

PEDRO RACHID DA COSTA

**Perda de produtividade, por óbitos provocados por doenças cardiovasculares associados
à exposição a poluentes do ar em Sorocaba-SP nos anos de 2015 a 2017**

Guaratinguetá/SP

2022

Pedro Rachid da Costa

**Perda de produtividade, advindos de óbitos provocados por doenças cardiovasculares
associados com a poluição do ar em Sorocaba-SP nos anos de 2015 a 2017**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia
do Campus de Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, para obtenção do título de
Doutor em Engenharia do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica em
Energia.

Área de concentração: Energia
Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Costa
Nascimento

- Costa, Pedro Rachid
- C837p Perda de produtividade, por óbitos provocados por doenças cardiovasculares associados à exposição a poluentes do ar em Sorocaba-SP nos anos de 2015 a 2017 / Pedro Rachid Costa – Guaratinguetá, 2022.
71 f.: il.
Bibliografia: f. 62-71
- Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2022.
Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento
1. Ar - Poluição. 2. Sistema Cardiovascular - Doenças. 3. Mortalidade.
I. Título.
- CDU 614.71(043)



PEDRO RACHID DA COSTA

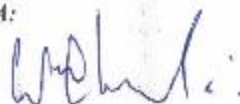
ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
"DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA"

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO: DOUTORADO

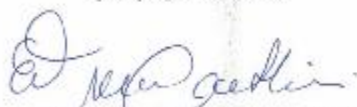
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. LUIZ FERNANDO COSTA NASCIMENTO
Orientador - UNESP
participou por videoconferência



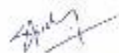
Prof. Dr. ELIANA VIEIRA CANETTIERI
UNESP
participou por videoconferência



Prof. Dr. ROGERIO PINTO MOTA
UNESP
participou por videoconferência



Prof. Dr. ANA CRISTINA GOBBO CESAR
Instituto Federal de Bragança Paulista
participou por videoconferência



Prof. Dr. GILBERTO FERNANDO FISCH
INPE
participou por videoconferência

ABRIL de 2022

À minha família, pela ajuda e pelo
companheirismo em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento, ao Prof. Dr. João Andrade de Carvalho Jr., pela preciosa colaboração.

Aos Professores do Departamento de Engenharia Mecânica de Guaratinguetá, em especial àqueles que contribuíram mais diretamente na realização deste trabalho.

Às empresas onde leciono, pelo apoio durante a realização do trabalho.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, ofereceram-me seu incentivo durante a realização deste trabalho, minha família e amigos, Adrian Blanco Machín, Paola Cristina Ribeiro, Ricardo Mendrot, Ricardo Martucci.

RESUMO

A poluição do ar proveniente de poluentes atmosféricos possui associação com diversas doenças, dentre elas as cardiovasculares, como uma das principais causas de internação hospitalar. O objetivo desse estudo consiste em evidenciar a associação entre a exposição aos poluentes O_3 , PM_{10} e NO_2 , ajustado por variáveis da temperatura e da umidade, sobre os óbitos hospitalares na rede pública na população de Sorocaba-SP, no período de 01 de janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2017. Foi analisada a perda do potencial produtivo dessa população, utilizando o Anos Potenciais de Vida Perdidos (APVP). Portanto, a quantificação dos efeitos da poluição e a determinação de limites aceitáveis para os níveis de diversos poluentes ambientais se torna fundamental. A metodologia utilizada consiste de um estudo ecológico de série temporal, sendo que a variável dependente o número de internações hospitalares que vieram a óbitos concernentes às doenças: cardiovasculares (I20-64 com óbito, 41 a 64 anos) cujos códigos correspondem a CID 10. O banco de dados foi organizado com dados do DATASUS, e os dados das variáveis foram obtidos no banco de dados da CETESB. A abordagem estatística utilizou o modelo linear generalizado da regressão de Poisson com defasagens (*lag*) de 0 a 7 dias. Foram estimados custos financeiros e aumentos no número de internações decorrentes de aumentos na concentração dos poluentes em $10 \mu g/m^3$ no ar, dos poluentes em estudo. Os coeficientes fornecidos pela regressão de Poisson foram convertidos em risco relativo de internação adotando alfa = 5%. Como resultado para o ano de 2015-2017 foram 232 ocorrências, não todas exclusivas e correlatas com a poluição, de R\$626 mil reais e um custo de utilização de R\$319 mil reais. O resultado dos cálculos do APVP, foi um total de 2547 anos perdidos com um custo por volta de R\$56 milhões de reais. Assim atribuindo uma perda dessas vidas associada aos poluentes no ar, com um aumento em $10 \mu g/m^3$ no ar pode-se evitar 20 óbitos e economizar em torno de 3 milhões de reais.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição ar. Material particulado. Doenças cardiovasculares. Anos potenciais de vida perdidos (APVP). Mortalidade.

ABSTRACT

Air pollution from atmospheric pollutants is associated with several diseases, including cardiovascular diseases, as one of the main causes of hospital admission. The objective of this study is to highlight the association between exposure to pollutants O_3 , PM_{10} and NO_2 , adjusted for temperature and humidity variables, on hospital deaths in the public network in the population of Sorocaba-SP, in the period from January 1, 2015 to December 31, 2017. The loss of productive potential of this population was analyzed, using the Anos potencias de vida perdidos (APVP). Therefore, the quantification of pollution effects and the determination of acceptable limits for the levels of different environmental pollutants becomes fundamental. The methodology used consists of an ecological time series study, with the dependent variable being the number of hospital admissions that resulted in deaths related to cardiovascular diseases (I20-64 with death, 41 to 64 years old) whose codes correspond to CID 10. The database was organized with data from DATASUS, and variable data were obtained from the CETESB database. The statistical approach used the generalized linear model of Poisson regression with lags (lag) from 0 to 7 days. Financial costs and increases in the number of hospitalizations resulting from increases in the concentration of pollutants by $10 \mu g/m^3$ in the air of the pollutants under study were estimated. The coefficients provided by Poisson regression were converted into relative risk of hospitalization by adopting $\alpha = 5\%$. As a result for the year 2015-2017, there were 232 occurrences, not all of them exclusive and correlated with pollution, amounting to R\$626 thousand reais and a cost of use of R\$319 thousand reais. The result of the APVP calculations was a total of 2547 lost years at a cost of around R\$56 million reais. Thus, attributing a loss of these lives associated with pollutants in the air, with an increase of $10 \mu g/m^3$ in the air, 20 deaths can be avoided and around 3 million reais saved.

KEYWORDS: Air pollution. Particulate matter. Cardiovascular diseases. APVP Anos potencias de vida perdidos (APVP). Mortality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização de Sorocaba – SP.....	38
Figura 2 – Vista do centro da cidade Sorocaba-SP.....	39
Figura 3 – Tipos de estudos epidemiológicos.....	41
Figura 4 – Acesso ao banco de dados no site DATASUS, para posterior organização e filtragem dos dados.....	43
Figura 5 – Expansão do arquivo utilizando o software TabWin.....	43
Figura 6 – Concentração diária de poluentes durante o período do estudo, Sorocaba-SP, 2015- 2017.....	57
Figura 7 – Coeficientes do desvio-padrão da Regressão de Poisson para as defasagens de sete dias (Lag 0 – Lag 7) para óbitos associados a doenças cardiovasculares por exposição, no modelo multipolvente (NO ₂ , O ₃ , PM ₁₀), Sorocaba-SP, 2015-2017.....	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Definições na Avaliação de Exposição (AE).....	19
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ilustração da tabela construída e organizada com dados extraídos do DATASUS de Sorocaba-SP.....	44
Tabela 2 – Informações sobre a expectativa de vida da população brasileira, segundo o IBGE, utilizados para o cálculo do APVP.....	46
Tabela 3 - Dados de doenças (CID 10 I-20 a I-99) dos indivíduos que vieram a óbito.....	48
Tabela 4 - Dados de doenças (CID 10 I-20 a I-25, I-50 e a I-60) dos indivíduos que vieram a óbito.....	49
Tabela 5 - Dados das seis doenças (CID 10 I-20 a I-25, I-50 e a I-60).....	49
Tabela 6 – Coeficientes e desvio-padrão advindos da Regressão de Poisson para as defasagens de sete dias (Lag 0 – Lag 7), no modelo multipolvente, PM ₁₀ (µg/m ³), NO ₂ (µg/m ³) e O ₃ (µg/m ³), sobre Sorocaba-SP de 2015-2017.....	50
Tabela 7 – Coeficientes e desvio-padrão advindos da Regressão de Poisson para as defasagens de sete dias (Lag 0 – Lag 7), no modelo multipolvente de PM ₁₀ (µg/m ³) e O ₃ (µg/m ³), sobre Sorocaba-SP de 2015-2017.....	52
Tabela 8 – Coeficientes e desvio-padrão advindos da Regressão de Poisson para as defasagens de sete dias (Lag 0 – Lag 7), no modelo multipolvente de PM ₁₀ (µg/m ³) e NO ₂ (µg/m ³), sobre Sorocaba-SP de 2015-2017.....	54
Tabela 9 – Coeficientes e desvio-padrão advindos da Regressão de Poisson para as defasagens de sete dias (Lag 0 – Lag 7), no modelo multipolvente de NO ₂ (µg/m ³) e O ₃ (µg/m ³), sobre Sorocaba-SP de 2015-2017.....	55
Tabela 10 – Análise descritiva das Variáveis com suas médias, respectivos desvio-padrão (DP) e valores mínimos (MIN) e máximos (MAX), Sorocaba-SP, 2015-2017.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

NO ₂	dióxido de nitrogênio
OMS	Organização Mundial da Saúde
µm	micrômetro
µg	micrograma
CETESB	Companhia Ambiental do estado de São Paulo
PM	<i>particulate matter</i> (material particulado)
CO ₂	dióxido de carbono
CO	monóxido de carbono
NO _x	óxidos de nitrogênio
SO ₂	dióxido de enxofre
O ₃	ozônio
PM ₁₀	partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 10µm
PM _{2,5}	partículas com diâmetro aerodinâmico menor que 2,5µm
TSP	totalidade dos particulados em suspensão, ou particulados totais em suspensão.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	JUSTIFICATIVA E PROBLEMA.....	13
1.2	OBJETIVOS.....	14
1.2.1	Objetivos.....	14
1.2.2	Objetivos Específicos.....	15
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1	GESTÃO AMBIENTAL.....	20
2.1.1	Poluição do ar.....	32
2.1.2	Material Particulado.....	38
3	MATERIAL E MÉTODO.....	38
3.1	LOCAL DE ESTUDO.....	40
3.2	METODOLOGIA.....	40
3.2.1	Metodologia e subsídios para organização dos cálculos do APVP no contexto brasileiro.....	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
6	CONCLUSÕES.....	60
	REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é um problema que pode ter a capacidade de afetar milhões de habitantes, principalmente em grandes centros urbanos. Assim o estudo dos efeitos dessa poluição sobre a saúde humana se torna um tema de grande importância, muito relevante para a saúde pública.

Na atualidade o controle da poluição do ar é um desafio, que se apresenta de forma contundente quando se consideram os possíveis efeitos adversos da poluição sobre a saúde e a magnitude da exposição, por sermos continuamente expostos a essas substâncias. Com o crescimento das grandes metrópoles e da população, vários problemas podem ser elencados como, por exemplo, as doenças cardiovasculares.

Os estudos discutidos na revisão de literatura têm avaliado os efeitos adversos de poluentes do ar sobre a saúde da população, demonstrando que os níveis de poluição no ar aumentam as taxas de morbidade e mortalidade, incluindo de internação e atendimentos emergenciais em hospitais, associadas a doenças cardiovasculares, respiratórias e outras. Serão discutidas outras pesquisas que têm demonstrado que os níveis de poluição do ar, geralmente representado pelas concentrações dos poluentes Material Particulado (PM₁₀ e/ou PM_{2,5}), Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Dióxido de Enxofre (SO₂), Ozônio (O₃) estão associados com o aumento a curto-prazo de atendimentos decorrentes de problemas respiratórios.

Outros aspectos também discutidos nesta pesquisa são os estudos epidemiológicos que têm encontrado associação entre a exposição aos poluentes atmosféricos e os efeitos adversos à saúde, como o aumento no número de internações hospitalares, aumento da mortalidade e diminuição da expectativa de vida. Geralmente estes estudos são realizados em áreas urbanas onde a principal fonte de poluição do ar são os veículos automotores. Já outras pesquisas apresentadas na seção da revisão de literatura enfocam o material particulado (MP), sendo uma mistura de que varia em número, tamanho, formato, área de superfície e composição química, dependendo do local de sua produção e da fonte emissora, e gases que são emitidos da queima principalmente de combustíveis fósseis.

Para isto os autores discutidos relacionaram-se, com a utilização desta metodologia, a dispersão atmosférica dos poluentes e a distribuição da população segundo diferentes padrões de condições materiais de vida, podendo ser utilizado o geoprocessamento e STATA (*softwares* estatísticos), pois utilizando os bancos de dados descritos a seguir buscou-se evidenciar que a poluição do ar pode causar perda econômica.

Este estudo organizou-se a partir dos dados coletados do Sistema de Saúde Pública (DATASUS) e da Companhia Ambiental do estado de São Paulo (CETESB) com o objetivo do trabalho de identificar a associação entre exposição ao PM_{10} , O_3 e NO_2 com internações e posterior óbito por doenças cardiovasculares na população de Sorocaba-SP, nos anos de 2015-2017, e tendo como modelo matemático o uso do modelo linear generalizado de Regressão de Poisson.

No primeiro momento buscou-se realizar a discussão dos conceitos a partir da revisão de literatura, abordando os diversos aspectos teóricos que foram utilizados na construção do estudo e da descrição da metodologia. Também foram discutidas algumas características sobre a região onde está inserida a cidade de Sorocaba-SP, contextualizando os motivos da escolha da cidade, além de discutir alguns aspectos técnicos. Na sequência foram discutidos os conceitos, fórmulas e aspectos técnicos relevantes para que a pesquisa fosse realizada e posteriormente validada pelos resultados estatísticos. Após a discussão dos resultados e foram apresentadas as considerações finais do trabalho.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

O estudo busca validar, por meio de metodologias estatísticas, que a poluição do ar tem associação significativa e afeta de forma negativa a população da cidade escolhida como objeto de estudo. E posteriormente calcular o impacto financeiro, utilizando a metodologia escolhida, considerando os óbitos associados com a poluição do ar.

Este estudo se justifica pela ausência de pesquisas nessa área em cidades principalmente de porte médio no Brasil. Pois, a quantificação dos efeitos da poluição e a determinação de limites aceitáveis para os níveis de diversos poluentes ambientais são questões fundamentais e que merecem atenção. Espera-se que este estudo possa contribuir na construção de políticas públicas, bem como legislação mais severa e também no aumento do número de estações de monitoramento dos poluentes atmosféricos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivos

Evidenciar a associação entre a exposição aos poluentes O₃, PM₁₀ e NO₂, ajustado por fatores como a temperatura, umidade do ar, dias da semana e dias do calendário do ano do estudo, sobre os óbitos hospitalares na rede pública da população de Sorocaba-SP, no período de 01 de janeiro de 2015 a 31 de dezembro de 2017. Discutir questões envolvidas na avaliação dos efeitos na saúde associados à poluição do ar, com a utilização de dados primários de internações hospitalares por doenças cardiovasculares. Analisar a perda do potencial produtivo dessa população que vai a óbito por doenças associadas a essa poluição.. E utilizando os dados apresentadas pela CETESB.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Correlacionar a influencia das variáveis como: umidade, temperatura, O₃, NO₂, PM₁₀, nas internações seguidas por óbito de doenças cardiovasculares, empregando o modelo multipolvente.
- Avaliar a associação entre a exposição individual ao poluente atmosférico selecionado e as alterações no percentual de óbitos;
- Calcular o valor APVP, referente aos óbitos prematuros associados a exposição aos poluentes estudados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 GESTÃO AMBIENTAL

A Gestão Ambiental é uma área de estudo interdisciplinar que resgata diversas disciplinas para dar subsídios e analisar a relação do Homem com a natureza e como se sustenta a si mesma, buscando conhecimentos para a melhoria da sustentabilidade da sociedade (MILLER, 2011). Tais fatos, dentro da ciência ambiental, segundo Reis, Fadigas e Carvalho (2005) implicam na necessidade de profundas mudanças nos atuais sistemas de produção e organização da sociedade, de utilização de recursos naturais essenciais à vida do planeta e diminuição das grandes disparidades mundiais.

Buscar uma sociedade sustentável, “significa sobreviver da renda natural fornecida pelo solo, pelas plantas, pelo ar e pela água e não exaurir ou degradar as dotações de capital natural de Terra, que fornecem essa renda biológica” (MILLER, 2011, p.245). Assim quando se estuda a poluição do ar identifica-se que ela não respeita fronteiras, afetando indivíduos, fauna e flora distantes de sua fonte sendo “uma preocupação de todas as pessoas hoje em dia, principalmente aquelas que vivem em áreas metropolitanas” (HINRICHS; KLEINBACH, 2003, p.178).

As alterações no ambiente natural devido às alterações climática antropogênica apresentam numerosas ameaças à saúde humana. Podemos citar ainda, o calor extremo, os eventos meteorológicos mais intensos, a alteração das distribuições de doenças, a migração forçada devido ao aumento do nível do mar ou à desertificação (FURIE e BALBUS, 2012). Portanto vários estudos têm avaliado os efeitos adversos de poluentes do ar sobre a saúde da população, incluindo taxas de mortalidade, de internação e atendimentos emergenciais em hospitais, de doenças cardiovasculares, respiratórias e outras (NASCIMENTO, 2004; SAMOLI et al., 2008; GUO et al., 2009; SIMKHOVICH et al., 2009; OUDIN et al., 2009; HALONEN et al., 2009). Alguns estudos demonstram que níveis de poluição no ar aumentam as taxas de morbidade e mortalidade (SANTOS et. al., 2008).

Segundo levantamento que investigou sete capitais brasileiras, cerca de 5% do total de óbitos por causas respiratórias entre idosos (≥ 65 anos) e crianças (≤ 05 anos) a cada ano pode ser atribuído à poluição atmosférica, principalmente de fontes veiculares (HABERMANN; MEDEIROS; GOUVEIA, 2011), além da influência dos fatores meteorológicos que provocam grande dispersão dos poluentes, da topografia do relevo em torno da fonte de

emissão e das transformações químicas que ocorrem no ar (CASTRO; GOUVEIA; ESCAMILLA-CEJUDO, 2003).

Os efeitos da poluição do ar na saúde têm sido objeto de pesquisas em todo o mundo, principalmente seus efeitos nos sistemas cardiovascular e respiratório, para os quais ainda não foram estabelecidos limites de segurança. O sistema respiratório é um importante ponto de entrada para poluentes do ar e, como tal, seus efeitos são relatados há décadas, com evidências epidemiológicas consistentes de que a exposição de curto e longo prazo a poluentes do ar, como material particulado (PM), ozônio (O₃) e óxidos de nitrogênio (NO_x) têm sido associados ao aumento da mortalidade respiratória, e também há evidências de que a exposição a poluentes do ar está associada a doenças respiratórias crônicas, como doença pulmonar obstrutiva crônica. Associações agudas entre eventos cardiovasculares e biomarcadores de processos cardiovasculares patogênicos (GOUVEIA, 2019).

