



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

KAREN THALITA PEREIRA

**O Impacto dos poluentes atmosféricos nos anos perdidos de vida por doenças
cardiovasculares em Piracicaba – SP**

Guaratinguetá - SP

2023

Karen Thalita Pereira

**O Impacto dos poluentes atmosféricos nos anos perdidos de vida por doenças
cardiovasculares em Piracicaba – SP**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia e
ciências de Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, para obtenção do título de
Doutor em Engenharia Mecânica em Energia.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Costa
Nascimento

Co-orientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães
Sobrinho

Guaratinguetá - SP

2023

P436i	Pereira, Karen Thalita O Impacto dos poluentes atmosféricos nos anos perdidos de vida por doenças cardiovasculares em Piracicaba-SP / Karen Thalita Pereira - Guaratinguetá, 2023. 94 f : il. Bibliografia: f. 80-92 Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023. Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento Coorientador: Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho 1. Ar - Poluição. 2. Sistema cardiovascular. 3. Doenças - Epidemiologia. 4. Biomassa. I. Título. CDU 614.71
-------	---

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

Essa tese tem como potencial científico contribuir por meio dos resultados obtidos para geração de novos conhecimentos acerca do tema em questão e servir como banco de dados e base para realização de novas pesquisas, trabalhos e discussões acadêmicas, que comprovem a importância da implementação de novas estratégias que minimizem os impactos na saúde humana provenientes da poluição atmosférica. Como impacto econômico dessa pesquisa pretende-se com o valor financeiro proveniente da mortalidade associada aos poluentes atmosféricos conscientizar e comprovar que investindo em estratégias que diminuam a emissão de poluentes consequentemente diminuirá também os gastos com as internações por doenças cardiovasculares no Sistema Único de Saúde. Por fim, como impacto social esta pesquisa contribui positivamente para conscientização da população geral sobre a importância de diminuir a utilização de fontes que geram poluentes atmosféricos e com as ações implementadas contribuir com o bem-estar social e aumento da qualidade de vida de indivíduos ou coletividades, pois a diminuição dos poluentes está associado diretamente à diminuição da morbimortalidade por doenças cardiovasculares.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

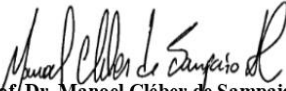
The present study scientifically impacts the generation of new knowledge about the subject in question and serves as a database and basis for carrying out new research and academic discussions, which prove the importance of implementing new strategies that minimize the impacts of air pollution on human health. The economic impact of this research is associated with the financial value of the mortality associated with air pollutants and is intended to raise awareness and prove that investing in strategies that reduce the emission of pollutants will consequently also reduce the expenses of hospitalizations for cardiovascular diseases in the Unified Health System. Finally, as a social impact, this research contributes positively to the general population's awareness of the importance of reducing the use of sources that generate air pollutants and, with the implemented actions, contribute to social well-being and increase the quality of life of individuals or communities, as the decrease in pollutants is directly associated with a decrease in morbidity and mortality from cardiovascular diseases.

KAREN THALITA PEREIRA

**ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“DOUTORA EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: DOUTORADO**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. LUIZ FERNANDO COSTA NASCIMENTO
Orientador - UNESP

participou por videoconferência



p/Prof. Dr.ª. ELIANA VIEIRA CANETTIERI
UNESP

participou por videoconferência



p/. Dr. JOÃO ANDRADE DE CARVALHO JÚNIOR
UNESP

participou por videoconferência



p/ Dr.ª. ANA CRISTINA GOBBO CESAR
Instituto Federal de Bragança Paulista

participou por videoconferência



p/Prof. Dr. LUIZ FELIPE SILVA
Instituto de Recursos Naturais / UNIFEI

participou por videoconferência

MAIO de 2023

DADOS CURRICULARES

KAREN THALITA PEREIRA

NASCIMENTO 26.01.1990 – Itajubá / MG

FILIAÇÃO João Carlos Pereira
Heloise Helena Pereira

2008/2011 Curso de Graduação em Enfermagem
Faculdade Wenceslau Braz (FWB)

2012/2014 Especialização em Urgência Emergência e Terapia Intensiva
Faculdade Wenceslau Braz (FWB)

2014/2016 Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)

2017/2018 Especialização em Enfermagem do Trabalho
Centro Universitário Internacional (UNINTER)

2017/2019 Residência Multiprofissional em Saúde
Hospital de Clínicas de Itajubá (HCI)

2019/2020 Especialização em Saúde da Família
Centro de Ensino Superior Dom Alberto

2019/2021 Especialização em Formação Didático- Pedagógica para Cursos na
Modalidade à distância
Universidade Virtual do Estado de São Paulo (UNIVESP)

Dedico este trabalho
a Deus e minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, primeiramente, pela possibilidade de fazer o Doutorado, pela força, pela vida, por iluminar o meu caminho, me abençoar e dar forças durante todo esse ciclo.

À minha mãe Heloise Helena, minha madrinha Marcia Benedita, meus avós Maria Rita, Beth e Ditinho, minhas primas Thatiane Pereira e Darienny Pereira por sempre me apoiarem, dar carinho, amor e principalmente me compreenderem e terem paciência em todos os momentos.

Aos meus amigos, em especial, Ana Carolina, Anelise Duarte e Isabela por sempre me incentivar e por muitas vezes me ajudar a encontrar soluções quando elas pareciam não existir.

Ao orientador Prof. Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento e Co-orientador Prof. Dr. Pedro Magalhães Sobrinho agradeço pela oportunidade, paciência demonstrada no decorrer do trabalho, compreensão, ensinamentos e palavras de apoio e incentivo durante todo esse tempo.

Aos professores: Prof. Dr. Luiz Felipe Silva e Prof^a. Dr^a. Ana Cristina Gobbo Cesar pelas sugestões e orientações dadas no exame de qualificação desta tese.

A todos os professores e funcionários da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, que contribuíram para minha formação e conclusão do curso.

RESUMO

A poluição do ar pode gerar efeitos nocivos na saúde humana e constituem um importante problema de Saúde Pública. As doenças do aparelho circulatório são uma das principais causas de óbito no Brasil e sua morbimortalidade pode ser intensificada pela emissão de poluentes atmosféricos acima dos níveis recomendados. O Brasil tem um papel importante na emissão de poluentes atmosféricos devido à queima de biomassa, em especial, o município de Piracicaba - SP, que é um dos principais produtores de açúcar e álcool no mundo. Sendo assim, o objetivo desse estudo é “Avaliar o papel da exposição a poluentes do ar na gênese das doenças do aparelho cardiovascular em Piracicaba – SP, quantificando os anos potenciais de vida perdidos (YLL) em decorrência das mortes prematuras causadas por essas doenças”. Trata-se de estudo epidemiológico, ecológico de séries temporais com dados relativos a internações por doenças cardiovasculares (CID-10 de Hipertensão arterial: I10.0 a I15.0, Doenças isquêmicas do coração I20.0-I25.9, ICC: I50.0 a I50.9, Doenças cerebrovasculares: I60.0 a I64.9) em sujeitos de ambos os sexos, residentes no município de Piracicaba – SP, no período de 01 de janeiro de 2016 a 31 de dezembro de 2018. Os poluentes foram obtidos pelo banco de dados da CETESB e as temperaturas mínima e máxima e umidade pelo banco de dados da ESALQ. Foram consideradas defasagens de 0 a 7 dias e os modelos foram controlados por dia da semana e sazonalidade. A pesquisa abrangeu sujeitos de ambos os sexos residentes no município de Piracicaba – SP. No período de estudo ocorreram 3074 internações e 359 óbitos por doenças cardiovasculares. Os dados foram menos significativos/expressivos quando utilizado a temperatura mínima nos modelos univariados e multivariados, e mais significativos ao utilizar a temperatura média e máxima. Na análise univariada, quando aplicada a metodologia DALY, o $PM_{2,5}$, considerando a temperatura máxima, no LAG 5 foi o mais expressivo, resultando em 2876 anos potenciais de vida perdidos, e consequentemente em R\$45.764.255,5. Na análise multivariada, quando aplicada a metodologia DALY, o NO_2 , considerando a temperatura máxima, no LAG 4 foi o mais expressivo, resultando em 113,6813 anos potenciais de vida perdidos, e consequentemente em R\$22.736.257,72. Foi possível constatar que o material particulado inalável e os níveis de NO_2 e O_3 , estão associados a morbimortalidade por doenças cardiovasculares. Por isso, é de extrema importância a implementação de medidas públicas para mitigar as emissões resultantes principalmente da queima de biomassa e monitorização da qualidade do ar que vêm sendo adotadas tanto por parte da empresa responsável quanto por parte das autoridades públicas.

Palavras chave: material particulado; temperatura; doenças cardiovasculares; análise de custo em saúde.

ABSTRACT

Air pollution can have harmful effects on human health, and it is an important public health problem. Diseases of the circulatory system are one of the main causes of death in Brazil and their morbidity and mortality can be intensified by the emission of air pollutants above recommended levels. Brazil has an important role in the emission of atmospheric pollutants due to the burning of biomass, in particular, the municipality of Piracicaba - SP, which is one of the main producers of sugar and alcohol in the world. Therefore, the objective of this study is “Evaluate the role of exposure to air pollutants in the genesis of diseases of the cardiovascular system in Piracicaba - SP, quantifying the potential years of life lost (YLL) due to premature deaths caused by these diseases”. This is an epidemiological and ecological of time series study with data on hospitalizations for cardiovascular diseases (ICD-10 of Hypertension: I10.0 to I15.0, Ischemic heart diseases I20.0-I25.9, ICC: I50 .0 to I50.9, Cerebrovascular diseases: I60.0 to I64.9) in subjects of both genders, residing in the city of Piracicaba - SP, from January 1, 2016 to December 31, 2018. The pollutants were obtained from the CETESB database and the minimum and maximum temperatures and humidity from the ESALQ database. The lags ranged from 0 to 7 days and the models were controlled by day and seasonality. During the study period, there were 3074 hospitalizations and 359 deaths due to cardiovascular diseases. The data were less significant/expressive when using the minimum temperature in the univariate and multivariate models, and more significant when using the maximum temperature. In the univariate analysis, when the DALY methodology was applied, considering the maximum temperature with a lag of 5 days, the $PM_{2.5}$ was the most expressive, resulting in 2876 years of potential life lost, and consequently in 45,764,255.5 million reais. In the multivariate analysis, when the DALY methodology was applied, considering the maximum temperature with a lag of 4 days, NO_2 was the most expressive, resulting in 113.6813 potential years of life lost, and consequently in 22,736,257.72 million reais. It was possible to identify that the inhalable particulate material and the levels of NO_2 and O_3 are associated with morbidity and mortality due to cardiovascular diseases. Therefore, it is extremely important to implement public measures to mitigate emissions of air pollutants, mainly resulting from the burning of biomass, and improve the consistently monitoring of air quality to generate more robust data.

Key words: particulate matter; temperature; cardiovascular disease; health cost analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização de Piracicaba, interior de São Paulo	39
Figura 2 - Portal DATASUS	41
Figura 3 - Caminho para acesso aos arquivos do DATASUS	41
Figura 4 - Caminho para obter a planilha DATASUS.....	42
Figura 5 - Arquivo para baixar planilhas DATASUS	42
Figura 6 - Arquivos para downloads para obter planilha DATASUS.....	43
Figura 7 - Planilha fornecida pelo DATASUS	44
Figura 8 - Planilha filtrada.....	44
Figura 9 - Portal CETESB.....	45
Figura 10 - QUALAR – Sistema de informações de qualidade do ar	45
Figura 11 - Acessando os dados	46
Figura 12 - Gerando os dados.....	46
Figura 13 - Relatório fornecido pela CETESB.....	47
Figura 14 - Distribuição do PM10 e PM2,5 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no município de Piracicaba, 2016 – 2018	54
Figura 15 - Distribuição do PM10 e PM2,5 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no município de Piracicaba, 2016 – 2018, por trimestre.....	54
Figura 16 - Distribuição da concentração diária de Fração Grossa (PM10-PM2,5) em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, no município de Piracicaba, 2016 -2018	55
Figura 17 - Distribuição da concentração diária de Fração Grossa (PM10-PM2,5) em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, no município de Piracicaba, 2016 -2018, por trimestre.....	55
Figura 18 - Distribuição do NO2 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no município de Piracicaba, 2016 – 2018.....	56
Figura 19 - Distribuição do NO2 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no município de Piracicaba, 2016 – 2018, por trimestre	56
Figura 20 - Distribuição do O3 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no município de Piracicaba, 2016 – 2018.....	57
Figura 21 - Distribuição do O3 em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no município de Piracicaba, 2016 – 2018, por trimestre	57
Figura 22 - Internações no município de Piracicaba, 2016 – 2018	58
Figura 23 - Umidade relativa do ar no município de Piracicaba, 2016 – 2018	58
Figura 24 - Umidade relativa do ar no município de Piracicaba, 2016 – 2018, por trimestre .	59
Figura 25 - Temperatura média no município de Piracicaba, 2016 – 2018.....	59

Figura 26 - Temperatura média no município de Piracicaba, 2016 – 2018, por trimestre60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Expectativa de vida de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	52
Tabela 2 - Análise descritiva das variáveis utilizadas no estudo, Piracicaba 2016 – 2018	53
Tabela 3 - Correlação de Pearson dos poluentes atmosféricos (MP2,5, PM10, Fração grossa, NO2 e O3), variáveis meteorológicas e internações, demonstrando os respectivos coeficientes, erro padrão e p-valores, Piracicaba 2016 – 2018.....	60
Tabela 4 - Análise univariada dos poluentes atmosféricos PM 2,5, PM10, Fração grossa, NO2 e O3, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, ajustada pela temperatura média, Piracicaba 2016 – 2018.....	61
Tabela 5 - Análise multivariada dos poluentes atmosféricos, PM2,5, NO2 e O3, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, ajustada pela temperatura média, Piracicaba 2016 – 2018	62
Tabela 6 - Análise multivariada dos poluentes atmosféricos PM10, NO2 e O3, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, Piracicaba 2016 – 2018, utilizando a temperatura média	63
Tabela 7 - Análise univariada dos poluentes atmosféricos PM 2,5, PM10, Fração grossa, NO2 e O3, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, utilizando a temperatura máxima, Piracicaba 2016 – 2018.....	64
Tabela 8 - Análise multivariada dos poluentes atmosféricos, PM2,5, NO2 e O3, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, ajustada pela temperatura máxima, Piracicaba 2016 – 2018.....	66
Tabela 9 - Análise multivariada dos poluentes atmosféricos PM10, NO2 e O3, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, ajustada pela temperatura máxima, Piracicaba 2016 – 2018.....	67
Tabela 10 - Análise univariada dos poluentes atmosféricos PM 2,5, PM10, Fração grossa, NO2 e O3, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, utilizando a temperatura mínima, Piracicaba 2016 – 2018	68
Tabela 11 - Análise multivariada dos poluentes atmosféricos, PM2,5, NO2 e O3, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, ajustada pela temperatura mínima, Piracicaba 2016 – 2018.....	69

Tabela 12 - Análise multivariada dos poluentes atmosféricos PM10, NO2 e O3, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, ajustada pela temperatura mínima, Piracicaba 2016 – 2018.....	70
Tabela 13 - Comparativo dos resultados obtidos na análise univariada e multivariada, utilizando as temperaturas média, mínima e máxima, em Piracicaba 2016 – 2018.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO	Monóxido de carbono
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
DCV	Doenças cardiovasculares
DALY	<i>Disability Adjusted Life Years</i> ou Anos de Vida Perdidos e Vividos com Incapacidades
DATASUS	Departamento de informática do Sistema Único de Saúde do Brasil
DPOC	Doença pulmonar obstrutiva crônica
FG	Fração Grossa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NO ₂	Dióxido de nitrogênio
NO	Óxido nítrico
NO _x	Óxidos de nitrogênio
nm	Nanômetro
µm	Micrômetro
O ₃	Ozônio
OMS	Organização Mundial da Saúde
PM	Material particulado
PM ₁₀	Partículas com diâmetro menor que 10 µm
PM _{2,5}	Partículas com diâmetro menor que 2,5 µm
PM _{0,1}	Partículas com diâmetro menor que 10nm
QUALAR	Qualidade do ar
RN	Recém-nascido
SIHSUS	Sistema de Informações Hospitalares do SUS
SO ₂	Dióxido de enxofre
LAG	Dias de defasagem / Dias de exposição

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo Geral.....	18
1.1.2	Objetivos específicos.....	18
1.2	JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO	18
1.3	ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1	IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS SOBRE OS EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR NA SAÚDE HUMANA.....	20
2.2	POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA	21
2.3	POLUENTES ATMOSFÉRICOS	22
2.3.1	Material particulado.....	23
2.3.2	Ozônio (O₃).....	24
2.3.3	Dióxido de enxofre (SO₂)	25
2.3.4	Monóxido de carbono (CO)	26
2.3.5	Óxidos de nitrogênio (NO_x).....	26
2.4	QUEIMA DE BIOMASSA	27
2.5	EFEITOS NA SAÚDE GERADOS PELA POLUIÇÃO DO AR.....	29
2.6	DOENÇAS CARDIOVASCULARES	35
2.7	EXPOSIÇÃO À POLUIÇÃO DO AR E OS EFEITOS NO SISTEMA CARDIOVASCULAR	35
3	MÉTODOS.....	39
3.1	LOCAL DE ESTUDO	39
3.2	COLETA DE DADOS	40
3.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	47
3.3.1	Regressão de Poisson	48
3.3.2	Correlação de Pearson	48
3.3.3	Método DALY	50
3.4	ASPECTOS ÉTICOS	52
4	RESULTADOS	53
5	DISCUSSÃO	72
6	CONCLUSÃO.....	79

REFERÊNCIAS.....	80
ANEXO 1.....	93
ANEXO 2.....	94

1 INTRODUÇÃO

Os efeitos e consequências que a poluição do ar pode gerar na saúde humana constituem um importante problema de Saúde Pública (TOLEDO; NARDOCCI, 2011). Um número crescente de estudos publicados por todo o mundo, principalmente nos últimos 20 anos, tem mostrado evidências consistentes dos efeitos nocivos da poluição do ar na saúde humana (BRAGA *et al.*, 2001; MAHESWARAN *et al.*, 2005; NASCIMENTO *et al.*, 2006; ARBEX *et al.*, 2010; AMANCIO; NASCIMENTO, 2012; TUAN; VENANCIO; NASCIMENTO, 2015; CÉSAR; CARVALHO; NASCIMENTO, 2015; SANTOS *et al.*, 2016). Essa relação foi verificada inclusive para níveis de poluentes considerados como seguros para a população (ARBEX *et al.*, 2004).

Embora muitos estudos tenham como foco o desenvolvimento de doenças respiratórias, há evidências científicas que apontam a poluição do ar como fator predisponente ao acometimento por doenças cardiovasculares. Além disso, as mudanças diárias nos níveis de material particulado influenciam diretamente na mortalidade, hospitalizações por doenças cardiovasculares e no aumento do risco de ser acometido por doenças cardiopulmonares (POPE *et al.*, 2004).

Sendo assim, a qualidade do ar interfere diretamente na saúde respiratória. Por meio de uma quantidade significativa dos poluentes inalados, a circulação sistêmica é atingida, através dos pulmões, e pode causar efeitos deletérios em diversos órgãos e sistemas, seja por uma exposição aguda ou crônica (BROOK *et al.*, 2008; ARBEX *et al.*, 2012; NASCIMENTO, 2012; ZHAO *et al.*, 2017).

As doenças do aparelho circulatório são uma das principais causas de óbito no Brasil. No ano de 2017 foram responsáveis por 358.882 óbitos, em 2016 por 362.091 óbitos e em 2015 por 349.642, ou seja, nos três anos foi a principal causa de morte em mais de 1 milhão de pessoas no Brasil (BRASIL, 2020).

Referente aos gastos com internações hospitalares por doenças do aparelho circulatório, no período de 2016 a 2019 foram gastos mais de 11 bilhões de reais (BRASIL, 2020).

Estimativas globais apontam que a poluição ambiental externa cause 1,15 milhões de óbitos em todo o mundo (aproximadamente 2% do total de óbitos) e seja responsável por 8,75 milhões de anos vividos a menos ou com incapacidade (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2009). Já a poluição no interior das residências são responsáveis por cerca

de 2 milhões de óbitos prematuros e 41 milhões de anos vividos a menos ou com incapacidade (OBERG *et al.*, 2011). A Organização Mundial da Saúde estima que no Brasil a poluição atmosférica externa seja responsável por aproximadamente 20 mil óbitos por ano e a poluição atmosférica interna por 10,7 mil óbitos por ano (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2009).

Somente no município de São Paulo, a morbimortalidade decorrente da poluição do ar gerava um custo econômico de cerca de US\$208 milhões ao ano (MIRAGLIA; SALDIVA; BOHM, 2005).

Miraglia e Gouveia (2014) em seu estudo realizado em 29 regiões metropolitanas encontraram um total de 20.050 óbitos decorrentes dos níveis de poluição atmosférica e um total de US\$1.209.737.687,00 quando os valores de custo de saúde foram valoradas no período de um ano.

A estimativa da carga de doença, caracterizada pela composição em uma mesma medida de indicadores de mortalidade prematura e morbidade, serve como indicador informativo, faz com que sejam identificadas as prioridades nas medidas preventivas em saúde, fornece subsídios para estabelecer as prioridades na saúde, formular e implementar as políticas públicas que sejam eficazes em seu controle, além de demonstrar o impacto desses indicadores sobre a saúde de diversos países e populações e servir como indicador informativo. O método mais utilizado para estimar a carga das doenças tem sido o DALY (*Disability-Adjusted Life Years*) (MARINHO; PASSOS; FRANÇA, 2016; TRAEBERT *et al.*, 2017; JACOBSON *et al.*, 2020).

O Brasil tem um papel importante na emissão de poluentes atmosféricos devido à queima de biomassa. O município de Piracicaba - SP, é um dos principais produtores de açúcar e álcool no mundo, os canaviais abrangem cerca de 80,0% da superfície, produzindo grande quantidade de material particulado quando a cana é queimada, principalmente entre os meses de abril a novembro (CANÇADO *et al.*, 2006b).

Os dados supracitados demonstram o quão importante é a realização de estudos epidemiológicos de séries temporais sobre o tema, afinal, estes, fortalecem a implementação de ações de vigilância em saúde ambiental e elaboração de medidas preventivas, educativas e informativas (TUAN; VENANCIO; NASCIMENTO, 2016), além de avaliar o impacto causado pela poluição do ar na saúde e fortalecer a implementação da vigilância ambiental na área de saúde, por meio de dados que estimem o risco de adoecimento da população em função da variação das concentrações dos poluentes atmosféricos e monitoramento dos

mesmos ao longo do tempo proporcionando a avaliação da eficácia de medidas de controle (NARDOCCI *et al.*, 2013).

Diante do exposto, este estudo busca determinar como a qualidade do ar pode afetar a saúde humana, representada pelas doenças do aparelho cardiovascular em Piracicaba – SP, utilizando um indicador de saúde e estimador de custos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

- Avaliar o papel da exposição a poluentes do ar na gênese das doenças do aparelho cardiovascular em Piracicaba – SP, quantificando os anos potenciais de vida perdidos (YLL) em decorrência das mortes prematuras causadas por essas doenças.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar o número de internação por doenças cardiovasculares (Banco de dados do Sistema Único de Saúde – DATASUS), no período de 01 de janeiro de 2016 a 31 de dezembro de 2018.
- Identificar as concentrações diárias de ozônio (O₃), dióxido de nitrogênio (NO₂), PM₁₀, PM_{2,5} e fração grossa do município estudado, no período de 01 de janeiro de 2016 a 31 de dezembro de 2018.
- Identificar a associação existente entre a exposição aos poluentes do ar e as internações por doenças cardiovasculares.
- Estimar os custos da poluição atmosférica na saúde humana.

1.2 JUSTIFICATIVA E MOTIVAÇÃO

Como justificativa para realização desse estudo é possível destacar que não existem estudos com esse detalhamento em cidades do interior do Brasil, como Piracicaba – SP, a qual possui focos que aumentam consideravelmente a concentração de poluentes ambientais, por praticarem, por exemplo, a queima da cana de açúcar. No período entre os anos de 2016 a

2018, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022) foram produzidas cerca de 9.653.000 toneladas de cana de açúcar, gerando um valor de produção de R\$ 631.322.000,00. Por isso, é necessária a realização de estudos em cidades de porte médio que demonstrem o papel da exposição aos poluentes atmosféricos na gênese das internações, dos óbitos e do custo financeiro.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

A tese foi estruturada em quatro capítulos, da seguinte forma:

- Capítulo 1: apresenta uma abordagem da justificativa do problema com os objetivos do trabalho;
- Capítulo 2: apresenta a fundamentação teórica mostrando o estado da arte sobre o nexo poluição-saúde;
- Capítulo 3: apresenta as características da área de estudo e o método do trabalho;
- Capítulo 4: apresenta os resultados obtidos;
- Capítulo 5: apresenta a discussão dos resultados;
- Capítulo 6: apresenta a conclusão do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 IMPORTÂNCIA DOS ESTUDOS EPIDEMIOLÓGICOS SOBRE OS EFEITOS DA POLUIÇÃO DO AR NA SAÚDE HUMANA

As pesquisas epidemiológicas não são projetadas especificamente para estudar os mecanismos biológicos que causam determinadas doenças, mas elas podem ser usadas para avaliar a existência da relação entre causa e desfecho (POPE *et al.*, 2004), por isso são de suma importância para descrever os complexos mecanismos e impactos sobre a saúde humana oriundas da poluição atmosférica, expandindo assim, o conhecimento sobre o assunto e possibilitando a criação de estratégias de intervenção efetivas, a fim de proporcionar uma melhor qualidade de vida à população decorrente da diminuição da exposição (ARBEX *et al.*, 2004).

As pesquisas científicas têm contribuído para identificar os principais efeitos adversos à saúde que a exposição a esta poluição pode proporcionar. Desse modo, informações originárias de investigações sistemáticas com dados obtidos regionalmente são imprescindíveis para o estabelecimento de vigilância dos efeitos de curto prazo decorrentes dos picos de poluição na morbidade respiratória e cardiovascular proporcionando assim, subsídios para as ações de controle e alerta aos serviços de saúde, e avaliação dos programas voltados a essa questão (GOUVEIA *et al.*, 2006; BRAGA *et al.*, 2007; NARDOCCI *et al.*, 2013).

Estudos referentes aos agravos à saúde que podem ser decorrentes da poluição atmosférica, por meio de indicadores de saúde (DALY), são de extrema importância para a conscientização da implementação de tecnologias menos poluentes e políticas públicas que priorizem a saúde da população exposta aos poluentes atmosféricos, com objetivo de diminuir a magnitude dos impactos causados (MIRAGLIA; GOUVEIA, 2014). Eles categorizam os efeitos a curto e longo prazo na saúde humana e a associação entre o número de eventos, como óbitos e hospitalizações, e as mudanças nos níveis diários da emissão de partículas orientam a elaboração de estratégias preventivas e corretivas que tenham como objetivo minimizar a emissão dos poluentes atmosféricos e consequentemente do número de hospitalizações (BROOK, 2008).

A introdução de processos reguladores referentes aos padrões de qualidade do ar com programas de vigilância da qualidade do ar que forneçam dados com qualidade que mostrem

as condições locais de poluição, meteorologia e de informações de saúde é de extrema importância para que as pesquisas sobre os efeitos da poluição do ar na saúde sejam efetivas (GOUVEIA *et al.*, 2006; BRAGA *et al.*, 2007).

2.2 POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

A poluição do ar é uma mistura de partículas (material particulado) e gases que são emitidos para atmosfera, ou seja, é uma mistura complexa de compostos gasosos, como ozônio, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio e material particulado (BROOK, 2008).

É possível definir a poluição atmosférica como a presença de substâncias estranhas na atmosfera, decorrentes da ação humana ou dos processos naturais, em concentrações suficientes para interferir direta ou indiretamente na saúde, segurança e bem estar dos seres vivos (CANÇADO *et al.*, 2006a).

