÉDIAS ANUAIS DOS DADOS DE QUALIDADE DO AR OBTIDOS NO SISAM.....	84
TABELA 7 – ULTRAPASSAGENS DO PI-1 PARA CONCENTRAÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE MP _{2,5} COM BASE NOS DADOS DO SISAM.	86
TABELA 8 – MORTALIDADE POR TODAS AS CAUSAS NO PERÍODO DE 2014 A 2018 PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA.	88
TABELA 9 – MORTALIDADE POR DOENÇAS DO APARELHO CIRCULATÓRIO NO PERÍODO DE 2014 A 2018 PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA.	89
TABELA 10 – MORTALIDADE POR DOENÇAS DO APARELHO RESPIRATÓRIO NO PERÍODO DE 2014 A 2018 PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA.	90
TABELA 11 – MORTALIDADE POR CÂNCER DOS BRÔNQUIOS E PULMÕES NO PERÍODO DE 2014 A 2018 PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA.	91
TABELA 12 – MORTALIDADE POR DOENÇAS CARDÍACAS PULMONARES E DA CIRCULAÇÃO PULMONAR NO PERÍODO DE 2014 A 2018 PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA.	92
TABELA 13 – ATENDIMENTOS POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS REALIZADOS NAS UNIDADES DE SAÚDE DE CURITIBA NO PERÍODO DE 2014 A 2019.	93
TABELA 14 – NÚMERO DE MORTES POR CÂNCER DE BRÔNQUIOS E DE PULMÃO NO MUNICÍPIO DE CURITIBA ATRIBUIDAS A EXPOSIÇÃO DE LONGO PRAZO AO MP _{2,5}	98
TABELA 15 – NÚMERO DE MORTES POR CÂNCER DE BRÔNQUIOS E DE PULMÃO EVITÁVEIS EM DECORRÊNCIA DO ATENDIMENTO AOS PADRÕES DA	

RESOLUÇÃO CONAMA N.º 491/2018 E DAS DIRETRIZES DA OMS PUBLICADAS EM 2021.	101
TABELA 16 – NÚMERO DE MORTES POR DOENÇAS CARDÍACAS PULMONARES E DA CIRCULAÇÃO PULMONAR NO MUNICÍPIO DE CURITIBA ATRIBUIDAS A EXPOSIÇÃO DE LONGO PRAZO AO MP _{2,5}	105
TABELA 17 – NÚMERO DE MORTES POR DOENÇAS CARDÍACAS PULMONARES E DA CIRCULAÇÃO PULMONAR EVITÁVEIS EM DECORRÊNCIA DO ATENDIMENTO AOS PADRÕES DA RESOLUÇÃO CONAMA N.º 491/2018 E DAS DIRETRIZES DA OMS PUBLICADAS EM 2021.	106
TABELA 18 – NÚMERO DE MORTES NO MUNICÍPIO DE CURITIBA ATRIBUIDAS A EXPOSIÇÃO DE CURTO PRAZO AO MP ₁₀	107
TABELA 19 – NÚMERO DE MORTES EVITÁVEIS EM DECORRÊNCIA DO ATENDIMENTO AOS PADRÕES DA RESOLUÇÃO CONAMA N.º 491/2018 E DAS DIRETRIZES DA OMS PUBLICADAS EM 2021.	109
TABELA 20 – NÚMERO DE MORTES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NO MUNICÍPIO DE CURITIBA ATRIBUIDAS A EXPOSIÇÃO DE CURTO PRAZO AO MP ₁₀	110
TABELA 21 – NÚMERO DE MORTES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EVITÁVEIS EM DECORRÊNCIA DO ATENDIMENTO AOS PADRÕES DA RESOLUÇÃO CONAMA N.º 491/2018 E DAS DIRETRIZES DA OMS PUBLICADAS EM 2021.	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BOQ	- Boqueirão
CETESB	- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CIC	- Cidade Industrial de Curitiba
CO	- Monóxido de Carbono
CONAMA	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONTRAN	- Conselho Nacional de Trânsito
DPOC	- Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica
DEA	- Declaração de Emissões Atmosféricas
DSASTE	- Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública
ECMWF	- <i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts</i>
IAT	- Instituto Água e Terra
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	- Instituto Estadual do Ambiente
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
IPARDES	- Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IQAR	- Índice de Qualidade do Ar
LACTEA	- Laboratório de Computação e Tecnologia em Engenharia Ambiental
MP	- Material Particulado
MP ₁₀	- Material Particulado com diâmetro inferior a 10 µm
MP _{2,5}	- Material Particulado com diâmetro inferior a 2,5 µm
MS	- Ministério da Saúde
NASA	- <i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NO ₂	- Dióxido de Nitrogênio
NO _x	- Óxidos de Nitrogênio
O ₃	- Ozônio
OMS	- Organização Mundial da Saúde
OPAS	- Organização Pan-Americana da Saúde
PAR	- Ouvidor Pardinho
PF	- Padrão Final
PI	- Padrão Intermediário

PI-1	- Padrão Intermediário 1
PI-2	- Padrão Intermediário 2
PI-3	- Padrão Intermediário 3
PlanClima	- Plano Municipal de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas de Curitiba
PNUD	- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PROCONVE	- Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores
PROMOT	- Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares
PTS	- Partículas Totais em Suspensão
RMC	- Região Metropolitana de Curitiba
SEMA	- Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná
SGA	- Sistema de Gestão Ambiental
SISAM	- Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde
SO ₂	- Dióxido de Enxofre
SO _x	- Óxidos de Enxofre
STC	- Santa Cândida
SVS	- Secretaria de Vigilância em Saúde
UTC	- <i>Coordinated Universal Time</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	20
1.1	OBJETIVO GERAL.....	22
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	FONTES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA EM CENTROS URBANOS	23
2.2	PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E SEUS EFEITOS NA SAÚDE 26	
2.3	A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA COMO UM PROBLEMA DE SAÚDE PÚBLICA	33
2.4	DIRETRIZES DA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE	36
2.5	LEGISLAÇÃO E PADRÕES DE QUALIDADE DO AR.....	39
2.6	QUALIDADE DO AR EM CURITIBA.....	43
2.7	USO DO SOFTWARE AIRQ+ PARA RELACIONAR OS PROBLEMAS DE SAÚDE E A QUALIDADE DO AR EM CENTROS URBANOS	47
2.8	MEDIDAS E AÇÕES DE MINIMIZAÇÃO E CONTROLE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	54
3	METODOLOGIA	58
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO DE CASO	58
3.2	OBTENÇÃO DE DADOS DE QUALIDADE DO AR DA ÁREA DE ESTUDO	58
3.2.1	Dados de qualidade do ar obtidos do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais	59
3.2.2	Dados de qualidade do ar obtidos do Laboratório de Computação e Tecnologia em Engenharia Ambiental.....	60
3.2.3	Dados de qualidade do ar obtidos do Instituto Água e Terra	61
3.3	OBTENÇÃO DE DADOS DE SAÚDE DECORRENTES DE PROBLEMAS RELACIONADOS À POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	62
3.3.1	Dados de saúde obtidos do aplicativo TABNET do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde	63
3.3.2	Dados de saúde obtidos do Boletim Epidemiológico da Gripe da Secretaria Municipal da Saúde de Curitiba	63
3.4	AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA QUALIDADE DO AR NA SAÚDE DA POPULAÇÃO POR MEIO DO SOFTWARE AIRQ+	64

3.5	DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS PARA AVALIAR A REDUÇÃO DE PROBLEMAS DE SAÚDE EM FUNÇÃO DA MELHORA NA QUALIDADE DO AR..	65
4	CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO.....	67
4.1	EMISSÕES ATMOSFÉRICAS.....	68
4.2	CLIMA	69
4.3	AÇÕES PARA REDUÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.....	71
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	74
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS DE QUALIDADE DO AR DA CIDADE DE CURITIBA	74
5.2	CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS DE SAÚDE DA CIDADE DE CURITIBA 87	
5.3	AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA MELHORA NA QUALIDADE DO AR NA SAÚDE DA POPULAÇÃO EM DIFERENTES CENÁRIOS.....	96
5.3.1	Relação entre a exposição em longo prazo ao poluente MP _{2,5} e a mortalidade por câncer dos brônquios e do pulmão na população com 30 anos ou mais	97
5.3.2	Relação entre a exposição em longo prazo ao poluente MP _{2,5} e a mortalidade por doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar na população com 30 anos ou mais.....	104
5.3.3	Relação entre a exposição em curto prazo ao poluente MP ₁₀ e a mortalidade, considerando todas as causas, na população com 30 anos ou mais.	107
5.3.4	Relação entre a exposição em curto prazo ao poluente MP ₁₀ e a mortalidade por doenças respiratórias na população com 30 anos ou mais	110
6	CONCLUSÕES	112
	REFERÊNCIAS	114
	ANEXO I – MAPA DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DE CURITIBA/PR.....	127

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica representa o maior risco ambiental do mundo à saúde pública, afetando a saúde e a qualidade de vida dos seres humanos mesmo em níveis considerados seguros pela legislação ambiental, com impactos mais significativos em parcelas mais vulneráveis da população, como idosos e crianças. Reverter essa situação é um desafio, visto que essa se sobrepõe a outras questões complexas da sociedade, como a busca pelo desenvolvimento econômico sustentável e o acesso à saúde pública, que é precário em muitos países.

Com base em dados de 2012, estima-se que em todo o mundo a poluição do ar seja responsável pela morte de sete milhões de pessoas por ano. Desse total, atribui-se 40% das mortes a cardiopatia isquêmica, 40% a acidente cerebrovascular, 11% a doença pulmonar obstrutiva crônica, 6% ao câncer de pulmão e 3% a infecção aguda das vias respiratórias inferiores em crianças (OPAS, 2014). A poluição do ar está relacionada a mais de 50% dos casos de pneumonia, que está entre as principais causas da mortalidade em crianças em nível global (OPAS, 2018).

No Brasil, estima-se, com base em dados de 2018, que a poluição do ar seja responsável por 51.000 mortes por ano. Esse número é 59% maior do que às 32.121 mortes decorrentes de acidentes de trânsito no mesmo ano (OPAS, 2018; SIMIONI et al, 2021). O estudo conduzido pelo Instituto Saúde e Sustentabilidade (ISS, 2019) apresentou que entre 2018 e 2025 ocorrerão aproximadamente 128 mil mortes precoces devido à exposição à poluição atmosférica nas seis principais regiões metropolitanas brasileiras, incluindo a de Curitiba, representando um custo de R\$51,50 bilhões para o período em perda de produtividade. Haverá ainda um custo de R\$126,90 milhões para o Sistema Único de Saúde, devido a aproximadamente 69 mil internações públicas por problemas de saúde decorrentes da poluição do ar.

Os efeitos adversos à saúde podem ser atribuídos tanto às exposições de curto prazo como de longo prazo, sendo que as características do poluente, como tamanho da partícula, características físicas e químicas e toxicidade, influenciam diretamente nos efeitos à saúde. Além disso, as condições meteorológicas, como baixas temperaturas, diminuem, de maneira geral, a imunidade da população e prejudicam a dispersão dos poluentes na atmosfera, favorecendo os efeitos negativos da poluição do ar na saúde. Em geral, os maiores efeitos ocorrem em idosos, portadores de doenças crônicas e crianças. Os idosos e portadores de doenças crônicas por

possuírem a função pulmonar reduzida e o sistema imunológico debilitado, e as crianças por apresentarem o sistema respiratório e imunológico em desenvolvimento, além de apresentar maior taxa de respiração que os adultos.

O escritório regional da Organização Mundial da Saúde (OMS) na Europa, considerando que a poluição do ar é um importante fator de risco ambiental, desenvolveu o *software* AirQ+ (WHO, 2019a), que permite contabilizar, com base em estudos epidemiológicos, esses impactos da poluição do ar na saúde humana, em situações relacionadas à exposição de longo e curto prazo. Essa ferramenta também corrobora para simulações das reduções e/ou aumentos nas concentrações de poluentes atmosféricos e seus efeitos na saúde pública, demonstrando a importância do investimento em medidas e ações que minimizem e controlem a poluição atmosférica.

Nesse contexto, foi elaborado o presente estudo, que teve como objetivo analisar os efeitos da concentração de partículas inaláveis grossas (MP₁₀) e finas (MP_{2,5}) na saúde da população do município de Curitiba/PR, que é uma das principais economias do Brasil e vista como cidade modelo na área de desenvolvimento sustentável.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os efeitos das partículas inaláveis grossas (MP_{10}) e finas ($MP_{2,5}$) na saúde da população do município de Curitiba/PR.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Caracterizar a qualidade do ar na área de estudo;
- b) Qualificar os problemas de saúde relacionados à poluição atmosférica na região de estudo;
- c) Estimar os efeitos da concentração de MP_{10} e $MP_{2,5}$ na atmosfera na saúde da população de Curitiba/PR, utilizando o *software* AirQ+.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A poluição atmosférica, segundo a Resolução n.º 16 de 26 de março de 2014 da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná, é a degradação da qualidade da atmosfera resultante de atividades que direta ou indiretamente: prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; criem condições adversas às atividades sociais e econômicas; afetem desfavoravelmente a biota; afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente; lancem matérias ou energias em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos (PARANÁ, 2014).

As fontes de poluição atmosférica podem ter origem em fontes naturais e/ou em fontes antropogênicas. As fontes naturais são os processos de emissão que vêm ocorrendo a milhares de anos na natureza, como os aerossóis marinhos e as atividades vulcânicas. Já as fontes antropogênicas tem origem a partir da ação do homem e podem ser divididas em dois grupos: as fontes estacionárias, também denominadas de fontes fixas, e as fontes móveis (BRAIT, 2008).

As fontes móveis são aquelas que não estão fixadas em algum ambiente, ou seja, são fontes com capacidade de locomoção, como automóveis, aeronaves, navios e demais meios de transporte que utilizam motores à combustão como força motriz. As fontes estacionárias são o oposto das móveis, ou seja, encontrando-se em locais fixos, como, por exemplo, nas indústrias (LISBOA, 2014; BRAIT, 2008).

2.1 FONTES DE POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA EM CENTROS URBANOS

Em geral, nos centros urbanos as fontes antropogênicas fixas e móveis estão presentes em maior quantidade e são responsáveis pela emissão difusa de poluentes atmosféricos. As fontes difusas são áreas bem definidas nas quais existem várias fontes de poluentes e ocorrem em centros urbanos, áreas de industrialização e áreas agrícolas aspergidas (DERÍSIO, 2012). Quando a emissão de poluentes por fontes difusas excede a capacidade natural de dispersão e de degradação de poluentes (sedimentação, precipitação, oxidação e fotólise) podem se desenvolver condições inadequadas para o meio ambiente e saúde humana (BOTKIN; KELLER, 2011).

Os principais poluentes presentes no ar de grandes centros urbanos e que em determinadas concentrações podem impactar negativamente a saúde e o bem estar da população são os materiais particulados (MP), o ozônio (O₃), o dióxido de nitrogênio (NO₂) e o dióxido de enxofre (SO₂) (WHO, 2005; MMA, 2019; WHO, 2021).

O setor de transporte rodoviário é uma das principais fontes antrópicas a serem avaliadas nas grandes cidades, visto que há um grande número de veículos em circulação. Esse número cresceu nos últimos anos motivado pela expansão populacional dos centros urbanos e também pelo aumento da capacidade de consumo em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil (PINTO; SANTOS, 2004; SILVA; VIEIRA, 2017).

Além disso, as emissões atmosféricas do setor de transportes rodoviário quando comparada às emissões industriais apresentam um controle mais complexo. As indústrias usualmente estão localizadas fora dos perímetros urbanos e lançam os poluentes por chaminés. Essas emissões favorecem a dispersão da pluma de poluentes, enquanto os veículos lançam os poluentes em uma altura que dificulta a dispersão da pluma e favorece a inalação pela população (IAP, 2009). Especialmente em crianças, pois essas apresentam menor estatura e conseqüentemente são mantidas mais próximas das fontes de emissões. Ressalta-se que seus pulmões têm maior área superficial por quilograma de peso corporal do que os pulmões de um adulto, esse fator permite que respirem 50% a mais de ar por quilograma de peso corporal do que um adulto (SCHWARTZ, 2004; MYLLYVIRTA, 2020; SIMONI et al., 2021).

Nos países desenvolvidos a poluição do ar advinda das emissões veiculares também chama atenção. Na União Europeia, países como Alemanha, Áustria, Bélgica, França, Irlanda, Luxemburgo, Dinamarca, Finlândia, Holanda e Espanha são conhecidos por emitirem poluentes atmosféricos além dos padrões estabelecidos pela Agência Europeia do Ambiente (ZURMÜHLEN, 2016). Dados da Agência Europeia de Meio Ambiente mostram que o setor de transportes na Europa é responsável por 40% das emissões de óxidos de nitrogênio, enquanto a geração de energia e a indústria são responsáveis por 21% e por 14% das emissões, respectivamente (OSTERATH, 2018).

A Alemanha é um dos dez países da Europa com maiores índices de poluentes no ar atmosférico. Segundo a Agência Federal de Meio Ambiente da Alemanha, no

ano de 2020, aproximadamente 10 cidades alemãs registraram níveis de NO₂ acima do limite legal para média anual, que é de 40 µg/m³. A cidade de München, por exemplo, registrou níveis de NO₂ iguais a 54 µg/m³, 35% acima do limite permitido legalmente (UMWELTBUNDESAMT, 2021).

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), na Região Metropolitana de São Paulo, que é formada por 39 municípios, os problemas de qualidade do ar ocorrem principalmente em razão de poluentes provenientes das emissões veiculares. Estima-se que no ano de 2020, as fontes fixas e móveis foram responsáveis pela emissão de aproximadamente 117.150 toneladas de CO, 34.170 toneladas de hidrocarbonetos, 74.370 toneladas de NO_x, 4.790 toneladas de MP e 6.310 toneladas de SO_x. Desses totais, as fontes móveis, ou seja, os veículos foram responsáveis por 96% das emissões atmosféricas de CO, 73% de hidrocarbonetos, 65% de NO_x, 25% de MP e 11% de SO_x (CETESB, 2021).

Dados do Instituto Estadual do Ambiente (INEA) mostram que para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, que é composta por 19 municípios, também há uma predominância de emissões atmosféricas oriundas de fontes móveis. Estima-se que, segundo inventário feito pelo INEA no ano de 2004, 77% das emissões de poluentes atmosféricos são provenientes de fontes veiculares. Enquanto 23% são provenientes de fontes fixas, majoritariamente dos setores químico, petroquímico, naval, alimentício e de transformação de energia (INEA, 2020).

O Inventário Estadual de Emissões Atmosféricas do Paraná, em sua última versão publicada no ano de 2013, estimou que na cidade de Curitiba, foco deste estudo, as fontes fixas e móveis foram responsáveis pela emissão de 72.562 toneladas de CO, 7.033 toneladas de NO_x, 2.828 toneladas de MP e 726 toneladas de SO_x. Desses totais, as fontes veiculares foram responsáveis por 86% das emissões atmosféricas de CO, 79% de NO_x, 76% de SO_x e 28% de MP (GRAUER, 2013).

Ressalta-se que o tráfego motorizado e as atividades industriais são importantes para a produção de suprimentos, geração de empregos e desenvolvimento econômico e social. Desta forma cabe ao Estado o papel de árbitro nos conflitos entre os diversos setores e interesses da sociedade, na tentativa de garantir o desenvolvimento sustentável e manutenção da qualidade do ar dentro de níveis aceitáveis.

O Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE) – criado a partir da Resolução CONAMA n.º 018 de 06 de maio de 1986 – e o Programa de Controle da Poluição do Ar por Motociclos e Veículos Similares (PROMOT) – criado a partir da Resolução CONAMA n.º 297 de 26 de fevereiro de 2002 –, são programas nacionais, responsáveis por estabelecer padrões de emissões atmosféricas para as fontes móveis (BRASIL, 1986; BRASIL, 2002). Esses padrões, que são cada vez mais rígidos, fazem com que os fabricantes de veículos adotem tecnologias mais avançadas em termos de emissões, visando o atendimento as questões legais, e conseqüentemente a minimização dos impactos.

Entretanto, mesmo com os limites mais restritivos e a renovação natural da frota, com veículos com tecnologias mais avançadas, a redução da emissão de poluentes tem sido compensada pelo aumento da frota, o uso intensivo de veículos para transporte individual e o aumento dos congestionamentos (CETESB, 2019). A redução dos níveis de poluição do ar não deve se basear, exclusivamente, em medidas tecnológicas para a redução das emissões dos veículos isoladamente, mas numa ação integrada dos diversos setores da sociedade para que os efeitos da poluição do ar na saúde da população de grandes cidades possam ser minimizados.

2.2 PRINCIPAIS POLUENTES ATMOSFÉRICOS E SEUS EFEITOS NA SAÚDE

Os poluentes atmosféricos são qualquer forma de matéria sólida, líquida ou gasosa ou de energia que, presente na atmosfera, cause ou possa causar poluição atmosférica (PARANÁ, 2014). Esses costumam ser divididos em primários e secundários. Sendo que um poluente primário é aquele emitido diretamente pela fonte de emissão, enquanto um poluente secundário é aquele formado na atmosfera a partir de reações químicas entre constituintes naturais da atmosfera e poluentes primários (SANTOS, 2016).

Os principais poluentes primários presentes em grandes cidades, que em determinadas concentrações podem impactar negativamente a saúde e o bem estar público, são os materiais particulados, que são uma mistura de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar, e os compostos gasosos, como o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO₂) e o dióxido de nitrogênio (NO₂). Já o principal poluente secundário presente na atmosfera é o ozônio (O₃), que é formado quando compostos orgânicos voláteis (COV) e óxidos de nitrogênio (NO_x) reagem na

atmosfera, ativados pela radiação solar (SANTOS, 2016; LISBOA, 2014; OLMO; PEREIRA, 2011).

O O_3 é um gás encontrado naturalmente na estratosfera, onde forma a camada de ozônio que é responsável por absorver parte da radiação ultravioleta do sol, nociva à vida. E na troposfera, onde, a depender da concentração, pode afetar negativamente a saúde e a qualidade de vida da população (CETESB, 2017; BRAGA et al., 2001).

O ozônio troposférico é resultado da degradação de outros poluentes atmosféricos por ação da radiação solar. Em particular de reações químicas complexas entre o NO_x e o COV, que nos centros urbanos são emitidos, em sua maioria, pela queima incompleta de combustíveis em veículos automotores. Destaca-se que, por esse poluente não ser emitido diretamente por uma fonte de emissão, é um dos poluentes mais complexos e difíceis de ser controlado (CETESB, 2017; BRAGA et al., 2001; ARDILES, 2016; SANTOS, 2016).

Dentre os principais efeitos do ozônio na saúde destaca-se: deficiência respiratória, agravamento dos sintomas da asma e de outras doenças cardiovasculares (arteriosclerose) e pulmonares (bronquite, enfisema, entre outras). Enfatiza-se que a exposição em concentrações mais elevadas e em longos períodos de tempo pode ocasionar a redução da capacidade pulmonar, assim como o desenvolvimento de asma e a redução da expectativa de vida, visto que esse é um poluente altamente oxidante, citotóxico e que atinge as porções mais distais do sistema respiratório (CETESB, 2017; CANÇADO et al., 2006; BRAGA; PEREIRA; SALDIVA, 2005).

Ainda, em estudo conduzido por Freitas et al. (2004) no município de São Paulo, observou-se uma relação direta entre a morbidade respiratória na infância e a concentração desse poluente na atmosfera, principalmente nos meses quentes do ano, onde os níveis de radiação solar são mais altos, favorecendo a formação de compostos fotoquímicos na atmosfera. Braga, Pereira e Saldiva (2005) afirmam ainda que os picos de concentração de ozônio tendem a ocorrer no meio da manhã (logo após o horário de pico do trânsito urbano, em que as emissões de NO_x são maximizadas), atingindo o ápice no meio da tarde e declinando no período da noite.

Nos centros urbanos, os óxidos de nitrogênio, que são precursores do ozônio troposférico, são originados, principalmente, no processo de combustão dos motores dos automóveis e, em menor escala, nos fogões a gás e na queima de cigarros (CANÇADO et al., 2006). O NO_2 , quando inalado, atinge porções mais periféricas do

pulmão, ocasionando irritação e diminuindo a resistência a possíveis infecções respiratórias. A exposição frequente a níveis elevados desse poluente pode provocar problemas respiratórios nos grupos de risco da população, como crianças e pessoas asmáticas, e aumento das internações hospitalares (USP, 2017; CANÇADO et al., 2006; DRUMM et al., 2014). Além dos efeitos à saúde humana, o NO₂ apresenta também efeitos sobre as mudanças climáticas globais, como a formação da chuva ácida e do *smog* fotoquímico (CETESB, 2017; DRUMM et al., 2014).

Assim como os óxidos de nitrogênio, o SO₂ também é proveniente de fontes móveis, sendo emitido a partir da queima de combustíveis fósseis por veículos automotores, principalmente pela queima do diesel.

O SO₂ é um gás tóxico e incolor que ocasiona danos à saúde, associados a fortes quadros de gripes em idosos, a pneumonias, agravamento dos sintomas da asma e aumento do número de internações. Isso ocorre porque esse composto é facilmente absorvido pelas vias respiratórias superiores, como fossas nasais, faringe e laringe (USP, 2017; CETESB, 2017; LISBOA, 2014). Segundo Adler e Tanner (2015), a inalação excessiva desse poluente pode causar a irritação da mucosa respiratória, ocasionando quadros de inflamação, hemorragia e até mesmo necrose, além de doenças cardíacas e pulmonares.

O SO₂ também pode ser prejudicial ao meio ambiente e às construções, visto que, em contato com a umidade presente na atmosfera, auxilia na formação da chuva ácida, que ocasiona corrosão de metais e danifica diversos materiais (MAIA; NETTO; COSTA, 2019) e pode reagir com outras substâncias presentes no ar, formando partículas de sulfato que interferem na visibilidade da atmosfera (USP, 2017).

O CO é proveniente, nos centros urbanos, essencialmente dos escapamentos dos veículos automotores. Originando-se a partir da insuficiência de oxigênio durante o processo de queima do combustível. Estima-se que as atividades antrópicas produzam 6x10⁸ toneladas por ano de monóxido de carbono, enquanto a natureza, através do metabolismo de bactérias e algas, produz cerca de 1x10⁸ toneladas no mesmo período (USP, 2017; LISBOA, 2014; CANÇADO et al., 2006).

O CO é um gás extremamente tóxico para a saúde humana, pois quando inalado em grandes quantidades é difundido na corrente sanguínea, diminuindo a quantidade de hemoglobina disponível para o transporte de oxigênio, podendo, em casos mais graves, levar o indivíduo a óbito por asfixia. Isso ocorre porque o CO apresenta uma afinidade química 250 vezes maior pela hemoglobina que o oxigênio,

formando a carboxihemoglobina e impedindo que a hemoglobina transporte o oxigênio pelo sangue (USP, 2017; SILVA, et al., 2017).

O QUADRO 1 mostra um resumo dos efeitos do monóxido de carbono na saúde de acordo com o nível de concentração e o tempo de exposição.

QUADRO 1 – EFEITOS DO MONÓXIDO DE CARBONO NA SAÚDE.

Concentração de CO (ppm)	Tempo médio para acumulação (minutos)	Efeitos à saúde
50	150	Dor de cabeça leve
100	120	Dor de cabeça moderada e tontura
250	120	Dor de cabeça severa e tontura
500	90	Náuseas, vômitos e colapso
1.000	60	Coma
10.000	5	Óbito

FONTE: USP (2017).

O material particulado é uma mistura complexa de partículas líquidas e sólidas com diâmetro reduzido em suspensão no ar, cujos componentes apresentam características físicas e químicas diversas, diretamente relacionadas às fontes de emissão (CETESB, 2017; BRAGA et al., 2001).

Em geral, as partículas são divididas de acordo com o tamanho, com base em seu diâmetro aerodinâmico. As partículas com diâmetro aerodinâmico médio entre 2,5 µm e 10 µm são chamadas de partículas inaláveis (MP₁₀), já aquelas com diâmetro inferiores a 2,5 µm são chamadas de partículas finas (MP_{2,5}). Há ainda o material particulado com tamanho inferior a 0,25 µm, que é denominado de partículas *quasi*-ultrafinas (MP_{0,25}), e o material particulado inferior a 0,10 µm, denominado de partículas ultrafinas (MP_{0,1}) (MINGUILLÓN et al., 2008; FREITAS; SOLCI, 2009).

As partículas maiores, com diâmetros acima de 2,5 µm, tem origem em diversos processos, mas principalmente em combustões descontroladas e na ressuspensão de partículas do solo. Por sua vez, as partículas finas tem origem na combustão de fontes móveis e estacionárias (BRAGA et al., 2001).

A Resolução CONAMA n.º 491 de 19 de novembro de 2018, aborda a qualidade do ar em nível nacional, estabelece padrões para três frações de material particulado: material particulado com diâmetro inferior a 10 µm (MP₁₀), material particulado com diâmetro inferior a 2,5 µm (MP_{2,5}) e partículas totais em suspensão (PTS). O MP₁₀, também chamado de partículas inaláveis grossas, e o MP_{2,5}, chamado de partículas

inaláveis finas, são os que representam maiores riscos à saúde humana, visto que podem atingir as porções mais inferiores do trato respiratório, prejudicando as trocas gasosas (LISBOA, 2014; DRUMM et al., 2014; BRAGA et al., 2001).

O efeito do material particulado na saúde depende da composição química e do tamanho da partícula (OLMO e PEREIRA, 2011). As partículas com diâmetros entre 5 µm e 30 µm depositam-se, pelo impacto da turbulência do ar, no nariz, na boca, na faringe e na traqueia. As partículas de 1 µm a 5 µm depositam-se, por sedimentação, na traqueia, nos brônquios e nos bronquíolos. Por sua vez, as partículas com diâmetro inferior a 1 µm depositam-se, por difusão, nos pequenos bronquíolos e nos alvéolos. O nível de penetração do material particulado, e dos demais poluentes atmosféricos, no trato respiratório também está relacionada com a solubilidade das substâncias na água. Quanto mais insolúvel, maior o grau de absorção pelo sistema respiratório (KÜNZLI, PEREZ e RAPP, 2010; ARDILES, 2016).

Estudos indicam que os efeitos do material particulado sobre a saúde incluem: câncer do sistema respiratório, o aumento de sintomas respiratórios, diminuição da função pulmonar em crianças, aumento da mortalidade em pacientes com doenças cardiovasculares e pulmonares, aumento e piora dos sintomas de asma, aumento de internações hospitalares e aumento de neoplasias (MYLLYVIRTA, 2020; CETESB, 2017; OLMO e PEREIRA, 2011; DRUMM et al., 2014).

Os estudos desenvolvidos por Cesar, Nascimento e Carvalho (2013) mostraram que a exposição ao MP_{2,5} está associada às internações por doenças respiratórias em crianças de zero a dez anos de idade. Aung et al. (2018) afirmam que a exposição ao MP_{2,5} também está associada a dilatação ventricular cardíaca, que frequentemente precede o desenvolvimento de insuficiência cardíaca.

Esses estudos demonstram que o material particulado e os demais poluentes atmosféricos tem influência na saúde das crianças. Isso ocorre porque essas não possuem seus sistemas respiratório, neurológico e imunológico completamente desenvolvidos (SIMONI et al., 2021). Os pulmões de uma criança estarão completamente desenvolvidos aos seis anos de idade. Além disso, os pulmões de uma criança têm maior área superficial por quilograma de peso corporal do que os pulmões de um adulto, o que faz com que uma criança, com respiração normal, respire 50% a mais de ar por quilograma de peso corporal (SCHWARTZ, 2004).

Ressalta-se que os poluentes atmosféricos devem ser considerados associados, visto que a multiplicação dos efeitos nocivos à saúde humana se verifica

quando em sinergia (OLMO e PEREIRA, 2011). Ainda, é importante observar que pessoas que ficam expostas em longo prazo a poluição atmosférica apresentam maior tendência a desenvolver complicações a nível pulmonar e neurológico, que podem inclusivamente levar a morte, como: câncer de pulmão, asma, rinite, bronquite, doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), Alzheimer e Parkinson (USP, 2017).