Segundo Hinrichs e Kleinbach (2003), a presença de partículas, muito pequenas entre 0,01 microns a 50 microns de diâmetro, ou particulados na atmosfera pode estar relacionadas a problemas de poluição. Essa poeira oriunda de solos secos, cinza vulcânica, pólen, maresia e fagulhas provenientes dos processos de combustão são algumas fontes dos particulados que são carregados pela atmosfera, que são chamados “aerossóis” por estar suspensa no ar. Pequenas partículas com diâmetros menores que 10 microns, denotadas PM₁₀, são especialmente preocupantes, já que estas são as que conseguem atingir as regiões mais baixas do sistema respiratório. Os particulados podem afetar a respiração, provocar o agravamento de doença cardiovascular já existente e possivelmente prejudicar o sistema imunológico do organismo. Podemos verificar também como o quesito da poluição tem relevância, pois: “nos Estados Unidos, a EPA estima que as mortes anuais relacionadas à poluição de ambientes externos (outdoor) ou internos (indoor) variam de 150-350 mil/ano. Muitas dessas mortes estão relacionadas à inalação de particulados finos e ultrafinos do ar” (MILLER, 2011, p.412).

Portanto a poluição do ar pode ser considerado o maior risco para a saúde ambiental, estimado, em cerca de 5,5 milhões de mortes prematuras anuais globalmente, sendo meio milhão na Europa. A evidência epidemiológica para esta associação é sólida, consistindo de um grande número de estudos de taxas principalmente norte-americanos e europeus. Os efeitos negativos para a saúde têm sido associados de forma consistente com partículas finas (PM_{2.5}). São menos conhecidos quais tipos e fontes de partículas causam efeitos adversos para a saúde, mas a evidência de uma associação entre poluição do ar e doenças específicas não é tão forte como a associação com a mortalidade (BEELEN *et al.*, 2014; BROOK, *et al.*, 2010;

CESARONI, *et al.*, 2013; EEA, 2014; FOROUZANFAR, *et al.*, 2015; FURIE e BALBUS, 2012; NRC, 2001; RAASCHOU *et al.*, 2012; STOCKFELT, 2017; WHO, 2014).

Aliado a essa a matéria particulada compreende partículas finas (PM_{2,5}) presentes no ar ambiente (MOORE, J. X.; AKINYEMIJUA, T.; WANG, 2017) e aliada ao desenvolvimento industrial e a expansão econômica associada ao aumento do consumo de combustíveis fósseis provocaram uma enorme poluição atmosférica. Na China estão afetando a saúde, pela ocorrência de poluição atmosférica com altas concentrações de partículas finas (PM_{2,5}) (CHEN, 2017; YANG, 2017). Assim embora o rápido crescimento econômico das nações BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China, África do Sul) possa trazer aspectos positivos para a população, como baixo desemprego e maior renda per capita, não está claro qual o impacto desse rápido crescimento em termos de sustentabilidade (AZEVEDO; SARTORI; e CAMPOS, 2017).

Não só em grandes cidades como, por exemplo, São Paulo (Brasil) que possui o desafio de superar as consequências negativas de um processo acelerado de urbanização, outro problema consiste na poluição do ar doméstico, como também indica os estudos analisados como uma das principais causas globais de morbidade e mortalidade, estimada como responsável por 3,5 milhões de mortes prematuras por ano. Muitas devido à dependência de combustíveis de carvão e biomassa (BARTINGTON, 2017; HÉRICK, 2017; KELLY; e FUSSELL, 2017).

A industrialização tem sido um fator chave para o crescimento econômico em todo o mundo. O aumento da capacidade de extração de recursos naturais, fabricação, agricultura industrial e distribuição global (alimentada pela própria riqueza que ela cria) muitas vezes vem às custas do meio ambiente. Combinando estes efeitos, gera-se uma demanda crescente por energia usada para sustentar a expansão industrial e apoiar os estilos de vida cada vez mais intensivos em energia de uma população crescente (FURIE; e BALBUS, 2012).

Assim nas últimas décadas, as observações empíricas de uma associação entre a poluição do ar e um risco cardiovascular foram validadas em muitos estudos epidemiológicos e observacionais, que demonstraram efeitos adversos de vários componentes da poluição do ar sobre mortalidade e morbidade em seletas taxas de pacientes (FOLINO; *et al.*, 2017). Além de estudos sobre a poluição atmosférica e os efeitos na saúde da população têm demonstrado que, poluentes abaixo dos níveis determinados por lei, podem ser capazes de ter associação a efeitos na saúde (DAPPER, 2016; GAVINIER; e NASCIMENTO, 2014).

Os mecanismos pelos quais a poluição do ar interfere na saúde das pessoas ainda não são totalmente conhecidos, diante disso, estudos epidemiológicos encontram como resultados

a associação à morbidade respiratória e como efeito negativo as hospitalizações (CARNESECA *et al.*, 2012; DAPPER, 2016). Outros estudos encontraram que os níveis de PM₁₀, O₃ e NO₂ foram associados a exposição de curto e longo prazo a aumentos na mortalidade cardiovascular, respiratória e por diabetes. Este estudo confirma a necessidade urgente de melhorar a frequência de medição de poluentes atmosféricos após a exposição ao PM₁₀. (DANIELS, 2004; GUO, 2014; YI, 2010). Podendo citar a relação da poluição do ar com doenças respiratórias e cardiovasculares verificando associação entre o material particulado com internações para doenças respiratórias totais (NARDOCCI *et al.*, 2013).

Outras pesquisas sobre poluentes, dentro eles, de ambientes externos (outdoor) ou internos (indoor) existem as rotas para exposição a eles como a inalação, ingestão e o contato dérmico. A dispersão desses poluentes pode ser influenciada por elementos climáticos como: umidade relativa, direção e velocidade do vento, a temperatura, a topografia e as transformações químicas que ocorrem no ar (CASTRO; GOUVEIA; ESCAMILLA-CEJUDO, 2003). Alguns modelos desenvolvidos assumem a dispersão isotrópica dos poluentes no espaço, abordando elementos climáticos (direção e a velocidade do vento). A direção do vento pode ser menos importante para ruas, que possuem mais residências, do que em estradas e rodovias (HABERMANNI; MEDEIROSII; GOUVEIAI, 2011).

Assim os estudos epidemiológicos evidenciam associação entre a exposição aos poluentes atmosféricos e seus efeitos negativos incidindo no número de internações mortes e diminuição da expectativa de vida e à saúde do indivíduo. Muitos estudos são realizados nas áreas urbanas com muito tráfego e poluição, onde cerca de 5% do total de óbitos por causas respiratórias entre idosos (≥ 65 anos) e crianças (≤ 05 anos) a cada ano podem ser atribuídos à poluição atmosférica (HABERMANNI, MEDEIROS, GOUVEIA, 2011).

Podem ser verificadas no Quadro 1, as definições dos conceitos utilizados nas discussões e para as análises dos resultados.

Quadro 1 – Definições na Avaliação de Exposição (AE).

Termo	Definição
Exposição	Exposição a um poluente é um evento que consiste na relação entre o homem e o ambiente, dada uma concentração específica de poluente ambiental em um intervalo de tempo determinado. As unidades para expressar a exposição são a concentração multiplicada pelo tempo. Portanto, o conceito incorpora tanto a concentração quanto o tempo de duração do contato.
Exposição Total do Indivíduo	Abrange todas as exposições a um poluente específico no meio ambiente como um todo (ar, água, alimento e solo) e todas as rotas de entrada (inalação, ingestão e absorção dérmica).
Dose	Dose é a quantidade de poluente absorvida ou depositada no corpo de um organismo exposto por um período de tempo maior – em geral de um único meio. A dose total é a soma de doses recebidas de um poluente por um indivíduo em um dado intervalo, resultante da interação com todos os meios que apresentem o poluente. Unidades de dose e dose total (massa) são, em geral, convertidas em unidades de massa por volume de fluido fisiológico ou massa por massa de tecido, por exemplo, níveis sanguíneos em µg/dL.
Dose Interna	Refere-se à quantidade do poluente ambiental absorvido pelo tecido corporal ou à interação com a superfície da membrana de um órgão.
Dose Biologicamente Eficaz	É a quantidade do poluente depositado ou absorvido que atinge as células ou o sítio alvo onde surge um efeito adverso ou onde o poluente interage com a superfície da membrana.

Fonte: Castro, Gouveia, Escamilla-Cejudo, (2003).

Os modelos de dispersão também podem ser empregados para a exposição e estimar a concentração dos poluentes do indivíduo aos poluentes. Esses modelos utilizam dados topográficos, meteorológicos e informações de emissão. De acordo com Toledo e Nardocci (2011), existem seis métodos para avaliação da exposição dos indivíduos aos poluentes advindos de fontes veiculares: I. Modelos de dispersão; II. Interpolação estatística; III. Avaliação baseada na proximidade das vias; IV. Modelos integrados de emissão e meteorologia; V. Modelos de análise de uso do solo; VI. Modelos híbridos, que combinam o monitoramento pessoal com um dos métodos anteriores.

Segundo Miller (2011) o maior risco das sociedades é a pobreza, todos ganham com a redução da pobreza: as pessoas, a econômica e o meio ambiental. A redução da pobreza melhoraria a longevidade e saúde humana do que qualquer outra medida. Também melhoraria a renda dos indivíduos, os direitos humanos, o desenvolvimento econômico e reduziria a degradação ambiental. Um indicador ambiental de acordo com a Organização Panamericana de Saúde (OPAS), consiste da relação do ambiente e da saúde gerando um valor estatístico para a gestão e a implementação de políticas (CASTRO; GOUVEIA; ESCAMILLA-CEJUDO, 2003).

Em conclusão, a poluição atmosférica contribui substancialmente para o fardo global da doença, que aumentou nos últimos 25 anos, como resultado das tendências demográficas e epidemiológicas e dos níveis crescentes de poluição do ar nos países de baixa renda e de renda média, caso essas tendências continuem, serão necessárias grandes reduções nos níveis de poluição para evitar aumentos na carga de doenças, tendo como resultado, os desafios para futuras reduções no ônus da doença atribuível à poluição do ar (CEPEDA; *et al.* 2017; COHEN, 2017).

2.1.1 Poluição do ar

A poluição do ar consiste da presença de substâncias químicas na atmosfera em concentrações altas o suficiente para prejudicar organismos e materiais (como metais e pedras utilizadas principalmente em construções) alterando o clima, podendo ter como consequência uma série de mal-estares que podem provocar a morte de seres humanos. Podemos classificá-los em: I. Poluentes primários são emitidos diretamente na troposfera em uma forma nociva. II. Poluentes secundários, que são produzidos pela reação com outros componentes do ar para contribuindo para formar novos poluentes. Desde modo pode haver um período de latência entre a exposição aos poluentes ambientais e o aparecimento de sintomas respiratórios agudos (MILLER, 2011).

A condição da vida das pessoas expostas no ambiente urbano promove piora na saúde, provocando doenças como doenças como diarreia, tuberculose, cólera e outras patologias infecciosas. Onde as primeiras cidades com grande densidade populacional estão relacionadas a epidemias, justamente pela falta de infraestrutura urbana. E já com o desenvolvimento científico no século XIX, aumentaram o saneamento básico, a possibilidade de viver no ambiente urbano, comparado com a vida rural, tornou-se a ser uma vantagem em parte para a saúde. Outras doenças, como hipertensão arterial, diabetes tipo 2 e obesidade, estão relacionadas ao ambiente urbano e ao estilo de vida urbano, pois esse ambiente pode dificultar hábitos individuais saudáveis. Por outro lado melhora o condicionamento e a qualidade de vida das pessoas com a prática de atividade física (FAJERSZTAJN; VERAS; SALDIVA, 2016; MILLER, 2011).

Arbex (2012), cita que a Revolução Industrial acelerou o processo de emissão de poluentes, pois antes era devido ao uso doméstico de combustíveis vegetais e minerais e às emissões vulcânicas intermitentes. A poluição atmosférica, devido à grande área de contato entre a superfície do sistema respiratório humano e o meio ambiente, encontra-se presente nos

mais diferentes cenários como, por exemplo, os poluentes provenientes da fumaça do tabaco é um grande fator de risco para estas doenças. A poluição apresenta tipos de efeitos sobre a saúde, sendo o efeito agudo aquele que se manifesta após um curto espaço de tempo (horas ou dias) entre a exposição, e os crônicos são diagnosticados depois de estudos após anos ou décadas. Podem ser creditados a esses poluentes, aumentos nos sintomas de diversas doenças, levando ao aumento na procura por atendimentos em serviços de emergência e no número de internações e de óbitos.

As exposições ambientais são complexas. A poluição atmosférica relacionada ao trânsito inclui espécies gasosas, material particulado proveniente de combustão, desgaste de pneus e freios, poeiras de estradas ressuspensas e sais. As exposições à poluição ocorrem na multiplicidade, sendo frequente entre populações é mais pobre, com elevados índices de crimes e menor acesso aos recursos relacionados à saúde. Nos locais de trabalho, as exposições químicas variam com calor, ruído e tensão, agindo de forma recursiva e sinérgica na saúde dos trabalhadores (CLOUGHERTY; e KUBZANSKY, 2010).

Em áreas urbanizadas, com as emissões de vários tipos de veículos automotores são a principal fonte de diversos poluentes do ar, podendo ser incluídos o monóxido e dióxido de carbono, também os hidrocarbonetos e is compostos orgânicos voláteis, o O_3 óxidos de nitrogênio e o MP (material particulado). Com o material particulado finos ($PM_{2,5}$), constituídos, por exemplo, fumaças e/ou poeira, entre outros materiais com diâmetro menor ou igual a 2,5 *micros*, que são de fácil inalação e podem tem a característica de penetrar na partes ais profundas dos pulmões, além das partículas ultrafinas, com diâmetros menores que 0,1 a 0,2 *micros*, são mais poluentes e de maior concentração de poluentes tóxicos por unidade de massa. O material particulado ultrafino tem sua principalmente origem durante a queima de combustíveis fósseis, pois foi demonstrado que em longo prazo quando ocorre a exposição, considerando níveis moderados do material particulado do $PM_{2,5}$ (8 a 10 $\mu g/m^3$) provoca um aumento do valor da mortalidade em cerva de 2,8% (ARAUJO e ARAUJO, 2020; WU, et al., 2019).

Programas de inspeção e manutenção baseados na “redução de emissões por veículo” tendem a falhar sistematicamente nas cidades com predominância do transporte individual por carro, por exemplo, em Guangzhou, na China, cidade com densidade urbana semelhante à de São Paulo, duas décadas desses programas não resultaram em nenhuma melhoria na qualidade do ar, principalmente em relação ao $PM_{2,5}$ e ao ozônio (O_3). À semelhança do que ocorreu em São Paulo, às políticas públicas incentivaram e favoreceram a compra de veículos individuais, resultando em uma concentração média de $PM_{2,5}$ de 49 $\mu g/m^3$, quatro vezes superior ao

recomendado; no entanto, em São Paulo, podemos atribuir a queda nas concentrações de PM_{2,5} e monóxido de carbono a essas iniciativas e renovação da frota, a partir de 2004. (ARAUJO e ARAUJO, 2020).

Mesmo que a fiscalização em São Paulo conseguisse adequar todos os carros, sem nenhum veículo fora de especificação circulando, ainda haveria consumo massivo de combustíveis fósseis e congestionamentos, pois a atual situação de poluição paulista exige medidas complementares que possibilitem uma redução do número de viagens motorizadas e congestionamentos como, por exemplo, uma maior oferta de transporte público não poluente e aumento da eficiência do transporte público por ônibus. Também é inevitável argumentar que todos os recursos gastos, digamos em programas de apoio a pessoas em risco de certas morbidades, devem ser considerados (ARAUJO e ARAUJO, 2020).

Para Miller (2011), existem fatores que moldam a maneira do ar circular na superfície terrestre. Um deles é o aquecimento desigual da superfície terrestre, com maior incidência solar no Equador (região de maior temperatura). Já a toxicidade, medida dos efeitos nocivos que uma substância pode causar, depende de diversos fatores como: a dosagem, a frequência da exposição, quem é exposto, por exemplo, se o indivíduo é adulto ou criança, e eficácia dos sistemas de desintoxicação (como fígado, pulmões e rins) do organismo. E também “quando os ventos recolhem os excrementos secos, uma neve fecal cobre partes da cidade. Depósitos de lixo a céu aberto também contribuem para aumentar a quantidade de pó e bactérias na atmosfera. Essas partículas disseminam salmonela e infecções por hepatite, especialmente entre crianças (MILLER, 2011, p.162)”.

Alguns fatores podem limitar a utilidade dos estudos epidemiológicos, considerando: I. Poucas pessoas foram expostas a altos níveis de um agente tóxico para detectar diferenças significativas do ponto de vista estatístico. II. É difícil ligar conclusivamente um efeito observado com a exposição a uma substância, pois os indivíduos estão expostos a vários agentes tóxicos. III. Não é possível avaliar os riscos provenientes de novas substâncias químicas porque os indivíduos ainda não foram expostos (MILLER, 2011).

Existem vários fatores poluidores (GIODA; AQUINO NETO, 2003; MILLER, 2011):

- A principal fonte de poluição do ar produzida por atividades humanas consiste na queima de combustíveis fósseis em veículos motorizados e em usinas elétricas e indústrias;
- Em geral, a poluição do ar interior representa muito mais ameaça à saúde humana do que a poluição do ar exterior, principalmente para regiões de alta pobreza em países em desenvolvimento;

- O *smog* fotoquímico é uma mistura de poluentes do ar formada pela reação de óxidos de nitrogênio com hidrocarbonetos orgânicos voláteis sob a influência da luz do sol;
- O *smog* industrial é uma mistura de dióxido de enxofre, gotas de ácido sulfúrico e partículas sólidas suspensas, emitidas ou formadas na atmosfera, quando carvão e petróleo são queimados;
- O dióxido de enxofre, os óxidos de nitrogênio e os particulados produzidos principalmente pela queima de carvão podem reagir na atmosfera para produzir substâncias químicas acidificadas que viajam longas distâncias antes de retornar à superfície da Terra como deposição ácida nociva;
- Monóxido de carbono: Queima de combustível fóssil, aquecedores a gás ou querosene, fogão, fumaça de cigarro;
- COVs: Adesivos, solventes, materiais de construção, volatilização, combustão, pintura, fumaça de cigarro; atividades de limpeza; fotocopiadoras, impressoras a laser;
- Partículas: Ressuspensão, produtos de combustão, atividades de limpeza.

Pelo menos três milhões de pessoas (a maioria na Ásia) morrem prematuramente a cada ano em decorrência dos efeitos da poluição do ar, sobretudo pela queima de madeira e carvão dentro de residências nos países em desenvolvimento. Precisa-se nos concentrar em prevenir a poluição do ar, com ênfase na redução drástica da poluição do ar interior principalmente em países em desenvolvimento (MILLER, 2011). Mais de 90% das residências da zona rural dos países subdesenvolvidos e cerca metade da população do mundo queimam biomassa (carvão, madeira, resíduos agrícolas ou fezes de animais) para gerar energia, mas essa situação produz altos índices de poluição do ar em ambientes internos, onde culturalmente os indivíduos que lá frequentam em maior tempo muitas vezes são mulheres e as crianças (ARBEX, 2004).

Segundo Arbex (2012), o indivíduo pode sofrer exposição (indoor ou outdoor) aos poluentes do ar, entre vários fatores como fumaça e poeira, observando que o baixo nível socioeconômico do indivíduo pode agravar essa situação, causando doenças como infecções respiratórias, tuberculose pulmonar, asma crônica, retardo do crescimento intrauterino, alimentação deficiente. A população “atingida pelos produtos gerados pela combustão de biomassa, via de regra, corresponde aos indivíduos com maior grau de pobreza, e com menor possibilidade de acesso aos serviços de saúde (ARBEX, 2004, p.5)”.