Muitos aspectos da poluição do ar desempenham um papel importante nas características de exposições em nível populacional e individual. Os poluentes variam em várias escalas de tempo causando maior impacto em suas concentrações de acordo com as taxas de emissão, padrões climáticos, diurnos/sazonais, radiação solar e temperatura. Seu comportamento está interligado com sua taxa de formação e o tempo que permanece na atmosfera, por isso, as concentrações de muitos poluentes do ar tendem a co-variarem (BROOK, 2008).

Os poluentes podem ser classificados como primários, que são emitidos diretamente para atmosfera, por exemplo, os óxidos de nitrogênio (NO_2 ou NO_x), compostos orgânicos voláteis (COVs), monóxido de carbono (CO) e dióxido de enxofre (SO_2) e secundários que são resultantes de reações químicas entre os poluentes primários, por exemplo o ozônio (O_3), formado a partir da reação química induzida pela oxidação fotoquímica dos COVs e NO_2 na presença de raios ultravioleta provenientes da luz solar (ARBEX *et al.*, 2012).

Dentre as principais fontes de emissão responsáveis pela poluição do ar podem ser citados os veículos automotores, a queima de biomassa, queimadas em florestas, queimas de combustíveis fósseis nos motores à combustão, indústrias siderúrgicas, produtos químicos, atividades de mineração e atividades industriais de modo geral (BRAGA *et al.*, 2001; CANÇADO *et al.*, 2006b; BRAGA *et al.*, 2007; BROOK, 2008; CESAR; NASCIMENTO; CARVALHO JUNIOR, 2013). Nos países em desenvolvimento o uso do fogão à lenha também é considerado um grande poluidor do ar (BROOK, 2008). A população que vive nas

áreas rurais geralmente utilizam combustíveis sólidos derivados de biomassa, como madeira, carvão vegetal, esterco animal seco e resíduos agrícolas, e combustíveis líquidos, em menor proporção, como fonte de energia para cozinhar, aquecer e iluminar (ARBEX *et al.*, 2012).

Vários estudos (BRAGA *et al.*, 1999; GOUVEIA; FLETCHER, 2000; CONCEIÇÃO *et al.*, 2001; STIEB; JUDEK; BURNETT, 2002; MARTINS *et al.*, 2002; BRILHANTE; TAMBELLINI, 2002; RITZ *et al.*, 2002; LIN *et al.*, 2003; DAUMAS; MENDONÇA; LEON, 2004; GOUVEIA; BREMNER; NOVAES, 2004) encontraram associações entre os níveis diários de PM₁₀, PM_{2,5}, CO, O₃ e as consequências que estes podem gerar à saúde humana. Dentre as principais consequências estão as doenças respiratórias, cardiovasculares, baixo peso ao nascer e malformações congênitas.

Devido à relação existente entre a poluição atmosférica e a saúde humana, agências de monitoramento são responsáveis em monitorar os níveis diários emitidos de poluentes. Dentre os principais poluentes monitorados pelas agências de proteção ambiental nas áreas urbanas estão o PM₁₀, PM_{2,5}, PM_{0,1}, O₃, NO_x, NO₂, SO₂ e o CO (ARBEX *et al.*, 2012).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB realiza o monitoramento dos poluentes no município de Piracicaba – SP, e classifica a qualidade do ar de acordo com o quadro presente no anexo 1.

Em relação à qualidade do ar aos agravos que podem desenvolver à saúde, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB, associa os efeitos conforme o quadro 2 presente no anexo 2.

É válido ressaltar que cada poluente individualmente pode apresentar diferentes efeitos à saúde de acordo com sua concentração presente no ambiente.

2.3 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

Poluente atmosférico é toda e qualquer forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características que não está dentro dos níveis estabelecidos pela legislação, podendo se tornar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CETESB, 2020b).

2.3.1 Material particulado

O material particulado é uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar. Sua composição e tamanho dependem das fontes de emissão. As partículas são divididas em dois grupos, de acordo com seu tamanho aerodinâmico definido como o diâmetro de uma esfera densa que tem a mesma velocidade de sedimentação que a partícula em questão: partículas grandes, com diâmetro entre 2,5 e 30 μm , emitidas por meio de combustões descontroladas, dispersão mecânica do solo ou outros materiais da crosta terrestre, como pólen, esporos e materiais biológicos; e partículas pequenas, com diâmetro menor que 2,5 μm , emitidas pela combustão de fontes móveis e estacionárias, como automóveis, incineradores e termelétricas. As partículas menores que 2,5 μm têm como principais componentes o carbono, chumbo, vanádio, bromo e óxidos de enxofre e nitrogênio que na forma de aerossóis são a maior parte de partículas finas (BRAGA et al., 2001; CANÇADO et al., 2006a).

O material particulado tem origem primária ou secundária e ele é um dos poluentes mais estudados devido aos agravos que podem produzir à saúde humana. O material particulado pode variar em número, tamanho, formato, área de superfície e composição química, dependendo do local de sua produção e fonte de emissão (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2009).

A *World Health Organization* (2009) classifica o material particulado da seguinte maneira: partículas com diâmetro menor que 10 μm como PM_{10} ou fração inalável; partículas com diâmetro inferior a 2,5 μm como $\text{PM}_{2,5}$ ou finas; e partículas ultrafinas com diâmetro menor que 10 nm. Portanto, o PM_{10} contém, dentro dele, as frações grosseiras e $\text{PM}_{2,5}$. Já o $\text{PM}_{2,5}$ contém dentro dele as partículas ultrafinas, menores que 10 nm (BROOK, 2008).

O material particulado é formado por vários compostos químicos. Dentre eles estão um núcleo de carbono elementar ou orgânico, compostos inorgânicos (sulfatos e nitratos, metais de transição sob a forma de óxidos, sais solúveis), compostos orgânicos (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, material biológico, pólen, bactérias, esporos e restos animais) (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2009).

Em áreas urbanas o material particulado é proveniente principalmente da queima de combustíveis como carvão, gasolina, óleo e biomassa, de processos que envolvem altas temperaturas, como a fundição e produção de aço e do pó do solo (SOUZA et al., 2011; KIM, KABIR, KABIR, 2015).

O PM_{10} tem como fontes antropogênicas a poeira da rua e estradas e as atividades agrícolas e de construções; e como fontes naturais o sal marinho, pólen, esporos, fungos e cinzas vulcânicas. Ele pode atingir a traqueia, brônquios, bronquíolos e vias respiratórias inferiores. Como as partículas são inaláveis, exigem maior controle, pois, podem desencadear respostas de defesa, como o espirro e a tosse. As partículas que chegam à orofaringe podem ser deglutidas e as que conseguem atingir as partes mais distais das vias aéreas são fagocitadas pelos macrófagos alveolares, e então removidas pelo aparelho mucociliar ou sistema linfático (BRAGA *et al.*, 2001; CANÇADO *et al.*, 2006b).

Os $PM_{2,5}$ e $PM_{0,1}$ são provenientes de usinas termelétricas e queima de combustíveis fósseis e biomassa. O $PM_{2,5}$ pode atingir os alvéolos e o $PM_{0,1}$ os alvéolos, tecido pulmonar e corrente sanguínea. De forma geral, o material particulado diminui a atividade mucociliar e dos macrófagos, irrita as vias respiratórias, causa o estresse oxidativo e consequentemente a inflamação pulmonar e sistêmica. Sua exposição crônica ocasiona o remodelamento brônquico e predispõe a doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), podendo atuar com agente cancerígeno (ARBEX *et al.*, 2012).

Em relação à exposição ao PM_{10} não existe um nível seguro de concentração, afinal os efeitos à saúde podem ser observados mesmo em níveis de concentração muito abaixo dos padrões de qualidade do ar adotados pelas agências de monitoramento (BRAGA *et al.*, 2007).

2.3.2 Ozônio (O_3)

O ozônio está naturalmente presente na troposfera. Ele é derivado de uma série de reações catalisadas pela luz do sol (raios ultravioletas) que são responsáveis em estimular tais reações, envolvendo como precursores, óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos. Por isso, em dias ensolarados e quentes, ocorrem picos de concentração de ozônio. Como fontes naturais é possível citar as árvores, que contribuem na produção de compostos orgânicos voláteis e, como fontes antrópicas, tem-se os veículos automotivos, indústrias e usinas termoelétricas. O ozônio é oxidante e citotóxico, tendo assim, potencial para atingir as porções mais distais das vias aéreas e provocar lesões nas células (BRAGA *et al.*, 2001; CANÇADO *et al.*, 2006a; ARBEX *et al.*, 2012).

Os níveis de ozônio aumentam consideravelmente entre o fim da primavera e o começo do outono. Em regiões periféricas de grandes centros urbanos seus níveis de concentração aumentam geralmente no meio da manhã, após o horário em que se pode

encontrar um maior trânsito de veículos, devido à maior emissão de óxidos de nitrogênio. À tarde atingem o ápice e a noite sofrem um declínio em seus níveis (BRAGA *et al.*, 2001).

Em ambientes externos é possível encontrar uma maior concentração de ozônio que no interior das residências. Os principais emissores de ozônio nas residências são os purificadores de ar e as máquinas de fotocópias (BRAGA *et al.*, 2001).

O ozônio pode atingir a traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos. Em relação à sua fisiopatologia, é um agente oxidante fotoquímico e muito irritante, que pode provocar a inflamação da mucosa do trato respiratório. Em altas concentrações pode irritar os olhos, a mucosa nasal e a orofaringe, podendo ocasionar tosse e desconforto torácico. A exposição por várias horas leva a lesão no tecido epitelial de revestimento das vias aéreas, provocando inflamação e obstrução das vias aéreas a estímulos como o frio e exercícios (ARBEX *et al.*, 2012).

2.3.3 Dióxido de enxofre (SO₂)

O SO₂ é produzido por meio da combustão de elementos fósseis, como carvão e petróleo. Ele é decorrente principalmente dos veículos automotivos e das atividades termelétricas. Ele tem a capacidade de ser transportado para regiões distantes das fontes primárias de emissão, o que aumenta sua área de atuação, podendo atingir tanto as vias aéreas superiores quanto as regiões mais distais do pulmão. Sua retirada do organismo ocorre pela expiração e urina, com a eliminação de dois metabólitos, o sulfato e o éster sulfato (BRAGA *et al.*, 2001; CANÇADO *et al.*, 2006a).

Quando lançado na atmosfera, o SO₂ é oxidado formando ácido sulfúrico (H₂SO₄). Essa transformação depende do tempo de permanência no ar, da presença de luz solar, temperatura, umidade e adsorção do gás na superfície das partículas (BRAGA *et al.*, 2001).

O SO₂ é irritante e afeta a mucosa dos olhos, nariz, garganta, vias aéreas superiores, traqueia, brônquios e bronquíolos, causando tosse e aumentando a reatividade brônquica, facilitando a broncoconstrição. Como fontes antropogênicas é possível citar as refinarias de petróleo, veículos a diesel, fornos, metalurgia e fabricação de papel e como fonte natural tem-se a atividade vulcânica (ARBEX *et al.*, 2012).

2.3.4 Monóxido de carbono (CO)

Como fontes naturais do monóxido de carbono é possível citar a atividade vulcânica, decomposição da clorofila, descargas elétricas e emissão de gás natural e como fontes antropogênicas tem-se a combustão incompleta de combustíveis fósseis, sistemas de aquecimento, usinas termelétricas a carvão, queimadas florestais, queima de biomassa e tabaco, veículos automotivos, aquecedores a óleo, churrasqueiras e fogões a gás (CANÇADO *et al.*, 2006a; TUAN; VENANCIO; NASCIMENTO, 2016). Os fumantes possuem suas próprias fontes emissoras de CO, através do cigarro. Outras pessoas que ficam bastante expostas ao monóxido de carbono são aqueles que passam várias horas do dia dentro de um automóvel ou que tenham que andar a pé ou de bicicleta por horas ao redor de trânsito intenso (BRAGA *et al.*, 2001).

O monóxido de carbono atinge os alvéolos e a corrente sanguínea. Fisiopatologicamente sua união com a hemoglobina interfere no transporte de oxigênio devido à afinidade que o monóxido de carbono tem com a hemoglobina, sendo 240 vezes maior que a do oxigênio, fazendo com que uma pequena quantidade de monóxido de carbono possa saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina, ocasionando assim, hipóxia tecidual, devido a diminuição da liberação de oxigênio nos tecidos (CANÇADO *et al.*, 2006b), provocando cefaleia, náuseas e tontura, além de ter efeito deletério sobre o feto e estar associado com recém-nascidos de baixo peso e mortalidade fetal (ARBEX *et al.*, 2012).

A determinação dos níveis no sangue de carboxihemoglobina serve para avaliar a exposição individual, pois pessoas saudáveis e não-fumantes, que residem em áreas onde há grande concentração de CO no ambiente, apresentam um aumento de até 100% nos níveis de carboxihemoglobina quando comparadas com pessoas saudáveis e não-fumantes que não estão expostas aos níveis de CO dos grandes centros urbanos (BRAGA *et al.*, 2001).

2.3.5 Óxidos de nitrogênio (NO_x)

O NO_x é um composto formado por átomos de nitrogênio e oxigênio. As principais fontes antropogênicas do óxido nítrico (NO) e do dióxido de nitrogênio (NO₂) são os veículos automotivos, lavanderias, fogões a gás, aquecedores que utilizam querosene, queima de combustíveis em altas temperaturas e usinas termelétricas e químicas; A principal fonte natural são as descargas elétricas na atmosfera. Na presença da luz solar o dióxido de

nitrogênio reage com hidrocarbonetos e oxigênio formando o ozônio (CANÇADO *et al.*, 2006a; ARBEX *et al.*, 2012). Durante a combustão sob elevadas temperaturas, o oxigênio reage com o NO₂ e hidrocarbonetos formando ozônio (O₃), nitrogênio formando óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO₂) e outros óxidos de nitrogênio (NO_x). Esses compostos reagem na presença de oxigênio (O₂), ozônio e hidrocarbonetos, fazendo com que o NO se transforme em NO₂ (BRAGA *et al.*, 2001).

As concentrações de NO₂ em ambientes internos e externos estão diretamente relacionadas, pois os poluentes se difundem com grande facilidade de ambientes externos para internos por meio de mecanismos de ventilação (BRAGA *et al.*, 2001).

Os NO_x, quando inalados, atingem as porções mais periféricas do pulmão devido à sua baixa solubilidade em água, atingindo a traqueia, brônquios, bronquíolos e alvéolos. Seu efeito tóxico está relacionado ao fato de serem agentes oxidantes, sendo extremamente irritantes e afetando a mucosa dos olhos, nariz, garganta e trato respiratório inferior, o que acaba aumentando a reatividade brônquica e a suscetibilidade às infecções e aos alérgenos (CANÇADO *et al.*, 2006a; ARBEX *et al.*, 2012).

2.4 QUEIMA DE BIOMASSA

Desde a era pré-histórica existe a queima de biomassa em ambientes internos. Há cerca de 200 mil anos era realizada a queima de madeira com objetivo de se produzir fogo para aquecimento, preparo de alimentos e iluminação. Em contrapartida, as pessoas ficavam expostas a um alto nível de poluição nos ambientes internos. Posteriormente, a fumaça produzida pela queima de biomassa ficou associada à ocorrência de infecções respiratórias agudas em crianças, doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), pneumoconiose, catarata, cegueira, tuberculose pulmonar e efeitos adversos na gestação (ARBEX *et al.*, 2004).

Em 1970, durante a crise do petróleo, o governo brasileiro implementou o programa Proálcool, que tinha como principal objetivo a produção do etanol, derivado da cana-de-açúcar, por ser um combustível alternativo, renovável, e não poluente. No ano de 1996, apenas o Acre, Amapá, Pará, Rio Branco e Rondônia não produziram cana-de-açúcar. São Paulo era o maior produtor, com aproximadamente 65% do total da produção nacional, porém sua colheita era realizada apenas após a queima dos canaviais, o que gerava uma grande quantidade de elemento particulado negro, a fuligem da cana, que causa a modificação das características do ambiente nas regiões onde a cana-de-açúcar é cultivada, colhida e

industrializada, deixando a população exposta por cerca de seis meses a um ano, aos poluentes oriundos da queima de biomassa (ARBEX *et al.*, 2004).

Em 1985, a Organização Mundial da Saúde (OMS), lançou um boletim que interrogava quais seriam os efeitos produzidos à saúde decorrentes da combustão de biomassa em áreas rurais dos países em desenvolvimento (KONING, 1985). Afinal, a queima da biomassa, na forma de madeira, carvão, esterco de animais ou resíduos agrícolas, produz altos índices de poluição do ar gerando aumento do risco de infecções respiratórias, doenças cardiovasculares, mortalidade e internações hospitalares (ARBEX *et al.*, 2004).

O Laboratório de Poluição Atmosférica Experimental do Departamento de Patologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo foi o pioneiro em avaliar os efeitos tóxicos à saúde humana, provenientes da queima de biomassa. A pesquisa foi realizada nos municípios de Araraquara e Piracicaba, que estão entre os maiores produtores de cana-de-açúcar do planeta (ARBEX *et al.*, 2004).

Em ambientes abertos, a intensidade e a gravidade dependem de vários fatores como as características dos poluentes, a características da população exposta, a exposição individual, a suscetibilidade do indivíduo exposto e dos fatores de confusão, produzindo assim efeitos indiretos sobre a saúde como a redução da fotossíntese, e consequentemente diminuição das culturas agrícolas, ou o bloqueio dos raios ultravioletas A e B, provocando um aumento de microrganismos patogênicos no ar, na água, e de larvas de mosquitos transmissores de doenças (MIMS, 1997).

A época de queimada dos canaviais gera piora na qualidade do ar, agravando a qualidade de vida e saúde das pessoas, demandando um maior número de consultas, atendimentos ambulatoriais, medicação, e internações, o que causa maior déficit na economia brasileira. Na cidade de Piracicaba, o período de queima da palha da cana-de-açúcar, gerou 3,5 vezes mais internações hospitalares que no período de não queima (CANÇADO, 2003).

Apesar de os efeitos causados pela poluição do ar acometer a todos, os portadores de doenças respiratórias crônicas se demonstraram mais susceptíveis à queima de biomassa (ARBEX *et al.*, 2004).

Os principais poluentes provenientes da queima de biomassa são o PM₁₀, PM_{2,5}, aldeídos, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de enxofre, dióxido de nitrogênio, benzeno e benzopireno. Dentre eles, o material particulado decorrente da combustão de biomassa, seja em ambientes internos ou externos é o mais prejudicial à saúde, pois é constituído em aproximadamente 94% de partículas ultrafinas que conseguem atingir as porções mais

profundas do sistema respiratório, transpondo a barreira epitelial, atingindo o interstício pulmonar e sendo responsáveis pelo desencadeamento do processo inflamatório (ARBEX *et al.*, 2004).

O material particulado (PM₁₀ e PM_{2,5}) pode causar irritação, inflamação, aumento da reatividade brônquica, redução do transporte mucociliar, reação fibrótica, redução da imunidade local, descontrole autonômico, atividade pró-coagulante e estresse oxidativo, gerando sibilos, crises de asma brônquica e DPOC (ARBEX *et al.*, 2004).

O monóxido de carbono produz a carboxihemoglobina gerando redução da absorção de oxigênio para os órgãos vitais e prejuízo no desenvolvimento do feto estando relacionado aos recém-nascidos com baixo peso e aumento da mortalidade fetal (ARBEX *et al.*, 2004).

A exposição aguda ao dióxido de nitrogênio pode aumentar a reatividade brônquica e a exposição crônica, aumentar a suscetibilidade à infecções respiratórias bacterianas e virais, provocando sibilos e exacerbação de asma brônquica, infecções respiratórias e diminuição da capacidade pulmonar em crianças. Já o dióxido de enxofre na exposição aguda aumenta a reatividade brônquica gerando sibilos, exacerbação da asma brônquica, DPOC, DCV (ARBEX *et al.*, 2004).

O formaldeído provoca irritação das vias respiratórias e a sensibilização à alérgenos, podendo agravar a asma brônquica. O benzopireno é carcinogênico e pode causar câncer de pulmão, boca, nasofaringe e laringe (ARBEX *et al.*, 2004).

A fumaça da biomassa pode causar mudanças oxidativas e absorção de toxinas no interior da lente ocular, provocando catarata (ARBEX *et al.*, 2004).

Estudos demonstram que em regiões canavieiras, a queima da palha de cana-de-açúcar aumenta o número de internações hospitalares e sintomas por doenças respiratórias, devido ao material particulado gerado (ARBEX *et al.*, 2000; CANÇADO *et al.*, 2006b). Por isso, informações provenientes de investigações sistemáticas com dados produzidos localmente são de extrema importância para embasar o planejamento, implementação de ações e avaliar os programas de saúde relacionados a este assunto (TUAN; VENANCIO; NASCIMENTO, 2016).

2.5 EFEITOS NA SAÚDE GERADOS PELA POLUIÇÃO DO AR

O surgimento da revolução industrial fez com que os efeitos da poluição do ar fossem descritos mais detalhadamente devido aos agravos à saúde que estes trouxeram. A

urbanização acelerada em todo mundo ocasionou um grande consumo de energia e, conseqüentemente, a emissão de poluentes advindos da queima de combustíveis fósseis provenientes principalmente de indústrias e veículos automotores (ARBEX *et al.*, 2012).

Desde o século passado diversas pesquisas relacionam a poluição do ar com o aumento da morbimortalidade, e apontam que as diminuições das concentrações dos poluentes do ar influenciam diretamente na redução do número de internações hospitalares e óbitos (MAHESWARAN *et al.*, 2005; NASCIMENTO *et al.*, 2006; ARBEX *et al.*, 2010; AMANCIO; NASCIMENTO, 2012; TUAN; VENANCIO; NASCIMENTO, 2015, CÉSAR; CARVALHO; NASCIMENTO, 2015).

Mesmo nos países desenvolvidos, que possuem um controle ambiental mais efetivo, os índices considerados seguros pela legislação ainda são bem discutidos e o conhecimento científico adquirido tem influenciando bastante nas políticas públicas de controle ambiental (BRAGA *et al.*, 2001).

A exposição aos poluentes, mesmo quando dentro dos limites aceitáveis para legislação ambiental, é um fator de risco para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares. (NASCIMENTO *et al.*, 2006; GOUVEIA *et al.*, 2006; MARTINS *et al.*, 2006; OLMO *et al.*, 2011; AMANCIO; NASCIMENTO, 2012).

A poluição do ar traz vários malefícios à saúde humana. Estudos observacionais têm procurado relacionar os efeitos de morbimortalidade associados aos poluentes do ar, mesmo quando estes se encontram dentro dos limites considerados de segurança (BRAGA *et al.*, 2001).

A poluição atmosférica está diretamente relacionada com o número de pacientes que apresentam sintomas respiratórios, cardiovasculares, aumento das crises de asma, dor precordial, limitação funcional, maior utilização de medicamentos, maior número de consultas em pronto-socorro e internações hospitalares (BRAGA *et al.*, 2001).

O primeiro episódio de aumento da mortalidade gerada pela poluição do ar ocorreu em 1930, no Vale de Meuse, Bélgica. Em 1948, ocorreu episódio semelhante em Donora, Pensilvânia. Em 1952, em Londres, ocorreu o mais grave episódio, devido à inversão térmica que impediu a dispersão dos poluentes gerados pelas indústrias e aquecedores domiciliares que utilizavam carvão como combustível, resultando em uma nuvem, composta principalmente por material particulado e enxofre que permaneceu estacionada sobre a cidade por aproximadamente três dias, gerando um aumento de quatro mil mortes em relação à média de óbitos em períodos semelhantes (BRAGA *et al.*, 2001).

Após estes episódios, em 1955, houve o investimento em pesquisas que buscassem relacionar os impactos da poluição atmosférica sobre a saúde humana e a economia, sendo liberado cinco milhões de dólares pelo Congresso Norte-Americano (BRAGA *et al.*, 2001).

Na década de 1960 foi criado o programa federal de poluição atmosférica nos Estados Unidos, que tinha como objetivo delegar a responsabilidade do controle da emissão dos diversos poluentes atmosféricos aos estados da Federação, ficando a cargo do Governo federal somente o estabelecimento das diretrizes necessárias para efetuar e viabilizar esse controle. Porém, estas medidas foram ineficazes e novos episódios de aumento da poluição ocorreram, fazendo com que os Estados Unidos estabelecessem padrões de qualidade do ar, especificando os seis poluentes atmosféricos que seriam controlados: partículas totais, dióxido de enxofre (SO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO₂), ozônio (O₃) e chumbo (Pb) (BRAGA *et al.*, 2001).

Para efetivar esse controle foi criada a Agência de Proteção Ambiental norte-americana (EPA). Porém, essas medidas de controle mesmo que aprimoradas ao longo dos anos ainda não foram suficientes (BRAGA *et al.*, 2001).

Na Europa, as ações de controle foram influenciadas pelo episódio ocorrido em Londres, em 1952. No início houve grande resistência do setor industrial em se adequar aos novos limites permitidos de emissão dos poluentes e mesmo com a resistência, as concentrações de poluentes foram decrescendo nas grandes cidades inglesas e, em 1976, uma comissão de países europeus (*Comission of the European Communities* – CEC) estabeleceu padrões, que vêm sendo aprimorados no decorrer dos anos e embasando as legislações de qualidade do ar para SO₂, CO, NO₂, material particulado e oxidantes fotoquímicos (BRAGA *et al.*, 2001).

Nas décadas de 1960 e 1970, com o investimento das indústrias multinacionais em países em desenvolvimento, que não tinham uma legislação ambiental que previa os níveis de poluentes que poderiam ser emitidos, ocorreram alguns episódios de poluição ambiental. Um dos mais conhecidos foi o de Bhopal, na Índia, na década de 1980, onde aconteceu um grande vazamento de isocianato de metila (MIC) proveniente da Union Carbide, indústria localizada próxima à cidade, causando a morte de 1.700 pessoas devido a um intenso edema pulmonar causado pela reação exotérmica do MIC com a água do tecido pulmonar e deixando milhares de pessoas com sequelas graves, como o comprometimento irreversível da função do pulmão (BRAGA *et al.*, 2001).

A poluição do ar é um importante problema de saúde pública em todo mundo. Na China, estima-se que a poluição do ar resulta em mais de 1,6 milhão de mortes a cada ano (4400 por dia), representando 17% das mortes anuais, sendo a terceira principal causa de morte, ficando atrás apenas do câncer e das doenças cardíacas (ROHDE; MULLER, 2015). Em Pequim devido ao aumento do consumo de energia, atividades de construção e urbanização aumentaram as emissões dos poluentes (LI *et al.*, 2014), fazendo com que o céu azul raramente fosse visto (HAN *et al.*, 2016).

Estudos realizados em Hong Kong, Austrália e Pequim encontraram associação entre os níveis de PM 2,5 e a mortalidade (SUN *et al.*, 2015; BROOME *et al.*, 2016; ZENG *et al.*, 2018).

Os grupos que apresentam maior suscetibilidade aos poluentes do ar são as crianças, idosos e portadores de doenças crônicas pré-existentes. As crianças, por não terem ainda seu sistema imunológico totalmente desenvolvido, apresentam maior ventilação por minuto devido ao metabolismo basal acelerado e à maior atividade física quando comparados aos adultos. Além disso, considerando seu peso corporal, o volume de ar que passa através das vias respiratórias da criança em repouso é o dobro daquele nos adultos em condições semelhantes. Os idosos por apresentarem um sistema imunológico menos eficiente e a diminuição funcional dos sistemas orgânicos. Os portadores de doenças crônicas pré-existentes por já apresentarem comorbidades que atingem o sistema respiratório, como asma, DPOC e fibroses e o sistema circulatório, como arritmias, hipertensão e doenças isquêmicas do coração (ARBEX *et al.*, 2012).

Os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde podem ser agudos, quando se manifestam num curto espaço de tempo, por exemplo, em horas ou dias, ou crônicos, quando se manifestam após um longo espaço de tempo, por exemplo, após anos ou décadas (ARBEX *et al.*, 2012).