Segundo Novaes et al. (2010), os efeitos da poluição atmosférica também foram observados no que diz respeito ao desconforto ocular e a instabilidade do filme lacrimal. Veras et al. (2010) e Arbex et al. (2012), estudaram os efeitos da poluição atmosférica na fertilidade e na saúde fetal, demonstrando que a exposição aos poluentes está associada a redução da fertilidade feminina e masculina, a prematuridade, a morte neonatal, o baixo peso ao nascer, anomalias congênicas e ao retardo de crescimento intrauterino.

O QUADRO 2 mostra um breve resumo de alguns dos efeitos adversos mais comuns da poluição atmosférica na saúde humana, incluindo a população de risco.

QUADRO 2 – RESUMO DOS EFEITOS NA SAÚDE DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS.

Poluentes	População de risco	Efeitos à saúde
Ozônio	Adultos e crianças saudáveis, atletas e trabalhadores ao ar livre, asmáticos	Decréscimo de função pulmonar, aumento de reatividade das vias aéreas, inflamação pulmonar
Dióxido de nitrogênio	Adultos saudáveis, asmáticos, crianças.	Decréscimo da capacidade para exercício, aumento das hospitalizações
Dióxido de enxofre	Adultos saudáveis, pacientes com doença pulmonar crônica, asmáticos.	Aumento da reatividade das vias aéreas, diminuição da função pulmonar, aumento das infecções respiratórias
Material particulado	Crianças, pacientes com doença pulmonar crônica ou cardiopatia e asmáticos	Alteração da função ciliar de remoção, aumento das infecções respiratórias, decréscimo da função pulmonar, aumento das hospitalizações.

FONTE: OLMO; PEREIRA (2011).

Cançado et al. (2006) fizeram um levantamento dos principais efeitos adversos à saúde relacionados aos poluentes atmosféricos originados pela queima de combustíveis fósseis. Esses são mostrados no QUADRO 3.

QUADRO 3 – PRINCIPAIS EFEITOS ADVERSOS À SAÚDE ASSOCIADOS AOS POLUENTES ORIGINADOS DA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS.

Efeitos adversos à saúde
Aumento da mortalidade.
Aumento da incidência de câncer de pulmão.
Aumento da frequência dos sintomas e das crises de asma.
Aumento da incidência de infecções respiratórias baixas.
Aumento da exacerbação em indivíduos já portadores de doenças cardiorrespiratórias ou outras: <ul style="list-style-type: none"> • Redução da habilidade de exercer as tarefas diárias. • Aumento das hospitalizações, tanto na frequência quanto na duração. • Aumento das visitas médicas e à emergência. • Aumento do uso de medicamentos.
Redução do VEF (volume expiratório forçado no primeiro segundo) ou CVF (capacidade vital forçada) associada a sintomas clínicos e ao aumento da mortalidade.
Aumento da prevalência de chiado.
Aumento da prevalência ou incidência de aperto no peito.
Aumento da prevalência ou incidência de tosse e hipersecreção pulmonar.
Aumento da incidência de infecções de vias aéreas superiores piorando a qualidade de vida.
Irritação nos olhos, garganta e narinas podendo interferir na vida normal.

FONTE: CANÇADO et al. (2006).

Nos meses de outono e inverno, a baixa umidade do ar e as baixas temperaturas favorecem o ressecamento das mucosas aéreas e a proliferação de bactérias, além de provocar o fenômeno da inversão térmica, fazendo com que os efeitos da poluição atmosférica na saúde sejam mais intensos (USP, 2017; BRAGA; PEREIRA; SALDIVA, 2005).

Outra ressalva é que os efeitos desses poluentes afetam tanto em escala local quanto em escala global, esse fato ocorre porque ao serem emitidos os compostos se misturam com um grande volume de ar, dispersando-se na atmosfera. Esse processo depende de uma série de fatores, entre eles: topografia local, condições atmosféricas e meteorológicas. Essas questões são importantes, pois estão relacionadas às condições dos ventos que influenciam diretamente na dispersão dos poluentes na atmosfera e das chuvas que atuam na deposição desses (MAIA; NETTO; COSTA, 2019).

Dapper, Spohr e Zanini (2016) fizeram uma revisão sistemática de estudos que associam a poluição atmosférica com efeitos adversos à saúde no Estado de São Paulo para o período entre 2010 e 2015. O tema mais estudado foram as doenças de trato respiratório em crianças, seguida das doenças venosas, como acidente vascular cerebral e problemas cardiovasculares, e o peso dos bebês ao nascer. Além disso,

partos prematuros, anemia falciforme e incidência e mortalidade por câncer também foram relacionados com a poluição atmosférica.

Estudos realizados na cidade de São José dos Campos, em São Paulo, demonstraram que existe uma forte correlação entre o número de internações por asma em crianças com menos de 10 anos de idade e a exposição ao material particulado com diâmetro inferior a 10 μm presente na atmosfera. Esses destacam que o número de internações por acidentes vascular encefálicos, em adultos com mais de 50 anos de idade, também estão relacionadas à exposição ao MP_{10} . O aumento da concentração desse poluente na atmosfera aumenta o risco de internações por hipertensão (AMÂNCIO; NASCIMENTO, 2012; NASCIMENTO et al., 2012; GAVINIER; NASCIMENTO, 2014; NASCIMENTO; FRANCISCO, 2013)

Em Curitiba, Paraná, foram encontradas associações positivas entre a poluição atmosférica, por material particulado, e a morbidade por doenças respiratórias em crianças (BAKONYI et al., 2004). Volk et al. (2013) associaram à exposição a poluição do ar de fetos e crianças no primeiro ano de vida com o desenvolvimento do autismo. Além disso, foi estudada a associação da exposição materna ao MP_{10} e os partos prematuros e o aumento do risco de massa insuficiente ao nascer (LIMA et al., 2014; ROMÃO et al., 2013). Esses estudos apontam que os efeitos da poluição atmosférica por material particulado estão além de doenças cardiorrespiratórias, sendo um problema de saúde pública.

2.3 A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA COMO UM PROBLEMA DE SAÚDE PÚBLICA

A poluição atmosférica foi reconhecida pela primeira vez como uma potencial ameaça para a saúde no século XVII, quando John Evelyn, um jornalista inglês, publicou o tratado contra a utilização do carvão, denominado “*FUMIFUNGIUM: The Inconvenience of the Aer and Smoake of London Dissipated*” (EVELYN, 1976). Nesse documento ele já associava doenças respiratórias crônicas à inalação da fumaça proveniente da queima do carvão. Entretanto, deve-se ressaltar que no século IX a poluição do ar, proveniente da queima do carvão, já era considerada um problema urbano na Europa (WHO, 2008; FORNARO, 2018; ALEIXO, 2012).

Em 1873 foram publicados estudos epidemiológicos que associavam a queima do carvão na Inglaterra com 268 mortes por bronquite. Nessa época, era elevado o número de indústrias que utilizavam o carvão como fonte de energia, ao mesmo

tempo, havia um grande número de pessoas utilizando o carvão em suas residências, para que pudessem se manter aquecidas, favorecendo o agravamento da poluição do ar (FORNARO, 2018).

Em 1930 houve no Vale Meuse na Bélgica, que era uma região com muitas siderúrgicas e indústrias químicas, uma forte inversão térmica que acarretou na morte de 60 pessoas e no incomodo de muitas outras, que se queixavam de náuseas, ardor nos olhos e garganta e de falta de ar (NEMERY, HOET e NEMMAR, 2001). Em 1948 na cidade de Donora na Pensilvânia ocorreu um episódio em que uma nuvem de poluentes, composta por material particulado e SO₂ provenientes da indústria de fundição de zinco, se formou sobre o município, ocasionando a morte de 20 pessoas e causando doenças em outras seis mil pessoas (KAMRIN, 2014).

Em 1952, entre os dias 04 e 08 de dezembro, ocorreu um dos episódios mais famosos relacionados à poluição atmosférica, denominado de *London Smog* ou *Great Smog of London*. Esse episódio foi ocasionado pelo aumento da queima do carvão e pelas condições meteorológicas adversas na cidade de Londres na Inglaterra, o que favoreceu a formação de um nevoeiro marrom, composto majoritariamente por partículas e SO₂, e com odor desagradável, que prejudicava a visibilidade e causava grandes incômodos à população, relacionados principalmente a problemas respiratórios. Inicialmente, estimou-se que esse episódio ocasionou a morte de 4.000 pessoas, porém pesquisas posteriores apontam que na realidade ocorreram aproximadamente 12.000 mortes (HANANIA; STENHOUSE; DONEV, 2016; FORNARO, 2018).

Os estudos realizados estimam que durante os dias 4 e 8 de dezembro de 1952 os níveis de partículas chegaram a 14 mg/m³ em Londres, nível 56 vezes maior do que o observado na época. Já a concentração de SO₂ chegou a 700 ppb, nível sete vezes maior do que o normal para a região naquela década (HANANIA; STENHOUSE; DONEV, 2016).

Esses episódios de poluição do ar fizeram com que pesquisadores e legisladores voltassem sua atenção para o tema, criando leis e regulamentos com foco na redução das emissões de poluentes para a atmosfera. Dando origem ao *Clean Air Acts*, entre os anos de 1956 e 1968 na Inglaterra, que tratava dos controles de emissão de poluentes atmosféricos industriais, regulamentando as emissões de SO_x e fumaça preta (FORNARO, 2018). Houve a criação da Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana nos Estados Unidos, com o estabelecimento de padrões

de qualidade do ar para material particulado, SO₂, CO, NO₂, O₃ e chumbo (BRAGA et al., 2001).

Apesar da evolução dos regulamentos e legislações adotados em países desenvolvidos e em desenvolvimento, observa-se que a poluição atmosférica continua sendo um risco ambiental para a saúde. Dados da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021) mostram que em 2012, os efeitos conjuntos da poluição do ar interior e do ar ambiente causaram no mundo aproximadamente sete milhões de mortes prematuras, como resultado, em grande parte, do aumento das infecções respiratórias agudas, câncer de pulmão, doença pulmonar obstrutiva crônica, doenças cardíacas e acidente vascular cerebral. Aproximadamente 600.000 mortes se referem a crianças com até de cinco anos de idade (WHO, 2021).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021) as doenças não transmissíveis (câncer, doenças cardíacas e diabetes) são responsáveis por mais de 70% de todas as mortes no mundo. Essas são impulsionadas por fatores como o tabagismo, sedentarismo, alcoolismo, dietas pouco saudáveis e poluição do ar (BREATHHELIFE, 2019). Diante desse cenário, a Assembleia Mundial da Saúde reconheceu no ano de 2015 a poluição do ar como fator de risco para doenças não transmissíveis, como doença cardíaca isquêmica, acidente vascular cerebral, doença pulmonar obstrutiva crônica, asma e câncer (WHO, 2021).

No Brasil, estimou-se que em 2016 a taxa de mortalidade atribuível à poluição do ar ambiente e interior (por 100.000 habitantes) foi, em média, de 31 mortes. Essa taxa foi mais elevada para o sexo masculino, sendo igual a 34 mortes. Enquanto para o sexo feminino, esse valor foi igual a 28 mortes a cada 100.000 habitantes (WHO, 2018). Dentre as faixas etárias mais atingidas estão as crianças e os idosos (SILVA et al., 2013; DAPPER; SPOHR; ZANINI, 2016; BARBOSA et al., 2015). Ressalta-se que pessoas que já sofrem com doenças do trato respiratório se tornam mais sensíveis com o aumento da concentração de poluentes na atmosfera (PINHEIRO et al., 2014; DAPPER; SPOHR; ZANINI, 2016).

A poluição do ar afeta países desenvolvidos e em desenvolvimento, com aproximadamente 91% da população mundial vivendo em locais onde as diretrizes de qualidade do ar da Organização Mundial da Saúde estabelecidas no ano de 2005 são ultrapassadas. Destaca-se que atualmente esses padrões já estão mais rígidos, visto que em 2021 foram publicadas diretrizes mais restritivas pela Organização Mundial

da Saúde. Pode-se afirmar que apenas uma em cada dez pessoas no mundo respiram de acordo com as recomendações internacionais da OMS (WHO, 2021; WHO, 2020).

Países de baixa e média renda, como os localizados em regiões do Pacífico Ocidental e do Sudeste Asiático, enfrentam maiores obstáculos, visto que esses estão expostos a concentrações mais altas de poluentes atmosféricos. Dados da OMS estimam que 87% das mortes por poluição atmosférica ocorram em países de baixa e média renda (WHO, 2021; WHO, 2020). Segundo a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS, 2014) os efeitos combinados da poluição ambiental e do ar interior causaram 131.000 mortes em países de baixa renda da região das Américas no ano de 2012.

Os problemas causados pela poluição atmosférica também refletem nas questões econômicas e sociais, visto que provocam um aumento dos custos dos sistemas de saúde, faltas no trabalho por doenças relacionadas à concentração de poluentes no ar, queda na produtividade agrícola e maior vulnerabilidade da população carente (DAPPER; SPOHR; ZANINI, 2016; FELIN, 2018).

Miraglia e Gouveia (2014) avaliaram os impactos econômicos de eventos de saúde associados com a poluição do ar em vinte e nove regiões metropolitanas brasileiras, incluindo a região metropolitana de Curitiba, com base na redução nos anos de vida e na redução da qualidade desses anos, foi concluído que o custo das mortes prematuras no Brasil resultou em uma perda anual de US\$ 1,7 bilhão. Esse montante correspondeu a 2% do orçamento do Ministério da Saúde para o ano de 2014, sendo uma quantia significativa, todavia esse é um impacto subestimado, já que a metodologia de cálculo não contempla gastos com medicamentos, internações e nem a redução da produtividade econômica das pessoas afetadas (MIRAGLIA; GOUVEIA, 2014). Esse dado corrobora para a criação de indicadores para priorização e intervenção de políticas públicas de mitigação da poluição do ar.

2.4 DIRETRIZES DA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE

A Organização Mundial da Saúde tem como uma de suas principais atividades a definição de diretrizes para a condução de políticas públicas sobre saúde. Para tanto, estabelece recomendações quanto à adoção de normas, coordena o avanço do conhecimento científico sobre as causas e os efeitos dos problemas de saúde, provê

suporte técnico para os países e monitora as mudanças das condições de saúde no mundo (IEMA, 2012).

A relação entre a poluição atmosférica e os problemas de saúde são abordados pela Organização Mundial da Saúde, que estabelece recomendações quanto às concentrações ambientais de alguns poluentes com a intenção de subsidiar os gestores ambientais dos países na definição de políticas públicas com foco na gestão da qualidade do ar. Essas recomendações são formalizadas por meio de valores-guia que servem como referência, recomendação ou indicação para proteção do ser humano, indicando concentrações ambientais abaixo das quais não se esperam efeitos adversos, nenhum distúrbio ou efeito indireto significativo à saúde (IEMA, 2012; WHO, 2006).

Desde 1987 a Organização Mundial da Saúde publica periodicamente as diretrizes referentes a qualidade do ar, sendo que a publicação de 2006 (estabelecida em 2005), denominada “*Air Quality Guidelines – Global Update 2005: Particulate Matter, Ozone, Nitrogen Dioxide and Sulfur Dioxide*” (WHO, 2006), foi a que teve o maior impacto na definição de políticas públicas em todo o mundo (WHO, 2021).

Em 2021 recomendações revisadas foram publicadas no documento “*WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*” (WHO, 2021). As revisões, que são mais restritivas do que as estabelecidas em 2005, foram produzidas a partir de evidências e de uma crescente conscientização de que nenhuma quantidade de poluição atmosférica é segura para a saúde dos seres humanos. Entretanto, se os níveis-alvo forem implementados pelos governos, essas novas diretrizes salvarão vidas ao reduzir as mortes evitáveis por poluentes atmosféricos (WHO, 2021).

Os parâmetros abordados por essas diretrizes são o monóxido de carbono (CO), o dióxido de enxofre (SO₂), o dióxido de nitrogênio (NO₂), o ozônio (O₃), os materiais particulados com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 10 µm (MP₁₀) e inferior a 2,5 µm (MP_{2,5}), que são aqueles para os quais houve o maior aumento de evidências demonstrando que a exposição causa efeitos nocivos à saúde (OPAS, 2021a).

O QUADRO 4 mostra os valores-guia estabelecidos nos anos de 2005 e de 2021. Apenas para o SO₂ houve o aumento do padrão em relação a publicação anterior, antes para a média de 24 horas o padrão era igual a 20 µg/m³ e de acordo com as novas diretrizes o padrão passou a ser igual a 40 µg/m³, essa alteração foi

baseada em uma nova avaliação dos efeitos das concentrações de SO₂ a curto prazo na mortalidade por todas as causas e mortalidade respiratória, visto que em 2005 não havia sido adotada nenhuma metodologia formal para definição do valor de referência (WHO, 2006; WHO, 2021).

QUADRO 4 – DIRETRIZES DA QUALIDADE DO AR ESTABELECIDAS PELA ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE.

Poluente	Tempo de exposição	Diretrizes da Organização Mundial da Saúde	
		2005	2021
O ₃	<i>Peak Season</i> ⁽¹⁾	Não aplicável	60 µg/m ³
	8 horas	100 µg/m ³	100 µg/m ³
NO ₂	1 hora	200 µg/m ³	200 µg/m ³
	24 horas	Não aplicável	25 µg/m ³
	Anual	40 µg/m ³	10 µg/m ³
CO	15 minutos	Não aplicável	100 mg/m ³
	1 horas	Não aplicável	35 mg/m ³
	8 horas	Não aplicável	10 mg/m ³
	24 horas	Não aplicável	4 mg/m ³
SO ₂	10 minutos	500 µg/m ³	500 µg/m ³
	24 horas	20 µg/m ³	40 µg/m ³
MP ₁₀	24 horas	50 µg/m ³	45 µg/m ³
	Anual	20 µg/m ³	15 µg/m ³
MP _{2,5}	24 horas	25 µg/m ³	15 µg/m ³
	Anual	10 µg/m ³	5 µg/m ³

Notas:
 (1) Definido como os seis meses consecutivos do ano com a maior média móvel de ozônio.

FONTE: WHO (2006); WHO (2021).

A Organização Mundial da Saúde afirma que apesar das recomendações apresentarem aplicação global, cada país deve estabelecer seus próprios padrões da qualidade do ar segundo suas especificidades. Variações podem ocorrer de acordo com o nível de desenvolvimento do país, dos riscos existentes à saúde, da viabilidade tecnológica, de considerações econômicas e de outros fatores sociais e políticos (IEMA, 2012; WHO, 2006).

2.5 LEGISLAÇÃO E PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Sendo a atmosfera a fonte do ar necessário para os seres vivos, a qualidade deve atender aos preceitos legais em âmbito federal, estabelecidos pela Resolução n.º 491 de 19 de novembro de 2018 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2018). No estado do Paraná, as normas estabelecidas pela Resolução n.º 016 de 26 de março de 2014 da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos também devem ser atendidas nos quesitos de padrões qualitativos de emissão atmosférica e de condicionamento de fontes.

De acordo com a resolução federal, “entende-se como poluente atmosférico qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos” (BRASIL, 2018). Estes padrões, mostrados no QUADRO 5, são definidos para garantir que essas substâncias não “tornem ou possam tornar o ar: impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público; danoso aos materiais, à fauna e flora; prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade” (BRASIL, 2018).

Os padrões de qualidade do ar são indicados por padrões intermediários (PI) e por padrões finais (PF). Desse modo, os primeiros são os estabelecidos como temporários a serem cumpridos em etapas, levando em consideração os planos de controle de emissões atmosféricas e os relatórios de avaliação da qualidade do ar, elaborados pelos órgãos estaduais e distrital de meio ambiente. O padrão final se refere aos valores estabelecidos pela OMS em 2005, objetivos a serem alcançados futuramente. Atualmente, está em vigor o padrão intermediário 01 (PI-1). Com exceção para os parâmetros CO, PTS e chumbo, em que são adotados os PF.

De acordo com o artigo 3º da referida Resolução, o chumbo no material particulado é um parâmetro a ser monitorado em áreas específicas, de acordo com a tipologia das fontes de emissões atmosféricas e a critério do órgão ambiental. Observa-se que as partículas totais em suspensão e a fumaça são parâmetros auxiliares, utilizados em situações específicas e também a critério do órgão competente (BRASIL, 2018).

QUADRO 5 – PADRÕES DE QUALIDADE DO AR SEGUNDO LEGISLAÇÃO FEDERAL.

Poluentes Atmosféricos	Períodos de Referência	PI-1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PI-2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PI-3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PF	
					($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(ppm)
Material Particulado Inferior a 10 μm – MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ⁽¹⁾	40	35	30	20	-
Material Particulado Inferior a 2,5 μm – MP _{2,5}	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	-

Notas:
(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).

O Brasil está desatualizado em termos de padrões de qualidade do ar, visto que ainda não há previsão para adoção das diretrizes da Organização Mundial da Saúde em nível nacional. Cabe destacar que as diretrizes que fundamentam a Resolução CONAMA n.º 491/2018 foram estabelecidas no ano de 2005. Enfatiza-se que os padrões vigentes são elevados, em comparação com o recomendado, o que dificulta e atrasa o controle mais rigoroso dos níveis de poluição atmosférica (CAMARGO; VORMITTAG, 2019).

A Resolução CONAMA n.º 491/2018 também estabelece níveis para episódios críticos de poluição do ar (QUADRO 6), esses são caracterizados por elevadas concentrações de poluentes na atmosfera em um curto período de tempo, resultante da ocorrência de condições meteorológicas desfavoráveis.

QUADRO 6 – NÍVEIS DE ATENÇÃO, ALERTA E EMERGÊNCIA PARA POLUENTES E SUAS CONCENTRAÇÕES SEGUNDO LEGISLAÇÃO FEDERAL.

Poluentes Atmosféricos	Períodos de Referência	Atenção (µg/m³)	Alerta (µg/m³)	Emergência (µg/m³)
Material Particulado Inferior a 10 µm – MP ₁₀	24 horas	250	420	500
Material Particulado Inferior a 2,5 µm – MP _{2,5}	24 horas	125	210	250
Dióxido de Enxofre – SO ₂	24 horas	800	1.600	2.100
Dióxido de Nitrogênio – NO ₂	1 hora	1.130	2.260	3.000
Ozônio – O ₃	8 horas	200	400	600
		Atenção (ppm)	Alerta (ppm)	Emergência (ppm)
Monóxido de Carbono – CO	8 horas	15	30	40

FONTE: Adaptado de BRASIL (2018).

Para avaliar a qualidade do ar a partir dos níveis de concentração de poluentes atmosféricos utiliza-se o Índice de Qualidade do Ar (IQA_r). Essa é uma ferramenta matemática que pode ser aplicada para classificar a qualidade do ar de acordo com as concentrações dos poluentes atmosféricos observados. Esse índice é um valor adimensional que tem como intuito a padronização dos resultados das concentrações dos poluentes atmosféricos em uma mesma escala, permitindo distinguir qual poluente tem maior impacto na região monitorada, o que acaba por facilitar a interpretação das condições da qualidade do ar, além de facilitar a divulgação e comunicação dos resultados para a população (MMA, 2019).

O cálculo do IQA_r, conforme estabelecido na Resolução CONAMA n.º 491/2018, é realizado a partir da equação (1) (BRASIL, 2018; MMA, 2019).

$$IQA_r = I_{ini} + \frac{I_{fim} - I_{ini}}{C_{fim} - C_{ini}} \times (C - C_{ini}) \quad (1)$$

Onde:

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

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

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

C_{fim} = concentração final da faixa onde se localiza a concentração medida;

C = concentração medida do poluente.

O QUADRO 7 mostra os índices de acordo com o Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar do Ministério do Meio Ambiente (MMA,

2019). Os valores de concentração que classificam a qualidade do ar como “boa” são os valores recomendados pela OMS como sendo os mais seguros à saúde humana para exposição de curto prazo, conforme a publicação *Air Quality Guidelines Global Update 2005* (WHO, 2006; MMA, 2019).

QUADRO 7 – ÍNDICES DE QUALIDADE DO AR SEGUNDO LEGISLAÇÃO FEDERAL.

Classificação	IQAr	MP ₁₀ (µg/m ³) 24h	MP _{2,5} (µg/m ³) 24h	SO ₂ (µg/m ³) 24h	NO ₂ (µg/m ³) 1h	O ₃ (µg/m ³) 8h	CO (ppm) 8h
N1 BOA	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 20	0 - 200	0 - 100	0 - 9
N2 MODERADA	41 - 80	> 50 - 100	> 25 - 50	> 20 - 40	> 200 - 240	> 100 - 130	> 9 - 11
N3 RUIM	81 - 120	> 100 - 150	> 50 - 75	> 40 - 365	> 240 - 320	> 130 - 160	> 11 - 13
N4 MUITO RUIM	121 - 200	> 150 - 250	> 75 - 125	> 365 - 800	> 320 - 1.130	> 160 - 200	> 13 - 15
N5 PÉSSIMA	201 - 400	> 250 - 600	> 125 - 300	> 800 - 2620	> 1130 - 3.750	> 200 - 800	> 15 - 50

FONTE: Adaptado de MMA (2019).

O QUADRO 8 mostra o que cada um dos índices representa em termos de impactos na saúde e na qualidade de vida da população local.

QUADRO 8 – RELAÇÃO ENTRE VALOR DO IQAR E POSSÍVEIS EFEITOS À SAÚDE.

Classificação	Efeitos
BOA	Qualidade do ar satisfatória, oferecendo pouco ou nenhum risco à saúde da população em geral.
MODERADA	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.
RUIM	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.
MUITO RUIM	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas).
PÉSSIMA	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

FONTE: Adaptado de MMA (2019); IAT (2020).

O Instituto Água e Terra (IAT), em seu *website*, também estabelece um quadro referente aos índices de qualidade do ar, incluindo informações para o parâmetro PTS,

que, conforme visto no QUADRO 7, não é contemplado na Resolução CONAMA n.º 491/2018.

Segundo o IAT, o índice é obtido através de uma função linear segmentada, onde os pontos de inflexão são os padrões de qualidade do ar e os níveis de atenção, alerta e emergência definidos pela legislação. Simplificadamente, considerando-se as concentrações de partículas totais em suspensão a classificação da qualidade do ar é definida de acordo com o descrito no QUADRO 9.

QUADRO 9 – ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR PARA O POLUENTE PTS SEGUNDO IAT.

Poluente	Classificação do IQAr					
	Qualidade	BOA	REGULAR	INADEQUADA	RUIM	PÉSSIMA
	Índice	0-40	(>40-96)	(>96-144)	(>144-200)	(>200)
PTS ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24 h		0-240	>240-285	>285-330	>330-375	>375

FONTE: Adaptado de IAT (2020).

Além da verificação dos limites de degradação de qualidade do ar mostrados acima, existem padrões de emissão para veículos. Neste caso, podem ser utilizadas as diretrizes do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN), destaca-se a Resolução n.º 452 de 26 de setembro de 2013, que dispõe sobre os procedimentos a serem adotados pelas autoridades de trânsito e seus agentes na fiscalização das emissões de gases de escapamento de veículos automotores (BRASIL, 2013). Existe ainda a Resolução CONAMA n.º 418 de 25 de novembro de 2009, que aborda sobre critérios para a elaboração de planos de controle de poluição veicular e de programas de inspeção e manutenção de veículos em uso, além de determinar limites de emissão e procedimentos para a avaliação do estado de manutenção de veículos em uso (BRASIL, 2009).

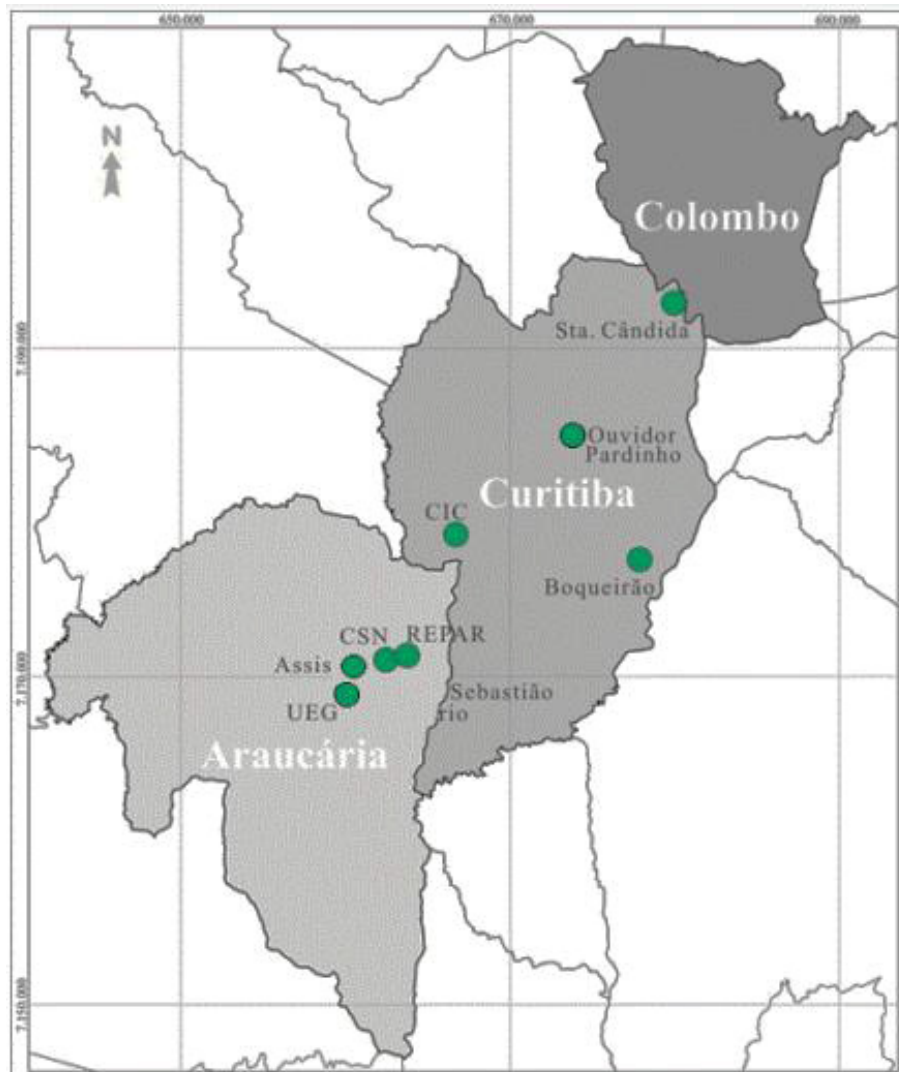
2.6 QUALIDADE DO AR EM CURITIBA

O monitoramento da qualidade do ar na Região Metropolitana de Curitiba teve início na década de 80 com a operação de sete estações manuais, dessas três estão em Araucária e quatro em Curitiba. Inicialmente eram monitorados apenas os parâmetros PTS, fumaça e SO₂. A partir do ano de 1998 deu-se início ao

monitoramento automático, esse possibilitou avaliar outros poluentes e o acompanhamento em tempo real dos resultados (IAP, 2016; ARDILES, 2016).

A partir do ano 2000 houve a expansão da rede e também iniciou a publicação dos relatórios anuais da qualidade do ar. Em 2015 as estações manuais da rede foram desativadas, permanecendo apenas as estações automáticas (IAP, 2016; ARDILES, 2016). Atualmente, o Instituto Água e Terra possui oito estações automáticas de qualidade do ar instaladas em Curitiba e Região Metropolitana, conforme mostrado na FIGURA 1.

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DO AR DO IAT EM CURITIBA E REGIÃO METROPOLITANA.



FONTE: IAP (2016).

O QUADRO 10 mostra a identificação, a localização e a categoria dessas estações, bem como os parâmetros monitorados em cada uma delas.

QUADRO 10 – LOCALIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR.

Estação	Município	Endereço	Categoria	Parâmetros monitorados
Boqueirão (BOQ)	Curitiba	Rua Prof. ^a Maria de Assumpção, n.º 2590, Boqueirão.	Bairro	SO ₂ , O ₃ , CO, PTS, MP ₁₀
Cidade Industrial de Curitiba (CIC)	Curitiba	Rua Senador Accioly Filho, n.º 3400, Cidade Industrial de Curitiba.	Industrial	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, PTS, MP ₁₀ , HCT/CH ₄
Ouvidor Pardinho (PAR)	Curitiba	Rua Getúlio Vargas esquina com Rua Nunes Machado, Centro.	Bairro / Central	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, PTS, MP ₁₀
Santa Cândida (STC)	Curitiba	Rua Estrada das Olarias, n.º 1081, Santa Cândida.	Bairro	SO ₂ , O ₃ , NO ₂
Assis (ASS)	Araucária	Rua Nossa Senhora dos Remédios, Centro Social São Francisco de Assis, Fazenda Velha.	Industrial	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , PTS
CSN	Araucária	Rodovia do Xisto, BR476, N° 5005, Chapada.	Industrial	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , PTS, MP ₁₀
REPAR (RPR)	Araucária	Rua das Andorinhas, N° 151, Capela Velha.	Industrial	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, PTS, MP ₁₀
UEG	Araucária	Rua Guilherme da Mota Correia esquina com Rodovia do Xisto, BR476, Centro.	Industrial	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , CO, MP ₁₀
Notas:				
(1) Industrial: onde se esperam maiores concentrações de poluentes, por fontes fixas;				
(2) Central: se esperam maior emissão de poluentes por fontes móveis, tais como veículos;				
(3) Bairro: local de moradia da maior parte da população e onde se espera uma menor concentração de poluentes.				