Assim são conhecidas como Doenças e Agravos Não Transmissíveis (DANT), essas doenças foram responsáveis por parte das internações pagas (63%), da mortalidade geral (76%) e dos gastos (73%) do Sistema Único de Saúde (SUS) com internações no município

de São Paulo, segundo dados do site oficial da prefeitura, nos anos 2000 (FAJERSZTAJN, VERAS e SALDIVA, 2016). Ademais, o progresso não atingiu todos os moradores de países em desenvolvimento. Ainda hoje, populações urbanas de baixa renda, convivem com a falta de saneamento básico. Além de fatores como moradia, escolaridade, alimentação, violência e renda interferem na qualidade da saúde. Além das mudanças no padrão de consumo, falta de investimentos e planejamento, no regime de chuvas, no aumento da população, são alguns dos principais fatores para manter o fornecimento de água potável nas cidades. Logo políticas públicas, esforço multidisciplinar, podem levar a melhora na saúde e reduzir a poluição do ar e as mudanças climáticas em médio e longo prazo (FAJERSZTAJN; VERAS; SALDIVA, 2016).

Segundo Arbex (2012), a Organização Mundial da Saúde evidencia que a gravidade desse problema de saúde e sua intensidade são influenciadas por fatores como as características da população e dos poluentes e a suscetibilidade de cada indivíduo. Claro que para a saúde o uso frequente de carros diminui em alguns pontos como aumento da poluição (sonora, ar), menos atividade física, e congestionamento (que causam estresse e pouco descanso, menos convívio social e lazer), além de acidentes, pois existem alternativas mais saudáveis como caminhar, bicicleta e o transporte público, mas é necessário que os centros urbanos consigam se organizar para oferecer essas possibilidades (FAJERSZTAJN; VERAS; SALDIVA, 2016).

As populações são mais vulneráveis a falta de saneamento básico e fontes de água potável. Uma fonte de água potável segura é aquela protegida de contaminação externa, especialmente contaminação por fezes. A infraestrutura de saneamento deve separar os excrementos humanos do contato humano, ter sistemas de esgoto canalizado, fossas sépticas e banheiros de compostagem. Onde a ONU considera esse acesso um direito humano, pois sua falta causa doenças, mortalidade infantil, desnutrição “doenças causadas por vetores (exemplo dengue), doenças tropicais negligenciadas (exemplo esquistossomose) e doenças relacionadas a contaminantes químicos presentes na água” (FAJERSZTAJN; VERAS; SALDIVA, 2016, p.5).

Concentrações elevadas de poluentes representam um risco para a saúde e afetam negativamente a fauna e a flora, tais efeitos ocorrem frequentemente nas grandes cidades (KLUMPP, 2001). Assim, por exemplo, o Brasil teve cerca de 10% dos gastos do Sistema Único de Saúde (SUS), de setembro de 2012 a agosto de 2013, com internações hospitalares para o tratamento de doenças respiratórias. Assim percebe-se que a poluição atmosférica é um dos principais problemas ambientais da sociedade acarretando impactos sobre a saúde e

perdas econômicas. Outros gastos deveriam ser também quantificados como os gastos com medicamentos, custo de utilizar a rede privada de saúde, faltas no trabalho perdidos, para encontrar um cenário mais preciso para subsidiar as políticas públicas (PAIVA, 2014).

Muitos estudos sobre locais no Brasil avaliando poluição destacam-se estudos envolvendo-se, dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃) e material particulado (PM₁₀), doenças respiratórias e, foram desenvolvidos em centros urbanos, como a cidade de, São Paulo. Sabendo-se que o material particulado inalado pode atingir até os alvéolos e que os componentes da contaminação atmosférica antropogênica atingem o organismo predominantemente por via inalatória, as exposições aos poluentes são um fator de risco para o agravamento de doenças crônicas, internações hospitalares, mortalidade intrauterina e defeitos congênitos (NASCIMENTO, *et. al.*, 2006).

O dióxido de enxofre, principalmente da queima do carvão mineral e derivados de petróleo e combustíveis fósseis, pode ter meia-vida contada de dias até anos, podem corroborar com o decréscimo da função pulmonar, necrose pulmonar, sendo absorvidas nas vias aéreas superiores e depositados nas porções mais inferiores destas e no parênquima pulmonar, sendo um irritante respiratório. Já o ozônio pode atingir as porções mais profundas dos pulmões podendo causar inflamação (NASCIMENTO, *et. al.*, 2006).

Muitos estudos sobre impactos da poluição nas vias aéreas concentraram-se apenas em alguns poluentes, e tiveram como pressupostos: I. Concentração de um poluente num determinado local corresponde ao valor de exposição desse mesmo poluente e II. Toda a população próxima do ponto de medição tenha idênticos níveis de exposição. E sabe-se que em grandes partes do tempo às crianças estão em ambientes interiores, por isso às concentrações de poluentes medidas no ar exterior não refletirão a verdadeira exposição de poluentes (MARTINS; *et. al.*, 2012).

A poluição do ar representa um dos maiores problemas de saúde pública que causam efeitos negativos para a saúde, onde se estima que a exposição ao material particulado (uma mistura de partículas líquidas e sólidas em suspensão no ar, classificadas de acordo com o seu diâmetro) causa 800.000 mortes em todo o mundo, das quais 35.000 ocorrem somente na América Latina (MASCARENHAS, 2008).

Segundo Mascarenhas (2008), os estudos ecológicos (utilizando séries temporais para evitar que fatores como tabagismo ou condição socioeconômica afetem os dados produzidos na relação da poluição com a saúde,) são utilizados para avaliar as consequências da poluição do ar. Apresentam também uma defasagem em relação à exposição do indivíduo aos agentes

poluidores, pois os atendimentos em um dia específico podem ser relacionados à poluição daquele dia ou de dias anteriores, portanto deve-se utilizar a média móvel de sete dias.

Segundo Arbex (2012), nos últimos 250 anos e mais recentemente com a Revolução Industrial a poluição (que rivaliza com a fumaça do tabaco no causador de doenças) atmosférica estava limitado ao uso doméstico e às emissões vulcânicas intermitentes. Aproximadamente 50% da população do planeta vivem na zona urbana, trazendo aumento no consumo de energia e emissões de poluentes. Podem ser creditados aos poluentes particulados e gasosos, aumentos de doenças e consequente procura por atendimentos hospitalares. A definição poluição (classificados em primários e secundários) do ar como sendo um composto material particulado (MP) e gases advindos de diversas fontes fazem com que os poluentes primários emitidos diretamente para a atmosfera, e os secundários são resultantes de reações químicas entre os poluentes primários (ARBEX, 2012).

Já os efeitos do MP sobre o sistema respiratório podem ser agrupados pela área de estudo, características da fonte, grupo suscetível, resultados de saúde, as características físicas e químicas do MP, concentração de partículas e composição química (OLIVEIRA; IGNOTTI; HACON, 2011).

Com a introdução da modelagem matemática observa-se que qualidade na gestão da poluição atmosférica aumentou, mas algumas vezes por motivos financeiros, o número de pontos de medida de uma rede é limitada ou está posicionado em um local de pouca representatividade. Por este motivo, os modelos matemáticos precisam simular o transporte e a difusão dos poluentes na atmosfera. Nesses modelos a descrição dos processos que governam o transporte e a difusão dos poluentes é fundamental. Estes processos são geralmente descritos por pré-processadores meteorológicos para descrever o transporte devido ao vento e à sua variabilidade (MOREIRA; TIRABASSI; MORAES, 2008).

Estudos de séries temporais são essenciais para investigar os efeitos agudos da poluição atmosférica na saúde. No entanto, certas limitações das características do estudo dificultam como os detalhes individuais que e não são incluídos na análise e é possível que alguns resultados possam incluir os efeitos da exposição a outros poluentes e fatores. Estudos longitudinais e experimentais com uma análise mais detalhada da exposição e dos resultados a nível individual e de múltiplos poluentes atmosféricos poderiam reduzir as incertezas relacionadas com os efeitos das partículas atmosféricas sobre a saúde (OLIVEIRA; IGNOTTI; HACON, 2011).

A avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde humana envolve algumas incertezas que são inerentes ao processo de quantificação de risco. A interpretação dos

resultados deve, portanto, considerar tais limitações. Um exemplo é a qualidade dos dados pois podem ser utilizados dados secundários, com diferentes fontes de cada cidade.

Esta visão geral das fontes antropogênicas brasileiras de exposição à poluição atmosférica depende da disponibilidade e da qualidade das informações encontradas em bases de dados científicas de domínio público. No entanto, com base na concordância entre os resultados, podem ser feitas considerações sobre as características físicas e químicas dos poluentes e os efeitos adversos da poluição do ar sobre a saúde (OLIVEIRA, IGNOTTI e HACON, 2011).

Para Ebi e McGregor (2009), alguns itens devem ser levados em consideração sobre os estudos da poluição do ar:

- As concentrações de poluição atmosférica são o resultado de interações entre padrões climáticos locais, características da circulação atmosférica, vento, topografia, atividades humanas (transporte e geração de electricidade a carvão), respostas humanas a alterações climáticas, necessidades de refrigeração e, portanto, necessidades de energia e outros fatores. Alguns locais, devido ao seu clima geral e cenário topográfico, estão predispostos a uma má qualidade do ar porque a topografia restringe a dispersão de poluentes. As condições meteorológicas também influenciam os processos químicos e físicos envolvidos na formação de poluentes secundários como o ozônio. As mudanças climáticas podem afetar diretamente a qualidade do ar, local e regional, através de mudanças nas taxas de reação química, altura das camadas limites (a camada de ar perto do solo que é afetada pelo calor diurno, umidade e transferência de momento para/da superfície) que afetam a mistura vertical
- Temperatura, vento, radiação solar, umidade atmosférica, ventilação e mistura afetam tanto as emissões de precursores de ozônio quanto a produção de ozônio. Como a formação de ozônio depende da luz solar, as concentrações são tipicamente mais altas durante os meses de verão. O ozônio ao nível do solo é um irritante pulmonar conhecido que afeta as mucosas respiratórias, outros tecidos do pulmão e a função respiratória. A exposição a concentrações elevadas de ozônio está associada ao aumento das internações hospitalares por pneumonia, doença pulmonar obstrutiva crônica, asma, rinite alérgica e outras doenças respiratórias e com mortalidade prematura. O ozônio do solo é natural e, como principal componente da poluição urbana, um poluente secundário formado por reações fotoquímicas envolvendo óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis na

presença de sol brilhante com altas temperaturas. Além disso, a urbanização que leva a ilhas de calor pode influenciar a produção local e a dispersão do ozônio. Nas áreas urbanas, os óxidos de nitrogênio são produzidos sempre que os combustíveis fósseis são queimados.

- O material particulado (PM) é bem conhecido por afetar a morbidade e mortalidade, de modo que concentrações crescentes teriam impactos negativos significativos na saúde. O aumento estimado da mortalidade foi maior em locais com pior qualidade do ar. Uma vez que o transporte transfronteiriço de poluentes desempenha um papel significativo na determinação da qualidade do ar local e regional, os padrões de mudança da circulação atmosférica a nível hemisférico para o nível global deverão ser igualmente importantes como padrões regionais para a futura qualidade do ar local.

Segundo Urbini (2015), o meio ambiente e a saúde humana são muito afetados pelos poluentes, devido ao aumento do consumo de recursos e energia. Às vezes os problemas assumem uma dimensão global, por exemplo, o efeito estufa e os consequentes efeitos nas alterações climáticas. A poluição em sua grande parte tem as suas raízes na falta de educação para uma tomada de consciência das questões e participação na busca de soluções sustentáveis. A dimensão do problema exige um esforço conjunto a nível internacional pela política e pela ordem científico-cultural para transferir experiências e sentimentos e também buscar soluções compartilhadas. Um papel sempre mais importante deve ter a inovação científica e tecnológica, em algumas áreas como: tratamento de resíduos sólidos e esgotos, abastecimento de água e poluição do ar.

Há evidências significativas que ligam a exposição à poluição relacionada a tráfego com doenças respiratórias. A exposição crônica de adultos a este tipo de poluição tem sido associada à inflamação do trato respiratório superior, doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), câncer de pulmão e mortalidade prematura. Em crianças, a exposição à poluição relacionada ao tráfego, muitas vezes indicada pela proximidade residencial das estradas principais, tem sido associada à hiperresponsividade das vias aéreas, chiado, asma, função pulmonar reduzida e hospitalizações relacionadas com asma (CLOUGHERTY; KUBZANSKY, 2010).

Também a localização geográfica influencia a saúde, historicamente, o estudo dos efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde tem considerado os seus efeitos psicológicos, incluindo os impactos psicossociais da exposição percebida na vigilância, desempenho dos testes, irritação, agressão, comportamento, efeitos neurológicos e deficiência visual.

Evidências mais recentes indicam que a qualidade do ar abaixo das diretrizes regulatórias pode ser detectada pelos moradores, com consequências negativas para a saúde, embora a qualidade do ar percebido também possa ser influenciada pelo estado da doença. De fato, pode ser difícil distinguir os efeitos sobre a saúde produzidos pelos aspectos físicos da poluição atmosférica dos seus efeitos psicossociais na saúde em comunidades próximas a sítios tóxicos, separar os efeitos derivados da poluição daqueles de outros estressores espacialmente correlacionados ou estabelecer direcionalidade (CLOUGHERTY; KUBZANSKY, 2010).

Os efeitos indiretos na saúde do ambiente também tendem a exercer a sua influência sobre escalas espaciais maiores. As mudanças nos padrões climáticos no contexto do aumento das emissões de gases de efeito estufa ocorrem em uma escala global, embora os indivíduos experimentem os efeitos localmente. Os efeitos sobre a saúde dos gases de efeito estufa antropogênicos já emitidos serão experimentados por décadas, se não séculos (FURIE e BALBUS, 2012).

No contexto ou fatores ambientais que afetam a saúde, a exposição a espaços verdes refere-se a espaços onde existe vegetação, como florestas, parques, praças, jardins e ruas arborizadas, e a exposição a espaços verdes tem sido observada em vários estudos em epidemiologia. Os benefícios Embora existam evidências de que os espaços verdes trazem benefícios à saúde, os espaços verdes contribuem para a saúde mental, aumentam a atividade física e reduzem a morbidade e mortalidade por causa específica geral, necessitando de investigação do impacto dos fatores ambientais na saúde da população. Orientar medidas de promoção da saúde em ambientes urbanos é importante, e a relação entre espaço verde e saúde cardiovascular pode ser modulada pela prática de atividade física, melhorando as condições psicossociais, como redução do estresse, aumento do contato e coesão social, além de melhorar o ar qualidade e conforto térmico e possui o efeito de proteção, pois esses espaços verdes podem reduzir a poluição da atmosfera e também da temperatura, onde podemos observar que as associações de indicadores de poluentes com a mortalidade, de forma positiva, o que também foi encontrado em outros estudos (SILVEIRA e JUNGER, 2018). Assim essa rápida expansão populacional, as mudanças nos padrões de consumo e a intensidade da atividade econômica contribuem para esse desequilíbrio ambiental, pressionando a qualidade de vida das pessoas vulneráveis (FERNANDES, HACON, NOVAIS, 2021; GONÇALVES, et al. 2018).

Alguns fatores são significativos para distorcer as associações observadas (os efeitos de saturação podem reverter as interações em altas exposições, o tratamento pode mascarar

exacerbações de doenças pré-existentes), podendo-se destacar: I. Relações temporais entre estressores e poluição; II. Efeitos de não linearidade e saturação; III. Colinearidade espacial em todas as exposições; IV. Susceptibilidade relacionada com a idade e períodos críticos; V. distinções entre os processos relacionados à etiologia da doença e exacerbação, será fundamental na exploração de interações socioambientais (CLOUGHERTY; KUBZANSKY, 2010).

Muitas exposições ambientais contribuem para a má saúde da população, o que, por sua vez, restringe o crescimento econômico. Perda de produtividade devido à morte prematura, deficiência crônica ou limitada realização educacional compromete o bem-estar econômico dos indivíduos, enquanto as perdas financeiras devido a uma força de trabalho insalubre também. Além disso, as altas taxas de mortalidade infantil, uma consequência comum de doenças transmissíveis associadas à má qualidade ambiental, podem resultar em taxas de natalidade mais altas e tamanhos familiares maiores. A partilha de recursos finitos entre mais indivíduos pode fixar as famílias num ciclo de pobreza. As doenças mediadas pelo meio ambiente costumam ter seu maior impacto entre as populações mais vulneráveis, impedindo assim o crescimento econômico onde é mais necessário (FURIE; BALBUS, 2012).

A poluição do ar é a contaminação do ambiente interior ou exterior por qualquer agente químico, físico ou biológico que modifique as características naturais da atmosfera. Os poluentes de grande interesse para a saúde pública incluem as partículas (PM), CO, O₃, NO₂ e dióxido de enxofre, de acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS). As Orientações da OMS sobre Qualidade do Ar (AQG) são referência internacional sobre os efeitos adversos da exposição a poluentes atmosféricos na saúde humana, assim dois estudos prospectivos de escolha de taxas também relataram que o risco de mortalidade foi 26% maior para pessoas que vivem em cidades com níveis elevados de poluição do ar. Os efeitos adversos das partículas e outros poluentes ambientais são, portanto, bem conhecidos (TORRICELLI, *et al.*, 2011).

As doenças não transmissíveis, muitas das quais ligadas ao meio ambiente, são a principal causa de mortalidade em todo o mundo e sua contribuição para a mortalidade total está aumentando em face dos fatores de risco de mudança de doença. Eles respondem por quase 45% da carga global de doença. Os fatores ambientais são responsáveis por uma maior proporção da carga de doenças devido a lesões não intencionais no mundo em desenvolvimento. Além disso, acidentes de trânsito, lesões ocupacionais, quedas e envenenamentos não intencionais afetam desproporcionalmente os grupos etários mais jovens,

contribuindo para a mortalidade prematura e incapacidade. O custo econômico anual dos acidentes de trânsito foi estimado em US \$ 65 bilhões (FURIE; BALBUS, 2012).

O Brasil vive avanços na área da saúde, mas a falta de políticas públicas de garantia de ajuda, além da segregação socioeconômica e das disparidades de qualidade, tem resultado em enormes desigualdades no acesso à saúde e na oferta de leitos para a população. Um dos fatores da saúde humana, tais estudos refletem a situação de todas as grandes cidades do Brasil, que muitas vezes estão excessivamente poluídas, levando ao aumento de mortes, despertando interesse de pesquisas na área de epidemiologia para analisar o impacto do ar poluentes na saúde, principalmente as concentrações de $MP_{2.5}$ e MP_{10} em grupos mais vulneráveis (CARMO; GUIZARDI, 2018; MACHIN; NASCIMENTO, 2018; FERNANDES, HACON, NOVAIS, 2021; GONÇALVES *et al.*, 2018).

As partículas finas e ultrafinas encontradas na fumaça podem exacerbar doenças cardíacas e pulmonares crônicas em pessoas com problemas cardíacos ou respiratórios (como os idosos), e estão ligadas à morte prematura nesse grupo, onde a suscetibilidade dos idosos a infecções respiratórias e suas complicações é uma das principais razões de hospitalização e morte em alguns países ao redor do mundo, portanto, essa suscetibilidade, relacionada à poluição atmosférica, pode resultar em um crescimento de atendimentos por diversas doenças respiratórias em idosos, para infecção respiratória, baixa imunidade, a redução da função do trato respiratório, associada aos poluentes do ar (CORRÊA *et al.*, 2020; DASTOORPOOR *et al.*, 2019; FERNANDES, HACON, NOVAIS, 2021; IGNOTTI *et al.*, 2010; MEIMEI *et al.*, 2014; RÉQUIA; ABREU, 2011; YAP *et al.*, 2019).