Alguns mecanismos têm sido apontados para explicar os efeitos à saúde causados pela poluição do ar, dentre eles o mais aceito é que as altas concentrações de oxidantes e pró-oxidantes contidos nos poluentes ambientais, como no material particulado e em alguns gases (ozônio e óxidos de nitrogênio), quando entram em contato com o epitélio respiratório, provocam a formação de radicais livres de oxigênio e de nitrogênio que, por sua vez, induzem o estresse oxidativo nas vias aéreas, devido ao aumento de radicais livres que não foram neutralizados pelas defesas antioxidantes, iniciando, assim, uma resposta inflamatória com a liberação de células e mediadores inflamatórios (citocinas, quimiocinas e moléculas de

adesão) que atingem a circulação sistêmica, causando uma inflamação subclínica com repercussão sistêmica (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2009).

Nascimento *et al.* (2012) em seu estudo realizado no município de São José dos Campos encontraram o material particulado associado à hospitalização por acidente vascular cerebral no modelo de poluente único e um risco relativo de hospitalização por acidente vascular cerebral de aproximadamente 2% quando se tem uma exposição à poluentes. Amancio e Nascimento (2014) também evidenciaram um aumento do risco de hospitalização por acidente vascular cerebral na cidade de São José dos Campos.

Maheswaran *et al.* (2010) encontraram um aumento de 52% no risco de morte para pacientes que tiveram acidente vascular cerebral quando associada à exposição ao material particulado.

Estudos demonstraram associação no número de internações por acidente vascular cerebral e a exposição aos poluentes do ar na Europa, Ásia e Brasil (TSAI *et al.*, 2003; KETTUNEN *et al.*, 2007; VIDALE *et al.*, 2010; NASCIMENTO *et al.* 2012).

No sistema respiratório, a exposição a poluentes gasosos como o material particulado está associada a sintomas que acometem as vias aéreas superiores como rinorreia, obstrução nasal, tosse, laringoespasmo e disfunção de cordas vocais, e as vias aéreas inferiores, como tosse, dispneia e sibilos. A função pulmonar é um marcador importante dos efeitos da poluição do ar, sendo um preditor objetivo, quantitativo e precoce de morbidade e de mortalidade cardiorrespiratória (ARBEX *et al.*, 2012).

O estudo de Cesar, Nascimento e Carvalho Junior (2013) encontrou uma associação positiva entre PM_{2,5} e hospitalizações por doenças respiratórias em crianças. Arbex *et al.* (2012) também evidenciaram que a exposição aos poluentes está associada a maior incidência de sintomas nas vias respiratórias inferiores, produzindo sintomas como tosse, dispneia e chiado no peito, principalmente em crianças.

O estudo realizado por Ignotti *et al.* (2010) avaliou a poluição atmosférica causada pela queima de biomassa na região amazônica do Brasil. Eles encontraram uma associação positiva entre a exposição ao PM_{2,5} e ocorrência de doenças respiratórias, principalmente em idosos e crianças menores de 5 anos.

Na gestação, a poluição do ar pode comprometer o desenvolvimento fetal e causar o retardo de crescimento intrauterino, prematuridade, baixo peso ao nascer, anomalias congênitas e óbito intrauterino ou perinatal (SRAM, 2005). O estudo de Santos (2016) verificou que a exposição materna no primeiro e terceiro trimestres de gestação à poluição do

ar no município de São José dos Campos - São Paulo, pode determinar o peso insuficiente de recém-nascido (RN) no período entre 2006 e 2010.

O feto e o recém-nascido são mais susceptíveis do que os adultos às substâncias tóxicas ambientais. As crianças nascidas com baixo peso possuem mais riscos quando comparadas com as crianças que nascem com o peso adequado, sendo assim, possuem maior probabilidade de morte, infecções respiratórias, retardo no crescimento e desenvolvimento e maior possibilidade de serem acometidos por doenças crônicas no futuro. Essa vulnerabilidade pode ser explicada devido os fetos terem uma imaturidade fisiológica, sendo assim, seus sistemas e órgãos, que estão em desenvolvimento, ficam mais vulneráveis à substâncias tóxicas ambientais por causa das altas taxas de proliferação celular e à mudança da sua capacidade metabólica (SANTOS *et al.*, 2016).

Para Ritz e Wilhelm (2008) apesar de os mecanismos biológicos não serem totalmente conhecidos acredita-se que a intensa proliferação celular, imaturidade fisiológica, acelerado desenvolvimento de órgãos e mudanças no metabolismo aumentam a suscetibilidade do feto à inalação dos poluentes aéreos pela mãe. A mãe, por sua vez, pode ter seu sistema respiratório comprometido pela ação dos poluentes afetando o transporte de oxigênio e glicose através da placenta. Os poluentes também podem interferir na coagulabilidade sanguínea materna devido a uma resposta inflamatória consequente ao estresse oxidativo, aumentando a possibilidade de infarto placentário e vilosidade crônica.

O estudo de Nascimento *et al.* (2012) encontrou associação entre o aumento da incidência de internações por acidente vascular cerebral e a exposição ao material particulado, mesmo quando em concentrações abaixo da recomendada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que a poluição do ar é responsável pela morte de mais de um milhão de crianças prematuras em todo o mundo a cada ano, e que 11 milhões de pessoas morreriam de doença coronariana em 2020 (SHAH *et al.*, 2013; PIETERS *et al.*, 2012). Sendo assim, a poluição do ar causada por material particulado é um importante fator modificável que afeta a saúde pública em escala global (BROOK *et al.*, 2008).

Mesmo com todos os avanços obtidos nas últimas décadas com objetivo de proporcionar um ambiente com menos poluição, os níveis de poluição atuais ainda propiciam à ocorrência de danos à saúde (GOUVEIA *et al.*, 2006).

2.6 DOENÇAS CARDIOVASCULARES

As doenças cardiovasculares são uma das principais causas de mortalidade no mundo, gerando um elevado custo na economia brasileira e aumento do número de internações. No Brasil é encontrada uma proporção de um em cada três óbitos por doenças cardiovasculares, destacando-se entre elas, o infarto agudo do miocárdio (SOARES; NASCIMENTO, 2010).

No Brasil, as doenças cardiovasculares são responsáveis por 32% dos óbitos, ocupando o primeiro lugar nas causas de mortes e terceira maior causa de internação, sendo uma das maiores causas de morbimortalidade (TUAN; VENANCIO; NASCIMENTO, 2016). Somente no estado de São Paulo no ano de 2010 foram gastos R\$ 500 milhões com a hospitalização de pessoas com 50 anos ou mais (BRASIL, 2020).

No ano de 2019 o estado de São Paulo obteve 275.128 internações por doenças do aparelho circulatório, gerando um custo total de 691.345.213,25 reais e 23.869 óbitos, sendo que, somente o município de Piracicaba obteve 3501 internações por doenças do aparelho circulatório, gerando um custo total de 14.242.844,17 reais e 216 óbitos (DATASUS, 2020).

Dentre os principais fatores de risco para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares estão: idade, diabetes, dislipidemia, tabagismo, hipercolesterolemia, hipertensão arterial sistêmica, histórico familiar de doenças isquêmicas do coração, sedentarismo, obesidade, alcoolismo e a exposição a fatores ambientais como, por exemplo, a poluição do ar (AMANCIO; NASCIMENTO, 2012; RIBEIRO *et al.*, 2019).

O estilo de vida é um dos principais fatores predisponentes ao acometimento por doenças cardiovasculares. Os epidemiologistas também veem o ambiente como fator predisponente às cardiopatias. Sendo assim, o detalhamento desses eventos é de suma importância para o planejamento de estratégias preventivas (SOARES; NASCIMENTO, 2010).

2.7 EXPOSIÇÃO À POLUIÇÃO DO AR E OS EFEITOS NO SISTEMA CARDIOVASCULAR

A poluição do ar é um problema de saúde pública evitável e suas principais fontes de emissões são as indústrias e os veículos a motor. As evidências sobre como a poluição é prejudicial para o desenvolvimento de doenças cardiovasculares crescem cada dia mais, principalmente pela exposição de pessoas que residem a menos de 500 metros das principais

estradas ou rodovias devido ao tráfego onipresente na sociedade moderna, e uma proporção considerável da população de pessoas desfavorecidas pelo baixo nível socioeconômico que residem por residirem nesses locais acabam ficando expostas cronicamente a concentrações elevadas (BROOK *et al.*, 2008).

Dentre os principais poluentes emitidos estão o material particulado (PM₁₀), dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃), monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x) (AMANCIO; NASCIMENTO, 2012).

A *American Heart Association*, no ano de 2004, publicou sua primeira declaração científica sobre poluição do ar e o desenvolvimento de doenças cardiovasculares, com objetivo de fornecer aos profissionais de saúde, pesquisadores e agências de regulação do ar, evidências científicas para educar a equipe de saúde sobre esta questão e orientar pesquisas futuras. A exposição à poluentes atmosféricos a curto prazo pode contribuir para morbimortalidade cardiovascular aguda e a longo prazo pode reduzir a expectativa de vida em alguns anos e promover o desenvolvimento de doenças crônicas (BROOK *et al.*, 2008).

Brook *et al.* (2008) evidenciaram em seu estudo de revisão que elevações de curto prazo nos níveis diários de material particulado, dióxido de nitrogênio e ozônio levam ao maior risco de mortalidade relacionada à doenças cardiovasculares.

A inalação do material particulado é um gatilho para ocorrência de eventos cardiovasculares, que podem se manifestar dentro de horas ou dias após a exposição, aumentando o risco cardiovascular agudo em milhões de pessoas suscetíveis em todo o mundo, de maneira muitas vezes discreta, e provocando inúmeras respostas biológicas adversas (por exemplo, inflamação sistêmica) que, na premissa, podem aumentar ainda mais o risco cardiovascular a longo prazo após meses ou anos de exposição (BRAGA *et al.*, 2001; BROOK *et al.*, 2008; HEE *et al.*, 2009).

Um estudo realizado na cidade de São Paulo demonstrou uma forte associação entre o aumento de SO₂ e o número de internações hospitalares por infarto agudo do miocárdio (CENDON, 2006).

Segundo Cançado *et al.* (2006a) há um aumento de internações e mortes por arritmia e doença isquêmica do miocárdio e cerebral, sendo que os idosos constituem a população mais susceptível ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares, principalmente quando são tabagistas, sedentários e estão expostos a poluição do ar.

Desde 1970 estudos epidemiológicos realizados no mundo demonstraram a associação entre o PM_{2,5} e os efeitos adversos à saúde humana. Entre os anos 1980 e 1990 foi

evidenciada a relação entre os níveis de poluição atmosférica e a mortalidade. A doença cardiovascular foi vista então como a principal causa de morbimortalidade regulada pela poluição do ar, estando associada principalmente às emissões de $PM_{2,5}$ à longo prazo (BROOK, 2008).

A base fisiopatológica da relação entre os poluentes atmosféricos e o desenvolvimento de doenças cardiovasculares ainda são inexplicáveis (NASCIMENTO, 2012). Mesmo com o limitado conhecimento sobre como o material particulado age no organismo humano, propiciando o desenvolvimento de doenças cardiovasculares (POPE *et al.*, 2004), estudos experimentais e observacionais têm apresentado evidências consistentes sobre os efeitos da poluição do ar, na morbimortalidade por doenças cardiovasculares, gerando consequências agudas ou crônicas (CANÇADO *et al.*, 2006a). Vários estudos evidenciam a relação entre a poluição atmosférica e doenças cardiovasculares como doenças coronárias (KAN *et al.*, 2007; SIMKHOVICH *et al.*, 2009), arritmia (SANTOS *et al.*, 2008), infarto agudo do miocárdio (D'IPPOLITI *et al.*, 2003) e falhas cardíacas (WELLENIUS *et al.*, 2006).

Os efeitos diretos da poluição do ar fornecem uma explicação plausível para a ocorrência de respostas cardiovasculares rápidas, como o infarto do miocárdio ou efeitos indiretos crônicos por meio do estresse oxidativo, que por meio dos poluentes inalados, contribuem para um quadro inflamatório sistêmico, que pode ser capaz de ativar as vias hemostáticas, prejudicar a função vascular e acelerar a aterosclerose (MACHIN; NASCIMENTO, 2018).

Fisiopatologicamente pode-se dizer que a poluição atmosférica está associada ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares devido ao aumento da viscosidade sanguínea, de marcadores inflamatórios (proteína C reativa, fibrinogênio), redução da variabilidade da frequência cardíaca (indicador de risco para arritmia e morte súbita), vasoconstrição, aumento da pressão arterial (CANÇADO *et al.*, 2006b), disfunção endotelial, alterações sistêmicas protrombóticas, coagulantes e inflamatórias e ao estresse oxidativo, gerando um desequilíbrio autonômico, presença de arritmias, progressão da aterosclerose (BROOK, 2008), e efeitos diretos sobre a função autonômica do coração, observada pelas alterações na frequência cardíaca e arritmias (DOCKERY, 2001).

A exposição ao material particulado fino ($PM_{2,5}$) por horas ou dias está associada ao aumento do risco em ter um infarto do miocárdio, arritmia ou exacerbação da insuficiência cardíaca. Além disso, residir em áreas com níveis mais altos de material particulado, a longo prazo aumenta o risco de morbimortalidade cardiovascular (BROOK, 2008).

Achilleos *et al.* (2017) em seu estudo de revisão constataram um aumento de 0,80% na mortalidade cardiovascular por aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ / m^3 em $\text{PM}_{2,5}$.

Nascimento e Francisco (2013) confirmam em sua pesquisa realizada na cidade de São José dos Campos que a exposição a partículas em concentrações abaixo do limiar mínimo recomendado pela lei brasileira desempenha um papel importante no número de admissões hospitalares por hipertensão.

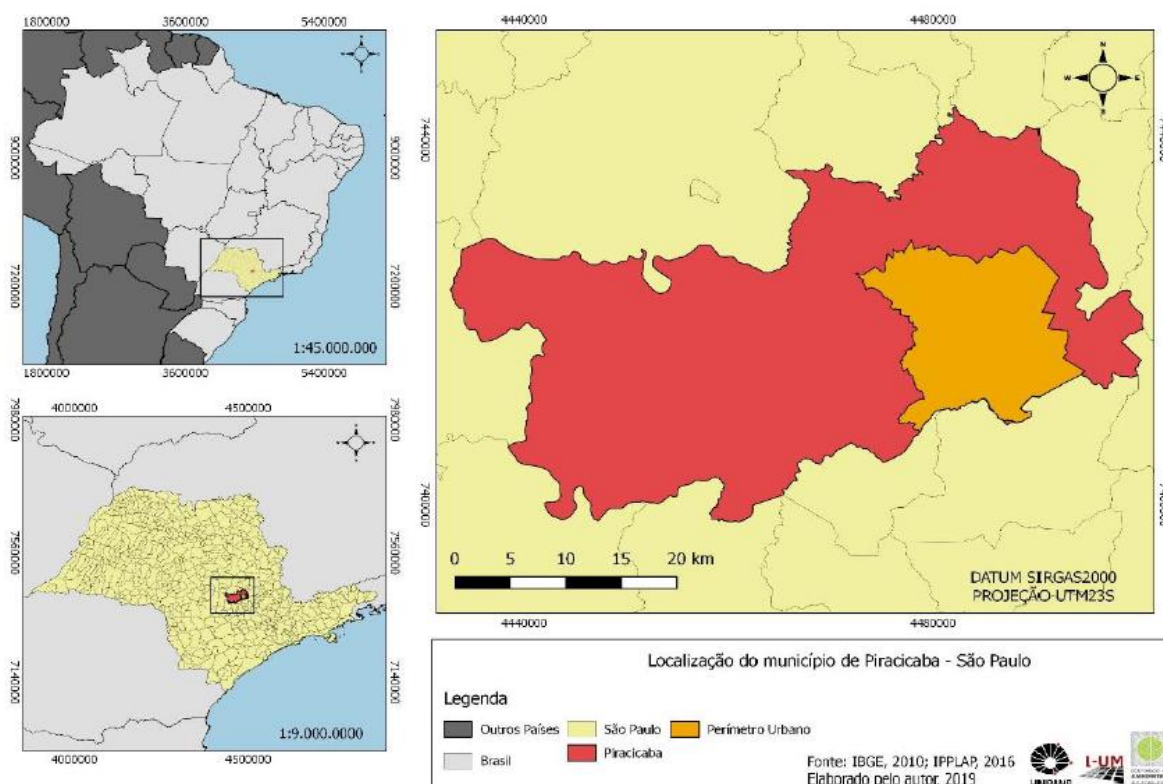
Uma melhor compreensão dos fatores que influenciam a exposição da população a essas fontes de poluição e sobre como elas afetam a saúde humana, tornando os indivíduos mais suscetíveis, é necessária para ajudar no desenvolvimento de políticas ambientais e de saúde mais eficazes (BROOK, 2008).

3 MÉTODOS

3.1 LOCAL DE ESTUDO

A cidade do estudo, Piracicaba, fica localizada no interior do estado de São Paulo, conforme Figura 1.

Figura 1 - Localização de Piracicaba, interior de São Paulo



Fonte: Alves (2019)

Segundo IBGE (2022), no ano de 2021 o município de Piracicaba possuía uma área de 1.378,069km², densidade demográfica de 264,47 hab/km² e de acordo com o censo realizado em 2010 aproximadamente 360 mil pessoas residiam na zona urbana, sendo que a população estimada para o ano de 2021 foi de 410.275 mil habitantes. Em 2020, o salário médio mensal era de 3,1 salários mínimos. A proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 34,7% e o percentual da população com rendimento nominal mensal per capita de até meio salário mínimo em 2010 era de 30,8 %. A taxa de escolarização nas pessoas com 6 a 14 anos de idade, no ano de 2010, era de 97,5%. O PIB per capita, no ano de 2020 foi de R\$ 66.722,37. Em relação à saúde, a taxa de mortalidade infantil média no ano de 2020 foi de

9,17 para 1.000 nascidos vivos. As internações devido a diarreias foram de 0,3 para cada 1.000 habitantes em 2016. Em relação ao território e ambiente, Piracicaba apresenta um percentual de 97,8% domicílios que possuem esgotamento sanitário adequado, 94,6% domicílios urbanos em vias públicas com arborização e 44,2% domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada, ou seja, tendo a presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio. A frota veicular no município no ano de 2022 era de aproximadamente 336.784 veículos, sendo cerca de 198.201 mil automóveis (58,85%), e 61.592 mil motocicletas (18,2%), dentre outros. Além disso, Piracicaba é uma cidade importante no setor sucroalcooleiro. No período entre os anos de 2016 a 2018, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística foram plantadas e colhidas 166 hectares de cana de açúcar, gerando uma produção de 9.653.000 toneladas e um valor de produção de R\$ 631.322.000,00, o que significa que poluentes nesta região vêm não apenas da queima de combustível em veículos, mas também da queima de palha da produção de cana-de-açúcar.

3.2 COLETA DE DADOS

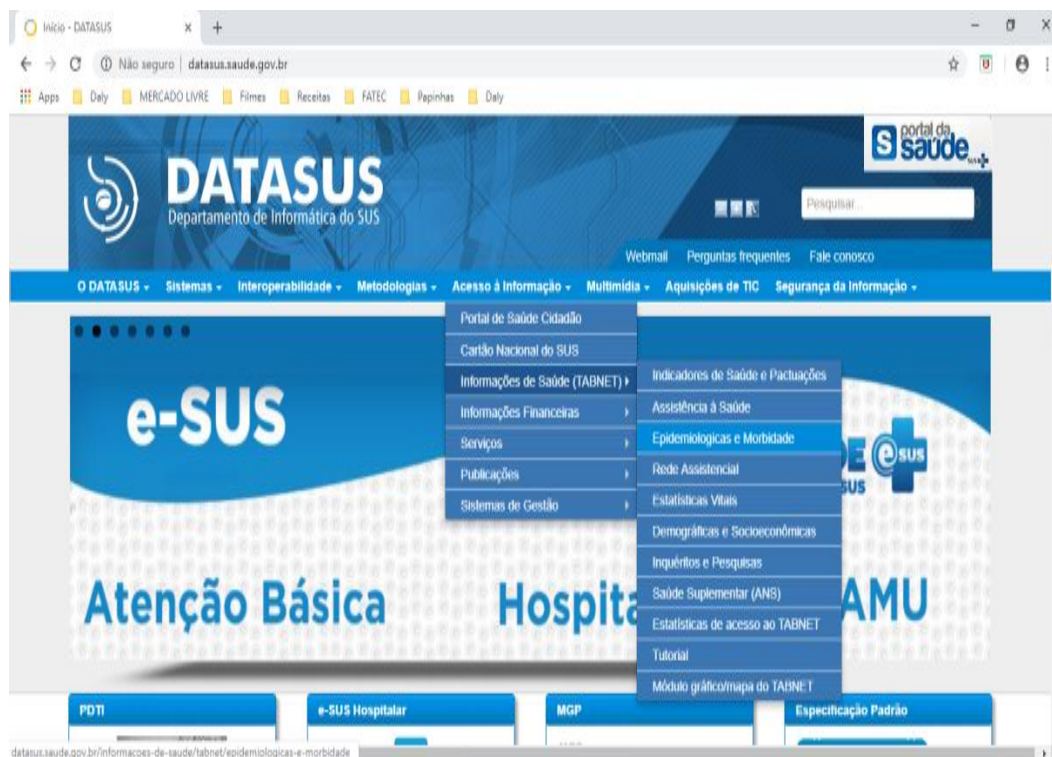
Trata-se de estudo epidemiológico, ecológico de séries temporais com dados relativos a internações por doenças cardiovasculares (CID-10 de Hipertensão arterial: I10.0 a I15.0, Doenças isquêmicas do coração I20.0-I25.9, ICC: I50.0 a I50.9, Doenças cerebrovasculares: I60.0 a I64.9) em sujeitos de ambos os sexos, residentes no município de Piracicaba - SP.

O período de estudo abrangeu três anos, de 01 de janeiro de 2016 a 31 de dezembro de 2018. Foi escolhido este período por se tratar dos anos em que os dados referentes aos poluentes atmosféricos se encontravam-se mais completos.

Os dados referentes às internações hospitalares e óbitos que ocorreram no município de Piracicaba - SP foram coletados por meio do Departamento de informática do Sistema Único de Saúde do Brasil (DATASUS), constantes no Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIHSUS), disponível no portal por meio do site: <http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0901>.

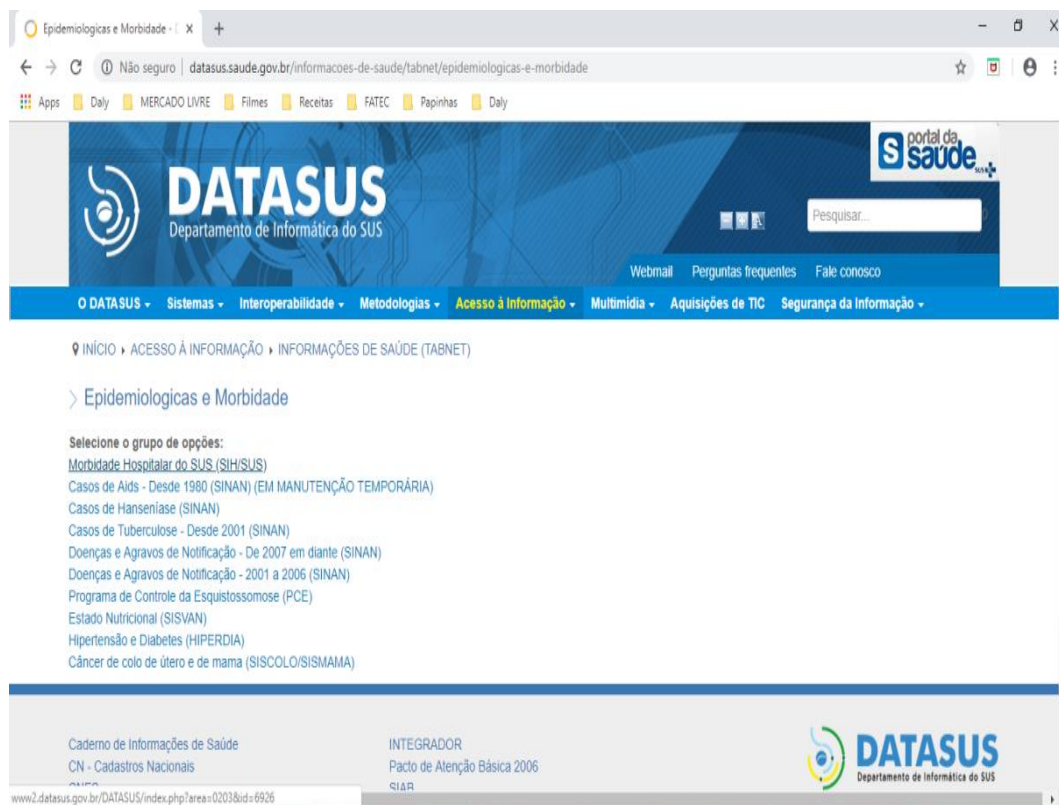
Para obter os dados de internação foi realizado o seguinte caminho: no portal do DATASUS foi selecionado o campo Acesso à Informação, Informações de Saúde (TABNET) e Epidemiológicas e Morbidade (Figura 2), na página seguinte foi selecionado Morbidade Hospitalar do SUS (SIH/SUS), conforme mostra a Figura 3.

Figura 2 - Portal DATASUS



Fonte: DATASUS (2019).

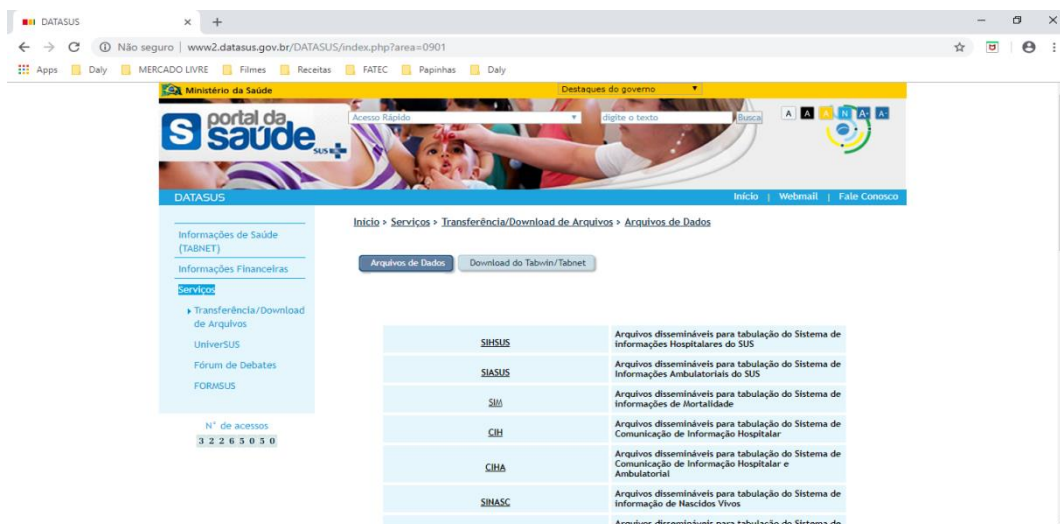
Figura 3 - Caminho para acesso aos arquivos do DATASUS



Fonte: DATASUS (2019).

Em seguida foi selecionada a opção: Serviços, Transferência/Download de Arquivos e SIHSUS (Sistema de Informações Hospitalares do SUS), conforme demonstrado na Figura 4.

Figura 4 - Caminho para obter a planilha DATASUS



Fonte: DATASUS (2019).

Após selecionado: dados, RD – AIH Reduzida, 2016, SP e todos os meses, foi clicado no ícone enviar (Figura 5).