FONTE: Adaptado de IAP (2016).

O atual número de estações está de acordo com a Diretiva Europeia 1999/30/CE (CE, 1999), que estabelece que para regiões com uma população entre 2,75 e 3,75 milhões, deve-se instalar de três a sete pontos de monitoramento da qualidade do ar em função do grau de comprometimento da bacia aérea. Além disso, a localização das estações atende ao requisito de que para a proteção da saúde humana, as estações devem estar localizadas em áreas de modo a fornecer dados de três tipos de áreas de impacto: industrial, centro e bairro. Entretanto, embora o número de estações e a localização se encontre suficiente em relação à Diretiva

Europeia, é importante que sejam complementadas para a medição da maior parte dos parâmetros indicados na legislação (IAP, 2016).

O QUADRO 11 mostra os dados do último Relatório Anual da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Curitiba, para as estações automáticas e para o ano de 2015, divulgado pelo Instituto Água e Terra.

QUADRO 11 - CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE LONGO PRAZO DAS PRINCIPAIS SUBSTÂNCIAS MONITORADAS NAS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS DA RMC NO ANO DE 2015.

Estações	Município	Parâmetros Monitorados					
		PTS Média anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MP ₁₀ Média anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ Média anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ Média anual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	CO Média de 8h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O ₃ Média de 1h ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Assis (ASS)	Araucária	N.D. ⁽¹⁾	N.D. ⁽²⁾	4	11	N.D. ⁽²⁾	156
CSN (CSN)	Araucária	46	N.D. ⁽¹⁾	10	N.D. ⁽²⁾	N.D. ⁽²⁾	139
REPAR (RPR)	Araucária	25	18	< 1	17	1.304	115
UEG (UEG)	Araucária	N.D. ⁽²⁾	18	1	29	1.785	104
Boqueirão (BOQ)	Curitiba	17	11	1	N.D. ⁽²⁾	3.489	164
CIC (CIC)	Curitiba	31	23	N.D. ⁽¹⁾	22	3.374	N.D. ⁽¹⁾
Ouvidor Pardinho (PAR)	Curitiba	16	13	4	20	3.048	120
Santa Cândida (STA)	Curitiba	N.D.	N.D. ⁽²⁾	1	10	N.D. ⁽²⁾	96
Resolução CONAMA n.º 003/1990 – Padrão primário ⁽³⁾	-	80	50	80	100	10.000	160

Notas:

- (1) Equipamento em manutenção;
- (2) Parâmetro não monitorado nessa estação;
- (3) A Resolução CONAMA n.º 003/1990 foi revogada e substituída pela Resolução CONAMA n.º 491/2018 em 19 de novembro de 2018.

FONTE: Adaptado de IAP, 2016.

No ano de 2015 a legislação válida para padrões de qualidade do ar era a Resolução CONAMA n.º 003/1990, essa foi revogada em novembro de 2018 pela Resolução CONAMA n.º 491/2018. Segundo os dados do QUADRO 11, as estações de monitoramento da qualidade do ar dos municípios de Curitiba e Araucária apresentaram médias que atendiam aos padrões da Resolução CONAMA n.º 003/1990, para os parâmetros PTS, MP₁₀, SO₂, NO₂ e CO. Apenas no caso do O₃,

típico de regiões urbanas, há registro de ultrapassagens ao padrão na estação BOQ no município de Curitiba (IAP, 2016).

No *website* do IAT (<https://bit.ly/3qc7jFB>) é possível consultar a qualidade do ar em tempo real no município, bem como os boletins mensais da qualidade do ar da RMC, que visam facilitar a divulgação e interpretação dos dados da qualidade do ar (IAT, 2022a).

2.7 USO DO SOFTWARE AIRQ+ PARA RELACIONAR OS PROBLEMAS DE SAÚDE E A QUALIDADE DO AR EM CENTROS URBANOS

Considerando que a poluição do ar é um importante fator de risco ambiental, o escritório regional da OMS na Europa desenvolveu o *software* AirQ+ (WHO, 2019a), que visa analisar os impactos da poluição do ar na saúde humana. Todos os cálculos realizados pelo AirQ+ são baseados em metodologias estabelecidas por estudos epidemiológicos e todas as funções utilizadas no *software* se baseiam na revisão de todos os estudos disponíveis até o ano de 2013 e em suas metanálises (WHO, 2019a; MUDU, GAPP e DUNBAR, 2018).

Além do AirQ+ há outros *softwares* que trabalham na associação entre a poluição atmosférica e os impactos à saúde humana, como o BenMAP-CE da agência ambiental norte-americana (U.S. EPA, 2021). Ambos são gratuitos e apresentam resultados bem similares ao se utilizar o mesmo banco de dados, porém, foram elaborados com propósitos diferentes. O BenMAP-CE é utilizado no processo de criação de regras para vários regulamentos ambientais, com um papel de destaque dentro do processo de revisão das normas norte-americanas de qualidade do ar, enquanto o AirQ+ apresenta o foco na saúde pública, não necessariamente associadas a questões legais. Logo, o AirQ+ permite análises não convencionais, onde a base de evidências não é tão forte, especificamente para os poluentes O₃, NO₂ e carbono negro, além de permitir a análise da exposição à poluição do ar doméstica (SACKS et al., 2020).

O AirQ+ pode ser aplicado em situações relacionadas à exposição de longo e curto prazo à poluição do ar ambiente e à exposição de longo prazo à poluição do ar doméstico. Além das estimativas de impacto baseadas em estudos epidemiológicos, é possível usar um módulo de análise de risco para estimar o risco de câncer devido à exposição ao longo da vida a poluentes atmosféricos cancerígenos (WHO, 2019a).

Os efeitos da exposição em curto prazo (efeitos agudos) são geralmente calculados considerando as concentrações diárias de um poluente durante um intervalo de tempo específico. Entretanto, deve-se considerar que a mortalidade por exposição em curto prazo é sempre um efeito em longo prazo. Os efeitos da exposição em longo prazo (efeitos crônicos) são geralmente calculados considerando dados de poluição do ar que representam o valor médio durante o período analisado (WHO, 2019a).

Os dados de entrada do *software*, considerando a qualidade do ar em ambientes externos, são os seguintes: dados da qualidade do ar (média, para efeitos de exposição em longo prazo, ou detalhada, com a frequência de dias com valores específicos de poluição, para efeitos de exposição em curto prazo), dados da população em risco (por exemplo, número total de adultos com idade maior ou igual 30 anos), dados de saúde (como taxas basais de resultados de saúde na população estudada) e valores de Risco Relativo (RR) (WHO, 2019a; MUDU, GAPP e DUNBAR, 2018).

A quantificação do impacto na saúde para a exposição ao poluente atmosférico predefinido baseia-se no conceito de proporção atribuível (PA) à população. Logo, a fração do resultado da saúde, que pode ser atribuída à exposição em uma determinada população (assumindo que exista uma associação causal entre a exposição e o resultado da saúde) para determinado período de tempo pode ser calculado usando a equação (2) (WHO, 2019a; ARDILES, 2016; KRZYZANOWSKI, 1997).

$$PA = \frac{\sum[(RR_{(c)} - 1) * P_{(c)}]}{\sum(RR_{(c)} * P_{(c)})} \quad (2)$$

Onde:

PA = proporção de risco atribuído à população, pode ser atribuído à exposição de poluentes em uma determinada população para certo período;

$RR_{(c)}$ = risco relativo para o resultado de saúde na categoria c de exposição;

$P_{(c)}$ = proporção da população na categoria c de exposição.

Quando os limites do intervalo de confiança para a estimativa RR são usados na equação (2), é possível obter os limites superior e inferior correspondentes da

estimativa e a faixa correspondente para o número de casos na população, atribuído à exposição (WHO, 2019a; KRZYZANOWSKI, 1997).

O RR estima a magnitude de uma associação entre exposição e um problema de saúde, indicando a probabilidade da população exposta à poluição atmosférica desenvolver problemas de saúde em relação àqueles que não estão expostos (WHO, 2015; OSTRO, 2004).

O QUADRO 12 mostra as equações para cálculo do RR para pares de resultados de poluentes e saúde, com intervalo de confiança de 95%. Essas estimativas foram geradas utilizando metanálises de estudos relevantes realizados ao longo de vinte anos nos cinco continentes. Alguns desses estudos, com foco na exposição de curto prazo e na mortalidade infantil, foram realizados por Saldiva et al. (1994), Gouveia e Fletcher (2000), Conceição et al. (2001) no Brasil (WHO, 2015; OSTRO, 2004).

QUADRO 12 – EQUAÇÕES PARA O CÁLCULO DO RISCO RELATIVO,

Efeito	Exposição	Poluente	Equação ⁽¹⁾	Coefficiente de regressão (β)
Mortalidade por câncer de pulmão	Longo prazo	MP _{2,5}	$RR = \left(\frac{X + 1}{X_0 + 1} \right)^\beta$ Equação (3)	0,23218 (0,08563 – 0,37873)
Mortalidade por doenças cardiorrespiratórias				0,15515 (0,0562 – 0,2541)
Mortalidade (considerando todas as causas)	Curto prazo	MP ₁₀	$RR = e^{\beta(X-X_0)}$ Equação (4)	0,0008 (0,0006 – 0,0010)
Mortalidade por doenças respiratórias.				0,00166 (0,00034 – 0,0030)
Notas: X é a concentração do poluente analisado no período de estudo; X ₀ é a concentração de corte, por exemplo, o padrão de qualidade de ar da Resolução CONAMA n.º 491/2018 e a diretriz da OMS; β é o coeficiente de regressão obtido a partir de análise estatística dos dados de saúde e poluição do ar (distribuição de Poisson ou Binomial Negativa).				

FONTE: Adaptado de ARDILES (2016); WHO (2015) e OSTRO (2004).

Conhecendo o valor da proporção atribuível, torna-se possível estimar a taxa da população exposta aos poluentes atmosféricos, conforme a equação (5) (WHO, 2019a; ARDILES, 2016).

$$BE = B * PA \quad (5)$$

Onde:

BE = taxa da população exposta aos poluentes atmosféricos;

B = frequência do efeito na população, normalmente expressa em termos de 100.000 habitantes.

Para uma população de um determinado tamanho N, isso pode ser convertido no número estimado de casos atribuídos à exposição a partir da equação (6) (WHO, 2019a; ARDILES, 2016).

$$NE = BE * N \quad (6)$$

Onde:

NE = número estimado de casos atribuídos à exposição aos poluentes atmosféricos;

N = tamanho da população.

Conseqüentemente, a frequência do efeito na população livre da exposição pode ser estimada de acordo com a equação (7) (WHO, 2019a; ARDILES, 2016).

$$BNE = B - BE = B * (1 - PA) \quad (7)$$

Onde:

BNE = frequência do efeito na população livre da exposição.

Além do número total de casos atribuíveis, a análise fornece estimativas da distribuição dos casos por categoria de exposição. Conhecendo o risco relativo em certo nível de poluição e a incidência (estimada) na população não exposta, o excesso de incidência e o excesso de número de casos em uma determinada categoria de exposição podem ser calculados pela equação (8) e equação (9), respectivamente (WHO, 2019a; ARDILES, 2016).

$$B_{(c)} = (RR_{(c)} - 1) * P_{(c)} * BNE \quad (8)$$

$$N_{(c)} = B_{(c)} * N \quad (9)$$

Onde:

$B_{(c)}$ = excesso de incidência;

$N_{(c)}$ = excesso de número de casos.

O número de casos em excesso calculado pelo modelo indica que os efeitos na saúde da população exposta podem ser minimizados se a concentração dos poluentes for reduzida a partir do nível atual para a concentração de corte, que corresponde ao padrão de qualidade de ar da Resolução CONAMA n.º 491/2018 e as diretrizes da OMS (ARDILES, 2016; AGUIAR, 2015). Entretanto, a concentração abaixo dos padrões de qualidade de ar não significa que não há efeitos adversos à saúde, apenas que os riscos seriam minimizados (ARDILES, 2016).

Estudos realizados em onze cidades da Sérvia, utilizando o *software* AirQ+ mostraram que a exposição à poluição atmosférica em longo prazo leva à morte prematura de uma porcentagem significativa da população e que a exposição de curto prazo aumenta o risco de mortalidade (WHO, 2019b). Os estudos constatam ainda que a concentração de particulados ultrapassou as diretrizes da OMS de 2005 e os limites estabelecidos pela legislação da União Europeia em várias cidades, o que indica a necessidade de adoção de medidas para melhorar a qualidade do ar e, conseqüentemente, diminuir os impactos na saúde humana. As simulações de reduções progressivas nas concentrações de $MP_{2,5}$ apontam para benefícios à saúde com a melhoria da qualidade do ar no país analisado (WHO, 2019).

A análise dos dados mostra que a exposição ao $MP_{2,5}$ foi responsável por 3.585 mortes anualmente, considerando as onze cidades do país analisado e o período de dados entre os anos de 2010 e de 2015. Desse total, 1.796 mortes se referem ao município de Belgrado, que é a capital da Sérvia. Estima-se que o impacto geral da poluição do ar na saúde de todas as áreas urbanas da Sérvia (não apenas as 11 cidades estudadas) seja de 6.394 mortes prematuras (WHO, 2019b). Ainda, segundo o estudo, caso os níveis de poluição atmosférica nessas onze cidades se mantenham, espera-se que de 2015 até 2025 sejam perdidos 150.865 anos de vida devido à poluição do ar. Desses, 75.261 ocorrerão em Belgrado (WHO, 2019b).

As simulações das reduções progressivas nas concentrações de $MP_{2,5}$, feitas a partir do *software* AirQ+, indicam que o número de mortes prematuras devido à poluição atmosférica nas onze cidades diminuiria para 2.737, 1.862 e 301 caso a

concentração de $MP_{2,5}$ diminuísse, respectivamente, $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Da mesma forma, as reduções progressivas nas concentrações de $MP_{2,5}$ (em 5, 10 e $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) diminuiriam os anos de vida perdidos devido à poluição do ar ao longo de 10 anos, de 150.865 a 114.539, 77.515 e 12.508, respectivamente. Os resultados desta análise indicam a importância de intervenções para reduzir os níveis da poluição atmosférica na Sérvia (WHO, 2019b).

Na Itália, utilizou-se o *software* AirQ+ para avaliar os efeitos da exposição à concentração de $MP_{2,5}$ na saúde dos cidadãos de Roma nos anos de 2015 e 2016. Estimou-se os efeitos de curto e longo prazo do $MP_{2,5}$ nas admissões hospitalares devido a doenças cardiovasculares e respiratórias, bem como a mortalidade por doença isquêmica do coração e doença pulmonar obstrutiva crônica. A concentração média anual de $MP_{2,5}$ em Roma foi igual a $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2015 e igual a $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2016, com a média diária variando entre 10 e $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nesse cenário, estimou-se que em média 0,5% dos atendimentos hospitalares por doenças cardiovasculares e 1,3% dos atendimentos por doenças respiratórias estavam associadas a concentração de $MP_{2,5}$ na atmosfera. A poluição atmosférica foi correlacionada a 17,3% das mortes por doença isquêmica do coração e a 8,9% das mortes por doença pulmonar obstrutiva crônica. O estudo demonstrou ainda que, para o período entre 2015 e 2016, poderiam ser evitadas 1.254 mortes por doença isquêmica do coração e por doença pulmonar obstrutiva crônica, se as concentrações médias anuais de $MP_{2,5}$ não ultrapassassem $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que é o limite recomendado pela OMS. Em suma, uma gestão pertinente a qualidade do ar e um planejamento urbano sustentável seriam essenciais para mitigar os efeitos adversos da exposição ao $MP_{2,5}$ na saúde da população de Roma (MARCO et al., 2018).

No Irã foi realizado um estudo com o *software* AirQ+ em 25 cidades, também com o objetivo de quantificar os efeitos da exposição da população ao poluente atmosférico $MP_{2,5}$. Os resultados mostraram que as concentrações médias anuais de $MP_{2,5}$ nas cidades iranianas eram até 6 vezes maiores do que o valor de referência da OMS, que é de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O número total de mortes por todas as causas devido à exposição em longo prazo a concentrações acima da diretriz de qualidade do ar da OMS, estabelecida em 2005, foi igual a 13.321 casos. O número total de mortes por doença pulmonar obstrutiva crônica, câncer de pulmão, doença isquêmica do coração e acidente vascular cerebral atribuídos à exposição ao $MP_{2,5}$ foram iguais a 274, 315, 1.536 e 963 casos, respectivamente. O número total de anos de vida perdidos em um

período de 10 anos em todas as 25 cidades foi de 486.289 anos e a expectativa de vida perdida variou de 0,43 a 1,87 anos (HADEI et al., 2020).

Um estudo conduzido em Teerã, capital do Irã, com o *software* AirQ+, concluiu que com o aumento de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ na atmosfera, espera-se que cerca de 27 casos sejam adicionados à mortalidade por poluição do ar na cidade (ANSARIA e EHRAMPOUSH, 2020).

As perdas econômicas devido as mortes associadas a poluição atmosférica excedeu 5,8 bilhões de dólares. Esses resultados indicam a urgência de novos planos que almejam o combate à poluição do ar nas cidades iranianas com foco na redução dos níveis médios de poluição de longo prazo (HADEI et al., 2020).

Em Portugal utilizou-se o AirQ+ para calcular os efeitos da exposição de longo prazo aos poluentes NO_2 , $\text{MP}_{2,5}$ e O_3 na saúde da população de vários municípios entre os anos de 2010 e 2019. Os resultados mostraram que aproximadamente cinco mil morte por ano são atribuíveis à exposição a misturas de NO_2 e $\text{MP}_{2,5}$ e que o AirQ+ é uma ferramenta útil para fins de formulação de políticas de saúde pública eficazes e relatórios sobre o progresso nacional para implementar a Agenda 2030 (BRITO, BERNANDO e GONÇALVES, 2022).

No Brasil o AirQ+ foi utilizado para estimar o impacto na saúde humana do uso de biocombustíveis na Região Metropolitana de São Paulo. A análise se restringiu aos efeitos decorrentes da emissão de $\text{MP}_{2,5}$ por meio de variações no consumo de biocombustíveis em trajetórias alternativas realizadas em 2018 na região de estudo. Os resultados apontam que o uso de etanol em detrimento dos combustíveis fósseis tem impacto positivo na qualidade do ar e conseqüentemente na saúde humana, contribuindo com uma redução de 7,2% na concentração de particulados associada ao setor de transportes e com um aumento de treze dias na expectativa de vida da população. Estima-se ainda que anualmente 371 mortes sejam evitadas por complicações da poluição de particulados na Região Metropolitana de São Paulo devido a utilização do etanol (EPE, 2021).

A adição de biodiesel ao diesel também foi avaliada. A adição de 10% de biodiesel em 2018 evitou 4,8% das emissões de material particulado provenientes do setor de transportes na Região Metropolitana de São Paulo e contribuiu com o acréscimo de nove dias na expectativa de vida da população, além de reduzir 244 óbitos anualmente. Caso houvesse uma adição de 15% de biodiesel ao diesel, haveria

um aumento de treze dias na expectativa de vida e ainda evitaria 348 óbitos ao ano (EPE, 2021).

No Brasil, a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) e o atual Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública (DSASTE) da Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS) do Ministério da Saúde (MS) mantêm atividades de cooperação técnica nas áreas de vigilância em saúde ambiental e saúde do trabalhador através do Termo de Cooperação n.º 69 – Vigilância em Saúde Ambiental e do Trabalhador no SUS (OPAS, 2021b). No termo publicado em 2019 o AirQ+ foi elencado como ferramenta a ser utilizada no enfrentamento do problema da poluição e contaminação do ar e na capacitação de profissionais do setor saúde (OPAS, 2019).

2.8 MEDIDAS E AÇÕES DE MINIMIZAÇÃO E CONTROLE DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

Um estudo realizado por Pope et al. (2004) em 51 regiões metropolitanas dos Estados Unidos, apresentou que uma redução de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de $\text{MP}_{2,5}$ no ar atmosférico, eleva 0,6 ano na expectativa de vida, demonstrando a importância em se investir em medidas e ações que minimizem e controlem a poluição atmosférica (FERNANDES et al., 2009).

Entre as ações a serem adotadas para a minimização e controle da poluição atmosférica está a redução do número de viagens motorizadas e dos congestionamentos nos grandes centros urbanos. Isso pode ser alcançado por meio de ações como a redução das distâncias a serem percorridas, maior oferta de transporte público, renovação da frota de transporte público e a adoção de combustíveis mais limpos, melhoria da gestão do sistema viário, complementada com ações de planejamento do uso do solo voltado para a redução do impacto da mobilidade e da logística (CETESB, 2019).

As características dos combustíveis melhoraram nos últimos anos, de forma a garantir o atendimento aos padrões preconizados nos programas de controle estabelecidos pela legislação federal, contribuindo para a minimização e controle da poluição atmosférica (CETESB, 2019). Além disso, a partir do ano de 2022, os novos veículos, tanto os leves quanto os pesados, sairão de fábrica com tecnologias mais

avançadas, visando atender os padrões mais restritivos do PROCONVE, devendo propiciar ganhos em médio e longo prazo (CETESB, 2019).

A Organização Mundial da Saúde – em conjunto com a *Climate & Clean Air Coalition*, *UN Environment Programme* e *The World Bank* – tem uma campanha global chamada *BreatheLife*, que tem como objetivo mobilizar cidades e indivíduos a fim de propor diretrizes sobre a implementação de soluções para a poluição do ar em apoio aos objetivos globais de desenvolvimento (BREATHELIFE, 2016). A campanha tem como estratégias:

- Aumentar a rede de monitoramento da qualidade do ar;
- Capacitar indivíduos, fornecendo informações acerca da qualidade do ar e seus efeitos sobre a saúde humana, e orientando quanto ações que podem ser tomadas local e globalmente.
- Acelerar soluções, apoiando os municípios na adoção de medidas que visem à melhoria da qualidade do ar;
- Conectar cidades, criando uma plataforma que possibilite a troca de experiências.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, para melhorar a qualidade do ar os governantes devem dar suporte a políticas integradas que apoiem o uso de energias e transportes mais limpos, o uso sustentável da terra, moradias com eficiência energética, uma gestão mais eficiente da indústria, dos resíduos municipais e da geração de energia. Destaca-se que essas ações, além de reduzirem o número de doenças relacionadas à poluição do ar, também contribuem para a mitigação de curto e longo prazo das mudanças climáticas (WHO, 2021).

Manter a concentração de poluentes atmosféricos dentro de níveis seguros para a saúde pode começar com ações para limitar os impactos a nível individual. Visando reduzir a contribuição de cada indivíduo a campanha denominada *BreatheLife* da Organização Mundial da Saúde sugere as seguintes ações (BREATHELIFE, 2016):

- Praticar o gerenciamento dos resíduos domésticos, com foco na redução, reutilização e reciclagem, evitando a queima, que contribui diretamente para a poluição do ar;

- Dar prioridade à locomoção a pé, de bicicleta ou de transporte público, dando preferência a veículos de baixa emissão de poluentes atmosféricos, caso um carro seja necessário;
- Economizar energia, dando preferência a fontes mais limpas, em termos de emissões atmosféricas, como a energia fotovoltaica.
- Evitar a queima de carvão e biomassa para cozimento e aquecimento em ambientes domésticos;
- Cobrar dos líderes locais a divulgação dos dados de qualidade do ar e a adoção de ações que visem à melhoria na qualidade do ar local, atendendo aos padrões nacionais de qualidade do ar e as diretrizes da OMS.

Os indivíduos que vivem em centros urbanos, onde os níveis de poluição atmosférica são expressivos, devem adotar ações que limitem sua exposição a esses poluentes (BREATHHELIFE, 2016). O QUADRO 13 mostra exemplos de orientações que autoridades nacionais e de meio ambiente fornecem a população.

QUADRO 13 – AÇÕES PARA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO DE INDIVÍDUOS A POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA.

Ação	Observação
Monitore o ar da sua região	Verifique os níveis locais de poluição do ar todos os dias e esteja ciente da orientação das autoridades locais, para determinar a necessidade de limitar as atividades ao ar livre ou evitar os pontos críticos.
Pratique atividade física em momentos que os níveis de poluição atmosférica são mais baixos	Desloque a atividade regular ao ar livre para longe dos momentos em que os níveis de poluição do ar são mais altos. Em muitas cidades, a poluição atinge o pico no final da manhã e no início da noite.
Fique atento ao seu entorno	Há evidências consideráveis de que crianças e adultos vivendo ou passando um tempo considerável perto de rodovias movimentadas podem ser mais vulneráveis a doenças relacionadas à poluição do ar.
Evite tráfego intenso	Evite dirigir nos horários de pico e mantenha as janelas fechadas enquanto estiver no trânsito.
Avalie seu risco	Determine com o seu médico se alguma das condições existentes o torna mais suscetível à poluição do ar, para que você possa equilibrar com mais eficiência os riscos e benefícios da exposição futura.
Use proteção eficaz	Se uma máscara facial for aconselhada onde você mora, consulte fontes confiáveis para ter certeza de que ela tem um filtro eficiente. Muitas máscaras não filtram partículas finas (com diâmetros a baixo de 2,5 µm), que estão entre as mais prejudiciais.

FONTE: Adaptado de BREATHHELIFE (2016).

A agência ambiental europeia (EEA, 2021) ressalta a importância de promover a consistência na comunicação de políticas e medidas sobre poluição do ar, energia e mudanças climática, já que há sinergia entre elas. Além disso, Apte et al. (2015) destacam que as melhorias iniciais nas concentrações ambientais de $MP_{2,5}$ devem ser trabalhadas em estratégias de mitigação de longo prazo, que diferem muito entre áreas mais ou menos poluídas e área mais ou menos desenvolvidas.

De acordo com Apte et al. (2015) áreas altamente poluídas requerem uma redução maior nos níveis de $MP_{2,5}$ do que áreas menos poluídas para atingir a mesma diminuição na mortalidade atribuída. Nas áreas mais poluídas, como Índia e China, uma redução de 50% na mortalidade exigiria uma redução de 68% nos níveis de $MP_{2,5}$. Por outro lado, uma redução de 50% da mortalidade em áreas menos poluídas, como Europa e América do Norte, poderia ser alcançada com uma redução de aproximadamente 25% da concentração de $MP_{2,5}$.

O governo do Canadá (GOVERNMENT OF CANADA, 2021), que possui uma série de regulamentos para o controle das emissões atmosféricas nos mais variados setores, estabeleceu uma série de ações e políticas com foco na minimização das emissões, como: incentivo fiscal a empresas que fabricam equipamentos com baixa emissão de poluentes atmosféricos, investimento na descarbonização de grandes emissores por meio de programas locais, criação de projetos de financiamento para utilização de combustíveis mais limpos na indústria, fornecimento de incentivos para compra de veículos elétricos, financiamento para instalação de estações de carregamento elétrico e reabastecimento de hidrogênio, publicação das condições da qualidade do ar por meio do índice de qualidade do ar, estabelecimento de regulamentações que limitam os componentes causadores de poluição em combustíveis produzidos, importados ou vendidos no Canadá.

3 METODOLOGIA

O trabalho consistiu em um estudo de caso para o município de Curitiba/PR. Esse foi desenvolvido em três etapas, inicialmente foi feita a caracterização da área de estudo, seguida da caracterização dos dados de qualidade do ar e de saúde pública do município, e por fim, a proposição de cenários por meio do *software* AirQ+ (WHO, 2019) para a avaliação dos efeitos da concentração de partículas inaláveis grossas (MP₁₀) e finas (MP_{2,5}) na atmosfera na saúde dos moradores da cidade de Curitiba/PR.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DO ESTUDO DE CASO

A caracterização da área do estudo de caso foi feita com base em informações disponíveis na literatura e em *websites*. Foram levantadas informações acerca da população (IBGE, 2019; CURITIBA, 2020a), das emissões atmosféricas (IAP, 2016; GRAUER, 2013) e do clima de Curitiba/PR (INMET, 2018; CURITIBA, 2020a).

3.2 OBTENÇÃO DE DADOS DE QUALIDADE DO AR DA ÁREA DE ESTUDO

A aquisição de dados de qualidade do ar, com foco na concentração de material particulado, do município de Curitiba/PR foi realizada com base em três principais fontes de informações.

- a) Dados relativos a qualidade do ar disponíveis na página da internet do SISAM – Sistema de Informações Ambientais Integrado à Saúde do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020).
- b) Dados da concentração de material particulado repassados diretamente pelo LACTEA – Laboratório de Computação e Tecnologia em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná (LACTEA, 2020), que possui um projeto de monitoramento de material particulado em Curitiba e região metropolitana.
- c) Dados relativos a qualidade do ar repassados pelo Departamento de Qualidade do Ar do IAT – Instituto Água e Terra (IAT, 2020).

3.2.1 Dados de qualidade do ar obtidos do INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Os dados de qualidade do ar, em termos de concentração, do INPE foram obtidos a partir do acesso ao *website* do SISAM (<http://bit.ly/380f1vG>), que informa os dados para os poluentes CO, O₃, NO₂, SO₂ e MP_{2,5}, sendo o material particulado o poluente foco desse estudo, e para parâmetros meteorológicos (velocidade e direção do vento, temperatura do ar, umidade relativa do ar e precipitação acumulada). O SISAM foi desenvolvido para compor uma ferramenta de análise de dados ambientais para auxiliar no programa de saúde, permitindo estudos consistentes relacionados aos impactos das emissões de poluentes atmosféricos na saúde humana (SISAM, 2020).

Os dados foram divulgados por município e com resolução temporal de seis horas. Como o foco deste estudo foi a análise da qualidade do ar em Curitiba, efetuou-se o *download* das informações do referido município. Nesse estudo se optou por analisar o período entre os anos de 2014 a 2019, Ressalta-se que os dados disponíveis no SISAM contemplam o período de 01 de janeiro de 2000 a 31 de dezembro de 2019, com exceção dos poluentes gasosos, que estão disponíveis até dezembro de 2018.

Para análise dos registros e comparação com padrões de qualidade do ar estabelecidos pela legislação nacional e estadual, os dados obtidos foram processados com o uso do *software* Microsoft Excel para o cálculo das médias diárias, mensais e anuais, e para a elaboração de tabelas e gráficos que possibilitaram a comparação e análise das informações.

Os dados disponibilizados pelo SISAM são obtidos a partir de imagens de satélites e de análises numéricas da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e da ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), conforme detalhado no QUADRO 14.

QUADRO 14 – MODELOS UTILIZADOS NA OBTENÇÃO DE DADOS DA QUALIDADE DO AR PELO INPE.

Modelo	MERRA-2	CAMS-Reanalysis	CAMS-Nrealtime
Nome do modelo	<i>Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications Version 2</i>	<i>Copernicus Atmosphere Monitoring Service Reanalysis</i>	<i>Copernicus Atmosphere Monitoring Service Nrealtime</i>
Desenvolvedor	NASA	ECMWF	
Metodologia	Imagens de satélite e análises numéricas		
Período	2000 a 2002	2003 a 2017	2018 a 2019
Unidade	Dados obtidos em kg/m ³ e convertidos para µg/m ³		
Resolução temporal	Dados referentes aos horários de 00, 06, 12 e 18 UTC (<i>Coordinated Universal Time</i>)		
Resolução espacial	12,5 km		
Localização geográfica do ponto de referência para Curitiba/PR (<i>Datum SIRGAS, 2000</i>)	-25.429710° -49.271936°		

FONTE: Adaptado de INPE (2020).

O modelo global CAMS-Reanalysis possui uma documentação de validação de dados para o período de 2003 a 2018, denominado “*Validation Report for the CAMS Global Reanalysis of Aerosols And Reactive Trace Gases*” (ECMWF, 2019; INPE, 2020).