As doenças cardiovasculares (DCV) estão entre os principais problemas mundiais de saúde, das 56 milhões de mortes em 2012 no mundo, cerca de 17,5 milhões (31%) atribuídas às DCV, 6,7 milhões (12%), pelas doenças cerebrovasculares (DCBV), e com 7,4 milhões (13%) causadas pelas doenças isquêmicas do coração (DIC) e em 2013, no Brasil, as DCV causaram 339.672 óbitos (28%), foi primeira causa entre pessoas com mais de 60 anos, à segunda causa entre as pessoas com 20 a 59 anos de idade, onde recorrentemente, as pesquisas epidemiológicas sobre as doenças cardiocasculares têm focado nos fatores de risco comportamentais e biológicos relacionados ao indivíduo. Sua grande carga tem sido apresentada à grande predominância de principalmente fatores modificáveis como uso prejudicial de álcool e tabagismo, inatividade física e/ou dieta inadequada precursora de diabetes, hiperlipidemia e hipertensão, assim existem um ascendente interesse, nas pesquisas epidemiológicas, sobre a influência de determinantes contextuais referentes ao local de residência (SILVEIRA e JUNGER, 2018).

Indubitavelmente, o desenvolvimento econômico tem sido acompanhado de melhorias dramáticas na saúde humana, mas, paradoxalmente, tem sido acompanhado por novas ameaças ambientais que podem minar esses ganhos.

2.1.2 Material Particulado

Atualmente, grande parte da poluição gerada está localizada nos centros urbanos e está associada à queima de combustíveis fósseis para produção de energia que abastece setores como transporte, eletricidade e indústria, pois a qualidade do ar em uma área é afetada diretamente pelo nível de poluição do ar. Associado a um complexo sistema de fontes de emissão estacionárias (indústria, queima de resíduos, emissões naturais, etc.) emissões para a atmosfera de contaminantes na qualidade do ar, pois devido aos impactos negativos à saúde e ao meio ambiente, é necessário um monitoramento mais amplo da qualidade do ar, considerando múltiplas áreas para obter dados que ajudem a formular medidas que visem à redução de riscos e impactos à saúde relacionados com a influência da natureza (GALETTI, 2020).

A poluição do ar é um dos mais sérios riscos ambientais para a saúde no Brasil. Ela pode ser formada por partículas em suspensão advindas de ações antropogênicas (indústrias, queima de biomassa e combustíveis, mineração, agrotóxicos e etc.) e também de processos naturais (pólen, erosão do solo). A literatura apresenta muitos estudos ligando a poluição do ar com todos os casos de mortalidade e morbidade, sugerindo que as políticas públicas contra a poluição melhoram a qualidade de vida e reduzem o número de mortes. Assim estimar o valor de tal benefício é primordial.

Nas últimas décadas, os poluentes atmosféricos têm recebido grande atenção, devido aos altos níveis de contaminação do ar e os resultados na aptidão dos seres vivos e mudanças no clima mundial, onde o ar excepcional é um problema preocupante, principalmente nos grandes centros urbanos em que níveis excessivos de poluentes causam inúmeros efeitos terríveis à saúde da população e ao meio ambiente, porque os poluentes do ar, empurrados com a ajuda do boom demográfico e da atenção da população nas áreas da cidade, pioram continuamente, sendo de importância essencial para apreender seus resultados, que afetam a aptidão humana, portanto, no Brasil, as mortes por poluentes atmosféricos aceleraram com o auxílio do uso de 14% em dez anos e em consonância com a Organização Mundial da Saúde (OMS), são quilômetros previstos que 4,2 milhões de mortes prematuras sejam atribuídas aos poluentes anualmente do ar no mundo, os poluentes atmosféricos estão imediatamente

relacionados com a variedade de mortes e descargas de centros de saúde relacionadas com problemas respiratórios e de câncer, doenças cardiovasculares, condizente com a publicidade à poluição do ar, causa péssimos resultados de condicionamento físico e tem sido um dos motivos fundamentais de internação por doenças respiratórias, e podemos apontar alguns efeitos que a poluição primária do ar pode causar como: menor em características pulmonares, respiratórias e doenças cardiovasculares (ALMEIRA, et al.2015; DAPPER, et al. 2016; FREITAS; et al. 2013; LOPES, et al. 2017; MACHIN, 2017; MENDES, 2019; SANTOS, 2016; SILVA e VIEIRA, 2017; TIBULO, 2021).

Pois como consequência do comércio global, indivíduos isolados geograficamente do usuário final de um produto, frequentemente experimentam as exposições ambientais mais prejudiciais durante o ciclo de vida desse produto (por exemplo, processos de fabricação e descarte). Por exemplo, a exportação de resíduos de equipamentos eletrônicos para países subdesenvolvimento onde a reciclagem não regulamentada resultam em exposição a metais pesados e químicos tóxicos (FURIE; BALBUS, 2012).

A poluição do ar consiste em uma mistura complexa de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar (a chamada matéria particulada) que variam em tamanho, composição e origem, e diferentes tipos de gases como o ozônio (O_3), óxidos de nitrogênio (NO_2), compostos orgânicos voláteis (COV) e monóxido de carbono (CO) (TORRICELLI, et al., 2011).

Podemos observar que diversos fatores sociais e econômicos podem refletir em mudanças dos efeitos do (PM) material particulado que o indivíduo foi exposto, além do efeito da temperatura sobre a saúde dele, pois geralmente as populações que se encontram em condições de vida mais desfavoráveis são mais afetadas por essa situação, além de problemas de saúde e maior tempo de exposição, onde alguns autores afirma que esses impactos negativos ambientais vão contribuir para ampliar as desigualdades socioeconômicas locais, enquanto outros a localizam e a disposição geográfica podem variar o nível sobre a exposição aos poluentes (RODRIGUES, IGNOTTI e HACON, 2019).

Já a queima de biomassa é uma importante fonte antropogênica de poluição atmosférica. A partir da Revolução Industrial, surgiram novas fontes de poluição como a queima de combustíveis fósseis nos motores a combustão. A poluição atmosférica pode ser definida como a presença de substâncias estranhas na atmosfera. As fontes naturais de poluição do ar são a queima acidental de biomassa (qualquer material derivado de plantas ou animais) e erupções vulcânicas (CANÇADO, et al., 2006).

Segundo Arbex (2012), a definição de um ar considerado poluído, classificados em primários e secundários, é uma mistura de gases e de partículas (material particulado - MP) que são emitidos para a atmosfera por veículos automotivos, queima de combustíveis fósseis, por indústrias, queima de biomassa e termoeletricas.

Assim o MP é um poluente que varia em formato, área de superfície, número, tamanho e composição química, dependendo da fonte emissora. É classificado de acordo com o tamanho das partículas em suspensão: partículas com até 30 μm de diâmetro; partículas com diâmetro inferior a 10 μm (MP₁₀ ou fração inalável); partículas com diâmetro inferior a 2,5 μm (MP_{2,5} ou fina); e partículas com diâmetro menor que 10 μm (MP_{0,1} ou ultrafina). Podem ser formados por vários elementos químicos, incluindo um núcleo de carbono elementar ou orgânico, compostos orgânicos e inorgânicos, sais solúveis, metais de transição e material biológico (ARBEX, 2012).

O material particulado é uma mistura de partículas líquidas e sólidas de tamanhos diferentes (dependendo da composição) em suspensão no ar. O MP decorrente da combustão (ambientes externo ou interno) de biomassa é o poluente que apresenta maior toxicidade e que tem sido mais estudado. Ele é constituído (94%) por partículas finas e ultrafinas, que atingem as porções mais profundas do sistema respiratório, transpõem a barreira epitelial, atingem o interstício pulmonar e são responsáveis pelo desencadeamento do processo inflamatório. As partículas grossas (principalmente material do solo e cinzas) dificilmente os ventos as transportam e as partículas finas são transportadas até longas distâncias (ARBEX, 2004; CANÇADO, *et. al.*, 2006).

Na literatura científica, são discutidas três hipóteses para os efeitos prejudiciais da temperatura e da poluição em determinados subgrupos: a primeira está relacionada à exposição diferencial, de que grupos com piores condições socioeconômicas podem ser mais suscetíveis aos efeitos da poluição do ar. Extremos do ar e da temperatura; a segunda é a suscetibilidade diferencial, de que grupos com condições de vida precárias podem ser mais suscetíveis à poluição do ar e da temperatura por causa de sua grande sobreposição de fatores de risco e falta de acesso a cuidados de saúde; a terceira hipótese mostra que a interação do produto de os dois primeiros fatores, uma combinação de maior exposição e suscetibilidade, onde diferentes exposições podem explicar parcialmente por que os efeitos prejudiciais da temperatura e da poluição do ar na saúde da população podem variar de acordo com as condições de residência e tráfego à poluição do ar e à temperatura em zonas consideradas urbanas, tem devido as altas taxas de pavimentação das ruas e também das construções com

concreto e à alta emissão de diversos e diferentes poluentes no ar (RODRIGUES, IGNOTTI e HACON, 2019).

É oportuno salientar que a determinação da Agência de Proteção Ambiental Americana para controle de partículas menores ou iguais a $10\text{ }\mu\text{m}$ (PM_{10}), pois essas partículas à medida que vão se depositando no trato respiratório, passam a ser removidas por mecanismos de defesa (espirro, a tosse e o aparelho mucociliar). Aproximadamente 50% do material particulado no interior das casas são provenientes do ambiente externo. O restante tem origem na combustão de tabaco, no fogão a gás ou indeterminada (CANÇADO, *et. al.*, 2006).

As internações por doenças respiratórias cobram da população um preço de aproximadamente 800 milhões de reais dentro do país de São Paulo em um período de 3 anos (2016-2018), e em Taubaté, uma cidade de médio porte, foram gastos aproximadamente 7 milhões valores reais dentro da mesma duração, em que tais valores atraíram a atenção dos pesquisadores para este e outros problemas de aptidão que também foram relacionados à poluição atmosférica. A poluição do ar fundamental: dependem de partículas, monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio, dióxido de enxofre e ozônio. O material particulado é o material particulado com diâmetro menor que $10\mu\text{m}$, considerado uma partícula inalável, pois pode penetrar no sistema respiratório, visto que o monóxido de carbono é um combustível inodoro e incolor derivado da queima inacabada de combustíveis de origem natural, sua fonte fundamental são automóveis e o dióxido de enxofre vem da queima de combustíveis que contêm enxofre, e uma das razões fundamentais da chuva ácida, e o ozônio e o dióxido de nitrogênio é a poluição secundária, moldada por meio da resposta química de compostos naturais instáveis e do nitrogênio, sendo perigoso para a saúde do indivíduo e a vegetação (RIBEIRO, NASCIMENTO, 2020).

Nos Estados Unidos, para cada 3.500 atendimentos de emergência há 265 hospitalizações por alergias brônquicas, 240 por diferentes doenças respiratórias e setenta e cinco mortes associadas a poluentes do ar, semelhante a 188 mil atendimentos de emergência por exacerbações de alergias brônquicas e uma observação chinesa relacionada uma elevação média de $10\text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ da contagem de partículas número 10 microns em dias, que aumentou com o uso de 0,35% na mortalidade geral, aumentou com o uso de 0,44% na mortalidade cardiovascular e com o uso de 0,56% na mortalidade respiratória, e dentro de São Paulo, relacionando se a cada dia estágios de mortes por poluentes do ar em idosos, internações e mortes por doenças respiratórias na infância e doenças cardiovasculares em adultos, devido ao desdobramento de 4.500 toneladas métricas em degrau com ano de número de contagem de partículas, diminuindo a expectativa de vida com o uso um ano e meio centro em comparação

com cidades dentro do interior e com o boom de cem $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na atenção do número de contagem de partículas em 24 horas, houve um boom de oito a 17 mortes de adultos por dia, representando um aumento de 13% na mortalidade diária (LIU; et al., 2016; MEIMEI et al., 2014; MOURA *et al*, 2020).

Já outras pesquisas evidenciaram uma associação entre doenças cardiovasculares e a poluição do ar, entre as o $\text{PM}_{2,5}$ e as doenças isquêmicas do coração, mas estratificadas pelo gênero, e os dois sexos apresentaram significância, realizado numa cidade de porte médio São José dos Campos – SP, também apresentaram dados sobre a associação do infarto agudo do miocárdio e os poluentes CO e SO_3 , com diferenciação entre os dois sexos, e sobre o SO_3 só tem significância para o sexo feminino (RIBEIRO, NASCIMENTO, 2020; TUAN et al, 2016).

Para Cançado, *et al.* (2006), os principais poluentes que afetam o cotidiano das populações, principalmente as que vivem em grandes centros urbanos.

- **Ozônio (O_3):** Presente na troposfera, é formado por uma série de reações catalisadas por raios ultravioleta com óxidos de nitrogênio (NO_x) e hidrocarbonetos. O ozônio pode ser oxidante e citotóxico, quando atinge as porções mais distais das vias aéreas.
- **Dióxido de enxofre (SO_2):** Resultantes da combustão, por exemplo, do carvão e petróleo, podendo ser transportado para regiões distantes, aliados a aerossóis ácidos como o sulfato (SO_4^{--}), o bissulfato (HSO_4^-) e o ácido sulfúrico (H_2SO_4), causam inflamação do trato respiratório por apresentarem $\text{pH} < 1$.
- **Monóxido de carbono (CO):** Uma das fontes emissoras mais comuns são os veículos automotivos, sabe-se que uma pequena quantidade de monóxido de carbono pode saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina, diminuindo a capacidade de respirar, o que pode causar hipóxia tecidual.
- **Óxidos de nitrogênio (NO_x):** As principais fontes de óxido nítrico (NO) e dióxido de nitrogênio (NO_2) são os automóveis. Assim formando ozônio, chegando a poluir a troposfera. E quando inalado, atinge as porções mais periféricas do pulmão devido à sua baixa solubilidade em água, sendo tóxico pelo de fato ser um agente oxidante.

A qualidade (níveis de produção, ventilação e poluentes) do ar em ambientes fechados, com a queima de combustíveis para cozinha como poluição mais estudada, é uma das principais causas de doenças crônicas na América Latina com 7% das mortes em 2010. Os impactos para a saúde da poluição em ambientes internos, onde mulheres e crianças costumam passar mais tempo que outros grupos, incluem aumento da pressão arterial, aumento no risco de doença pulmonar obstrutiva crônica em crianças com até cinco anos,

aumento da viscosidade sanguínea, pneumonia, aumento da progressão da arteriosclerose, a alterações da coagulação, catarata, aumento de marcadores inflamatórios (proteína C reativa, fibrinogênio), doenças cardiovasculares, à redução da variabilidade da frequência cardíaca, câncer de pulmão principalmente nos adultos (CANÇADO, et *al.*, 2006; FAJERSZTAJN; VERAS; SALDIVA, 2016).

Assim a crescente demanda por energia, atendida principalmente pela combustão de combustíveis fósseis, é talvez a maior ameaça à saúde ambiental associada ao desenvolvimento econômico. A poluição atmosférica externa é responsável por 1,3 milhão de mortes por ano (FURIE; BALBUS, 2012). Logo, os governos podem utilizar uma combinação de subsídios, descontos fiscais e impostos para promover o desenvolvimento em energias renováveis alternativas (MILLER, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 LOCAL DE ESTUDO

Sorocaba é um município brasileiro, localizado no estado de São Paulo. Possui uma área de 450,38 km². A Região Metropolitana de Sorocaba é composta por 26 municípios que somam aproximadamente 2,06 milhões de habitantes, sendo a quarta maior do estado, depois da Região Metropolitana de São Paulo, da Região Metropolitana de Campinas e da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (IBGE, 2019).

Segundo estimativas de 2018 feitas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2018), a população é de 671.186 milhões habitantes, com 1304,18 hab/km². Apresenta um IDH (Índice de Desenvolvimento Humano) de 0,798 e conta com 17 hospitais privados e 11 hospitais que atendem ao Sistema Único de Saúde (SUS), que disponibilizam cerca de 1400 leitos para internação (IBGE, 2015).

A cidade de Sorocaba começou sua economia no período do bandeirismo, com acordos comerciais e da mineração. Por sua localização geográfica se tornou um centro econômico. Por volta do ano de 1852 iniciou-se um movimento fabril, mas manteve a produção de algodão. Já em 1875 foi construída a Estrada de Ferro Sorocabana, possibilitando melhoria no escoamento da produção, logo em 1890 com o surgimento de novas indústrias, a cidade chegou a receber o nome de “Manchester Paulista” por alguns pesquisadores. Além de fazer divisa com Tatuí, Itu, Itapetininga e Osasco como apresentado na Figura 1, nas coordenadas 23,45° Sul e 47,48° oeste.

Figura 1 – Localização de Sorocaba – SP.



Fonte: Adaptado de Google (2019).

Atualmente a economia de Sorocaba está concentrada em indústrias e no comércio. O centro da cidade é urbanizado cujas ruas, vias e estradas de acesso apresentam um tráfego diário intenso. Vista do centro da cidade (Figura 2). Cidade de Sorocaba possui um aeroporto, que conta com as instalações da Embraer, Parque Tecnológico de Sorocaba (PTS) que é um ambiente criado para atrair e acomodar empresas intensivas em tecnologia, instituições de ensino e pesquisa. Desta forma, o PTS facilita o acesso ao conhecimento bem como ao mercado, pela aproximação com possíveis desenvolvimentos e inovação tecnológica assim como oportunidades comerciais, em nível nacional e internacional (IBGE, 2016).

Figura 2 – Vista do centro da cidade Sorocaba-SP.



Fonte: Adaptado de Google (2019).

Os níveis de poluição presentes em Sorocaba têm origem principalmente nas emissões das indústrias, além da grande frota de veicular que supera 430 mil veículos (DETRAN, 2016).

Outras pesquisas utilizando uma metodologia com similaridade a utilizada aqui, vem apresentando como resultado que em cidades brasileiras que possuem estações para monitoramento de poluentes e da qualidade do ar, podem assim iniciar discussões com ações para diminuir a quantidade dos poluentes e a exposição desses poluentes sobre a população, tendo os gestores podem criar programas que buscam um ar mais limpo, alinhando em diversos setores da sociedade como a indústria, o transporte e o uso do solo, para alcançar uma maior qualidade de vida para a população (GOUVEIA, 2019).

3.2 METODOLOGIA

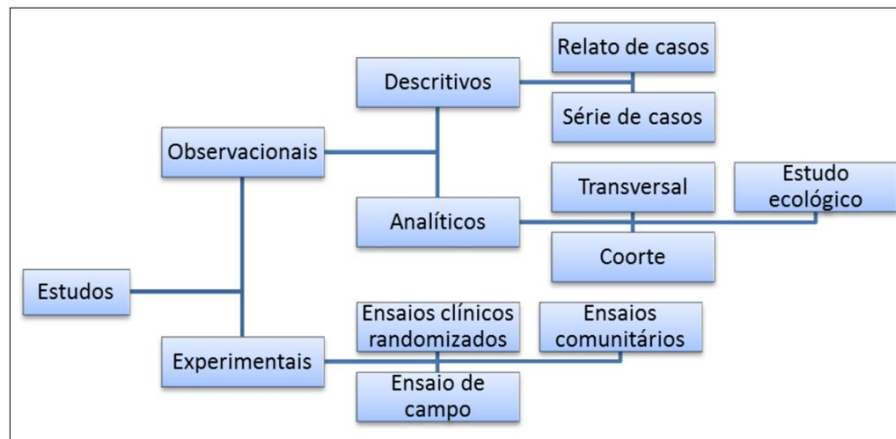
Aplicou-se uma metodologia, estudo ecológico de séries temporais (Figura 3), para identificar áreas e grupos populacionais mais vulneráveis a este tipo de poluição ambiental. Assim os estudos ecológicos contribuem para avaliar o impacto de processos sociais ou intervenções no ecossistema que a comunidade está inserida. Pode-se utilizar variadas fontes de dados secundários, mas estes muitas vezes podem estar incompletos e com falta dos cofatores da causa (AMANCIO; NASCIMENTO 2014; MANTOVANI, 2016). A pesquisa de Paiva (2014) confirmou a associação entre as internações e a exposição à concentração elevada de monóxido de carbono e organizou uma metodologia para quantificar em valores monetários o que poderia ser direcionado a políticas públicas para diminuir os problemas de saúde.