Figura 5 - Arquivo para baixar planilhas DATASUS

CONSULTA

SIHSUS

Selecione uma ou mais modalidades de Arquivos para Download:

Arquivos Auxiliares de Tabulação
 Dados
 Documentação

Selecione um ou mais tipos de Arquivo

RD - AIH Reduzida
 RJ - AIH Rejeitadas
 SP - Serviços Profissionais
 ER - AIH Rejeitadas com código de erro

Selecione o Ano: 2018
 2017
 2016
 2015

Selecione uma ou mais UF

RN
 RO
 RR
 RS
 SC
 SE
 SP
 TO

Selecione um ou mais Meses

Junho
 Julho
 Agosto
 Setembro
 Outubro
 Novembro
 Dezembro

Enviar

Fonte: DATASUS (2019).

Em seguida apareceram os *links* de parte dos arquivos para *downloads* (Figura 6).

Figura 6 - Arquivos para downloads para obter planilha DATASUS

Arquivos para Download				
☐ Marcar Todos		Baixar		Selecionados:
Digitar o nome do arquivo para compactação com a extensão (.zip ou .rar):				
	Mês/Ano	Arquivo	Data Últ. Atualização	Tamanho
☐	11/16	RDSP1611.dbc	08/01/18	14,50 MB
☐	10/16	RDSP1610.dbc	08/01/18	14,76 MB
☐	09/16	RDSP1609.dbc	08/01/18	15,03 MB
☐	05/16	RDSP1605.dbc	08/01/18	15,34 MB
☐	07/16	RDSP1607.dbc	08/01/18	15,39 MB
☐	08/16	RDSP1608.dbc	08/01/18	15,45 MB
☐	06/16	RDSP1606.dbc	08/01/18	15,74 MB
☐	12/16	RDSP1612.dbc	05/02/18	14,55 MB
☐	01/16	RDSP1601.dbc	10/04/17	14,13 MB
☐	02/16	RDSP1602.dbc	10/04/17	14,19 MB
☐	03/16	RDSP1603.dbc	05/05/17	15,36 MB
☐	04/16	RDSP1604.dbc	05/06/17	15,25 MB
☐ Marcar Todos		Baixar		Selecionados:
Tamanho Total: 179,69 MB				Nº Arquivos: 12

Fonte: DATASUS (2019).

Os arquivos são disponibilizados em formato compactado com extensão .dbc e para serem expandidos com extensão .dbf foi utilizado o programa TabWin também disponível no mesmo portal. A planilha expandida do DATASUS possui 114 colunas (Figura 7). Foram selecionadas para esse estudo as informações referentes ao ano de competência, município de residência, sexo, data de internação, data de saída, diagnóstico principal, idade e morte (Figura 8).

Figura 7 - Planilha fornecida pelo DATASUS

Salvamento Automático

RDSP1601 - Excel

Entrar

Arquivo

Página Inicial

Inserir

Layout da Página

Fórmulas

Dados

Revisão

Exibir

Ajuda

Diga-me o que você deseja fazer

Compartilhar

Comentários

Calibri

11

A⁺

A⁻

Color

N

B

I

S

Textos

Fontes

Alinhamento

Quadrados

Estilos

Formatação

Formatação Condicional

Formatação de Tabela

Estilos de Célula

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Células

Formatação de Cél

Fonte: DATASUS (2019).

Figura 8 - Planilha filtrada

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	ANO_CMPT	MUNIC_RES	SEXO	DT_INTER	DT_SAIDA	DIAG_PRINC	IDADE	MORTE						
2	2016	354990	1	20160101	20160102	I48	87	1						
3	2016	354990	3	20160101	20160108	I490	78	0						
4	2016	354990	1	20160101	20160104	I64	66	0						
5	2016	354990	3	20160101	20160106	J189	89	1						
6	2016	354990	3	20160101	20160103	J189	35	0						
7	2016	354990	1	20160101	20160108	J189	72	0						
8	2016	354990	1	20160102	20160107	I248	51	0						
9	2016	354990	1	20160102	20160107	I64	70	0						
10	2016	354990	1	20160102	20160117	I64	68	0						
11	2016	354990	3	20160102	20160104	I64	79	0						
12	2016	354990	1	20160102	20160105	I743	57	0						
13	2016	354990	3	20160102	20160112	J189	3	0						
14	2016	354990	1	20160102	20160105	J189	79	0						
15	2016	354990	1	20160102	20160112	J448	70	0						
16	2016	354990	1	20160102	20160102	J958	17	0						
17	2016	354990	3	20160103	20160104	I209	82	0						
18	2016	354990	1	20160103	20160107	I209	45	0						
19	2016	354990	3	20160103	20160109	I158	35	1						

Fonte: DATASUS (2019).

Os dados referentes aos níveis diários de concentração dos poluentes NO₂, O₃, PM₁₀ e PM_{2,5}, na cidade de Piracicaba - SP foram coletados junto à Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), por meio do site <https://cetesb.sp.gov.br/ar/qualar/> acessado em 10

jan. 2021, conforme Figura 9 e, selecionados AR – QUALAR. Os valores de FG (fração grossa) foram calculados, posteriormente, sendo a diferença em massa entre PM_{10} e $PM_{2,5}$.

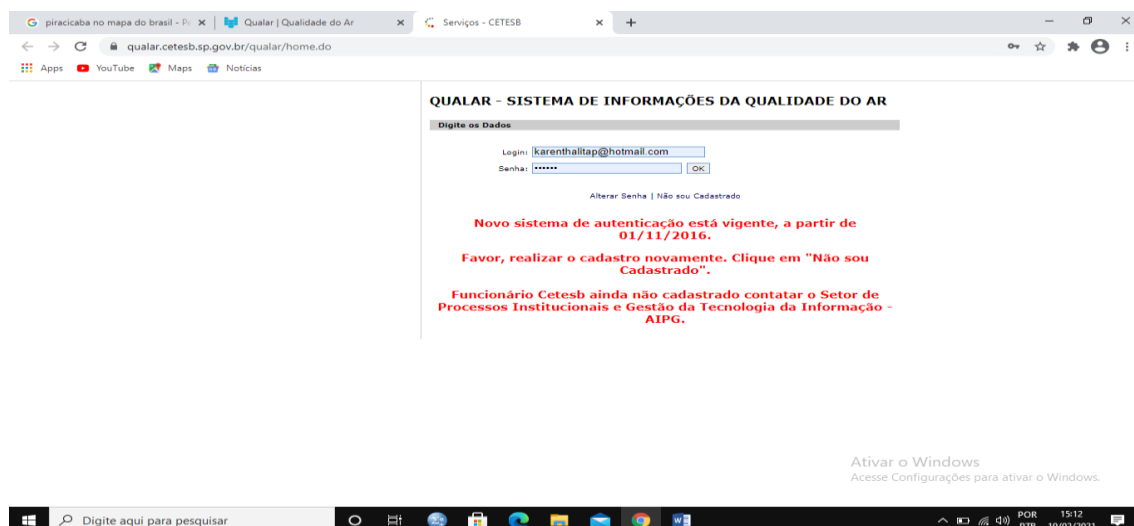
Figura 9 - Portal CETESB



Fonte: CETESB (2020).

Em seguida foi realizado o login no sistema QUALAR conforme Figura 10.

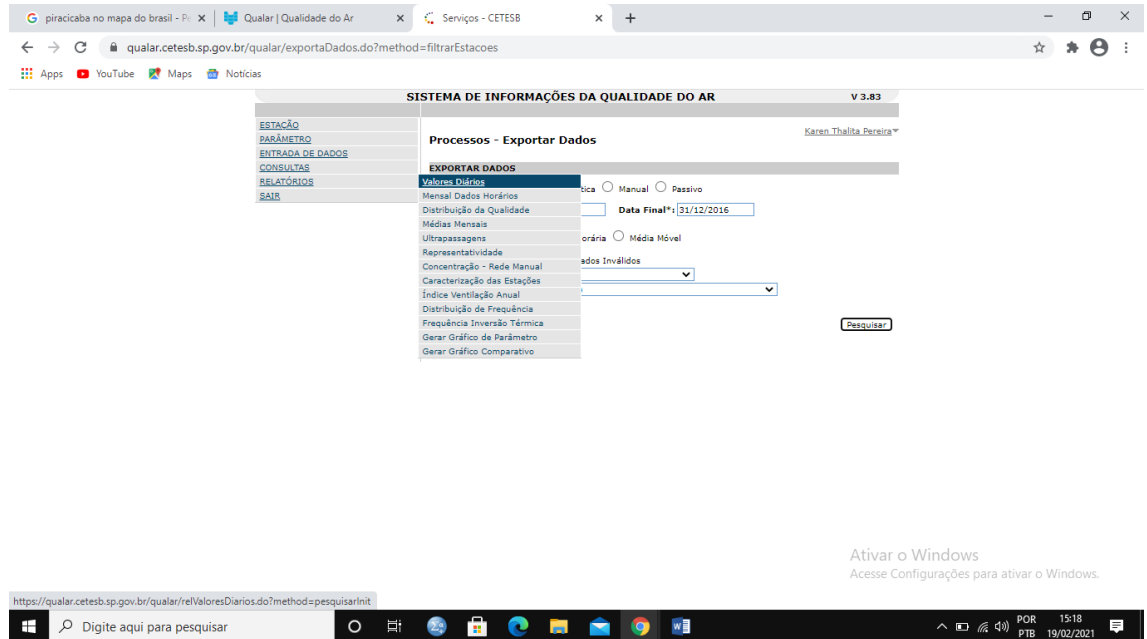
Figura 10 - QUALAR – Sistema de informações de qualidade do ar



Fonte: CETESB (2020).

Após, conforme Figura 11, foi selecionado o item Relatórios – Valores Diários.

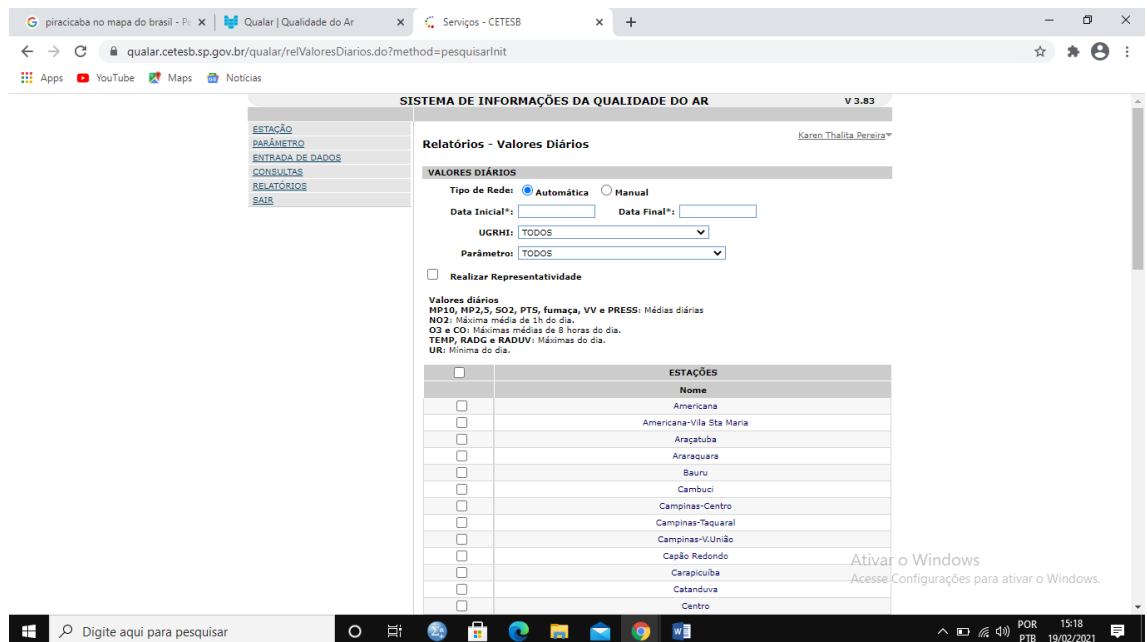
Figura 11 - Acessando os dados



Fonte: CETESB (2020).

Em seguida, foram escolhidas as variáveis de interesse em consonância com o estudo e selecionadas para criação do relatório conforme mostra a Figura 12, após clicar em “Gerar”.

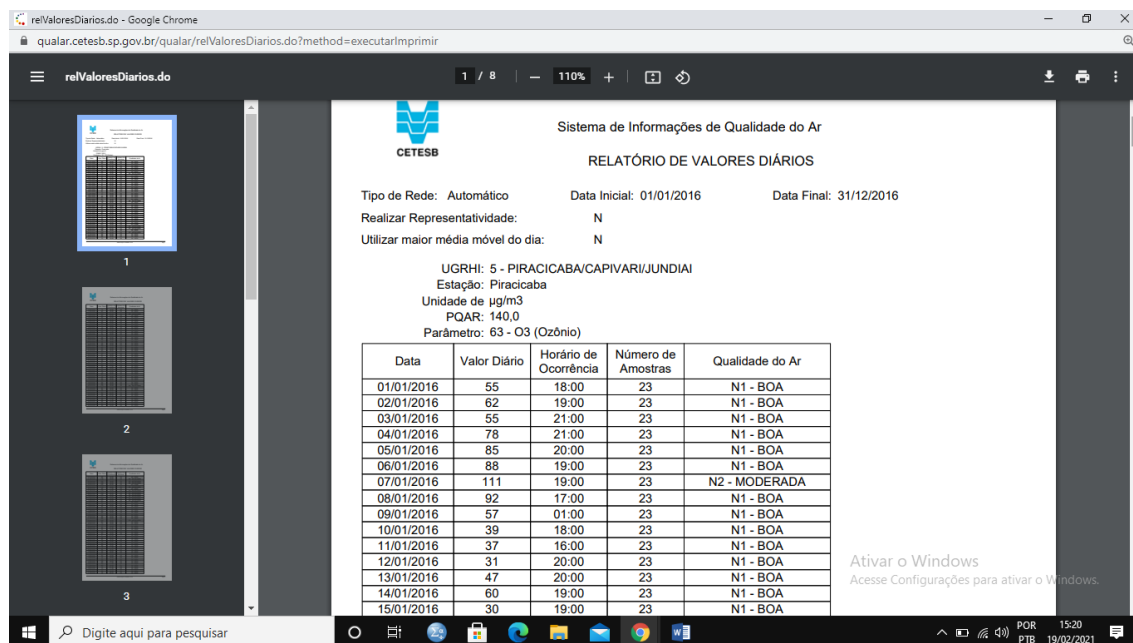
Figura 12 - Gerando os dados



Fonte: CETESB (2020).

Por fim, o relatório foi gerado conforme demonstra a Figura 13.

Figura 13 - Relatório fornecido pela CETESB



Fonte: CETESB (2020).

Os valores diários referentes a umidade do ar e temperatura do ar foram coletados no banco de dados da Estação Convencional do Posto Agrometeorológico, disponível no portal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ-USP), no Departamento de Engenharia de Biosistemas (LEB). A expectativa de vida da população foi obtida no portal do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para estimar o Risco Relativo (RR) das internações foi utilizado o Modelo Aditivo Generalizado de Poisson (MAG), usando o programa Stata V10. Essa análise permitiu verificar a associação entre os níveis de NO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2,5}, fração grossa (PM₁₀-PM_{2,5}) e o número de internações hospitalares por doenças cardiovasculares. Para isso foi elaborado um banco de dados diários com as internações, as concentrações de cada poluente e as variáveis climáticas (temperatura e umidade do ar). Foram realizadas análises univariadas e multivariadas, sendo que quando utilizado o PM₁₀, não foram utilizados os dados referentes ao PM_{2,5} e fração grossa. Todos os dados foram ajustados pela temperatura média, mínima, máxima, umidade relativa do ar, sazonalidade e dias da semana.

Os dias da semana e sazonalidade foram as variáveis de controle. Nos finais de semana o número de atendimentos hospitalares é menor do que nos dias de semana, por isso,

em estudos sobre o impacto da poluição atmosférica na saúde, é necessário levar em consideração a tendência temporal. A sazonalidade a longo prazo é uma importante tendência temporal, pois os fatores meteorológicos e a concentração de poluentes variam durante o ano. A temperatura média, mínima e máxima do ar e a umidade média relativa, estão correlacionadas com as taxas de internação hospitalar e sua inclusão altera os coeficientes e riscos relativos de maneira importante (TADANO, 2007).

3.3.1 Regressão de Poisson

Os valores obtidos com a regressão de Poisson entre a variável dependente (internações por doenças cardiovasculares) e as variáveis independentes (poluentes) foram apresentados em forma de Tabelas. O estudo levou em consideração a defasagem de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 dias pelos efeitos da exposição poderem ser notados no mesmo dia ou em até sete dias após a exposição.

O modelo de Regressão de Poisson surgiu na década de 1970 quando Wedderburn em 1974 desenvolveu a teoria da quasi-verossimilhança, analisada detalhadamente por McCullagh em 1983. É um tipo específico dos Modelos Lineares Generalizados (MLG) e dos Modelos Aditivos Generalizados (MAG) e tem como característica levar em consideração o total de pessoas com um determinado desfecho (McCULLAGH&NELDER, 1989).

A variável resposta de uma regressão de Poisson deve seguir uma distribuição de Poisson. Ou seja, os possíveis valores desta variável devem ser uma contagem (0, 1, 2,...) e a distribuição dos dados deve possuir média igual à dispersão, isto é, a média da variável resposta deve ser igual à sua variância. Entretanto, conforme TADANO (2009), quando se trabalha com dados experimentais, esta propriedade é frequentemente violada. Assim, pode-se ter uma superdispersão, quando a variância é maior que a média ou uma subdispersão, quando a variância é menor que a média. Nestes casos, ainda é possível aplicar o modelo de Poisson realizando alguns ajustes.

3.3.2 Correlação de Pearson

Para correlacionar as variáveis e estimar o risco dos desfechos segundo a exposição aos diferentes poluentes do ar foi utilizada a Correlação de Pearson, por meio do programa STATA.

A Correlação de Pearson geralmente é utilizada em estudos que envolvem duas ou mais variáveis, para conhecer como elas relacionam entre si. O Coeficiente de Correlação Linear de Pearson foi o primeiro método de correlação, estudado por Francis Galton e seu aluno Karl Pearson, em 1897 (SCHULTZ; SCHULTZ, 1992).

O coeficiente de correlação é a medida que mostra o grau de relacionamento entre duas variáveis. A correlação simples envolve duas variáveis X e Y. A relação entre duas variáveis pode ser linear simples quando o valor de uma pode ser obtido aproximadamente por meio da equação da reta, sendo possível ajustar uma reta da forma $Y = \alpha + \beta X$ aos dados, ou não linear, quando não for possível o ajuste da equação anterior (GARCIA; GOMES, 2017).

Análise de correlação é o método que permite estudar as relações ou associações, mostrando o grau de relacionamento entre as variáveis, fornecendo um número e indicando como as variáveis variam conjuntamente, sem que haja necessidade de definir as relações de causa e efeito, ou seja, qual é a variável dependente e a independente (LIRA, 2004).

O coeficiente de correlação de Pearson (r) é uma medida de associação linear entre variáveis, definida pela seguinte fórmula:

$$r = \frac{1}{n-1} \sum \left(\frac{x_i - \bar{X}}{s_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{Y}}{s_y} \right) \quad (1)$$

A correlação de Pearson (r) é uma medida da variância compartilhada entre duas variáveis. O modelo linear supõe que o aumento ou declínio de uma unidade na variável X gera o mesmo impacto em Y. Em termos gráficos, a melhor forma de ilustrar a relação entre duas variáveis é por meio de uma linha reta (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JUNIOR, 2009).

O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1 e “s” é o desvio padrão amostral. O sinal indica direção positiva ou negativa do relacionamento e o valor sugere a força da relação entre as variáveis. Uma correlação perfeita (-1 ou 1) indica que o escore de uma variável pode ser determinado exatamente ao se saber o escore da outra e uma correlação de valor zero indica que não há relação linear entre as variáveis. Quanto mais perto de 1 (independente do sinal) maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis e quanto mais próximo de zero, menor é a força dessa relação (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JUNIOR, 2009).

3.3.3 Método DALY

Posteriormente, foi aplicado o método DALY (*Disability Adjusted Life Years* ou Anos de Vida Perdidos e Vividos com Incapacidades) e quantificado os valores das variáveis disposição a pagar (DAP) ou disposição a aceitar (DAA).

A disposição a pagar (DAP) ou disposição a aceitar (DAA), são técnicas de valoração ambiental que buscam mensurar a preferência das pessoas por ajustes no consumo desses bens, traduzidos na sua disposição a pagar (DAP) ou disposição a aceitar (DAA) por uma melhora ou piora na qualidade de sua oferta. A DAP é utilizada para mensurar mudanças decorrentes de potenciais benefícios ambientais, já a DAA é recomendada para estimar os custos ou passivos ambientais (VIEIRA; BARBOSA, 2012).

O método DALY foi criado em 1996 pela Organização Mundial da Saúde (OMS). O DALY é uma medida sumária de saúde expressa por um indicador padrão em unidade de tempo (anos), obtido pela soma de dois componentes: YLL – *Years of Life Lost* ou Anos de Vida Perdidos, em função de uma morte prematura (associada a um desfecho específico) correlacionada à expectativa de vida estimada e o YLD – *Years Lived with Disability* ou Anos Vividos com Incapacidades, ou seja, o tempo vivido em condições de saúde não condizentes às ideais devido a desfechos como doenças, lesões ou a fatores de risco (MARINHO; PASSOS; FRANÇA, 2016; MALTA *et al.*, 2017).

Portanto, o DALY é uma medida de saúde usada para quantificar e descrever a carga de doenças, lesões e fatores de riscos, ou seja, mensurando o impacto da morbimortalidade sobre o estado de saúde da população, auxiliando assim, na tomada de decisões da saúde pública (PATRICIO *et al.*, 2022).

Um DALY corresponde a um ano de vida saudável que é perdido ou vivido com incapacidade e é resultado da combinação dos anos de vida perdidos devido a morte prematura (*Years of Life Lost* ou YLL) e os anos vividos com incapacidade (*Years Lived with Disability* ou YLD) (MURRAY *et al.*, 1996).

É válido ressaltar que esse estudo está focado somente em analisar o componente YLL.

O DALY é expresso por:

$$\text{DALY} = \text{YLL} + \text{YLD} \quad (2)$$

A obtenção do componente YLL do DALY é apresentada na equação:

$$YLL_s = \frac{KCe^{ra}}{(r+\beta)^2} \left[e^{-(r+\beta)(L+\alpha)} [-(r+\beta)(L+\alpha)-1] - e^{-(r+\beta)\alpha} [-(r+\beta)\alpha-1] \right] + \frac{1-K}{r} (1 - e^{-rL}) \quad (3)$$

A obtenção do componente YLD é apresentada na equação:

$$YLD_s = D \left\{ \frac{KCe^{ra}}{(r+\beta)^2} \left[e^{-(r+\beta)(L+\alpha)} [-(r+\beta)(L+\alpha)-1] - e^{-(r+\beta)\alpha} [-(r+\beta)\alpha-1] \right] + \frac{1-K}{r} (1 - e^{-rL}) \right\} \quad (4)$$

Onde: r é a taxa de desconto, K é o fator de ponderação da idade, C é uma constante, α é a idade de início da deficiência, L é a duração da deficiência, β é o parâmetro a partir do fator de ponderação da idade e D é o peso da deficiência. Os valores adotados para os parâmetros r , K , C e β são os mesmos como aqueles para o cálculo de YLL.

Como as estimativas dos efeitos à saúde causados pela exposição a poluentes atmosféricos foram determinadas a partir do cálculo da mortalidade atribuída, a análise da valoração dos efeitos também foi focada apenas nesse desfecho. Assim, foram estimados os Daly, relacionados à mortalidade atribuível à exposição aos poluentes do ar baseado na média dos anos potenciais de vida perdidos e na sequência os DALY foram valorados.

Os valores das constantes são descritas abaixo:

$$\beta = 0,04;$$

$$C = 0,1658;$$

$$K = 1;$$

$$r = 0,03;$$

$$L = \text{expectativa de vida para idade}$$

A expectativa de vida foi calculada conforme expresso na Tabela 1.

Tabela 1 - Expectativa de vida de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Idade	Homem	Mulher	Média
0	72,2	79,4	75,8
1	72,3	79,3	75,8
5	68,5	75,5	72,0
10	63,6	70,6	67,0
15	58,7	65,7	62,1
20	54,1	60,8	57,5
25	49,8	56,0	52,9
30	45,3	51,1	48,3
35	40,9	46,4	43,7
40	36,5	41,6	39,1
45	32,2	37,0	34,7
50	28,0	32,5	30,3
55	24,1	28,2	26,2
60	20,3	24,0	22,3
65	16,8	20,0	18,5
70	13,6	16,3	15,1
75	10,8	13,0	12,1
80 E +	8,5	10,2	9,5

Fonte: Adaptado pelo autor.

3.4 ASPECTOS ÉTICOS

Por ser um estudo realizado com dados de acesso público, no qual não é possível a identificação do sujeito, não foi necessário o parecer do Comitê de Ética em Pesquisa.

4 RESULTADOS

No período de estudo de 01 de janeiro de 2016 a 31 de dezembro de 2018 ocorreram 3074 internações e 359 óbitos por doenças cardiovasculares, independentemente da idade e sexo dos pacientes, no município de Piracicaba –SP.

Os resultados, referentes à análise descritiva, obtidos com a análise estatística dos dados, podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise descritiva das variáveis utilizadas no estudo, Piracicaba 2016 – 2018

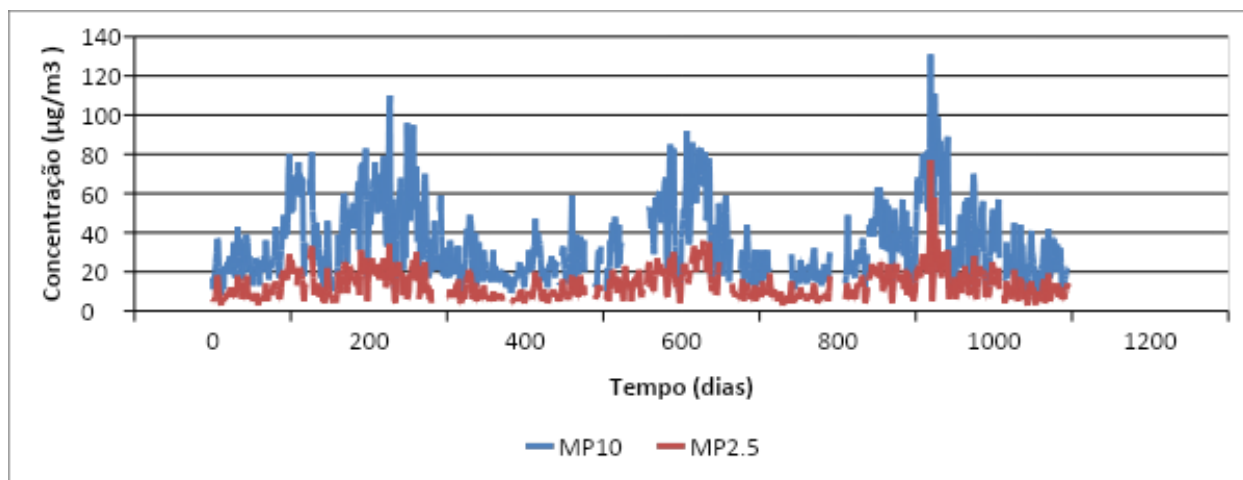
Variáveis	Total de dias analisados	Média	Desvio Padrão	Mínima	Máxima
Internações (n = 3074)	1096	2,8	1,8	0,0	12,0
PM ₁₀ (µm)*	962	34,7	19,6	5,0	131,0
PM _{2,5} (µm)**	988	13,2	7,3	3,0	77,0
NO ₂ (µg/m ³)***	977	32,7	16,1	5,0	115,0
O ₃ (µg/m ³)****	1030	76,3	24,9	2,0	157,0
Fração Grossa (PM ₁₀ -PM _{2,5} µm)*****	961	21,7	13,5	2,0	92,0
Temperatura Média (°C)	1096	22,3	3,5	10,4	30,1
Umidade relativa (%)	1096	74,6	11,2	41,0	99,9
Temperatura Máxima (°C)	1096	22,2	3,9	15,8	38,7
Temperatura Mínima (°C)	1096	15,9	4,2	2,4	24,7

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para melhor compreensão das concentrações das variáveis deste estudo, foram confeccionados os gráficos a seguir por meio da evolução temporal dos poluentes investigados nos 1096 dias avaliados, considerando a média diária para cada poluente.

