



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades

unesp 


Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

VANESSA VILLALTA LIMA ROMAN

**EFEITOS DA EXPOSIÇÃO AOS POLUENTES DO AR COM BASE
NAS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS CARDIOVASCULARES E
RESPIRATÓRIAS NO MUNICÍPIO DE TAUBATÉ, SP**

Bauru
2014



VANESSA VILLALTA LIMA ROMAN

**EFEITOS DA EXPOSIÇÃO AOS POLUENTES DO AR COM BASE
NAS INTERNAÇÕES POR DOENÇAS CARDIOVASCULARES E
RESPIRATÓRIAS NO MUNICÍPIO DE TAUBATÉ, SP**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. João Andrade de Carvalho JR.

Co-orientador: Prof Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento.

Bauru
2014



Dedico a Deus Pai sobre todas as coisas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a minha mãe Suely e ao meu irmão Matheus, pois confiaram em mim para concretizar e encerrar mais uma caminhada da minha vida, Ao meu pai Cesar (in memoriam), que infelizmente não pode estar presente neste momento tão feliz da minha vida, mas que não poderia deixar de dedicar a ele, pois se hoje estou aqui, devo muitas coisas a ele e por seus ensinamentos e valores passados. Obrigada por tudo! Saudades eternas!

Ao meu esposo Glauco, por toda paciência, compreensão, carinho e amor, e por me ajudar muitas vezes a achar soluções quando elas pareciam não aparecer. Você foi à pessoa que compartilhou comigo os momentos de tristezas e alegrias. Além deste trabalho, dedico todo meu amor a você.

Ao orientador Prof. Dr. João Andrade de Carvalho JR e ao Co-orientador: Prof Dr. Luiz Fernando Costa Nascimento agradeço pela paciência demonstrada no decorrer do trabalho e pelo simples fato de estarem dispostos a ensinar.

Aos professores: Prof. Prof. Dr. George de Paula Bernardes e Profa. Dra. Anna Silvia Palcheco Peixoto pelas sugestões e orientações dadas no exame de qualificação desta dissertação.

A Professora Ana Cristina Gobbo César pela disponibilidade de prestar toda a orientação e esclarecimentos necessários para conclusão desta dissertação.

A todos os professores e funcionários da UNESP.

RESUMO

A constatação de que os atuais níveis de poluição do ar são suficientes para causar danos à saúde. Este estudo analisou os efeitos da exposição a poluição atmosférica nas internações hospitalares por doenças cardiovasculares e respiratórias no município de Taubaté – SP, Brasil. Realizou-se um estudo de base ecológica de série temporal com dados relativos à saúde (internações por doenças cardiovasculares e respiratórias) e de poluentes do ar (CO, O₃, NO_x e PM_{2,5}), obtidos de bancos de dados públicos. Estabeleceram-se as variáveis e estimou-se o risco segundo a exposição aos diferentes poluentes do ar utilizando-se a ferramenta do modelo CATT-BRAMS. Os valores dos riscos relativos para as internações utilizando o modelo linear generalizado de regressão de Poisson. Assim, apresentaram-se evidências da associação dos efeitos da exposição aos contaminantes atmosféricos, representada pelas internações hospitalares por doenças cardiovasculares e respiratórias. Os resultados encontrados neste estudo poderão nortear políticas públicas em saúde.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição do ar. Doenças Cardiovasculares. Doenças Respiratórias.

Abstract

The finding that current levels of air pollution are sufficient to cause damage to health. This study examined the effects of exposure to air pollution on hospitalizations for cardiovascular and respiratory diseases in Taubaté - SP, Brazil. We conducted a study of ecological basis of time series data on health (hospital admissions for cardiovascular and respiratory diseases) and air pollutants (CO, O₃, NO_x and PM_{2.5}), obtained from public databases. Settled the variables and estimated the risk according to exposure to different air pollutants using the template tool CATT-BRAMS. The values of the relative risk for hospitalizations using generalized linear Poisson regression model. Thus, if presented evidence for the association of the effects of exposure to air contaminants, represented by hospital admissions for cardiovascular and respiratory diseases. The results of this study can guide public health policies.

KEYWORDS: Air pollutants. Studies of time series. Cardiovascular diseases.

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE TAUBATÉ NO ESTADO DE SÃO PAULO. | 26 |
| FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DOS DADOS SOBRE OS POLUENTES DO AR..... | 30 |
| FIGURA 3 – PORTAL DO DATASUS DAS OPÇÕES SIHSUS REDUZIDA. | 31 |
| FIGURA 4 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DO POLUENTE CO PPB* | 33 |
| FIGURA 5 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DO POLUENTE O3 | 34 |
| FIGURA 6 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DO POLUENTE PM2.5 | 35 |
| FIGURA 7 – EVOLUÇÃO TEMPORAL DO POLUENTE ÓXIDOS DE NITROGÊNIO (NOX) | 35 |
| FIGURA 8 - GRÁFICO UNIPOLUENTE DO RISCO RELATIVO PARA DOENÇAS RESPIRATÓRIAS. | 46 |
| FIGURA 9 - GRÁFICO UNIPOLUENTE DO RISCO RELATIVO PARA DOENÇAS CARDIOVASCULARES..... | 47 |
| FIGURA 10 – GRÁFICO MULTIPOLUENTE DO RISCO RELATIVO PARA DOENÇAS RESPIRATÓRIAS. | 48 |
| FIGURA 11 – GRÁFICO MULTIPOLUENTE DO RISCO RELATIVO PARA CARDIOVASCULARES. | 49 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| TABELA 1 - INDICADORES DOS POLUENTES DO AR – CETESB | 11 |
| TABELA 2 - PRINCIPAIS FONTES NATURAIS DE CONTAMINAÇÃO ATMOSFÉRICA..... | 14 |
| TABELA 3 - CLASSIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS POLUENTES LANÇADOS PELO HOMEM NA ATMOSFERA.. | 15 |
| TABELA 4 - PADRÕES DE QUALIDADE DO AR ESTABELECIDOS NO DECRETO ESTADUAL Nº 59113/2013..... | 19 |
| TABELA 5 - QUALIDADE DO AR ASSIM COMO OS CRITÉRIOS PARA EPISÓDIOS AGUDOS DE POLUIÇÃO DO AR..... | 20 |
| TABELA 6 – ESTRUTURA DO ÍNDICE DE QUALIDADE DO AR... | 21 |
| TABELA 7 – QUALIFICAÇÃO DO AR ASSOCIADA A EFEITOS À SAÚDE. | 22 |
| TABELA 9 – ANÁLISE UNIPOLUENTE PARA DOENÇAS RESPIRATÓRIAS COM DEFASAGEM PARA O CO. | 36 |
| TABELA 10 – ANÁLISE UNIPOLUENTE PARA DOENÇAS RESPIRATÓRIAS COM DEFASAGEM PARA O O ₃ | 37 |
| TABELA 11 – ANÁLISE UNIPOLUENTE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS COM DEFASAGEM PARA O NO _x | 37 |
| TABELA 12 – ANÁLISE UNIPOLUENTE DOENÇAS RESPIRATÓRIAS COM DEFASAGEM PARA O PM _{2,5} | 37 |
| TABELA 13 – ANÁLISE UNIPOLUENTE DOENÇAS CARDIOVASCULARES COM DEFASAGEM PARA O CO PPB..... | 38 |
| TABELA 14 – ANÁLISE UNIPOLUENTE DOENÇAS CARDIOVASCULARES COM DEFASAGEM PARA O O ₃ | 38 |
| TABELA 15 – ANÁLISE UNIPOLUENTE DOENÇAS CARDIOVASCULARES COM DEFASAGEM PARA O NO _x | 39 |
| TABELA 16 – ANÁLISE UNIPOLUENTE DOENÇAS CARDIOVASCULARES COM DEFASAGEM PARA O PM _{2,5} | 39 |
| TABELA 17 – ANÁLISE MULTIPOLUENTE PARA DOENÇAS RESPIRATÓRIAS COM DEFASAGEM (LAG 0)..... | 39 |
| TABELA 18 – ANÁLISE MULTIPOLUENTE PARA DOENÇAS RESPIRATÓRIAS COM DEFASAGEM (LAG 1).. | 40 |
| TABELA 19 – ANÁLISE MULTIPOLUENTE PARA DOENÇAS RESPIRATÓRIAS COM DEFASAGEM (LAG2)..... | 40 |
| TABELA 20 – ANÁLISE MULTIPOLUENTE PARA DOENÇAS RESPIRATÓRIAS COM DEFASAGEM (LAG3)..... | 40 |
| TABELA 21 – ANÁLISE MULTIPOLUENTE PARA DOENÇAS RESPIRATÓRIAS COM DEFASAGEM (LAG4)..... | 41 |
| TABELA 22 – ANÁLISE MULTIPOLUENTE PARA DOENÇAS RESPIRATÓRIAS COM DEFASAGEM (LAG5)..... | 41 |
| TABELA 23 – ANÁLISE MULTIPOLUENTE PARA DOENÇAS CARDIOVASCULARES COM DEFASAGEM (LAG0)... .. | 41 |
| TABELA 24 – ANÁLISE MULTIPOLUENTE PARA DOENÇAS CARDIOVASCULARES COM DEFASAGEM (LAG1).. ... | 42 |
| TABELA 25 – ANÁLISE MULTIPOLUENTE PARA DOENÇAS CARDIOVASCULARES COM DEFASAGEM (LAG 2)..... | 42 |
| TABELA 26 – ANÁLISE MULTIPOLUENTE PARA DOENÇAS CARDIOVASCULARES COM DEFASAGEM (LAG 3)..... | 42 |
| TABELA 27 – ANÁLISE MULTIPOLUENTE PARA DOENÇAS CARDIOVASCULARES COM DEFASAGEM (LAG 4)..... | 43 |
| TABELA 28 – ANÁLISE MULTIPOLUENTE PARA DOENÇAS CARDIOVASCULARES COM DEFASAGEM (LAG 5)..... | 43 |
| TABELA 29 – MODELO UNIPOLUENTE PARA DOENÇAS RESPIRATÓRIAS. | 44 |
| TABELA 30 - MODELO UNIPOLUENTE PARA DOENÇAS CARDIOVASCULARES..... | 44 |
| TABELA 31 - MODELO MULTIPOLUENTES PARA DOENÇAS REPIRATÓRIAS..... | 45 |
| TABELA 32 - MODELO MULTIPOLUENTE PARA DOENÇAS CARDIOVASCULARES..... | 46 |

Sumário

| | | |
|----------|--|-------------------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 6 |
| 2 | OBJETIVOS | 8 |
| 2.1 | OBJETIVO GERAL..... | 8 |
| 2.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 8 |
| 3 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 9 |
| 3.1 | EFEITOS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS | 10 |
| 3.2 | OUTROS POLUENTES DO AR | 14 |
| 3.3 | CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS | 16 |
| 3.4 | MONITORAMENTO E PADRÕES DE QUALIDADE DO AR..... | 17 |
| 3.5 | EFEITOS DOS POLUENTES ATMOSFÉRICOS NA SAÚDE..... | 22 |
| 3.6 | ESTUDOS ECOLÓGICOS | 24 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS | 26 |
| 4.1 | LOCAL DE ESTUDO | 26 |
| 4.2 | METODOLOGIA | 27 |
| 4.3 | COLETAS DE DADOS | 28 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃOERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO. | |
| 5.1 | ASPECTOS GERAIS..... | <u>32</u> |
| 5.2 | RESULTADOS..... | <u>33</u> |
| 5.2.1 | ANÁLISE UNIPOLUENTE..... | <u>36</u> |
| 5.2.1.1 | DOENÇAS RESPIRATÓRIAS | <u>36</u> |
| 5.2.1.2 | DOENÇAS CARDIOVASCULARES | <u>38</u> |
| 5.3 | ANÁLISE MULTIPOLUENTE..... | <u>390</u> |
| 5.3.1 | DOENÇAS RESPIRATÓRIAS | <u>390</u> |
| 5.3.2 | DOENÇAS CARDIOVASCULARES | <u>392</u> |
| 5.4 | RISCO RELATIVO | <u>394</u> |
| 5.5 | AUMENTO PERCENTUAL DOS RISCOS..... | <u>398</u> |
| 6 | CONCLUSÃO | <u>523</u> |
| 7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | <u>534</u> |
| | ANEXO | 56 |

1 INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é proveniente de dois fenômenos: a industrialização e a urbanização. A poluição gerada, sobretudo nos grandes centros urbanos é resultado da ação antropogênica sobre o meio ambiente. A queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, derivados de petróleo tais como gasolina, óleo diesel e gás natural) é responsável pela geração de energia para os setores: elétrico, industrial e de transportes e tem lançado, ao longo do tempo, gás carbônico (CO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x), material particulado e outros poluentes na atmosfera.

Poluente atmosférico é tudo aquilo que torna o ar impróprio, nocivo aos receptores, ou seja, poluição corresponde às alterações das características físicas ou químicas do meio ambiente, de forma a torná-lo nocivo à vida em comum dos seres que habitam determinada região. (Cançado et al 2006).

A história registra diversos fatos e episódios de poluição do ar a partir da Revolução Industrial, surgiram novas fontes de poluição do ar devido à queima de combustíveis fósseis nos motores a combustão e nas indústrias siderúrgicas e, mais recentemente, nos veículos automotivos, além dos produtos químicos. Estes processos não foram acompanhados de análises que pudessem avaliar seu impacto sobre o meio ambiente, a toxicidade dos resíduos produzidos e os prováveis danos à saúde.

De acordo com Braga et al.(2001) pode-se considerar que existe poluição do ar quando uma ou mais substâncias químicas estão presentes em concentrações suficientes para causar danos aos seres humanos. As concentrações de poluentes na atmosfera dependem: do clima, topografia, do nível de atividades industriais locais e da densidade populacional. Diversos estudos evidenciam a relação entre a poluição atmosférica e certos grupos de doenças cardiovasculares como doenças coronárias (Kan et al.2008),

(Simkhovich et al. 2009) arritmia (Santos et al.2008) infarto do miocárdio (D'ippoliti et al., 2008) e falhas cardíacas (Wellenius et al.2006).

O progresso na proteção do meio ambiente ainda não impede que represente um dos principais problemas ambientais. Assim, é emergencial, medidas, metodologias e programas de detecção, fiscalização e manejo da qualidade de vida como um todo.

O município de Taubaté situa-se no Vale do Paraíba, entre dois grandes centros em desenvolvimento urbano e industrial - São Paulo e Rio de Janeiro. A rodovia Presidente Dutra percorre as cidades situadas neste eixo, o que proporcionou a instalação de várias indústrias nessa região.

Dentro deste contexto há conseqüentemente, uma preocupação no que tange à poluição ambiental nessa região (Nascimento et al,2006, 2012, 2013). No entanto, a avaliação do impacto da poluição do ar por interações de doenças cardiovasculares e respiratórias, tem sido realizado em algumas cidades de médio porte da região, entretanto, o município de Taubaté ainda não foi avaliado.

Conforme outros estudos têm demonstrado os níveis de poluição do ar, geralmente representado pelas taxas de PM_{10} , $PM_{2,5}$, NO_2 , SO_2 , O_3 e outros estão associados com o aumento de atendimentos em emergências decorrentes de problemas respiratórios (Cançado et al 2006 e Stieb et al. 2009),. As concentrações de NO_2 permitem melhor avaliar os efeitos de uma mistura de poluentes atmosféricos sobre a saúde respiratória, do que as partículas de PM_{10} .