Logo para a realização destes estudos foi necessário da coleta e disponibilidade de dados de boa qualidade e de forma contínua. O conhecimento do comportamento temporal da poluição do ar forma subsídios para o planejamento dos órgãos ambientais. Os dados por meio de análises estatísticas multivariadas de séries, análise de correlação, análises temporais e/ou regressão. Utilizou a regressão logística, como uma metodologia estatística que visa estimar probabilidades de ocorrências em variáveis dependentes do tipo binário. Ela é uma ferramenta da estatística para situações nas quais se deseja prever a presença ou ausência de uma determinada característica ou resultado, baseado em valores de um conjunto de variáveis independentes (LEITE *et. al.*, 2011).

Contudo, outros fatores de risco ligados às condições sócias e sanitárias estão também associados ao desenvolvimento de doenças respiratórias na infância, especialmente no primeiro ano de vida. Além da faixa etária selecionada para o estudo, diversos autores sustentam que os grupos mais sensíveis à exposição aos poluentes atmosféricos são as crianças menores de cinco anos, os idosos, e pessoas portadoras de doenças respiratórias ou cardíacas (SILVA, *et al.*, 2010).

Já que os efeitos causados ao meio ambiente e à saúde da população por causa da emissão destes poluentes, em especial dos materiais particulados, podem não ser apenas locais, pois dependem de fatores da região como, por exemplo, o relevo do entorno do ponto de emissão, as condições meteorológicas e a natureza dos poluentes, isso significa que estes poluentes podem viajar milhares de quilômetros pela atmosfera, atingindo assim comunidades distantes do ponto de emissão (LEITE *et al.*, 2011).

Figura 3 – Tipos de estudos epidemiológicos.



Fonte: Adaptado de Souza, Correr, (2015).

O estudo ecológico vem se tornando o principal delineamento para estudos envolvendo a poluição do ar e saúde, pois orienta a observação de populações para pesquisar a associação dos eventos. A partir dos dados (frequência e exposição) ecológicos da doença aliado com a análise de métodos estatísticos, espera-se encontrar associação entre a doença e fatores, para calcular estimativas de efeito, de risco. Os métodos mais utilizados são os vários tipos de regressões. Os estudos ecológicos contribuem para avaliar o impacto de processos sociais ou intervenções no ecossistema que a comunidade está inserida. Pode-se utilizar variadas fontes de dados secundários, mas estes muitas vezes podem estar incompletos e com falta dos cofatores da causa (GAVINIER; NASCIMENTO, 2014; MANTOVANI, 2016).

Segundo a pesquisa feita por Paiva (2014) demonstrou a associação entre as internações e a exposição à concentração de monóxido de carbono e doenças respiratórias. Ele organizou a metodologia que permitiu quantificar em valores monetários que poderia ser direcionado a políticas públicas para diminuir os problemas de saúde relacionados principalmente com a poluição do ar.

O conceito de Anos Potenciais de Vida Perdidos (APVP) quantifica o número de anos de vida não vividos quando a morte ocorre em determinada idade abaixo da expectativa de vida. Para cada morte ocorrida se contabiliza a quantidade de APVP subtraindo da idade limite, a idade em que a morte ocorreu. Assim, por exemplo, se uma pessoa que morreu com 30 anos, em uma expectativa de vida de 70 anos, estaria sendo privada em 40 anos de APVP. O total de APVP pode ser calculado por diferentes variáveis como causa do óbito, por sexo, por município ou outra variável de interesse. Para aumentar a comparabilidade do indicador, além de expressar os APVP sob forma de números absolutos, pode-se calcular taxas por 1000 habitantes, APVP por óbito ou proporções em relação ao total.

A expressão (1) fornece o APVP é a seguinte:

$$APVP = \sum (70 - i - 0,5) * d_i \quad (1)$$

Sendo i é a idade do óbito e d_i é o número de óbitos.

Um dos bancos de dados utilizados é o DATASUS (Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde), que tem a função de controle e processamento das contas referentes à saúde. Outro banco de dados utilizado foi a da CETESB, a agência do Governo do Estado responsável pelo controle, fiscalização, monitoramento e licenciamento de atividades geradoras de poluição. Neste portal são coletados os dados dos níveis dos poluentes ambientais: material particulado (PM_{10}), em suas médias diárias, bem como, a temperatura média estimada. E do portal do DATASUS, serão selecionadas as informações referentes ao município de residência, nascimento, sexo, valor total, data de internação, data de saída, diagnóstico principal, idade, dias de permanência e morte.

Outro item a ser discutido refere-se ao fato das manifestações biológicas no indivíduo estarem associados aos efeitos da poluição, que podem ou não ocorrer no mesmo dia, ou em dias subsequentes, assim adotou-se o modelo de estrutura de defasagem (*lag*), de até sete dias após a exposição, para melhorar os cálculos estatísticos. Pois os atendimentos ocorridos em um dia podem ter sido correlacionados sobre a poluição do mesmo dia ou dia anterior.

Em seguida, é descrito o modelo de regressão de Poisson dos modelos lineares generalizados (MLG), com o qual é possível analisar os dados da poluição atmosférica na saúde populacional. Os MLG representam a união de modelos lineares e não-lineares com uma distribuição da família exponencial, que é formada pela distribuição normal, Poisson, binomial, gama, normal inversa e incluem modelos lineares tradicionais (erros com distribuição normal), bem como modelos logísticos. Dentre as famílias dos MLG, a mais utilizada em estudos sobre o impacto da poluição atmosférica na saúde é a de Poisson (TADANO *et al.*, 2009).

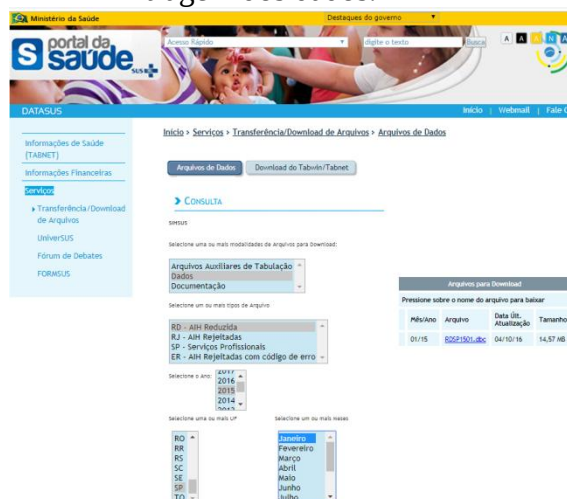
O modelo de regressão de Poisson tem por característica a análise de dados discretos na forma de proporções ou razões de contagem, ou seja, leva em consideração o total de pessoas com uma determinada doença. A variável resposta de uma regressão de Poisson deve seguir uma distribuição de Poisson e os dados devem possuir igual dispersão, ou seja, a média da variável resposta deve ser igual à variância. Em estudos epidemiológicos, é importante coletar dados separados por faixa etária devido à grande diferença existente na reação de cada uma a um determinado fator. Para alguns problemas em particular, existem na literatura aproximações padrões. Utilizar estas aproximações acarretará um aumento na confiabilidade dos dados (TADANO *et al.*, 2009).

Utilizando um estudo ecológico de séries temporais que se caracteriza por envolver um número de eventos ocorridos com uma variável, por exemplo, doenças cardiovasculares, em uma região geográfica e num dado período de tempo definido. Para que o número de casos “associados à poluição do ar e os gastos incorridos com o tratamento das mesmas sejam calculados, deve ser estimada uma função dose-resposta. Seu objetivo principal é determinar uma possível associação entre as variações na intensidade da exposição e na frequência das doenças” (PAIVA, 2014, p.10).

Os dados de internação com diagnósticos segundo CID 10 I-00 a I-99, foram obtidos do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS). Esses dados estão disponibilizados na extensão ‘.dbc’, sendo necessário um procedimento para sua leitura. Estes dados foram expandidos utilizando programa TabWin, disponibilizado na própria página do DATASUS, como ilustra a Figura 5, para o procedimento realizado. Assim uma planilha com os dados de 01 de janeiro de 2015 até 31 de dezembro de 2017 foi construída com os dados do número diário de internações com os diagnósticos I-20 a I-25, I-50, I-60 a I-64 e, as concentrações diárias dos poluentes atmosféricos e as variáveis meteorológicas.

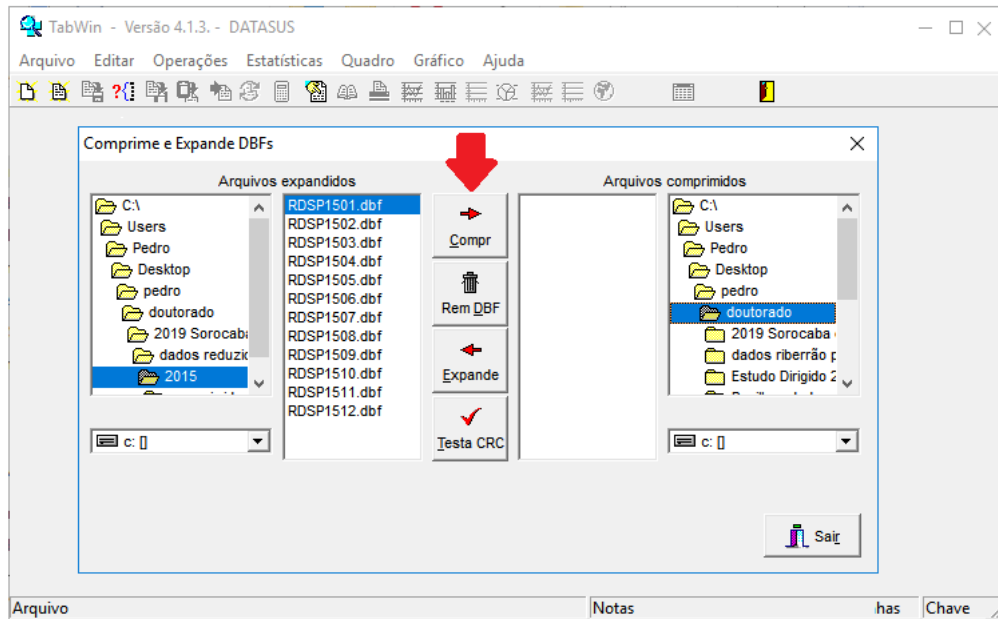
Na Figura 4 refere-se ao banco RDSP1501.dbc, após a expansão do arquivo no programa TabWin como apresentado na Figura 5. A partir deste ponto inicia-se a organização e formatação para posterior análise estatística.

Figura 4 – Acesso ao banco de dados no site DATASUS, para posterior organização e filtragem dos dados.



Fonte: DATASUS (2018)

Figura 5 – Expansão do arquivo utilizando o software TabWin.



Fonte: próprio autor.

A Tabela 1 apresenta a organização dos dados obtidos do sistema do DATASUS, para que o programa estatístico possa ler os dados e realizar os cálculos necessários.

Tabela 1 – Ilustração da tabela construída e organizada com dados extraídos do DATASUS de Sorocaba-SP.

MUNIC_RES	NASC	SEXO	DT_INTER	DT_SAIDA	DIAG_PRINC	IDADE	DIAS_PERM	MORTE
355220	19881003	1	20150105	20150106	1212	26	1	0
355220	19461205	1	20150114	20150118	1210	68	4	0
355220	19610814	1	20141122	20141231	1215	53	39	0
355220	19490125	1	20141228	20150111	1608	65	14	1
355220	19511015	3	20150119	20150123	1772	65	4	0

Fonte: próprio autor.

É importante salientar que a planilha relativa ao mês de janeiro contém dados de meses anteriores, da mesma forma, a planilha de fevereiro, existem informações ao mês de janeiro, logo acessando as planilhas anteriores completou-se os dados necessários para deixar a planilha completa, na versão final, para realização dos cálculos estatísticos. Com os dados apresentados pela CETESEB, foram calculadas as médias diárias de cada poluente do estudo PM₁₀, O₃ e NO₂ medidos em µg/m³. Estes valores foram inseridos na planilha com os dados diários de internação. Foram considerados como variáveis independentes as concentrações

dos poluentes PM₁₀, O₃ e NO₂ além da umidade do ar e temperatura, pois podem interferir direta ou indiretamente nas doenças em estudo.

Foi feita a distribuição de frequência das diferentes variáveis expressas com média, desvio-padrão e valores de mínimo e máximo, onde foram consideradas as concentrações dos poluentes: PM₁₀, O₃ e NO₂ ajustados pela umidade do ar, temperatura e dias da semana e dias do calendário do ano do estudo. Todas as análises foram realizadas por meio do programa estatístico Stata 10. O nível de significância adotado foi de 5%.

Esta análise utilizou o Modelo Linear Generalizado da Regressão de Poisson, controlando a sazonalidade e dias da semana. Os coeficientes fornecidos pelo modelo foram transformados em Risco Relativo (RR) para internação por doenças cardiovasculares (CID 10 I-20 a I-25, I-50 e a I-60) segundo a expressão (2)

$$RR = \exp(\beta) \quad (2)$$

Sendo β o coeficiente obtido pela Regressão de Poisson. Foi calculado também o intervalo de confiança (IC95%) para o RR.

Os coeficientes fornecidos pelo modelo também foram transformados em Risco Relativo (RR) para internação por doenças cardiovascular (CID 10 I-20 a I-25, I-50 e a I-60) quando aumentadas em 10 μ g/m³, as concentrações médias de PM₁₀ segundo a expressão (3)

$$RR = \exp(\beta * \Delta \text{poluente}) \quad (3)$$

Sendo Δ poluente o valor do poluente quando aumentados 10 μ g/m³ na sua concentração, menos o valor do poluente estimado no local.

Além disso, foi estimado o efeito do acréscimo no número de internações hospitalares, dependendo do aumento nos níveis de PM₁₀ por meio da fórmula apresentada na expressão (4)

$$AP = (\exp(\beta * \Delta \text{poluente}) - 1) * 100 \quad (4)$$

Foi calculada a razão atribuível proporcional (RAP) segundo a expressão (5):

$$RAP = [1 - 1/RR] \quad (5)$$

Sendo RR= risco relativo com aumento, para verificar a porcentagem de internados devido aos poluentes.

Com este valor, foi estimada a fração atribuível populacional (FAP) que permitiu estimar o número de internações associado a este aumento, segundo a expressão (6):

$$FAP = RAP * N \quad (6)$$

Sendo N o número de internações por doenças cardiovascular no período estudado. Foi também estimado o custo para o Sistema de Saúde, segundo o valor médio de cada internação para estas doenças selecionadas e que poderiam ser evitadas com a diminuição das concentrações de PM₁₀.

A Tabela 2 contém os valores da expectativa de vida sobre cada faixa de idade, e tais dados foram utilizados para realizar os cálculos do APVP.

Tabela 2 – Informações sobre a expectativa de vida da população brasileira, segundo o IBGE, utilizados para o cálculo do APVP.*

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 ou +	8,5	10,2	9,5

* Valores referentes para a média do brasileiro.

Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao.html>

Fonte: Adaptado de IBGE (2019)

A qualidade do ar pode ser avaliada em diversos níveis tanto local como internacional, a partir de dados das emissões dos poluentes, suas normas e valores, aliados com modelos matemáticos e métodos físico-químicos. Os resultados não se traduzem em conclusões sobre os impactos da poluição, pois seus efeitos dependem de mais fatores como a concentração, da duração da exposição, o clima, o estado nutricional, a predisposição, a idade. Por isso espera-se que os efeitos negativos da poluição sejam amplamente estudados e demonstrados, para que políticas sejam construídas para diminuir esses impactos.

3.2.1 Metodologia e subsídios para organização dos cálculos do APVP no contexto brasileiro

Sobre o Sistema de Internação Hospitalar (SIH/SUS) é possível visualizar os valores das internações financiados pelo SUS para contemplar os serviços hospitalares e profissionais.

Os custos de internação hospitalar estão relacionados com o tempo de internação do indivíduo, sabe-se que cada dia de utilização reflete nos custos. Assim para obtenção das variáveis, acessou as Informações de Saúde (TABNET) escolhendo a opção dos dados consolidados, por local de internação, selecionou-se aos anos.

Os custos relatados neste estudo abordam apenas a hospitalização e não incluem custos de reabilitação, dias de folga, perda de produtividade ou impacto socioeconômico para o estado ou a família, entre outros. Esses valores incluem salários com benefícios, quando o indivíduo está aposentado, considerando uma média dos valores de cada faixa de renda, considerando-se assim o valor de R\$1700,00 por mês. A média adotada sobre o valor da aposentadoria consiste em R\$1700,00 reais, sendo 12 meses + 13^o totalizando 22 mil reais, assim tendo uma aproximação, para o contexto brasileiro, dos valores calculados do APVP no contexto europeu. Não foram aplicados descontos ou ajuste inflacionário devido ao curto período de tempo. O custo teve como base valores em reais (R\$) no ano de 2015.

Foi uma escolha arbitrária no valor do salário, sendo de 2 mil reais, tanto para homem e mulheres, utilizando a coluna da média da tabela do IBGE (Tabela 2), idade de homens e mulheres. Para efeito dos cálculos foi considerado de 41 a 64 anos para homens e mulheres, sem considerar que as mulheres podem se aposentar antes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o período compreendido entre os anos de 2015 a 2017 foram avaliados 232 ocorrências I20-64 com morte, para indivíduos acima de 41 e 64 anos, nem todas vinculadas diretamente com a poluição, mas sim uma porcentagem. Segundo o DATASUS houve um custo em reais da ordem de R\$626 mil reais e um custo de utilização de R\$319 mil reais. Assim utilizando a tabela sobre a expectativa de vida no Brasil, para calcular o APVP, foi multiplicado utilizando a coluna da média (não especificando os cálculos para homem ou mulher), a soma dos anos perdidos totalizadas em 2547 anos alcançando um custo por volta de R\$56 milhões de reais. Assim atribuindo uma perda dessas vidas considerando uma redução de 5% nos poluentes do ar, podemos reduzir o custo em torno de 3 milhões de reais, no ano de 2015 a 2017.

Logo observamos que relativo à saúde com o advento do SUS, o país tornou-se o mais importante no mercado internacional a ter uma máquina pública de saúde baseada principalmente no preceito da universalidade, justiça e integralidade e prevê-se que quase toda a população brasileira, cerca de 80%, depende da máquina para Além disso, movimentos associados ao atendimento pode-se inferir que direito de entrada e seguro de saúde estabelecido não são satisfatoriamente garantidos, muitas vezes enquanto a demanda é maior do que o potencial de entrega da máquina pública há uma inadequação do público investimento para saúde e este exemplo constitui um dos grandes problemas dos sistemas públicos de saúde, sendo uma fonte perene de descontentamento político e social (COVRE et. al 2019).

Nas tabelas 3, 4, 5 a seguir são apresentados os dados organizados sobre as doenças, sobre as internações, utilizadas nos cálculos que geraram este trabalho.

Tabela 3 - Dados de doenças (CID 10 I-20 a I-99) dos indivíduos que vieram a óbito.

	Total	Média	Min	Máx
Total de anos	201369	64,5	41	64
Dias de internação	2091	7,71	1	108

Fonte: próprio autor.

Na Tabela 3 observa-se a soma dos dias de internação para todas as doenças, e a soma dos anos perdidos dos indivíduos que vieram a óbito, por morrerem antes da média estatística

segundo o IBGE. Já na Tabela 4 os dados são apresentados levando em consideração a filtragem.