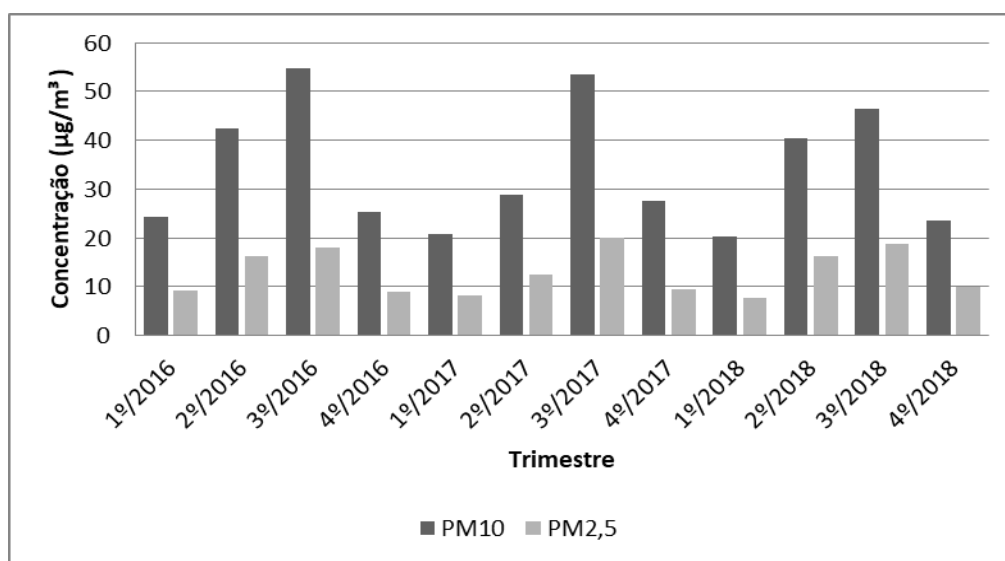
As Figuras 14 e 15 demonstram os níveis diários e por trimestre da concentração de PM₁₀ e PM_{2,5} em Piracicaba – SP, no período de estudo.

Figura 14 - Distribuição do PM₁₀ e PM_{2,5} em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no município de Piracicaba, 2016 – 2018



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 15 - Distribuição do PM₁₀ e PM_{2,5} em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no município de Piracicaba, 2016 – 2018, por trimestre

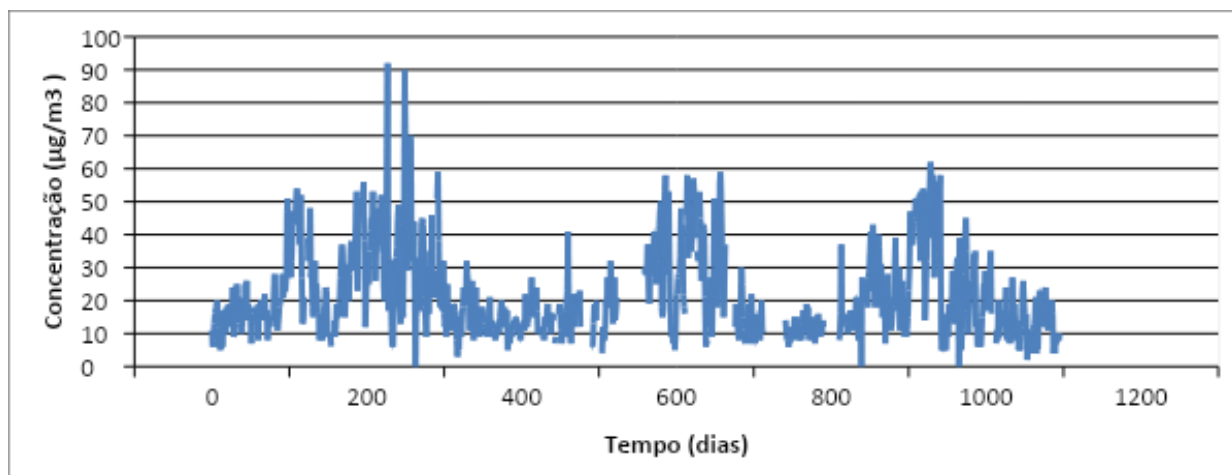


Fonte: Elaborada pelo autor.

Houve uma sazonalidade nas concentrações do PM₁₀ e PM_{2,5}, com aumento mais acentuado nos meses de inverno e picos de concentração nos meses de julho e agosto.

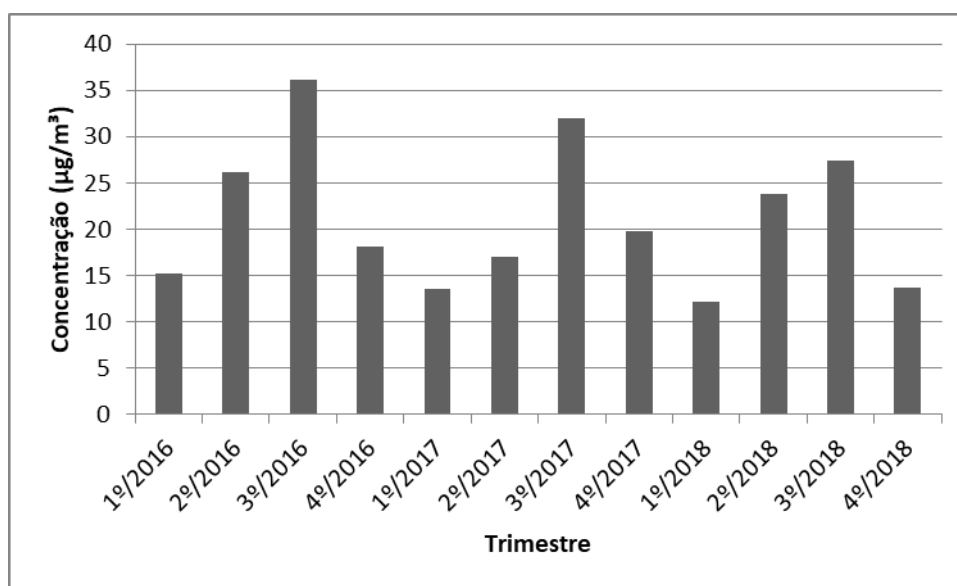
Por meio das Figuras 16 e 17 é possível verificar uma sazonalidade nas concentrações da fração grossa, com aumento mais acentuado nos meses de inverno, e picos de concentração nos meses de julho e agosto.

Figura 16 - Distribuição da concentração diária de Fração Grossa (PM10-PM2,5) em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, no município de Piracicaba, 2016 -2018



Fonte: Elaborada pelo autor.

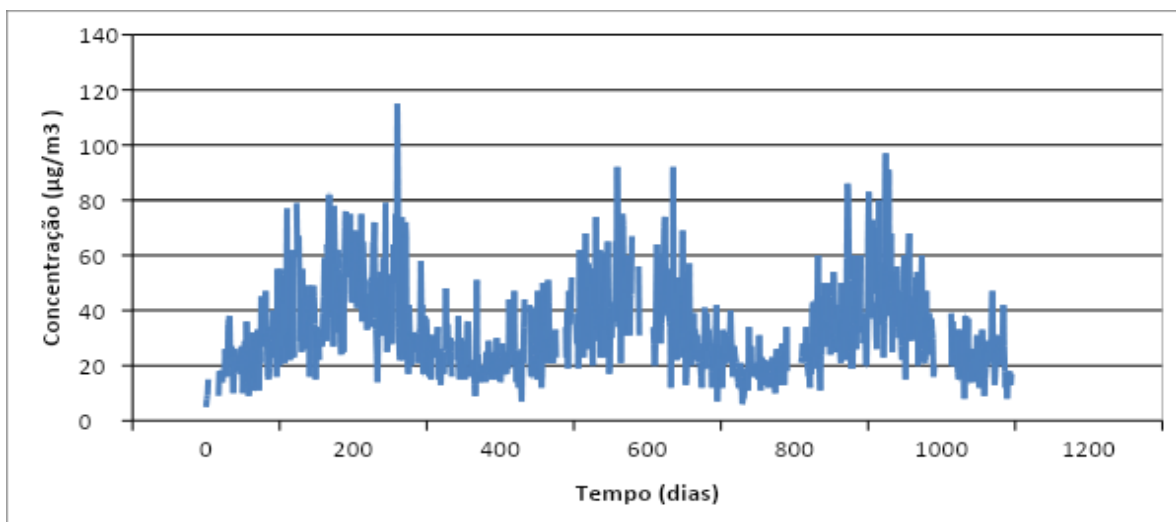
Figura 17 - Distribuição da concentração diária de Fração Grossa (PM10-PM2,5) em $\mu\text{g}/\text{m}^3$, no município de Piracicaba, 2016 -2018, por trimestre



Fonte: Elaborada pelo autor.

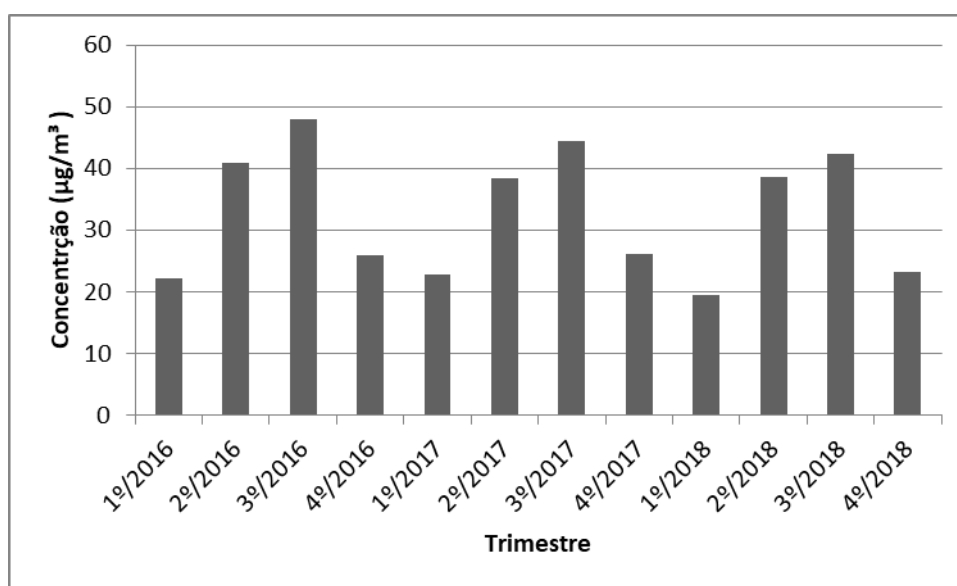
As Figuras 18 e 19 demonstram a concentração diária de NO_2 , sendo possível verificar uma sazonalidade com maior aumento da concentração no inverno.

Figura 18 - Distribuição do NO₂ em µg/m³ no município de Piracicaba, 2016 – 2018



Fonte: Elaborada pelo autor.

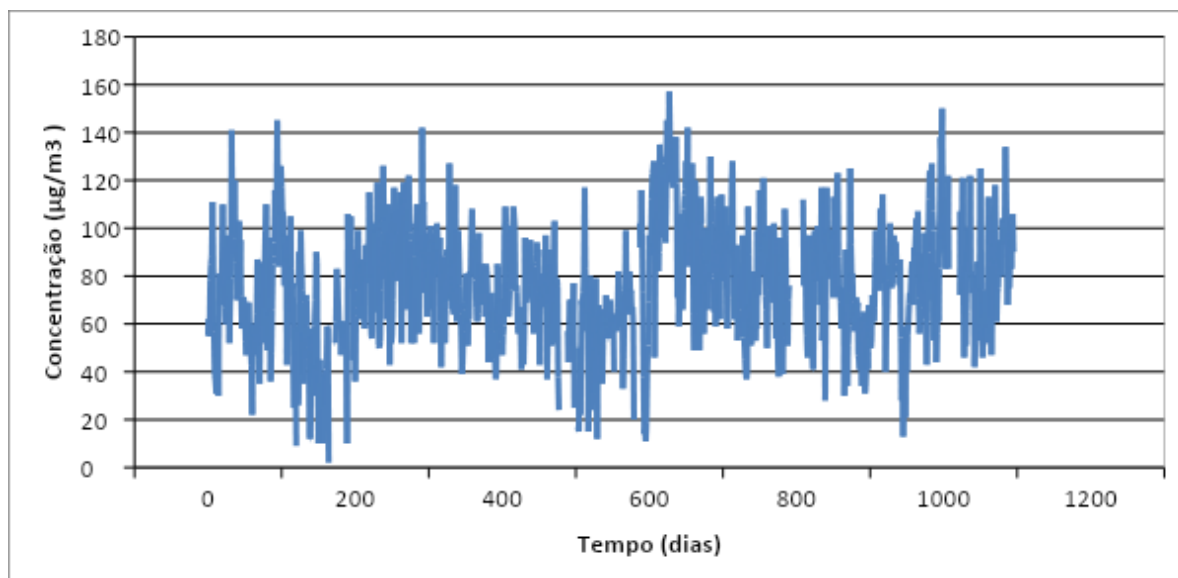
Figura 19 - Distribuição do NO₂ em µg/m³ no município de Piracicaba, 2016 – 2018, por trimestre



Fonte: Elaborada pelo autor.

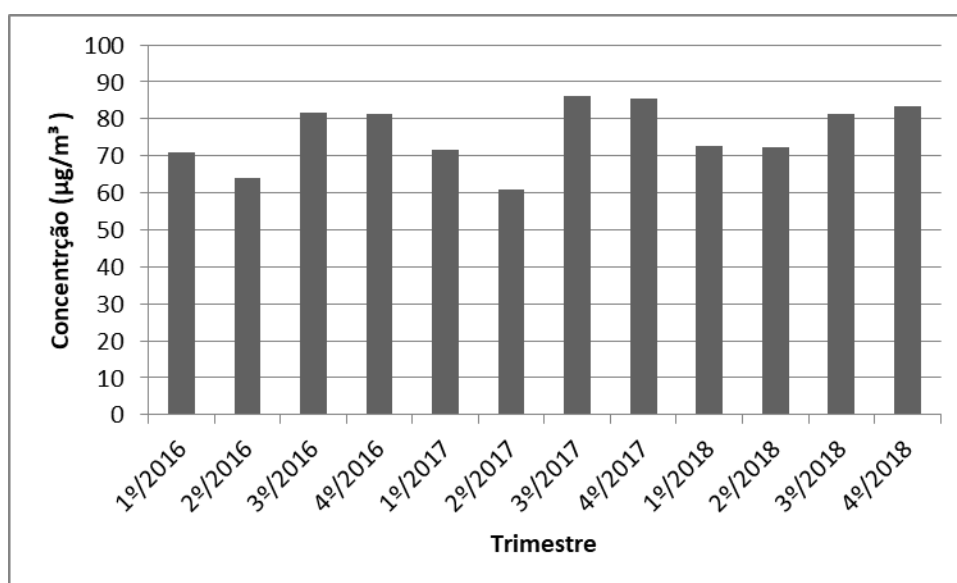
As Figuras 20 e 21 expressam a distribuição dos valores diários e por trimestre de ozônio. É perceptível que o O₃ não apresenta um padrão sazonal.

Figura 20 - Distribuição do O₃ em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no município de Piracicaba, 2016 – 2018



Fonte: Elaborada pelo autor.

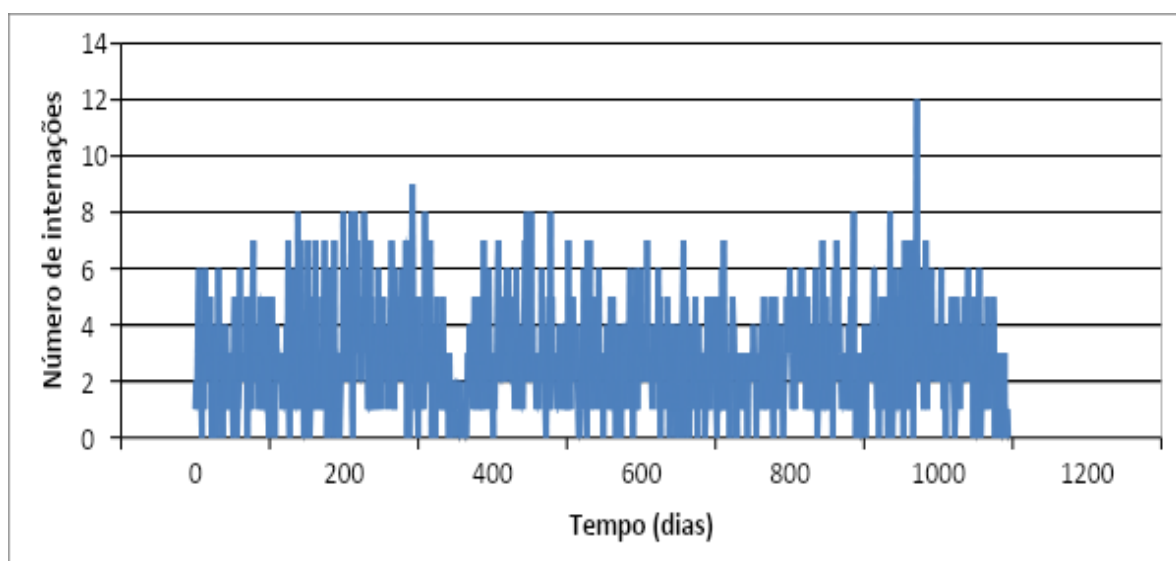
Figura 21 - Distribuição do O₃ em $\mu\text{g}/\text{m}^3$ no município de Piracicaba, 2016 – 2018, por trimestre



Fonte: Elaborada pelo autor.

O comportamento do número de internações diárias por doenças cardiovasculares em Piracicaba –SP, no período de estudo, está demonstrado na Figura 22 .

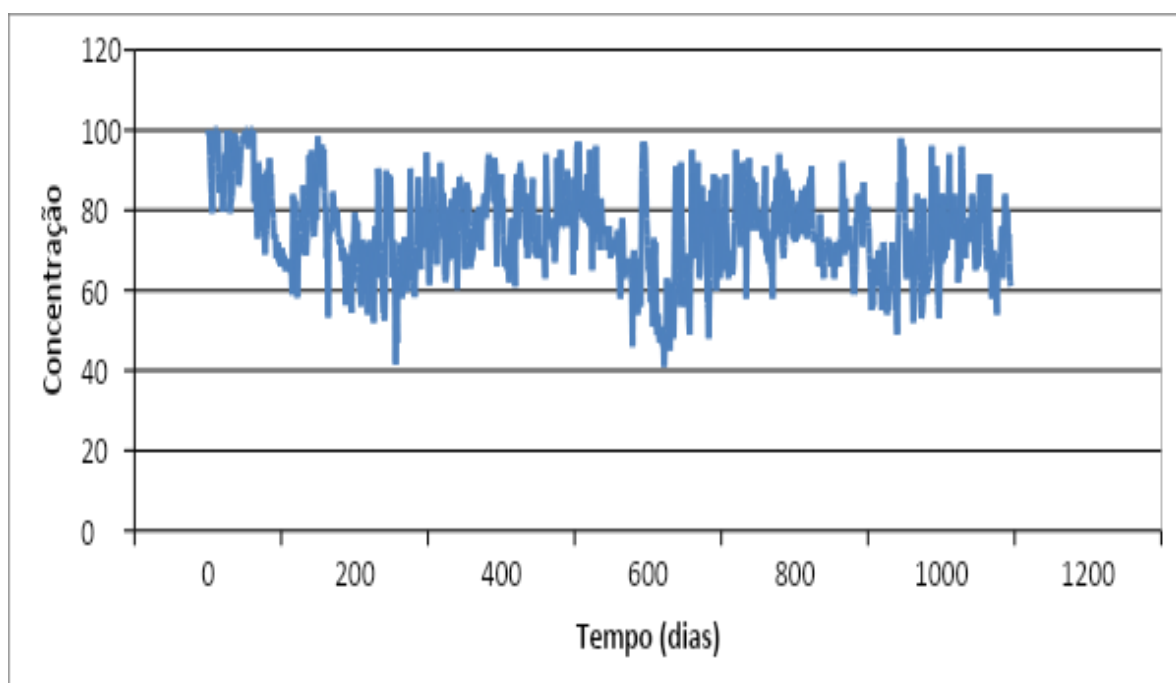
Figura 22 - Internações no município de Piracicaba, 2016 – 2018



Fonte: Elaborada pelo autor.

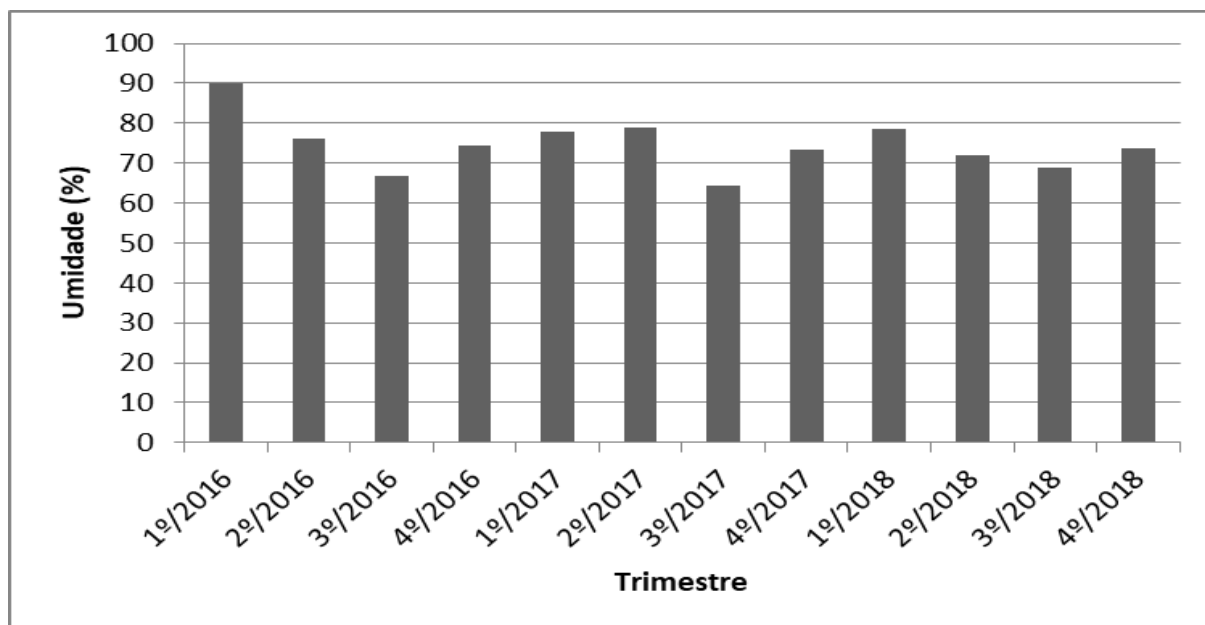
Nas Figuras 23 e 24, há os valores diários da umidade relativa do ar em Piracicaba – SP no período de 2016 a 2018 em dias e por trimestre.

Figura 23 - Umidade relativa do ar no município de Piracicaba, 2016 – 2018



Fonte: Elaborada pelo autor.

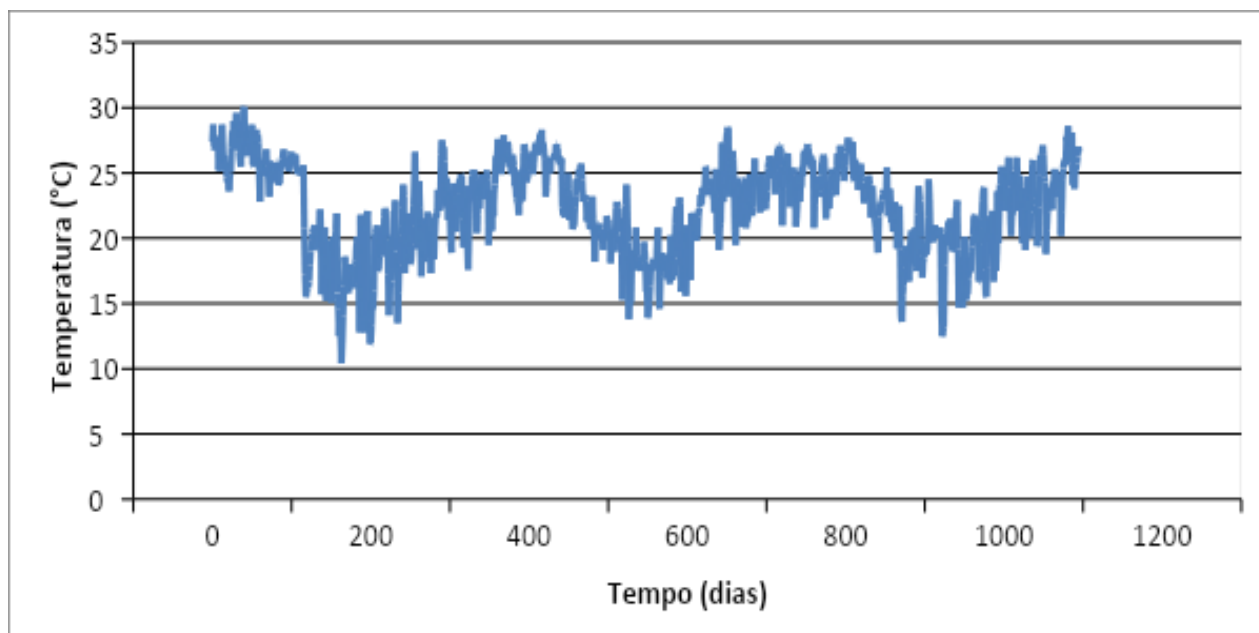
Figura 24 - Umidade relativa do ar no município de Piracicaba, 2016 – 2018, por trimestre



Fonte: Elaborada pelo autor.

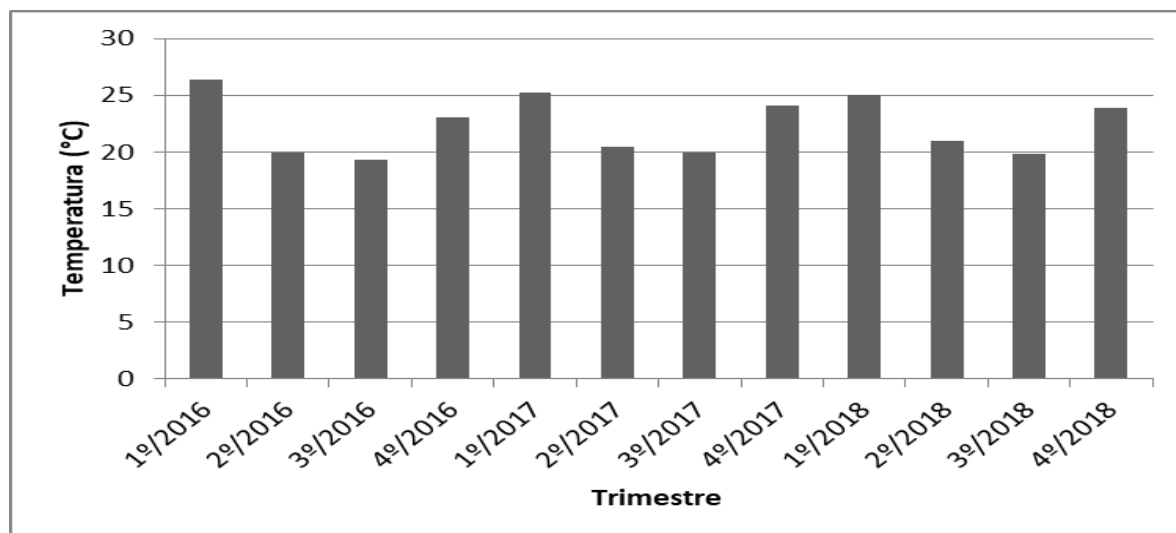
As Figuras 25 e 26 demonstram os valores diários da temperatura média do ar no município de Piracicaba – SP no período de estudo em dias e por trimestre.