Portanto, o este estudo poderá contribuir com os serviços municipal e estadual vinculado a saúde e meio ambiente, podendo auxiliar no controle da poluição ambiental e na prevenção das interações e óbitos por doenças cardiovasculares e respiratórias.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é identificar os efeitos da exposição a poluentes atmosféricos nas internações por doenças cardiovasculares e respiratórias no município de Taubaté, SP.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar as taxas de internação por doenças cardiovasculares e respiratórias (Banco de dados do Sistema Único de Saúde – DATASUS, de 01 de agosto de 2011 a 31 de julho de 2012).
- Estimar e avaliar as concentrações de monóxido de carbono (CO), ozônio (O₃), óxido de nitrogênio (NO_x) e material particulado fino (PM_{2,5}) do município estudado, no período de 01 de agosto a de 2011 a 31 de julho de 2012.
- Calcular o risco relativo da exposição aos poluentes do ar nestas internações.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Poluente atmosférico é toda forma de matéria ou energia com intensidade e em quantidade, concentração, tempo ou características em desacordo com os níveis estabelecidos em legislação, e que tornem ou possam tornar o ar impróprio, nocivo ou ofensivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e à flora ou danoso à segurança, ao uso e gozo da propriedade e às atividades normais da comunidade (CETESB, 2014) site www.cetesb.sp.gov.br/ar/informacoes-basicas/20-historic).

A relação entre efeitos à saúde e poluição atmosférica foi estabelecida a partir de episódios agudos de contaminação do ar e estudos sobre a ocorrência do excesso de milhares de mortes registradas em Londres, ou entre 1948 e 1952. No caso da Região Metropolitana de São Paulo - RMSP, o crescimento desordenado verificado na Capital e nos municípios vizinhos, especialmente da região do ABC, a partir da 2ª Guerra Mundial, levou à instalação de indústrias de grande porte, sem a preocupação com o controle das emissões de poluentes atmosféricos, sendo possível a visualização de chaminés emitindo enormes quantidades de fumaça (CETESB, 2014).

Há registros em jornais da década de 60 e especialmente de 70, de episódios agudos de poluição do ar que levaram a população ao pânico devido aos fortes odores, decorrentes do excesso de poluentes lançados pelas indústrias na atmosfera, causando mal-estar e lotando os serviços médicos de emergência (CETESB, 2014).

O monitoramento da qualidade do ar, com a avaliação das concentrações de poluentes no Estado de São Paulo, foi iniciado na Região Metropolitana de São Paulo, em 1972, com a instalação de 14 estações para medição diária dos níveis de dióxido de enxofre (SO₂) e fumaça preta. Nessa época, a qualidade do ar passou a ser divulgada diariamente à população por meio de boletins encaminhados à imprensa (CETESB, 2014).

Posteriormente, a consolidação dos dados de emissão e com a promulgação da Lei 997/76 e seu regulamento aprovado pelo Decreto 8.468/76, a CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental) aplicou, no final da década de 70, um programa para redução das emissões industriais de material particulado e, no início dos anos 80, um programa para redução das emissões de SO₂. Na década de 80, foram registradas reduções significativas dos níveis de SO₂ na atmosfera da Região Metropolitana de São Paulo (CETESB, 2014).

3.1 Efeitos dos Poluentes Atmosféricos

O ser humano, ao interagir com o meio ambiente, produz resíduos que podem poluir o ar. A poluição atmosférica pode ser causada por fontes fixas ou móveis, dependendo dos processos que liberam os poluentes no ar.

As fontes de poluição são classificadas em Fontes fixas e Fontes Móveis (CETESB, 2014):

- Fontes fixas - As indústrias são as fontes mais significativas, ou de maior potencial poluidor. Também se destacam as usinas termoeletricas, que utilizam carvão, óleo combustível ou gás, bem como os incineradores de resíduos, com elevado potencial poluidor. Existem ainda as fontes fixas naturais, como maresia e vulcanismo, que também podem influenciar a composição do ar.
- Fontes móveis - Os veículos automotores, junto com os trens, aviões e embarcações marítimas são as chamadas fontes móveis de poluentes atmosféricos. Os veículos se sobressaem nas cidades como as principais fontes poluidoras e são divididos em: leves de passageiro (utilizam principalmente gasolina ou álcool como combustível); leves comerciais (utilizam gás natural veicular ou óleo diesel); e veículos pesados (somente de óleo diesel).

O nível de poluição atmosférica é medido pela quantidade de substâncias poluentes presentes no ar. O grande número de substâncias que pode ser encontrado na atmosfera é muito elevado, o que torna difícil a tarefa de estabelecer uma classificação.

Os poluentes são divididos em duas categorias (CETESB, 2014):

- Poluentes Primários - são aqueles emitidos diretamente pelas fontes de emissão.
- Poluentes Secundários - são formados na atmosfera através da reação química entre poluentes primários e componentes naturais da atmosfera.

Os poluentes são classificados de acordo com a sua composição como demonstrado na tabela 1.

| Compostos de Enxofre | Compostos de Nitrogênio | Compostos Orgânicos | Monóxido de Carbono | Compostos Halogenados | Metais Pesados | Material Particulado | Oxidantes Fotoquímicos |
|--|-------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------|----------------|----------------------------|------------------------|
| SO ₂ | NO | hidrocarbonetos álcoois | | HCl | Pb | mistura de compostos | O ₃ |
| SO ₃ | NO ₂ | aldeídos | | HF | Cd | no estado | formaldeído |
| Compostos de Enxofre Reduzido: (H ₂ S, Mercaptanas, Dissulfeto de carbono, etc) | NH ₃ | cetonas | CO | Cloretos | As | sólido | acroleína |
| sulfatos | HNO ₃ | ácidos orgânicos | | Fluoretos | Ni | ou | PAN |
| | nitratos | | | | etc. | líquido | etc. |

Tabela 1 – Classificação Indicadores dos Poluentes do Ar de acordo com a sua composição. Fonte: CETESB: <http://www.cetesb.sp.gov.br/ar/Informa??es-B?sicas/21-Poluentes>. Acesso 10/10/2013.

A interação entre as fontes de poluição e a atmosfera define o nível de qualidade do ar, que determina por sua vez o surgimento de efeitos adversos da poluição do ar sobre os receptores, que podem ser o homem, os animais, as plantas e os materiais.

A medição sistemática da qualidade do ar é restrita a um número de poluentes, definidos em função de sua importância (CETESB, 2014).

O grupo de poluentes que serve como indicadores de qualidade do ar, adotados universalmente e que foram escolhidos em razão da frequência de ocorrência e de seus efeitos adversos, são os descritos e caracterizados a seguir (CETESB, 2014).

- **Material Particulado (MP)**

Em geral o Material Particulado engloba um conjunto de poluentes constituídos de poeiras, fumaças e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na

atmosfera por causa de seu pequeno tamanho. As principais fontes de emissão de particulado para a atmosfera são: veículos automotores, processos industriais, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros. O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO₂), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar (CETESB, 2014).

O tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial para causar problemas à saúde, sendo que quanto menores maiores os efeitos provocados. O particulado pode também diminuir a visibilidade na atmosfera. O material particulado pode ser classificado como.(CETESB, 2014):

- **Partículas Totais em Suspensão (PTS)**

Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 50 µm. Uma parte destas partículas é inalável e pode causar problemas à saúde, outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade (CETESB, 2014).

- **Partículas Inaláveis (MP₁₀)**

Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 10 µm. Dependendo da distribuição de tamanho na faixa de 0 a 10 µm, podem ficar retidas na parte superior do sistema respiratório ou penetrar mais profundamente, alcançando os alvéolos pulmonares. .(CETESB, 2014)

- **Partículas Inaláveis Finas (MP_{2.5})**

Podem ser definidas de maneira simplificada como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 2.5 µm. Devido ao seu tamanho diminuto, penetram profundamente no sistema respiratório, podendo atingir os alvéolos pulmonares. Representa em torno de 70% a 80% do MP₁₀. (CETESB, 2014).

- **Fumaça (FMC)**

Está associada ao material particulado suspenso na atmosfera proveniente dos processos de combustão. O método de determinação da fumaça é baseado na medida de refletância da luz que incide na poeira (coletada em um filtro), o que confere a este parâmetro a característica de estar diretamente relacionado ao teor de fuligem na atmosfera (CETESB, 2014).

- **Dióxido de Enxofre (SO₂)**

Resulta principalmente da queima de combustíveis que contém enxofre, como óleo diesel, óleo combustível industrial e gasolina. É um dos principais formadores da chuva ácida. O dióxido de enxofre pode reagir com outras substâncias presentes no ar formando partículas de sulfato que são responsáveis pela redução da visibilidade na atmosfera. (CETESB, 2014)

- **Monóxido de Carbono (CO)**

É um gás incolor e inodoro que resulta da queima incompleta de combustíveis de origem orgânica (combustíveis fósseis, biomassa, etc). Em geral é encontrado em maiores concentrações nas cidades, emitido principalmente por veículos automotores. Altas concentrações de CO são encontradas em áreas de intensa circulação de veículos. (CETESB, 2014)

- **Ozônio (O₃) e Oxidantes Fotoquímicos**

“Oxidantes fotoquímicos” é a denominação que se dá à mistura de poluentes secundários formados pelas reações entre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis, na presença de luz solar, sendo estes últimos liberados na queima incompleta e evaporação de combustíveis e solventes. O principal produto desta reação é o ozônio, por isso mesmo utilizado como parâmetro indicador da presença de oxidantes fotoquímicos na atmosfera. Tais poluentes formam a chamada névoa fotoquímica ou “smog fotoquímico”, que possui este nome porque causa na atmosfera diminuição da visibilidade.

Além de prejuízos à saúde, o ozônio pode causar danos à vegetação. É sempre bom ressaltar que o ozônio encontrado na faixa de ar próxima do solo, onde respiramos, chamado de “mau ozônio”, é tóxico. Entretanto, na estratosfera (a cerca de 25 km de altitude) o ozônio tem a importante função de proteger a Terra, como um filtro, dos raios ultravioletas emitidos pelo Sol (CETESB, 2014)

- **Hidrocarbonetos (HC)**

São gases e vapores resultantes da queima incompleta e evaporação de combustíveis e de outros produtos orgânicos voláteis. Diversos hidrocarbonetos como o benzeno são cancerígenos e mutagênicos, não havendo uma concentração ambiente totalmente segura. Participam ativamente das reações de formação da “névoa fotoquímica”(CETESB, 2014)

- **Óxido de Nitrogênio (NO_x)**

São formados durante processos de combustão. Em grandes cidades, os veículos geralmente são os principais responsáveis pela emissão dos óxidos de nitrogênio. O NO_x, sob a ação de luz solar se transforma em NO₂ e tem papel importante na formação de oxidantes fotoquímicos como o ozônio. Dependendo das concentrações, o NO₂ causa prejuízos à saúde. NO_x= NO + NO₂.

Além destes poluentes que servem como indicadores de qualidade do ar, a CETESB monitora outros parâmetros, como por exemplo, o chumbo, regulamentado conforme o Decreto Estadual nº 59.113 DE 23/04/2013(CETESB, 2014).

- **Chumbo**

Antigamente, os veículos eram o principal contribuinte de emissões de chumbo para o ar. O Brasil foi, em 1989, um dos primeiros países a retirar o chumbo de sua gasolina automotiva, sendo este totalmente eliminado em 1992. Essa conquista deu-se graças à substituição do chumbo pelo álcool como aditivo à gasolina. Como consequência, a concentração de chumbo na atmosfera das áreas urbanas diminuiu significativamente. Atualmente o chumbo é encontrado em maior quantidade em locais específicos como próximo a fundições de chumbo e indústrias de fabricação de baterias chumbo-ácido. (CETESB, 2014).

3.2 Outros Poluentes do Ar

A tabela 2 apresenta as principais fontes naturais de poluição atmosférica. (CETESB, 2014).

Tabela 2 - Principais fontes naturais de contaminação atmosférica e as quantidades produzidas.

| Contaminante | Fonte Natural | Quantidade (Milhões de Ton.) |
|--|--|------------------------------|
| Dióxido de Enxofre (SO ₂) | Vulcões | 6 a 12 |
| Ácido sulfídrico (H ₂ S) | Vulcões e ações biológicas em pântanos | 30 a 100 |
| Monóxido de carbono (CO) | Incêndios florestais | 3000 |
| Óxidos de Nitrogênio (NO _x) | Ações bacterianas em solos | 60 a 270 |
| Amoníaco (NH ₃) | Decomposição biológica | 100 a 200 |
| Óxido Nitroso (N ₂ O) | Ação biológica em solos | 100 a 450 |
| Hidrocarbonetos (predominantemente metano) | Diversos processos biológicos | 300 a 1600 |

Fonte: Revista Meio Ambiente Industrial, ano IV, Ed. 23, Número 22, Jan/Fev de 2012

A tabela 3 apresenta a classificação dos principais poluentes lançados pelo homem e seus efeitos a saúde.

| Poluente | Característica | Fontes Principais | Efeitos Gerais Sobre a Saúde |
|--|---|--|---|
| Partículas totais em suspensão (PTS) | Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça ou fuligem etc. Faixa de tamanho < 10 micra. | Processos Industriais e veículos motorizados (exaustão), poeira de rua ressuspensa, queima de biomassa. Fontes naturais: pólen, aerossol marinho e solo. | Quanto menor o tamanho da partícula, maior o efeito sobre a saúde. Causam efeitos significativos em pessoas com doenças pulmonares, asma e bronquite. |
| Partículas Inaláveis (MP10) e fumaça. | Partículas de material sólido ou líquido que ficam suspensas no ar, na forma de poeira, neblina, aerossol, fumaça fuligem etc. Faixa de tamanho < que 10 micra. | Processos de combustão (indústria e veículos automotores), aerossol secundário (formação na atmosfera). | Aumento de atendimentos hospitalares e mortes prematuras. |
| Dióxido de Enxofre (SO ₂) | Gás incolor, com forte odor, semelhante ao gás produzido na queima de palitos de fósforo. Pode ser transformado em SO ₃ , que na presença de vapor de água, passa rapidamente a H ₂ SO ₄ . É um importante precursor dos sulfatos, um dos principais componentes das partículas inaláveis. | Processos que utilizam queima de óleo combustível, refinaria de petróleo, veículos a diesel, polpa e papel. | Desconforto na respiração, doenças respiratórias, agravamento de doenças respiratórias e cardiovasculares já existentes. Pessoas com asma, doenças crônicas de coração e pulmão são mais sensíveis ao SO ₂ . |
| Dióxido de nitrogênio (NO ₂) | Gás marrom avermelhado, com odor forte e muito irritante, pode levar a formação de ácido nítrico, nitratos (os quais contribuem para o aumento das partículas inaláveis na atmosfera). | Processos de combustão envolvendo veículos automotores, processos industriais, usinas térmicas que utilizam óleo ou gás, incinerações. | Aumento da sensibilidade a asma e a bronquite diminui a resistência às infecções respiratórias. |

| | | | |
|--------------------------|---|--|---|
| Monóxido de carbono (CO) | Gás incolor, inodoro e insípido. | Combustão incompleta em veículos automotores. | Altos níveis de CO estão associados a prejuízos dos reflexos e da capacidade de estimar intervalos de tempo, ao aprendizado de trabalho e visual. |
| Ozônio (O ₃) | Gás incolor e inodoro nas concentrações ambientais e o principal componente da névoa fotoquímica. | Não é emitido diretamente na atmosfera. É produzido fotoquimicamente pela radiação solar sobre os óxidos de nitrogênio e compostos orgânicos voláteis. | Irritação dos olhos e vias respiratórias, diminuição da capacidade pulmonar. Exposições a altas concentrações podem resultar em sensações de aperto no peito, tosse e chiado na respiração. O O ₃ tem sido associado ao aumento de admissões hospitalares. |

Fonte: Revista Meio Ambiente Industrial, ano IV, ed 23, número 22, jan/fev de 2012.