Tabela 4 - Dados de doenças (CID 10 I-20 a I-25, I-50 e a I-60) dos indivíduos que vieram a óbito.

	Total	Média	Min	Máx
Total de anos	13189	57,09	41	64
Dias de internação	1933	8,36	1	65

Fonte: próprio autor.

*doenças: I200, I210, I211, I219, I500, I607, I616, I620, I629, I635, I640

Tabela 5 - Dados das seis doenças (CID 10 I-20 a I-25, I-50 e a I-60)

	Ocorrências	Óbitos	Porcentagem*
Total	232	214	90,6
I200	12	12	5
I210	9	9	3,8
I211	9	9	3,8
I219	14	14	6
I500	71	71	30
I64	99	99	42

* Soma aproximada das ocorrências das doenças.

** Tabela construída apenas com indivíduos que vieram a óbito.

Fonte: próprio autor.

Já para a Tabela 6 através do modelo linear generalizado da regressão de Poisson foi calculado o risco relativo para as internações por doenças isquêmicas do coração para todos os poluentes analisados, associados e, ajustados a temperatura, e umidade, dia da semana e dias do calendário do ano do estudo, com um intervalo de confiança de 95%. Assim os dados foram analisados pelo modelo de regressão de Poisson, pois os óbitos eram dados numéricos que se seguiram à distribuição de Poisson. Esse modelo forneceu um coeficiente transformado no risco relativo (RR), conforme a expressão $RR = \exp(\text{coeficiente})$. Esses RRs foram calculados, com seus respectivos intervalos de confiança de 95% para internações que vieram a óbito.

Tabela 6 – Coeficientes e desvio-padrão advindos da Regressão de Poisson para as defasagens de sete dias (Lag 0 – Lag 7), no modelo multipolvente, $PM_{10}(\mu g/m^3)$, $NO_2(\mu g/m^3)$ e $O_3(\mu g/m^3)$, sobre Sorocaba-SP de 2015-2017.

	$PM_{10}(\mu g/m^3)$	$NO_2(\mu g/m^3)$	$O_3(\mu g/m^3)$
Lag 0	-0.0004 (0.0015)	0.0003 (0.0007)	-0.0000 (0.0006)
Lag 1	0.0032 (0.0015)*	-0.0013 (0.0007)	0.0014 (0.0006)*
Lag 2	0.0031 (0.0015)*	-0.0008 (0.0007)	0.0014 (0.0006)*
Lag 3	0.0004 (0.0015)	-0.0005 (0.0007)	0.0024 (0.0006)*
Lag 4	0.0027 (0.0015)	-0.0013 (0.0007)	0.0019 (0.0006)*
Lag 5	0.0057 (0.0015)*	-0.0012 (0.0007)	0.0001 (0.0006)
Lag 6	0.0068 (0.0014)*	-0.0010 (0.0007)	0.0009 (0.0006)
Lag 7	0.0042 (0.0015)*	-0.0002 (0.0007)	0.0009 (0.0006)

* p-valor < 0,05
Fonte: próprio autor.

A associação positiva com as interações no modelo multipolvente foi observado nos poluentes O_3 (Lag1-4, Lag 6-7), e o PM_{10} (Lag1-2 e Lag7), pois com a exposição aos poluentes as interações apresentaram um risco relativo indicando que o poluente teve correlação ao óbito.

Cálculos:

→ Lag2 $PM_{10}(\mu g/m^3)$

Coef 0,0032 → RR 1,0072

RAP = $(1 - 1/1,0032) \rightarrow 0,0064$ (6,4%)

FAP = $N \cdot RAP \rightarrow 232 \cdot 0,0064 \rightarrow 1,48$

Custo: R\$ 2.301,44 mil reais

Custo: US\$ 460,29 dólares (considerando o valor do dólar R\$5,00 reais)

↳ Com o aumento de $10\mu g/m^3$

RAP = 0,064

FAP = 14,85

Custo: R\$ 23.018,33 mil reais

Custo: US\$ 4.603,67 dólares (considerando o valor do dólar R\$5,00 reais)

→ Lag2 O₃ (µg/m³)

Coef 0,0014 → RR 1,0014

RAP = $(1 - 1/1,0014) \rightarrow 0,0028$ (2,8%)

FAP = $N \cdot RAP \rightarrow 232 \cdot 0,0028 \rightarrow 0,649$

Custo: R\$ 1,006,88 mil reais

Custo: US\$ 201,38 dólares (considerando o valor do dólar R\$5,00 reais)

↳ Com o aumento de 10µg/m³

RAP = 0,028

FAP = 6,496

Custo: R\$ 10.069,13 mil reais

Custo: US\$ 2.013,83 dólares (considerando o valor do dólar R\$5,00 reais)

Assim podemos observar na Tabela 6, que a exposição ao poluente PM₁₀ apresenta valores de associação significativamente positivos nos Lags 1, 2, 5, 6, 7 tendo como p-valor < 0,05, tendo a mesma situação de significância positiva nos Lags 1, 2, 3, 4 do poluente O₃. Já na Tabela 6 observa-se os valores do Risco Relativo (RR). Portanto vários estudos têm avaliado os efeitos adversos de poluentes do ar sobre a saúde da população, incluindo taxas de mortalidade, de internação e atendimentos emergenciais em hospitais, de doenças cardiovasculares, respiratórias e outras (NASCIMENTO, 2004; SAMOLI *et. al.*, 2008; GUO *et. al.*, 2009; SIMKHOVICH *et. al.*, 2009; OUDIN *et. al.*, 2009; HALONEN *et. al.*, 2009). Alguns estudos demonstram que os níveis de poluição no ar aumentam as taxas de morbidade e mortalidade (SANTOS *et al.*, 2008).

Na Tabela 6 considerando o NO₂ observa-se uma associação negativa, logo com pouca relevância para as internações, ou seja, o que sugere efeito protetor ao parâmetro analisado. Os dados não foram ajustados os dados com as concentrações de CO, porque esse item não é monitorado na estação de coleta de dados, o qual poderia encontrar associações, pois esse composto potencializaria a ação do material particulado fino no número de internações por doenças cardiovasculares.

Tabela 7 – Coeficientes e desvio-padrão advindos da Regressão de Poisson para as defasagens de sete dias (Lag 0 – Lag 7), no modelo multipolvente de $PM_{10}(\mu g/m^3)$ e $O_3(\mu g/m^3)$, sobre Sorocaba-SP de 2015-2017.

	$PM_{10}(\mu g/m^3)$	$O_3(\mu g/m^3)$
Lag 0	-0.0002 (0.0013)	-0.0001 (0.0006)
Lag 1	0.0014 (0.0012)	0.0016 (0.0006)*
Lag 2	0.0019 (0.0012)	0.0011 (0.0006)
Lag 3	0.0002 (0.0013)	0.0024 (0.0006)*
Lag 4	0.0023 (0.0012)	0.0020 (0.0006)*
Lag 5	0.0044 (0.0012)*	0.0004 (0.0006)
Lag 6	0.0058 (0.0012)*	0.0013 (0.0006)*
Lag 7	0.0040 (0.0012)*	0.0008 (0.0006)

* p-valor < 0,05

Fonte: próprio autor.

Cálculos:

→ Lag5 $PM_{10}(\mu g/m^3)$

Coef 0,0044 → RR 1,0044

RAP = $(1 - 1/1,0044) \rightarrow 0,0088$ (8,8%)

FAP = $N \cdot RAP \rightarrow 232 \cdot 0,0088 \rightarrow 2,041$

Custo: R\$ 3.164,49 mil reais

Custo: US\$ 632,90 dólares (considerando o valor do dólar R\$5,00 reais)

↳ Com o aumento de $10\mu g/m^3$

RAP = 0,088

FAP = 20,42

Custo: R\$ 31.655,01 mil reais

Custo: US\$ 6.331,00 dólares (considerando o valor do dólar R\$5,00 reais)

➔ Lag1 O₃ (µg/m³)

Coef 0,0016 ➔ RR 1,0016

RAP = $(1 - 1/1,0016) \rightarrow 0,0032$ (3,2%)

FAP = N*RAP ➔ $232*0,0032 \rightarrow 0,742$

Custo: R\$ 1.150,72 mil reais

Custo: US\$ 230,14 dólares (considerando o valor do dólar R\$5,00 reais).

↳ Com o aumento de 10µg/m³

RAP = 0,032

FAP = 7,424

Custo: R\$ 11.507,69 mil reais.

Custo: US\$ 2.301,54 dólares (considerando o valor do dólar R\$5,00 reais).

Assim pode-se observar na Tabela 7, que a exposição ao poluente PM₁₀ apresenta valores de associação significativamente positivos nos Lags 5,6,7 com o p-valor < 0,05, tendo a mesma situação de significância positiva nos Lags 1, 3, 4, 6 para o poluente O₃. Já na Tabela 9 observa-se os valores do Risco Relativo (RR). Onde os desenvolvimentos industriais, associados ao aumento do consumo de combustíveis fósseis, provocaram uma enorme poluição atmosférica, por exemplo, na China estão afetando a saúde, da população pela ocorrência de poluição atmosférica com altas concentrações de partículas finas (PM_{2,5}) (CHEN, 2017; YANG, 2017). Nas últimas décadas, as observações empíricas de uma associação entre a poluição do ar e um risco cardiovascular foram validadas em estudos epidemiológicos e observacionais, que demonstraram efeitos adversos de vários componentes da poluição do ar sobre mortalidade e morbidade em seletas coortes de pacientes (FOLINO, et al., 2017).

Tabela 8 – Coeficientes e desvio-padrão advindos da Regressão de Poisson para as defasagens de sete dias (Lag 0 – Lag 7), no modelo multipolvente de $PM_{10}(\mu g/m^3)$ e $NO_2(\mu g/m^3)$, sobre Sorocaba-SP de 2015-2017.

	$NO_2(\mu g/m^3)$	$PM_{10}(\mu g/m^3)$
Lag 0	0.0002 (0.0007)	-0.0002 (0.0014)
Lag 1	-0.0015 (0.0007)	0.0054 (0.0014)*
Lag 2	-0.0009 (0.0007)	0.0053 (0.0014)*
Lag 3	-0.0002 (0.0007)	0.0017 (0.0014)
Lag 4	-0.0011 (0.0007)	0.0026 (0.0014)
Lag 5	-0.0013 (0.0007)	0.0066 (0.0014)*
Lag 6	-0.0013 (0.0007)	0.0073 (0.0014)*
Lag 7	-0.0001 (0.0007)	0.0044 (0.0014)*

* p-valor < 0,05

Fonte: próprio autor.

Cálculos:

→ Lag1 $PM_{10}(\mu g/m^3)$

Coef 0,0054 → RR 1,0054

RAP = $(1 - 1/1,0054) \rightarrow 0,0108$ (10,8%)

FAP = $N \cdot RAP \rightarrow 232 \cdot 0,0108 \rightarrow 2,5056$

Custo: R\$ 3.883,70 mil reais

Custo: US\$ 776,74 dólares (considerando o valor do dólar R\$5,00 reais).

↳ Com o aumento de $10\mu g/m^3$

RAP = 0,108

FAP = 25,068

Custo: R\$ 38.855,68 mil

Custo: US\$ 7.771,14 dólares (considerando o valor do dólar R\$5,00 reais).

Assim pode-se observar na Tabela 8, que a exposição ao poluente PM_{10} apresenta valores de associação significativamente positivos nos Lags 1, 2, 5, 6 e 7, tendo como p-valor < 0,05, mas não encontrando significância positiva no poluente NO_2 . Já na Tabela 8 observa-se os valores do Risco Relativo (RR).

Tabela 9 – Coeficientes e desvio-padrão advindos da Regressão de Poisson para as defasagens de sete dias (Lag 0 – Lag 7), no modelo multipolvente de NO₂ (µg/m³) e O₃ (µg/m³), sobre Sorocaba-SP de 2015-2017.

	NO ₂ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)
Lag 0	0.0005 (0.0006)	0.0004 (0.0006)
Lag 1	-0.0005 (0.0006)	0.0014 (0.0006)*
Lag 2	-0.0027 (0.0006)	0.0016 (0.0006)*
Lag 3	-0.0005 (0.0006)	0.0024 (0.0006)*
Lag 4	-0.0006 (0.0006)	0.0017 (0.0006)*
Lag 5	0.0010 (0.0006)	0.0003 (0.0006)
Lag 6	0.0005 (0.0006)	0.0010 (0.0006)
Lag 7	0.0008 (0.0006)	0.0011 (0.0006)

* p-valor < 0,05

Fonte: próprio autor.

➔ Lag1 O₃ (µg/m³)

Coef 0,0014 ➔ RR 1,0014

RAP = $(1 - 1/1,0014) \rightarrow 0,0028$ (2,8%)

FAP = N*RAP ➔ 232*0,0028 ➔ 0,649

Custo: R\$ 1,006,88 mil reais

Custo: US\$ 201,38 dólares (considerando o valor do dólar R\$5,00 reais)

↳ Com o aumento de 10µg/m³

RAP = 0,028

FAP = 6,496

Custo: R\$ 10.069,13 mil reais

Custo: US\$ 2.013,83 dólares (considerando o valor do dólar R\$5,00 reais)

Assim pode-se observar na Tabela 9, que a exposição ao poluente O₃ apresenta valores de associação significativamente positivos nos Lags 1, 2, 3 e 4 tendo como p-valor < 0,05, mas não encontrando significância positiva no poluente NO₂. Já na Tabela 9 observa-se os valores do Risco Relativo (RR).

Portanto, os estudos epidemiológicos possuem evidências de associação entre a exposição aos poluentes atmosféricos e seus efeitos negativos incidindo no número de internações, de mortes e na diminuição da expectativa de vida do indivíduo, por exemplo, com estudos realizados nas áreas urbanas com muito tráfego e poluição, onde cerca de 5% do

total de óbitos por causas respiratórias a cada ano podem ser atribuídos à poluição atmosférica (HABERMANN; MEDEIROS; GOUVEIA, 2011).

A Tabela 10 apresenta os dados que permitem visualizar as porcentagens de todas as doenças apresentadas e as suas ocorrências, ilustrando a associação encontrada a partir dos cálculos apresentados, gerando subsídios para futuras pesquisas para o desenvolvimento de políticas públicas.

Tabela 10 – Análise descritiva das Variáveis com suas médias, respectivos desvios padrão (DP) e valores mínimos (MIN) e máximos (MAX), Sorocaba-SP, 2015-2017.

Variáveis	Obs*	Média	DP	MIN -MAX
NO₂ (µg/m³)	1023	38,40	20,13	5-99
O₃ (µg/m³)	1045	66,38	27,03	10-165
PM₁₀ (µg/m³)	1061	25,70	11,51	9-80
Temperatura (°C)	1095	27,60	4,14	16,5-37,1
Umidade (%)	1095	49,76	15,13	17-96

* Observações: quantidade de dias que houve uma medição.

Fonte: próprio autor.

Na Tabela 10 observa-se as concentrações para o NO₂ (38,4 µg/m³), do O₃ (66,38 µg/m³) e do PM₁₀ (25,7 µg/m³) no ano de 2015-2017, também podem ser observadas as variações de Umidade Relativa Média (17-96%) e a Temperatura Média (16,5-37,1 °C) no período analisado. Observou-se com referência os anos de 2015 a 2017, que foi utilizado o valor de R\$1336,00 reais, média por internação, alcançando o valor total maior que 56 milhões de reais no período. Já na questão sobre os óbitos, consiste nos indivíduos que foram internados e acabaram por falecer, sendo um total de 232 indivíduos como discutido anteriormente.

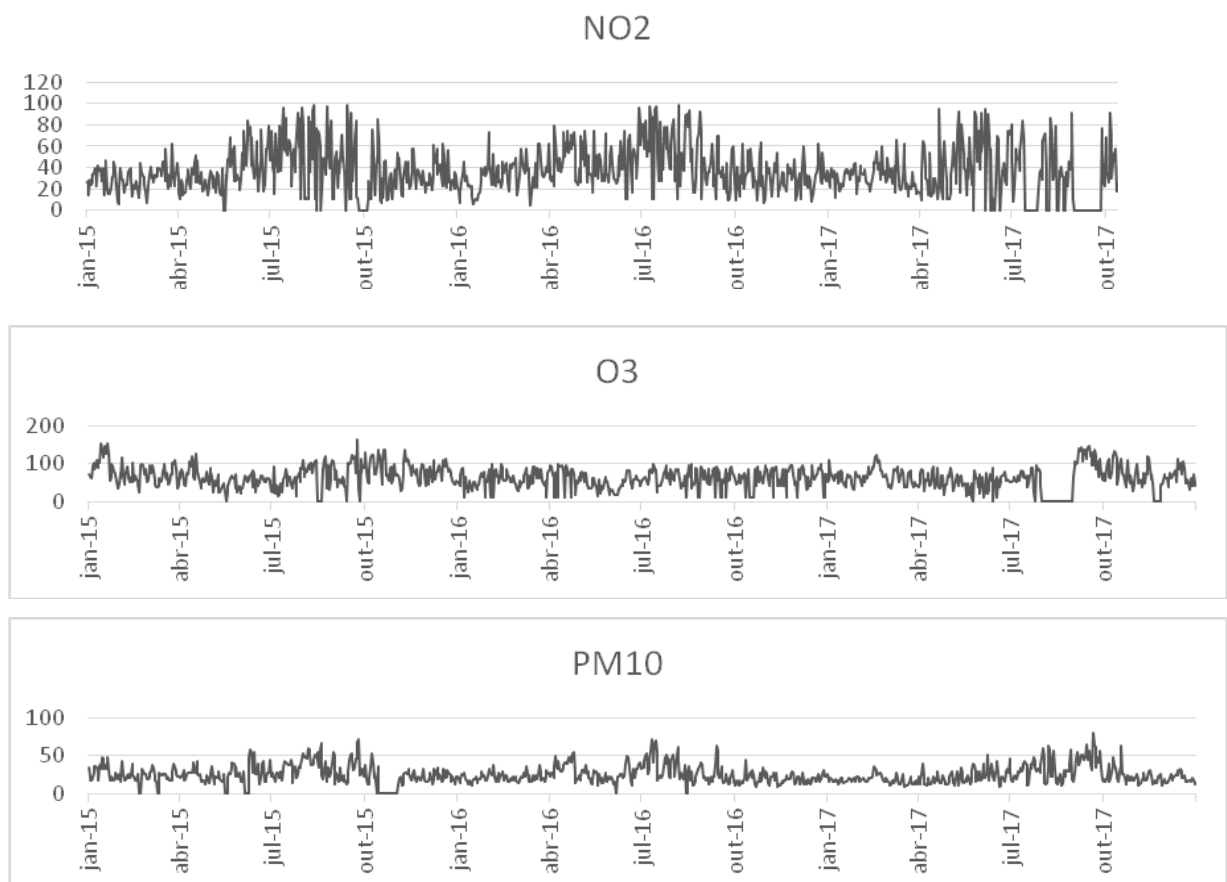
Ao analisar a evolução temporal dos poluentes nota-se o seu comportamento sazonal, utilizando OMS (2019), como pode ser visto na Figura 6, pois sua concentração na atmosfera foi maior nos meses de inverno. Observou-se que o PM₁₀ ultrapassou em vários períodos os 20 µg/m³ anual, pois ao, manter-se abaixo desse valor, pode ser esta associado a benefícios à saúde, além de reduzir e reduzem o risco de mortalidade prematura em aproximadamente 6% [2–11%].

Já o O₃ considerado 100 µg/m³, com média de 8 horas, assim tendo apenas alguns picos, quando ultrapassa este valor pode ter uma associação com um aumento estimado de 1% a 2%

na mortalidade diária (com base nos resultados de estudos diários de séries temporais) podendo chegar a 5% se for $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS, 2019).