Figura 25 - Temperatura média no município de Piracicaba, 2016 – 2018



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 26 - Temperatura média no município de Piracicaba, 2016 – 2018, por trimestre



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na análise da Correlação de Pearson foram empregadas as seguintes variáveis: poluentes atmosféricos PM_{2,5}, PM₁₀, Fração grossa, NO₂ e O₃, temperatura média, umidade e internações (Tabela 3). O objetivo da realização dessa análise foi medir a relação estatística entre duas variáveis. É verificado uma associação forte entre as internações decorrentes de doenças cardiovasculares e o NO₂.

Tabela 3 - Correlação de Pearson dos poluentes atmosféricos (MP2,5, PM10, Fração grossa, NO2 e O3), variáveis meteorológicas e internações, demonstrando os respectivos coeficientes, erro padrão e p-valores, Piracicaba 2016 – 2018

	PM ₁₀	PM _{2,5}	NO ₂	O ₃	FG	Temp. média	Umidade	Internações
PM ₁₀	1,000	0,900*	0,629*	0,412*	0,953*	-0,182*	-0,609*	0,050
PM _{2,5}	0,900*	1,000	0,630*	0,473*	0,768*	-0,199*	-0,540*	0,039
NO ₂	0,629*	0,630*	1,000	0,142*	0,556*	-0,435*	-0,390*	0,098*
O ₃	0,412*	0,473*	0,142*	1,000	0,373*	0,346*	-0,559*	0,009
FG	0,953*	0,768*	0,556*	0,373*	1,000	-0,130*	-0,583*	0,060
Temp. média	-0,182*	-0,199*	-0,435*	0,346*	-0,130*	1,000	0,101*	-0,114*
Umidade	-0,609*	-0,540*	-0,390*	-0,559*	-0,583*	0,101*	1,000	-0,054
Internações	0,050	0,039	0,098*	0,009	0,060	-0,114*	-0,054	1,000

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Valores em negrito - A correlação é significativa para valor $p < 0,01$ (2 extremidades)

Posteriormente, foram realizadas as análises univariada e multivariada por meio da regressão de Poisson. As análises foram realizadas com 0 a 7 dias de defasagem (LAG), ou

seja, as pessoas foram expostas aos poluentes num dia e os efeitos à saúde apareceram no mesmo dia ou após 1 a 7 dias de exposição.

Em todas as análises nas quais foram encontradas correlações com significância estatística foi calculado o risco relativo, o risco atribuível proporcional (com incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), as internações e óbitos que poderiam ter sido evitados diminuindo 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, os anos de vida perdidos decorrentes da poluição atmosférica e o custo atribuível aos poluentes em euros e reais. Foi atribuído/assumido o valor de 50 mil euros por ano perdido de vida. No Brasil não existe um valor que possa ser utilizado como equivalente em reais para um ano de vida perdido, sendo assim, nesse estudo foi assumido o valor equivalente no Brasil de 50 mil reais. A análise univariada utilizando a temperatura média pode ser observada por meio da Tabela 4.

Tabela 4 - Análise univariada dos poluentes atmosféricos PM 2,5, PM10, Fração grossa, NO2 e O3, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, ajustada pela temperatura média, Piracicaba 2016 – 2018

	Coeficiente (Erro Padrão) valor p				
	PM _{2,5}	PM ₁₀	FG	NO ₂	O ₃
LAG0	-0,000566 (0,003099) 0,85	-0,000112 (0,001265) 0,93	0,000703 (0,001791) 0,69	-0,000319 (0,001502) 0,83	0,001327 (0,001025) 0,19
LAG1	-0,002090 (0,003089) 0,49	-0,000162 (0,001260) 0,89	0,000864 (0,001806) 0,63	0,000904 (0,001496) 0,54	0,001299 (0,001023) 0,20
LAG2	-0,002093 (0,003082) 0,49	-0,000334 (0,001268) 0,79	0,000740 (0,001824) 0,68	-0,001216 (0,001520) 0,42	-0,000202 (0,001026) 0,84
LAG3	0,002888 (0,003015) 0,33	0,001667 (0,001256) 0,18	0,002679 (0,001800) 0,14	0,001319 (0,001494) 0,37	0,000984 (0,001030) 0,33
LAG4	0,002439 (0,003026) 0,42	0,001365 (0,001257) 0,27	0,002093 (0,001799) 0,24	0,003117 (0,001480) 0,03	0,000516 (0,001025) 0,61
LAG5	0,006609 (0,003000) 0,02	0,002680 (0,001253) 0,03	0,003168 (0,001780) 0,07	0,000440 (0,001500) 0,76	0,001891 (0,001025) 0,06
LAG6	0,005871 (0,003052) 0,05	0,001554 (0,001265) 0,21	0,000897 (0,001795) 0,62	0,000749 (0,001489) 0,61	0,001244 (0,001025) 0,22
LAG7	0,005857 (0,003018) 0,05	0,000990 (0,001264) 0,43	0,000750 (0,001803) 0,68	0,000706 (0,001498) 0,64	0,000264 (0,001022) 0,79

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Valores em negrito p < 0,05

A análise univariada para o PM_{2,5} e PM₁₀ foi significativa na defasagem de 5 dias, e o NO₂ na defasagem de 4 dias. Foi verificado um risco relativo de 1,07, 1,03 e 1,03 e um risco atribuível proporcional de 6,4%, 2,6% e 3,1%, quando incrementado 10 µg/m³ de PM_{2,5}, PM₁₀ e NO₂, respectivamente. Das 3074 internações e dos 359 óbitos, poderiam ter sido evitadas 196, 81 e 94 internações e 23, 9 e 11 óbitos, respectivamente, quando diminuído em 10µg/m³ o PM_{2,5}, PM₁₀ e NO₂. Utilizando a metodologia DALY foram encontrados 2876 anos de vida perdidos, resultando em 184, 77 e 88 anos de vida perdidos decorrentes da poluição atmosférica para o PM_{2,5}, PM₁₀ e NO₂ respectivamente. Quando valorados foi obtido o valor de €9.196.497 equivalentes a R\$36.785.986,3 associados à concentração de PM_{2,5}, €3.795.657 equivalentes a R\$15.182.627,03 associados à concentração de PM₁₀ e €4.412.83 equivalentes a R\$17.651.326,41 associados ao NO₂.

A análise multivariada dos poluentes atmosféricos PM_{2,5}, NO₂ e O₃, ajustada pela temperatura média, é verificada na tabela 5. Após um dia da exposição ao poluente PM_{2,5} (LAG 1), é possível observar um valor negativo, indicando que quanto maior a exposição ao PM_{2,5}, mais benéfico é para a saúde da pessoa, isto é chamado de efeito paradoxal, ou seja, quanto mais PM_{2,5} melhor para saúde, o que não é verdadeiro.

Tabela 5 - Análise multivariada dos poluentes atmosféricos, PM_{2,5}, NO₂ e O₃, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, ajustada pela temperatura média, Piracicaba 2016 – 2018

	Coeficiente (Erro Padrão) – P valor		
	PM _{2,5}	NO ₂	O ₃
LAG0	-0,000898 (0,004150) 0,83	-0,000809 (0,001882) 0,67	0,001229 (0,001232) 0,32
LAG1	-0,009106 (0,004232) 0,03	0,003051 (0,001852) 0,10	0,002766 (0,001241) 0,02
LAG2	-0,000441 (0,004048) 0,91	-0,001004 (0,001892) 0,59	-0,000187 (0,001237) 0,88
LAG3	0,001170 (0,003967) 0,77	0,000847 (0,001850) 0,64	0,000790 (0,001230) 0,52
LAG4	-0,002916 (0,004083) 0,47	0,003818 (0,001830) 0,03	0,000048 (0,001236) 0,96
LAG5	0,003367 (0,004034) 0,40	-0,000902 (0,001876) 0,63	0,002412 (0,001232) 0,05
LAG 6	0,004735 (0,004051) 0,24	-0,000773 (0,001872) 0,68	0,000211 (0,001229) 0,86
LAG 7	0,005768 (0,003964) 0,14	-0,000139 (0,001858) 0,94	-0,000642 (0,001224) 0,60

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Valores em negrito p valor <0,05

A tabela 5 evidencia também que o NO₂ com 4 dias de defasagem e o O₃ com 1 dia de defasagem apresentaram significância estatística, sendo encontrado um risco relativo de 1,04 e 1,02, e risco atribuível proporcional de 3,7% e 2,7% quando aumentado 10 µg/m³ de NO₂ e O₃, respectivamente. Das 3074 internações e dos 359 óbitos, referentes ao NO₂, 115 internações e 13 óbitos poderiam ter sido evitadas quando diminuído em 10µg/m³ o NO₂ e referente ao O₃ 57 84 internações e 10 óbitos poderiam ter sido evitados quando diminuído em 10µg/m³ o O₃. Utilizando a metodologia DALY foram encontrados 2876 anos de vida perdidos, resultando respectivamente para o NO₂ e O₃, 108 e 78 anos de vida perdidos decorrentes da poluição atmosférica. Quando valorados foi obtido o valor de €5.386.518,892 equivalentes a R\$21.546.075,57 para o NO₂ e €3.922.723,005 equivalentes a R\$15.690.892,02 para o O₃. Esses valores poderiam ser evitados com a diminuição da emissão dos poluentes.

A análise multivariada dos poluentes atmosféricos PM₁₀, NO₂ e O₃, ajustada pela temperatura média, pode ser observada na Tabela 6.

Tabela 6 - Análise multivariada dos poluentes atmosféricos PM10, NO2 e O3, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, Piracicaba 2016 – 2018, utilizando a temperatura média

Coeficiente (Erro Padrão)			
	PM ₁₀	NO ₂	O ₃
LAG0	-0,000061 (0,001556) 0,97	-0,000825 (0,001857) 0,66	0,000986 (0,001162) 0,39
LAG1	-0,001185 (0,001561) 0,45	0,000048 (0,001856) 0,98	0,002138 (0,001166) 0,06
LAG2	0,000288 (0,001551) 0,85	-0,001295 (0,001884) 0,49	0,000024 (0,001172) 0,98
LAG3	0,001841 (0,001526) 0,23	0,000162 (0,001850) 0,93	0,000045 (0,001167) 0,97
LAG4	-0,000263 (0,001552) 0,86	0,003301 (0,001820) 0,07	-0,000429 (0,001169) 0,71
LAG5	0,002056 (0,001543) 0,18	-0,001382 (0,001866) 0,46	0,002087 (0,001165) 0,07
LAG 6	0,001370 (0,001550) 0,38	-0,001523 (0,001863) 0,41	0,000815 (0,001164) 0,48
LAG 7	0,000859 (0,001550) 0,58	-0,000119 (0,001854) 0,94	-0,000197 (0,001165) 0,86

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Valores em negrito p < 0,05

É possível constatar que não foi encontrada nenhuma relação com significância estatística na análise multivariada dos poluentes atmosféricos PM₁₀, NO₂ e O₃ utilizando a temperatura média.

A análise univariada dos poluentes atmosféricos PM_{2,5}, NO₂ e O₃, ajustada pela temperatura máxima, é demonstrada na Tabela 7.

Tabela 7 - Análise univariada dos poluentes atmosféricos PM 2,5, PM10, Fração grossa, NO2 e O3, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, utilizando a temperatura máxima, Piracicaba 2016 – 2018

Coeficiente (Erro Padrão) – Pvalor					
	PM _{2,5}	PM ₁₀	FG	NO ₂	O ₃
LAG0	0,001496 (0,003041) 0,62	0,000690 (0,001249) 0,58	0,001619 (0,001778) 0,36	0,000578 (0,001401) 0,68	0,001756 (0,001078) 0,10
LAG1	6,90e-08 (0,003036) 1,00	0,000579 (0,001245) 0,64	0,001741 (0,001795) 0,33	0,001654 (0,001396) 0,24	0,001663 (0,001075) 0,12
LAG2	0,000424 (0,003025) 0,89	0,000545 (0,001254) 0,64	0,001755 (0,001813) 0,33	0,000056 (0,001418) 0,97	-0,000097 (0,001078) 0,92
LAG3	0,005264 (0,002954) 0,07	0,002538 (0,001240) 0,04	0,003688 (0,001789) 0,03	0,002386 (0,001393) 0,08	0,001154 (0,001082) 0,29
LAG4	0,002126 (0,001241) 0,08	0,004582 (0,002964) 0,12	0,003005 (0,001787) 0,09	0,003534 (0,001382) 0,01	0,001038 (0,001078) 0,33
LAG5	0,008291 (0,002942) 0,00	0,003272 (0,001238) 0,00	0,003860 (0,001772) 0,03	0,001450 (0,001399) 0,30	0,001978 (0,001078) 0,06
LAG 6	0,007625 (0,002997) 0,01	0,002249 (0,001251) 0,07	0,001674 (0,001788) 0,35	0,001943 (0,001388) 0,16	0,000992 (0,001078) 0,35
LAG 7	0,007345 (0,002964) 0,01	0,001655 (0,001250) 0,18	0,001507 (0,001794) 0,40	0,001563 (0,001398) 0,26	0,000398 (0,001075) 0,71

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Valores em negrito p valor <0,05

A análise univariada para o PM_{2,5} foi significativa para a defasagem de 5,6 e 7 dias, respectivamente com risco relativo de 1,08, 1,08 e 1,07 e risco atribuível proporcional de 7,9%, 7,3 e 7,1% quando incrementado 10 µg/m³ de PM_{2,5}. Das 3074 internações, poderiam ter sido evitadas respectivamente após 5, 6 e 7 dias de exposição, 244, 226 e 218 internações. Dos 359 óbitos que ocorreram no período de estudo, 28, 26 e 25 óbitos, respectivamente

poderiam ter sido evitados, após 5, 6 e 7 dias de exposição, quando diminuído em $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ o $\text{PM}_{2,5}$. Utilizando a metodologia DALY foram encontrados 2876 anos de vida perdidos, resultando em 229, 211 e 204 anos de vida perdidos decorrentes da poluição atmosférica para as defasagens de 5, 6 e 7 dias. Quando valorados foi obtido o valor de €11.441.063,87 equivalentes a R\$45.764.255,5 para o LAG 5, €10.556.744,65 equivalentes a R\$42.226.978,58 para o LAG 6 e €10.183.407,96 equivalentes a R\$40.733.631,85 para o LAG 7.

A análise univariada para o PM_{10} foi significativa para a defasagem de 3 e 5 dias, respectivamente com risco relativo de 1,02 e 1,03 e risco atribuível proporcional de 2,5% e 3,2% quando incrementado $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} . Das 3074 internações, poderiam ter sido evitadas respectivamente nas defasagens de 3 e 5 dias, 77 e 99 internações. Dos 359 óbitos que ocorreram no período de estudo, 9 e 11 óbitos, respectivamente poderiam ter sido evitados, para as defasagens de 3 e 5 dias, quando diminuído em $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ o PM_{10} . Utilizando a metodologia DALY foram encontrados 2876 anos de vida perdidos, resultando em 72 e 92 anos de vida perdidos decorrentes da poluição atmosférica. para as defasagens de 3 e 5 dias. Quando valorados foi obtido o valor de €3.603.999,753 equivalentes a R\$14.415.999,01 para o LAG 3 e €4.629.549,387 equivalentes a R\$18.518.197,55 para o LAG 5.

A análise univariada para a FG foi significativa para a defasagem de 3 e 5 dias, respectivamente, com risco relativo de 1,03 e 1,04 e risco atribuível proporcional de 3,6% e 3,7% quando incrementado $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de FG. Das 3074 internações, poderiam ter sido evitadas respectivamente nas defasagens de 3 e 5 dias, 111 e 116 internações. Dos 359 óbitos que ocorreram no período de estudo, 13 óbitos poderiam ter sido evitados, para as defasagens de 3 e 5 dias, quando diminuído em $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ a FG. Utilizando a metodologia DALY foram encontrados 2876 anos de vida perdidos, resultando em 104 e 109 anos de vida perdidos decorrentes da poluição atmosférica para as defasagens de 3 e 5 dias. Quando valorados foi obtido o valor de €5.206.187,169 equivalentes a R\$20.824.748,68 para o LAG 3 e €5.444.501,993 equivalentes a R\$21.778.007,97 para o LAG 5.

A análise univariada para o NO_2 foi significativa para defasagem de 4 dias, com risco relativo de 1,04 e risco atribuível proporcional de 3,4% quando incrementados $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 . Das 3074 internações, 107 poderiam ter sido evitadas, se diminuísse a emissão de NO_2 em $10\mu\text{g}/\text{m}^3$. Dos 359 óbitos que ocorreram no período de estudo 12 poderiam ter sido evitados quando diminuído $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 . Utilizando o método Daly foi encontrado 2876

anos de vida perdidos, ou seja, 100 anos de vida perdidos são decorrentes da poluição atmosférica, resultando em €4.992.865,883 equivalentes a R\$19.971.463,53.

A análise multivariada dos poluentes atmosféricos PM_{2,5}, NO₂ e O₃, ajustada pela temperatura máxima, pode ser observada na Tabela 8.

Tabela 8 - Análise multivariada dos poluentes atmosféricos, PM_{2,5}, NO₂ e O₃, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, ajustada pela temperatura máxima, Piracicaba 2016 – 2018

	Coeficiente (Erro Padrão) – P valor		
	PM _{2,5}	NO ₂	O ₃
LAG0	0,000380 (0,004126) 0,93	-0,000041 (0,001810) 0,98	0,001616 (0,001268) 0,20
LAG1	-0,007774 (0,004210) 0,06	0,003881 (0,001782) 0,02	0,003016 (0,001276) 0,01
LAG2	0,000730 (0,004025) 0,85	0,000029 (0,001817) 0,99	-0,000226 (0,001273) 0,86
LAG3	0,002273 (0,003943) 0,56	0,001729 (0,001776) 0,33	0,000871 (0,001266) 0,49
LAG4	-0,002027 (0,004063) 0,62	0,004033 (0,001764) 0,02	0,000692 (0,001274) 0,59
LAG5	0,004587 (0,004009) 0,25	-0,000139 (0,001802) 0,94	0,002810 (0,001267) 0,02
LAG 6	0,005699 (0,004030) 0,16	0,000172 (0,001798) 0,92	0,000100 (0,001267) 0,94
LAG 7	0,006545 (0,003946) 0,09	0,000420 (0,001788) 0,81	-0,000473 (0,001262) 0,71

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Valores em negrito p valor <0,05

A análise multivariada para o NO₂ foi significativa para a defasagem de 1 e 4 dias, com risco relativo de 1,04 para ambas defasagens e risco atribuível proporcional de 3,8% no LAG 1 e 3,9% no LAG 4, quando incrementado 10 µg/m³ de NO₂. Das 3074 internações e dos 359 óbitos poderiam ter sido evitadas nas defasagens de 1 e 4 dias respectivamente 117 internações e 14 óbitos e 121 internações e 14 óbitos, quando diminuído em 10µg/m³ o NO₂. Utilizando a metodologia DALY foram encontrados 2876 anos de vida perdidos, resultando em 109 e 114 anos de vida perdidos decorrentes da poluição atmosférica para as defasagens de 1 e 4 dias. Quando valorados foi obtido o valor de €5.473.553,597 equivalentes a R\$21.894.214,39 para o LAG 1 e €5.684.064,43 equivalentes a R\$22.736.257,72 para o LAG 4.

A análise multivariada para o O₃ foi significativa para a defasagem de 1 e 5 dias, com risco relativo de 1,03 e 1,02 respectivamente e risco atribuível proporcional de 2,9% e 2,7% quando incrementado 10 µg/m³ de O₃. Das 3074 internações e dos 359 óbitos, poderiam ter sido evitadas respectivamente nas defasagens de 1 e 5 dias, 91 internações e 11 óbitos e 85 internações e 10 óbitos, quando diminuído em 10µg/m³ o O₃. Utilizando a metodologia DALY foram encontrados 2876 anos de vida perdidos, resultando em 85 e 80 anos de vida perdidos decorrentes da poluição atmosférica para as defasagens de 1 e 5 dias. Quando valorados foi obtido o valor de €4.272.118,973 equivalentes a R\$17.088.475,89 para o LAG 1 e €3.984.814,73 equivalentes a R\$15.939.258,92 para o LAG 5.

A análise multivariada dos poluentes atmosféricos PM₁₀, NO₂ e O₃, ajustada pela temperatura máxima, pode ser observada na Tabela 9.

Tabela 9 - Análise multivariada dos poluentes atmosféricos PM₁₀, NO₂ e O₃, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, ajustada pela temperatura máxima, Piracicaba 2016 – 2018

	Coeficiente (Erro Padrão)		
	PM ₁₀	NO ₂	O ₃
LAG0	0,000516 (0,001562) 0,74	-0,000118 (0,001773) 0,95	0,001437 (0,001209) 0,23
LAG1	-0,000545 (0,001567) 0,73	0,000724 (0,001773) 0,68	0,002655 (0,001212) 0,02
LAG2	0,000746 (0,001560) 0,63	-0,000410 (0,001800) 0,82	0,000140 (0,001218) 0,91
LAG3	0,002276 (0,001535) 0,14	0,000824 (0,001768) 0,64	0,000270 (0,001213) 0,82
LAG4	0,000152 (0,001560) 0,92	0,003347 (0,001744) 0,05	0,000160 (0,001217) 0,89
LAG5	0,002534 (0,001550) 0,10	-0,000621 (0,001782) 0,73	0,002335 (0,001210) 0,05
LAG 6	0,001756 (0,001559) 0,26	-0,000341 (0,001778) 0,85	0,000653 (0,001210) 0,59
LAG 7	0,001244 (0,001559) 0,42	0,000630 (0,001772) 0,72	-0,000084 (0,001212) 0,94

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Valores em negrito p valor <0,05

A análise multivariada apresentou valor estatisticamente significativo com o O₃ com 1 dia de defasagem. O risco relativo foi de 1,03 e o risco atribuível proporcional de 2,6% decorrente do excesso de 10µg/m³ de O₃. Das 3074 internações e dos 359 óbitos, respectivamente, 80 internações e 9 óbitos, poderiam ter sido evitados se diminuísse a

emissão de O₃ em 10 µg/m³. Quando utilizado o método Daly foram encontrados 2876 anos de vida perdidos, sendo que 75 anos de vida perdidos podem ser atribuídos à poluição atmosférica, resultando em €3.767.793,121 equivalentes a R\$15.071.172,48.

A análise univariada dos poluentes atmosféricos PM_{2,5}, PM₁₀, FG, NO₂ e O₃, ajustada pela temperatura mínima, pode ser observada na Tabela 10.

Tabela 10 - Análise univariada dos poluentes atmosféricos PM 2,5, PM10, Fração grossa, NO2 e O3, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, utilizando a temperatura mínima, Piracicaba 2016 – 2018

Coeficiente (Erro Padrão) – Pvalor					
	PM _{2,5}	PM ₁₀	FG	NO ₂	O ₃
LAG0	-0,001967 (0,003215) 0,54	-0,000527 (0,001299) 0,68	0,000309 (0,0018173) 0,86	-0,000515 (0,001602) 0,75	0,000540 (0,000963) 0,58
LAG1	-0,003932 (0,003205) 0,22	-0,000629 (0,001295) 0,63	0,0004364 (0,0018326) 0,81	0,000610 (0,001595) 0,70	0,000638 (0,000963) 0,51
LAG2	-0,004612 (0,003205) 0,15	-0,001120 (0,001303) 0,39	2.16e-06 (0,0018526) 0,99	-0,002524 (0,001626) 0,12	-0,000589 (0,000966) 0,54
LAG3	0,000871 (0,003136) 0,78	0,001028 (0,001291) 0,43	0,002029 (0,0018293) 0,27	0,000517 (0,001596) 0,75	0,000351 (0,000970) 0,72
LAG4	0,001228 (0,003142) 0,70	0,001040 (0,001292) 0,42	0,0017334 (0,0018257) 0,34	0,003411 (0,001575) 0,03	-0,000226 (0,000965) 0,82
LAG5	0,005270 (0,003111) 0,09	0,002194 (0,001285) 0,09	0,0026609 (0,0018048) 0,14	-0,000433 (0,001602) 0,79	0,001346 (0,000964) 0,16
LAG 6	0,004396 (0,003163) 0,16	0,001036 (0,00129&) 0,42	0,0003369 (0,0018198) 0,85	0,000021 (0,001590) 0,99	0,000793 (0,000963) 0,41
LAG 7	0,004796 (0,003125) 0,12	0,000546 (0,001296) 0,67	0,0002986 (0,0018263) 0,87	0,000273 (0,001596) 0,86	-0,000222 (0,000962) 0,82

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Valores em negrito p valor <0,05

A Tabela 10 evidencia que o NO₂ expressou significância estatística com 4 dias de defasagem, apresentando um risco relativo de 1,03 e risco atribuível proporcional de 3,4% decorrente do excesso de 10µg/m³ de NO₂. Das 3074 internações e dos 359 óbitos, respectivamente, 103 internações e 12 óbitos, poderiam ter sido evitados, se diminuísse a emissão de NO₂ em 10 µg/m³. Quando utilizado o método Daly foram encontrados 2876 anos

de vida perdidos, sendo que 96 anos de vida perdidos podem ser atribuídos à poluição atmosférica, resultando em €4.822.306,02 equivalentes a R\$19.289.224,08.

A análise multivariada dos poluentes atmosféricos PM_{2,5}, NO₂ e O₃, ajustada pela temperatura mínima, pode ser observada na Tabela 11.

Tabela 11 - Análise multivariada dos poluentes atmosféricos, PM_{2,5}, NO₂ e O₃, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, ajustada pela temperatura mínima, Piracicaba 2016 – 2018

	Coeficiente (Erro Padrão) – P valor		
	PM _{2,5}	NO ₂	O ₃
LAG0	-0,001641 (0,004186) 0,69	-0,000968 (0,001940) 0,62	0,000487 (0,001173) 0,68
LAG1	-0,010036 (0,004272) 0,02	0,002674 (0,001910) 0,16	0,002159 (0,001184) 0,07
LAG2	-0,001692 (0,004094) 0,68	-0,002070 (0,001957) 0,29	-0,000402 (0,001179) 0,73
LAG3	0,000243 (0,004007) 0,95	0,000227 (0,001912) 0,90	0,000376 (0,001172) 0,75
LAG4	-0,003180 (0,004113) 0,44	0,004030 (0,001884) 0,03	-0,000598 (0,001177) 0,61
LAG5	0,002526 (0,004072) 0,54	-0,001329 (0,001937) 0,49	0,001827 (0,001173) 0,12
LAG6	0,004029 (0,004085) 0,32	-0,001159 (0,001933) 0,55	-0,000287 (0,001169) 0,81
LAG7	0,005241 (0,003995) 0,20	-0,000412 (0,001917) 0,83	-0,001032 (0,001165) 0,38

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Valores em negrito p valor <0,05

Referente ao PM_{2,5}, é possível observar um valor negativo com 1 dia de defasagem, indicando que quanto maior a exposição ao PM_{2,5}, mais benéfico é para a saúde da pessoa. Esse efeito paradoxal indica que quanto mais PM_{2,5} melhor é para a saúde, o que não é verdadeiro.

O NO₂ expressou significância estatística com 4 dias de defasagem, apresentando um risco relativo de 1,04 e risco atribuível proporcional de 3,9% decorrente do excesso de 10µg/m³ de NO₂. Das 3074 internações e dos 359 óbitos, respectivamente, 121 internações e 14 óbitos, poderiam ter sido evitados, se diminuísse a emissão de NO₂ em 10 µg/m³. Quando utilizado o método Daly encontram-se 2876 anos de vida perdidos, sendo que 113 anos de vida perdidos podem ser atribuídos à poluição atmosférica, resultando em €5.679.920,89 que quando convertidos em reais equivalem a R\$22.719.683,56.

A análise multivariada dos poluentes atmosféricos PM₁₀, NO₂ e O₃, ajustada pela temperatura mínima, pode ser observada na Tabela 12.