3.3 Condições Meteorológicas

A concentração de poluentes está fortemente relacionada às condições meteorológicas. Alguns dos parâmetros que favorecem altos índices de poluição são: alta porcentagem de calmaria, ventos fracos e inversões térmicas a baixa altitude. Este fenômeno é particularmente comum no inverno paulista, quando as noites são frias e a temperatura tende a se elevar rapidamente durante o dia, provocando alteração no resfriamento natural do ar. (CETESB, 2014)

As massas de ar são influenciadas por variáveis que interferem no fenômeno de dispersão, resultando numa maior ou menor concentração. Quando liberados para a atmosfera, ou seja, após a emissão, os poluentes são dispersos pelos processos de transporte e difusão, que são, por sua vez, influenciados por (CETESB, 2014):

- a. Tipos de construção e obstáculos que margeiam as vias;
- b. Condições topográficas;
- c. Condições meteorológicas;
- d. Processos de remoção/deposição de poluentes.

As edificações alteram a topografia original, contribuindo para modificar a velocidade, direção ou intensidade do vento. Desta forma, prédios altos e alinhados podem modificar o fluxo de ar, provocar seu encanamento ou criar espaços sem aeração suficiente, causando acúmulo de poluentes. Com um mesmo volume de tráfego e mesmas condições meteorológicas, mas com vias de ocupação bastante diferentes, têm-se concentrações de poluentes com muita variação.

A topografia de uma região pode modificar a velocidade e direção do fluxo de ar, que quanto mais intenso maior será o volume de ar disponível para a diluição dos poluentes. (CETESB, 2014)

Regiões elevadas favorecem as condições de ventilação, enquanto que regiões situadas em vales tendem a acumular mais poluentes. Regiões com vegetação, corpos d'água, cidades, ou outro tipo de cobertura do solo influenciam diretamente nas condições da atmosfera e conseqüentemente na dispersão dos poluentes. Situações meteorológicas distintas, mas com idênticas produções de poluentes, poderão apresentar concentrações atmosféricas completamente diferentes, devido à influência das condições da atmosfera.

O regime dos ventos, a umidade do ar, a radiação solar, a temperatura ambiente, a opacidade, a estabilidade atmosférica, a altura da camada de mistura e a ocorrência de chuvas são alguns fatores climáticos locais, que podem interferir no tempo de permanência dos poluentes na atmosfera. (CETESB, 2014)

As brisas são um fenômeno de grande importância para a caracterização das condições de dispersão dos poluentes devido aos efeitos de recirculação que estão associados. No verão, as massas de ar oceânico que são transportadas para terra, durante a tarde, pela brisa marítima podem conter poluentes envelhecidos (principalmente hidrocarbonetos e NOx) de dias anteriores.

Os efeitos diretos da radiação solar na qualidade do ar dizem respeito à indução desta na formação de oxidantes atmosféricos como poluentes secundários. O ozônio, que é formado na troposfera por reações fotoquímicas.

A inversão térmica se caracteriza por uma camada de ar quente que se forma sobre a cidade, “aprisionando” o ar e impedindo a dispersão dos poluentes. Problemas decorrentes da baixa umidade do ar e da alta concentração de poluentes no inverno, frequentemente ocorrem em dias com baixa umidade do ar e alta concentração de poluentes. Nessas condições, é comum ocorrerem complicações respiratórias devido ao ressecamento das mucosas, provocando sangramento pelo nariz, ressecamento da pele e irritação dos olhos. (CETESB, 2014)

3.4 Monitoramento e Padrões de Qualidade do Ar

Os padrões de qualidade do ar no Estado de São Paulo foram estabelecidos em 1976, pelo Decreto Estadual nº 8468/76, e os padrões nacionais foram estabelecidos pelo

IBAMA - Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e aprovados pelo CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente, por meio da Resolução CONAMA nº 03/90.

Em 2005, a Organização Mundial de Saúde (OMS) publicou documento com uma revisão dos valores-guia para os poluentes atmosféricos visando à proteção da saúde da população. Segundo essa publicação, os padrões de qualidade do ar (PQAr) variam de acordo com a abordagem adotada para balancear riscos à saúde, viabilidade técnica, considerações econômicas e vários outros fatores políticos e sociais, que, por sua vez, dependem, entre outras coisas, do nível de desenvolvimento e da capacidade do Estado de gerenciar a qualidade do ar. (OMS, 2005)

As diretrizes recomendadas pela OMS reconhecem que, ao formularem políticas de qualidade do ar, os governos devem considerar cuidadosamente suas circunstâncias locais antes de adotarem os valores propostos como padrões nacionais. A OMS também preconiza que o processo de estabelecimento de padrões visa atingir as menores concentrações possíveis no contexto de limitações locais, capacidade técnica e prioridades em termos de saúde pública. (OMS, 2005)

Em 2008, o Estado de São Paulo iniciou um processo de revisão dos padrões de qualidade do ar, baseando-se nas diretrizes estabelecidas pela OMS, com participação de representantes de diversos setores da sociedade. Este processo culminou na publicação do Decreto Estadual nº 59113 de 23/04/2013, estabelecendo novos padrões de qualidade do ar por intermédio de um conjunto de metas gradativas e progressivas para que a poluição atmosférica seja reduzida a níveis desejáveis ao longo do tempo. O Decreto Estadual nº 59113/2013 estabelece que a administração da qualidade do ar no território do Estado de São Paulo efetuada através de Padrões de Qualidade do Ar, são observados os seguintes critérios(OMS, 2005):

I. Metas Intermediárias - (MI) estabelecidas como valores temporários a serem cumpridos em etapas, visando à melhoria gradativa da qualidade do ar no Estado de São Paulo, baseada na busca pela redução das emissões de fontes fixas e móveis, em linha com os princípios do desenvolvimento sustentável;

II. Padrões Finais (PF) - Padrões determinados pelo melhor conhecimento científico para que a saúde da população seja preservada ao máximo em relação aos danos causados pela poluição atmosférica.

As Metas Intermediárias devem ser obedecidas em 3 (três) etapas, assim determinadas:

I. Meta Intermediária Etapa 1 - (MI1) - Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados a partir de 24/04/2013;

II. Meta Intermediária Etapa 2 - (MI2) - Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados subsequentemente à MI1, que entrará em vigor após avaliações realizadas na Etapa 1, reveladas por estudos técnicos apresentados pelo órgão ambiental estadual, convalidados pelo CONSEMA;

III. Meta Intermediária Etapa 3 - (MI3) - Valores de concentração de poluentes atmosféricos que devem ser respeitados nos anos subsequentes à MI2, sendo que o seu prazo de duração será definido pelo CONSEMA, a partir do início da sua vigência, com base nas avaliações realizadas na Etapa 2.

Os padrões finais (PF) são aplicados sem etapas intermediárias quando não forem estabelecidas metas intermediárias, como no caso do monóxido de carbono, partículas totais em suspensão e chumbo. Para os demais poluentes, os padrões finais passam a valer a partir do final do prazo de duração do MI3.

Tabela 4 - Padrões de qualidade do ar estabelecidos no Decreto Estadual nº 59113/2013, os padrões vigentes estão assinalados em vermelho.

| Poluente | Tempo de Amostragem | MI1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | MI2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | MI3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PF ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) |
|---|------------------------------|--|--|--|---|
| partículas inaláveis (MP ₁₀) | 24 horas MAA ¹ | 120 40 | 100 35 | 75 30 | 50 20 |
| partículas inaláveis finas (MP _{2,5}) | 24 horas MAA ¹ | 60 20 | 50 17 | 37 15 | 25 10 |
| dióxido de enxofre (SO ₂) | 24 horas MAA ¹ | 60 40 | 40 30 | 30 20 | 20 - |
| dióxido de nitrogênio (NO ₂) | 1 hora MAA ¹ | 260 60 | 240 50 | 220 45 | 200 40 |
| Ozônio (O ₃) | 8 horas | 140 | 130 | 120 | 100 |
| monóxido de carbono (CO) | 8 horas | - | - | - | 9 ppm |
| fumaça* (FMC) | 24 horas MAA ¹ | 120 40 | 100 35 | 75 30 | 50 20 |
| partículas totais em suspensão* (PTS) | 24 horas MGA ² | - - | - - | - - | 240 80 |
| Chumbo** (Pb) | MAA ¹ | - | - | - | 0,5 |

Fonte: CETESB – Padrões de Estaduais de Qualidade do Ar. Acesso em 22 de fevereiro 2014.

1-Média aritmética anual. 2-Média geométrica anual.

* Fumaça e Partículas Totais em Suspensão - parâmetros auxiliares a serem utilizados apenas em situações específicas, a critério da CETESB. ** Chumbo - a ser monitorado apenas em áreas específicas, a critério da CETESB.

A tabela 5 apresenta a Legislação Estadual (DE nº 59113/2013) que estabelece critérios para episódios agudos de poluição do ar. A declaração dos estados de Atenção, Alerta e Emergência, além dos níveis de concentração ultrapassados, requer a previsão de condições meteorológicas desfavoráveis à dispersão dos poluentes.

Tabela 5 - Qualidade do ar assim como os critérios para episódios agudos de poluição do ar.

| Parâmetros | Atenção | Alerta | Emergência |
|--|----------------|---------------|-------------------|
| partículas inaláveis finas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h | 125 | 210 | 250 |
| partículas inaláveis ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h | 250 | 420 | 500 |
| dióxido de enxofre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 24h | 800 | 1.600 | 2.100 |
| dióxido de nitrogênio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 1h | 1.130 | 2.260 | 3.000 |
| monóxido de carbono (ppm) - 8h | 15 | 30 | 40 |
| ozônio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) - 8h | 200 | 400 | 600 |

Fonte: CETESB – Qualidade do Ar. Acesso em 22 de fevereiro 2014.

O índice de qualidade do ar é uma ferramenta matemática desenvolvida para simplificar o processo de divulgação da qualidade do ar. Esse índice foi criado usando como base uma longa experiência desenvolvida nos EUA.(CETESB, 2014)

Os parâmetros contemplados pela estrutura do índice utilizado pela CETESB são: partículas inaláveis (MP_{10}), partículas inaláveis finas ($\text{MP}_{2,5}$), fumaça (FMC), ozônio (O_3), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrogênio (NO_2), dióxido de enxofre (SO_2).

Para cada poluente medido é calculado um índice, que é um valor adimensional. Dependendo do índice obtido, o ar recebe uma qualificação, que é uma nota para a qualidade do ar, além de uma cor, conforme apresentado na tabela 6:

Tabela 6 – Estrutura do índice de qualidade do ar.

| Qualidade Índice | Índice | MP ₁₀ | MP _{2,5} | O ₃ | CO | NO ₂ | SO ₂ |
|------------------|-----------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------|----------------------------|-----------------------------|
| | | (µg/m ³) 24h | (µg/m ³) 24h | (µg/m ³) 8h | (ppm) 8h | (µg/m ³) 1h | (µg/m ³) 24h |
| N1 – Boa | 0 - 40 | 0 - 50 | 0 - 25 | 0 - 100 | 0 - 9 | 0 - 200 | 0 - 20 |
| N2 – Moderada | 41 - 80 | >50 - 100 | >25 - 50 | >100 - 130 | >9 - 11 | >200 - 240 | >20 - 40 |
| N3- Ruim | 81 - 120 | >100 - 150 | >50 - 75 | >130 - 160 | >11 - 13 | >240 - 320 | >40 - 365 |
| N4- Muito Ruim | 121 - 200 | >150 - 250 | >75 - 125 | >160 - 200 | >13 - 15 | >320 - 1130 | >365 - 800 |
| N5- Péssima | >200 | >250 | >125 | >200 | >15 | >1130 | >800 |

Fonte: CETESB – Acesso em 23 de fevereiro de 2014.

Quando a qualidade do ar é classificada como BOA os valores-guia para exposição a curto prazo estabelecidos pela Organização Mundial de Saúde, que são os respectivos Padrões Finais (PF) estabelecidos no DE nº 59.113/2013, estão sendo atendidos.

Para cada poluente medido é calculado um índice, sendo que para efeito de divulgação, utiliza-se o índice mais elevado, isto é, embora a qualidade do ar de uma estação seja avaliada para todos os poluentes monitorados, a sua classificação é determinada pelo maior índice (pior caso). Esta qualificação do ar está associada a efeitos à saúde.

A tabela 7 demonstra a qualificação do ar associada aos efeitos à saúde, portanto independe do padrão de qualidade em vigor, e será sempre realizada conforme a tabela.

Tabela 7 – Qualificação do ar associada a efeitos à saúde.

| Qualidade | Índice | Significado |
|-----------------|-----------|--|
| N1 – Boa | 0 – 40 | |
| N2 – Moderada | 41 – 80 | Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço. A população, em geral, não é afetada. |
| N3- Ruim | 81 - 120 | Toda a população pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta. Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas) podem apresentar efeitos mais sérios na saúde. |
| N4 - Muito Ruim | 121 - 200 | Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta e ainda falta de ar e respiração ofegante. Efeitos ainda mais graves à saúde de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas). |
| N5 – Péssima | >200 | Toda a população pode apresentar sérios riscos de manifestações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Aumento de mortes prematuras em pessoas de grupos sensíveis. |

Fonte: CETESB – Acesso em 23 de fevereiro de 14

Individualmente, cada poluente apresenta diferentes efeitos sobre a saúde da população para faixas de concentração distintas, identificados por estudos epidemiológicos desenvolvidos dentro e fora do país. Tais efeitos sobre a saúde requerem medidas de prevenção a serem adotadas pela população afetada.

3.5 Efeitos dos Poluentes Atmosféricos na Saúde

Estudos buscando avaliar o impacto da poluição do ar por doenças cardiovasculares e respiratórias ainda não foram realizados em Taubaté, uma cidade de médio porte da região.

Os materiais particulados apresentam efeitos adversos sobre as doenças cardiovasculares. Em 400 mil atendimentos de emergência por problemas cardíacos e respiratórios foram observadas associação consistente entre as taxas de CO e NO₂ e os agravos cardíacos. Enquanto o ozônio e os particulados PM₁₀/PM_{2.5} foram mais consistentemente associados com as doenças respiratórias e asma, respectivamente.(CETESB,2014).

Diferentes estudos encontraram relação entre particulados presentes no ar com os atendimentos de emergência em decorrência de hipertensão e doenças cardiovasculares. Os efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São Joé dos Campos, SP. Destacando o aumento de internações por pneumonias, e estimou-se a associação dessas internações com o aumento dos poluentes atmosféricos, confirmando que o potencial dos poluentes do

ar sobre a saúde pode ser detectado em São José dos Campos, uma cidade de médio porte, (NASCIMENTO et al., 2006).

Há evidências consistentes que partículas com diâmetro menor que $10\mu\text{m}$ e $2,5\mu\text{m}$, respectivamente denominadas PM_{10} e $\text{PM}_{2,5}$, são adversamente associadas com as taxas de morbidade e mortalidade por doenças respiratórias (ALFARO et al., 2007). Alguns estudos demonstram que a associação é mais efetiva com as partículas menores do que com as maiores (KAN et al., 2007) e que há diferenças qualitativas dos efeitos sobre a saúde de frações de diferentes tamanhos (SAMUELSEN et al., 2009).

A CETESB possui estações medidoras na Região Metropolitana de São Paulo e no interior e litoral do Estado, além de estações móveis, que são utilizadas em estudos temporários, contudo tais estações medem apenas alguns tipos de poluentes. No caso de Taubaté, o município tem apenas uma estação que mede fumaça e no município de Taubaté a CETESB não mantém uma Rede de Monitoramento, por ser uma cidade de médio porte, por isso a utilização dos dados estimados pela Modelagem matemática CATT-BRAMS.