Já o NO_2 considerando $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de média anual os picos atingidos ultrapassam os limites definidos pela OMS, nos meses de inverno. Estudos publicados demonstraram que o NO_2 pode ter uma variação espacial mais alta que outros poluentes do ar relacionados ao tráfego, por exemplo, massa de partículas (YANG et al, 2017). Essas associações não podem ser completamente explicadas pela coexposição ao MP, mas foi sugerido que outros componentes na mistura como carbono orgânico e vapor de ácido nitroso podem explicar parte da associação observada.

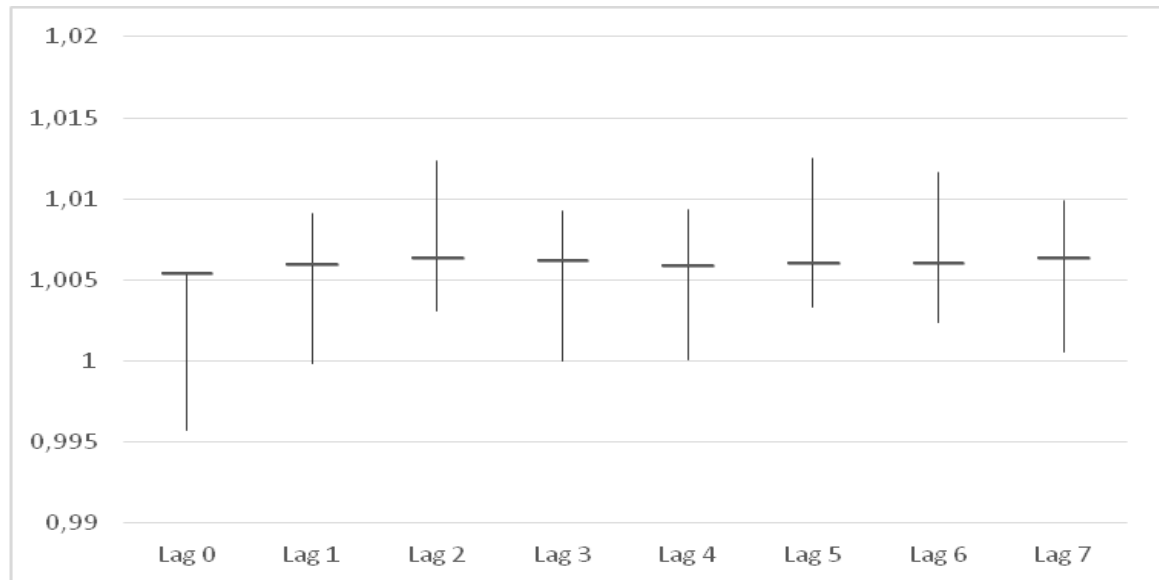
Figura 6 – Concentração diária de poluentes durante o período do estudo, Sorocaba-SP, 2015-2017.*



* Fonte: Adaptado de CETESBE (2019).

Já na Figura 7 podemos evidenciar a alteração dos dados da variável dos poluentes durante todo o intervalo.

Figura 7 – Coeficientes do desvio-padrão da Regressão de Poisson para as defasagens de sete dias (Lag 0 – Lag 7) para óbitos associados a doenças cardiovasculares por exposição, no modelo multipolvente (NO_2 , O_3 , PM_{10}), Sorocaba-SP, 2015-2017.



Fonte: próprio autor.

Com a Figura 7 observamos os valores máximos e mínimos além de verificar a posição da mediana, mas com assimetria negativa nos Lag 0, 1, 3, 4 e outra assimetria positiva nos Lag 2, 5, 6. Já os dados de hospitalização referem-se apenas àqueles que ocorrem na rede pública, excluindo hospitalizações privadas, de planos de saúde ou de operadores de saúde. Os resultados deste estudo devem ser utilizados principalmente para fins contábeis, pois não é possível estabelecer uma relação de causa e efeito entre a exposição a poluentes e as hospitalizações por doenças cardiorrespiratórias, onde há exposição ao PM_{10} .

Este estudo pode ter algumas limitações, pois, não foi considerada a força dos ventos no local do estudo, o que poderia diluir ou aumentar a concentração de poluentes, trazendo poluentes de regiões próximas, o que poderia alterar o número de internações por doenças cardiovasculares. Outra possível limitação é que, embora os dados das hospitalizações tenham sido obtidos de uma fonte oficial (DATASUS), eles podem conter erros de diagnóstico. Além disso, não fornece informações sobre o estado nutricional, histórico médico, condições de vida, tabagismo, entre outros que podem estar associados a doenças cardiovasculares.

É importante enfatizar que o estudo indica uma associação e não uma causalidade. Os resultados apresentados devem influenciar o desenvolvimento de políticas públicas para a redução de poluentes no ar, reduzindo custos para o SUS e melhorando a qualidade de vida da população em geral.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo tem limitações, uma delas é que na pesquisa foram estudados só os poluentes PM_{10} , O_3 , NO_2 , no modelo multipoluentes. O banco de dado não possui dados sobre a velocidade dos ventos no local de estudo, o que poderia diluir as concentrações dos poluentes, ou potencializar as mesmas, trazendo poluentes de regiões próximas, o que poderia influenciar no número de internações. O estudo buscou apontar a existência de associação e não causalidade, onde a confiabilidade das informações é referendada pelos estudos citados.

Outro ponto sobre limitação da pesquisa, os dados se referem à rede pública, que os dados foram obtidos de uma fonte oficial o DATASUS, além dessa fonte se prestar para fins contáveis, mas claro que podem haver erros de diagnóstico, de digitação, esse banco de dados específico que foi utilizado não contém informações sobre o estado nutricional dos indivíduos, informações sobre a sua moradia, se é fumante, pois sendo informações que se coletas devem trazer resultados novos sobre o tema.

Embora existam tais limitações, foi possível encontrar associação entre a poluição do ar e os óbitos por doenças cardiovasculares, onde a exposição ao PM_{10} teve significância estatística em alguns Lags, podendo ser considerado fator de risco para as doenças apresentadas.

Apesar a forte presença na literatura que poluentes no ar causam problemas para a saúde do indivíduo, os bancos de dados de agências ambientais ou governamentais normalmente são os principais utilizados nas pesquisas. Os resultados apresentados devem influir para que sejam desenvolvidas políticas públicas para a redução das concentrações de poluentes no ar, com redução dos custos para o Sistema Único de Saúde (SUS), para os doentes e seus familiares.

6 CONCLUSÕES

Adotando políticas para a regulamentação e conseqüentemente para a redução da emissão de poluentes, deve assim impactar na diminuição de óbitos advindos direta ou indiretamente da poluição. Trabalhos como este contribuem para subsidiar a construção de informações para a sociedade civil e os gestores públicos na organização da legislação. É a partir dos padrões de qualidade do ar que se pode diagnosticar quais os poluentes e quais níveis trazem malefícios para a saúde e assim determinar planos de gestão buscando diminuir as internações em decorrência da poluição.

Assim conclui-se que não é o que podemos fazer a respeito dos poluentes do ar que produzimos, mas sim como podemos evitar a produção desses poluentes. Espera-se que os administradores municipais tenham oportunidade de condições para monitorar os níveis dos poluentes, advindos de diversas fontes como automóveis e indústrias, para que desenvolvam políticas públicas para diminuí-los, pois, como demonstrado houve impactos na saúde dos moradores.

A estatística não é utilizada para acertar, mas para direcionar, orientar estratégias, pois sempre vai ter algum erro por existir a variabilidade. Para tanto que a abordagem estatística e o modelo de estudo escolhido apresentam a associação, mas não obrigatoriamente um efeito causal contribuindo para o desenho de políticas públicas. E como foi encontrada significância em alguns dos Lags, conclui-se que uma diminuição da concentração do material particulado ou dos poluentes representaria uma diminuição nas internações e no custo para o Sistema Único de Saúde (SUS).

Cada vez é mais aceito que o monitoramento da qualidade ambiental é muito importante para contribuir com mudanças no comportamento, desde que sejam comunicados de uma forma que agrade ao público e aumente a preocupação para com o meio ambiente. Sugere-se que os gestores públicos possam com dados advindos de pesquisas como essa, possam controlar e acompanhar as emissões do material particulado e dos poluentes por causarem efeitos negativos para a saúde pública, possam fiscalizar a sociedade, empresas, indústrias e, o transporte público, sempre com o intuito de diminuir as suas emissões.

Deve-se considerar também que o resultado desta pesquisa possa servir como subsidio para pesquisas em cidades com características próximas a de Sorocaba-SP como, por exemplo, a cidade de São José dos Campos-SP ou Taubaté-SP, por também possuírem proximidade com uma rodovia de grande movimento.

Além disso, o resultado dos óbitos analisados neste estudo é um resultado da associação à exposição a diversos poluentes no ar, com associações a internações e a diminuição da expectativa de vida. Assim, observamos um papel importante do PM_{10} quando associado com o risco do aumento do número de óbitos por doenças cardiovasculares no local do estudo.

REFERÊNCIAS

- AMANCIO, C.T.; NASCIMENTO, L. F.C. Poluição ambiental e óbitos devido a acidente vâsculo-encefálico em uma cidade com baixos níveis de poluentes: estudo ecológico de séries temporais. **São Paulo Med. J.**, São Paulo, v.43, n. 9, ed. 43, p. 66-67, 2014. Disponível em: doi.org/10.1590/1516-3180.2014.1326733. Acesso em: 13 jul. 2022.
- ARBEX M.A. *et al.* A poluição do ar e o sistema respiratório. **J Bras Pneumol**, São Paulo, v.3, n.5, p. 643-655, 2012. Disponível em: doi.org/10.1590/S1806-37132012000500015. Acesso em: 13 jul. 2019.
- ARBEX, M.A. *et al.* Queima de biomassa e efeitos sobre a saúde. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**. São Paulo, v. 30, ed. 2, mar/abr, 2004. Disponível em: doi.org/10.1590/S1806-37132004000200015. Acesso em: 22 jan. 2018.
- ARAUJO, O. R.; ARAUJO, M. C. O impacto nulo do Programa de Inspeção Veicular na saúde pública em São Paulo, SP. **Rev Saúde Pública**, São Paulo, ano 43, v. 54, ed. 84, 2020. Disponível em: doi.org/10.1591/1516-3190.2020.1326755. Acesso em: 22 abr. 2021.
- AZEVEDO, V. G.; SARTORI, S.; CAMPOS, L.M.S. CO₂ emissions: A quantitative analysis among the BRICS nations. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, São Paulo, v.4, ed.81, p. 107–115, 2017. Disponível em: [doi: 10.1016/j.rser.2017.07.027](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.027). Acesso em: 28 abr. 2018.
- BARTINGTON, S.E. *et al.* Patterns of domestic exposure to carbon monoxide and particulate matter in households using biomass fuel in Janakpur, Nepal. **Environmental Pollution**. England, ano 2, ed. 220, p. 38-45, 2017. Disponível em: [doi: 10.1016/j.envpol.2016.08.074](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.074). Acesso em: 28 abr. 2018.
- BRAGA A. *et al.* Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, São Paulo, n. 51, p. 58-71, set./nov., 2001. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/35099>. Acesso em: 22 abr. 2018.
- BEELEN, R. *et al.* Effects of long-term exposure to air pollution on natural-cause mortality: an analysis of 22 European cohorts within the multicentre ESCAPE project. **Lancet**, Bethesda, ed.383, p.785–795, 2014. Disponível em: [doi: 10.1016/S0140-6736\(13\)62158-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)62158-3). Acesso em: 22 abr. 2018.
- BROOK, R.D., *et al.* Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. **Circulation**, Bethesda, ed.121, p.2331–2378, 2010. Disponível em: doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181d8e3e1. Acesso em: 22 abr. 2018.
- CANÇADO, J.E.D. *et al.* Repercussões clínicas da exposição à poluição Atmosférica. **J Bras Pneumol**, São Paulo, ed.32, p.5-11, 2006. Disponível em: doi.org/10.1590/S1806-37132006000800003. Acesso em: 22 abr. 2018.
- CARMO, M. E.; GUIZARDI, F. L. O conceito de vulnerabilidade e seus sentidos para as políticas públicas de saúde e assistência social. **Cadernos de Saúde Pública**, São Paulo, v. 34,

p. 12-19, e00101417, 2018. Disponível em: doi: 10.1590/0102-311X00101417. Acesso em: 22 abr. 2019.

CARNESECA, C. E. *et al.* Associação entre a poluição atmosférica por material particulado e contagens mensais de procedimentos de inalação e nebulização em Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 8, p. 1591-8, 2012. Disponível em: http://old.scielo.br/scielo.php?pid=S0102311X2012000800017&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 22 fev. 2018.

CASTRO, H.A. *et al.* Questões metodológicas para a investigação dos efeitos da poluição do ar na saúde. **Rev. Bras. Epidemiol.**, São Paulo, v. 6, n. 2, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbepid/a/76Jcy5cJ8DKG89FvTqNrXZx/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 21 jan. 2017.

CEPEDA, M. *et al.* Levels of ambient air pollution according to mode of transport: a systematic review. **Lancet Public Health**, England, ed. 2, p. 23–34, 2017. Disponível em: doi: 10.1016/S2468-2667(16)30021-4. Acesso em: 22 abr. 2018.

CÉSAR, A.C.G. *et al.* Material particulado fino estimado por modelo matemático e internações por pneumonia e asma em crianças. **Rev Paul Pediatr.**, São Paulo, ed. 34, vol.1, p.18-23, 2016. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4060/406044483005.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2017.

CESARONI, G. *et al.* Long-term exposure to urban air pollution and mortality in a cohort of more than a million adults in Rome. **Environ Health Perspect**, São Paulo, ed.121, p.324–331, 2013. Disponível em: doi: 10.1289/ehp.1205862. Acesso em: 15 fev. 2018.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Dados do Estado de São Paulo de 2015. <http://www.cetesb.sp.gov.br/institucional/>. Acesso em: 20 abr. 2017.

CHEN, J. *et al.* A review of biomass burning: Emissions and impacts on air quality, health and climate in China. **Science of the Total Environment**, Zhen, ed.579, p.1000–1034, 2017. Disponível em: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.025. Acesso em: 22 out. 2018.

CLOUGHERTY, J. E.; KUBZANSKY, L. D. A framework for examining social stress and susceptibility to air pollution in respiratory health. **Ciência & Saúde Coletiva**, São Paulo, ed.15, vol.4, p.2059-2074, 2010. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/630/63018747020.pdf>. Acesso em: 22 out. 2018.

COHEN, A. J. *et al.* Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. **Lancet**, ed.389, p.1907–2018, 2017. Disponível em: doi: 10.1016/S0140-6736(17)30505-6. 22 nov. 2019.

COVRE, E.R. *et al.* Permanence, cost and mortality related to surgical admissions by the Unified Health System. **Rev. Latino-Am. Enfermagem**, São Paulo, v.27: ed.3136, 2019. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17678>. Acesso em: 22 out. 2021.

CORREIA, A. V. S. *et al.* Relação entre queimadas e casos de doenças respiratórias em crianças e idosos na época da seca no Tocantins. **Revista de Patologia do Tocantins**, Palmas, v.7, n.3, p.75-79, 2020. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/patologia/article/view/10270>. Acesso em: 22 out. 2021.

DANIELS, M.J. *et al.* The National Morbidity, Mortality, and Air Pollution Study. Part III: PM₁₀ concentration– response curves and thresholds for the 20 largest US cities. **Res Rep Health Eff Inst.**; French, ed.94, p.23-30, 2004. Disponível em: <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/01.cir.0000128587.30041.c8>. Acesso em: 22 out. 2021.

DAPPER, S. N. *et al.* Poluição do ar como fator de risco para a saúde: uma revisão sistemática no estado de São Paulo. **Estudos Avançados**, São Paulo, ed.2, v.30, n.86, pp.83-97, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/301760839_Poluicao_do_ar_como_fator_de_risco_para_a_saude_Uma_revisao_sistematica_no_estado_de_Sao_Paulo. Acesso em: 22 out. 2017.

DASTOORPOOR, M. *et al.* Air pollution and hospital admissions for cardiovascular diseases in Ahvaz, Iran. **Science of the Total Environment**, India, ed.3, v.652, p.1318-1330, 2019. Disponível em: doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.10.285. Acesso em: 22 set. 2021.

DATASUS. Banco de dados do Sistema Único de Saúde, Brasil, Ministério da Saúde. Disponível em: <http://datasus.saude.gov.br/datasus>. Acesso em: 20/04/2017

EEA **Air Quality in Europe Report**. EEA Report No 5/2014. European Environment Agency, Copenhagen. 2014. Acesso em: 22 set. 2021.

EBI, K.; MCGREGOR, G. Climate change, tropospheric ozone and particulate matter, and health impacts. **Ciência & Saúde Coletiva**, São Paulo, ed.14, vol.6, p.2281-2293, 2009. Disponível em: <https://scielosp.org/article/csc/2009.v14n6/2281-2293/en/>. Acesso em: 22 set. 2021.

FAJERSZTAJN, L. *et al.* Como as cidades podem favorecer ou dificultar a promoção da saúde de seus moradores? **Estudos Avançados**, São Paulo, ed. 30, v. 2, p. 86, 2016. Disponível em: doi.org/10.1590/S0103-40142016.00100002. Acesso em: 22 set. 2021.

FOLINO, F. *et al.* Association between air pollution and ventricular arrhythmias in high-risk patients (ARIA study): a multicentre longitudinal study. **Lancet Planet Health**, England, p.58–64, 2017. Disponível em: doi: 10.1016/S2542-5196(17)30020-7. Acesso em: 22 set. 2019.

FOROUZANFAR, M.H. *et al.* Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. **Lancet**, England, ed.386, v.2, p.2287–2323, 2015. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(15\)00128-2/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(15)00128-2/fulltext). Acesso em: 22 set. 2019.

FREITAS, C. U. *et al.* Poluição do ar em cidades brasileiras: selecionando indicadores de impacto na saúde para fins de vigilância. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, Brasília, v.22, n.3, p.445-454, jul./set. 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/journal/5606/560662195049/html/>. Acesso em: 12 ago. 2019.

FURIE, G.L.; BALBUS, J. Global environmental health and sustainable development: the role at Rio+20. **Ciência & Saúde Coletiva**, São Paulo, ed. 17, v. 6, p. 1427-1432, 2012. Disponível em: doi.org/10.1590/S1413-81232012000600007. Acesso em: 12 ago. 2019.

GALETTI, G. D. Desenvolvimento e aplicação de uma estação de qualidade do ar de baixo custo para monitorar a concentração de material particulado. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n.12, p.101272-101287 dec., 2020. Disponível em: https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/22057?__cf_chl_tk=zJQvePxHMj8H4wQZcH67FKLPFFa.SAw34PQBjOWwdKo-1658183394-0-gaNycGzNCOU. Acesso em: 12 ago. 2021.

GAVINIER, S.; NASCIMENTO, L.F.C. Air pollutants and hospital admissions due to stroke. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 9, n. 3, p. 390-401, 2014. Disponível em: doi.org/10.4136/ambi-agua.1318. Epub 17 Sept 2014. ISSN 1980-993X. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1318>. Acesso em: 12 ago. 2019.

GIODA, A.; AQUINO NETO, F. R. Poluição química relacionada ao ar de interiores no Brasil. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 26, n. 3, p. 359-365, 2003. Disponível em: doi.org/10.1590/S0100-40422003000300013. Acesso em: 12 ago. 2019.