Tabela 12 - Análise multivariada dos poluentes atmosféricos PM₁₀, NO₂ e O₃, com os respectivos coeficientes, erro padrão e valor de p, ajustada pela temperatura mínima, Piracicaba 2016 – 2018

Coeficiente (Erro Padrão)			
	PM ₁₀	NO ₂	O ₃
LAG0	-0,000374 (0,001562) 0,81	-0,000748 (0,001923) 0,70	0,000148 (0,001097) 0,89
LAG1	-0,001550 (0,001566) 0,32	-3,19e-06 (0,001919) 0,99	0,001347 (0,001103) 0,22
LAG2	-0,000090 (0,001555) 0,95	-0,002320 (0,001955) 0,24	-0,000227 (0,001109) 0,84
LAG3	0,001538 (0,001531) 0,32	-0,000370 (0,001917) 0,85	-0,000337 (0,001104) 0,76
LAG4	-0,000407 (0,001555) 0,79	0,003693 (0,001879) 0,05	-0,001008 (0,001105) 0,36
LAG5	0,001743 (0,001548) 0,26	-0,001948 (0,001936) 0,32	0,001632 (0,001101) 0,14
LAG 6	0,001061 (0,001555) 0,50	-0,001936 (0,001934) 0,32	0,000213 (0,001098) 0,85
LAG 7	0,000601 (0,001554) 0,70	-0,000483 (0,001922) 0,80	-0,000660 (0,001100) 0,55

Fonte: Elaborada pelo autor.

*Valores em negrito p valor <0,05

É possível constatar que não foi encontrada nenhuma relação com significância estatística na análise multivariada dos poluentes atmosféricos PM₁₀, NO₂ e O₃ utilizando a temperatura mínima.

A Tabela 13 apresenta uma análise comparativa dos resultados obtidos, sendo possível observar que os resultados foram mais expressivos quando utilizada a temperatura máxima.

Tabela 13 - Comparativo dos resultados obtidos na análise univariada e multivariada, utilizando as temperaturas média, mínima e máxima, em Piracicaba 2016 – 2018

	Temperatura Mínima	Temperatura Média	Temperatura Máxima
Análise Univariada	LAG 4 – NO ₂	LAG 4 – NO ₂ LAG 5 – PM _{2,5} , PM ₁₀	LAG 3 – PM ₁₀ , FG LAG 4 – NO ₂ LAG 5 – PM _{2,5} , PM ₁₀ , FG LAG 6 – PM _{2,5} LAG 7 – PM _{2,5}
Análise Multivariada (PM _{2,5} , NO ₂ , O ₃)	LAG 4 – NO ₂	LAG 1 – O ₃ LAG 4 – NO ₂	LAG 1 – NO ₂ , O ₃ LAG 4 – NO ₂ LAG 5 – O ₃
Análise Multivariada (PM ₁₀ , NO ₂ , O ₃)			LAG 1 – O ₃

Fonte: Elaborada pelo autor.

5 DISCUSSÃO

No presente estudo pode ser observada uma sazonalidade nas concentrações do PM_{10} e $PM_{2,5}$, com aumento mais acentuado nos meses de inverno, e picos de concentração nos meses de julho e agosto, o que corrobora com os estudos de Ribeiro *et al.* (2019), realizado no município de Taubaté-SP que também encontrou um aumento de $PM_{2,5}$ entre os meses de julho a outubro e Braga *et al.* (2007) que observou uma sazonalidade nas concentrações do PM_{10} , com aumento mais acentuado nos meses de inverno, de abril a agosto, em Itabira -MG.

Na primavera e verão há menores índices de concentrações de PM_{10} , devido a ocorrência de altas temperaturas e chuvas regulares, fazendo com que os poluentes de forma geral, sejam removidos por deposição úmida (SILVA *et al.*, 2018). Já no outono e inverno, com a diminuição da temperatura, a atmosfera fica com menor teor de umidade e, com isso, as chuvas diminuem e consequentemente os índices de poluição aumentam (SILVA *et al.*, 2018; SILVEIRA *et al.*, 2021).

A variação da temperatura contribui para a ocorrência e a distribuição das chuvas nas diferentes épocas do ano e consequentemente oferecem um papel na remoção dos poluentes da atmosfera (SANTOS *et al.*, 2019).

A rápida mudança de temperatura e as ocorrências de eventos extremos podem interferir significativamente no desempenho do corpo humano e deixar o ambiente mais propício às condições que auxiliam no aumento do risco de internações e mortalidade (MORAIS *et al.*, 2019).

Este é o primeiro estudo realizado com esta temática no município de Piracicaba – SP e mostra que a poluição do ar no município está associada à mortalidade por doenças cardiovasculares.

Até o presente momento não foram encontrados estudos que associem a temperatura máxima com a exposição aos poluentes estudados e o aumento das internações por doenças cardiovasculares em uma cidade brasileira de médio porte.

Por se tratar de um modelo multipolvente, os poluentes foram analisados de acordo com a temperatura mínima, máxima e média. Os dados foram menos significativos/expressivos quando utilizada a temperatura mínima, e mais expressivos quando utilizada a temperatura máxima, o que difere do estudo de Tuan, Venancio e Nascimento (2016), que encontraram maior associação entre os poluentes quando utilizaram a temperatura mínima.

Na análise multivariada com NO_2 , $\text{PM}_{2,5}$ e O_3 , utilizando a temperatura média e mínima, após 1 dia de exposição, o $\text{PM}_{2,5}$ apresentou valor negativo, observando assim, um efeito paradoxal. O presente estudo não encontrou associação na análise multivariada com NO_2 , PM_{10} e O_3 , quando utilizadas a temperatura média e mínima.

O poluente O_3 , na análise multivariada, quando analisado com a temperatura média e máxima, foi verificada associação com a ocorrência das internações por doenças cardiovasculares. Os estudos de Stieb *et al.* (2009), Roman (2014) e Zhao *et al.* (2017) também constataram que o ozônio apresenta efeitos adversos sobre as doenças cardiovasculares.

Para o poluente O_3 , quando analisado com a temperatura mínima, não foi verificada associação com a ocorrência das internações por doenças cardiovasculares.

O NO_2 apresentou associação com o número de internações por doenças cardiovasculares na análise univariada, utilizando a temperatura máxima, média e mínima, após 4 dias de exposição e na análise multivariada, utilizando a temperatura média e mínima após 4 dias de exposição, e utilizando a temperatura máxima após 1 e 4 dias de exposição.

A média de veículos em Piracicaba, segundo o IBGE (2022) nos anos de 2016 a 2018 era de 298.125 veículos. Sabe-se que uma das principais fontes das emissões de NO_2 são os veículos automotivos. Considerando a frota veicular no município de Piracicaba, no período de estudo, é possível perceber que há uma proporção de aproximadamente 1 veículo para cada 1,34 pessoas, fato este que pode contribuir significativamente para a associação estatística entre o NO_2 e a morbimortalidade por doenças cardiovasculares.

Roman (2014) no município de Taubaté-SP, Zhao *et al.* (2017), em seu estudo de revisão, e Gouveia *et al.* (2006) em São Paulo – SP também encontraram associação significativa entre NO_2 e a incidência de doenças cardiovasculares, diferentemente de Nascimento (2011) que não encontrou associação entre as internações e o NO_2 no município de São Paulo - SP.

O $\text{PM}_{2,5}$ demonstrou, nesta pesquisa, associação com as internações por doenças cardiovasculares na análise univariada, utilizando a temperatura máxima, após 5, 6 e 7 dias de exposição e utilizando a temperatura média após 5 dias de exposição.

Reforçando essa pesquisa Pieters *et al.* (2012) afirmam que o aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$ está associado à alteração da variabilidade da frequência cardíaca e consequentemente ao desenvolvimento de doenças cardiovasculares. Achilleos *et al.* (2017) em sua revisão sistemática com estudos nas Américas, Europa e Pacífico Ocidental verificaram que o

aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$ aumenta em 0,80% as internações por doenças cardiovasculares, Roman (2014) verificou com 4 dias de defasagem um aumento de 36% no número de internações.

Ribeiro *et al.* (2019) também constataram que um incremento de $5\text{mg}/\text{m}^3$ na concentração de $\text{PM}_{2,5}$ aumentou o risco de internação em até aproximadamente 18% no município de Taubaté. Zhao *et al.* (2017) analisaram 48 estudos e constataram que aumentando $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$, observa-se uma adição de 17%, ou seja, 5 vezes mais o número de mortalidade e incidência de doenças cardiovasculares. Em Santa Catarina, no ano de 2009, foram registrados 9.597 óbitos e 45.320 casos de internação por doenças cardiovasculares, estimando um total de 358.777,5 DALYs, o que gerou uma taxa de 5.852,5 DALYs/100 mil habitantes (TRAEBERT *et al.*, 2017). Um estudo realizado em Portugal constatou que em 2013 quase 100 mil DALLYS foram perdidos devido as doenças isquêmicas do coração, sendo encontrada uma taxa padronizada de 6,0 DALYs por 1000 habitantes (HENRIQUES, *et al.*, 2017). Nascimento (2011) encontrou associação positiva entre a exposição ao material particulado e a hospitalização decorrente de doença cardiovascular três dias após a exposição, sendo que o incremento de $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foi associado a elevação em 10% no risco de hospitalização e Bell *et al.* (2008) encontraram uma associação consistente entre as taxas de carbono elementar (EC), NO_2 e partículas $\text{PM}_{2,5}$ com doenças cardiovasculares na cidade de Nova York.

O presente estudo também demonstrou associação entre o PM_{10} e internações por doenças cardiovasculares na análise univariada, utilizando a temperatura máxima, após 3 e 5 dias de exposição e utilizando a temperatura média após 5 dias de exposição. De acordo com esse estudo, Nascimento e Francisco (2013), Gouveia *et al.* (2006), Nascimento (2011) constataram respectivamente que a adição de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , aumenta entre 9 e 13% em São José dos Campos - SP, 2% em São Paulo – SP e 6% em São José dos Campos – SP, o risco relativo de hospitalizações devido à doenças cardiovasculares. Reforçando os dados encontrados, Braga *et al.* (2007) também observaram um efeito agudo decorrente do acréscimo de PM_{10} que pode levar ao aumento de mais de 4% nos atendimentos de emergência por doenças cardiovasculares e respiratórias em Itabira. Por fim, Zhao *et al.* (2017) analisaram 48 estudos e constataram que aumentando $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM_{10} , observa-se adição de 12%, ou seja, 4 vezes mais o número de mortalidade e incidência de doenças cardiovasculares.

Corroborando com essa pesquisa, vários estudos encontraram associação entre o material particulado e doenças cardiovasculares nas cidades francesas, São José dos Campos - SP, São Paulo - SP, Itabira-SP e Taubaté-SP (HOST *et al.*, 2008; NASCIMENTO; FRANCISCO, 2013; GOUVEIA *et al.*, 2006; BRAGA *et al.*, 2007; RIBEIRO *et al.*, 2019). Zhao *et al.* (2017) também verificaram essa associação ao realizar uma análise de revisão com 48 estudos.

Dentre os 359 óbitos e as 3074 internações que ocorreram, é necessário ressaltar que não foram todos agravados pela poluição atmosférica. Por meio da tabela de dados não é possível identificar com precisão quais foram os sujeitos que faleceram agravados pela exposição aos poluentes atmosféricos. Por isso, no melhor cenário, estima-se que dos 359 óbitos e das 3074 internações, na análise univariada, cerca de 7,9% foram devido ao aumento da concentração em $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$ após 5 dias de exposição, totalizando respectivamente em 244 internações e 28 óbitos. Na análise multivariada, no melhor cenário, estima-se que 3,9% foram devido ao aumento de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 após 4 dias de exposição, totalizando respectivamente em 121 internações e 14 óbitos

Os resultados obtidos representam o impacto da poluição atmosférica na saúde da população, com risco de internações e óbitos por doenças cardiovasculares. Estudos observaram uma associação estatisticamente significativa entre o aumento do nível de poluentes na atmosfera e o aumento de hospitalizações (BRAGA *et al.*, 1999; ALFARO *et al.*, 2007; KAN *et al.*, 2007; PENG *et al.*, 2008; MILLS *et al.*, 2009; BROOK *et al.*, 2010; ARBEX *et al.*, 2012; CARVALHO JUNIOR, 2013; MIRAGLIA; GOUVEIA, 2014; ROMAN, 2014; AMANCIO, NASCIMENTO, 2014; CESAR *et al.*, 2016). Dentre estes, destacam-se alguns estudos, que como nessa pesquisa, demonstraram associação entre poluentes atmosféricos e internações por doenças cardiovasculares (DOCKERY, 2001; POPE *et al.*, 2004; BELL *et al.*, 2008; HOST *et al.*, 2008; HEE *et al.*, 2009; NASCIMENTO, 2011; AMANCIO; NASCIMENTO, 2012; NASCIMENTO *et al.*, 2012; NASCIMENTO; FRANCISCO, 2013; NARDOCCI *et al.*, 2013; ROMAN, 2014; TUAN; VENANCIO; NASCIMENTO, 2016; MANTOVANI *et al.*, 2016; ACHILLEOS *et al.*, 2017; SÁ *et al.*, 2017).

Em relação a valoração em termos financeiros, causada pelo impacto decorrente dos poluentes atmosféricos estudados, nos anos perdidos de vida por doenças cardiovasculares em Piracicaba - SP, no cenário mais expressivo, na análise univariada, utilizando a temperatura máxima, cerca de 28 óbitos poderiam ter sido evitados, ou seja, aproximadamente 229 anos de

vida perdidos podem ser atribuídos ao aumento da concentração em $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$ após 5 dias de exposição, resultando num custo total de R\$45.764.255,5. Na análise multivariada, o NO_2 , considerando a temperatura máxima, após 4 dias de exposição foi o mais expressivo, resultando em 114 anos potenciais de vida perdidos, decorrentes do aumento de sua concentração em $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, resultando num custo total de R\$22.736.257,72.

Corroborando com este estudo, pesquisas encontraram um valor bastante expressivo quando analisada a associação entre a exposição aos poluentes atmosféricos, em especial o material particulado e o número de internações por doenças cardiovasculares. Mantovani *et al.* (2016) constataram um gasto de R\$ 1,9 milhão atribuídos à cerca de 650 internações em São José do Rio Preto –SP. Ribeiro *et al.* (2019) verificaram no município de Taubaté-SP que cerca de 59 internações poderiam ter sido evitadas, resultando num gasto de aproximadamente US\$ 150.000,00.

Outros estudos também valoraram o custo das internações e óbitos associados aos poluentes atmosféricos, em especial o material particulado. Miraglia e Gouveia (2014) encontraram em seu estudo realizado em 29 regiões metropolitanas um gasto total de US\$ 1,7 bilhão anualmente, decorrentes das mortes prematuras no Brasil. Machin e Nascimento (2018) constataram que o incremento de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$ gera o aumento de 89 internações resultando em custos acima dos R\$ 95 mil para o Sistema Único de Saúde no município de Cuiabá - Mato Grosso.

Em São Paulo e outros grandes centros urbanos o material particulado inalável é proveniente principalmente pela queima de combustível fóssil em altas temperaturas. Já em Piracicaba – SP uma das principais fontes de emissão de material particulado inalável e fino tem sido a queima de biomassa. Este estudo demonstra como os elementos relacionados à queima deste material apresentam efeitos importantes sobre a morbidade cardiovascular.

Não foram encontrados estudos em municípios que fossem polos de queima de biomassa e verificassem a associação com a morbimortalidade por doenças cardiovasculares, porém, Cançado (2006b) identificou uma associação entre a queima de biomassa e a morbidade respiratória em São Paulo. Braga *et al.* (2001) também constataram os efeitos deletérios na saúde respiratória quando expuseram dois grupos de ratos (caso – controle) na cidade de São Paulo e Atibaia (onde os níveis de poluição são mais baixos); Hee *et al.* (2009) verificaram que quanto mais próximo for a moradia das rodovias maior é o risco de desenvolver algum problema vascular. Por fim, Cesar, Nascimento e Carvalho Junior (2013)

constatarem em Piracicaba – SP associação entre o número de internações por doenças respiratórias em crianças menores de 10 anos e a exposição ao $PM_{2,5}$.

Em termos econômicos é necessário evidenciar os eventos de saúde que estão associados com a poluição do ar, a fim de proporcionar um embasamento eficiente para a formulação de políticas de saúde públicas que minimizem o impacto ambiental decorrente da poluição do ar. Essa valoração econômica dos danos ambientais da poluição atmosférica, traduzidos em termos de indicadores de saúde, revela como é importante a implementação de tecnologias menos poluentes, políticas públicas, alteração na matriz energética, uso de combustíveis mais limpos e melhoria dos transportes públicos, resultando assim, em menores efeitos decorrentes da poluição atmosférica na saúde humana e consequentemente na diminuição da taxa de internação hospitalar e mortalidade (MIRAGLIA, GOUVEIA, 2014).

Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável foram aprovados no ano de 2015 pela Assembleia das Nações Unidas que tinham como objetivo assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos. Dentre os indicadores e metas encontrava-se a “redução da probabilidade de morte prematura por doenças crônicas não transmissíveis em 30% até 2030”. Para isso, a Organização Mundial da Saúde divulgou um conjunto de evidências que apontam a importância das ações de promoção à saúde, implementando políticas públicas que facilitem à prática saudáveis, como alimentação adequada, redução do sal nos alimentos, espaços públicos para apoiar a atividade física, ambientes livres de fumo, regulamentação da propaganda de álcool, dentre outras, além do investimento na atenção básica e no acesso às tecnologias de média e alta complexidade, quando necessário aos portadores de doenças crônicas não transmissíveis (MALTA *et al.*, 2020). Para alcançar os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável é necessário a realização de mais pesquisas que comprovem e despertem interesse das autoridades públicas em investir em estratégias de mitigação da poluição, afinal, o desfecho aqui estudado é apenas um dos muitos efeitos causados pela poluição do ar.

Dentre as limitações do estudo, o uso de bases secundárias pode agregar vieses como o sub-registro e as inconsistências no preenchimento das causas de morte/ internação. Além disso, é válido ressaltar as limitações de estudos ecológicos, não sendo possível apontar a causalidade entre exposição e desfecho, apenas realizar uma associação entre exposição e desfecho. As concentrações de poluentes foram consideradas homogêneas em todo município e não foi considerada a existência de comorbidades prévias que pudessem agravar o quadro, afinal o Datasus não disponibiliza essas informações. Embora haja essas limitações, a

robustez do estudo reside no fato da existência da associação entre os poluentes do ar e o número de internações e óbitos por doenças cardiovasculares, além do custo altíssimo decorrente da poluição na saúde humana.

6 CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que, em Piracicaba, o material particulado inalável e os níveis de NO_2 e O_3 estão associados a morbimortalidade por doenças cardiovasculares. Por isso, é de extrema importância a implementação de medidas públicas para mitigar as emissões resultantes principalmente da queima de biomassa e monitoramento da qualidade do ar que vêm sendo adotadas tanto por parte da empresa responsável quanto por parte das autoridades públicas.

Quando aplicada a metodologia DALY, o $\text{PM}_{2,5}$, considerando a temperatura máxima, após 5 dias de exposição foi o mais expressivo, resultando em 229 anos potenciais de vida perdidos, e consequentemente em um custo de R\$45.764.255,5.

Para contribuição da mitigação da poluição do ar é necessária a implementação de um sistema de transporte público moderno, limpo e eficiente, que consiga interligar as diversas regiões da cidade de forma rápida e barata, além da melhor fiscalização sobre a queima da biomassa, o incentivo à utilização de combustíveis menos tóxicos, como o álcool e o gás natural, vistorias periódicas de controle de emissão de poluentes, obrigatoriedade de instalação de catalisadores em todos os carros, acompanhamento e controle sistemático dos poluentes do ar e seus efeitos sobre a saúde humana, dentre outras medidas.

As medidas de controle e mitigação da poluição do ar são caras, porém, quando comparadas à longo prazo com o custo social gerado devido ao aumento das internações no Sistema Único de Saúde, à mortalidade, e aos danos ambientais, tornam-se bem menores.

REFERÊNCIAS

- ACHILLEOS, S. *et al.* I. Acute effects of fine particulate matter constituents on mortality: A systematic review and meta-regression analysis. **Environment International**, Nova York, v. 109, p. 89–100, 2017. DOI: 10.1016/j.envint.2017.09.010. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5689473/pdf/nihms914059.pdf>. Acesso em: 13 mai. 2020.
- ALFARO, M. E *et al.* Particulate matter in the environment: pulmonary and cardiovascular effects. **Current Opinion in Pulmonary Medicine**, Londres, v. 13, n. 2, p.98–106, 2007. DOI: 10.1097/MCP.0b013e328013f47e. Disponível em: https://journals.lww.com/co-pulmonarymedicine/Abstract/2007/03000/Particulate_matter_in_the_environment__pulmonary.4.aspx. Acesso em: 13 mai. 2020.
- ALVES, J. D. G. Dispersão urbana e a atuação do mercado imobiliário em cidades médias: reflexões a partir da cidade de Piracicaba/SP. **Geofronter**, Campo Grande, v. 2, n. 5, p. 104-124, 2019. Disponível em: <https://periodicosonline.uems.br/index.php/GEOF/article/view/3456/pdf>. Acesso em: 22 mar. 2021.
- AMANCIO, C. T.; NASCIMENTO, L. F. C. Association of sulfur dioxide exposure with circulatory system deaths in a medium-sized city in Brazil. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, Ribeirão Preto, v. 45, n. 11, p. 1080-1085, 2012. DOI: 10.1590/S0100-879X2012007500131. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjmbmr/a/4QZmm4BMw4r34g5xxyQhbwP/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 22 mar. 2021.
- AMANCIO, C. T.; NASCIMENTO, L. F. C. Environmental pollution and deaths due to stroke in a city with low levels of air pollution: ecological time series study. **São Paulo Medical Journal**, São Paulo, v. 132, n.6, 2014. DOI: 10.1590/1516-3180.2014.1326733. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/spmj/a/FRZzPpP4VtVbwcjNpB6pR9R/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 22 mar. 2021.
- ARBEX, A. B. D. O. M. *et al.* Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 158-175, 2004. DOI: 10.1590/S1806-37132004000200015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/VNXXmdyPSjxJDCStkYrZSZz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 mai. 2020.
- ARBEX, M. A. *et al.* A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 38, n. 5, p. 643-655, 2012. DOI: 10.1590/S1806-37132012000500015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/sD3cLkXqQwmDFpgzsyj7gBm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24mar. 2021.
- ARBEX, M. A. *et al.* Impact of outdoor biomass air pollution on hypertension hospital admissions. **Journal of Epidemiology and Community Health**, Londres, v. 64, n. 7, p. 573-

579, 2010. DOI: 10.1136/jech.2009.094342. Disponível em: <https://jech.bmj.com/content/64/7/573.long>. Acesso em: 24 mar. 2021.

BELL M. L. *et al.* Seasonal and regional short-term effects of fine particles on hospital admissions in 202 U.S. counties, 1999–2005. **American Journal Epidemiology**, Oxford, v. 168, n.11, p. 1301-1310, 2008. DOI: 10.1093/aje/kwn252. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18854492/>. Acesso em: 24 mar. 2021.

BRAGA, A. L. F. *et al.* Associação entre poluição atmosférica e doenças respiratórias e cardiovasculares na cidade de Itabira, Minas Gerais, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 570-578, 2007. DOI: 10.1590/S0102-311X2007001600017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/SH7yDyS89QH667ZxGnxR49g/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 30 abr. 2022.

BRAGA, A. *et al.* Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, São Paulo, n.51, p. 58-71, 2001. DOI:10.11606/issn.2316-9036.v0i51p58-71. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/35099/37838>. Acesso em: 28 abr. 2022.

BRAGA, A. L. F. *et al.* Air pollution and pediatric hospital admissions in São Paulo, Brazil. **Journal of Environmental Medicine**, Nagoya, v. 1, n. 2, p. 95-102, 1999. DOI:10.1002/(SICI)1099-1301(199904/06)1:2<95::AID-JEM16>3.0.CO;2-S. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/%28SICI%291099-1301%28199904/06%291%3A2%3C95%3A%3AAID-JEM16%3E3.0.CO%3B2-S>. Acesso em: 26 abr. 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. DATASUS. **Informações de Saúde. Epidemiológicas e morbidade**. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/nrsp.def>. Acesso em: març. 2020.

BRILHANTE, O. M.; TAMBELLINI, A. M. Particulate suspended matters and cases of respiratory disease in Rio de Janeiro city (Brazil). **International Journal of Environmental Health Research**, Londres, v. 12, n. 2, p. 169-174, 2002. DOI: 10.1080/09603120220129337. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09603120220129337>. Acesso em: 28 abr. 2021.

BROOK, R. D. *et al.* Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. **Circulation**, Dallas, v. 121, n. 21, p. 2331-2378, 2010. DOI: 10.1161/CIR.0b013e3181d8e1. Disponível em: https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/CIR.0b013e3181d8e1?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%20pubmed. Acesso em: 28 abr. 2021.

BROOK R. D. Cardiovascular effects of air pollution. **Clinical Science** (London), Londres, v. 115, n. 6, p.175-187, 2008. DOI:10.1042/CS20070444. Disponível em: <https://portlandpress.com/clinsci/article-abstract/115/6/175/68474/Cardiovascular-effects-of-air-pollution?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 29 abr. 2021.

BROOME, R. A. *et al.* The mortality effect of ship-related fine particulate matter in the Sydney greater metropolitan region of NSW, Australia. **Environment International**, Nova

York, v. 87, p. 85–93, 2016. DOI: 10.1016/j.envint.2015.11.012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412015300969>. Acesso em: 15 jan. 2022.

CANÇADO, J. E. D. *et al.* Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 32, n. 1, p. 5- 11, 2006. (a) DOI: 10.1590/S1806-37132006000800003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbpneu/a/yH38LJFNcw4yCMRR5zdqW8m/?lang=pt>. Acesso em: 29 jul. 2021.

CANÇADO, J. E. D. *et al.* The impact of sugar cane- burning emissions on the respiratory system of children and elderly. **Environmental Health Perspectives**, Durham, v. 114, n.5, p. 725-729, 2006. (b) DOI:10.1289/ehp.8485. Disponível em: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/epdf/10.1289/ehp.8485>. Acesso em: 12 jul. 2021.

CANÇADO, J. E. D. **A poluição atmosférica e sua relação com a saúde humana na região canavieira de Piracicaba- SP**. 2003. Tese (Doutorado)-Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo, 2003. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001332316>. Acesso em: 15 set. 2022.

CENDON, S. *et al.* Air pollution effects on myocardial infarction. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 414-419, 2006. DOI: 10.1590/S0034-89102006000300008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/QB6rDgZvQqYV4qYpSqwXCXN/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 13 abr. 2021.

CESAR, A. C. G.; NASCIMENTO, L. F. C.; CARVALHO JUNIOR, J. A. Association between exposure to particulate matter and hospital admissions for respiratory disease in children. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 47, n. 6, p. 1-4, 2013. DOI:10.1590/S0034-8910.2013047004713. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/hJc4Htx57sLq74PTqTJbpVf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 abr. 2021.

CONCEIÇÃO, G. M. *et al.* Air pollution and child mortality: a time-series study in Sao Paulo, Brazil. **Environmental Health Perspectives**, Durham, v. 109, n. 3, p. 347-50, 2001. DOI: 10.1289/ehp.109-1240551. Disponível em: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/epdf/10.1289/ehp.109-1240551>. Acesso em: 28 fev. 2022.

DATASUS Tecnologia da Informação a Serviço do SUS; Informações de Saúde. In: **DATASUS [Ministério da Saúde - Sistema de Informações Hospitalares do SUS (SIH/SUS)]**. Disponível em: <http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/deftohtm.exe?sih/cnv/nisp.def>. Acesso: 12 dez. 2020.

DAUMAS, R. P.; MENDONÇA, G. A. S; LEON, A. P. Poluição do ar e mortalidade no Município do Rio de Janeiro: análise de série temporal. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 311-319, 2004. DOI: 10.1590/S0102-311X2004000100049. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/ptZ6Fhzv5F3qsLjKbcjJBcB/?lang=pt>. Acesso em: 28 fev. 2022.