O CATT-BRAMS é um modelo numérico de transporte de aerossóis e traçadores atmosférico acoplado à versão brasileira do modelo RAMS. O RAMS resolve o sistema de equações não-hidrostático e é equipado com um sistema de múltiplas grades aninhadas que permite a simulação de sistemas de várias escalas espaciais simultaneamente, permitindo a retro-alimentação entre estas, além de um conjunto de parametrizações físicas para simular os processos governantes da evolução do estado atmosférico. O BRAMS é derivado da mais recente versão do modelo RAMS (5.0) com várias inovações, tais como, módulo de inicialização da humidade do solo, parametrização de cumulus rasos e profundos baseada no formalismo de fluxo de massa e com uma técnica de '*ensembles*' para determinação do fluxo de massa dentre outras. CATT-BRAMS é um modelo 3D Euleriano que prognostica a concentração de contaminantes atmosféricos de forma simultânea e totalmente consistente com o estado atmosférico simulado pelo RAMS/BRAMS.

As principais vantagens deste procedimento se devem ao fato de permitir ter o prognóstico simultâneo do estado atmosférico dos pontos de vistas meteorológico e de qualidade do ar e permitir o estudo da interação ou da retro-alimentação entre o contaminante e a própria atmosfera (como no caso de aerossóis de queimadas e sua forçante radiativa). (Walko et al., 2000).

Com base nessas informações é possível determinar as ações previstas na Legislação Ambiental, quando os padrões de qualidade do ar forem ultrapassados e apresentarem níveis que prejudiquem a saúde pública.

3.6 Estudos Ecológicos

São estudos na qual a unidade de análise é uma população ou um grupo de pessoas, que geralmente pertence a uma área geográfica definida, como por exemplo, um país, um estado, uma cidade, um município ou um setor censitário. (MEDRONHO et al.,2006).

Os estudos ecológicos procuram avaliar diferentes contextos, social e ambiental, podem afetar a saúde de grupos populacionais. Neste caso, as medidas coletadas no nível individual são incapazes de refletir adequadamente os processos que ocorrem no nível coletivo. Por exemplo, o nível de desorganização social de uma comunidade pode contribuir para que uma determinada epidemia ocorra de maneira mais intensa.

Os objetivos dos estudos ecológicos são gerar hipóteses etiológicas, testar hipóteses etiológicas e avaliar a efetividade de intervenções na população a respeito da ocorrência de uma determinada doença e avaliar a efetividade de intervenções na população, (MEDRONHO et al., 2006).

Os tipos de variáveis utilizadas para estudos ecológicos são classificadas em três:

- **Medidas agregadas:** Sintetizam as características individuais dentro de cada grupo. Ex.:Renda familiar média;
- **Medidas ambientais:** São características físicas do lugar onde os membros de cada grupo vivem. Ex.: Poluição do ar;
- **Medidas globais:** São atributos de grupos, organizações ou lugares para os quais não existem análogos no nível individual. Ex.: Densidade demográfica.

As formas de identificação dos grupos em um estudo ecológico são de:

- **Lugar:** Desenho de múltiplos grupos;
- **Tempo:** Desenho de tendência temporal;
- **Lugar e tempo:** Desenho misto.

As Vantagens dos Estudos Ecológicos são inúmeras, como listados a seguir.

- Permite medir a exposição no nível ecológico.
- Baixo custo e execução rápida.
- Permite observar a variação na exposição.
- Permite a obtenção da média entre as diferentes regiões.
- Úteis para levantar hipóteses e avaliar programas de saúde.
- Constituem, às vezes, a única alternativa razoável quando há grande homogeneidade em relação à exposição (por exemplo: poluição do ar e enfermidades respiratórias).

Entretanto, como todo estudo, apresenta limitações listadas a seguir.

- Não é possível a associar a exposição e a doença no nível individual.
- Limitado às doenças que têm registro (banco de dados secundários).
- Os dados são provenientes de diferentes fontes podendo significar qualidade da informação variável.
- Dados dos estudos ecológicos representam níveis de exposição média ao invés de valores individuais reais.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de estudo

O município de Taubaté situa-se no Vale do Paraíba, entre dois grandes centros em desenvolvimento urbano e industrial - São Paulo e Rio de Janeiro. A rodovia Presidente Dutra percorre as cidades situadas neste eixo, o que proporcionou a instalação de várias indústrias nessa região (Alston, Basf, Votorantin-Celulose e Papel, Embraer, Johnson & Johnson, General Motors, Petrobrás, Ford, Volkswagen, L. G. Electronics, Usiminas entre muitas outras). Os parâmetros usados para o monitoramento no município disponibilizados pela Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) confirmam que a qualidade do ar em Taubaté é classificada como boa, (Figura 1).

Figura 1 – Localização do município de Taubaté no Estado de São Paulo.



Fonte: Wikipédia; acesso em 20/10/13.

Taubaté situa-se a 23°01' de latitude sul e 45°33' de longitude oeste, na mesorregião do Vale do Paraíba, distante 123 km da capital paulista, 280 km da cidade do Rio de Janeiro, 90 km de Ubatuba, no litoral norte de São Paulo e 45 km de Campos do Jordão, na Serra da Mantiqueira. Seu território abrange 624.885 Km² e abriga uma população de cerca de 280 mil habitantes.(IBGE, 2014).

4.2 Metodologia

Foi desenvolvido um estudo ecológico de série temporal com dados relativos à saúde e de poluentes do ar, no município de Taubaté, SP, no período de 01 de agosto de 2011 a 31 de julho de 2012.

Foram analisadas as seguintes variáveis:

- A variável dependente foi o número de internação por doenças cardiovasculares e respiratórias obtidos no portal do Sistema Único de Saúde – DATASUS.
- Identificados os casos de internação por doenças cardiovasculares (CID-10, capítulo IX, I00-I99), e doenças respiratórias CID- 10 – Cap 10 J00 - J99) por local de residência, no Sistema Único de Saúde - DATASUS.
- As variáveis independentes foram as concentrações dos poluentes CO, MP_{2,5}, O₃, NO_x, temperatura e umidade.

Na análise dos dados foi realizada distribuição de frequência das diferentes variáveis expressas com média, desvio-padrão e valores mínimo e máximo, usando o programa SSPS versão 19.

Os valores obtidos para a distribuição de frequência das variáveis independentes CO, O₃, NO_x, PM_{2,5}, TA (temperatura aparente), T (temperatura do ar), UR (umidade relativa do ar) e dependentes (casos de internação) expressas com média, desvio-padrão, valores mínimo e máximo do período avaliado.

Os dados foram analisados utilizando o Modelo Aditivo Generalizado de Regressão de Poisson. Este modelo fornece o risco relativo da ocorrência do desfecho de um estudo. Como os efeitos da exposição podem ser fazer sentir não só no mesmo dia como em dias posteriores foram utilizadas defasagens de 0 a 5 dias - (lag), após inicio da exposição.

As análises foram realizadas usando um poluente de cada vez (modelo unipolvente) e posteriormente com todos simultaneamente (modelo multipolvente) e ajustados pela temperatura e umidade. Foram calculados os riscos relativos para internações por doenças

respiratórias e cardiovasculares, usando ambos os tipos de modelos. Nestas análises foram considerados incremento de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ para a exposição aos poluentes $\text{PM}_{2.5}$ e NO_x , e $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o O_3 e 100 ppb (parte por bilhão) para o CO para cálculo do aumento percentual (AP).

Dessa forma foram obtidos aumentos percentuais (AP) dos Riscos Relativos para as interações, para cada situação. Esse aumento percentual foi obtido pela equação (1) abaixo:

$$\text{AP} = [\exp^{(\beta \cdot \Delta C)} - 1] * 100 \quad (1)$$

Foram confeccionadas curvas de evolução temporal dos poluentes investigados, para análise da sazonalidade.

4.3 Coletas de Dados

Os dados estimados dos poluentes do ar foram obtidos do portal do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - CPTEC-INPE (www.cptec.inpe.br), de acordo com a rotina do *Coupled Aerosol and Tracer Transport model to the Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modelling System - CATT-BRAMS*. (CPTEC-INPE, 2014).

O sistema de monitoramento operacional em tempo real, CATT-BRAMS, foi implementado em 2003 e disponibiliza os valores estimados para diferentes poluentes carbono (CO), ozônio (O_3), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado ($\text{PM}_{2.5}$). Ele é baseado no modelo de transporte 3D on-line CATT-BRAMS acoplado com um modelo de emissões. Neste modelo, a equação de conservação de massa é resolvida para monóxido de carbono e material particulado $\text{PM}_{2.5}$. (CPTEC-INPE, 2014).

BRAMS - *Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System BRAMS* (www.cptec.inpe.br/brams) é baseado no Regional Atmospheric Modeling System versão 6 com algumas funcionalidades novas e parametrizações especializadas para trópicos e sub-trópicos. RAMS é um modelo de previsão numérica multi-objetivo desenhado para simular circulações atmosféricas com escalas variando da escala hemisférica até simulações de grandes turbilhões (*LES, em inglês Large Eddy Simulations*) da Camada Limite Planetária (CLP). O conjunto de equações usado é constituído das equações não-hidrostáticas quasi-Boussinesq. O modelo é equipado com um esquema de

alinhamento múltiplo que permite que as equações do modelo sejam solucionadas simultaneamente em qualquer número de grades computacionais com resoluções espaciais diferentes que interagem entre si. Também possui um complexo conjunto de módulos para simular processos como: transferência radiativa, troca de água, calor e momento entre a superfície e a atmosfera, transporte turbulento na camada limite planetária, e microfísica das nuvens. (CPTEC-INPE, 2014).

O modelo CATT-BRAMS explora a capacidade de transporte de traçadores do BRAMS de usar espaços reservados para escalares. O transporte online do modelo segue a técnica euleriana, solucionando a equação de conservação de massa para monóxido de carbono (CO) e material particulado PM_{2.5}, em que a razão de mistura, s ($=\rho/\rho_{air}$), é calculada usando a equação de conservação de massa com notação de tendências, como equação expressa abaixo. (CPTEC-INPE, 2014).

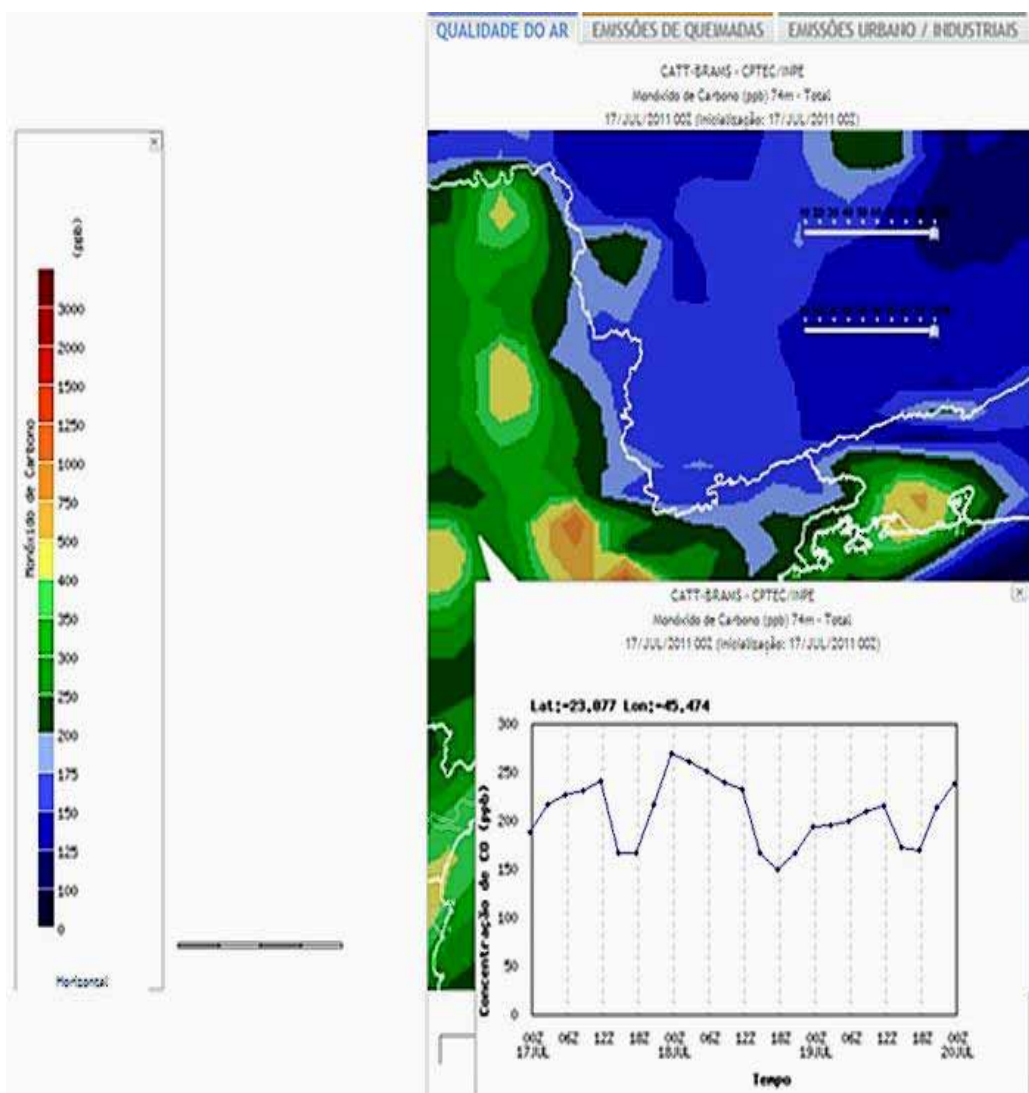
$$\frac{\partial s}{\partial t} = \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{adv} + \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{PBL\ turb} + \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{deep\ conv} + \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{shallow\ conv} + W_{PM2.5} + R + Q_{plume\ rise}$$

O sistema CATT-BRAMS, utilizado neste estudo, considera a dinâmica atmosférica. Trata-se de modelo matemático, que abrange a América do Sul e que leva a emissão e o transporte de diferentes gases e partículas de aerossóis, obtidos por satélites que monitoram as queimadas, gerando estimativas diárias para diferentes poluentes. (CPTEC-INPE, 2014).

Uma das vantagens da utilização desse modelo é sua aplicação em cidades, onde não há estações medidoras de poluentes. O uso dos dados estimados por esse sistema, validados por IGNOTTI et al. (2010) permite baratear os custos de pesquisa e agilizar o processo de análise dos efeitos da poluição atmosférica na saúde.

No sistema CATT-BRAMS, a concentração diária estimada de cada poluente é obtida a partir da leitura do gráfico disponibilizado, como demonstrado pela figura 2. Nesta figura foram ilustradas as concentrações de monóxido de carbono referentes ao período de 17 a 20 de julho de 2011, para o município de Taubaté, SP utilizando a ferramenta CATT-BRAMS para demonstrar a localização dos dados.

Figura 2 – Localização dos dados sobre os poluentes do ar disponibilizados pelo CPTEC-INPE



Fonte: <http://meioambiente.cptec.inpe.br/avaliacao/>. Acesso em: 20 outubro 2013.

Os dados coletados relativos às internações por serem obtidos na forma compactada (arquivo em DBC) foram expandidos pelo programa TabWin disponibilizados, no próprio portal DATASUS. Esses dados foram apresentados em formato de tabela com mais de 50 colunas e destas, foram selecionadas as colunas relativas à data de internação, diagnóstico por doenças respiratórias principal e código do município de Taubaté (355410) e os mesmos critérios foram aplicados para os dados de doenças cardiovasculares.

Na figura 3 podem ser observadas as opções SIHSUS reduzida (Sistema de Informações Hospitalares do SUS) e que contemplam os dados de internação.