3.2.2 Dados de qualidade do ar obtidos do Laboratório de Computação e Tecnologia em Engenharia Ambiental

Os dados de qualidade do ar do LACTEA foram disponibilizados diretamente pelo coordenador do projeto *CWBreathe* por meio de correio eletrônico (MERCURI, 2020). Esses dados são gerados a partir da utilização de sensores óticos de baixo custo, que são capazes de medir a concentração de material particulado em suspensão no ar.

Na metodologia de obtenção de dados da qualidade do ar do LACTEA, sensores de baixo custo, de modelo SDS011, são acoplados em microcontroladores, como a placa Arduino ou o computador Raspberry Pi, transmitindo os dados para um servidor que armazena os dados para posterior tratamento e processamento (LACTEA, 2020).

Os dados disponibilizados para este estudo se referem ao parâmetro MP_{2,5} e às estações localizadas nos bairros Batel, Boa Vista e Mercês (indicadas no mapa do

ANEXO I). Os dados foram recebidos em escala temporal de um minuto e processados com o uso do *software* Microsoft Excel para o cálculo das médias diárias, mensais e anuais, e para a elaboração de tabelas e gráficos que possibilitaram a comparação e análise das informações.

O QUADRO 15 mostra a localização geográfica de cada uma das estações do LACTEA e os períodos de dados disponíveis para análise.

QUADRO 15 – DADOS DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DE MATERIAL PARTICULADO COM SENSORES DE BAIXO CUSTO DO LACTEA.

Estação	Batel	Boa Vista	Mercês
Localização geográfica (Datum SIRGAS, 2000)	- 25,436777 - 49,289181	- 25,390575 - 49,254514	- 25,425985 - 49,287201
Endereço	Alameda Doutor Carlos de Carvalho, n.º 1523	Rua Leão Sallum, n.º 1394	Rua Desembargador Motta, n.º 3428
Período de dados	30/10/2019 a 19/02/2020	07/11/2019 a 19/02/2020	13/10/2019 a 19/02/2020

FONTE: Adaptado de LACTEA (2020).

3.2.3 Dados de qualidade do ar obtidos do Instituto Água e Terra

O Setor de Qualidade do Ar do Instituto Água e Terra (IAT) disponibilizou os dados de qualidade do ar das estações automáticas de Curitiba por meio de correio eletrônico (PASINI, 2020; CAVALCANTI, 2020). Os dados fornecidos foram em escala temporal diária (média) para o período entre janeiro de 2016 e julho de 2020. Assim como para os dados do INPE e do LACTEA, esses também foram processados com o uso do *software* Microsoft Excel para o cálculo das médias mensais e anuais, e para a elaboração de tabelas e gráficos que possibilitaram a comparação e análise das informações.

O QUADRO 16 mostra as estações e os parâmetros de qualidade do ar contemplados, assim como os períodos de dados disponíveis para análise. As localizações das estações estão indicadas no mapa do ANEXO I.

QUADRO 16 – DADOS DAS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR DO IAT.

Estação	Boqueirão (BOQ)	Cidade Industrial de Curitiba (CIC)	Ouvidor Pardiniho (PAR)	Santa Cândida (STC)
Localização geográfica (Datum SIRGAS, 2000)	-25,488013 -49,248131	-25,497427 -49,325302	-25,444656 -49,271725	-25,374613 -49,212642
Endereço	Rua Professora Maria de Assumpção, n.º 2590	Rua Senador Accioly Filho, n.º 3400	Rua Getúlio Vargas esquina com Rua Nunes Machado	Rua Estrada das Olarias, n.º 1081
Período de dados	01/01/2016 a 27/04/2018	01/01/2016 a 29/07/2020	01/01/2016 a 19/09/2017	01/01/2016 a 10/08/2017
Parâmetros	MP ₁₀ e O ₃	NO ₂	MP ₁₀ , NO ₂ e O ₃	NO ₂ e O ₃

FONTE: Adaptado de IAT (2015).

Além dos dados fornecidos pelo Setor de Qualidade do Ar do IAT, também foram obtidas as concentrações médias anuais e as concentrações máximas médias diárias para os anos de 2014 e 2015 no *website* do órgão ambiental (IAP, 2016; IAP, 2015).

As estações de qualidade do ar do IAT operam com analisadores contínuos e para cada parâmetro é utilizada uma metodologia de medição. Para o material particulado é utilizada a radiação beta, para o SO₂ a fluorescência de pulso, para o NO₂ a quimiluminescência, para o CO o infravermelho não dispersivo e para o O₃ a radiação ultravioleta. Esses analisadores são capazes de realizar amostragens a cada três segundos, com exceção dos amostradores de material particulado, os quais coletam o ar por um período de cinquenta minutos contínuos e analisam a amostra durante dez minutos, armazenando o resultado como média horária. Os resultados das medições são reunidos em um sistema computadorizado, localizado na estação, e transmitidos para uma central onde são tratados e validados (IAP, 2016).

3.3 OBTENÇÃO DE DADOS DE SAÚDE DECORRENTES DE PROBLEMAS RELACIONADOS À POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A obtenção dos dados de saúde decorrentes de problemas relacionados à poluição atmosférica no município de Curitiba/PR foi realizada por meio de duas fontes:

- a) Dados disponíveis no aplicativo TABNET do DATASUS – Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS, 2020).
- b) Dados do Boletim Epidemiológico da Gripe elaborado pelo Centro de Epidemiologia e Núcleo de Monitoramento e Avaliação da Secretaria Municipal da Saúde de Curitiba (CURITIBA, 2019).

3.3.1 Dados de saúde obtidos do aplicativo TABNET do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde

O Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) é um órgão da Secretaria de Gestão Estratégica e Participativa do Ministério da Saúde, que possui uma plataforma *online* que agrupa e organiza, a nível nacional, as informações relacionadas ao Sistema Único de Saúde (SUS). O acesso a essas informações é feito com o aplicativo TABNET (<http://bit.ly/2NR1MXe>), que é um tabulador genérico e de domínio público que organiza os dados conforme a consulta realizada (CGDIS, 2020).

Como o objetivo desse estudo foi a análise de problemas de saúde relacionados à poluição atmosférica no município de Curitiba, efetuou-se o *download* dos dados, por sexo e faixa etária, para a referida cidade para o período entre os anos de 2014 e de 2018, visando à compatibilidade de período com os dados de qualidade do ar. Destaca-se que até o momento da finalização desse estudo, a plataforma ainda não havia disponibilizado as informações de saúde referentes ao ano de 2019.

Os dados obtidos a partir do TABNET – se referem à mortalidade por: todas as causas de mortalidade, doenças do aparelho circulatório, doenças do aparelho respiratório, doença cardíaca pulmonar e da circulação pulmonar, neoplasia maligna dos brônquios e dos pulmões – foram tabulados no *software* Microsoft Excel para análise dos dados.

3.3.2 Dados de saúde obtidos do Boletim Epidemiológico da Gripe da Secretaria Municipal da Saúde de Curitiba

O Boletim Epidemiológico da Gripe é elaborado pelo Centro de Epidemiologia e Núcleo de Monitoramento e Avaliação e publicado anualmente no *website* da Secretaria Municipal da Saúde de Curitiba (<https://bit.ly/3jBPg0y>). Esse documento

visa fornecer informações sobre notificações e atendimentos por doenças respiratórias das unidades municipais de saúde e dos hospitais públicos e privados (CURITIBA, 2019).

Por meio do acesso a esse boletim, realizou-se a coleta de dados referentes aos atendimentos por doenças respiratórias realizados nas unidades de saúde de Curitiba, com periodicidade mensal, entre os anos de 2014 a 2019. Esses foram tabulados no *software* Microsoft Excel para análise. Destaca-se que, ao contrário dos dados do DATASUS, esse boletim não separa os dados por faixa etária e sexo.

3.4 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA QUALIDADE DO AR NA SAÚDE DA POPULAÇÃO POR MEIO DO SOFTWARE AIRQ+

Para a avaliação dos efeitos de mudanças na qualidade do ar na saúde da população de Curitiba utilizou-se o *software* AirQ+ (WHO, 2019), desenvolvido pela OMS. Os resultados obtidos com o *software* AirQ+ são baseados em estudos epidemiológicos com revisões disponíveis até o ano de 2013 e também em suas metanálises (WHO, 2019; MUDU, GAPP e DUNBAR, 2018).

O *software* é gratuito e o *download* pode ser feito através do *website* do escritório regional da OMS na Europa (<http://bit.ly/3r9wyc7>). A versão utilizada nesse estudo é a 2.0 (para o sistema operacional Windows), que foi lançada em novembro de 2019 (WHO, 2019) e possibilita análise da qualidade do ar externo e interno. Neste estudo o foco foi a qualidade do ar externo. Os dados de entrada do *software* foram:

- Dados da qualidade do ar – os parâmetros escolhidos para análise foram o MP₁₀ e MP_{2,5}, por estarem relacionados a uma série de problemas de saúde;
- Dados da população de Curitiba – população total e a distribuição da população por faixa etária de acordo com o sexo, obtidos a partir do *website* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019);
- Dados de saúde (mortalidade por: todas as causas de mortalidade, doenças do aparelho circulatório, doenças do aparelho respiratório, doença cardíaca pulmonar e da circulação pulmonar, neoplasia maligna dos brônquios e dos pulmões);
- Valores de risco relativo – calculados conforme equações mostradas no QUADRO 17, que foram obtidas a partir do QUADRO 12, sendo X a

concentração do poluente no período de estudo, RR o risco relativo e X_0 a concentração de corte, por exemplo, o padrão de qualidade de ar da Resolução CONAMA n.º 491/2018 e a diretriz da OMS.

QUADRO 17 – EQUAÇÕES UTILIZADAS NO CÁLCULO DO RISCO RELATIVO.

Efeito	Exposição	Poluente	Equação
Mortalidade por câncer de pulmão	Longo prazo	MP _{2,5}	$RR = \left(\frac{X + 1}{X_0 + 1}\right)^{0,23218}$
Mortalidade por doenças cardiorrespiratórias	Longo prazo	MP _{2,5}	$RR = \left(\frac{X + 1}{X_0 + 1}\right)^{0,15515}$
Mortalidade (considerando todas as causas)	Curto prazo	MP ₁₀	$RR = e^{0,0008(X-X_0)}$
Mortalidade por doenças respiratórias.	Curto prazo	MP ₁₀	$RR = e^{0,00166(X-X_0)}$

3.5 DEFINIÇÃO DE CENÁRIOS PARA AVALIAR A REDUÇÃO DE PROBLEMAS DE SAÚDE EM FUNÇÃO DA MELHORA NA QUALIDADE DO AR

Com o objetivo de avaliar a influência da qualidade do ar no número de internações e mortalidades por problemas de saúde relacionados à concentração de partículas inaláveis em suspensão na atmosfera no município de Curitiba/PR foram propostos cenários de análise, conforme é mostrado no QUADRO 18.

Os cenários analisados foram definidos com base nos dados de risco relativo, de saúde e de qualidade do ar disponíveis. Portanto, foi possível analisar a relação entre a exposição em longo prazo ao poluente MP_{2,5} e a mortalidade por câncer dos brônquios e do pulmão e por doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar, a relação entre a exposição em curto prazo ao poluente MP₁₀ e a mortalidade (considerando todas as causas) e a mortalidade por doenças respiratórias.

Cada um desses cenários foram avaliados em função de duas hipóteses de melhoria na qualidade do ar, a primeira delas que considera o atendimento aos padrões legais de qualidade do ar, definidos pela Resolução SEMA n.º 016/2014 (PARANÁ, 2014) e pela Resolução CONAMA n.º 491/2018 (BRASIL, 2018), e a segunda que considera o atendimento as diretrizes da Organização Mundial da Saúde publicadas em 2021 (WHO, 2021).

QUADRO 18 – CENÁRIOS PARA AVALIAR A REDUÇÃO DE PROBLEMAS DE SAÚDE EM FUNÇÃO DA MELHORIA NA QUALIDADE DO AR.

Cenários		Cenário I	Cenário II	Cenário III	Cenário IV
Efeito		Mortalidade por câncer dos brônquios e do pulmão na população com 30 anos ou mais	Mortalidade por doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar	Mortalidade (considerando todas as causas)	Mortalidade por doenças respiratórias
Exposição		Longo Prazo		Curto Prazo	
Poluente		MP _{2,5}		MP ₁₀	
Período		2014 a 2018		2016 a 2017	
Dados de Saúde		Taxa de mortalidade por câncer dos brônquios e do pulmão (DATASUS, 2020)	Taxa de mortalidade por doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar (DATASUS, 2020)	Taxa de mortalidade (DATASUS, 2020)	Taxa de mortalidade por doenças respiratórias (DATASUS, 2020)
Dados da Qualidade do Ar		Concentração média anual de MP _{2,5} (INPE, 2020)		Concentração média diária de MP ₁₀ (IAT, 2020)	
Melhorias na qualidade do ar	Hipótese I	Atendimento aos padrões de qualidade do ar estabelecidos pela legislação estadual (PARANÁ, 2014) e pela legislação nacional (BRASIL, 2018). ⁽¹⁾			
	Hipótese II	Atendimento às diretrizes de qualidade do ar estabelecidas em 2021 pela OMS (WHO, 2021).			
Notas:					
(1) A Resolução SEMA n.º 016/2014 não estabelece padrões para o poluente MP _{2,5} .					

FONTE: A autora (2022).

4 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A área de estudo de caso abrange o município de Curitiba, localizado ao leste do Estado do Paraná, sendo capital desse, e ao sul do Brasil, conforme ilustrado na FIGURA 2.

FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CURITIBA NO ESTADO DO PARANÁ E NO BRASIL.



FONTE: Adaptado de IPPUC (2012).

Curitiba é constituída por 75 bairros e possui uma população, com base no censo de 2010, de 1.751.907 habitantes em uma área de 434,892 km². Em 2019, a estimativa populacional era de 1.948.626 habitantes (IBGE, 2019; CURITIBA, 2020a). A TABELA 1 mostra a distribuição da população por faixa etária, de acordo com o sexo, com base no ano de 2010 (IBGE, 2010).

TABELA 1 – DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO DE CURITIBA POR FAIXA ETÁRIA E SEXO.

Faixa etária	Homens	Mulheres	Total
Mais de 100 anos	43	97	140
95 a 99 anos	167	536	703
90 a 94 anos	630	1.943	2.573
85 a 89 anos	2.404	5.288	7.692
80 a 84 anos	5.594	10.542	16.136
75 a 79 anos	9.364	15.272	24.636
70 a 74 anos	14.126	20.330	34.456
65 a 69 anos	19.615	26.345	45.960
60 a 64 anos	28.967	36.826	65.793
55 a 59 anos	39.047	47.963	87.010
50 a 54 anos	48.048	58.683	106.731
45 a 49 anos	56.039	66.648	122.687
40 a 44 anos	61.693	68.688	130.381
35 a 39 anos	66.109	71.894	138.003
30 a 34 anos	75.240	79.990	155.230
25 a 29 anos	81.266	84.484	165.750
20 a 24 anos	78.657	79.897	158.554
15 a 19 anos	70.051	69.461	139.512
10 a 14 anos	66.150	63.843	129.993
5 a 9 anos	57.263	54.785	112.048
0 a 4 anos	54.642	53.277	107.919
Total	835.115	916.792	1.751.907

FONTE: Adaptado de IBGE (2010).

Em 2010, aproximadamente 13% da população era composta por crianças (de zero a 10 anos de idade) e 11% por pessoas com mais de 60 anos. Observa-se que 52% da população era formada por pessoas do sexo feminino e 48% por pessoas do sexo masculino.

4.1 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

A economia do município é diversificada, apresentando regiões industriais, como a Cidade Industrial de Curitiba (CIC); centros urbanos, onde há grande presença de atividades comerciais e de serviços; e os bairros residenciais (IPARDES, 2020). Essa dinâmica econômica favorece a presença de fontes de poluição atmosférica na região, tanto móveis, como fixas (IAP, 2016).

O QUADRO 19 mostra a comparação das emissões industriais e veiculares exclusivas do município de Curitiba e da Região Metropolitana de Curitiba (RMC), que é composta por 29 municípios, entre eles Araucária, que é um significativo polo industrial na região. Os dados se referem ao ano de 2011.

QUADRO 19 – COMPARAÇÃO DAS EMISSÕES INDUSTRIAIS E VEICULARES NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA.

Poluente		Material Particulado		Óxidos de Enxofre		Monóxido de Carbono		Óxidos de Nitrogênio	
		Industrial	Veicular	Industrial	Veicular	Industrial	Veicular	Industrial	Veicular
Emissões (t/ano)	Curitiba	2.035	793	172	554	10.105	62.457	1.508	5.525
	RMC	10.564	1.563	23.904	898	34.078	132.991	24.759	10.729

FONTE: GRAUER (2013).

Para a região metropolitana as concentrações dos poluentes óxidos de enxofre (SO_x), material particulado (MP) e óxidos de nitrogênio (NO_x) são influenciadas principalmente pelas atividades industriais. Sendo que apenas para o monóxido de carbono ocorre a predominância da influência das emissões veiculares. Quando se observa exclusivamente o município de Curitiba – que possui a maior frota de veículos do Paraná – nota-se que há uma alteração nesse cenário, ocorrendo à predominância das emissões veiculares para os poluentes SO_x, CO e NO_x (GRAUER, 2013).

Em 2011, a frota veicular do Paraná era composta por 5.426.699 veículos, sendo que Curitiba possuía 1.255.820 veículos, o que equivalia a 23% da frota veicular do Paraná (DETRAN PR, 2011). Em 2019, a frota do Estado passou para 7.214.384 veículos e a de Curitiba para 1.416.388 veículos, representando 20% da frota do Estado (DETRAN PR, 2019). Logo, observa-se que entre os anos de 2011 e 2019 houve um aumento de 13% da frota veicular do município de Curitiba. Por meio desse aumento, espera-se um aumento das emissões atmosféricas.

É importante que estudos futuros foquem na elaboração de um inventário de emissões atmosféricas atualizado para Curitiba e para o Paraná, para a correta gestão da qualidade do ar, corroborando para a definição da rede de monitoramento de qualidade do ar do Estado, assim como para a tomada de ações efetivas de minimização e prevenção da poluição do ar.

4.2 CLIMA

O município de Curitiba está localizado no primeiro Planalto do Estado do Paraná, registrando um clima subtropical e úmido, com temperaturas médias de 21 °C no verão e de 13 °C no inverno (INMET, 2018; CURITIBA, 2020a). A pluviosidade média anual é de 1.452,5 mm (considerando o período de 1921 a 2019), com precipitações ocorrendo durante o ano inteiro, sendo que os meses de verão são

aqueles que apresentam maiores intensidades (CURITIBA, 2020a; FOGGIATO, 2020).

A TABELA 2 mostra os dados de precipitação com periodicidade mensal para os anos de 2014 a 2020. Estes dados foram obtidos a partir da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia localizada em Curitiba (INMET, 2020).

TABELA 2 – PRECIPITAÇÃO ACUMULADA MENSAL E ANUAL PARA O PERÍODO DE 2014 A 2020 PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA.

Meses	Precipitação acumulada (mm)						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Janeiro	243	173	178	205	353	197	209
Fevereiro	114	245	312	89	98	286	111
Março	212	197	99	50	328	66	15
Abril	76	54	141	74	23	119	21
Mai	88	117	158	104	26	246	27
Junho	200	82	119	182	91	74	144
Julho	27	177	119	06	04	12	31
Agosto	Dados não disponíveis	26	163	97	47	50	136
Setembro		109	89	43	67	137	45
Outubro		229	179	231	279	91	121
Novembro	115	231	110	134	73	99	212
Dezembro	150	261	82	172	84	71	166
Total	1.225	1.901	1.749	1.387	1.473	1.448	1.238

FONTE: Adaptado de INMET (2020).

As chuvas são bem distribuídas ao longo do ano, sendo que os meses com maiores valores de precipitação acumulados mensais são os meses de verão, e que os meses de inverno, em geral, registram os menores acúmulos. Para o período de dados analisado, o ano de 2015 foi o que apresentou o maior acúmulo anual com uma precipitação total de 1.901 mm. O ano de 2020 foi o que apresentou o menor acúmulo, registrando uma precipitação total igual a 1.238 mm. Não há registro de dados para os meses de agosto a outubro de 2014, pois a estação encontrava-se fora de operação, provavelmente para manutenção do sistema.

Segundo Foggiato (2020), em julho de 2019 deu-se início a um período de seca no município de Curitiba, esse se agravou em março de 2020, mês cujo volume de chuvas foi de apenas 15 mm. Embora nos meses de janeiro, junho e agosto tenham chovido significativamente, as precipitações ocorreram de formas isoladas e em poucos dias chuvosos.

A precipitação é um fenômeno meteorológico importante para a interpretação dos resultados de monitoramentos ambientais, como o da qualidade do ar, por

exemplo, pois ela é a principal responsável pelo processo de deposição úmida, que nada mais é que a remoção de poluentes do ar devido à aglutinação destes poluentes pela água da chuva. Além disso, a chuva umedece o solo, o que dificulta a ressuspensão de partículas nele depositadas. Desta forma, a chuva funciona como um mecanismo natural de remoção de poluentes atmosféricos e de controle de emissão de poluentes por ressuspensão.

4.3 AÇÕES PARA REDUÇÃO DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

No Paraná, o Plano de Controle de Emissões Atmosféricas, elaborado em atendimento ao artigo 5º da Resolução CONAMA n.º 491/2018, estabelece as diretrizes e metas a serem alcançadas no período de 2021 a 2023, visando a redução das emissões atmosféricas no estado. De acordo com o IAT (2022b), devido ao considerável número de fontes fixas enquadradas no monitoramento obrigatório de gases de combustão, há um projeto para a aquisição de analisadores de gases de combustão para amostragem *in loco*, que serão distribuídos entre as regionais do IAT que apresentam os maiores polos industriais, possibilitando a fiscalização e o monitoramento por parte do órgão ambiental. Além disso, foram propostas as ações mostradas no QUADRO 20.

QUADRO 20 – AÇÕES E PRAZOS PROPOSTOS NO PLANO DE CONTROLE DE EMISSÕES ATMOSFÉRICAS DO PARANÁ.

Proposta de atuação	Prazo		
	Ano 2021	Ano 2022	Ano 2023
Ações junto aos escritórios regionais orientando sobre análise de processos de emissões atmosféricas.	x	x	
Descentralizar a responsabilidade sobre a fiscalização de poluentes atmosféricos.	x	x	
Autonomia para que os escritórios regionais realizem as fiscalizações de emissões atmosféricas, inclusive com aferimento dos gases de combustão emitidos.	x	x	
Implantar novas ferramentas de orientação, fiscalização e monitoramento (equipamentos de monitoramento aéreo, tecnologias de informação e comunicação).			x
Integrar totalmente o Sistema de Gestão Ambiental (SGA) ao Sistema de Declaração de Emissões Atmosféricas (DEA).	x	x	
Manter o sistema funcionando regularmente, implantando ferramentas de automatização.	x	x	x
Ampliar a rede de monitoramento da qualidade do ar, sendo possível o integral cumprimento dos parâmetros prioritários e obrigatórios de monitoramento.		x	x
Aquisição de analisadores para MP _{2,5} e substituição de estações com mais de 10 anos de operação.		x	x

FONTE: IAT (2022b).

As ações propostas no Plano de Controle de Emissões Atmosféricas são importantes para a gestão das emissões atmosféricas no estado. A compra de analisador de MP_{2,5}, por exemplo, trará informações acerca da quantificação de uma das substâncias mais prejudiciais para a saúde da população. Com isso, o estado terá informações para definir ações visando o controle e conseqüentemente a minimização dessas emissões.

Em Curitiba, há ações que visam manter a qualidade do ar boa. Entretanto, os resultados dos monitoramentos apontam que ainda há muito a ser feito para que os níveis de MP_{2,5} se aproximem da diretriz atualizada da OMS. Em 2020, o município lançou o Plano Municipal de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas de Curitiba (PlanClima), com foco no enfrentamento às mudanças climáticas, mas que acaba impactando positivamente na qualidade do ar, visto que conta com ações tanto de melhorias ambientais quanto de uso de energia limpa, uso racional de água e redução de emissão de poluentes atmosféricas (CURITIBA, 2020b).

Entre os projetos de melhorias ambientais está o Cem Mil Árvores, que consiste na recomposição da vegetação nativa, com o plantio de 100 mil árvores por ano (CURITIBA, 2022). Segundo Diner e Mudu (2021), áreas verdes podem melhorar significativamente a qualidade do ar nos centros urbanos, visto que a vegetação interfere nos processos de deposição e dispersão dos poluentes atmosféricos, além de ser capaz de reter e absorver alguns tipos de poluentes. De acordo com Moreira (2010), para que a vegetação seja capaz de exercer a função de barreira protetora de poluentes atmosféricos ela deve possuir uma alta densidade e diversas alturas de árvores. Além disso, algumas espécies podem ser utilizadas para o biomonitoramento da qualidade do ar. Silva et al. (2021) afirmam que, desde que sejam plantadas em locais estratégicos, a presença de árvores reduz a concentração de poluentes nas regiões das calçadas, trazendo benefícios para a saúde da população.

Há também o programa Curitiba Mais Energia, com foco no incentivo ao uso de energia limpa no município. Esse já foi responsável pela implantação de painéis fotovoltaicos na sede da prefeitura, no Salão de Atos do Parque Barigui, na Galeria das Quatro Estações do Jardim Botânico e pela instalação da Central Geradora Hidrelétrica Nicolau Kluppel, que gera energia na queda d'água do Parque Barigui. Há ainda projetos para instalação da Pirâmide Solar do Caximba no aterro sanitário desativado e de painéis solares em terminais de ônibus e na rodoferroviária (CURITIBA, 2021a).

Outro projeto em andamento em Curitiba é relativo à mobilidade urbana. Esse busca a melhoria da infraestrutura de calçadas e ciclovias e a modernização de linhas de transporte público do município, como o Inter 2 e do BRT Leste-Oeste, nas quais passarão a ser utilizados ônibus elétricos (CURITIBA, 2021b). Essas ações irão impactar na redução de emissões de poluentes atmosféricos provenientes dos combustíveis fósseis e, conseqüentemente, na qualidade do ar.

Reafirma-se que a exposição da população aos poluentes atmosféricos é um fator de risco para a saúde e que a redução dos níveis desses poluentes na atmosfera deve estar na pauta dos gestores públicos responsáveis pelo tema. De acordo com Arbex et al. (2012), caso não seja possível reduzir as emissões em curto ou médio prazo, a população deve ser orientada quanto à adoção de medidas preventivas que busquem reduzir os efeitos dos poluentes presentes nos ambientes externos e internos, diminuindo os efeitos adversos relacionados a essa exposição, principalmente na população de maior risco, como idosos, crianças e pessoas com doenças pré-existentes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS DE QUALIDADE DO AR DA CIDADE DE CURITIBA

As médias anuais dos dados de qualidade do ar, para o município de Curitiba, com base nos dados diários disponibilizados pelo IAT (PASINI, 2020; CAVALCANTI, 2020; IAP, 2016; IAP, 2015) são mostradas na TABELA 3. Algumas das estações estavam inoperantes no período entre os anos de 2018 e 2020, diminuindo a disponibilidade de dados para análise da qualidade do ar na cidade de Curitiba. Até o presente não há informações sobre a previsão de retomada do monitoramento desses poluentes nesses pontos.

TABELA 3 – MÉDIAS ANUAIS DOS DADOS DE QUALIDADE DO AR DAS ESTAÇÕES AUTOMÁTICAS DE MONITORAMENTO DO IAT.

Estação	Poluente	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Boqueirão (BOQ)	MP ₁₀	14 µg/m ³	11 µg/m ³	9 µg/m ³	13 µg/m ³ (1)	Dados não disponíveis	Estação inoperante	
	O ₃	Dados não disponíveis		30 µg/m ³	32 µg/m ³	28 µg/m ³ (2)		
Cidade Industrial de Curitiba (CIC)	NO ₂	20 µg/m ³	22 µg/m ³	21 µg/m ³	13 µg/m ³	17 µg/m ³	Dados não disponíveis	32 µg/m ³ (3)
Ouvidor Pardinho (PAR)	MP ₁₀	15 µg/m ³	13 µg/m ³	14 µg/m ³	14 µg/m ³ (4)	Estação inoperante		
	O ₃	Dados não disponíveis		26 µg/m ³	28 µg/m ³ (5)			
	NO ₂	24 µg/m ³	20 µg/m ³	23 µg/m ³	17 µg/m ³ (6)			
Santa Cândida (STC)	O ₃	Dados não disponíveis		34 µg/m ³	30 µg/m ³ (7)	Estação inoperante		
	NO ₂	12 µg/m ³	10 µg/m ³	11 µg/m ³	13 µg/m ³ (8)			
Notas:								
(1) Dados referentes até o dia 31/10/2017;								
(2) Dados referentes até o dia 27/04/2018;								
(3) Dados referentes até o dia 29/07/2020;								
(4) Dados referentes até o dia 14/02/2017;								
(5) Dados referentes até o dia 19/09/2017;								
(6) Dados referentes até o dia 08/03/2017;								
(7) Dados referentes até o dia 10/08/2017.								

FONTE: A autora com base em PASINI (2020); CAVALCANTI (2020); IAP (2016); IAP (2015).

Ao analisar os resultados mostrados na TABELA 3 verifica-se que o último ano com dados representativos, em termos de escala espacial e temporal, para o município foi 2016. Cabe destacar que até o final desse ano o órgão ambiental tinha um contrato com o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC, que

era responsável por operar e executar a manutenção dessas estações. Ao final desse contrato a responsabilidade ficou com o próprio órgão ambiental. De acordo com o IAT (2022b), as estações PAR e BOQ estão no aguardo de aprovação de recursos para aquisições e modernizações, tendo em vista a depreciação natural do tempo de vida dos equipamentos.

Ao avaliar o número de estações operantes no período do deste estudo, verificou-se que a única em funcionamento é a CIC, que é mantida pela Petrobras em acordo de cooperação realizado como parte do processo de licenciamento ambiental. Logo, a Diretiva Europeia 2008/50/CE (CE, 2008) não estava sendo atendida, visto que a recomendação é que para municípios com população entre 1,50 e 1,99 milhões, o número mínimo de estações em funcionamento deve ser de duas a sete, a depender da capacidade de suporte da atmosfera e dos parâmetros amostrados. Além disso, destaca-se que não foram monitorados todos os parâmetros contemplados na Resolução CONAMA n.º 491/2018 (BRASIL, 2018) e nas diretrizes da OMS (WHO, 2021), estando ausente na estação CIC, por exemplo, o monitoramento dos poluentes CO, O₃, SO₂, MP₁₀ e MP_{2,5}, que são importantes na análise dos impactos da poluição atmosférica na saúde da população. Outro ponto importante é que a concentração de NO₂ praticamente dobrou de 2018 (17 µg/m³) para 2020 (32 µg/m³) na estação CIC, o que leva a questionamentos sobre o comportamento dos demais poluentes. Portanto, esse cenário reforça a necessidade da reestruturação da rede de qualidade do ar do município, pois a indisponibilidade de dados representativos e confiáveis prejudica a correta gestão da poluição atmosférica. Segundo o IAT (2022b), a aquisição de analisadores de MP_{2,5} para o atendimento aos requisitos da Resolução CONAMA n.º 491/2018 já tem projeto apresentado ao governo para obtenção de recursos.

Vormittag et al. (2021) reforça a importância do monitoramento da qualidade do ar, pois esse mensura as concentrações dos poluentes atmosféricos, gera dados sobre as condições atuais da qualidade do ar, constrói um histórico de dados e habilita os tomadores de decisão a planejar ações e políticas públicas no sentido de assegurar a boa qualidade do ar.