GONÇALVES, K. S. *et al.* Desenvolvimento de modelos não lineares que preveem concentrações diárias de partículas finas usando recuperações ópticas de aerossóis e medições baseadas no solo em um município da região amazônica brasileira. **Atmospheric Environment**, São Paulo, v.184, p.156-165, 2018. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14343>. Acesso em: 13 ago. 2019.

GOUVEIA, N. *et al.* Poluição do ar e impactos na saúde na Região Metropolitana de Belo Horizonte – Minas Gerais, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, São Paulo, v. 24, n. 10, p. 3773-3781, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336189779_Poluicao_do_ar_e_impactos_na_saude_na_Regiao_Metropolitana_de_Belo_Horizonte_-_Minas_Gerais_Brasil. Acesso em: 13 ago. 2020.

GUO, Y. *et al.* The association between fine particulate air pollution and hospital emergency room visits for cardiovascular diseases in Beijing, China. **Science Total Environmental**, Amsterdam, v. 407, p. 4826-4830, 2009. Disponível em: [doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.05.022](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.05.022). Epub 2009 Jun 5. PMID: 19501385. Acesso em: 17 ago. 2018.

GUO Y., *et al.* The association between air pollution and mortality in Thailand. **Sci Rep.**; Thailand, ed.4, p.5509-5535, 2014. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep05509>. Acesso em: 17 ago. 2018.

HABERMANN, M.; MEDEIROS, A.P.P.; GOUVEIA, N. Tráfego veicular como método de avaliação da exposição à poluição atmosférica nas grandes metrópoles. **Rev Bras Epidemiol**;

São Paulo, ed.14, v.1, p.120-30, 2011. Disponível em: doi.org/10.1590/S1415-790X2011000100011. Acesso em: 17 ago. 2018.

HALONEN, J.I. *et al.* Particulate air pollution and acute cardiorespiratory hospital admissions and mortality among the elderly. **Epidemiology**, Cambridge, v.20, p.143-153. 47. 2009. Disponível em: [doi: 10.1097/EDE.0b013e31818c7237](https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e31818c7237). PMID: 19234403. Acesso em: 17 ago. 2018.

HARTOG J.J. *et al.* Do the Health Benefits of Cycling Outweigh the Risks? **Ciência & Saúde Coletiva**, São Paulo, ed. 16, v. 12, p. 4731-4744, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/307774306_Do_the_health_benefits_of_cycling_outweigh_the_risks_Os_beneficios_a_saude_em_andar_de_bicicleta_superam_os_riscos. Acesso em: 17 ago. 2018.

HÉRICK, T. de S. *et al.* Health impact modelling of different travel patterns on physical activity, air pollution and road injuries for São Paulo, Brazil. **Environment International**, São Paulo, ed.108, p.22–31, 2017. Disponível em: [doi: 10.1016/j.envint.2017.07.009](https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.07.009). Acesso em: 17 nov. 2019.

HINRICHS, R.A; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**. São Paulo, Pioneira Thomson Learning, 2003.

IGNOTTI, E. *et al.* Poluição do ar e admissões hospitalares por doenças respiratórias na Amazônia subequatorial: abordagem de séries temporais. **Cadernos de Saúde Pública**, São Paulo, v.26, n.4, p.747-61, 2010. Disponível em: doi.org/10.1590/S0102-311X2011001100017. Acesso em: 17 nov. 2019.

INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.
http://meioambiente.cptec.inpe.br/modelo_cattbrams.php?lang=pt Acesso em: 20/04/2017

JASINSKI, R.; PEREIRA, L.A.A.; BRAGA, A.L.F. Poluição atmosférica e internações hospitalares por doenças respiratórias em crianças e adolescentes em Cubatão, São Paulo, Brasil, entre 1997 e 2004. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, ed. 27, v. 1, p. 2242-2252, 2011. Disponível em: Acesso em: 17 nov. 2019.

KELLY, F. J.; FUSSELL, J. C. Role of oxidative stress in cardiovascular disease outcomes following exposure to ambient air pollution. **Free Radical Biology and Medicine**, São Paulo, ed.110, p.345–367, 2017. Disponível em: [doi: 10.1016/j.freeradbiomed.2017.06.029](https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2017.06.029). Epub 2017 Jun 29. PMID: 28669628. Acesso em: 17 nov. 2019.

KLUMPP, A. *et al.* Novo conceito de monitoramento e comunicação ambiental: a rede europeia para a avaliação da qualidade do ar usando plantas bioindicadoras (EuroBionet). **Revta brasil. Bot.**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 511-518, 2001. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262750591_A_new_concept_of_environmental_monitoring_and_communication_European_network_for_the_assessment_of_air_quality_by_the_use_of_bioindicator_plants_EuroBionet. Acesso em: 17 nov. 2019.

LEITE, R. C. M. *et al.* Utilização de regressão logística simples na verificação da qualidade do ar atmosférico de Uberlândia. **Eng Sanit Ambient**, Minas Gerais, v. 16, n. 1, jan/mar, 175-180, 2011. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/KRzGRFfjQxc5z3mFcBK6PPC/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 17 nov. 2019.

LIU, L. *et al.* Spatial – Temporal Analysis of Air Pollution, Climate Change, and Total Mortality in 120 Cities of China, 2012-2013. **Front Public Health.**, Chen, v. 4, n. 143. p. 1-13, 2016. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2016.00143/full> . Acesso em: 10 set. 2019.

LOPES, M. *et al.* Qualidade do ar, exposição e saúde, como indicadores de desenvolvimento e qualidade de vida nas cidades. In: PIRES, S. M. *et al.* **Indicadores de desenvolvimento sustentável: instrumentos estratégicos e inovadores para municípios sustentáveis** O caso de Estarreja. São Paulo, Aveiro: Editora Instituto Jurídico/Universidade de Aveiro/OHMI/CNRS, p. 258, 2017. Disponível em: doi.org/10.1590/S0104-12902009000300014. Acesso em: 10 set. 2019.

MACHIN, A.B. **Efeitos da exposição a poluentes do ar na saúde humana: internações por doenças respiratórias em Cuiabá, MT.** 2017, 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2017.

MACHIN, A.B. *et al.* Effects of exposure to fine particulate matter in elderly hospitalizations due to respiratory diseases in the South of the Brazilian Amazon. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, São Paulo, v. 52, ed. 8130, 2019. ISSN 1414-431X. Disponível em: doi.org/10.1590/1414-431X20188130. Acesso em: 11 set. 2019.

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, p. e00006617, 2018. Disponível em: doi.org/10.1590/0102-311X00006617. Acesso em: 11 set. 2019.

MANTOVANI, K. C. C. Estudo dos poluentes do ar em um município de médio porte por meio dos dados estimados pelo modelo CCATT BRAMS. 2016, 102 f, Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2016.

MARTINS, P. *et al.* Efeito conjunto da exposição à poluição do ar e aos ácaros do pó sobre as vias aéreas. **Rev Port Imunoalergologia**; São Paulo, ed. 20, v. 1, p. 47-57, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262701881_Efeito_conjunto_da_exposicao_a_poluicao_do_ar_e_aos_acaros_do_po_sobre_as_vias_aereas. Acesso em: 11 set. 2019.

MASCARENHAS, M.D.M. *et al.* Poluição atmosférica devida à queima de biomassa florestal e atendimentos de emergência por doença respiratória em Rio Branco, Brasil - Setembro, 2005. **J. Bras. Pneumol**, São Paulo, ed.34, v.1, p.42-46, 2008. Disponível em: doi.org/10.1590/S1806-37132008000100008. Acesso em: 11 set. 2019.

MILLER, G. T. **Ciência ambiental**. São Paulo, Cengage Learning, 2011.

MEDEIROS, A.; GOUVEIA, N. Relação entre baixo peso ao nascer e a poluição do ar no Município de São Paulo. **Rev. Saúde Pública**, São Paulo, ed. 39, v. 6, p. 965-72, 2011. Disponível em: doi.org/10.1590/S0034-89102005000600015. Acesso em: 11 set. 2019.

MEIMEI, X. *et al.* Spatiotemporal analysis of particulate air pollution and ischemic heart disease mortality in Beijing, China. **Environmental Health**. Zhening, v. 13, n. 109, p. 1-12, 2014. Disponível em: <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-13-109>. Acesso em: 11 out. 2019.

MOORE, J. X. *et al.* Pollution and regional variations of lung cancer mortality in the United States. **Cancer Epidemiology**, England, ed.49, p.118–127, 2017. Disponível em: [doi:10.1016/j.canep.2017.05.013](https://doi.org/10.1016/j.canep.2017.05.013). Acesso em: 11 out. 2019.

MOREIRA, D. M.; TIRABASSI, T.; MORAES, M. R. Meteorologia e poluição atmosférica. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 1-13, 2008. Disponível em: doi.org/10.1590/S1414-753X2008000100002. Acesso em: 11 out. 2019.

MOURA, P. H. *et al.* Análise da qualidade do ar e fatores meteorológicos na cidade de Nova Iguaçu (Rio de Janeiro - Brasil) entre os anos de 2000 a 2016. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 87-99, 2020. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/305>. Acesso em: 11 out. 2021.

NASCIMENTO, L. F. C. *et al.* Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil: um estudo ecológico no Vale do Paraíba. **Revista Brasileira de Saúde Materna e Infantil**, Recife, v. 4, n. 4, p.367-74, out./dez. 2004. ISSN 1518-8787. Disponível em: doi.org/10.1590/S0034-89102006000100013. Acesso em: 11 out. 2019.

NASCIMENTO, L.F. C, *et al.* Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP. **Rev Saúde Pública**, São Paulo, ed. 40, v. 2, p. 77-82, 2006. Disponível em: doi.org/10.1590/1516-3180.2014.00122601. Acesso em: 11 out. 2019.

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, v.9, p.1867-76, 2013. Disponível em: doi.org/10.1590/0102-311X00150012. Acesso em: 11 out. 2019.

NRC. **Research Priorities for Airborne Particulate Matter: III. Early Research Progress**. National Academies Press, Washington, DC, 2001. Acesso em: 11 out. 2019.

OLIVEIRA, B. F. A.; IGNOTTI, Eliane; HACON, S. S. A systematic review of the physical and chemical characteristics of pollutants from biomass burning and combustion of fossil fuels and health effects in Brazil. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, ed.27, vol.9, p.1678-1698, 2011. Disponível em: doi.org/10.1590/S0102-311X2011000900003. Acesso em: 12 out. 2019.

UDIN, A. *et al.* Long-term exposure to air pollution and hospital admissions for ischemic stroke. A register-based case-control study using modelled NO(x) as exposure proxy. **BMC Public Health**, German, v.9, p.301, 2009. Disponível em: doi.org/10.1186/1471-2458-9-301. Acesso em: 12 out. 2019.

PAIVA, R.F.P.S. Morbidade hospitalar por doenças associadas à poluição do ar na cidade de Volta Redonda, Rio de Janeiro: casos e custo econômico. **Cad. Saúde Colet.**, Rio de Janeiro, ed.22, v.2, p.127-32, 2014. Disponível em: doi: 10.1590/1414-462X201400020004. Acesso em: 11 out. 2019.

PIRES, S. M. *et al.* **Indicadores de desenvolvimento sustentável**: instrumentos estratégicos e inovadores para municípios sustentáveis: o caso de Estarreja. São Paulo, Aveiro: Instituto Jurídico/Universidade de Aveiro/OHMI/CNRS, 2017. Disponível em: <https://www.uc.pt/efs/destaques/2017/ij17>. Acesso em: 11 out. 2019.

RAASCHOU, O. *et al.* Traffic air pollution and mortality from cardiovascular disease and all causes: a Danish cohort study. **Environ Health**, Gaslow, ed.11, p.60-75, 2012. Disponível em: doi: 10.1186/1476-069X-11-60. Acesso em: 11 out. 2019.

REIS, L.B.; FADIGAS, E.A.A.; CARVALHO, C. E. **Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável**. Barueri-SP, Manole, 2005.

RÉQUIA, W. J.; ABREU, L. Monteiro. Poluição atmosférica e a saúde de crianças e idosos no Distrito Federal no período de 2007 a 2009: utilização do método de correlação com time delay. **Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde- Hygeia**, São Paulo, v. 7, n. 13, p. 95-108, 2011. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/hygeia/article/view/17072>. Acesso em: 11 out. 2019.

RIBEIRO, P. C.A; NASCIMENTO, L. F. C. Associação do material particulado (PM10) as internações por doenças respiratórias em uma cidade de médio porte uma perspectiva de custo à saúde publica no período de 2016 a 2018. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 68959-68968, 2020. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/view/16712>. Acesso em: 11 jul. 2021.

RIBEIRO, P. C. *et al.* Fine particulate matter and ischemic heart diseases in relation to sex. An ecological time series study. São Paulo, **Med J.** ed.137, v.1, 60-5, 2019. Disponível em: doi.org/10.1590/1516-3180.2018.0239040119. Acesso em: 11 jul. 2021.

RODRIGUES, P.C.O.; IGNOTTI, E.; HACON, S.S. Fatores socioeconômicos aumentam os efeitos nocivos da poluição atmosférica e da temperatura na mortalidade. **Rev Bras Epidemiol**, São Paulo, ed.22, p.1900-1911, 2019. Disponível em: doi.org/10.1590/1980-549720190011. Acesso em: 11 jul. 2021.

SAMOLI, E. *et al.* Acute effects of ambient particulate matter on mortality in Europe and North America: results from the APHENA study. **Environmental Health Perspectives**, Baltimore, v.116, n.11, p.1480-1486, 2008. Disponível em: doi: 10.1289/ehp.11345. Epub 2008 Jun 26. PMID: 19057700; PMCID: PMC2592267. Acesso em: 11 jul. 2021.

CID-10/ Organização Mundial da Saúde; **tradução Centro Colaborador da OMS para a Classificação de Doenças em Português**. São Paulo, ed. 10, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2007.

SANTOS, T. C. **Relação de Variáveis Atmosféricas com a qualidade do ar no Estado de São Paulo**. 2016. 88 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajuba, Itajuba, 2016.

SANTOS, U.P. *et al.* Cardiac arrhythmia emergency room visits and environmental air pollution in Sao Paulo, Brazil. **Jornal of Epidemiology and Community Health**, London, v. 62, n.3, p.267-272, 2008. Disponível em: doi: 10.1136/jech.2006.058123. PMID: 18272743. Acesso em: 11 jul. 2021.

SILVA, A. F.; VIEIRA, C. A. Aspectos da poluição atmosférica: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras. **Revista Ciências e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 3, n. 1, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufca.edu.br/ojs/index.php/cienciasustentabilidade/article/view/180>. Acesso em: 13 jul. 2021.

SILVA, A.M.C. *et al.* Material particulado (PM_{2.5}) de queima de biomassa e doenças respiratórias no sul da Amazônia brasileira. **Rev Bras Epidemiol**; São Paulo, ed. 13, v. 2, p. 337-351, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/rpsp/2010.v27n1/10-16/pt/#ModalArticles>. Acesso em: 13 jul. 2021.

SILVEIRA, I.H.; JUNGER, W.L. Espaços verdes e mortalidade por doenças cardiovasculares no município do Rio de Janeiro. **Rev Saúde Pública**, São Paulo, ed. 52, v. 49, p. 201-222, 2018. Disponível em: doi.org/10.1590/S0066-782X2007000200011. Acesso em: 13 jul. 2021.

SOARES, W. L.; PORTO, M. F. Atividade agrícola e externalidade ambiental: uma análise a partir do uso de agrotóxicos no cerrado brasileiro. **Ciência & Saúde Coletiva**, São Paulo, ed. 12, v. 1, p.131-143, 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/gaia/article/view/41421>. Acesso em: 13 jul. 2021.

SOUZA T.T.; CORRER C.J. **Tipos de estudos epidemiológicos**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Programa de Pós Graduação em Ciências Farmacêuticas Disponível em: <http://pt.slideshare.net/FClinico/tipos-de-estudos-epidemiologicos-26672507>. Acesso em: 20 abr. 2017.

STOCKFELT, L. *et al.* Long-term effects of total and source-specific particulate air pollution on incident cardiovascular disease in Gothenburg, Sweden. **Environmental Research**, Sweden, ed. 158, p. 61–71, 2017. Disponível em: doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.036. Acesso em: 13 jul. 2021.

TADANO J. *et al.* Método de regressão de Poisson: metodologia para avaliação do impacto da poluição atmosférica na saúde populacional. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 12, n. 2, p. 241-255, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/49943407_Metodo_de_regressao_de_Poisson_metodologia_para_avaliacao_do_impacto_da_poluicao_atmosferica_na_saude_populacional. Acesso em: 13 jul. 2021.

TOLEDO, G. I. F. M.; NARDOCCI, A. C. Poluição veicular e saúde da população: uma revisão sobre o município de São Paulo (SP), Brasil. **Rev Bras Epidemiol**; São Paulo, ed. 3, v. 14, p. 445-54, 2011. Disponível em: doi.org/10.1590/0102-311X00128518. Acesso em: 13 jul. 2021.

TORRICELLI, A. A. M. *et al.* Ocular surface adverse effects of ambient levels of air pollution. **Arq Bras Oftalmol**, London, ed.74, v.5, p.377-382, 2011. Disponível em: doi.org/10.1590/S0004-27492011000500016. Acesso em: 14 jul. 2021.

TUAN, T.S.; VENANCIO, T.S.; Nascimento L.F.C. Efeitos da Exposição a Poluentes do Ar no Infarto Agudo do Miocárdio, Segundo Gêneros. **Arq Bras Cardiol**, São Paulo, v.3, ed.107, p.216-22, 2016. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BRJD/article/download/16712/13648>. Acesso em: 14 jul. 2021.

URBINI, G. Internationalization, education and technological innovation: three key factors to improve the quality of the environment and public health. **Rev. Ambient. Água**, São Paulo, v. 10, n. 2 Taubaté, jan./mar. 2015. Disponível em: doi.org/10.4136/ambi-agua.1574. Acesso em: 14 jul. 2021.

VIEIRA, L.C.P.F.S. *et al.* Fuzzy logic and hospital admission due to respiratory diseases using estimated values by mathematical model. **Ciência & Saúde Coletiva**, São Paulo, ed. 24, v. 3, p. 1083-1090, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/xZn3d8W5YsmRnkXhn4h4ZgR/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 14 jul. 2021.

WHO. Burden of Disease from Household Air Pollution for 2012. **Summary of Results**. Public Health, Social and Environmental Determinants of Health Department, World Health Organisation, Geneva, Switzerland, 2014.

WU, X; *et al.* Causal inference in the context of an error prone exposure: air pollution and mortality. **Ann Appl Stat.**; Yingidin, ed.13, vol.1, p.520-547, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1214/18-AOAS1206>. Acesso em: 14 jul. 2021.

YANG, T. *et al.* Model elucidating the sources and formation mechanisms of severe haze pollution over Northeast mega-city cluster in China. **Environmental Pollution**, Zhangin, ed. 230, v. 2, p.692-700, 2017. Disponível em: [doi:10.1016/j.envpol.2017.06.007](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.007). Acesso em: 14 jul. 2021.

YAP, J. *et al.* Particulate air pollution on cardiovascular mortality in the tropics: impact on the elderly. **Environmental Health**, England, v.18, n.2, 2019. Disponível em: [doi:10.1186/s12940-019-0476-4](https://doi.org/10.1186/s12940-019-0476-4). Acesso em: 15 jul. 2021.

YI O. *et al.* Seasonal effect of PM₁₀ concentrations on mortality and morbidity in Seoul, Korea: a temperature-matched case-crossover analysis. **Environ Res.**; Czhen, ed. 110, v. 2, p.89-95, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/26885196_Seasonal_effect_of_PM10_concentration_s_on_mortality_and_morbidity_in_Seoul_Korea_A_temperature-matched_case-crossover_analysis. Acesso em: 15 jul. 2021.