Figura 3 – Portal do DATASUS das opções SIHSUS

The screenshot shows the DATASUS portal interface. The breadcrumb trail indicates the user is in the 'Arquivos de Dados' section. Below the breadcrumb, there are several buttons for file management: 'Arquivos de Dados', 'Arquivos de Programas', 'Arquivos de Textos', 'Tabela de CEP', 'Tabela do JAR', 'Download de TabWAs', and 'Arquivos de definições para tabulação'. A table lists the following files:

| | |
|------------------------|---|
| SIHSUS | Arquivos dissemináveis para tabulação do Sistema de Informações Hospitalares do SUS |
| SIASUS | Arquivos dissemináveis para tabulação do Sistema de Informações Ambulatoriais do SUS |
| SIM | Arquivos dissemináveis para tabulação do Sistema de Informações de Mortalidade |
| CIB | Arquivos dissemináveis para tabulação do Sistema de Comunicação de Informação Hospitalar |
| CIMA | Arquivos dissemináveis para tabulação do Sistema de Comunicação de Informação Hospitalar e Ambulatorial |
| SIHASC | Arquivos dissemináveis para tabulação do Sistema de Informação de Nascidos Vivos |

Fonte: Portal do DATASUS. Acesso em: 20 outubro. 2013.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ASPECTOS GERAIS

No período de estudo 1º de agosto de 2011 a 31 de julho de 2012 ocorreram 352 internações por doenças respiratórias e 393 por doenças cardiovasculares, independente da idade e sexo dos pacientes, no município de Taubaté, SP.

Os valores obtidos para a distribuição de frequência das variáveis independentes Monóxido de carbono (CO), Ozônio (O₃), Óxidos de Nitrogênio (NO_x) e Dióxido de nitrogênio (NO₂), Material particulado (PM_{2.5}), T temperatura do ar (T), Umidade Relativa do ar (UR) e dependentes (casos de internação) expressas com média, desvio-padrão, valores mínimo e máximo do período avaliado são apresentados na tabela 8.

Tabela 8 – Análise descritiva das variáveis independentes (CO, O₃, NO_x, PM_{2.5}, T, UR) e dependentes (casos de internação), em Taubaté, SP, no período de 2011 - 2012.

| Variáveis | Média (DP) | Mínimo | Máximo |
|--|----------------|--------|--------|
| CO (ppb) | 130.04 (52.81) | 33.3 | 550.0 |
| O ₃ (µg/m ³) | 61.98 (18.47) | 20.6 | 142.0 |
| NO _x (µg/m ³) | 4.09 (3.71) | 0.3 | 29.6 |
| PM _{2.5} (µg/m ³) | 13.20 (5.66) | 0.4 | 41.3 |
| T (°C) | 22.90 (3.95) | 9.8 | 38.8 |
| UR (%) | 95.43 (8.68) | 45.0 | 100.0 |
| RESP | 0.96 (1.08) | 0.0 | 5.0 |
| CARD | 1.07 (1.15) | 0.0 | 5.0 |

DP: desvio-padrão da média; T= temperatura; UR= umidade relativa; RESP: casos de internação por doenças respiratórias; CARD: casos de internação por doenças cardiovasculares.

Foram confeccionadas curvas de evolução temporal dos poluentes investigados nos 366 dias avaliados, considerando as médias mensais para cada poluente.

5.2 RESULTADOS

A Figura 4 apresenta as curvas de evolução temporal para o poluente Monóxido de Carbono (CO), em parte por bilhão (ppb) de 1º de agosto de 2011 a 31 de julho de 2012 no qual as concentrações deste poluente nos meses secos (ausência de chuvas) foram levemente mais significativo. Portanto, os meses de março, junho, julho, agosto e setembro, demonstraram a influência da sazonalidade na presença do poluente na atmosfera.

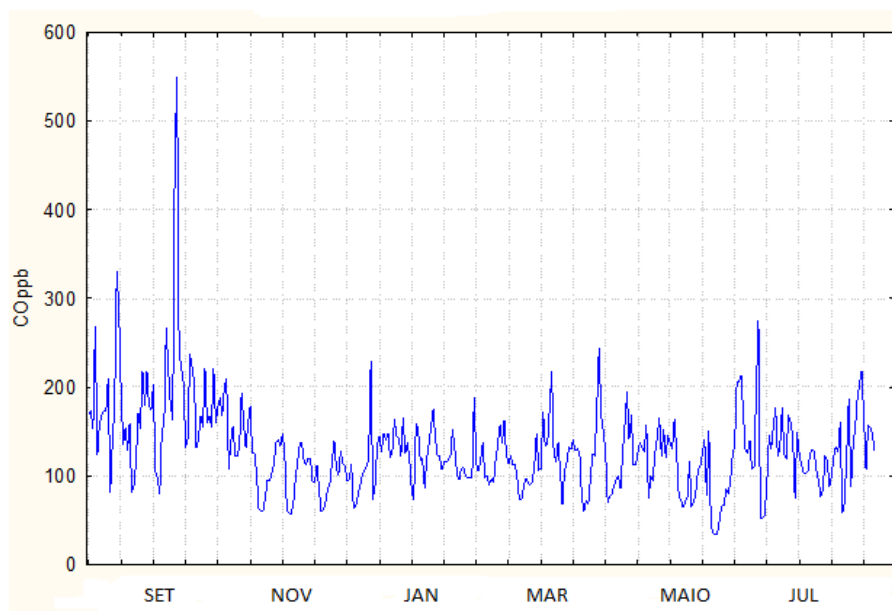


Figura 4 – Evolução temporal do poluente CO ppb* no período de 1º de agosto de 2011 a 31 de julho de 2012.

A Figura 5 apresenta as curvas de evolução temporal para o poluente O₃, a análise temporal demonstrou a ausência de sazonalidade dos dados no período avaliado. Entretanto, estudos têm confirmado que ozônio apresenta efeitos adversos sobre as doenças cardiovasculares e respiratórios, (Stieb et al., 2009).

Estudos realizados na Califórnia (EUA) relatam a associação entre o ozônio e incidência de asma. De acordo com os padrões finais determinados pelo Decreto Estadual 59.113/2013 a evolução temporal demonstrou que apenas no mês de março de 2012 o valor limite de $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ foi ultrapassado.

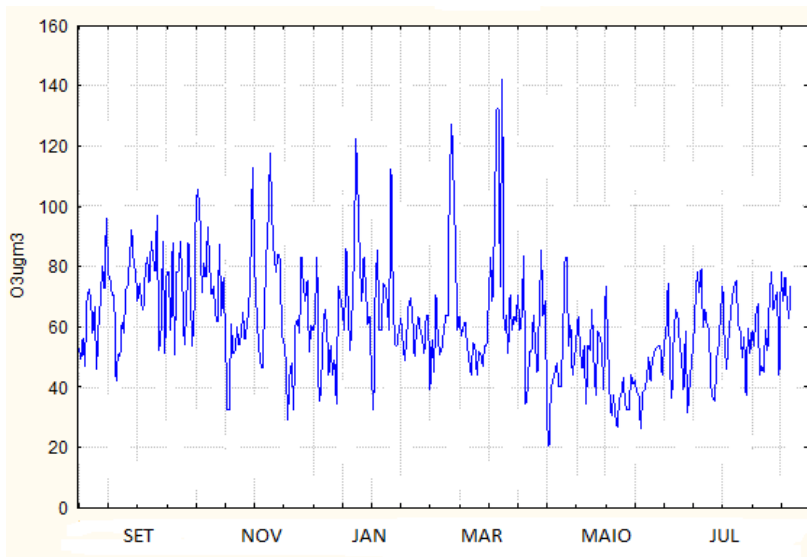


Figura 5 – Evolução temporal do poluente O_3 no período de 1º de agosto de 2011 a 31 de julho de 2012.

No período de 2011 - 2012 analisado para $\text{PM}_{2.5}$, (figura 6) as médias diárias estiveram abaixo dos padrões de qualidade do ar de 2011, contudo observou-se um aumento no número de interações. Aparentemente, o $\text{PM}_{2.5}$ não apresentou influência da sazonalidade, e apenas alguns aumentos nos meses de março e de junho de 2012 foram detectados. Existem estudos em que partículas com diâmetro menor que $10\mu\text{m}$ e $2,5\mu\text{m}$, respectivamente denominadas PM_{10} e $\text{PM}_{2.5}$, são adversamente associadas com as taxas de morbidade e mortalidade de doenças respiratórias (Alfaro et al., 2007). Alguns estudos demonstram que a associação é mais efetiva com as partículas menores do que com as maiores (Kan et al., 2007).

Conforme estudos as interações por problemas cardiovasculares e respiratórios de idosos em cidades do nordeste americano durante o inverno, encontraram uma estimativa de risco maior para partículas menores que $2,5\mu\text{m}$. Já Peng et al. (2008) encontraram uma estimativa de risco maior para as taxas de mortalidade de doenças cardiovasculares relacionadas com partículas iguais ou maiores que $10\mu\text{m}$, durante o verão.

Contudo, em ambos os trabalhos a relação com a estação não foi consistente. Observaram uma associação consistente entre as taxas de carbono elementar (EC), NO_2 e partículas $\text{PM}_{2.5}$ com as doenças cardiovasculares na cidade de Nova York, (Bell et al., 2008)

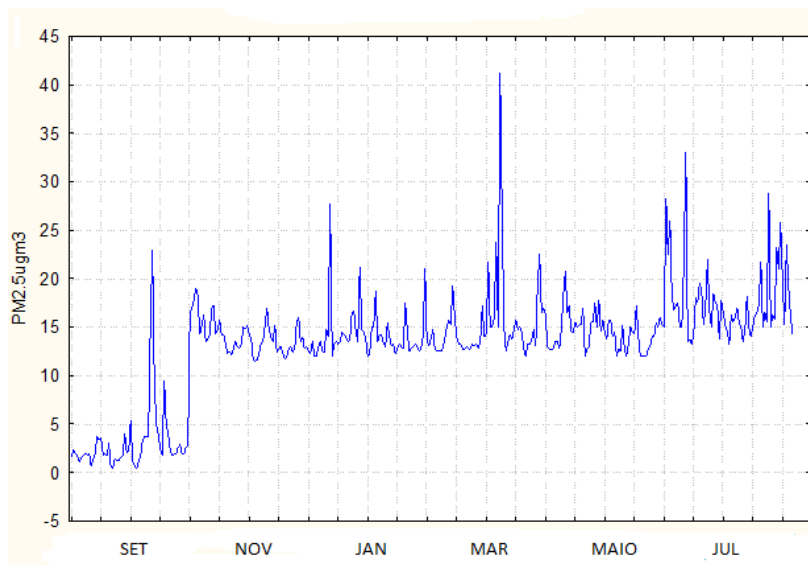


Figura 6 – Evolução temporal do poluente $\text{PM}_{2.5}$ no período de 1º de agosto de 2011 a 31 de julho de 2012.

O comportamento do NO_x ao longo do período mostrou sofrer influência da sazonalidade, evidente nos períodos de inverno como os meses de agosto de 2011 e dos meses de junho e agosto de 2012. (Figura 7).

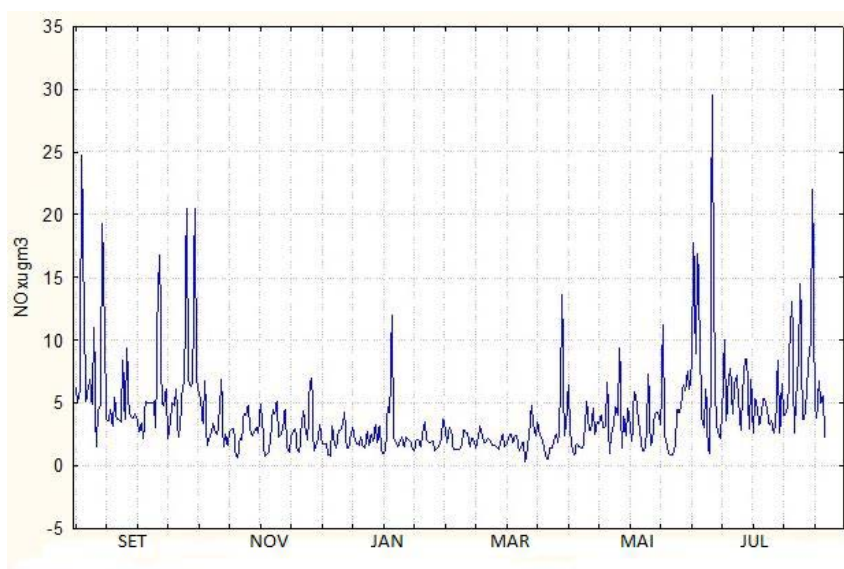


Figura 7 – Evolução temporal do poluente Óxido de Nitrogênio (NO_x) (formado em NO_2), no período de 1º de agosto de 2011 a 31 de julho de 2012.

A partir da regressão de Poisson, com os quatro poluentes analisados separados e em conjunto (modelo multipolvente), ajustados pela temperatura e umidade e controlados por dia da semana, foram obtidos os coeficientes de regressão de Poisson e os respectivos

erros-padrão para cada poluente em cada estrutura de defasagem (desde o dia da exposição até cinco dias de defasagem), considerando as doenças respiratórias e as cardiovasculares. (Mills et al 2009).

5.2.1 ANÁLISE UNIPOLUENTE

5.2.1.1 DOENÇAS RESPIRATÓRIAS

Conforme tabela 9 que apresenta análise unipolvente, os valores do z-Score no qual somente os valores que não foram inferiores a -1,96 e/ou superiores a 1,96, indicaram que não houve exposição significativa aos poluentes do ar impactando o risco de internação por doenças respiratórias.

Após três dias da exposição ao poluente CO (lag3) e quatro dias (lag4), os valores foram inferiores a -1,96 e, portanto indicaram que quanto maior a exposição ao CO, melhor para a saúde do individuo, isto é chamado de efeito paradoxal, ou seja, valor negativo indica o inverso, ou seja, quanto mais CO melhor para saúde, o que não é verdadeiro.

Tabela 9 – Análise unipolvente para doenças respiratórias com defasagem (lag 0 a lag 5) para o CO ppb, período de 1º de agosto de 2011 a 31 de julho de 2012 – Taubaté/SP.

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z- Score |
|--------------|-----------------|-----------------|-------------|
| Lag 0 | 0,000097 | 0,001028 | 0,09 |
| Lag 1 | 0,001082 | 0,000887 | 1,22 |
| Lag 2 | 0,001662 | 0,000932 | 1,78 |
| Lag 3 | -0,000313 | 0,001009 | -0,31 |
| Lag 4 | -0,000798 | 0,001016 | -0,78 |
| Lag 5 | 0,001208 | 0,000896 | 1,35 |

Na tabela 10 os valores de z Score não foram inferiores a -1.96 e/ou superiores a 1.96, indicando que não ocorreu interferência do ozônio no risco de internação por doenças respiratórias.

Tabela 10 – Análise unipolvente para doenças respiratórias com defasagem (lag 0 a lag 5) para o O₃.

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|-----------|--------------|-------------|-----------|
| Lag 0 | 0,000782 | 0,002736 | 0,28 |
| Lag 1 | -0,000804 | 0,002997 | -0,27 |
| Lag 2 | -0,001757 | 0,003033 | -0,58 |
| Lag 3 | -0,001240 | 0,002827 | -0,44 |
| Lag 4 | -0,005315 | 0,002935 | -1,81 |
| Lag 5 | -0,004516 | 0,002856 | -1,59 |

Na tabela 11 os valores do teste (z Score) foram superiores a 1.96, indicando que houve interferência do NOx no risco de internação por doenças respiratórias, após um (lag1), dois (lag2) e cinco dias (lag 5) da exposição.

Tabela 11 – Análise unipolvente doenças respiratórias com defasagem (lag 0 a lag 5) para o NOx.

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|-----------|--------------|-------------|-----------|
| Lag 0 | 0,012284 | 0,014953 | 0,82 |
| Lag 1 | 0,036091 | 0,011592 | 3,11 |
| Lag 2 | 0,032633 | 0,013002 | 2,51 |
| Lag 3 | 0,012442 | 0,014098 | 0,88 |
| Lag 4 | 0,024753 | 0,014420 | 1,76 |
| Lag 5 | 0,033988 | 0,012632 | 2,69 |

Conforme tabela 12, os valores do teste (z Score) não foram inferiores a -1.96 e/ou superiores a 1.96, indicando assim que não houve interferência do poluente PM_{2,5} no risco de internação por doenças respiratórias.