Quanto aos resultados, verifica-se que para as estações BOQ e PAR as concentrações médias anuais de MP₁₀ atenderam ao padrão intermediário I (40 µg/m³) e ao padrão final (20 µg/m³) da Resolução CONAMA n.º 491/2018. Em relação a diretriz da OMS publicada em 2021, que estabelece um valor de referência anual de

15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, os últimos resultados disponíveis, referentes ao ano de 2017, também atenderam, porém bem próximos ao valor guia, assumindo o valor de 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação BOQ e de 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na estação PAR. Apesar dos resultados estarem de acordo com as referências internacionais e padrões legais, deve-se ressaltar que o município está há quatro anos sem informações da concentração de MP_{10} na atmosfera, acendendo um sinal de alerta, visto que esse poluente, junto do $\text{MP}_{2,5}$ e do $\text{MP}_{0,1}$ (que não são contemplados na rede de monitoramento do município), é um dos principais causadores de impactos na saúde humana. Segundo o Ministério da Saúde (2021) as partículas inaláveis grossa (MP_{10}), fina ($\text{MP}_{2,5}$) e ultrafina ($\text{MP}_{0,1}$) podem causar efeitos na saúde mediante exposição de curto prazo ou exposição crônica, sendo problemas respiratórios, cardiovasculares e de câncer de pulmão atribuídos a este poluente.

O ozônio era monitorado nas estações BOQ, PAR e STC. Apesar da TABELA 3 apresentar as médias anuais para esse parâmetro, deve-se destacar que a legislação nacional e as diretrizes da OMS não estabelecem valores para exposição de longo prazo em termos de médias anuais. A avaliação desse parâmetro é feita com base em resultados de curto prazo, mais especificamente em médias móveis de 8 horas, sendo o limite igual a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (BRASIL, 2018; WHO, 2021).

O parâmetro NO_2 era monitorado nas estações PAR e STC e atualmente é monitorado apenas na estação CIC. Os resultados das concentrações médias anuais de NO_2 atendem ao padrão intermediário I (60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) e o padrão final (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) da Resolução CONAMA n.º 491/2018 para todas as estações e para todos os anos monitorados. Porém, ao comparar os resultados da TABELA 3 com as diretrizes da OMS publicadas em 2021, observa-se que todos os valores estão acima do valor de referência de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, que é quatro vezes menor ao valor estabelecido pela instituição em 2005. Os valores estabelecidos pela OMS não apresentam valor legal a nível nacional, entretanto servem de referência para condução das políticas públicas nacionais sobre saúde, já que os valores de referência indicam concentrações ambientais abaixo das quais não se esperam efeitos adversos ou efeito indireto significativo à saúde. Logo, os resultados reforçam a necessidade de uma revisão da gestão da qualidade do ar no município, em termos de disponibilidade de dados, mas também em relação as ações adotadas para minimizar a concentração de poluentes na atmosfera e conseqüentemente os efeitos na saúde da população.

O GRÁFICO 1 apresenta as concentrações médias diárias de MP_{10} para as estações BOQ e PAR considerando o período de 2016 a 2020. Conforme a TABELA 3 essas são as únicas estações onde ocorreram o monitoramento desse parâmetro. Nota-se que para a estação PAR a disponibilidade de dados do poluente MP_{10} é até 14 de fevereiro de 2017 e para a estação BOQ é até 31 de outubro de 2017. Ao comparar os resultados obtidos com os padrões de qualidade do ar, observa-se que não há ultrapassagens em termos do PI-1 da Resolução CONAMA n.º 491/2018, que é igual a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Entretanto, há ultrapassagem para o PF da referida Resolução, que é igual a $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, condizente com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde de 2005, e também há ultrapassagem do valor de referência da OMS estabelecido em 2021, que é igual a $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

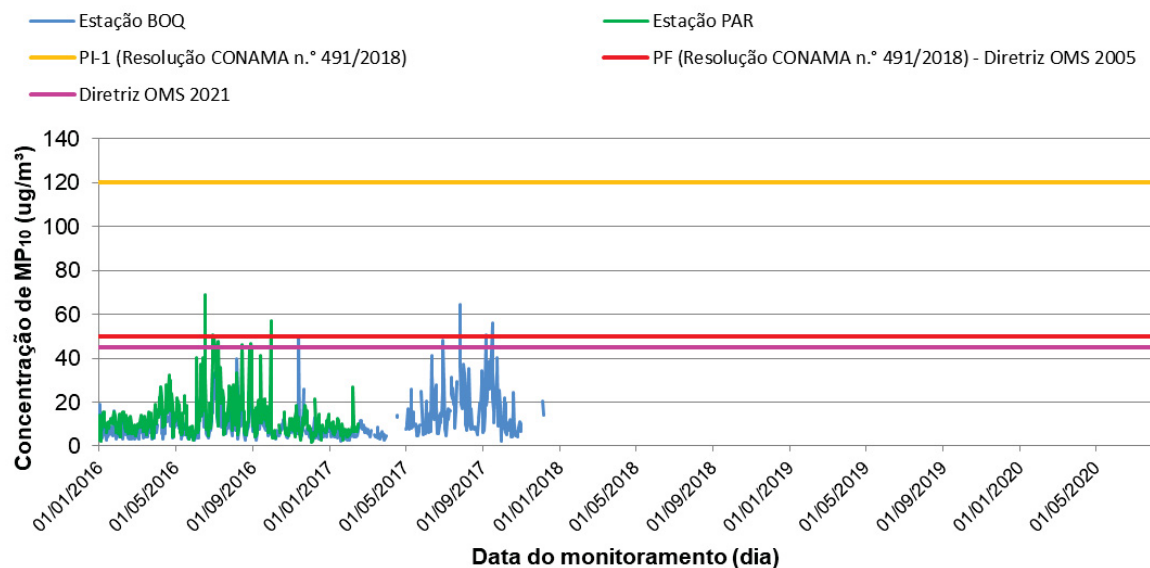


GRÁFICO 1 – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DIÁRIAS PARA O PARÂMETRO MP_{10} NAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DO AR BOQ E PAR E COMPARAÇÃO COM OS PADRÕES.

FONTE: A autora com base em PASINI (2020); CAVALCANTI (2020).

Ressalta-se que os últimos dados disponíveis para o parâmetro MP_{10} referem-se ao ano de 2017 e que, portanto, são mais de quatro anos sem dados sobre a concentração desse poluente na cidade de Curitiba. Essa falta de dados causa preocupação, pois não permite que haja a adequada análise da qualidade do ar no município. Isso prejudica a preposição de medidas e ações de minimização e controle da poluição atmosférica e também a elaboração de outros estudos sobre o tema, como a análise da relação da exposição a esse poluente e os problemas de saúde na

população. É essencial que o governo do Estado, responsável pelas estações de monitoramento do IAT, adote medidas para retomar o monitoramento da qualidade do ar em Curitiba.

A TABELA 4 mostra o detalhamento das ultrapassagens do PF da Resolução CONAMA n.º 491/2018 e da diretriz da OMS estabelecida em 2021 para ambas as estações.

TABELA 4 – ULTRAPASSAGENS DO PF PARA MÉDIA DIÁRIA NAS ESTAÇÕES BOQ E PAR DO IAT, CONSIDERANDO O PARÂMETRO MP₁₀.

Estação	Data	Concentração (µg/m ³)	PF da Resolução CONAMA 491/2018 / Diretriz da OMS 2005	Diretriz da OMS 2021
Boqueirão (BOQ)	26/07/2017	64,48	50 µg/m ³	45 µg/m ³
	05/09/2017	50,54		
	15/09/2017	56,25		
Ouidor Pardinho (PAR)	16/06/2016	68,91		
	29/06/2016	50,80		
	29/09/2016	57,23		

FONTE: A autora com base em PASINI (2020); CAVALCANTI (2020).

Analisando a TABELA 4, observa-se que para a estação BOQ os valores de concentração, para média diária, estavam entre aproximadamente 1% e 29% acima do PF da Resolução CONAMA n.º 491/2018, em relação a diretriz de 2021 da OMS os resultados estavam entre 12 e 43% acima. Já para a estação PAR, os valores das concentrações médias diárias estavam entre aproximadamente 2% e 38% acima do PF e entre 13 e 53% acima da diretriz de 2021 da OMS. A estação PAR está localizada em uma praça na região central de Curitiba, onde há uma unidade de saúde do SUS, logo, os valores elevados atingem pessoas que já estão em busca de tratamento médico. Segundo Myllyvirta (2020), Drum et al. (2014) e Olmo e Pereira (2011) essas concentrações poderiam agravar problemas de saúde, como o aumento de sintomas respiratórios, a diminuição da função pulmonar em crianças, o aumento e piora dos sintomas de asma e o aumento de internações hospitalares.

A TABELA 5 mostra as médias mensais da concentração de MP₁₀ nas estações BOQ e PAR. Apesar de não haver padrões de qualidade do ar para médias mensais, esses dados corroboram para a análise das variações ao longo dos meses, levando em conta a influência das condições climáticas típicas de cada uma das estações do ano.

Os meses de junho a setembro são os que apresentam as maiores concentrações médias (11 a 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Esses são meses de inverno, onde as condições climáticas dificultam a dispersão atmosférica dos poluentes e favorecem a formação de fenômenos como a inversão térmica. A baixa umidade do ar e as baixas temperaturas favorecem o ressecamento das mucosas aéreas e a proliferação de bactérias, agravando problemas respiratórios em crianças, idosos e pessoas com problemas pré-existentes (USP, 2017; BRAGA, PEREIRA e SALDIVA, 2005).

A estação PAR possui concentrações superiores às registradas pela estação BOQ, isso ocorre devido a localização da mesma, que fica instalada em uma área central do município, próximo a vias com tráfego intenso. Enquanto a estação BOQ está exposta a uma quantidade menor de fontes móveis de emissão.

TABELA 5 – MÉDIAS MENSAIS DO PARÂMETRO MP_{10} NAS ESTAÇÕES BOQ E PAR DO IAT.

Ano		2016		2017	
Estação		BOQ	PAR	BOQ	PAR
Concentração Média Mensal de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Janeiro	7	10	5	7
	Fevereiro	6	9	7	9 ⁽¹⁾
	Março	6	10	5	Dados não disponíveis. Estação inoperante.
	Abril	12	17	14	
	Maio	7	10	10	
	Junho	13	21	17	
	Julho	14	22	20	
	Agosto	15	20	15	
	Setembro	11	16	24	
	Outubro	7	7	10	
	Novembro	9	10	Dados não disponíveis. Estação inoperante.	
	Dezembro	7	8		

Notas:

(1) Dados referentes até o dia 14/02/2017.

FONTE: A autora com base em PASINI (2020); CAVALCANTI (2020).

O GRÁFICO 2 mostra as concentrações médias diárias de NO_2 . Destaca-se que esse parâmetro foi quantificado nas estações PAR e STC até o ano de 2017, sendo monitorado atualmente apenas na estação CIC. A legislação nacional estabelece padrões para o NO_2 com base na média horária e anual, portanto, não há padrões nacionais de qualidade do ar em termos de médias diárias para esse poluente. Entretanto, a diretriz da OMS publicada em 2021, além dos valores guias para médias horárias e anuais, estabeleceu um valor de referência de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para médias diárias considerando o percentil 99, o que permite que esse valor seja

excedido de três a quatro vezes no ano. Entretanto, a partir da análise dos dados mostrados no GRÁFICO 2, verifica-se que esse valor foi ultrapassado com frequência nos pontos e períodos monitorados.

Em relação aos dados da estação CIC, que está localizada em uma região industrial, observa-se que em comparação com os anos de 2016 a 2018, com exceção do pico registrado em junho de 2016, as concentrações monitoradas a partir de junho de 2020 são maiores. Não há registros do que pode ter influenciado esses resultados, já que o Relatório Anual da Qualidade do ar em Curitiba e Região Metropolitana – Ano Base 2020 não foi divulgado pelo Instituto Água e Terra. Além disso, a ausência de dados em outras estações e para os períodos anterior e posterior ao analisado também impossibilita a análise para verificar se esse aumento é uma tendência para o município ou se foi algo pontual correlacionado com condições meteorológicas desfavoráveis a dispersão atmosférica ou até mesmo uma falha no analisador da estação.

Altas concentrações de NO₂ merecem atenção, pois segundo o Ministério da Saúde (2021), os óxidos de nitrogênio agem sobre o sistema respiratório, sendo possível causar irritações e, em altas concentrações, problemas respiratórios, inclusive edema pulmonar.

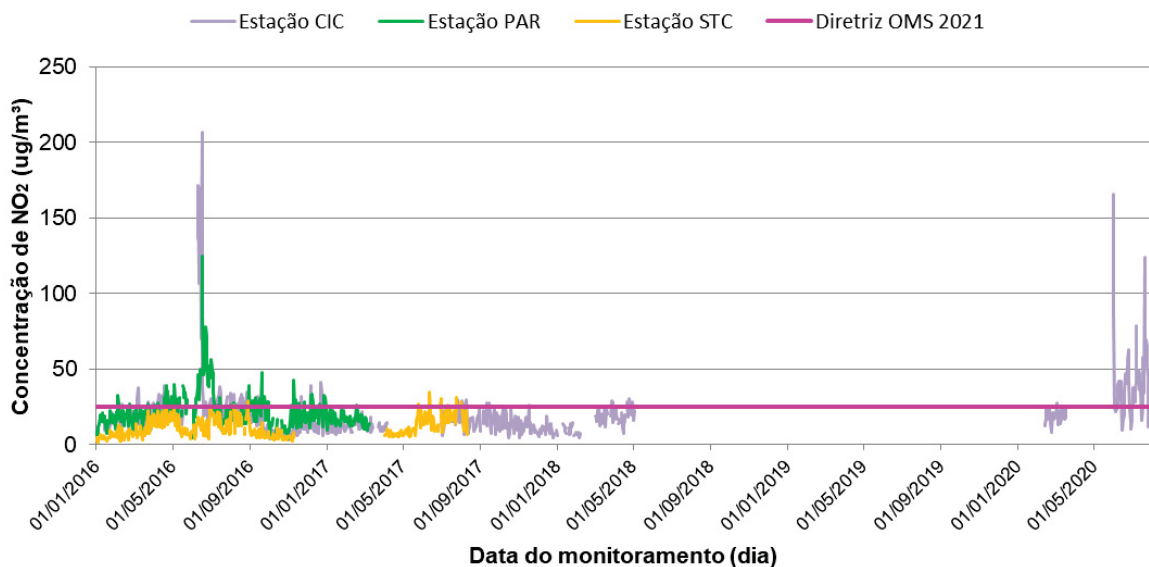


GRÁFICO 2 – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DIÁRIAS PARA O PARÂMETRO NO₂ NAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DO AR CIC, PAR E STC.
 FONTE: A autora com base em PASINI (2020); CAVALCANTI (2020).

O GRÁFICO 3 mostra as concentrações médias diárias de O₃ para estações BOQ, PAR e STC. Esse parâmetro foi monitorado até o ano de 2017 nas estações PAR e STC e até o ano de 2018 na estação BOQ. As três estações registraram concentrações de O₃ similares, com a estação PAR assumindo valores um pouco menores e a estação STC assumindo valores um pouco maiores, mas sem ultrapassar a média diária de 40 µg/m³.

O O₃ é um poluente secundário, que não é emitido diretamente por fontes móveis ou fixas. Este é formado a partir de reações fotoquímicas complexas entre dióxido de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis na presença de radiação solar, com a ocorrência significativa apenas em grandes centros urbanos. O monóxido de nitrogênio, emitido na queima de combustíveis, atua no consumo do ozônio troposférico disponível, com isso, as concentrações de ozônio tendem a serem baixas próximas a vias de tráfego (MMA, 2019). Esse fato pode justificar as concentrações mais baixas registradas na estação PAR, visto que ela está localizada na região central de Curitiba.

A Resolução CONAMA n.º 491/2018 estabelece padrões para o O₃ com base na máxima média móvel de 8 h obtida em um dia, portanto, não há padrões de qualidade do ar em termos de médias diárias. Entretanto, os dados mostrados no GRÁFICO 3 fornecem informações sobre a variabilidade desses poluentes ao longo dos dias do ano, permitindo-se que avaliem potenciais picos, assim como a variação da concentração com base nas estações do ano. Em geral, os picos tendem a ocorrer nos meses de verão e de primavera, onde há maiores níveis de radiação solar, que contribuem com as reações fotoquímicas que levam a formação do ozônio troposférico.

Segundo o Ministério da Saúde (2021) e o Instituto Água e Terra (2022) o ozônio é um poluente que pode provocar irritação nos olhos e nas vias respiratórias, agravar doenças respiratórias preexistentes, como bronquite e asma, diminuir a resistência contra infecções e reduzir a função pulmonar.

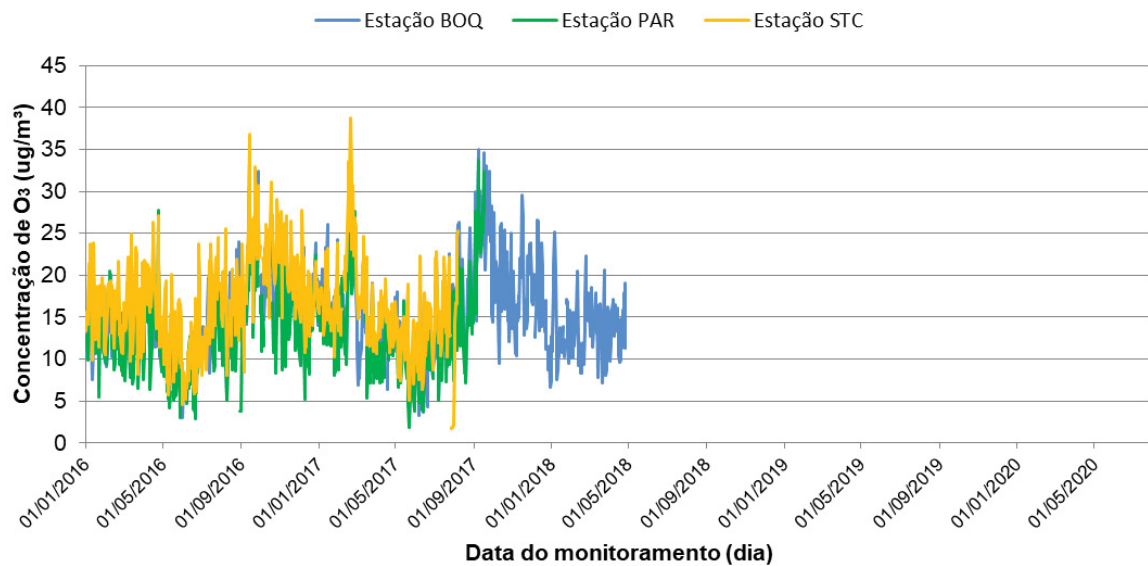


GRÁFICO 3 – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DIÁRIAS PARA O PARÂMETRO O₃ NAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DO AR BOQ, PAR E STC.
 FONTE: A autora com base em PASINI (2020); CAVALCANTI (2020).

Devido à defasagem de dados das estações de monitoramento de qualidade do ar do IAT, foram pesquisadas outras fontes de dados para o município de Curitiba. Uma das referências foi o estudo desenvolvido projeto “Curitiba, o Ar Que Você Respira – CWBreathe”, que utiliza sensores óticos de baixo custo (modelo SDS011) para o monitoramento da concentração de material particulado em suspensão no ar ambiente. O parâmetro obtido por esse projeto é o MP_{2,5}.

Estudos sobre a precisão dessa metodologia ainda estão sendo desenvolvidos pela equipe de pesquisa do projeto. De acordo com LACTEA (2020) o principal objetivo desse tipo de monitoramento é complementar as medições realizadas pelo órgão ambiental, fornecendo informações importantes acerca de potenciais fontes de emissões de poluentes atmosféricos e até mesmo contribuindo para a identificação de áreas sensíveis nas quais as medições com equipamentos mais precisos são indicadas.

O projeto teve início no final do ano de 2019 e monitora a concentração de MP_{2,5} em pontos estratégicos do município de Curitiba (indicados no ANEXO I). O GRÁFICO 4 apresenta as médias diárias, para o período de 01 de novembro de 2019 a 19 de fevereiro de 2020, para as estações Batel, Boa Vista e Mercês. Destaca-se que a estação Boa Vista começou a operar apenas em 7 de novembro de 2019. Em geral, os resultados apresentados pelas três estações são bem próximos, esse resultado era esperado visto que as três estações representam bairros, ou seja, locais

de moradia da maior parte da população e onde se espera uma menor concentração de poluentes em comparação com áreas industriais e mais centrais do município, como as estações CIC e PAR do IAT.

Para o $MP_{2,5}$ a Resolução CONAMA n.º 491/2018 estabelece padrões de qualidade do ar em termos de médias diárias e médias anuais. Em relação às médias anuais, não há como analisá-las, pois o período de dados disponível se refere há apenas quatro meses. Em relação às médias diárias, analisa-se, através do GRÁFICO 4, que não há ultrapassagens em termos do PI-1 da Resolução CONAMA n.º 491/2018, que é igual a $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, para nenhum dos pontos de monitoramento. Entretanto, há uma ultrapassagem do PF da referida Resolução, que é igual a $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e condiz com as diretrizes da Organização Mundial da Saúde de 2005. Essa ultrapassagem ocorreu no dia 11 de dezembro de 2019 no ponto localizado na Boa Vista, a concentração registrada foi igual a $34,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esse valor também foi a única ultrapassagem em relação as diretrizes da OMS publicadas em 2021, que estabelece um valor de referência de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para média diária de $MP_{2,5}$.

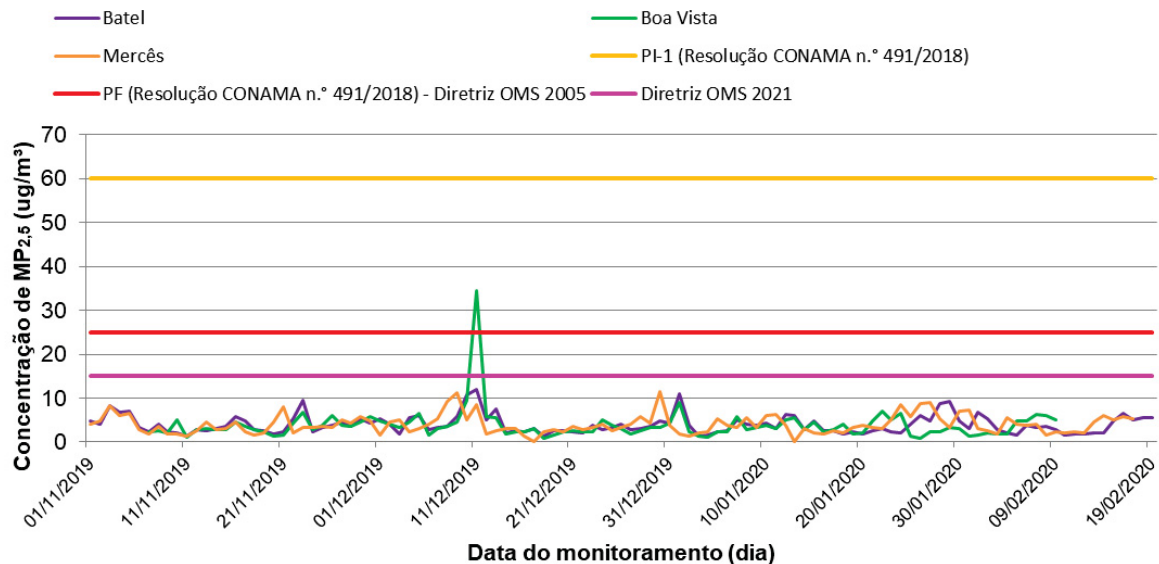


GRÁFICO 4 – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DIÁRIAS PARA O PARÂMETRO $MP_{2,5}$ NOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DO AR BATEL, BOA VISTA E MERCÊS, E COMPARAÇÃO COM OS PADRÕES.

FONTE: A autora com base em LACTEA (2020).

A fim de caracterizar a qualidade do ar do município de Curitiba, também foram coletados dados para os parâmetros CO , O_3 , NO_2 , SO_2 e $MP_{2,5}$ do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), através do Sistema de Informações Ambientais

Integrado a Saúde (SISAM). Para os poluentes gasosos são analisados os dados de 2014 a 2018, enquanto para o material particulado, além desse período, também é analisado o ano de 2019.

TABELA 6 – MÉDIAS ANUAIS DOS DADOS DE QUALIDADE DO AR OBTIDOS NO SISAM.

Poluente	Concentrações médias anuais ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						PI-1 da Resolução CONAMA n.º 491/2018	PF da Resolução CONAMA n.º 491/2018 / Diretriz OMS 2005	Diretriz OMS 2021
	2014	2015	2016	2017	2018	2019			
MP_{2,5}	11,6	11,6	11,9	11,7	17,5	15,9	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
SO₂	1,9	1,8	1,8	2,2	3,2	Dados não disponíveis no SISAM.	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO₂	4,4	4,5	4,8	5,3	6,4		60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
O₃	41,8	38,0	38,3	41,6	36,1		O CONAMA não estabelece padrões para médias anuais.		
CO	157,0	165,1	161,1	173,8	166,4				

FONTE: A autora com base em SISAM (2020).

Analisando a TABELA 6, observa-se que para os parâmetros SO₂ e NO₂ o PI-1, válido atualmente, o PF da Resolução CONAMA n.º 491 de 2018, que corresponde à diretriz da OMS de 2005, e o valor de referência estabelecido pela OMS em 2021 são atendidos para todo o período de estudo (2014 a 2018). Para o parâmetro MP_{2,5}, observa-se que apenas o PI-1 é atendido, com o PF e a diretriz da OMS de 2021 sendo ultrapassado nos seis anos em análise. Para os anos de 2014 a 2017 a ultrapassagem do PF da legislação nacional, que é igual a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, corresponde a aproximadamente 20%, enquanto nos anos de 2018 e 2019 a ultrapassagem corresponde a 75% e 59%, respectivamente. Em relação a diretriz da OMS de 2021, as ultrapassagens superam em mais 130% o valor-guia de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sendo que para o ano de 2018 a ultrapassagem é igual a 250%.

A ultrapassagem dos padrões de qualidade, assumindo valores acima das recomendações da OMS, indica o potencial agravamento dos problemas de saúde decorrentes da exposição à poluição atmosférica. Dentre os problemas ocasionados pela exposição ao material particulado estão: o aumento de sintomas respiratórios, a diminuição da função pulmonar em crianças, o aumento e piora dos sintomas de asma, o aumento de internações hospitalares, o aumento da mortalidade em pacientes com doenças cardiovasculares e pulmonares e o aumento no número de

casos de câncer de pulmão (MYLLYVIRTA, 2020; CETESB, 2017; OLMO E PEREIRA, 2011; DRUMM et al., 2014).

O GRÁFICO 5 mostra as concentrações médias diárias de MP_{2,5} para o período de 2014 a 2019, com base nos dados do SISAM.

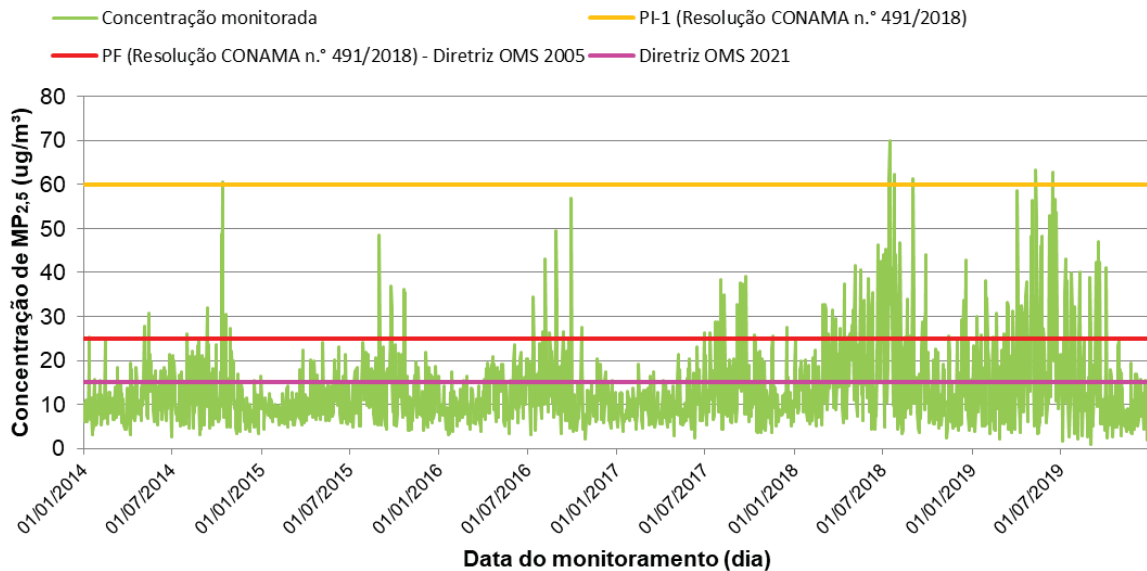


GRÁFICO 5 – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DIÁRIAS PARA O PARÂMETRO MP_{2,5} COM BASE NOS DADOS DO SISAM E COMPARAÇÃO COM OS PADRÕES.

FONTE: A autora com base em SISAM (2020).

Ao comparar os resultados obtidos com os padrões de qualidade do ar, observa-se que há ultrapassagens pontuais do PI-1 da Resolução CONAMA n.º 491/2018, que é igual a 60 µg/m³. Essas ultrapassagens ocorreram, majoritariamente, em meses de outono e inverno, nesses as condições meteorológicas prejudicam a dispersão dos poluentes na atmosfera. A TABELA 4 apresenta as datas que ocorreram essas ultrapassagens, bem como a comparação com o padrão de qualidade do ar. Constata-se que os resultados em que houve ultrapassagem do padrão ficaram entre 1,0% e 16,5% acima do valor legal de 60 µg/m³.

TABELA 7 – ULTRAPASSAGENS DO PI-1 PARA CONCENTRAÇÃO MÉDIA DIÁRIA DE MP_{2,5} COM BASE NOS DADOS DO SISAM.

Parâmetro	Data	Concentração (µg/m ³)	PI-1 da Resolução CONAMA 491/2018	Porcentagem da concentração acima do valor do PI-1
MP _{2,5}	13/10/2014	60,6	60 µg/m ³	1,0%
	14/07/2018	61,5		2,5%
	15/07/2018	69,9		16,5%
	24/07/2018	62,4		4,0%
	01/09/2018	61,3		2,2%
	11/05/2019	63,4		5,7%
	15/06/2019	62,7		4,5%

FONTE: A autora com base em SISAM (2020).

Em relação ao PF da Resolução CONAMA n.º 491/2018, que é igual a 25 µg/m³, e as diretrizes da OMS de 2021, que é igual a 15 µg/m³, houve aumento no número de ultrapassagens, principalmente nos anos de 2018 e 2019. A tendência é que essas ultrapassagens ocorram nos meses de outono e inverno. Entretanto, analisando o GRÁFICO 5, verifica-se que também ocorrem ultrapassagens em meses mais quentes do ano. Esse resultado ressalta a importância da adoção de medidas efetivas de minimização e prevenção da poluição do ar no município de Curitiba, visando à melhoria na qualidade do ar e, conseqüentemente, na saúde da população. Esse resultado é um alerta quanto aos padrões de qualidade do ar adotados atualmente no Brasil, que estão defasados em comparação com os definidos pela Organização Mundial da Saúde, dificultando o controle rigoroso dos níveis de poluição atmosférica.

O GRÁFICO 6 compara os dados obtidos pelo LACTEA e pelo SISAM para o período de 01 de novembro a 31 de dezembro de 2019 para a média diária do parâmetro MP_{2,5}. Em geral, as concentrações registradas pelo SISAM são maiores do que aquelas registradas pelas estações do LACTEA. As médias registradas pelo LACTEA no período para as estações Batel, Mercês e Boa Vista são iguais, respectivamente, a 4,07 µg/m³, 4,05 µg/m³ e 4,04 µg/m³, enquanto a média registrada pelo SISAM foi igual a 8,69 µg/m³, ou seja, 113% maior do que as concentrações registradas pelos sensores de baixo custo.