D'IPPOLITI, D. *et al.* Air pollution and myocardial infarction in Rome: a case-crossover analysis. **Epidemiology**, Cambridge, v. 14, n. 5, p. 528-535, 2003. DOI: 10.1097/01.ede.0000082046.22919.72. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/9088068_Air_Pollution_and_Myocardial_Infarction_in_Rome_A_Case-Crossover_Analysis. Acesso em: 28 fev. 2022.

DOCKERY, D. W. Epidemiologic Evidence of Cardiovascular Effects of Particulate Air Pollution. **Environmental Health Perspectives**, Durham, v. 109, n. 4, p. 483-486, 2001. DOI: 10.1289/ehp.01109s4483. Disponível em: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/epdf/10.1289/ehp.01109s4483>. Acesso em: 13 dez. 2022.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JUNIOR, J. A. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r)*. **Revista Política Hoje**, Pernambuco, v. 18, n. 1, p. 115-146, 2009. Disponível em: [https://periodicos.ufpe.br/revistas/politica/hoje/article/viewFile/3852/3156#:~:text=Revista%20Pol%C3%ADtica%20Hoje%2C%20Vol.,-18%2C%20n.&text=6\)%20Faz%2Dse%20necess%C3%A1rio%20uma,I%20ou%20do%20tipo%20II](https://periodicos.ufpe.br/revistas/politica/hoje/article/viewFile/3852/3156#:~:text=Revista%20Pol%C3%ADtica%20Hoje%2C%20Vol.,-18%2C%20n.&text=6)%20Faz%2Dse%20necess%C3%A1rio%20uma,I%20ou%20do%20tipo%20II). Acesso em: 13 dez. 2022.

GARCIA, B. B. M.; GOMES, C. F. S. As variáveis econômicas no Brasil e o PIB: uma análise em períodos de crises financeiras através da correlação de Pearson. **Engevista**, Niterói, v. 19, n.5, p. 1466-1484, 2017. DOI:10.22409/engevista.v19i5.99. Disponível em: <http://publicacoes.unigranrio.edu.br/index.php/amp/article/view/4640/2587>. Acesso em: 20 dez. 2022.

GOUVEIA, N.; FLETCHER, T. Time series analysis of air pollution and mortality: effects by cause, age and socioeconomic status. **Journal of Epidemiology and Community Health**, Londres, v. 54, n. 10, p. 750-755, 2000. DOI: 10.1136/jech.54.10.750. Disponível em: <https://jech.bmj.com/content/jech/54/10/750.full.pdf>. Acesso em: 22 out. 2022.

GOUVEIA, N.; BREMNER, S. A.; NOVAES, H. M. Association between ambient air pollution and birth weight in São Paulo, Brazil. **Journal of Epidemiology and Community Health**, Londres, v. 58, p. 11-17, 2004. DOI: 10.1136/jech.58.1.11. Disponível em: <https://jech.bmj.com/content/jech/58/1/11.full.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2022.

GOUVEIA, N. *et al.* O. Hospitalizações por causas respiratórias e cardiovasculares associadas à contaminação atmosférica no Município de São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 12, p. 2669-2677, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/cjGHmQb6wT9PbZWn5tkjv3b/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 dez. 2022.

HAN, B. *et al.* Heavy haze episodes in Beijing during January 2013: Inorganic ion chemistry and source analysis using highly time-resolved measurements from an urban site. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 544, p. 319-329, 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.10.053. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/getaccess/pii/S0048969715308706/purchase>. Acesso em: 20 dez. 2022.

HEE, V. C. V. *et al.* Exposure to Traffic and Left Ventricular Mass and Function. **American journal of respiratory and critical care medicine**, Nova York, v. 179, n. 9, p. 827-834,

2009. DOI: 10.1164/rccm.200808-1344OC. Disponível em: <https://www.atsjournals.org/doi/epdf/10.1164/rccm.200808-1344OC?role=tab>. Acesso em: 22 out. 2022.

HENRIQUES, A. *et al.* Disability-adjusted life years lost due to ischemic heart disease in mainland Portugal, 2013. **Revista Portuguesa de Cardiologia**, Rio de Janeiro, v. 36, n. 4, p. 273-28, 2017. DOI: 10.1016/j.repc.2016.08.011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0870255117301312?via%3Dihub>. Acesso em: 13 dez. 2022.

HOST, S. *et al.* Short-term associations between fine and coarse particles and hospital admissions for cardiorespiratory diseases in six French cities. **Occupational Environmental Medicine**, Londres, v. 65, n. 8, p. 544-551, 2008. DOI: 10.1136/oem.2007.036194. Disponível em: <https://oem.bmj.com/content/65/8/544.long>. Acesso em: 22 out. 2022.

IGNOTTI, E. *et al.* Impact on human health of particulate matter emitted from burning in the Brazilian Amazon region. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 44, n.1, p. 121-30, 2010. DOI:10.1590/S0034-89102010000100013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/bp9BffF785sJmcC6hqX366d/?lang=en>. Acesso em: 13 dez. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados – Piracicaba**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/piracicaba.html>. Acesso em: 20 abr. 2022.

JACOBSON, L. S. V. *et al.* Impact of global warming on Potential Years of Life Lost by cardiopulmonary diseases in Brazilian capital cities. **Sustainability in Debate**, Brasília, v. 11, n.3, p. 331-345, 2020. DOI: 10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33989. Disponível em: file:///C:/Users/Dell/Downloads/mcuri,+SeD_Vol.11.3_SET-DEZ2020_Artigo10_2020DEZ28.pdf. Acesso em: 13 dez. 2022.

KAN, H. *et al.* Differentiating the effects of fine and coarse particles on daily mortality in Shanghai, China. **Environment International**, Nova York, v. 33, n. 3, p. 376–384, 2007. DOI: 10.1016/j.envint.2006.12.001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412006002108>. Acesso em: 22 out. 2022..

KETTUNEN, J. *et al.* Associations of fine and ultrafine particulate air pollution with stroke mortality in an area of low air pollution levels. **Stroke**, Dallas, v. 38, n. 3, p. 918-22, 2007. DOI: 10.1161/01.STR.0000257999.49706.3b. Disponível em: <https://www.ahajournals.org/doi/epub/10.1161/01.STR.0000257999.49706.3b>. Acesso em: 13 dez. 2022.

KIM, K. H.; KABIR, E.; KABIR, S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. **Environment International**, Nova York, v. 74, p.136-46, 2015. Doi: 10.1016/j.envint.2014.10.005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412014002992?via%3Dihub>. Acesso em: 10 set. 2021.

KONING, H. W. de; SMITH, K. R.; LAST, J. M. Biomass fuel combustion and health. **Bulletin of the World Health Organization**, Geneva, v. 63, n. 1, p. 11-26, 1985. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2536350/pdf/bullwho00084-0024.pdf>. Acesso em: 10 set. 2021.

LIN, C. A. *et al.* Association between air pollution and ischemic cardiovascular emergency room visits. **Environmental Research**, San Diego, v. 92, n. 1, p. 57-63, 2003. DOI: 10.1016/s0013-9351(02)00054-3. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935102000543>. Acesso em: 10 set. 2021.

LIRA, S. A. **Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2004. Disponível em: http://www.ipardes.gov.br/biblioteca/docs/dissertacao_sachiko.pdf. Acesso em: 30 mar. 2022.

MACHIN, A. B.; NASCIMENTO, L. F. C. Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde das crianças de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 34, n. 3, p. 1-9, 2018. Doi: 10.1590/0102-311x00006617. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/PHTDFfhv4DFmNBXnGH4Q3tJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2021.

MAHESWARAN, R. *et al.* Impact of outdoor air pollution on survival after stroke: population based cohort study. **Stroke**, Dallas, v. 41, n. 5, p. 869-877, 2010. DOI: 10.1161/STROKEAHA.109.567743. Disponível em: <https://www.ahajournals.org/doi/epub/10.1161/STROKEAHA.109.567743>. Acesso em: 13 dez. 2022.

MAHESWARAN, R. *et al.* Outdoor air pollution, mortality, and hospital admissions from coronary heart disease in Sheffield, UK: a small-area level ecological study. **European Heart Journal**, Oxford, v. 26, n. 23, p. 2543-2549, 2005. DOI: 10.1093/eurheartj/ehi457. Disponível em: <https://academic.oup.com/eurheartj/article/26/23/2543/453556>. Acesso em: 13 dez. 2022.

MALTA, D. C. *et al.* Mortalidade e anos de vida perdidos por violências interpessoais e autoprovocadas no Brasil e Estados: análise das estimativas do Estudo Carga Global de Doença, 1990 e 2015. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 142-156, 2017. DOI: 10.1590/1980-5497201700050012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepid/a/pnF4pBTGcdPrjnp43SK6rvz/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2021.

MALTA, D. C. *et al.* Mortalidade por Doenças Cardiovasculares Segundo o Sistema de Informação sobre Mortalidade e as Estimativas do Estudo Carga Global de Doenças no Brasil, 2000-2017. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, Rio de Janeiro, v. 115, n. 2, p. 152-160, 2020. DOI:10.36660/abc.20190867. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abc/a/mX3zDLy43CbWt6sjm6J6GDc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 jul. 2021.

MANTOVANI, K. C. *et al.* Air pollutants and hospital admissions due to cardiovascular diseases in São José do Rio Preto, Brazil. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 21, n.

2, p. 509-515, 2016. DOI: 10.1590/141381232015212.16102014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/J8PXmSpcpsFKPncfsp3xmnj/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 15 jul. 2021.

MARINHO, F.; PASSOS, V. M. D. A.; FRANÇA, E. B. Novo século, novos desafios: mudança no perfil da carga de doença no Brasil de 1990 a 2010. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 713-724, 2016. DOI: 10.5123/S1679-49742016000400005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ress/a/3vPyRhR7XbGf6SGVfSfwDkf/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2021.

MARTINS, L. C. *et al.* Air pollution and emergency room visits due to chronic lower respiratory diseases in the elderly: an ecological time-series study in Sao Paulo, Brazil. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, Filadélfia, v. 44, n. 7, p. 622-627, 2002. DOI: 10.1097/01.jom.0000023250.57933.f2. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/handle/11600/26925>. Acesso em: 13 dez. 2022.

MARTINS, L. C. *et al.* The effects of air pollution on cardiovascular diseases: lag structures. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 40, n. 4, p. 677-683, 2006. DOI: 10.1590/S0034-89102006000500018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/rN7L4N7W9WXgFvHwbrHRBrh/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

MCCULLAGH, P. Quasi-likelihood functions. **Annals of Statistics**, Filadélfia, v. 11, n. 1, p. 59-67, 1983. Disponível em: <https://projecteuclid.org/journals/annals-of-statistics/volume-11/issue-1/Quasi-Likelihood-Functions/10.1214/aos/1176346056.full?tab=ArticleFirstPage>. Acesso em: 16 fev. 2022.

MCCULLAGH, P.; NELDER, J. A. **Generalized linear models**. 2. ed. Flórida: Chapman & Hall, 1989.

MILLS, N. L. *et al.* Adverse cardiovascular effects of air pollution. **Nature Clinical Practice Cardiovascular Medicine**, Reino Unido, v. 6, n.1, p. 36-44, 2009. DOI: 10.1038/ncpcardio1399. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/ncpcardio1399>. Acesso em: 13 dez. 2022.

MIMS, F. M. *et al.* Smoky skies, mosquitoes, and disease. **Science**, Washington, v. 276, n. 5320, p.1774-1775, 1997. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.276.5320.1773c>. Acesso em: 16 jun. 2022.

MIRAGLIA, S. G. K.; GOUVEIA, N. Custos da poluição atmosférica nas regiões metropolitanas brasileiras. **Ciência e Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 10, p. 4141-4147, 2014. DOI: 10.1590/1413-812320141910.09232014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/WctGzcT5NMPncqygXH64Ymt/?lang=pt>. Acesso em: 16 fev. 2022.

MIRAGLIA, S. G. E. K.; SALDIVA, P. H. N.; BOHM, G. M. An evaluation of air pollution health impacts and costs in São Paulo, Brazil. **Environmental Management**, Nova York, v. 35, n. 5, p. 667-676, 2005. DOI: 10.1007/s00267-004-0042-9. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00267-004-0042-9>. Acesso em: 02 dez. 2021.

MURRAY, C. J. L., LOPEZ, A. D. World Health Organization, World Bank & Harvard School of Public Health. (1996). **The Global burden of disease : a comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020 : summary** / edited by Christopher J. L. Murray, Alan D. Lopez. World Health Organization. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41864>. Acesso em: 30 mar. 2022.

NARDOCCI, A. C. *et al.* Poluição do ar e doenças respiratórias e cardiovasculares: estudo de séries temporais em Cubatão, São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 29, n.9, p.1867-1876, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/Shdfzjmts5LFmZy55Pz4Qy/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 20 out. 2021.

NASCIMENTO, L. F. Air pollution and cardiovascular hospital admissions in a medium-sized city in São Paulo State, Brazil. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, São Paulo, v. 44, n. 7, p. 720-724, 2011. DOI: 10.1590/S0100-879X2011007500079. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bjmr/a/ZWS3P7vVkbWG6VfqCfSLhnm/?lang=en>. Acesso em: 16 fev. 2022.

NASCIMENTO, L. F. C.; FRANCISCO, J. B. Particulate matter and hospital admission due to arterial hypertension in a medium-sized Brazilian city. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 8, p. 1565-1571, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311X00127612>. Disponível em: <https://scielosp.org/pdf/csp/2013.v29n8/1565-1571/en>. Acesso em: 16 fev. 2022.

NASCIMENTO, L. F. C. *et al.* Environmental pollutants and stroke-related hospital admissions. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 7, p. 1319-1324, 2012. DOI: 10.1590/S0102-311X2012000700010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/vqmc6BJW45ZDZBzqJyd99vD/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 13 dez. 2021.

NASCIMENTO, L. F. *et al.* Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 77-82, 2006. DOI: 10.1590/S0034-89102006000100013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/bSjMtCyWZxZZXTqQ4NxfmPD/?lang=pt>. Acesso em: 16 set. 2021.

OBERG, M. *et al.* Worldwide burden of disease from exposure to second-hand smoke: a retrospective analysis of data from 192 countries. **The Lancet**, Londres, v. 377, n. 9760, p. 139-146, 2011. DOI: 10.1016/S0140-6736(10)61388-8. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21112082/>. Acesso em: 12 dez. 2021.

OLMO, N. R. *et al.* A review of low-level air pollution and adverse effects on human health: implications for epidemiological studies and public policy. **Clinics**, São Paulo, v. 66, n. 4, p. 681-690, 2011. DOI: 10.1590/S1807-59322011000400025. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/clin/a/NKVCdJsDBcqYH7zDqF99dR/abstract/?lang=en>. Acesso em: 16 set. 2021.

PATRICIO, P. S. M. S. *et al.* Tendência dos Anos de Vida Perdidos Ajustados por Incapacidade em Pessoas com Câncer de Pulmão em Florianópolis no Período de 2008 a 2012. **Research, Society and Development**, São Paulo, v. 11, n. 6, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.28953. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/28953/25118>. Acesso em: 12 dez. 2021.

PENG, R. D. *et al.* Coarse Particulate Matter Air Pollution and Hospital Admissions for Cardiovascular and Respiratory Diseases Among Medicare Patients. **Journal of the American Medical Association**, Boston, v. 299, n. 18, p. 2172–2179, 2008. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3169813/>. Acesso em: 12 dez. 2021.

PIETERS, N. *et al.* An epidemiological appraisal of the association between heart rate variability and particulate air pollution: a meta-analysis. **Heart**, Londres, v. 98, n.15, p. 1127–1135, 2012. DOI:10.1136/heartjnl-2011-301505. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3392690/>. Acesso em: 16 set. 2021.

POPE, C. A. *et al.* Cardiovascular Mortality and Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution. **Circulation**, Dallas, v. 109, n. 1, p. 71-77, 2004. DOI: 10.1161/01.CIR.0000108927.80044.7F. Disponível em: <https://www.ahajournals.org/doi/epub/10.1161/01.CIR.0000108927.80044.7F>. Acesso em: 12 dez. 2021.

RIBEIRO, P. C. *et al.* Fine particulate matter and ischemic heart diseases in relation to sex. An ecological time series study. **Sao Paulo Medical Journal**, São Paulo, v. 137, n. 1, p. 60-65, 2019. DOI: 10.1590/1516-3180.2018.0239040119. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/spmj/a/SBMKc4xRDXvtZyNPbRTqqdJ/abstract/?lang=en&format=html>. Acesso em: 16 set. 2021.

RITZ, B.; WILHELM, M. Ambient air pollution and adverse birth outcomes: methodologic issues in an emerging field. **Basic & Clinical Pharmacology & Toxicology**, Copenhagen, v. 102, n. 2, p. 182-190, 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1742-7843.2007.00161.x>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1742-7843.2007.00161.x>. Acesso em: 16 set. 2021.

RITZ, B.; YU, F.; FRUIN, S.; CHAPA, G.; SHAW, G. M.; HARRIS, J. A. Ambient air pollution and risk of birth defects in Southern California. **American Journal of Epidemiology**, Oxford, v. 155, n. 1, p. 17-25, 2002. DOI: 10.1093/aje/155.1.17. Disponível em: <https://academic.oup.com/aje/article/155/1/17/134147>. Acesso em: 13 dez. 2021.

ROMAN, V. V.L. **Efeitos da exposição aos poluentes do ar com base nas interações por doenças cardiovasculares e respiratórias no município de Taubaté, SP**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2014. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/115633>. Acesso em: 30 mar. 2022.

SÁ, T. H. *et al.* Health impact modelling of different travel patterns on physical activity, air pollution and road injuries for São Paulo, Brazil. **Environment International**, Nova York, v. 108, p. 22-31, 2017. DOI: 10.1016/j.envint.2017.07.009. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5632958/>. Acesso em: 29 jul. 2021.

SANTOS, V. P. *et al.* Poluentes atmosféricos associados ao peso insuficiente ao nascimento. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 89-99, 2016. DOI: 10.1590/1980-5497201600010008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepid/a/qVkcQdzBTszWLqWLqQsw3Qk/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 29 jul. 2021

SANTOS, F. S. *et al.* Avaliação da influência das condições meteorológicas na concentração de material particulado fino (MP2,5) em Belo Horizonte, MG. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, p. 371-381, 2019. DOI: 10.1590/S1413-41522019174045. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/4kSVDKgVcYnwNFt5R6Yb5pp/?lang=pt>. Acesso em: 13 dez. 2021.

SANTOS, U. P. *et al.* Cardiac arrhythmia emergency room visits and environmental air pollution in Sao Paulo, Brazil. **Journal of Epidemiology and Community Health**, v. 62, n. 3, p. 267-272, 2008. DOI: 10.1136/jech.2006.058123. Disponível em: <https://jech.bmj.com/content/62/3/267>. Acesso em: 20 out. 2022.

SCHULTZ, D. P.; SCHULTZ, S. E. **História da psicologia moderna**. 16. ed. São Paulo: Cultrix, 1992.

SHAH, A. S. V. *et al.* Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis. **The Lancet**, Londres, v. 382, n. 9897, p. 1039–1048, 2013. Doi:10.1016/S0140-6736(13)60898-3. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3809511/>. Acesso em: 20 out. 2022.

SILVA, M. T. *et al.* Análise temporal das condições meteorológicas e concentração de Material Particulado (MP10) na Região Metropolitana de São Paulo – SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 11, n. 4, p. 1226-1240, 2018. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1226-1240>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/236248>. Acesso em: 13 dez. 2021.

SILVEIRA, T. S. *et al.* Análise do clima e relevo na concentração de material particulado em madrid (Espanha) e São Paulo (Brasil), **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 28, p. 520-543, 2021. DOI: 10.5380/rbclima.v28i0.76313. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/76313/43625>. Acesso em: 25 jul. 2021.

SIMKHOVICH, B. Z.; KLEINMAN, M. T.; KLONER, R. A. Particulate air pollution and coronary heart disease. **Current Opinion in Cardiology**, Ottawa, v. 24, n. 6, p. 604-609, 2009. DOI: 10.1097/HCO.0b013e32833161e5. Disponível em: https://journals.lww.com/co-cardiology/Abstract/2009/11000/Particulate_air_pollution_and_coronary_heart.15.aspx. Acesso em: 15 set. 2021.

SOARES, P. A.; NASCIMENTO, L. F. C. Análise Espacial das Internações por Doenças do Coração no Vale do Paraíba. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, São Paulo, v. 94, n.6, 2010. DOI:10.1590/S0066-782X2010005000038. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abc/a/K53C68H5XzRwwFMV5TwsfLj/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 jul. 2022.

SOUZA, P. A. *et al.* Variações temporais do material particulado inalável fino e grosso e íons inorgânicos solúveis em São José dos Campos, SP. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 1, p. 71-82, 2011. DOI: 10.1590/S0102-261X2011000100005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbg/a/kzQxGfMCqpbkKVNFwVGm8xC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 25 out. 2022.

SRÁM, R. J. *et al.* Ambient air pollution and pregnancy outcomes: a review of the literature. **Environmental Health Perspectives**, Durham, v. 113, n. 4, p. 375-382, 2005. DOI:10.1289/ehp.6362. Disponível em: <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/epdf/10.1289/ehp.6362>. Acesso em: 16 jul. 2022.

STIEB, D. M.; JUDEK, S.; BURNETT, R. T. Meta-analysis of time-series studies of air pollution and mortality: effects of gases and particles and the influence of cause of death, age, and season. **Journal of the Air & Waste Management Association**, Londres, v. 52, n. 4, p. 470-484, 2002. DOI: 10.1080/10473289.2002.10470794. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/10473289.2002.10470794?needAccess=true&role=button>. Acesso em: 16 jul. 2022.

STIEB, D. M. *et al.* Air pollution and emergency department visits for cardiac and respiratory conditions: a multi-city time-series analysis. **Environmental Health**, Londres, v. 10, p. 8-25, 2009. DOI: 10.1186/1476-069X-8-25. Disponível em: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-8-25>. Acesso em: 16 jul. 2022.

SUN, S. *et al.* Temperature as a modifier of the effects of fine particulate matter on acute mortality in Hong Kong. **Environmental Pollution**, Barking, v. 205, p. 357-364, 2015. DOI: 10.1016/j.envpol.2015.06.007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749115002894>. Acesso em: 20 jul. 2022.

TADANO, Y. S. **Análise do impacto de MP10 na saúde populacional: estudo de caso em Araucária, PR**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em: <https://livros01.livrosgratis.com.br/cp045475.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2022.

TADANO, Y. S.; UGAYA, C. M. L.; FRANCO, A. T. Método de regressão de Poisson: metodologia para avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde populacional. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 241-255, 2009. DOI: 10.1590/S1414-753X2009000200003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/znrHQvBfVvBRRWyfMyg4Tmy/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 16 fev. 2022.

TOLEDO, G. I. F. M.; NARDOCCI, A.C. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v.14, n.3, p.445-454, 2011. DOI:10.1590/S1415-790X2011000300009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepid/a/c5tMDk9hFmtkW9896bd3n3d/?lang=pt>. Acesso em: 16 fev. 2022.

TRAEBERT, J. *et al.* A carga das doenças cardiovasculares no estado de Santa Catarina no ano de 2009. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v. 26, n. 2, p. 331-338, 2017. DOI:10.5123/S1679-49742017000200010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ress/a/6TkT7Ftg9Wbv8rPWrw3GfXR/?lang=pt>. Acesso em: 18 nov. 2022.

TSAI, S. *et al.* Evidence for an association between air pollution and daily stroke admissions in Kaohsiung, Taiwan. **Stroke**, Dallas, v. 34, n. 11, p. 2612-2616, 2003. DOI: 10.1161/01.STR.0000095564.33543.64. Disponível em: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/01.str.0000095564.33543.64>. Acesso em: 16 fev. 2022.

TUAN, T. S.; VENÂNCIO, T. S.; NASCIMENTO, L. F. C. Efeitos da Exposição a Poluentes do Ar no Infarto Agudo do Miocárdio, Segundo Gêneros. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, São Paulo, v. 107, n. 3, p. 216-222, 2016. DOI: 10.5935/abc.20160117. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/abc/a/s637XCZLtYMhB6mrMf6mxdS/?lang=en>. Acesso em: 18 nov. 2022.

TUAN, T. S.; VENÂNCIO, T. S.; NASCIMENTO, L. F. C. Air pollutants and hospitalization due to pneumonia among children. An ecological time series study. **São Paulo Medical Journal**, São Paulo, v.133, n. 5, p.408-413, 2015. DOI:10.1590/1516-3180.2014.00122601. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/spmj/a/Z9HLgkVSCkZdMqDbSPwJ3XC/?lang=en>. Acesso em: 25 mar. 2022.

VIDALE, S. *et al.* Air pollution positively correlates with daily stroke admission and in hospital mortality: a study in the urban area of Como, Italy. **Neurological Sciences**, Amsterdam, v. 31, n. 2, p.179-82, 2010. DOI: 10.1007/s10072-009-0206-8. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10072-009-0206-8>. Acesso em: 13 set. 2021.

VIEIRA, F. R.; BARBOSA, C. J. O método de valoração contingente (mac): Uma abordagem teórica. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v.8, n.15; p. 2492-2510, 2012. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2012b/multidisciplinar/o%20metodo.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2022.

WELLENIUS, G. A.; SCHWARTZ, J.; MITTLEMAN, M. A. Particulate air pollution and hospital admissions for congestive heart failure in seven United States cities. **The American Journal of Cardiology**, Dallas, v. 97, n. 3, p. 404-408, 2006. DOI: 10.1016/j.amjcard.2005.08.061. Disponível em: [https://www.ajconline.org/article/S0002-9149\(05\)01831-X/fulltext](https://www.ajconline.org/article/S0002-9149(05)01831-X/fulltext). Acesso em: 15 fev. 2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global health risks. **Mortality and burden of disease attributable to selected major risks**. Geneva: World Health Organization, 2009. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44203>. Acesso em: 30 mar.2022.

ZENG, W. *et al.* Estimating the Excess Mortality Risk during Two Red Alert Periods in Beijing, China. **Environmental Research and Public Health**, Basiléia, v. 15, n. 1, p. 1-9, 2018. DOI:10.3390/ijerph15010050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/1/50>. Acesso em: 20 set. 2021.

ZHAO, Y. *et al.* PM₁₀ and PM_{2,5} particles as main air pollutants contributing to rising risks of coronary heart disease: a systematic review. **Environmental technology reviews**, Londres, v. 6, n. 1, p. 174-185, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/21622515.2017.1334711>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21622515.2017.1334711>. Acesso em: 15 fev. 2021.

ANEXO 1

Quadro 1: Classificação da qualidade do ar no município de Piracicaba, de acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB

Qualidade	Índice	PM₁₀ (µg/m³/ m3) 24h	PM_{2,5} (µg/m³/ m3) 24h	O₃ (µg/m³/ m3) 8h	CO (ppm) 8h	NO₂ (µg/m³/ m3) 1h	SO₂ (µg/m³/ m3) 24h
N1 – Boa	0 - 40	0 - 50	0 - 25	0 - 100	0 - 9	0 – 200	0 - 20
N2 – Moderada	41 - 80	>50 - 100	>25 - 50	>100 - 130	>9 - 11	>200 - 240	>20 - 40
N3- Ruim	81 - 120	>100 - 150	>50 - 75	>130 - 160	>11 - 13	>240 - 320	>40 - 365
N4- Muito Ruim	121 - 200	>150 - 250	>75 - 125	>160 - 200	>13 - 15	>320 - 1130	>365 - 800
N5- Péssima	>200	>250	>125	>200	>15	>1130	>800

Fonte: CETESB (a) <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>>

ANEXO 2

Quadro 2: Associação entre a qualidade do ar e a ocorrência de agravos de acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB

Qualidade	Índice	Significado
N1 – Boa	0 - 40	
N2 – Moderada	41 - 80	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.
N3- Ruim	81 - 120	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.
N4- Muito Ruim	121 - 200	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).
N5- Péssima	>200	Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis.

Fonte: CETESB (a) <<https://cetesb.sp.gov.br/ar/padroes-de-qualidade-do-ar/>>