Tabela 12 – Análise unipolvente doenças respiratórias com defasagem (lag 0 a lag5) para o PM_{2,5}.

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|-----------|--------------|-------------|-----------|
| Lag 0 | -0,013457 | 0,010371 | -1,29 |
| Lag 1 | -0,006492 | 0,010261 | -0,63 |
| Lag 2 | 0,005233 | 0,010764 | 0,48 |
| Lag 3 | 0,001542 | 0,011456 | 0,13 |
| Lag 4 | -0,007325 | 0,011460 | -0,63 |
| Lag 5 | 0,004327 | 0,011068 | 0,39 |

5.2.1.2 Doenças Cardiovasculares

Na tabela 13, os valores do teste (z Score) não foram inferiores a -1.96 e/ou superiores a 1.96, indicando que não ocorreu interferência do CO no risco de internação por doenças cardiovasculares.

Tabela 13 – Análise unipolvente doenças cardiovasculares com defasagem (lag 0 a lag 5) para o CO ppb.

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|--------------|--------------|-------------|-----------|
| Lag 0 | -0,000607 | 0,000982 | -0,61 |
| Lag 1 | 0,000918 | 0,000838 | 1,09 |
| Lag 2 | 0,000752 | 0,000905 | 0,83 |
| Lag 3 | 0,000528 | 0,000904 | 0,58 |
| Lag 4 | 0,000643 | 0,000867 | 0,74 |
| Lag 5 | 0,001109 | 0,000812 | 1,36 |

Na tabela 14 os valores do teste (z Score) não foram inferiores a -1.96 e/ou superiores a 1.96, indicando que não houve interferência do O₃ no risco de internação por doenças cardiovasculares.

Tabela 14 – Análise unipolvente doenças cardiovasculares com defasagem (lag 0 a lag 5) para o O₃.

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|--------------|--------------|-------------|-----------|
| Lag 0 | 0,005062 | 0,002697 | 1,87 |
| Lag 1 | 0,000980 | 0,002992 | 0,32 |
| Lag 2 | 0,000819 | 0,002924 | 0,28 |
| Lag 3 | 0,005495 | 0,003076 | 1,78 |
| Lag 4 | 0,003122 | 0,002740 | 1,14 |
| Lag 5 | 0,003535 | 0,002687 | 1,31 |

Na tabela 15 os valores do teste (z Score) foram superiores a 1.96, indicando que ocorreu interferência do NO_x no risco de internação por doenças cardiovasculares para lag 2 e lag 5.

Tabela 15 – Análise unipolvente doenças cardiovasculares com defasagem (lag 0 a lag 5) para o NOx.

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|-----------|--------------|-------------|-----------|
| Lag 0 | 0,002073 | 0,013979 | 0,15 |
| Lag 1 | 0,018589 | 0,012613 | 1,47 |
| Lag 2 | 0,035983 | 0,013331 | 2,69 |
| Lag 3 | 0,006613 | 0,014776 | 0,44 |
| Lag 4 | 0,022745 | 0,015694 | 1,44 |
| Lag 5 | 0,030987 | 0,012497 | 2,47 |

Na tabela 16 os valores do teste (z Score) que foram superiores a 1.96, indicando que houve interferência do PM_{2,5} no risco de internação por doenças cardiovasculares em lag 4.

Tabela 16 – Análise unipolvente doenças cardiovasculares com defasagem (lag 0 a lag 5) para o PM_{2,5}.

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|-----------|--------------|-------------|-----------|
| Lag 0 | 0,005611 | 0,011904 | 0,47 |
| Lag 1 | 0,007585 | 0,011478 | 0,66 |
| Lag 2 | 0,017751 | 0,010268 | 1,72 |
| Lag 3 | 0,010985 | 0,011768 | 0,93 |
| Lag 4 | 0,024830 | 0,010380 | 2,39 |
| Lag 5 | 0,019529 | 0,010342 | 1,88 |

5.3 Análise Multipolvente

5.3.1 Doenças Respiratórias

Na tabela 17, os valores do teste (z Score) não foram inferiores a -1.96 e/ou superiores a 1.96, indicando que não houve influência dos poluentes no risco de internação por doenças respiratórias, para o dia em que ocorreu a internação (lag0).

Tabela 17 – Análise Multipolvente para doenças respiratórias com defasagem (lag 0).

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|---|--------------|-------------|-----------|
| COppb | -0,001743 | 0,001516 | -1,15 |
| O₃µg/m | 0,000655 | 0,003208 | 0,20 |
| NO_xµg/m³ | 0,018081 | 0,020169 | 0,89 |
| PM_{2,5}µg/m³ | -0,015561 | 0,010399 | -1,49 |

Na tabela 18, a análise multipolvente demonstrou que os valores do teste (z Score) foram superiores a 1.96, indicando que ocorreu interferência do poluente NOx no risco de internação por doenças respiratórias em lag 1, ou seja, após um dia de exposição.

Tabela 18 – Análise Multipolvente para doenças respiratórias com defasagem (lag 1)

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|---|--------------|-------------|-------------|
| COppb | -0,001399 | 0,001272 | -1,09 |
| O₃µg/m | 0,000945 | 0,003393 | 0,27 |
| NO_xµg/m³ | 0,045370 | 0,015733 | 2,88 |
| PM_{2,5}µg/m³ | -0,008746 | 0,010438 | -0,83 |

Na tabela 19 de análise multipolvente, os valores do teste (z Score) não foram inferiores a -1.96 e/ou superiores a 1.96, indicando que não houve interferência dos poluentes no risco de internação por doenças respiratórias após dois dias da exposição.

Tabela 19 – Análise Multipolvente para doenças respiratórias com defasagem (lag2).

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|---|--------------|-------------|-----------|
| COppb | 0,000706 | 0,001325 | 0,53 |
| O₃µg/m | -0,003442 | 0,003499 | -0,98 |
| NO_xµg/m³ | 0,013323 | 0,017234 | 0,77 |
| PM_{2,5}µg/m³ | 0,003465 | 0,010983 | 0,31 |

Na tabela 20 de análise multipolvente, os valores do teste (z Score) não foram inferiores a -1.96 e/ou superiores a 1.96, indicando que não ocorreu influência dos poluentes no risco de internação por doenças respiratórias após três dias da exposição.

Tabela 20 – Análise Multipolvente para doenças respiratórias com defasagem (lag3).

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|---|--------------|-------------|-----------|
| COppb | -0,001275 | 0,001476 | -0,86 |
| O₃µg/m | 0,000861 | 0,003353 | 0,25 |
| NO_xµg/m³ | 0,020713 | 0,018474 | 1,12 |
| PM_{2,5}µg/m³ | 0,000477 | 0,011541 | 0,04 |

Na tabela 21 de análise multipolvente os valores do teste (z Score) foram inferiores a superiores a 1.96, indicando que houve influência do poluente NOx no risco de internação por doenças respiratórias, para o quarto dia (lag4) após exposição ao poluente.

Tabela 21 – Análise Multipolvente para doenças respiratórias com defasagem (lag4)

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|---|--------------|-------------|-------------|
| COppb | -0,002370 | 0,001513 | -1,56 |
| O₃µg/m | -0,003076 | 0,003429 | -0,89 |
| NO_xµg/m³ | 0,052991 | 0,019516 | 2,71 |
| PM_{2,5}µg/m³ | -0,015812 | 0,011643 | -1,35 |

Na tabela 22, os valores do teste (z Score) não foram inferiores a -1.96 e/ou superiores a 1.96, indicando que não houve interferência dos poluentes no risco de internação por doenças respiratórias em lag 5.

Tabela 22 – Análise Multipolvente para doenças respiratórias com defasagem (lag5)

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|---|--------------|-------------|-----------|
| COppb | -0,000407 | 0,001306 | -0,31 |
| O₃µg/m | -0,004539 | 0,003311 | -1,37 |
| NO_xµg/m³ | 0,023153 | 0,017029 | 1,35 |
| PM_{2,5}µg/m³ | -0,002466 | 0,011453 | -0,21 |

5.3.2 Doenças Cardiovasculares

Na tabela 23, a análise multipolvente demonstrou que os valores do teste (z Score) foram superiores a 1.96, indicando que houve interferência dos poluentes NOx e O₃ no risco de internação por doenças cardiovasculares em defasagem zero (lag 0).

Tabela 23 – Análise Multipolvente para doenças cardiovasculares com defasagem (lag0).

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|---|--------------|-------------|-------------|
| COppb | -0,002426 | 0,001369 | -1,77 |
| O₃µg/m | 0,010348 | 0,003130 | 3,30 |
| NO_xµg/m³ | 0,045703 | 0,017863 | 2,55 |
| PM_{2,5}µg/m³ | 0,003151 | 0,011870 | 0,26 |

Na tabela 24, os valores do teste (z Score) foram superiores a 1.96, indicando que houve interferência do poluente NO_x no risco de internação por doenças cardiovasculares, após um dia de exposição (lag1).

Tabela 24 – Análise Multipolvente para doenças cardiovasculares com defasagem (lag1).

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|---|--------------|-------------|-------------|
| COppb | -0,000661 | 0,001213 | -0,54 |
| O₃µg/m | 0,004311 | 0,003382 | 1,27 |
| NO_xµg/m³ | 0,036678 | 0,017092 | 2,14 |
| PM_{2,5}µg/m³ | 0,008830 | 0,011583 | 0,76 |

Na tabela 25, os valores do teste (z Score) foram superiores a 1.96, permanecendo a indicação que houve interferência do poluente NO_x no risco de internação por doenças cardiovasculares, após dois dias da exposição (lag2)

Tabela 25 – Análise Multipolvente para doenças cardiovasculares com defasagem (lag 2).

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|---|--------------|-------------|-------------|
| COppb | -0,002241 | 0,001297 | -1,72 |
| O₃µg/m | 0,004398 | 0,003294 | 1,33 |
| NO_xµg/m³ | 0,055976 | 0,017975 | 3,11 |
| PM_{2,5}µg/m³ | 0,016696 | 0,010489 | 1,59 |

Na tabela 26, os valores do teste (z Score) foram superiores a 1.96, indicando que houve interferência do poluente O₃ no risco de internação por doenças cardiovasculares para lag 3.

Tabela 26 – Análise Multipolvente para doenças cardiovasculares com defasagem (lag 3)

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|---|--------------|-------------|-------------|
| COppb | -0,000493 | 0,001298 | -0,38 |
| O₃µg/m | 0,009595 | 0,003533 | 2,71 |
| NO_xµg/m³ | 0,023716 | 0,019360 | 1,22 |
| PM_{2,5}µg/m³ | 0,020113 | 0,011744 | 1,71 |

Na tabela 27, a análise multipolvente demonstrou que os valores do teste (z Score) foram superiores a 1.96, indicando que houve interferência dos poluentes O₃ e PM_{2,5} no risco de internação por doenças cardiovasculares com defasagem de quatro dias após exposição (lag4).

Tabela 27 – Análise Multipolvente para doenças cardiovasculares com defasagem (lag 4).

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|---|--------------|-------------|-------------|
| COppb | -0,002029 | 0,001259 | -1,61 |
| O₃µg/m | 0,006203 | 0,003097 | 2,00 |
| NO_xµg/m³ | 0,021625 | 0,021264 | 1,01 |
| PM_{2,5}µg/m³ | 0,030721 | 0,010566 | 2,90 |

Na tabela 28, após cinco dias da exposição (lag5) os valores do teste (z Score) foram inferiores a -1.96 indicando que houve interferência do poluente, evidenciando efeito paradoxal deste poluente a interferência dos poluentes O₃ e NO_x no risco de internação por doenças cardiovasculares.

Tabela 28 – Análise Multipolvente para doenças cardiovasculares com defasagem (lag 5).

| Variáveis | Coefficiente | Erro Padrão | z - Score |
|---|--------------|-------------|--------------|
| COppb | -0,002357 | 0,001159 | -2,03 |
| O₃µg/m | 0,009226 | 0,002996 | 3,07 |
| NO_xµg/m³ | 0,060817 | 0,016861 | 3,60 |
| PM_{2,5}µg/m³ | 0,016738 | 0,010477 | 1,59 |

Usando o modelo aditivo generalizado de regressão de Poisson foi calculado o risco relativo para as internações por doenças respiratórias, bem como o aumento percentual destes riscos com incremento dos poluentes. Para tanto, obteve-se os valores do coeficiente de Poisson (coeficiente), Erro Padrão (EP) e o valor do teste (Std. Score e z Score) para todos os poluentes analisados, ajustados pela temperatura e umidade. Foi calculado o Risco Relativo e os respectivos intervalos de confiança de 95% para internação de doenças

cardiovasculares e respiratórias, dos poluentes de estudo de acordo com as defasagens de 0 a 5 dias (lag0 a lag5), obtidos segundo modelo unipolvente para Taubaté de 2011- 2012.

5.4 Risco Relativo

A Tabela 29 apresenta o cálculo do risco relativo para modelo Unipolvente para doenças respiratórias. Na análise de dados observou-se associação positiva com as internações com diferentes defasagens para exposição aos poluentes NOx para lag 1 e lag 2 e lag 5.

Tabela 29 – Modelo Unipolvente para doenças respiratórias.

| DOENÇA RESPIRATÓRIA | UNIPOLUENTE | | | |
|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| | CO | RISCO RELATIVO [IC 95%] | | |
| | | O3 | NOX | PM2,5 |
| LAG 0 | 1,000 [0,998 -1,002] | 1,001 [0,999 -1,002] | 1,012 [0,983 -1,042] | 0,987 [0,967 -1,007] |
| LAG 1 | 1,001 [0,999 -1,003] | 0,999 [1,001 -0,998] | 1,037 [1,013 -1,061]# | 0,994 [0,974 -1,004] |
| LAG 2 | 1,002 [1,000 -1,003] | 0,998 [1,002 -0,995] | 1,033 [1,007 -1,060]# | 1,005 [0,984 -1,027] |
| LAG 3 | 1,000 [0,998 -1,002] | 0,999 [1,001 -0,996] | 1,013 [0,985 -1,041] | 1,002 [0,979 -1,024] |
| LAG 4 | 0,999 [0,997 - 1,001] | 0,995 [1,005 -0,984] | 1,025 [0,996 -1,054] | 0,993 [0,971 -1,015] |
| LAG 5 | 1,001 [0,999 -1,003] | 0,995 [1,004 -0,987] | 1,035 [1,009 -1,061]# | 1,004 [0,983 -1,026] |

A Tabela 30 apresenta calculo do risco relativo para modelo Unipolvente para doenças cardiovasculares. Na análise de dados, observou-se associação positiva com as internações com diferentes defasagens para exposição aos poluentes NOx para lag 2 e lag 5 e para PM_{2,5} no lag 4.

Tabela 30 - Modelo Unipolvente para doenças cardiovasculares.

| DOENÇA CARDIOVASCULAR | UNIPOLUENTE | | | |
|--------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | RISCO RELATIVO [IC 95%] | | | |
| | CO | O3 | NOX | PM2,5 |
| LAG 0 | 0,999 [0,997 -1,001] | 1,005 [1,000 -1,010] | 1,002 [0,975 - 1,030] | 1,006 [0,982 -1,029] |
| LAG 1 | 1,001 [0,999 - 1,003] | 1,001 [0,995 - 1,007] | 1,019 [0,994 - 1,044] | 1,008 [0,985 -1,031] |
| LAG 2 | 1,001 [0,999 - 1,003] | 1,001 [0,995 - 1,007] | 1,037 [1,010 -1,064]# | 1,018 [0,998 -1,039] |
| LAG 3 | 1,001 [0,999 - 1,002] | 1,006 [0,999 - 1,012] | 1,007 [0,978 - 1,036] | 1,011 [0,988 -1,035] |
| LAG 4 | 1,001 [0,999 - 1,002] | 1,003 [0,998 - 1,009] | 1,023 [0,992 - 1,055] | 1,025 [1,004 1,046]# |
| LAG 5 | 1,001[1,000 - 1,003] | 1,004 [0,998 - 1,009] | 1,031 [1,007 -1,057]# | 1,020 [0,999 -1,041] |

P <0,05

A Tabela 31 apresenta o cálculo do risco relativo para modelo Multipolvente para doenças respiratórias. Para análise de dados, observou-se associação positiva com as interações com diferentes defasagens para exposição ao poluente NOx para lag 1 e lag 4.