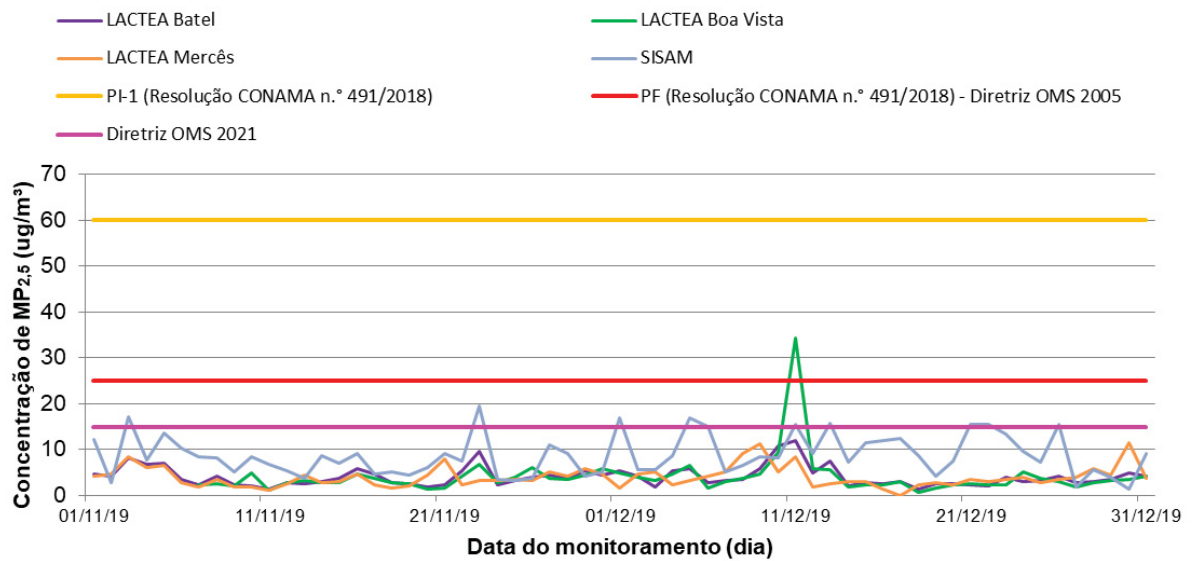


GRÁFICO 6 – COMPARAÇÃO DAS MÉDIAS DIÁRIAS DE $MP_{2,5}$ REGISTRADAS PELO LACTEA E PELO SISAM.

FONTE: A autora com base em SISAM (2020) e LACTEA (2020).

As estações do LACTEA estão localizadas em áreas residenciais do município de Curitiba, enquanto o ponto de referência do SISAM é a área central, onde há um maior fluxo de veículos e, portanto, espera-se concentrações mais elevadas. Além disso, cabe destacar que nenhum dos bancos de dados utilizam metodologias de referência para obtenção dos dados de qualidade do ar, enquanto o LACTEA utiliza sensores de baixo custo, o SISAM utiliza dados de satélite. Portanto, o ideal seria comparar os resultados com valores obtidos a partir de método de referência instalado no município a fim de verificar possíveis desvios de ambas as metodologias e o respectivo valor de correlação.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS DE SAÚDE DA CIDADE DE CURITIBA

Os dados de saúde para o município de Curitiba foram obtidos a partir do aplicativo TABNET do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) e estão mostrados nas TABELA 8 a TABELA 12. Os dados são mostrados por sexo e faixa etária para o período entre os anos de 2014 e 2018, visando à compatibilidade de período com os dados de qualidade do ar. Destaca-se que até o momento da finalização desse estudo, a plataforma ainda não havia disponibilizado as informações de saúde referentes aos anos de 2019 e 2020.

A plataforma apresenta dados referentes apenas ao número de óbitos, de acordo com a classificação internacional de doenças e problemas relacionados à saúde, não apresentando informações a respeito de internações e/ou demais atendimentos médicos.

Os dados referentes à mortalidade por todas as causas no município de Curitiba estão na TABELA 8. Observa-se que para todo o período avaliado foram registradas 53.353 mortes, sendo que 47% dos óbitos corresponderam ao sexo masculino e 53% ao sexo feminino. Em relação à faixa etária, 82% das mortes correspondem a pessoas com 50 anos ou mais e apenas 2% correspondem a crianças com menos de 5 anos de idade.

TABELA 8 – MORTALIDADE POR TODAS AS CAUSAS NO PERÍODO DE 2014 A 2018 PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA.

Ano	Sexo	MORTALIDADE POR TODAS AS CAUSAS													
		< 01	01 a 04	05 a 09	10 a 14	15 a 19	20 a 29	30 a 39	40 a 49	50 a 59	60 a 69	70 a 79	> 80	Ign.	Total
2014	Masculino	108	08	10	20	129	368	353	501	751	999	1.084	1.187	06	5.524
	Feminino	84	15	06	12	23	84	127	228	446	714	1.018	1.931	-	4.688
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	192	23	16	32	152	452	480	729	1.197	1.713	2.102	3.118	06	10.212
2015	Masculino	114	14	11	15	121	340	334	451	769	1.054	1.164	1.177	07	5.571
	Feminino	106	10	16	09	16	77	129	252	497	699	1.002	2.024	04	4.841
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	02	02
	Total	220	24	27	24	137	417	463	703	1.266	1.753	2.166	3.201	13	10.414
2016	Masculino	110	22	09	16	135	357	329	458	781	1.112	1.259	1.363	01	5.952
	Feminino	91	19	10	09	20	72	141	236	476	783	1.138	2.182	-	5.177
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	01	-	01
	Total	201	41	19	25	155	429	470	694	1.257	1.895	2.397	3.546	01	11.130
2017	Masculino	101	18	06	10	92	273	331	405	717	1.096	1.123	1.390	06	5.568
	Feminino	87	15	11	09	23	53	126	240	494	809	1.088	2.192	-	5.147
	Ignorado	01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	01
	Total	189	33	17	19	115	326	457	645	1.211	1.905	2.211	3.582	06	10.716
2018	Masculino	106	20	04	13	81	290	312	406	743	1.104	1.168	1.392	03	5.642
	Feminino	77	10	06	04	16	58	137	237	470	839	1.104	2.281	-	5.239
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	183	30	10	17	97	348	449	643	1.213	1.943	2.272	3.673	03	10.881

FONTE: Adaptado de TABNET (2020).

Os dados referentes à mortalidade por doenças do aparelho circulatório na cidade de Curitiba estão mostrados na TABELA 9. Observa-se que para todo o período de estudo foram registradas 14.699 mortes, sendo que 50% dos óbitos corresponderam ao sexo masculino e 50% ao sexo feminino. A faixa etária mais

atingida é a dos idosos com 80 anos ou mais, correspondendo a 39% dos óbitos devido a problemas circulatórios. As crianças, adolescentes, jovens e adultos com menos de 50 anos são os menos atingidos por esse tipo de enfermidade.

TABELA 9 – MORTALIDADE POR DOENÇAS DO APARELHO CIRCULATÓRIO NO PERÍODO DE 2014 A 2018 PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA.

Ano	Sexo	MORTALIDADE POR DOENÇAS DO APARELHO CIRCULATÓRIO													
		< 01	01 a 04	05 a 09	10 a 14	15 a 19	20 a 29	30 a 39	40 a 49	50 a 59	60 a 69	70 a 79	> 80	Ign.	Total
2014	Masculino	01	-	-	-	06	11	37	73	210	335	415	375	-	1.463
	Feminino	01	02	-	-	03	05	13	48	101	206	330	711	-	1.420
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	02	02	-	-	09	16	50	121	311	541	745	1.086	-	2.883
2015	Masculino	01	-	-	-	01	06	35	83	212	349	390	386	04	1.467
	Feminino	-	01	01	01	01	07	22	48	112	192	340	675	-	1.400
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	01	01	01	01	02	13	57	131	324	541	730	1.061	04	2.867
2016	Masculino	-	01	-	02	02	05	33	78	204	347	425	475	-	1.572
	Feminino	-	-	-	-	01	06	18	54	124	218	382	766	-	1.569
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	01	-	01
	Total	-	01	-	02	03	11	51	132	328	565	807	1.242	-	3.142
2017	Masculino	-	01	-	-	03	14	34	74	201	324	355	435	01	1.442
	Feminino	-	-	01	-	02	06	13	47	124	225	342	750	-	1.510
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	-	01	01	-	05	20	47	121	325	549	697	1.185	01	2.952
2018	Masculino	-	01	-	01	02	06	22	79	189	333	353	426	-	1.412
	Feminino	01	-	-	01	02	05	20	46	106	214	332	716	-	1.443
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	01	01	-	02	04	11	42	125	295	547	685	1.142	-	2.855

FONTE: Adaptado de TABNET (2020).

Os dados referentes à mortalidade por doenças do aparelho respiratório na cidade de Curitiba são apresentados na TABELA 10. Observa-se que para todo o período de estudo foram registradas 5.228 mortes, sendo que 47% dos óbitos corresponderam ao sexo masculino e 53% ao sexo feminino. As faixas etárias mais atingidas são a dos idosos com 60 anos ou mais, correspondendo a 88% dos óbitos devido a problemas respiratórios. A faixa etária menos atingida corresponde aos pré-adolescentes entre 10 e 14 anos de idade, com apenas 2 registros ao longo de todo o período avaliado.

TABELA 10 – MORTALIDADE POR DOENÇAS DO APARELHO RESPIRATÓRIO NO PERÍODO DE 2014 A 2018 PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA.

Ano	Sexo	MORTALIDADE POR DOENÇAS DO APARELHO RESPIRATÓRIO													
		< 01	01 a 04	05 a 09	10 a 14	15 a 19	20 a 29	30 a 39	40 a 49	50 a 59	60 a 69	70 a 79	> 80	Ign.	Total
2014	Masculino	05	-	-	-	01	02	07	23	41	64	112	200	-	455
	Feminino	02	01	-	02	-	01	05	15	25	61	134	293	-	539
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	07	01	-	02	01	03	12	38	66	125	246	493	-	994
2015	Masculino	04	02	-	-	02	05	06	18	33	84	120	192	-	466
	Feminino	-	-	02	-	-	05	07	08	27	56	118	342	-	565
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	04	02	02	-	02	10	13	26	60	140	238	534	-	1.031
2016	Masculino	02	03	-	-	04	06	07	14	53	94	151	222	-	556
	Feminino	02	04	02	-	-	03	07	06	33	79	138	337	-	611
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	04	07	02	-	04	09	14	20	86	173	289	559	-	1.167
2017	Masculino	01	02	-	-	01	02	07	09	37	87	140	221	-	507
	Feminino	02	02	-	-	01	01	04	09	36	63	114	309	-	541
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	03	04	-	-	02	03	11	18	73	150	254	530	-	1.048
2018	Masculino	03	03	01	-	02	05	02	13	35	59	120	204	01	448
	Feminino	01	01	01	-	02	01	-	13	20	75	129	297	-	540
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	04	04	02	-	04	06	02	26	55	134	249	501	01	988

FONTE: Adaptado de TABNET (2020).

Os dados referentes à mortalidade por neoplasia maligna (câncer) dos brônquios e dos pulmões na cidade de Curitiba estão mostrados na TABELA 11. Observa-se que para todo o período de estudo foram registradas 1.441 mortes, sendo que 53% dos óbitos corresponderam ao sexo masculino e 47% ao sexo feminino. As faixas etárias mais atingidas são a das pessoas com 50 anos ou mais, correspondendo a 95% dos óbitos devido à neoplasia maligna dos brônquios e dos pulmões.

TABELA 11 – MORTALIDADE POR CÂNCER DOS BRÔNQUIOS E PULMÕES NO PERÍODO DE 2014 A 2018 PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA.

Ano	Sexo	MORTALIDADE POR CÂNCER DOS BRÔNQUIOS E PULMÕES													Total
		< 01	01 a 04	05 a 09	10 a 14	15 a 19	20 a 29	30 a 39	40 a 49	50 a 59	60 a 69	70 a 79	> 80	Ign.	
2014	Masculino	-	-	-	-	-	-	01	05	20	49	41	33	-	149
	Feminino	-	-	-	-	-	-	-	02	19	30	39	30	-	120
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	-	-	-	-	-	-	01	07	39	79	80	63	-	269
2015	Masculino	-	-	-	-	-	-	03	04	23	42	46	19	-	137
	Feminino	01	-	-	-	-	-	02	07	20	38	32	26	-	126
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	01	01
	Total	01	-	-	-	-	-	05	11	43	80	78	45	01	264
2016	Masculino	-	-	-	-	-	-	-	03	24	42	65	40	-	174
	Feminino	-	-	-	-	-	-	01	07	24	30	56	23	-	141
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	-	-	-	-	-	-	01	10	48	72	121	63	-	315
2017	Masculino	-	-	-	-	-	02	02	04	26	38	55	30	-	157
	Feminino	-	-	-	01	-	-	01	07	21	48	35	27	-	140
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	-	-	-	01	-	02	03	11	47	86	90	57	-	297
2018	Masculino	-	-	-	-	-	-	-	05	26	48	41	29	-	149
	Feminino	-	-	-	-	-	-	01	05	27	47	33	34	-	147
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	-	-	-	-	-	-	01	10	53	95	74	63	-	296

FONTE: Adaptado de TABNET (2020).

Os dados referentes à mortalidade por doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar na cidade de Curitiba estão mostrada na TABELA 12. Observa-se que para todo o período de estudo foram registradas 258 mortes, sendo que 34% dos óbitos corresponderam ao sexo masculino e 66% ao sexo feminino. As faixas etárias mais atingidas são a das pessoas com 50 anos ou mais, correspondendo a 88% dos óbitos devido a doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar.

TABELA 12 – MORTALIDADE POR DOENÇAS CARDÍACAS PULMONARES E DA CIRCULAÇÃO PULMONAR NO PERÍODO DE 2014 A 2018 PARA O MUNICÍPIO DE CURITIBA.

Ano	Sexo	MORTALIDADE POR DOENÇAS CARDÍACAS PULMONARES E DA CIRCULAÇÃO PULMONAR													
		< 01	01 a 04	05 a 09	10 a 14	15 a 19	20 a 29	30 a 39	40 a 49	50 a 59	60 a 69	70 a 79	> 80	Ign.	Total
2014	Masculino	-	-	-	-	-	02	02	-	03	02	08	06	-	23
	Feminino	-	-	-	-	01	-	-	01	05	03	04	19	-	33
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	-	-	-	-	01	02	02	01	08	05	12	25	-	56
2015	Masculino	-	-	-	-	-	-	01	-	02	05	04	04	01	17
	Feminino	-	-	-	-	-	02	02	04	08	05	07	16	-	44
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	-	-	-	-	-	02	03	04	10	10	11	20	01	61
2016	Masculino	-	-	-	-	-	01	-	-	02	04	03	07	-	17
	Feminino	-	-	-	-	-	-	02	01	02	01	08	18	-	32
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	-	-	-	-	-	01	02	01	04	05	11	25	-	49
2017	Masculino	01	-	-	-	-	-	-	-	-	03	06	05	-	15
	Feminino	-	-	-	-	01	-	02	05	01	01	12	19	-	41
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	01	-	-	-	01	-	02	05	01	04	18	24	-	56
2018	Masculino	-	-	-	-	-	-	01	-	02	04	03	06	-	16
	Feminino	-	-	-	-	-	-	-	01	-	04	05	10	-	20
	Ignorado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Total	-	-	-	-	-	-	01	01	02	08	08	16	-	36

FONTE: Adaptado de TABNET (2020).

A Secretaria Municipal de Saúde de Curitiba divulga anualmente o Boletim Epidemiológico da Gripe, que tem como objetivo apresentar e analisar os dados dos atendimentos por doenças respiratórias no município (CURITIBA, 2019).

O número total de atendimentos nas unidades de saúde de Curitiba para o período de 2014 a 2019 são mostrados, por mês e ano, na TABELA 13. Destaca-se que não são divulgados dados tabulados por sexo ou faixa etária e que, até o momento da finalização desse estudo, a Secretaria ainda não havia disponibilizado as informações de saúde referentes ao ano de 2020.

TABELA 13 – ATENDIMENTOS POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS REALIZADOS NAS UNIDADES DE SAÚDE DE CURITIBA NO PERÍODO DE 2014 A 2019.

Mês e ano do atendimento	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Janeiro	19.687	17.257	16.893	17.092	17.566	15.736
Fevereiro	22.919	17.705	16.884	17.849	18.338	19.887
Março	35.251	38.637	38.502	36.504	30.793	33.919
Abril	45.122	38.747	47.234	40.749	42.724	44.870
Maiο	57.837	47.388	61.204	51.480	59.095	57.941
Junho	51.833	49.688	54.778	49.517	61.356	58.640
Julho	45.756	47.614	41.820	42.235	43.176	45.389
Agosto	52.382	48.083	41.365	43.242	39.539	48.844
Setembro	44.127	37.367	40.218	39.213	34.543	45.344
Outubro	44.976	32.381	38.917	38.304	37.868	47.262
Novembro	36.397	29.752	33.543	36.111	34.900	37.406
Dezembro	26.742	25.902	26.549	26.190	25.549	19.208
Total	483.029	430.521	457.907	438.486	445.447	474.446

FONTE: Adaptado de CURITIBA (2019).

Durante o período avaliado foram realizados 2.729.836 atendimentos por doenças respiratórias no município de Curitiba. Comumente, o maior número de atendimentos ocorre nos meses de outono e inverno, com pico nos meses de maio e junho, em que o tempo é mais seco e as temperaturas mais amenas, o que corresponde ao período de pior qualidade do ar. Os meses de janeiro e fevereiro, que são meses de verão, são os que apresentam o menor número de atendimentos.

A FIGURA 3, elaborada pela Secretaria Municipal de Saúde (CURITIBA, 2019) mostra a relação entre a temperatura média semanal (representada pela linha em vermelho) e o número de atendimentos por doenças respiratórias para o ano de 2019 (representado pelas barras em azul). No geral, quando a temperatura média ficou próxima aos 15 °C, nas semanas epidemiológicas que correspondem aos meses de outono e inverno, houve um aumento no número de atendimentos, já quando a temperatura média ultrapassou os 20 °C houve uma diminuição nos atendimentos, sendo que nas primeiras semanas epidemiológicas do ano, em que a temperatura se manteve mais elevada, os atendimentos semanais foram bastante inferiores aos registrados no restante do ano.

Verifica-se que o maior número de atendimentos coincide com as maiores concentrações de MP_{2,5} registrada pelo SISAM, conforme mostrado no GRÁFICO 5, que são mais elevadas no outono e inverno, quando as temperaturas são mais amenas. A semana epidemiológica 24, que correspondeu ao período de 9 a 15 de

junho de 2019, apresentou cerca de 15.000 atendimentos por doenças respiratórias. Ao analisar os dados obtidos pelo SISAM para o ano de 2019, verifica-se que a segunda máxima concentração de MP_{2,5} registrada no ano ocorreu no dia 15 de junho, apresentando um valor igual a 62,7 µg/m³, conforme mostrado na TABELA 7, coincidindo com o pico de atendimentos realizados nas unidades de saúde de Curitiba.

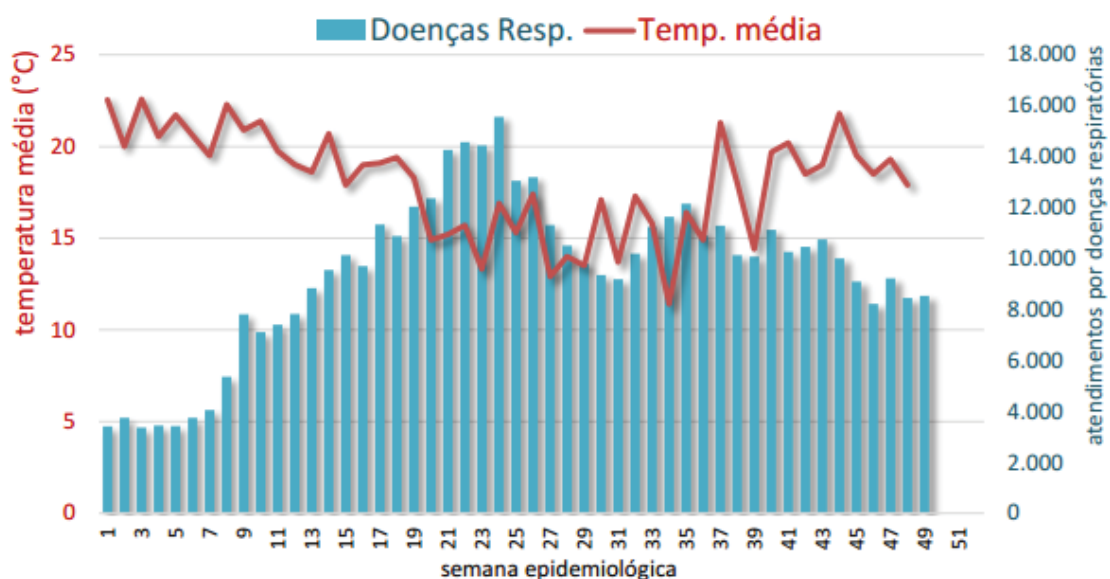


FIGURA 3 – RELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA MÉDIA SEMANAL E O NÚMERO DE ATENDIMENTOS POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM CURITIBA NO ANO DE 2019. FONTE: CURITIBA (2019).

A FIGURA 4 mostra a proporção, em termos de porcentagem, de atendimentos por doenças respiratórias em relação ao total de atendimentos realizados nas unidades de saúde de Curitiba no ano de 2019, segundo a semana epidemiológica, que por convenção internacional são contadas de domingo a sábado (CURITIBA, 2019). A linha em vermelho corresponde à proporção para o ano de 2019; a linha em verde corresponde à proporção média entre os anos de 2007 e 2018, que não considera os anos de 2009, devido pandemia de H1N1, e de 2012, por problemas de registro no prontuário eletrônico; as linhas pontilhadas em roxo correspondem ao limite inferior e superior do desvio padrão.

Segundo Secretaria Municipal de Saúde de Curitiba (CURITIBA, 2019), os 474.446 atendimentos por doenças respiratórias realizados no ano de 2019 correspondem a 14% do total de atendimentos realizados nas unidades de saúde do município, estando, no geral, abaixo da média de atendimentos para o período de 2007 a 2018.

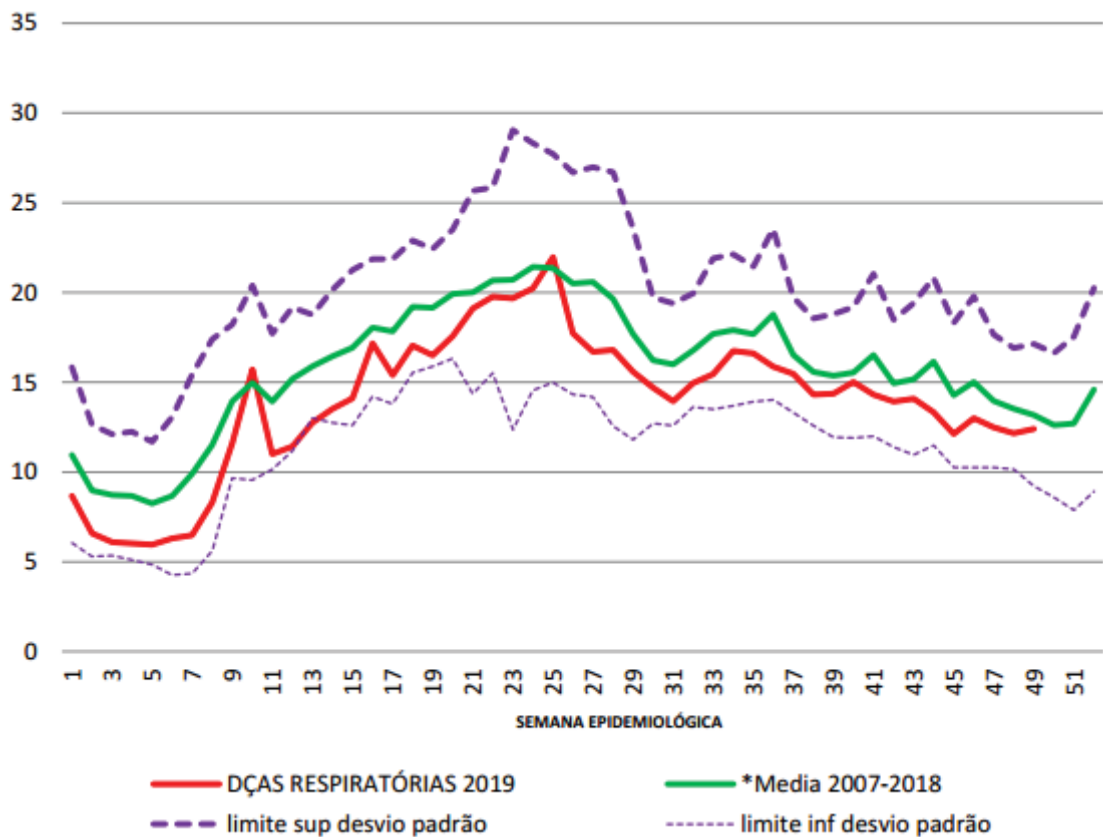


FIGURA 4 - PROPORÇÃO (%) DE ATENDIMENTOS POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM RELAÇÃO AO TOTAL DE ATENDIMENTOS REALIZADOS NAS UNIDADES DE SAÚDE DE CURITIBA.

FONTE: CURITIBA (2019).

Por fim, a FIGURA 5, elaborada pela Secretaria Municipal de Saúde (CURITIBA, 2019) mostra a relação entre o número de atendimentos (barras em cinza) e o número de óbitos (linha vermelha) por doenças respiratórias no município de Curitiba para o ano de 2019, segundo a semana epidemiológica. O pico de óbitos ocorreu na semana epidemiológica 24, que correspondeu ao período de 9 a 15 de junho de 2019, coincidindo com o pico de atendimentos. Nesse período, que corresponde ao inverno, também foram registradas concentrações mais elevadas de $MP_{2,5}$ pelo SISAM.

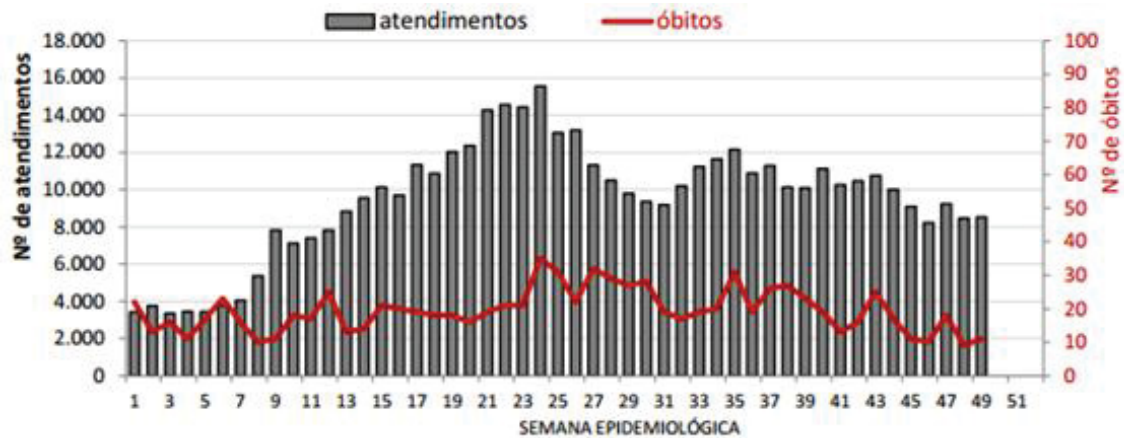


FIGURA 5 - PROPORÇÃO (%) DE ATENDIMENTOS POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EM RELAÇÃO AO TOTAL DE ATENDIMENTOS REALIZADOS NAS UNIDADES DE SAÚDE DE CURITIBA.

FONTE: CURITIBA (2019).

Entre os principais efeitos da poluição atmosférica à saúde pública, pode-se citar o agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares, aumento dos casos de câncer de pulmão, desenvolvimento de doenças respiratórias, redução da função pulmonar, irritação ocular, fadiga, irritação da garganta, tosse, piora dos sintomas de asma, influência no desenvolvimento do feto e aumento de mortalidade prematura, entre outras (ARDILES, 2016; SIMIONI et al, 2021; OPAS, 2018). Há ainda evidências de que a poluição do ar afeta negativamente o desenvolvimento cognitivo de crianças e que a exposição precoce pode ocasionar o desenvolvimento de doenças crônicas na idade adulta, como as doenças cardiovasculares (OPAS, 2018).

5.3 AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA MELHORA NA QUALIDADE DO AR NA SAÚDE DA POPULAÇÃO EM DIFERENTES CENÁRIOS

A avaliação de como a melhoria da qualidade do ar pode influenciar no número de internações e mortalidades por problemas de saúde relacionados à concentração de partículas inaláveis em suspensão na atmosfera no município de Curitiba foi realizada através do *software* AirQ+. Para tanto foram propostos cenários de análise com base na relação entre a exposição em longo prazo ao poluente $MP_{2,5}$ e a mortalidade por câncer dos brônquios e do pulmão e doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar, a relação entre a exposição em curto prazo ao poluente MP_{10} e a mortalidade (considerando todas as causas) e a mortalidade por doenças respiratórias. Cada um desses cenários foram avaliados em função de duas hipóteses

de melhoria na qualidade do ar, a primeira delas que considera o atendimento aos padrões legais de qualidade do ar, definidos pela Resolução SEMA n.º 016/2014 (PARANÁ, 2014) e pela Resolução CONAMA n.º 491/2018 (BRASIL, 2018), e a segunda que considera o atendimento as diretrizes da Organização Mundial da Saúde publicadas em 2021 (WHO, 2021).

5.3.1 Relação entre a exposição em longo prazo ao poluente $MP_{2,5}$ e a mortalidade por câncer dos brônquios e do pulmão na população com 30 anos ou mais

A TABELA 14 mostra o número médio de mortes por câncer de brônquios e de pulmão atribuídas a exposição de longo prazo da população de Curitiba, com idade igual ou maior do que 30 anos, ao poluente $MP_{2,5}$. Essa análise refere-se ao Cenário I mostrado no QUADRO 18. Os cálculos, utilizando o *software* AirQ+, foram feitos para o período de 2014 a 2018, com os dados de qualidade do ar do SISAM (INPE, 2020), que foi a única fonte de informações que apresentou dados históricos para o poluente $MP_{2,5}$. O ano de 2019 não foi analisado, pois até a finalização do estudo o DATASUS (DATASUS, 2020) não havia liberado as informações de saúde para o referido ano.

Outro ponto importante é que se adota a população total de Curitiba como sendo igual para todos os anos, essa é uma simplificação necessária do método, pois não há dados mais recentes sobre a distribuição da população de acordo com a faixa etária no município. Dados do IBGE (2019) estimam que a população total de Curitiba no ano de 2019 era igual a 1.948.626 habitantes, 11% maior do que a contabilizada no censo de 2010, que registrou 1.751.907 habitantes.

TABELA 14 – NÚMERO DE MORTES POR CÂNCER DE BRÔNQUIOS E DE PULMÃO NO MUNICÍPIO DE CURITIBA ATRIBUÍDAS A EXPOSIÇÃO DE LONGO PRAZO AO MP_{2,5}.

Ano		2014	2015	2016	2017	2018
Concentração média anual de MP _{2,5} (µg/m ³)		11,6	11,6	11,9	11,7	17,5
População total de Curitiba		1.751.907				
População com idade igual ou maior do que 30 anos		938.131				
Mortes por câncer dos brônquios e dos pulmões na população com idade igual ou maior do que 30 anos		269	262	315	294	296
Mortes por câncer dos brônquios e dos pulmões na população com idade igual ou maior do que 30 anos associadas à exposição de longo prazo ao MP _{2,5}	Risco relativo	1,8009	1,8009	1,8107	1,8042	1,9688
	Média de mortes	26	25	31	28	41

FONTE: A autora (2022).

Para os anos de 2014 a 2017, a média de mortes anuais atribuídas a poluição do ar, devido a exposição em longo prazo da população a concentrações de MP_{2,5} foi igual a 28. Valor que representa aproximadamente 10% do total de mortes por câncer dos brônquios e dos pulmões na população de Curitiba com idade igual ou superior a 30 anos. Para o ano de 2018, em que a concentração média anual de MP_{2,5} foi igual a 17,5 µg/m³, o número de mortes atribuídas a poluição do ar foi igual a 41. Valor que representa 14% do total de mortes ocorridas no ano de 2018 por câncer dos brônquios e dos pulmões na população em estudo.

Em relação aos anos anteriores, observa-se que houve um aumento de aproximadamente 50% da concentração média anual de MP_{2,5}, passando de 11,7 µg/m³ em 2017 para 17,5 µg/m³ em 2018. Esse aumento pode estar correlacionado a modificação da metodologia de análise adotada pelo INPE, que ocorreu do ano de 2017 para o ano de 2018, assim como a outros fatores pontuais, como variações nas emissões de poluentes atmosféricos e nas condições meteorológicas. No ano de 2019 a concentração registrada foi igual a 15,9 µg/m³, conforme mostrado na TABELA 6, o que representa uma redução de 9% em relação ao ano de 2018.