Tabela 31 - Modelo Multipolvente para doenças respiratórias.

| DOENÇA RESPIRATÓRIA | MULTIPOLUENTE | | | |
|------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|
| | RISCO RELATIVO [IC 95%] | | | |
| | CO | O3 | NOX | PM2,5 |
| LAG 0 | 0,998 [0,995 - 1,001] | 1,001 [0,994 -1,007] | 1,018 [0,979 - 1,059] | 0,985 [0,965 -1,005] |
| LAG 1 | 0,999 [0,996 - 1,001] | 1,001 [0,994 - 1,008] | 1,046 [1,015 -1,079]# | 0,991 [0,971 -1,012] |
| LAG 2 | 1,001 [0,998 - 1,003] | 0,997 [0,990 - 1,003] | 1,013 [0,980 - 1,048] | 1,003 [0,982 -1,025] |
| LAG 3 | 0,999 [0,996 -1,002] | 1,001 [0,994 - 1,059] | 1,021 [0,985 - 1,059] | 1,000 [0,978 -1,023] |
| LAG 4 | 0,998 [0,998 -1,001] | 0,997 [0,997 -1,004] | 1,054[1,054 - 1,196]# | 0,984 [0,984 -1,007] |
| LAG 5 | 1,000 [0,997 - 1,002] | 0,995 [0,989 - 1,002] | 1,023 [0,990 - 1,058] | 0,998 [0,975 -1,020] |

P <0,05

A Tabela 32 apresenta o cálculo do risco relativo para modelo Multipolvente para doenças cardiovasculares. Observou-se associação positiva com as interações com diferentes defasagens para exposição ao poluente O₃ para lag0, lag3 e lag5 para o NO_x apresentou defasagens para lag0, lag1, lag2 e lag5 e para a exposição de PM_{2,5} apresentou associação no lag5.

Tabela 32 - Modelo Multipolvente para doenças cardiovasculares

| DOENÇA CARDIOVASCULAR | MULTIPOLUENTE | | | |
|--------------------------|------------------------|-------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| | CO | O3 | NOX | PM2,5 |
| LAG 0 | 0,998 [0,995 - 1,000] | 1,010 [1,004 -1,017]# | 1,047 [1,011 -1,084]# | 1,003 [0,980 - 1,027] |
| LAG 1 | 0,999 [0,997 - 1,002] | 1,004 [0,998 - 1,011] | 1,037 [1,003 -1,073]# | 1,009 [0,986 - 1,032] |
| LAG 2 | 0,998 [0,995 -1,004] | 1,004 [0,998 - 1,011] | 1,058 [1,021-1,095]# | 1,017 [0,996 -1,038] |
| LAG 3 | 1,000 [0,997 -1,002] | 1,010 [1,003 -1,017]# | 1,024 [0,986 - 1,064] | 1,020 [0,997 -1,044] |
| LAG 4 | 0,998 [0,996 -1,000] | 1,006 [0,980 - 1,065] | 1,022 [0,980 - 1,065] | 1,031 [1,031-1,053]# |
| LAG 5 | 0,998 [0,995 -1,000] | 1,009 [1,003 -1,015]# | 1,063 [1,028 1,098]# | 1,017 [0,996 - 1,038] |

P <0,05

Os dados apresentados na tabela 29 para doenças respiratórias podem ser observados na Figura 8 com os respectivos intervalos de confiança os valores de NOx apresentam-se acima de um valor mostrado do eixo y, o risco de interações para lag1, lag2 e lag 5.

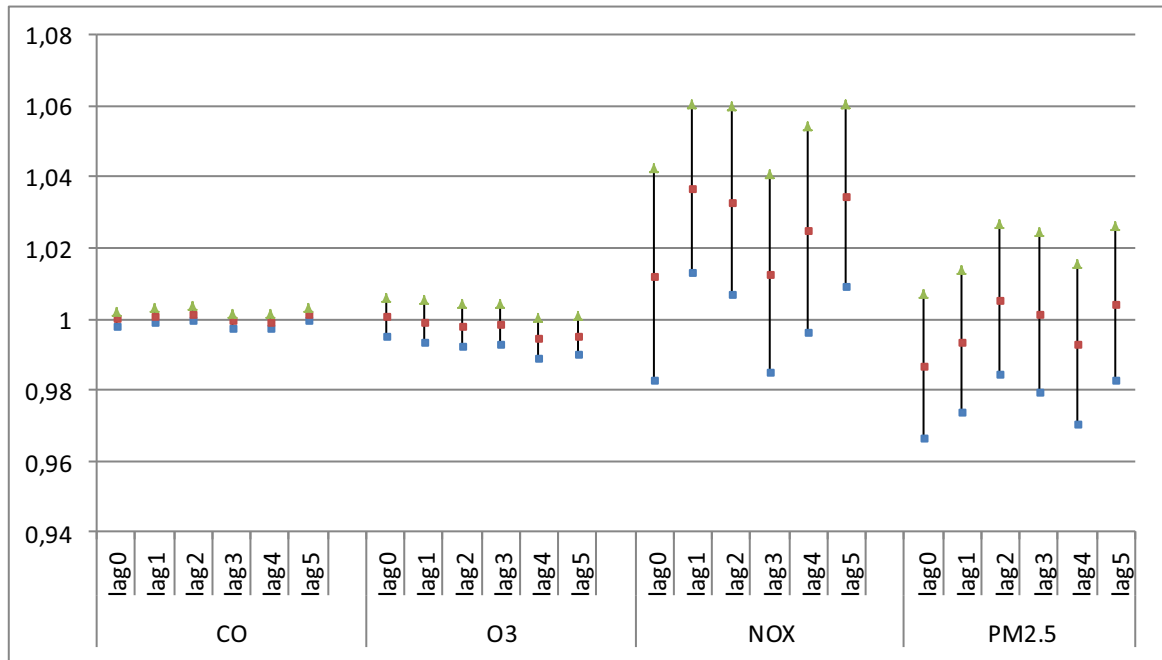


Figura 8 - Gráfico Unipolvente do Risco Relativo para Doenças Respiratórias

Os dados apresentados na tabela 30 para doenças cardiovasculares podem ser observados na Figura 9 com os respectivos intervalos de confiança. Os valores de NO_x e PM_{2.5} apresentam-se acima de um (1) mostrando risco de internações. No entanto o CO e O₃ não mostram significado, por não apresentarem valor superior a um (1).

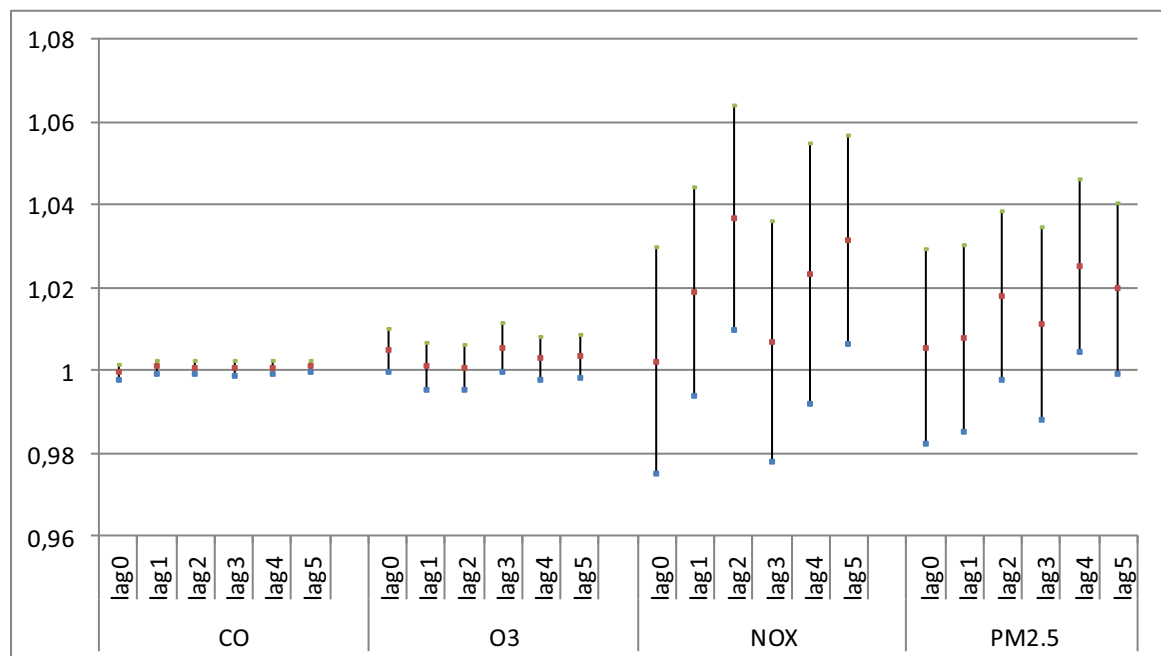


Figura 9 - Gráfico Unipolvente do Risco Relativo para Doenças Cardiovasculares.

Aplicando os valores para os poluentes que apresentaram riscos para internação de doenças cardiovasculares e respiratórias, empregando o modelo multipolvente, segundo as defasagens para os poluentes que se mostraram significante relativos às internações.

5.5 Aumento Percentual nos Riscos

Conforme a figura 10, o aumento percentual nos riscos a exposição aos poluentes para as internações por doenças respiratórias foram significantes apenas o poluente NOx em lag 1 e lag 4.

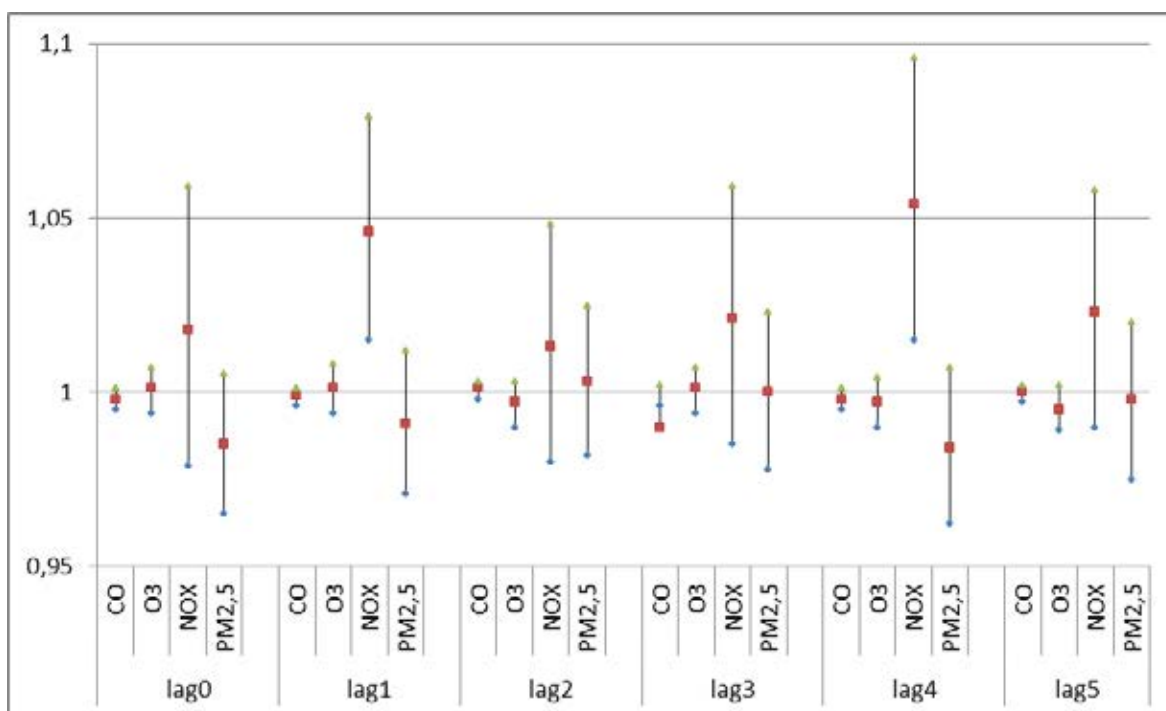


Figura 10 – Gráfico Multipolvente do Risco Relativo para Doenças Respiratórias.

Aplicando a equação 1, o aumento de 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para o poluente NOx e PM_{2,5} além de 100ppb para CO, caso por doenças respiratórias, somente o NOx apresentou associação para lag1 e lag4.

Exemplificando:

$$AP = [\exp^{(\beta \cdot \Delta C)} - 1] \cdot 100 \quad \text{equação (1).}$$

$$AP = [\exp^{(3 \cdot 0,045)} - 1] \cdot 100$$

$$AP = [\exp^{(0,45)} - 1] \cdot 100$$

$$AP = [1,146] \cdot 100$$

$$AP = 14,6\%$$

O incremento na concentração por NOx demonstrou aumentos percentuais de 14,6% para lag 1 e de 17,2% para lag4, no risco para doenças respiratórias.

Na figura 11, o aumento percentual do Risco a exposição aos poluentes foram significantes para os poluentes: O₃ no lag0 e lag 5, para NOx, lag 0, lag 1, lag 2, lag 5, e PM_{2,5} no lag 4.

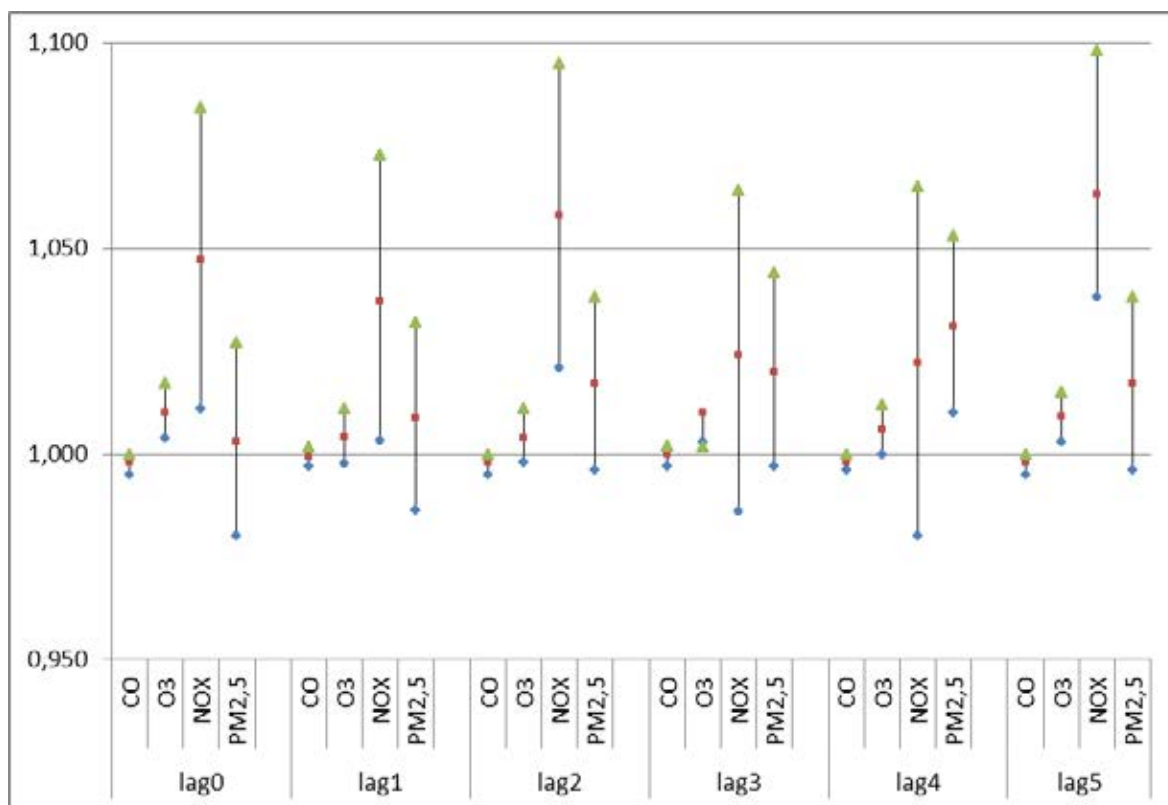


Figura 11 – Gráfico Multipolvente do Risco Relativo para Doenças Cardiovasculares.

Para os poluentes que mostraram uma associação significativa com as interações, aplicando a equação 1 para doenças cardiovasculares, com incremento de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de O₃.

Exemplificando:

$$AP = [\exp^{(B \cdot \Delta C)} - 1] * 100 \quad \text{equação (1).}$$

$$AP = [\exp^{(20 * 0,010)} - 1] * 100$$

$$AP = [\exp^{(0,2)} - 1] * 100$$

$$AP = [0,221] * 100$$

$$AP = 22\%$$

O risco de internação apresenta um aumento de 22% para lag 0, lag 3 e lag 5 e de 13 % para lag 4, com incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de O_3 .

E o Risco Relativo para doenças cardiovasculares para um aumento de 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de NO_x .

Exemplificando:

$$AP = [\exp^{(\beta \cdot \Delta C)} - 1] * 100 \quad \text{equação (1).}$$

$$AP = [\exp^{(3 \cdot 0,047)} - 1] * 100$$

$$AP = [\exp^{(0,47)} - 1] * 100$$

$$AP = [1,147] * 100$$

$$AP = 14,7\%$$

O risco de internação aumentou de 14,7% para lag0, 12% para lag 1, 16,8% para lag2 e de 18% lag5, com o incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_x .

O Risco Relativo para doenças cardiovasculares para um aumento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ na concentração de $\text{PM}_{2,5}$, o risco de internação para lag4 aumentou de 36 %. E para CO ocorreu o chamado efeito paradoxal, diminuindo o risco de internação.

Os resultados dos Riscos Relativos encontrados representam o impacto da poluição atmosférica na saúde da população, com risco de internações por doenças respiratórias de acordo a literatura nacional observou-se uma associação estaticamente significativa entre o aumento do nível de poluentes na atmosfera e o aumento de hospitalizações. (Braga et al., 1999).

Os resultados apresentados apontam que municípios de médio porte, com um parque industrial significativo podem ser afetados pelas variações da poluição atmosférica, refletindo no aumento das internações de doenças respiratórias e cardiovasculares. Alguns estudos mostraram associação positiva entre as internações por problemas respiratórios e cardiovasculares, BRAGA et al., 1999, BROOK et al., 2010, MILLS et al., 2009.

Embora este seja um estudo ecologico, no qual a unidade de estudo é o grupo de indivíduos que pode representar uma cidade ou até mesmo um país e, mesmo com não a observação individual, destaca-se que esses estudos têm-se mostrado eficientes no que refere à abordagem dos efeitos da poluição sobre a saúde. BRAGA et al., 2001.

Este estudo utilizou dados estimados para as concentrações de poluentes que podem ser aplicados para outros em municípios, onde não existem estações medidoras dos órgãos ambientais fiscalizadores. Mesmo que este estudo possa a ter limitações, como não

conseguir identificar a causalidade, o erro do diagnóstico da codificação da doença que pode a subestimar ou superestimar o número de internações e a não inclusão de internações por convênios médicos e/ou planos de saúde privados, considerando que 85% da população brasileira é coberta pelo Sistema Único de Saúde (SUS).

A frota circulante emitiu em 2012 no Estado de São Paulo foi de 356 mil toneladas de CO, 70 mil toneladas de HC, 240 mil toneladas de NO_x, 6 mil toneladas de MP, 9 mil toneladas de SO_x, todos poluentes tóxicos. Os automóveis foram os maiores emissores de CO. Os caminhões e ônibus os maiores emissores de NO_x e MP. As motocicletas aparecem como segunda fonte emissora de CO. Destacam-se as emissões de hidrocarbonetos, conjunto de gases que lançados à atmosfera atuam na formação do ozônio, poluente que quando formado próximo à superfície da terra afeta a saúde da população. Outro destaque é o impacto dos veículos pesados, movidos a diesel. (CETESB, 2014).

As Regiões Metropolitanas de São Paulo (RMSP), Campinas e Vale do Paraíba são exemplos de áreas urbanas impactadas por rodovias e indústrias.

Especificamente o material particulado fino, fração do material particulado cuja origem é basicamente veicular e bastante nocivo à saúde humana apareceu significativa apenas nas doenças cardiovasculares com incremento de 10µg/m³, também gerando preocupação em função dos índices encontrados na RMSP. Em princípio, existe a tendência da redução do tamanho das partículas conforme se evolui a tecnologia de controle. (CETESB, 2014).

Outro aspecto realmente importante na região do Vale do Paraíba é o problema do movimento de ventos, é muito pouco na região. A instalação de fábricas poluentes na região irá agravar os problemas quanto à qualidade do ar na região. Este fato precisa ser discutido entre gestores públicos e a população de fato a não impactar a saúde dos municípios, assim como o processo de industrialização. É racional que se discuta qual a indústria mais interessante para o município. É importante que os gestores públicos saibam quais as indústrias que estão sendo banidas de outros municípios e querem se instalar na nossa região. Também é importante ter uma posição clara e definida contra as indústrias poluentes, já que, na realidade elas não beneficiam a região e aumentam os problemas.

Os dados obtidos neste estudo permite um panorama geral da poluição atmosférica e de seus efeitos à saúde populacional em Taubaté-SP. Na Engenharia Ambiental o estudo da poluição do ar é de extrema importância, ainda mais nos dias de hoje, no qual as estações do ano não estão mais bem definidas e a quantidade de poluente nesta região não é monitorada pelo órgão estadual fiscalizador do meio ambiente – CETESB.

6 CONCLUSÃO

Este estudo mostrou a aplicabilidade de dados estimados por modelos matemáticos das concentrações diárias de poluentes do ar e sua aplicação em municípios onde inexistem medidores da poluição do ar e mostrando associação entre a exposição a determinados poluentes do ar e as internações por doenças cardiovasculares e respiratórias. Mostra também a importância de gerar políticas públicas no sentido de diminuir essas concentrações como, por exemplo, a melhor utilização de transporte público, a maior fiscalização das fontes móveis. Foi possível identificar associações positivas entre a exposição a determinados poluentes como CO, O₃, NO_x, PM_{2.5} com as internações por doenças cardiovasculares e respiratórias. Neste trabalho, a análise unipolvente demonstrou que as emissões de NO_x apresentaram significância com as internações por doenças respiratórias e cardiovasculares e, o material particulado apresentou interferência somente com defasagem ao quarto dia de exposição (lag4) para internações de doenças cardiovasculares. O NO_x é também precursor na formação de ozônio no qual mostrou significância para doenças cardiovasculares no lag0, lag3, lag4, lag5, para análise multipolventes. Portanto, é necessário acompanhamento e controle sistemático dos poluentes do ar e seus efeitos sobre a saúde humana e assim espera-se que o gestor Municipal implante políticas públicas para melhoria no transporte público, principal responsável pela poluição do ar, com intuito de diminuir a concentração dos principais poluentes do ar. A mistura desses elementos na atmosfera pode modificar toxicidades individuais, potencializando os efeitos individuais a saúde, Portanto a análise multipolvente é a mais próxima da realidade, pois a atmosfera apresenta uma mistura de poluentes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFARO M E, Nawrot TS, Nemmar A, Nemery B. **Particulate matter in the environment: pulmonary and cardiovascular effects.** Curr Opin Pulm Med.(2007) p.13:98–106.

BARNETT A G, Tong S, Clements ACA. **What measure of temperature is the best predictor of mortality.** Environmental Research 2010, p.110:604–11.

BELL ML, et al. **Seasonal and regional short-term effects of fine particles on hospital admissions in 202 U.S. counties, 1999–2005.** Am J Epidemiol. 2008;168(11):1301–1310.

BRAGA, ALF, Conceição GMS, Pereira LAA, Kishi HS, Pereira JCR, Andrade MF et al. **Air pollution and pediatric respiratory hospital admissions in São Paulo, Brazil.** J Environ Med 1999; 1:95-102

BRAGA, ALF, Saldiva PHN, Pereira LAA, Menezes JJC, Conceição GMS, Lin CA et al. **Health effects of air pollutant exposure on children and adolescents in São Paulo, Brazil.** Pediatr Pulmonol 2001; 1:106-13

BROOK RD, et al. **Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association.** Circulation. 2010;121(21):2331–2378.

CANÇADO JED, Saldiva PHN, Pereira LAA, Lara LBLS, Artaxo P, Mertinelli LA, et al. **The Impact of Sugar Cane-Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly.** Environ Health Perspect 2006;114:735-9

CPTEC- INPE - (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) **dados poluentes do ar.** – CATT-BRAMS., 2011]

CPTEC- INPE - (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) **dados poluentes do ar.** – CATT-BRAMS., 2012.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente; **Resolução Conama 03/90** .
Estabelece critérios de classificação da balneabilidade. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama> .

D`IPPOLITI D, Forastiere F, Ancona C, Agabiti N, Fusco D, Michelozzi P, Perucci C.A: **Air pollution and myocardial infarction in Rome: a case-crossover analysis.** Epidemiology 2003, 14:528-535.

IGNOTI E, Valente JG, Longo KM, Freitas SR, HAcon SDS, Netto P: **Impact on human health of particulate matter emitted from burning in the Brazilian Amazon region.** Revista Saúde Pública 2010, 44:121-30.

KAN H, London SJ, Chen G, Zhang Y, Song G, Zhao N, et al. **Differentiating the effects of fine and coarse particles on daily mortality in Shanghai, China.** Environ Int. 2007 ;33(3):376–384.

MILLS NL, Donaldson K, et al. **Adverse cardiovascular effects of air pollution.** Nat Clin Pract Cardiovasc Med. 2009;6(1):36–44.

MEDRONHO Roberto A, Dianna M de Carvalho, Katia V Bloch, Ronnir R Luiz, Guilherme L Werneck. Epidemiologia, Estudos Ecologicos. 2006 p 191-198.

NASCIMENTO LFC, Pereira LAA, Braga ALF, Módolo MCC, Carvalho Jr. JA. **Efeitos da poluição atmosférica na saúde infantil em São José dos Campos, SP.** Rev. Saúde Pública. 2006 ;40:121-30

NASCIMENTO LFC, Amancio CT. **Asma e poluentes ambientais: um estudo de series temporais.** Revista Associação Medicina Brasileira; 2012; 58:302-307

NASCIMENTO LFC, Cesar ACG, Carvalho JA J, **Associação entre exposição ao material particulado e internações por doenças respiratórias em crianças.** Revista Saúde Pública 2013; 1209-1212;

PENG RD, et al. **Admissions for cardiovascular and respiratory coarse particulate matter air pollution and hospital diseases among Medicare patients.** JAMA. 2008;299(18):2172–2179.

SAMUELSEN M, et al. **Particle size determines activation of the innate immune system in the lung.** Scand J Immunol. 2009; 69(5):421–428.

SANTOS UP, Terra-Filho M, Lin CA, Pereira LA, Vieira TC, Saldiva PH, Braga AL: **Cardiac arrhythmia emergency room visits and environmental air pollution in Sao Paulo, Brazil.** J Epidemiol Community Health 2008, 62:267-272.

SIMKHOVICH BZ, Kleinman MT, Kloner RA: **Particulate air pollution and coronary heart disease.** Curr Opin Cardiol 2009, 24:604-609.

STIEB DM, Szyszkowicz1 M, Rowe BH, Leech JA. **Air pollution and emergency department visits for cardiac and respiratory conditions: a multi-city time-series analysis.** Environ Health. 2009;

WALKO R., Band L., Baron J., Kittel F., Lammers R., Lee T., Ojima D., Pielke R., Taylor C., Tague C., Tremback C., Vidale P.. **Coupled Atmosphere-Biophysics-Hydrology Models for Environmental Modeling.** *J Appl Meteorol.*, 39: (6) 931-944, 2000.

WELLENIUS G A, Schwartz J, Mittleman M A: **Particulate air pollution and hospital admissions for congestive heart failure in seven United States cities.** Am J Cardiol 2006, 97:404-408.

ANEXO

Leis e Decretos

Decreto nº 54.487, de 26 de junho de 2009 - Altera a redação e inclui dispositivos e anexos no Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente e dá outras providências.

Lei nº 13.542, de 8 de maio de 2009 - Altera a denominação da CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental e dá nova redação aos artigos 2º e 10 da Lei nº 118, de 29 de junho de 1973.

Decreto nº 52.469, de 12 de dezembro de 2007 - Altera a redação de dispositivos do Regulamento aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente, confere nova redação ao artigo 6º do Decreto nº 50.753, de 28 de abril de 2006, e dá providências correlatas.

Decreto nº 50.753, de 28 de abril de 2006 - Altera a redação e inclui dispositivos no Regulamento aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 ,disciplinando a

execução da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre controle da poluição do meio ambiente e dá providências correlatas.

Decreto nº 48.523, de 02 de março de 2004 - Introduz alterações no Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 e suas alterações posteriores, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente e dá providências correlatas.

Decreto nº 47.397, de 4 de dezembro de 2002 - Dá nova redação ao Título V e ao Anexo 5 e acrescenta os Anexos 9 e 10, ao Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, aprovado pelo Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.

Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 - Regulamentação da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, com 172 artigos e anexos cujas disposições representaram um instrumento de trabalho com mecanismos ajustados para operação e controle do meio ambiente.

Objetivos:

- Proteção ao meio ambiente: define o sistema de prevenção e controle do meio ambiente; as competências da CETESB;
- Poluição das águas: classificação das águas; padrões de qualidade; padrões de emissão;
- Poluição do ar: normas para utilização e preservação do ar: regiões de controle de qualidade do ar e proibições e exigências gerais; padrões: padrões de qualidade, padrões de emissão e padrões de condicionamento e de projeto para fontes estacionárias; plano de emergência para episódios críticos de poluição do ar;
- Poluição do solo;
- Licenças e registro: fontes de poluição; licenças de instalação; licenças de funcionamento; registro; preços para expedição de licenças;
- Fiscalização e sanções: infrações e penalidades; procedimentos administrativos; recolhimento das multas; recursos; disposições finais."

Lei nº 997, de 31 de maio de 1976 - Dispõe sobre a instituição do sistema de prevenção e controle da poluição do meio ambiente na forma prevista nessa lei e pela Lei nº 118/73 e pelo Decreto nº 5.993/75.

Objetivos:

- Estabelecer diretrizes para operacionalidade do sistema e proteção, dispondo sobre conceitos básicos de sustentação do meio ambiente nos complexos

problemas a serem enfrentados de ordem jurídica, técnica e da administração, entre os quais:

- Dispondo sobre o conceito de poluição do meio ambiente, de fontes poluidoras;
- Estabelecer exigência para construção, ampliação e reforma para instalação e funcionamento de fontes poluidoras;
- Conferir penalidades por infrações à lei, estabelecendo critérios segundo o grau de gravidade;
- Determinar medidas de emergência a fim de evitar episódios críticos ou impedir sua continuidade em caso de grave risco iminente para vidas ou recursos humanos e econômicos.