Não há dados de qualidade do ar referentes aos anos de 2020 e 2021 para verificar o comportamento da linha de tendência da concentração de MP_{2,5} na

atmosfera. Além disso, caso houvessem esses dados, deveria ser levado em consideração o fato de que nesse período houve a ocorrência da pandemia mundial de Coronavírus, que acabou influenciando diretamente na qualidade do ar, em decorrência do isolamento social.

De acordo com o IAT (BRODBECK, 2020) a emissão de gases, como o monóxido de carbono e o dióxido de nitrogênio, caiu pela metade no município de Curitiba durante a fase mais rígida de isolamento domiciliar, em que atividades econômicas foram restringidas e as aulas nas escolas suspensas. Espera-se que a concentração de material particulado em suspensão na atmosfera também tenha reduzido nesse período. Entretanto, a falta de estações de qualidade do ar do órgão ambiental que monitorem o material particulado na cidade e a lacuna de dados no portal do SISAM, impossibilitam essa análise. Ressalta-se que, de acordo com Vormittag et al. (2021) e Greenstone e Fan (2018), o $MP_{2,5}$ é considerado o poluente mais nocivo para a saúde humana e, portanto, de extrema importância para o monitoramento.

Sarra e Mülfarth (2021) afirmam que no município de São Paulo foram observadas reduções nas concentrações de MP_{10} , $MP_{2,5}$, NO_2 , CO, benzeno e tolueno durante o período de isolamento social, o que demonstra que mudanças na forma de trabalho, a redução na necessidade de dirigir e os novos comportamentos adquiridos no período da pandemia tiveram impactos positivos sobre os níveis de poluentes atmosféricos na região.

Tadano et al. (2021) simularam cenários hipotéticos de taxa de isolamento social para prever a influência nos níveis de poluição do ar. A ideia é de que o isolamento pode ser uma ferramenta útil na gestão da qualidade do ar. Ficou comprovado que os níveis de poluentes do ar podem ser efetivamente controlados e previstos quando medidas flexíveis de isolamento social são implementadas. Os pesquisadores ressaltam a interdependência dos níveis de poluição do ar com as variáveis meteorológicas, sugerindo, por exemplo, que quando mudanças nas condições meteorológicas sejam previstas, deve-se haver ações de isolamento social alguns dias antes, visando diminuir a emissão de poluentes e evitar eventos extremos de poluição do ar que possam prejudicar a saúde da população.

Ações como essa devem ser levada em consideração pelos responsáveis pela definição de políticas públicas e pela gestão da qualidade do ar, visto que há a necessidade de um maior controle e da diminuição dos níveis de poluentes na

atmosfera. Segundo Burnett et al. (2018) e Vormittag et al. (2021) os prognósticos relacionados a exposição prolongada ao material particulado, por exemplo, são preocupantes, com estimativas globais de mortalidade atribuíveis à poluição atmosférica por MP_{2,5} sendo 120% maiores do que estimativas anteriores.

Sabe-se que o atendimento aos padrões de qualidade do ar são um indicativo de proteção a saúde humana. Entretanto, segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021), mesmo uma concentração em torno das novas diretrizes publicadas em 2021, que são mais restritivas do que as adotadas no Brasil atualmente, não deve ser considerada segura, pois parece não haver um nível em que os poluentes deixem de causar danos ao corpo humano e aos ecossistemas.

A TABELA 15 mostra o número médio de mortes evitáveis – com base no atendimento aos padrões de qualidade do ar da Resolução CONAMA n.º 491/2018 e da diretriz da Organização Mundial da Saúde publicada em 2021 – por câncer de brônquios e de pulmão atribuídas a exposição de longo prazo da população de Curitiba, com idade igual ou maior do que 30 anos, ao poluente MP_{2,5}.

Destaca-se que não foi analisada a hipótese do número de mortes evitáveis com base na Resolução SEMA n.º 016/2014, pois essa não contempla padrões de qualidade do ar para o parâmetro MP_{2,5}. A referida legislação, de acordo com a Portaria IAP n.º 253 de 01 de setembro de 2020 (IAP, 2020), encontra-se em revisão. Portanto, é de se esperar que em sua nova versão, a ser publicada nos próximos meses, os padrões de qualidade do ar sejam revistos e alinhados com o que é preconizado na Resolução CONAMA n.º 491/2018.

Em relação as hipóteses correlacionadas a Resolução CONAMA n.º 491/2018, nota-se que foram considerados apenas o número de mortes evitáveis em decorrência do atendimento aos padrões intermediários PI-2 e PI-3, além do padrão final. Isso é justificado pelo fato de que as concentrações médias anuais de MP_{2,5} para o período de 2014 a 2018 atendem ao padrão de 20 µg/m³ estabelecido pelo padrão intermediário PI-1, válido atualmente em todo território nacional.

TABELA 15 – NÚMERO DE MORTES POR CÂNCER DE BRÔNQUIOS E DE PULMÃO EVITÁVEIS EM DECORRÊNCIA DO ATENDIMENTO AOS PADRÕES DA RESOLUÇÃO CONAMA N.º 491/2018 E DAS DIRETRIZES DA OMS PUBLICADAS EM 2021.

Ano		2014	2015	2016	2017	2018
Mortes evitáveis em decorrência do atendimento ao PI-2 de 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da Resolução CONAMA n.º 491/2018	Risco relativo	Análise não aplicável, pois a concentração de $\text{MP}_{2,5}$ nos anos de 2014 a 2017 foi inferior ao PI-2 da Resolução CONAMA n.º 491/2018.				1,0064
	Média de mortes					1
Mortes evitáveis em decorrência do atendimento ao PI-3 de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da Resolução CONAMA n.º 491/2018	Risco relativo	Análise não aplicável, pois a concentração de $\text{MP}_{2,5}$ nos anos de 2014 a 2017 foi inferior ao PI-3 da Resolução CONAMA n.º 491/2018.				1,0343
	Média de mortes					6
Mortes evitáveis em decorrência do atendimento ao PF de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da Resolução CONAMA n.º 491/2018	Risco relativo	1,0320	1,0320	1,0377	1,0339	1,1283
	Média de mortes	4	4	5	4	19
Mortes evitáveis em decorrência do atendimento a diretriz de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da OMS 2021	Risco relativo	1,1880	1,1880	1,1945	1,1902	1,2988
	Média de mortes	15	14	18	16	30

FONTE: A autora (2022).

A TABELA 15 mostra que para o ano de 2018, caso a concentração de $\text{MP}_{2,5}$ atendesse ao PI-2 da Resolução CONAMA n.º 491/2018, ou seja, fosse inferior 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, o que corresponde uma redução de 3% em relação ao valor registrado que foi igual a 17,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, uma morte por câncer de brônquios e de pulmão seria evitada devido à exposição de longo prazo ao $\text{MP}_{2,5}$. Caso houvesse uma redução de 15% na concentração registrada, o PI-3 estaria sendo atendido e, portanto, seis mortes poderiam ser evitadas, o que corresponderia a 2% do total de mortes por câncer de brônquios e de pulmão registradas em 2018 no município de Curitiba.

Para os anos de 2014 a 2017, as médias de mortes anuais evitáveis seriam iguais a 4 e a 16, respectivamente, caso o PF da Resolução CONAMA n.º 491/2018 (que corresponde ao valor-guia de 2005 da OMS) e a diretriz mais recente da OMS fossem atendidos. Portanto, verifica-se que o atendimento a um padrão 50% mais

restritivo ($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) do que o padrão final preconizado na legislação nacional ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$), que não tem previsão de entrar em vigor, aumentaria significativamente o número de mortes evitáveis.

Segundo a Resolução CONAMA n.º 491/2018 (BRASIL, 2018), os padrões de qualidade do ar PI-2, PI-3 e PF serão adotados, cada um, de forma subsequente, levando em consideração os Planos de Controle de Emissões Atmosféricas e os Relatórios de Avaliação da Qualidade do Ar, elaborados pelos órgãos estaduais e distrital de meio ambiente. O prazo para encaminhamento dos planos ao Ministério do Meio Ambiente é até o primeiro trimestre de 2024, já os relatórios de qualidade do ar devem ser elaborados e publicados anualmente. Entretanto, esses prazos não tem sido atendido, no Paraná, por exemplo, o último relatório anual publicado é referente ao ano de 2015. Além disso, segundo Vormittag et al. (2021), apenas 14 dos 26 estados brasileiros realizam o monitoramento da qualidade do ar. Os outros estados justificam a ausência de monitoramento devido a falta de recursos para obtenção de equipamentos ou a dificuldade de sua manutenção, a dificuldade de recursos humanos e a baixo número de fontes móveis e industriais de poluição atmosférica.

Para o ano de 2018, em que a concentração de $\text{MP}_{2,5}$ superou a diretriz da OMS estabelecida em 2021 em 250%, registrando uma concentração média anual igual a $17,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o número de mortes atribuídas a poluição do ar foi igual a 41, conforme mostrado na TABELA 14. Valor que representou 14% do total de mortes ocorridas no ano de 2018 por câncer dos brônquios e dos pulmões na população em estudo. Caso a diretriz de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da OMS fosse atendida, 30 mortes poderiam ser evitadas e, portanto, o total de mortes atribuídas à exposição da população ao poluente $\text{MP}_{2,5}$ reduziria para 11, ou seja, uma redução de 73%, o que representaria 4% do total das mortes em análise. A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021) estimou que quase 80% das mortes relacionadas ao $\text{MP}_{2,5}$ poderiam ser evitadas no mundo se os níveis atuais de poluição do ar fossem reduzidos aos propostos na diretriz atualizada.

Estudo realizado por Timonen et al. (2004) comprova a importância de se manter baixos níveis de concentração de $\text{MP}_{2,5}$, visto que esse poluente está correlacionado ao aumento de alterações pulmonares. A pesquisa realizada nas cidades de Amsterdã, Erfurt e Helsinque mostrou que um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de $\text{MP}_{2,5}$ acarretou em um aumento de 20% da proteína CC16 no organismo da população em estudo, sendo essa proteína um dos indicadores de dano pulmonar. Destaca-se que em 2013, a poluição do ar exterior e o material particulado

foram classificados como cancerígenos pela Agência Internacional de Pesquisa sobre o Câncer da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2021).

Pope et al. (2004) mostraram, com base em estudo realizado com 500.000 adultos em 51 regiões metropolitanas dos Estados Unidos, que um acréscimo de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de $\text{MP}_{2,5}$ é responsável por aumento de 14% no número de casos de câncer de pulmão. Vineis et al. (2007) atribuíram que de 5% a 7% dos diversos tipos de câncer de pulmão registrados nos países europeus são causados pelos efeitos da poluição atmosférica. Laden et al. (2006) sugeriram que a exposição crônica à poluição atmosférica aumenta de 20% a 30% o risco de incidência de câncer de pulmão.

Karr et al. (2007) registrou ainda a correlação positiva entre a exposição crônica ao $\text{MP}_{2,5}$ e o aumento do risco de hospitalização por bronquiolite, sendo que para cada incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{MP}_{2,5}$ o risco de hospitalização pela doença aumentou em 9%. Logo, cabe destacar que a ultrapassagem dos padrões de qualidade do ar impacta não somente o número de mortes, mas também no número de atendimentos hospitalares, elevando assim os custos com saúde pública. Segundo Simioni et al. (2021), a morbidade decorrente da poluição atmosférica também acarreta em custos ao mercado de trabalho, devido à perda de produtividade.

Burr et al. (2004) apontou que a redução nos níveis de poluição atmosférica, além de afetar positivamente o número de mortes, também apresenta relação com a melhora dos sintomas respiratórios. Foi feito um estudo em uma comunidade no norte do País de Gales, onde uma via de tráfego intenso passou a ser de baixo tráfego, após uma obra para o desvio dos veículos. Após o desvio, os níveis de $\text{MP}_{2,5}$ em suspensão na atmosfera reduziram cerca de 25% e, conseqüentemente, houve uma redução nas manifestações clínicas relativas às vias aéreas, sobretudo de rinite e sinusite.

Além da quantificação da concentração de material particulado na atmosfera é importante observar a qualificação da sua composição química, que varia conforme o tamanho da partícula, as condições atmosféricas e as atividades antropogênicas da região de estudo. De acordo com Caballero (2021), o $\text{MP}_{2,5}$, por exemplo, pode conter substâncias perigosas para a saúde como cobre (Cu), chumbo (Pb), cádmio (Cd) e manganês (Mn). Segundo Brito, Araújo e Marinho (2018), metais e outros íons presentes no material particulado podem atingir o trato respiratório, agravando o risco do aumento de doenças respiratórias e carcinogênicas mesmo em menores

concentrações na atmosfera, o que reforça a necessidade de estudos para caracterizar não apenas o nível, mas a qualidade do material particulado em suspensão.

Portanto, é importante que os governos de Curitiba e do Paraná definam políticas públicas, como, por exemplo, o aumento de áreas verdes (já que a vegetação interfere nos processos de deposição e dispersão dos poluentes atmosféricos, além de ser capaz de reter e absorver alguns tipos de poluentes) e a diminuição do tráfego de veículos (seja através do incentivo ao uso de transporte público e de transportes alternativos, como a bicicleta, do rodizio, do apoio a novas formas de trabalho, como o remoto e o híbrido, que reduzam a necessidade da população de sair de casa) para que haja uma redução na concentração de $MP_{2,5}$ na atmosfera e ganhos para a saúde pública.

5.3.2 Relação entre a exposição em longo prazo ao poluente $MP_{2,5}$ e a mortalidade por doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar na população com 30 anos ou mais

A TABELA 16 mostra o número médio de mortes por doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar atribuídas a exposição de longo prazo da população de Curitiba, com idade igual ou maior do que 30 anos, ao poluente $MP_{2,5}$. Essa análise refere-se ao Cenário II mostrado no QUADRO 18. Os cálculos, utilizando o *software* AirQ+, foram feitos para o período de 2014 a 2018, com os dados de qualidade do ar do SISAM (INPE, 2020), que foi a única fonte de informações que apresentou dados históricos para o poluente $MP_{2,5}$. O ano de 2019 não foi analisado, pois até a finalização do estudo o DATASUS (DATASUS, 2020) não havia liberado as informações de saúde para o referido ano.

TABELA 16 – NÚMERO DE MORTES POR DOENÇAS CARDÍACAS PULMONARES E DA CIRCULAÇÃO PULMONAR NO MUNICÍPIO DE CURITIBA ATRIBUÍDAS A EXPOSIÇÃO DE LONGO PRAZO AO MP_{2,5}.

Ano		2014	2015	2016	2017	2018
Concentração média anual de MP _{2,5} (µg/m ³)		11,6	11,6	11,9	11,7	17,5
População total de Curitiba		1.751.907				
População com idade igual ou maior do que 30 anos		938.131				
Mortes por doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar na população com idade igual ou maior do que 30 anos		53	58	48	54	36
Mortes por doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar na população com idade igual ou maior do que 30 anos associadas à exposição de longo prazo ao MP _{2,5}	Risco relativo	1,4816	1,4816	1,4870	1,4834	1,5725
	Média de mortes	4	4	3	4	4

FONTE: A autora (2022).

Para os anos de 2014 a 2018, a média de mortes anuais decorrentes de doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar atribuídas a poluição do ar, devido a exposição em longo prazo da população com idade igual ou superior a 30 anos a concentrações de MP_{2,5} foi igual a quatro. Observa-se que para o ano de 2018, em que a concentração média anual de MP_{2,5} foi igual a 17,5 µg/m³, o número de mortes atribuídas a poluição do ar também foi igual a quatro, estando próximo aos anos anteriores em que a concentração ficou na casa de 11 µg/m³. Tal fato pode ser justificado devido a uma diminuição do número total de mortes por doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar no ano de 2018 em comparação aos anos anteriores. Ao analisar a proporção, verifica-se que as quatro mortes devido à exposição ao MP_{2,5} no ano de 2018 correspondem a 11% do total, enquanto nos anos anteriores as mortes correlacionadas a poluição atmosférica correspondem em média a 7% do total.

A TABELA 17 mostra o número médio de mortes evitáveis – com base no atendimento aos padrões de qualidade do ar da Resolução CONAMA n.º 491/2018 e da diretriz da Organização Mundial da Saúde publicada em 2021 – por doenças

cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar atribuídas a exposição de longo prazo da população de Curitiba, com idade igual ou maior do que 30 anos, ao poluente MP_{2,5}.

Destaca-se que não foi analisada a hipótese do número de mortes evitáveis com base na Resolução SEMA n.º 016/2014, pois essa não contempla padrões de qualidade do ar para o parâmetro MP_{2,5}. Em relação as hipóteses correlacionadas a Resolução CONAMA n.º 491/2018, nota-se que foram considerados apenas o número de mortes evitáveis em decorrência do atendimento aos padrões intermediários PI-2 e PI-3, além do padrão final. Isso é justificado pelo fato de que as concentrações médias anuais de MP_{2,5} para o período de 2014 a 2018 atendem ao padrão de 20 µg/m³ estabelecido pelo padrão intermediário PI-1.

TABELA 17 – NÚMERO DE MORTES POR DOENÇAS CARDÍACAS PULMONARES E DA CIRCULAÇÃO PULMONAR EVITÁVEIS EM DECORRÊNCIA DO ATENDIMENTO AOS PADRÕES DA RESOLUÇÃO CONAMA N.º 491/2018 E DAS DIRETRIZES DA OMS PUBLICADAS EM 2021.

Ano		2014	2015	2016	2017	2018
Mortes evitáveis em decorrência do atendimento ao PI-2 de 17 µg/m ³ da Resolução CONAMA n.º 491/2018	Risco relativo	Análise não aplicável, pois a concentração de MP _{2,5} nos anos de 2014 a 2017 foi inferior ao PI-2 da Resolução CONAMA n.º 491/2018.				1,0043
	Média de mortes					0
Mortes evitáveis em decorrência do atendimento ao PI-3 de 15 µg/m ³ da Resolução CONAMA n.º 491/2018	Risco relativo	Análise não aplicável, pois a concentração de MP _{2,5} nos anos de 2014 a 2017 foi inferior ao PI-3 da Resolução CONAMA n.º 491/2018.				1,0228
	Média de mortes					1
Mortes evitáveis em decorrência do atendimento ao PF de 10 µg/m ³ da Resolução CONAMA n.º 491/2018	Risco relativo	1,0213	1,0213	1,0250	1,0225	1,0840
	Média de mortes	1	1	1	1	2
Mortes evitáveis em decorrência do atendimento a diretriz de 5 µg/m ³ da OMS 2021	Risco relativo	1,1220	1,1220	1,1261	1,1234	1,1909
	Média de mortes	2	2	2	2	3

FONTE: A autora (2022).

Para os anos de 2014 a 2017, a média do número de mortes por doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar anuais evitáveis seria igual a um,

caso o PF da Resolução CONAMA n.º 491/2018 (que corresponde ao valor-guia de 2005 da OMS) fosse atendido, e igual a dois, caso a diretriz mais recente da OMS fosse respeitada. No ano de 2018 só seriam observados efeitos positivos se no mínimo o PI-3 da legislação nacional, de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, fosse atendido, ou seja, seria necessária uma redução de 15% da concentração de $\text{MP}_{2,5}$ na atmosfera.

5.3.3 Relação entre a exposição em curto prazo ao poluente MP_{10} e a mortalidade, considerando todas as causas, na população com 30 anos ou mais

A TABELA 18 mostra o número médio de mortes, considerando todas as causas, atribuídas a exposição de curto prazo da população de Curitiba, com idade igual ou maior do que 30 anos, ao poluente MP_{10} . Essa análise refere-se ao Cenário III mostrado no QUADRO 18. Os cálculos, utilizando o *software* AirQ+, foram feitos para o período de 2016 a 2017, com os dados de qualidade do ar do IAT (IAT, 2020), que foi a única fonte de informações que apresentou dados históricos de curto prazo (médias diárias) para o poluente MP_{10} . Os anos de 2018 a 2021 não foram analisados devido a ausência de dados de qualidade do ar.

TABELA 18 – NÚMERO DE MORTES NO MUNICÍPIO DE CURITIBA ATRIBUIDAS A EXPOSIÇÃO DE CURTO PRAZO AO MP_{10} .

Ano		2016	2017
Máxima concentração média diária de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		68,91	64,48
População total de Curitiba		1.751.907	
População com idade igual ou maior do que 30 anos		938.131	
Mortes por todas as causas na população com idade igual ou maior do que 30 anos		10.259	10.011
Mortes por todas as causas na população com idade igual ou maior do que 30 anos associadas à exposição de curto prazo ao MP_{10}	Risco relativo	1,0567	1,0529
	Média de mortes	1.778	1.633

FONTE: A autora (2022).

Para os anos de 2016 e 2017, as médias de mortes anuais atribuídas a poluição do ar, devido a exposição em curto prazo da população com idade igual ou superior a 30 anos a concentrações de MP_{10} , foram, respectivamente, iguais a 1.778 e 1.633, o que corresponde a aproximadamente 17% e 16% do total de mortes registradas em

cada um dos anos. De acordo com Pope (2007), com base na revisão de estudos realizados em diversos países que avaliaram os efeitos das variações agudas da poluição atmosférica na saúde, a elevação de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de MP_{10} é responsável por um aumento de 0,4% a 1,3% no risco relativo de morte, sendo o maior impacto em idosos.

Samoli et al. (2010) concluíram, a partir de estudo realizado na Grécia, que um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nos níveis de MP_{10} , em curto prazo, foi responsável por aumento de 2,2% no número de atendimentos hospitalares por asma. No Brasil, estudo realizado em 1.769 pacientes com idade acima de 40 anos, mostrou um aumento no número de atendimentos por doença pulmonar obstrutiva crônica em associação ao aumento na concentração atmosférica de MP_{10} , sendo que um aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de MP_{10} associou-se a um aumento de 6,7% no número de atendimentos no dia da exposição (ARBEX et al., 2009).

A TABELA 19 mostra o número de mortes que poderiam ter sido evitadas no município de Curitiba caso a concentração de MP_{10} estivesse em conformidade com o padrão final de qualidade do ar da Resolução CONAMA n.º 491/2018 e da diretriz da Organização Mundial da Saúde publicada em 2021. Destaca-se que não foram analisadas as hipóteses do número de mortes evitáveis com base na Resolução SEMA n.º 016/2014 e nos padrões intermediários da Resolução CONAMA n.º 491/2018, pois as concentrações médias diárias de MP_{10} para os anos de 2016 e 2017 atenderam aos padrões preconizados nas referidas resoluções. A Resolução SEMA n.º 016/2014 estabelece um padrão de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e os padrões PI-1, PI-2 e PI-3 da Resolução CONAMA n.º 491/2018 são, respectivamente, iguais a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Entretanto, as máximas concentrações registradas foram iguais a $68,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2016 e a $64,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ em 2017. Portanto, abaixo dos limites legais citados.

TABELA 19 – NÚMERO DE MORTES EVITÁVEIS EM DECORRÊNCIA DO ATENDIMENTO AOS PADRÕES DA RESOLUÇÃO CONAMA N.º 491/2018 E DAS DIRETRIZES DA OMS PUBLICADAS EM 2021.

Ano		2016	2017
Mortes evitáveis em decorrência do atendimento ao PF de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da Resolução CONAMA n.º 491/2018	Risco relativo	1,0152	1,0117
	Média de mortes	522	392
Mortes evitáveis em decorrência do atendimento a diretriz de 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da OMS 2021	Risco relativo	1,0193	1,0157
	Média de mortes	656	524

FONTE: A autora (2022).

Para o ano de 2016, por exemplo, em que a máxima concentração de curto prazo de MP_{10} foi mais elevada, as médias do número de mortes evitáveis seriam, respectivamente, iguais a 522 e a 656, caso o PF da Resolução CONAMA n.º 491/2018 (que corresponde ao valor-guia de 2005 da OMS) e a diretriz mais recente da OMS fossem atendidos. Portanto, haveria a potencial redução de 37% do número total de mortes por doenças respiratórias, correlacionadas a exposição de curto prazo ao poluente MP_{10} , registradas em 2016, que passaria de 1.778 para 1.112, caso a recomendação da OMS, de 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, fosse atendida.

Segundo Künzli, Perez e Rapp (2010), além da diminuição da mortalidade, com a redução dos níveis de material particulado na atmosfera, há também a redução da mortalidade por doenças respiratórias, menor frequência de infecções respiratórias agudas, diminuição do número de internações hospitalares por pneumonia, diminuição da prevalência de sintomas respiratórias e de irritação, decréscimo no número de consultas e de atendimentos médicos, e menor taxa de absenteísmo na escola e trabalho. Friedman et al. (2001) apontaram, a partir de estudo realizado durante os Jogos Olímpicos de Atlanta nos Estados Unidos, que a diminuição do tráfego de veículos durante os jogos, acarretou em uma queda de 16% no pico diário dos níveis de MP_{10} , reduzindo em 40% o número de consultas por asma em crianças e de 11% a 19% o número de atendimentos por asma em todas as idades em serviços de emergência da cidade.

5.3.4 Relação entre a exposição em curto prazo ao poluente MP₁₀ e a mortalidade por doenças respiratórias na população com 30 anos ou mais

A TABELA 20 mostra o número médio de mortes por doenças respiratórias atribuídas a exposição de curto prazo da população de Curitiba, com idade igual ou maior do que 30 anos, ao poluente MP₁₀. Essa análise refere-se ao Cenário IV mostrado no QUADRO 18. Os cálculos, utilizando o *software* AirQ+, utilizaram os mesmos dados de qualidade detalhados no Cenário III.

TABELA 20 – NÚMERO DE MORTES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS NO MUNICÍPIO DE CURITIBA ATRIBUIDAS A EXPOSIÇÃO DE CURTO PRAZO AO MP₁₀.

Ano	2016	2017
Máxima concentração média diária de MP ₁₀ (µg/m ³)	68,91	64,48
População total de Curitiba	1.751.907	
População com idade igual ou maior do que 30 anos	938.131	
Mortes por doenças respiratórias na população com idade igual ou maior do que 30 anos	1.141	1.036
Mortes por doenças respiratórias na população com idade igual ou maior do que 30 anos associadas à exposição de curto prazo ao MP ₁₀	Risco relativo	1,1212
	Média de mortes	198
		1,1130
		169

FONTE: A autora (2022).

Para os anos de 2016 e 2017, as médias de mortes anuais por doenças respiratórias atribuídas a poluição do ar, devido a exposição em curto prazo da população com idade igual ou superior a 30 anos a concentrações de MP₁₀, foram respectivamente iguais a 198 e 169, o que corresponde a aproximadamente 17% e 16% do total de mortes registradas em cada um dos anos. A TABELA 21 mostra o número de mortes por doenças respiratórias que poderiam ter sido evitadas caso a concentração de MP₁₀ estivesse em conformidade com o padrão final de qualidade do ar da Resolução CONAMA n.º 491/2018 e da diretriz da Organização Mundial da Saúde publicada em 2021. Assim como para o Cenário III, não foram analisadas as hipóteses do número de mortes evitáveis com base na Resolução SEMA n.º 016/2014 e nos padrões intermediários da Resolução CONAMA n.º 491/2018, pois as

concentrações médias diárias de MP_{10} para os anos de 2016 e 2017 atenderam aos padrões preconizados nas referidas resoluções.

TABELA 21 – NÚMERO DE MORTES POR DOENÇAS RESPIRATÓRIAS EVITÁVEIS EM DECORRÊNCIA DO ATENDIMENTO AOS PADRÕES DA RESOLUÇÃO CONAMA N.º 491/2018 E DAS DIRETRIZES DA OMS PUBLICADAS EM 2021.

Ano		2016	2017
Mortes por doenças respiratórias evitáveis em decorrência do atendimento ao PF de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da Resolução CONAMA n.º 491/2018	Risco relativo	1,0319	1,0243
	Média de mortes	58	41
Mortes por doenças respiratórias evitáveis em decorrência do atendimento a diretriz de 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ da OMS 2021	Risco relativo	1,0405	1,0329
	Média de mortes	73	54

FONTE: A autora (2022).

Para o ano de 2017, por exemplo, as médias do número de mortes evitáveis seriam, respectivamente, iguais a 41 e a 54, caso o PF da Resolução CONAMA n.º 491/2018 (que corresponde ao valor-guia de 2005 da OMS) e a diretriz mais recente da OMS fossem atendidos. Portanto, haveria a potencial redução de 5% do número total de mortes por doenças respiratórias registradas em 2017, que passaria de 1.036 para 982, caso a recomendação da OMS, de 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, fosse atendida, ou seja, caso houvesse uma redução de 30% dos níveis de MP_{10} na atmosfera em termos de médias diárias.

Assim como para os cenários anteriores, esses resultados demonstram a importância do controle das emissões atmosféricas. Vormittag et al. (2021) ressaltam que a Organização Mundial da Saúde elegeu, no ano de 2019, a poluição do ar e as mudanças climáticas como os principais temas de atenção à saúde, convocando as lideranças dos países a se comprometerem com a Iniciativa Ar Limpo, visando alcançar uma qualidade do ar segura para a saúde de seus cidadãos e a alinhar as políticas de redução da poluição do ar e mitigação das emissões associadas às mudanças climáticas até 2030.

6 CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo analisar os efeitos das partículas inaláveis grossas (MP_{10}) e finas ($MP_{2,5}$) na saúde da população do município de Curitiba/PR. O estudo demonstrou, através da análise da exposição aguda (média diária) e crônica (média anual) da população de Curitiba a níveis de concentrações de $MP_{2,5}$ e MP_{10} , que o atendimento aos padrões de qualidade do ar da Resolução CONAMA n.º 491/2018 e as recomendações da Organização Mundial da Saúde poderiam evitar o número de mortes, seja ela por todas as causas ou por câncer dos brônquios e do pulmão, doenças respiratórias, doenças cardíacas pulmonares e da circulação pulmonar.

Em 2018, por exemplo, 30 mortes por câncer de brônquios e de pulmão poderiam ter sido evitadas na população com 30 anos ou mais caso a concentração média anual de $MP_{2,5}$ tivesse atendido a recomendação para exposição de longo prazo de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da OMS, o que corresponderia a uma redução de aproximadamente 10% no número total de mortes por câncer de brônquios e pulmão registradas naquele ano. No ano de 2017 haveria a potencial redução de 5% do número total de mortes por doenças respiratórias registradas, que passaria de 1.036 para 982, caso a recomendação para exposição de curto prazo da OMS para o poluente MP_{10} , de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, fosse atendida, ou seja, caso houvesse uma redução de 30% dos níveis de MP_{10} na atmosfera. Há também a redução no número de atendimentos médicos, visto que, com a redução da concentração há também a melhora dos sintomas respiratórias na população.

Esses resultados reforçam a necessidade da adoção de ações e políticas com foco na redução da concentração de partículas e demais poluentes na atmosfera, já que os impactos da melhora da qualidade do ar são perceptíveis não apenas em termos de ganhos para saúde da população, mas também para a sociedade e para a economia, visto que há a redução dos custos do sistema de saúde e a melhora na qualidade de vida, que impacta diretamente no mercado de trabalho, pois há uma diminuição no número de faltas dos trabalhadores por problemas respiratórios, por exemplo.

Ressalta-se a urgente necessidade do governo estadual verificar a situação das estações de monitoramento de qualidade do ar do município de Curitiba, pois para uma correta gestão, que visa não apenas o controle e minimização das emissões

atmosféricas com base em ações e políticas públicas, mas também o direito da sociedade em conhecer a qualidade do ar que está respirando, é necessário que haja um monitoramento com representatividade espacial, temporal e também que englobe, no mínimo, os poluentes críticos para a saúde, que são aqueles recomendados pelas diretrizes da Organização Mundial da Saúde e preconizados na legislação federal.

Como sugestão de estudos futuros, cita-se a elaboração de um inventário de emissões atmosféricas atualizado para o Estado do Paraná, para a correta gestão da qualidade do ar, corroborando com a definição da rede de monitoramento de qualidade do ar do Estado, assim como para a tomada de ações efetivas de minimização e prevenção da poluição do ar. Além disso, sugere-se o estudo da influência de outros poluentes atmosféricos, como o dióxido de nitrogênio (NO_2) e o ozônio (O_3), na saúde da população do município de Curitiba.

REFERÊNCIAS

ADLER, F.R.; TANNER, C. J. **Ecosistemas Urbanos – Princípios Ecológicos para o Ambiente Construído**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

AGUIAR, L. S. **Estudo da relação da qualidade do ar e variáveis meteorológicas na ocorrência de morbidade respiratória e circulatória na região metropolitana de São Paulo**. Dissertação de mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2015.

ALEIXO, N. C. R. **Pelas Lentes da Climatologia e da Saúde Pública: Doenças Hídricas e Respiratórias na Cidade de Ribeirão Preto**. Tese de doutorado – Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 2012.

AMÂNCIO, T. C.; NASCIMENTO, C. F. L. **Asma e poluentes ambientais: um estudo de séries temporais**. Revista da Associação Médica Brasileira, vol. 58, n. 3, p.302-307, 2012.

ANSARI, M.; EHRAMPOUSH, M. H. **Meteorological correlates and AirQ+ health risk assessment of ambient fine particulate matter in Tehran, Iran**. Environmental Research, vol. 170, p. 141-150, 2019. Disponível em: <http://bit.ly/3b769X2>. Acesso em: 26 fev. 2021.

APTE et al. **Addressing Global Mortality from Ambient PM2.5**. Environmental Science & Technology, vol. 49, n. 13, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3lg875D>. Acesso em: 21 fev. 2022.

ARBEX, et al. **A poluição do ar e o sistema respiratório**. Jornal Brasileiro de Pneumologia, vol. 38, n. 5, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/2Og1qJn>. Acesso em: 21 nov. 2020.

ARBEX, et al. **Urban air pollution and chronic obstructive pulmonary disease-related emergency department visits**. J Epidemiol Community Health, vol. 63, n. 10, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/3BNtPeL>. Acesso em: 21 fev. 2022.

ARDILES, L. G. **Risco à saúde atribuído à poluição do ar e variáveis meteorológicas na região metropolitana de Curitiba**. Dissertação de mestrado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2016.

AUNG, et al. **Association Between Ambient Air Pollution and Cardiac Morpho-Functional Phenotypes: Insights From the UK Biobank Population Imaging Study**. National Library of Medicine, vol. 138, n. 20, p. 2175-2186. Disponível em: <https://bit.ly/3bP50Cw>. Acesso em: 12 jan. 2021.

BAKONYI, et al. **Poluição atmosférica e doenças respiratórias em crianças na cidade de Curitiba, PR**. Revista de Saúde Pública, vol. 38, n. 5, São Paulo, 2004. Disponível em: <https://bit.ly/3q7DOEi>. Acesso em: 21 nov. 2020.

BARBOSA, et al. **Air pollution and children's health: sickle cell disease**. Cadernos de Saúde Pública, vol. 31, n. 2, p. 265-275, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3q4HlxK>. Acesso em: 06 jan. 2021.

BOTKIN, D. B.; KELLER, E. A. **Ciência Ambiental - Terra, Um Planeta Vivo**. 7ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. H. N. **Poluição Atmosférica e seus Efeitos na Saúde Humana**. Faculdade de Medicina da USP. São Paulo, 2005.

BRAGA, et al. **Poluição Atmosférica e Saúde Humana**. Revista USP, São Paulo, n. 51, p. 58-71, 2001.

BRAIT, C. H. H. **Monitoramento Ambiental de Metais Utilizando Biomonitorios e Sistema Passivo de Coleta de Poluentes**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2008.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n.º 018 de 06 de maio de 1986**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1986. Disponível em: <http://bit.ly/3dZsY0w>.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n.º 297 de 26 de fevereiro de 2002**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2002. Disponível em: <https://bit.ly/2Pp3P5j>.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n.º 418 de 25 de novembro de 2009**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/3uLze24>.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução n.º 491 de 19 de novembro de 2018**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3b6fCxV>.

BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito. **Resolução n.º 452 de 26 de setembro de 2013**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2013. Disponível em: <https://bit.ly/3uJ0xK9>.

BREATHELIFE. **Nossa Campanha Global**. Genebra, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3bVbFL0>. Acesso em: 22 jan. 2021.

BREATHELIFE. **A OMS Lista a Poluição do Ar e as Mudanças Climáticas entre as Ameaças da Saúde**. Genebra, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3szhxm>. Acesso em: 22 jan. 2021.

BRITO, P. H. F.; ARAÚJO, R. S.; MARINHO, G. **Composição química do material particulado atmosférico: uma revisão de literatura**. Holo, vol. 4, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/36oqp6k>. Acesso em: 08 mar. 2022.

BRITO, J.; BERNARDO, A.; GONÇALVES, L. L. **Atmospheric pollution and mortality in Portugal: Quantitative assessment of the environmental burden of disease using the AirQ+ model**. Science of The Total Environment, vol. 815, n. 1, 2022. Disponível em: <https://bit.ly/355NYQV>. Acesso em: 20 fev. 2022.

BRODBECK, P. **Coronavírus: Poluição do ar em Curitiba cai após medidas de isolamento social**. Curitiba, 2020. Disponível em: <https://glo.bo/3pal6OJ>. Acesso em: 20 fev. 2022.

BURNETT et al. **Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter**. PNAS Research Article, vol. 115, n. 38, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3Hctyms>. Acesso em: 20 fev. 2022.

BURR et al. **Effects on respiratory health of a reduction in air pollution from vehicle exhaust emissions**. Occup. Environ. Med., vol. 61, 2004. Disponível em: <https://bit.ly/3t3dSgq>. Acesso em: 20 fev. 2022.

CABALLERO, L. **MP2.5: Tudo o que você precisa saber sobre esse material particulado**. eCycle, Consuma Consciência, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3KS4JyN>. Acesso em: 11 mar. 2022.

CAMARGO, C. A.; VORMITAGG, E. **A qualidade do ar não pode estar na mesa para negociação**. Diplomatieque Brasil, ed. 149, Brasil, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3b49ENJ>. Acesso em: 20 dez. 2020.

CANÇADO, et al. **Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica**. Jornal Brasileiro de Pneumologia, vol.32, n.2, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/37YzelB>. Acesso em: 17 nov. 2020.

CAVALCANTI, D. **Solicitação de dados de monitoramento da qualidade do ar de estações de Curitiba** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: monica.beatriz@ufpr.br. 24 abr. 2020.

CE – Conselho Europeu. **Diretiva 1999/30/CE**. Jornal Oficial da União Europeia, 1999. Disponível em: <https://bit.ly/3vjEFYT>. Acesso em: 17 fev. 2022.

CE – Conselho Europeu. **Diretiva 2008/50/CE**. Jornal Oficial da União Europeia, 2008. Disponível em: <https://bit.ly/3oY10He>. Acesso em: 17 fev. 2022.

CESAR, G. C. A.; NASCIMENTO, C. F. L.; CARVALHO, A. J. **Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças**. Revista de Saúde Pública, vol. 47, n. 6, p.1209-1212, 2013.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo; Ano Base 2020**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3N2qw8O>. Acesso em: 07 mar. 2022.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade do Ar no Estado de São Paulo; Ano Base 2018**. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3qbwEi5>. Acesso em: 17 nov. 2020.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Poluição do Ar: Gerenciamento e Controle de Fontes**. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://bit.ly/3uJekR8>. Acesso em: 17 nov. 2020.

CGDIS – Coordenação-Geral de Disseminação de Informações em Saúde. **Tutorial TABNET**. Ministério da Saúde, Brasil, 2020. <https://bit.ly/2NUgQn1>. Acesso em: 23 out. 2020.

CONCEIÇÃO et al. **Air Pollution and Child Mortality: A Time-Series Study in São Paulo, Brazil**. Environmental Health Perspectives, vol. 109, n. 3, 2001. Disponível em: <https://bit.ly/34PnV0K>. Acesso em: 20 fev. 2022.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. **Boletim Epidemiológico da Gripe**. Secretaria Municipal da Saúde, Curitiba, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/38humbt>. Acesso em: 23 out. 2020.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. **Perfil da Cidade de Curitiba**. Curitiba, 2020a. Disponível em: <https://bit.ly/2NSI4Kz>. Acesso em: 16 out. 2020.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas – PlanClima**. Curitiba, 2020b. Disponível em: <https://bit.ly/3BJRLjd>. Acesso em: 16 fev. 2022.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. **Curitiba vai transformar aterro em usina de energia solar**. Curitiba, 2021a. Disponível em: <https://bit.ly/3HjyRke>. Acesso em: 16 fev. 2022.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. **Missão da AFD estuda financiamentos para ônibus elétricos**. Curitiba, 2021b. Disponível em: <https://bit.ly/3pb1WYY>. Acesso em: 16 fev. 2022.

CURITIBA. Prefeitura Municipal. **Projeto Cem Mil Árvores**. Curitiba, 2022. Disponível em: <https://bit.ly/3JTf115>. Acesso em: 16 fev. 2022.

DAPPER, S. N.; SPOHR, C.; ZANINI, R. R. **Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo**. Estudos Avançados, vol. 30, n. 86, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3e57olh>. Acesso em: 27 nov. 2020.

DERÍSIO, J. C. **Introdução ao controle de poluição ambiental**. 4ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

DETRAN PR - Departamento de Trânsito do Paraná. **Anuário Estatístico de Trânsito – Ano Base 2018**. Curitiba, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3q4BYnp>. Acesso em: 27 nov. 2020.

DIENER, A.; MUDU, P. **How can vegetation protect us from air pollution? A critical review on green spaces' mitigation abilities for air-borne particles from a public health perspective - with implications for urban planning**. Science of The Total Environment, vol. 796, n. 20, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3JLYMmg>. Acesso em: 17 fev. 2022.

DRUMM, et al. **Poluição atmosférica proveniente da queima de combustíveis derivados do petróleo em veículos automotores**. REGET, v. 18, n. 1, p. 66-78, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/3b49Lc7>. Acesso em: 09 dez. 2020.

ECMWF – *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*. **Validation Report for the CAMS Global Reanalysis of Aerosols and Reactive Trace Gases, Years 2003 – 2018**. Copernicus Atmosphere Monitoring Service, Reino Unido, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/2MBostU>. Acesso em: 16 out. 2020.

EEA – *European Environment Agency*. **Measures to reduce emissions of air pollutants and greenhouse gases: the potential for synergies**. Copenhagen, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3BIY4U2>. Acesso em: 16 fev. 2022.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Impacto na saúde humana pelo uso de biocombustíveis na Região Metropolitana de São Paulo**. Ministério de Minas e Energia, Nota Técnica, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3h0XXK3>. Acesso em: 19 fev. 2022.

EVELYN, J. **Fumifugium**. University of Exeter, Reprint of London: 1661. Londres, 1976. Disponível em: <http://bit.ly/2NUo1vt>. Acesso em: 26 fev. 2021.

FELIN, B. **Qual o impacto da poluição do ar na saúde?** WRI Brasil, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3uF8JLL>. Acesso em: 08 jan. 2021.

FERNANDES, et al. **Poluição atmosférica e efeitos respiratórios, cardiovasculares e reprodutivos na saúde humana**. Revista Médica de Minas Gerais, vol. 20, n. 1, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2NKK3km>. Acesso em: 17 jan. 2021.

FOGGIATO, F. **Crise hídrica I: afinal, estamos enfrentando a pior seca da história?** Câmara Municipal de Curitiba. Curitiba, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/2PjUyv7>. Acesso em: 07 jan. 2021.

FORNARO, A. **Poluição do ar: aspectos históricos**. LAPAT, USP, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3r27HXP>. Acesso em: 17 nov. 2020.

FREITAS, C. et al. **Internações e óbitos e sua relação com a poluição atmosférica em São Paulo, 1993 a 1997**. Revista Saúde Pública, v.38, n.6, p.751-7, 2004. Disponível em: <https://bit.ly/3uLhCTJ>. Acesso em: 09 dez. 2020.

FREITAS, A. M.; SOLCI, M. C. **Caracterização do MP₁₀ e MP_{2,5} e distribuição por tamanho de cloreto, nitrato e sulfato em atmosfera urbana e rural de Londrina**. Quím. Nova, vol.32, n.7, São Paulo, 2009. Disponível em: <http://bit.ly/2MCLSiF>. Acesso em: 26 fev. 2021.

FRIEDMAN et al. **Impact of changes in transportation and commuting behaviors during the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on air quality and childhood asthma**. JAMA, vol. 285, n. 7, 2001. Disponível em: <https://bit.ly/33KBJca>. Acesso em: 16 fev. 2022.

GAVINIER, S.; NASCIMENTO, C. F. L. **Poluentes atmosféricos e internações por acidente vascular encefálico**. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, Taubaté, vol. 9, n. 3, 2014.

GOUVEIA, N.; FLETCHER, T. **Respiratory diseases in children and outdoor air pollution in Sao Paulo, Brazil: a time series analysis**. Occupational and Environmental Medicine, vol. 57, n. 7, 2000. Disponível em: <https://bit.ly/3sSjtWW>. Acesso em: 20 fev. 2022.

GOVERNMENT OF CANADA. **Government of Canada actions to reduce air pollution**. Canadá, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3lhZVI4>. Acesso em: 20 fev. 2022.

GRAUER, A. **Inventário Estadual de Emissões Atmosféricas de Poluentes e Proposta para Revisão e Ampliação da Rede de Monitoramento da Qualidade do Ar do Estado do Paraná - Relatório Final**. Curitiba, 2013. Disponível em: <https://bit.ly/3sEBOoK>. Acesso em: 10 jan. 2021.

HADEI, et al. **Burden of mortality attributed to PM2.5 exposure in cities of Iran; contribution of short-term pollution peaks**. Atmospheric Environment, vol. 224, 2020. Disponível em: <http://bit.ly/3reptXO>. Acesso em: 26 fev. 2021.

HANANIA, J.; STENHOUSE, K.; DONEV, J. **Great smog of 1952**. Energy Education, University of Calgary, Calgary, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3qb13gC>. Acesso em: 21 nov. 2020.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. **Relatório da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Curitiba; Ano de 2009**. Paraná, 2009. Disponível em: <https://bit.ly/2H0OGIq>. Acesso em: 18 out. 2020.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. **Relatório da Qualidade do Ar na Região Metropolitana de Curitiba; Ano de 2015**. Paraná, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/3kz6TqW>. Acesso em: 18 out. 2020.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. **Relatório Anual da Qualidade do Ar de Curitiba e Região Metropolitana, Ano de 2014**. Curitiba, 2015. Disponível em: <https://bit.ly/3sWGjN3>. Acesso em: 16 out. 2020.

IAP – Instituto Ambiental do Paraná. **Portaria n.º 253 de 01 de setembro de 2020**. Curitiba, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3vdHbQ6>. Acesso em: 16 fev. 2022.

IAT – Instituto Água e Terra. **Monitoramento da Qualidade do Ar**. Curitiba, 2022a. Disponível em: <https://bit.ly/3q2wVUx>. Acesso em: 18 fev. 2022.

IAT – Instituto Água e Terra. **Plano de Controle de Emissões Atmosféricas**. Rede Paranaense da Qualidade do Ar, Curitiba, 2022b. Disponível em: <https://bit.ly/3q693Cq>. Acesso em: 14 mar. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Curitiba: Panorama, Pesquisas, História e Fotos**. Brasil, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3kCp7rO>. Acesso em: 16 out. 2020.

IEMA – Instituto de Energia e Meio Ambiente. **Padrões de Qualidade do Ar: Experiência Comparada Brasil, EUA e União Europeia**. São Paulo, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/3h2pk6m>. Acesso em: 20 fev. 2022.

INEA – Instituto Estadual do Ambiente. **Relatório de Qualidade do Ar do Estado do Rio de Janeiro; Ano Base 2018**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/2NQ8zQZ>. Acesso em: 25 fev. 2021.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas – 1981 a 2010**. Brasil, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2MCGj3L>. Acesso em: 03 nov. 2020.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Tabela de Dados das Estações: Curitiba (A807) – 2015 a 2020**. Brasil, 2020.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Ficha Técnica: Material Particulado $d < 2.5 \mu\text{m}$ - Próximo da Superfície**. SISAM. Brasil, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/2Oh5IFO>. Acesso em: 16 out. 2020.

IPARDES – Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Perfil Avançado do Município de Curitiba**. Curitiba, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3kHUBwy>. Acesso em: 16 out. 2020.

IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. **Mapa dos Bairros de Curitiba**. Setor de Geoprocessamento. Curitiba, 2012. Disponível em: <https://bit.ly/3kAkUVc>. Acesso em: 16 out. 2020.

ISS – Instituto Saúde e Sustentabilidade. **Avaliação do impacto da implementação da fase P-8 do PROCONVE para a frota de veículos pesados na saúde pública com sua respectiva valoração econômica em seis regiões metropolitanas brasileiras**. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/30r0Qf1>. Acesso em: 05 mar. 2021.

KAMRIN, M. A. **Donora: Air Pollution Episode**. Encyclopedia of Toxicology, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/3sBhpAT>. Acesso em: 20 nov. 2020.

KARR et al. **Effects of subchronic and chronic exposure to ambient air pollutants on infant bronchiolitis**. Am. J. Epidemiol., vol. 165, 2007. Disponível em: <https://bit.ly/3v6n6Lt>. Acesso em: 20 fev. 2022.

KRZYZANOWSKI, M. **Methods for assessing the extent of exposure and effects of air pollution**. Occup. Environ. Med. 54(3):145–151. 1997. Disponível em: <https://bit.ly/3qfCPID>. Acesso em: 21 out. 2020.

KÜNZLI, N.; PEREZ, L.; RAPP, R. **Air Quality and Health**. European Respiratory Society, 2010.

LACTEA – Laboratório de Computação e Tecnologia em Engenharia Ambiental. **Relatório Técnico do Monitoramento da Qualidade do Ar em Curitiba e Região Metropolitana – Setembro/2020**. Curitiba, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/38hxjZB>. Acesso em: 16 out. 2020.

LADEN et al. **Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities study**. Am J Respir Crit Care Med, vol. 173, n. 6, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3HdqYNm>. Acesso em: 16 fev. 2022.

LIMA, et al. **Associação entre a exposição materna ao material particulado e parto prematuro**. Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, Taubaté, vol. 9, n. 1, 2014.

LISBOA, H. M. **Fontes de Poluição Atmosférica**. Controle da Poluição Atmosférica – Capítulo 02 – ENS/UFSC. Florianópolis, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/3bP98m0>. Acesso em: 21 nov. 2020.

MAIA, J. L. M.; NETTO, V. M.; COSTA, B. L. G. **Forma urbana e poluição atmosférica: impactos na cidade do Rio de Janeiro**. Rev. Bras. Gest. Urbana, Curitiba, v. 11, e20180145, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3b4byxR>. Acesso em: 16 nov. 2020.

MARCO, et al. **Mortality and morbidity for cardiopulmonary diseases attributed to PM2.5 exposure in the metropolis of Rome, Italy**. European Journal of Internal Medicine, vol. 57, p. 49-57, 2018. Disponível em: <http://bit.ly/3sJcCqJ>. Acesso em: 26 fev. 2021.

MERCURI, E. G. F. **Dados de PM** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: monica.beatriz@ufpr.br. 20 ago. 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Poluição Atmosférica na Ótica do Sistema Único de Saúde: Vigilância em Saúde Ambiental e Qualidade do Ar**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Saúde Ambiental, do Trabalhador e Vigilância das Emergências em Saúde Pública. Brasília, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/34SYqvm>. Acesso em: 20 fev. 2022.

MINGUILLÓN, et al. **Seasonal and spatial variations of sources of fine and quasi-ultrafine particulate matter in neighborhoods near the Los Angeles–Long Beach harbor**. Atmospheric Environment, vol. 42, n. 32, p. 7317-7328, 2008. Disponível em: <http://bit.ly/2NKQ1lq>. Acesso em: 26 fev. 2021.

MIRAGLIA, S. G. K.; GOUVEIA, N. **Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras**. Ciência e Saúde Coletiva, vol. 19, n. 10, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/3bQ5EzR>. Acesso em: 22 jan. 2021.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Guia Técnico para o Monitoramento e Avaliação da Qualidade do Ar**. Brasília, 2019.

MOREIRA, T. C. L. **Interação da vegetação arbórea e poluição atmosférica na cidade de São Paulo**. Dissertação, USP, São Paulo, Piracicaba, 2010. Disponível em: <https://bit.ly/3lh9HTT>. Acesso em: 14 mar. 2022.

MUDU, P.; GAPP, C.; DUNBAR, M. **AirQ+ Example of Calculations**. Geneva, World Health Organization, 2018.

MYLLYVIRTA, L. **Quantifying the Economic Costs of Air Pollution from Fossil Fuels**. Centre for Research on Energy and Clean Air, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3dXJA8S>. Acesso em: 26 fev. 2021.

NASCIMENTO, L. F. C. **Poluentes ambientais e internações devido a acidente vasculoencefálico**. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, vol. 28, n. 7, p.1319-1324, 2012.

NASCIMENTO, L. F. C.; FRANCISCO, J. B. **Material particulado e internação hospitalar por hipertensão arterial em uma cidade brasileira de porte médio**. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, vol. 29, n. 8, p.1565-1571, 2013.

NEMERY, B.; HOET, P.; NEMMAR, A. **The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster**. The Lancet, Department Of Medical History, vol. 357, issue 9257, page 704-708, 2001. Disponível em: <https://bit.ly/3kxpQKI>. Acesso em: 20 nov. 2020.

NOVAES, et al. **The effects of chronic exposure to traffic derived air pollution on the ocular surface**. Environmental Research, volume 110, issue 4, May 2010, pages 372-374.

OLMO, N. R. S.; PEREIRA, L. A. A. **Poluição Atmosférica e Exposição Humana: A Epidemiologia Influenciando as Políticas Públicas**. INTERFACEHS, volume 6, n. 2, 2011. Disponível em: <https://bit.ly/3dZykJh>. Acesso em: 03 dez. 2020.

OPAS – Organização Pan-Americana de Saúde. **Não polua o meu futuro! O impacto do ambiente na saúde das crianças**. 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2PPGJFd>. Acesso em: 05 mar. 2021.

OPAS – Organização Pan-Americana de Saúde. **OMS estima que sete milhões de mortes ocorram por ano devido a contaminação atmosférica**. Genebra, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/3kAIFo>. Acesso em: 12 jan. 2021.

OPAS – Organização Pan-Americana de Saúde. **Novas Diretrizes Globais de Qualidade do Ar da OMS visam salvar milhões de vidas da poluição atmosférica**. Genebra, 2021a. Disponível em: <https://bit.ly/3uZXcco>. Acesso em: 12 fev. 2022.

OPAS – Organização Pan-Americana de Saúde. **Relatório Técnico do Termo de Cooperação nº 69 - Vigilância em Saúde Ambiental e do Trabalhador no SUS (2021)**. Brasília, 2021b. Disponível em: <https://bit.ly/3l4kVfd>. Acesso em: 12 fev. 2022.

OPAS – Organização Pan-Americana de Saúde. **Relatório Técnico do Termo de Cooperação nº 69 - Vigilância em Saúde Ambiental e do Trabalhador no SUS (2019)**. Brasília, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3p2Nwdo>. Acesso em: 12 fev. 2022.

OSTERATH, B. **Germany's air pollution: Clean up or pay up?** Deutsche Welle, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/2DQUwEo>. Acesso em: 01 mar. 2021.

OSTRO, B. **Outdoor air pollution: Assessing the environmental burden of disease at national and local levels.** WHO Environmental Burden of Disease Series, No. 5. Geneva, World Health Organization, 2004.

PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Resolução n.º 016 de 26 de março de 2014.** Diário Oficial do Estado, Curitiba, PR, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/302AAXZ>. Acesso em: 16 nov. 2020.

PASINI, F. **Solicitação de dados de monitoramento da qualidade do ar de estações de Curitiba** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: monica.beatriz@ufpr.br. 27 abr. 2020.

PINHEIRO, et al. **Isolated and synergistic effects of PM10 and average temperature on cardiovascular and respiratory mortality.** Revista de Saúde Pública, vol. 48, n. 6, p. 881-888, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/3q6XV5l>. Acesso em: 06 jan. 2021.

PINTO, F. C. V.; SANTOS, R. N. **Potenciais de redução de emissões de dióxido de carbono no setor de transportes: um estudo de caso da ligação hidroviária Rio-Niterói.** ENGEVISTA, Rio de Janeiro, vol. 6, n. 3, p. 64-74, 2004.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **O que é o IDHM.** Brasil, 2021. Disponível em: <http://bit.ly/3qiDqmB>. Acesso em: 28 fev. 2021.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Ranking IDHM Municípios 2010.** Brasil, 2010. Disponível em: <http://bit.ly/3ulDoaQ>. Acesso em: 16 out. 2020.

POPE, et al. **Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease.** National Library of Medicine, vol. 109, n. 1, p. 71-77, 2004. Disponível em: <http://bit.ly/3b6zXmH>. Acesso em: 15 jan. 2021.

POPE, C. A.. **Mortality effects of longer term exposures to fine particulate air pollution: review of recent epidemiological evidence.** Inhal. Toxicol., vol. 19, n. 1, 2007. Disponível em: <https://bit.ly/3haFVVF>. Acesso em: 15 fev. 2022.

ROMÃO, et al. **Relação entre baixo peso ao nascer e exposição ao material particulado inalável.** Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, vol. 29, n. 6, p.1101-1108, 2013.

SACKS, et al. **Quantifying the Public Health Benefits of Reducing Air Pollution: Critically Assessing the Features and Capabilities of WHO's AirQ+ and U.S. EPA's Environmental Benefits Mapping and Analysis Program—Community Edition (BenMAP—CE).** Atmosphere, vol. 11, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/36rNchU>. Acesso em: 20 fev. 2022.

SALDIVA, et al. **Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in Sao Paulo, Brazil: a preliminary report.** Environmental Research, vol. 65, n. 2, 1994. Disponível em: <https://bit.ly/3sTCSqp>. Acesso em: 20 fev. 2022.

SAMOLI et al. **Acute effects of air pollution on pediatric asthma exacerbation: evidence of association and effect modification.** Environ. Res. vol. 111, n. 3, 2011. Disponível em: <https://bit.ly/3seYxKF>. Acesso em: 15 fev. 2022.

SANTOS, T. L. **Emissões de poluentes por veículos automotores.** Revista Educação Pública, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://bit.ly/3e5b24V>. Acesso em: 15 nov. 2020.

SANTOS, et al. **O papel dos poluentes atmosféricos sobre o peso ao nascer em cidade de médio porte Paulista.** Revista Paulista de Pediatria, vol. 32, n. 4, p. 306-312, 2014. Disponível em: <http://bit.ly/3l0lIDa>. Acesso em: 05 mar. 2021.

SARRA, S. R.; MÜLFARTH, R. C. K. **Os impactos da Epidemia do novo Coronavírus sobre os níveis de poluentes no município de São Paulo.** Brazilian Journal of Development, vol. 7, n. 4, p. 40415-40438, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3LSE06n>. Acesso em: 05 fev. 2022.

SCHWARTZ, J. **Air Pollution and Children's Health.** Pediatrics, vol. 113, n. 4, p. 1037-1043, 2004. Disponível em: <https://bit.ly/3q4MwmM>. Acesso em: 29 jan. 2021.

SILVA, A. F.; VIEIRA, C. A. **Aspectos da poluição atmosférica: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras.** Ciência e Sustentabilidade, vol. 3, n. 1, p. 166-189, Juazeiro do Norte, 2017.

SILVA, et al. **Exposição ao monóxido de carbono: carboxihemoglobina e sintomas relatados por trabalhadores mototaxistas.** Journal Health NPEPS, v. 2, n. 1, Mato Grosso, 2017. Disponível em: <http://bit.ly/3r3qVMG>. Acesso em: 15 nov. 2020.

SILVA, et al. **Simulações preliminares do comportamento de poluentes atmosféricos em canyons urbanos usando o OpenFOAM.** Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics, vol. 8, n. 1, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3leKpWk>. Acesso em: 15 mar. 2022.

SILVA, et al. **Material Particulado Originário de Queimadas e Doenças Respiratórias.** Revista de Saúde Pública, vol.47, n. 2, p. 345-352, 2013. Disponível em: <http://bit.ly/2Obhf4n>. Acesso em: 06 jan. 2021.

SIMIONI, et al. **O Estado da Qualidade do Ar no Brasil.** Working Paper, WRI Brasil, 2021.

SISAM - Sistema de Informações Ambientais Integrado a Saúde. **Página Principal e Download de Dados.** Brasil, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/380f1vG>. Acesso em: 20 ago. 2020.

TABNET. **Mortalidade no Paraná**. DATASUS, Brasil, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3dYpMIL>. Acesso em: 28 set. 2020.

TADANO et al. **Dynamic model to predict the association between air quality, COVID-19 cases, and level of lockdown**. Environmental Pollution, vol. 268, part B, n. 1, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3510i5h>. Acesso em: 18 fev. 2022.

TIMONEN et al. **Daily variation in fine and ultrafine particulate air pollution and urinary concentrations of lung Clara cell protein CC16**. Occup. Environ. Med., vol. 61, 2004. Disponível em: <https://bit.ly/3LQgkzB>. Acesso em: 20 fev. 2022.

UMWELTBUNDESAMT. **Current air data – Annual tabulation**. Alemanha, 2022. Disponível em: <https://bit.ly/3taolCK>. Acesso em: 05 mar. 2022.

U.S. EPA – United States Environmental Protection Agency. **Environmental Benefits Mapping and Analysis Program - Community Edition (BenMAP-CE)**. Estados Unidos, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3p1A1L7>. Acesso em: 20 fev. 2022.

U.S. EPA – United States Environmental Protection Agency. **Actions You Can Take to Reduce Air Pollution**. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3pa5LgU>. Acesso em: 20 fev. 2022.

USP - Universidade de São Paulo. **Poluição Atmosférica em Centros Urbanos e Doenças Associadas - Ações Mitigadoras**. São Paulo, 2017.

VERAS, et al. **Air pollution and effects on reproductive-system functions globally with particular emphasis on the Brazilian population**. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews, 13:1, 1-15, 2010.

VINEIS, et al. **Lung cancers attributable to environmental tobacco smoke and air pollution in non-smokers in different European countries: a prospective study**. Environmental Health, vol, 6, n. 7, 2007. Disponível em: <https://bit.ly/3sc19Jq>. Acesso em: 22 fev. 2022.

VOLK, et al. **Traffic-Related Air Pollution, Particulate Matter, and Autism**. Jama Psychiatry, vol. 70, n. 1, p. 71-77, 2013. Disponível em: <http://bit.ly/3b6wrJ2>. Acesso em: 29 jan. 2021.

VORMITTAG, et al. **Análise do monitoramento da qualidade do ar no Brasil**. Revista USP, Estudos Avançados, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3tdv6rN>. Acesso em: 19 fev. 2022.

WHO – *World Health Organization*. **Air pollution**. Geneva, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/302dqAX>. Acesso em: 05 jan. 2021.

WHO – *World Health Organization*. **World health statistics 2020: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals**. Geneva, 2020. Disponível em: <https://bit.ly/3sDwH8b>. Acesso em: 05 jan. 2021.

WHO – *World Health Organization*. **AirQ+: Software tool for health risk assessment of air pollution**. WHO Regional Office for Europe, version 2.0, Bonn, 2019a. Disponível em: <https://bit.ly/3r9wyc7>.

WHO – *World Health Organization*. **Health impact of ambient air pollution in Serbia: a call to action**. WHO Regional Office for Europe, 2019b.

WHO – *World Health Organization*. **World Health Statistics data visualizations dashboard**. Genebra, 2018. Disponível em: <https://bit.ly/3bRBITN>. Acesso em: 05 jan. 2021.

WHO – *World Health Organization*. **Relative risk calculations**. WHO Regional Office for Europe, 2015.

WHO – *World Health Organization*. **Air Quality Guidelines – Global Update 2005**. Genebra, 2006. Disponível em: <https://bit.ly/3bV64oo>. Acesso em: 05 jan. 2021.

WHO – *World Health Organization*. **General Meteorological Standards and Recommended Practices**. WMO, n. 49, edição institucional, Genebra, 1988. Disponível em: <https://bit.ly/3e2Ydb9> Acesso em: 28 fev. 2021.

WHO – *World Health Organization*. **WHO global air quality guidelines – Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide**. Genebra, 2021. Disponível em: <https://bit.ly/3sTejtH>. Acesso em: 28 jan. 2022.

ZURMÜHLEN, O. K. **Alemanha é país que mais polui o ar na União Europeia**. Deutsche Welle, 2016. Disponível em: <https://bit.ly/2J4d42l>. Acesso em: 01 mar. 2021.

ANEXO I – MAPA DAS ESTAÇÕES DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DO AR NO MUNICÍPIO DE CURITIBA/PR

